

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**VÝVOJ PROSTŘEDÍ PRO  
SIMULACI MONTÁŽE VE  
VIRTUÁLNÍ REALITĚ**

**2022**

**JIŘÍ  
NĚMEC**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Němec** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **466523**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky**  
Studijní program: **Průmysl 4.0**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Vývoj prostředí pro simulaci montáže ve virtuální realitě**

Název diplomové práce anglicky:

**Development of an environment for simulation of assembly in virtual reality**

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše literatury
2. Vhodné přístupy k vývoji prostředí ve virtuální realitě
3. Návrh koncepce prostředí
4. Vývoj funkčních prvků prostředí
5. Ověření funkčnosti virtuálního prostředí a montáže

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Tomáš Kellner ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **29.06.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Tomáš Kellner  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Vývoj prostředí pro simulaci montáže ve virtuální realitě“ vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení pana Ing. Tomáše Kellnera a za pomoci uvedené literatury.

V Praze dne: .....

.....

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomášovi Kellnerovi za odborné vedení této diplomové práce, jeho ochotu, cenné rady a čas strávený během konzultací. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přítelkyni za jejich podporu během psaní této diplomové práce.

## **Anotace**

Cílem této práce je návrh virtuálního prostředí pro simulaci montáže ve virtuální realitě. V rámci teoretické části práce jsou přiblíženy pojmy a problematika montáže, ergonomie a virtuální reality pro ověření funkčnosti později vytvořeného virtuálního prostředí. V práci je popsána tvorba modelů, textur a skriptů, které jsou využity herním enginem pro vizualizaci a interakci. Pro ověření funkčnosti simulace bylo vytvořeno montážní pracoviště s jednoduchým rozložením montážních boxů, přepravek a se simulovaným montážním procesem modelu čerpadla. Závěrem práce došlo k zhodnocení simulovaných pohybů a dosahů při montáži ve virtuální realitě.

## **Klíčová slova**

Návrh virtuálního prostředí, Virtuální realita, Unreal Engine 5, Montáž, Ergonomie, Montážní pracoviště

## **Abstract**

The aim of this thesis is to design a virtual environment for simulating assembly in virtual reality. In the theoretical part of the thesis, the concepts and issues of assembly, ergonomics and virtual reality are introduced to verify the functionality of the later created virtual environment. The thesis describes the creation of models, textures and scripts that are used by the game engine for visualization and interaction. To verify the functionality of the simulation, an assembly workstation was created with a simple layout of assembly boxes, euro crates and with a simulated assembly process of a pump model. Finally, the work concluded with an evaluation of the simulated movements and reaches during the assembly in virtual reality.

## **Keywords**

Virtual environment design, Virtual reality, Unreal Engine 5, Assembly, Ergonomics, Assembly workplace

# Obsah

Seznam zkratk	8
Úvod	9
1. Montáž	10
1.1. Definice pojmů	10
1.2. Dělení montáže	11
1.3. Metody montáže	13
1.4. Technická příprava montáže	14
2. Ergonomie	16
2.1. Legislativa	17
2.2. Ergatika	17
2.3. Ergonomie pracovního místa	18
2.1. Normování lidské práce	21
3. Virtuální realita	22
3.1 Princip fungování VR	23
3.2. Historie	26
3.3. Oblasti využití	28
3.4. Přehled HMD zařízení	29
3.5. Příklad software využívající VR	35
3.6. Vývojové nástroje pro VR	36
4. Vývoj prostředí pro simulaci montáže	41
4.1. Tvorba modelů virtuálního prostředí	41
4.2. Možné problémy s modely při texturování	50
4.3. Výběr texturovacího programu	51
4.4. Tvorba textur pro modely	52
5. Výběr herního engine	58
5.1. Příprava a nastavení engine	58
5.2. Import modelů a textur do engine	60

5.3.	Implementace požadovaných vlastností.....	63
5.4.	Umístění objektů v prostoru .....	66
5.5.	Nasvícení scény .....	68
6.	Ověření funkcionality virtuálního prostředí prostřednictvím montážní úlohy .....	71
6.1.	Popis montážního procesu .....	72
6.2.	Ověření a testování simulace montáže .....	74
6.3.	Zhodnocení virtuálního prostředí .....	82
	Závěr .....	85
	Zdroje .....	86
	Seznam obrázků .....	90
	Seznam tabulek .....	93
	Seznam použitého software.....	93



## Seznam zkratek

2D	Dvoudimenzionální
3D	Třidimenzionální
API	Application Programming Interface (Rozhraní pro programování aplikací)
CAD	Computer Aided Design (Počítačem podporované projektování)
FBX	Filmbox Souborový Formát
HMD	Head-Mounted display (Náhlavní souprava s displejem)
IMU	Inertial Measurement Unit (Inerciální měřící jednotka)
IR	Infrared (Infračervené)
LiDAR	Light Detection and Ranging (Detekce světla a měření vzdálenosti)
OLED	Organic Light Emitting Diode (Organická světelná dioda)
PC	Personal computer (Osobní počítač)
UE5	Unreal Engine 5
UV	Texturovací mapa s rozměry U x V
VR	Virtuální realita
VR kit	Náhlavní souprava virtuální reality obsahující periferie





## Úvod

Cílem řešení, které je popsáno v této diplomové práci, je vytvořit plně interaktivní prostředí ve virtuální realitě pro simulaci pracoviště montáže, kde má uživatel možnost prohlédnout si jednotlivé součástky určené k montáži. Následně si může projít celý montážní proces s interakcí jednotlivých prvků virtuálního prostředí.

Takové prostředí pro simulaci montáže může sloužit pro školení zaměstnanců, seznámení se s výrobkem či montážním procesem výrobku, nebo může sloužit do jisté míry pro zhodnocení ergonomie rozvržení pracovního místa. Všechny tyto skutečnosti přispívají k šetření času při návrhu montážního pracoviště, kde je uživatel schopný rychle navrhovat různé varianty rozvržení montážního pracoviště před samotnou produkcí a ihned tyto varianty otestovat a zhodnotit přímo ve virtuální realitě.

Počátek této diplomové práce bude věnován rešerším přibližující problematiku montáže, kde jsou vysvětleny pojmy a dělení montáže. Následující kapitola se bude zabývat ergonomií, kde bude popsána platná legislativa České republiky a pojmy důležité pro správné nastavení montážního pracoviště. Závěr rešerší bude věnován virtuální realitě, kde budou vysvětleny důležité pojmy, včetně principu fungování virtuální reality, a dojde k seznámení se s některými nejpoužívanějšími náhlavními soupravami určenými pro vstup do virtuálního prostředí. Proběhne přiblížení historie virtuální reality a představení některých vývojových nástrojů pro vývoj aplikací určených pro virtuální realitu.

Následující část práce se bude zabývat kroky, které povedou ke tvorbě virtuálního prostředí pro simulaci montáže. Prvním krokem této části bude popis problematiky a samotné tvorby 3D modelů, které budou tvořit virtuální prostředí. Dalším krokem bude část věnovaná tvorbě textur a materiálů pro realistický vzhled modelů ve virtuálním prostředí. Třetím krokem bude inicializace programu Unreal Engine 5 pro použití s virtuální realitou, včetně popisu nahrání vytvořených modelů, textur, materiálů a popisu tvorby skriptů, které umožní interakci s prostředím. V rámci tohoto kroku bude také vytvořena montážní úloha pro potřeby ověření funkce virtuálního prostředí.

Závěrem práce bude vypracováno zhodnocení možných dosahů a pracovních pohybů ve virtuálním prostředí, které proběhne porovnáním se skutečným světem a zároveň s výstupy z programu Siemens Jack. Z tohoto porovnání bude ověřena funkcionálna a reálnost navrženého virtuálního prostředí.



# 1. Montáž

Jelikož navrhované virtuální prostředí bude sloužit pro simulaci montáže, je nutné si přiblížit pojmy a problematiku montáže.

Jedná se o soubor činností lidí či strojů, kde dochází ke zhotovení výrobku v určitém čase a určitých krocích z jiných jednotlivých součástí. Jedná se většinou o závěrečnou část výrobního procesu.

Montáž je ve výrobě důležitou fází, jelikož její kvalita výrazně ovlivňuje finální produkt, který i přesto, že je z kvalitních součástí, může být nekvalitně provedenou montáží znehodnocen. [1] [2]

## 1.1. Definice pojmů

Napříč kapitolou Montáže se budou objevovat následující pojmy:

- **Montážní proces** je podsystém výrobního systému, kde si klademe za cíl montáž výrobku
- **Montážní operace** je ukončená část montážního procesu, realizovaná během montáže výrobku či montážního celku jedním pracovníkem či skupinou pracovníků na jednom pracovišti bez změny montážního zařízení
- **Montážní úkon** je ukončená jednoduchá pracovní činnost pracovníka v montážním procesu nebo přípravě výrobku k montáži v rámci úseku
- **Montážní úsek** je část operace, která je vykonávána na jednom spoji jedním nástrojem
- **Montážní pohyb** je část pracovní činnosti v montážním procesu
- **Montážní pracovní poloha** je část operace prováděná při stejné poloze přípravku a prvku
- **Součástka** je část výrobku určená k montáži [1] [3]

## 1.2. Dělení montáže

Dle rozsahu, typu a formy výroby je určen způsob a organizaci montáže. Základním rozdělením je rozlišení na interní a externí montáž:

**Interní montáž** – jedná se o montáž prováděnou v rámci výrobního závodu, kde na jeho konci finální produkt opustí výrobní proces a produkt je způsobilý k přímému použití.

**Externí montáž** – jedná se o montáž, která je realizovaná mimo výrobní závod. Tento typ montáže se uplatňuje nejčastěji u velmi rozměrných součástí. V případě externí montáže se výhradně jedná o stacionární montáž. [1] [3]

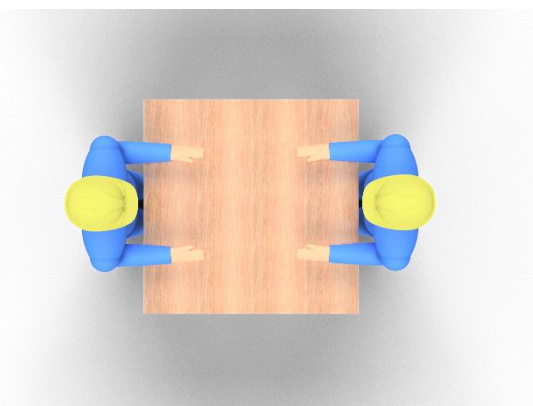
Dle montážních pohybů součástí se rozeznávají dvě organizační formy interní montáže:

**Stacionární** – jedná se o nepohyblivou formu montáže, při níž je realizace montáže na jednom místě a většinou se uplatňuje v kusové či malosériové výrobě. V rámci této montáže probíhá dělení dále na soustřednou, rozčleněnou a proudovou formu montáže.

**Nestacionární** – jedná se o pohyblivou formu montáže do níž spadá předmětná či linková forma montáže. Je vhodné jí uplatnit ve velkosériové a hromadné výrobě, kde je příhodné minimalizovat přecházení montážních pracovníků kolem výrobku. [1] [3]

### 1.2.1. Soustředná montáž

Na jednom nepohyblivém pracovišti dochází pracovníkem či skupinou pracovníků k montáži součástí viz Obr. 1. Typické využití je pro montáž rozměrných a těžkých součástí, kde není podrobný časový rozbor činností.

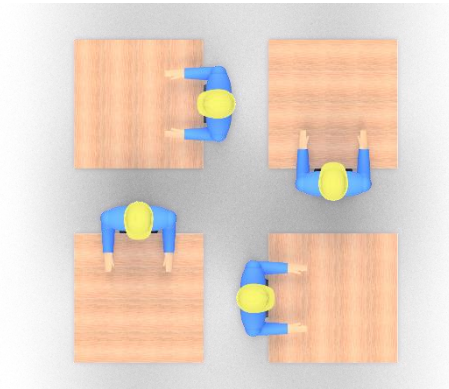


Obr. 1: Nákres soustředné montáže [1]

Nejčastější použití je v kusové či malosériové výrobě. Nevýhodou soustředné montáže je požadavek na kvalifikovanost pracovníků a nepravidelný průběh montáže. [1] [4]

### 1.2.2. Rozčleněná montáž

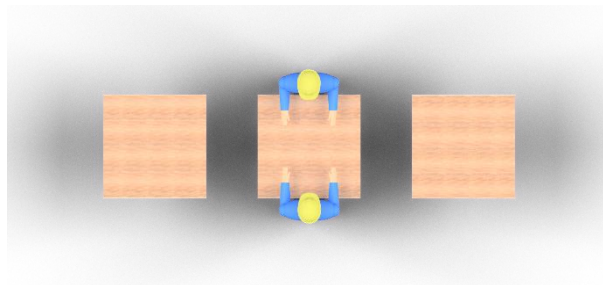
Uplatňuje se zde princip dělení operací, kde se daný výrobek montuje na několika stacionárních pracovištích zároveň, tak jak je zobrazeno na Obr. 2. Předpokladem k této formě montáže je možnost rozčlenění výrobku tak, že dojde k rozčlenění na jednotlivé montážní celky v souladu s montážním schématem. [1] [4]



Obr. 2: Nákres rozčleněné montáže [1]

### 1.2.3. Proudová montáž

U proudové montáže se montovaný výrobek pohybuje po několika stacionárních montážních pracovištích seřazených v řadě za sebou viz Obr. 3, kde se uplatňuje synchronizovanost dílčích pracovišť a každý dělník provádí určitou část montáže.

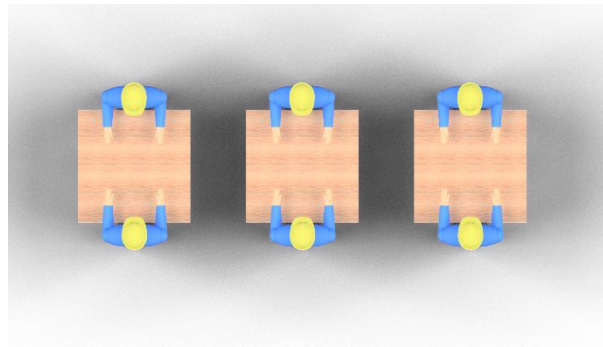


Obr. 3: Nákres proudové montáže [1]

U tohoto typu montáže se nejvíce uplatňuje vysoký stupeň automatizace, především díky synchronizovanému taktu dopravy. [1] [4]

### 1.2.4. Předmětná montáž

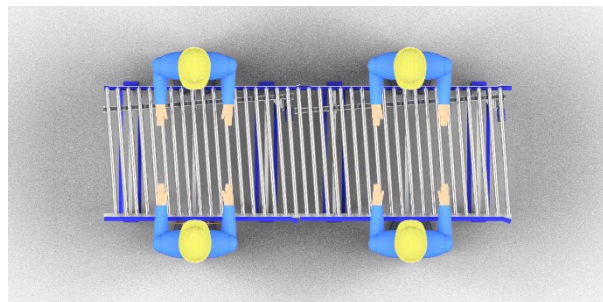
Pro tento typ montáže je charakteristický pohyb montovaného výrobku po stacionárních pracovištích, které jsou sestaveny v řadě za sebou, kde pracovníci vykonávají pouze určitou opakující se montážní operaci s volným taktem viz Obr. 4. Tento typ montáže je možné uplatnit v malosériové výrobě až po velkosériovou výrobu. [1] [4]



Obr. 4: Nákres předmětné montáže [1]

### 1.2.5. Linková montáž

U linkové montáže je pohyb montovaného výrobku nucený na rozdíl od předmětné montáže, jak je možné vidět na Obr. 5. Tento pohyb se odvíjí od taktu montážní linky a je tedy nutné dodržet přesný sled operací. Dle způsobu odběru montovaného výrobku můžeme organizaci dělit jako synchronizovanou a nesynchronizovanou. [1] [3] [4]



Obr. 5: Nákres linkové montáže [1]

## 1.3. Metody montáže

Metodou montáže určujeme i přesnost výroby celkového montážního celku. Přesnost bývá většinou předepsaná a lze ji zajistit některou z popsaných metod:

### 1.3.1. Metoda absolutní vyměnitelnosti

*„Umožňuje montáž všech součástí, které tvoří jednotlivé členy rozměrového řetězce, zhotovených v předepsaných rozměrech a tolerancích, bez předchozího výběru či přizpůsobení a plně zabezpečuje přesnost závěrného členu.“* [1] [5]

### 1.3.2. Metoda částečné vyměnitelnosti

U této metody předpokládáme, že požadované rozměry montované součásti se nacházejí ve střední oblasti tolerančního pole s rozdílnou četností výskytu. Je zřejmé, že pravděpodobnost vzájemného setkání extrémních rozměrů klesá se zvětšujícím se počtem členů v řetězci. Stejně jako předešlá metoda umožňuje montovat součásti bez předešlého výběru a přizpůsobení. [1] [3] [5]

### 1.3.3. Metoda výběrová

Metoda výběrová je užívána tehdy, je-li požadovaná vůle tak malá a přesah tak malý, že je z technologického hlediska obtížné dodržet tolerance hlavních rozměrů součástí. V tomto případě se součásti zhotovují s většími tolerancemi a předepsané přesnosti celku se dosahuje příslušným výběrem součástí, které umožňují hospodárně dosáhnout velmi přesných spojení. [1] [3] [5]

### 1.3.4. Metoda lícování

*„Této metody se využívá hlavně v těch případech, kdy funkční požadavky na mechanismus zaručí pouze taková přesnost, kterou není možné ekonomicky dosáhnout při dané úrovni výroby. Princip této metody je založen na tom, že součásti jsou vyrobeny s rozšířenými tolerancemi a přesnosti mechanismu se pak dosáhne dodatečným přilícováním jednoho z předem vybraných dílů nebo součástí, jako je například kompenzátor.“* [1] [5]

### 1.3.5. Metoda regulační

*„U této metody využíváme možnosti dosažení tolerance závěrného členu změnou polohy určeného členu rozměrového řetězce a vložením určitého počtu kompenzačních prvků do rozměrového řetězce.“* [1] [5]

## 1.4. Technická příprava montáže

Každá montáž vyžaduje technickou přípravu, která obsahuje pracovní podklady a časové rozborů operací. Podklady vycházejí z konstrukčních návrhů a většinou v rámci dokumentace technologie obsahují: [1] [3]

### 1.4.1. Montážní schéma

*„Jedná se o výchozí podklad pro zpracování technologického postupu montáže. Dává přehled o vzájemném spojení součástí a dle montážního schématu by mělo být patrné jaké součásti a v jakém pořadí mají být vzájemně spojovány a umístěny pro správnou organizaci montáže.“* [1]

### 1.4.2. Montážní postup

Obsahuje pořadí jednotlivých operací, popis postupu práce v jednotlivých operacích a také jaké nářadí, přípravky a pomůcky budou k vykonávání činností použity. Používá se také k zařazení práce a k normování časů jako je například jednotkový či dávkový čas. U sériové a hromadné výroby se zpracovávají montážní návodky, které obsahují podrobný popis montážních činností a jejich sled, technické parametry pro nářadí a pomůcky. [1] [3]



#### 1.4.3. Procesní list

Procesní list je dokument, který kumuluje výhody montážního postupu a montážního schématu. Jsou na něm znázorněny hlavní součásti a operace, které se na součásti provádějí. [1]

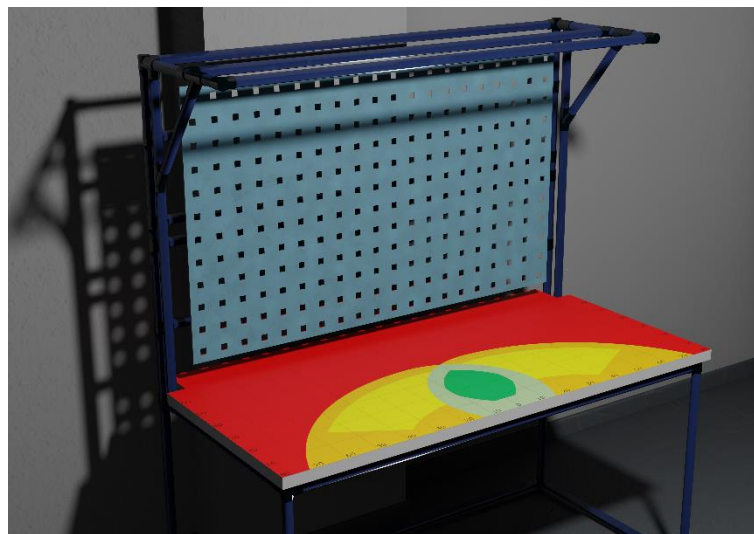
#### 1.4.4. Kusovník

Kusovník musí být součástí výrobní dokumentace, jelikož určuje, jaké součásti a jaké skupiny a v jakých množstvích jsou potřebné k zhotovení montážní jednotky. Každý kusovník by měl obsahovat číslo vyšší součásti, číslo nižší součásti, údaje o množství a pozici součástí. [1]

## 2. Ergonomie

Součástí cíle řešení virtuálního prostředí by mělo být i ergonomické zhodnocení virtuálního montážního pracoviště. Z tohoto důvodu bude vysvětlena problematika a legislativa ergonomie.

Z řeckého slova ergon (práce) a normos (zákon) byl odvozen název ergonomie. Jedná se o obor, který se zabývá optimalizací interakcemi mezi člověkem, prostředím a technikou. Cílem ergonomie je vytvořit bezpečné pracovní prostředí a pracovní pohodu. Návrh pracoviště dle ergonomických požadavků je nutný zejména z důvodu zlepšení fyzické i duševní námahy při výkonu práce a k prevenci zranění či nemocí z povolání, které mohou při výkonu práce nastat. [6]



Obr. 6: Ergonomie pracovního místa

Ergonomie je vědní obor, který využívá poznatky z věd psychologie, fyziologie a hygieny práce, které aplikuje k optimalizaci psychické a fyzické zátěže na člověka při pracovním nasazení, tedy tam, kde dochází ke spojení člověka s technikou a prostředím. To vede k pozitivnímu zlepšení pracovního prostředí a zvýšení produktivity člověka a v další řadě dochází ke zvýšení bezpečnosti celého pracoviště. K tomu využíváme antropocentrický přístup, který bere člověka jako střed systému a bere tedy v potaz limity lidského těla. Mezi oblasti, které ergonomie řeší, spadají například i rozměrové, tvarové a hmotnostní požadavky pro nástroje, nářadí a jiné pracovní pomůcky, ale i limity hmotnosti při manipulaci s břemeny nebo rozvržení pracovního místa a jeho vybavení nebo dobu, po kterou člověk práci vykonává. Mezinárodně je ergonomie koordinována „Mezinárodní ergonomickou asociací“, která v České republice má vlastní ekvivalentu v podobě „České ergonomické společnosti“. [6] [7]



## 2.1. Legislativa

V České republice existují zákony, vyhlášky, normy a další právní ustanovení, upravující návrh pracoviště, které jsou uvedeny v Tab. 1, dle kterých by měl návrh takového pracoviště probíhat.

Tab. 1: Legislativa v ergonomii [8] [9]

<b>Vyhláška č.432/2003 Sb.</b>	Stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií, dle měření rizikových faktorů
<b>Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.</b>	Stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci
<b>Zákon č. 309/2006 Sb.</b>	Upravuje požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a mimo ně.
<b>Norma ČSN EN ISO 6385</b>	Ergonomické zásady navrhování pracovních systémů
<b>Norma ČSN EN 1005-1</b>	Fyzická výkonnost člověka
<b>Norma ČSN EN ISO 14738</b>	Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení
<b>Norma ČSN EN ISO 7250-1</b>	Základní rozměry lidského těla pro technologické plánování
<b>Norma ČSN 01 2725</b>	Směrnice pro barevnou úpravu pracovního prostředí

## 2.2. Ergatika

Výrazem ergatika je myšlen ergonomický systém člověka, techniky a prostředí, kde se neřeší pouze samotná ergonomie, ale i například hygiena, bezpečnost, organizace a technická estetika práce zároveň v rámci jednoho komplexního systému, kde se různé obory řešení překrývají. „Kupříkladu otázka hluku stroje se řeší jak v bezpečnosti stroje, tak v hygieně, ergonomii i ekologii.“[4] Existuje tedy koeficient určující ergetičnost systému, který má interval (0, 1), kde hodnotu 0 označujeme jako nízkou ergetičnost a jedná se tak o pro člověka nebezpečný systém a naopak hodnota 1 značí vysokou ergetičnost, ve které jsou splněny všechny bezpečnosti, hygienické, ergonomické a estetické požadavky. [6]

## 2.3. Ergonomie pracovního místa

Při výkonu práce je důležité, aby pracovní prostředí vyhovovalo potřebám pracovníka, který danou činnost vykonává. V rámci návrhu pracoviště se tedy nesmí opomenout několik zásadních faktorů, mezi které patří vybavení pracoviště, pracovní prostor, časová vytiženost pracovníka, organizace pracoviště a druhy pracovních činností. Všechny tyto faktory musíme zohlednit při návrhu pracoviště, aby se co nejvíce minimalizovaly rušivé elementy a byl tak zaručen určitý komfort a byly splněny potřeby pracovníka během pracovního výkonu. [7] [10] [11]

### 2.3.1. Pracovní poloha

Pracovní polohu většinou určuje povaha pracovní činnosti, která je pracovníkem vykonávána. Jedná se o polohu lidského těla při práci. Doporučené pracovní polohy popisují základní polohy těla, jako je sed a stoj, kde je zajištěna stabilita těla a dlouhodobě se nezatěžuje muskuloskeletální systém. Dlouhodobé používání jiných než doporučených poloh, jako například klek, předklon, leh a dřep, obecně vede k plýtvání energie a potencionálně se zvyšuje riziko zranění. [6] [7] [10]

*„Z fyziologického hlediska je výhodnější sed, především proto, že je energeticky méně náročný a dolní končetiny nejsou trvale zatíženy. Přesto i stoj má své výhody, mezi které patří například možnost střídání poloh a větší dosah končetin nebo větší bdělost. Nicméně nevýhody převyšují nad výhodami, a proto se při návrhu pracoviště snažíme, aby pracovník vykonával nejčastěji činnost v sedě.“* [6]

### 2.3.2. Pracovní rovina

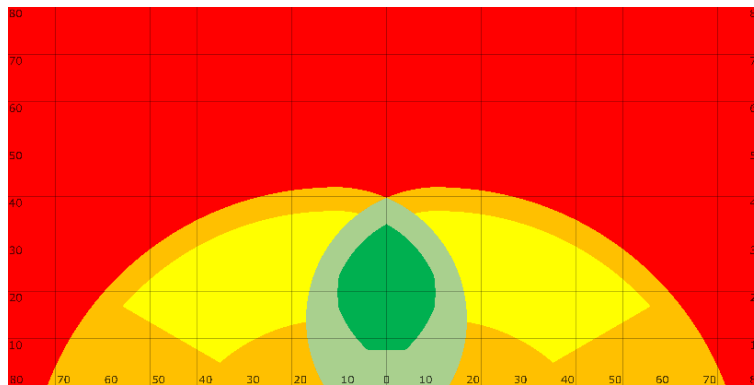
Pracovní rovina by měla být navržena tak, aby odpovídala charakteru na ní vykonávaných prací, pracovnímu prostředí a samotnému pracovníkovi, který bude dané činnosti vykonávat. Přední strana stolů musí mít zabolený okraj a povrch stolu musí být matný, snadno čistitelný a mít takový nátěr, který zabraňuje nasákavosti vody. Svými rozměry a tvarem musí odpovídat tělesným proporcím pracovníka, který u něj bude pracovat. Obecně by výška pracovní roviny při vykonávané práci měla být 5 – 10 cm pod úroveň loktů a pro manuální práce 10 – 15 cm pod úroveň loktů. Pro snížení zrakové náročnosti při manipulaci s drobnými předměty je možné pracovní rovinu zvýšit a pro práci s těžkými břemeny z důvodu správného držení těla rovinu snížit. Příklad doporučené výšky pracovní roviny v sedě jsou uvedeny v Tab. 2. [6] [7] [10]

Tab. 2: Doporučené výšky pracovní roviny pro sed [7]

Výška pracovníka	Doporučená výška pracovní roviny
155 cm	60 cm
170 cm	65 cm
185 cm	70 cm

### 2.3.3. Pracovní pohyby

Systematiku pracovních pohybů je nutno nastavit tak, aby nedocházelo k přetěžování používaných svalových skupin. Správně zregulovanými pohyby zamezíme zvýšené únavě a tím zvýšíme efektivitu práce. Pokud při práci používáme současně obě končetiny je nezbytné zajistit jejich rovnoměrné zatížení. Toho docílíme ergonomickým rozvržením pracovního místa tak, aby při práci vsedě ruce dosahovaly do určitých vzdáleností a výšky, aby nedocházelo k přetěžování konkrétních svalových skupin. Optimální výška pracovní roviny nad sedákem je u mužů 22 až 31 cm a u žen 21 až 30 cm. Výška a dosah rukou musí být nastaveny podle skutečných fyziologických možností pracovníka. Při vykonávání pracovní činnosti nesmí docházet k narážení horních končetin do okolních předmětů nebo jinak zvyšovat riziko mechanického poškození součástí. Při špatně nastavených pohybech může docházet k překážení druhé končetiny ve výkonu pohybu. Veškeré tyto skutečnosti odvádí pracovníka od práce a snižují efektivitu. Pracovní pohyby mají být rytmické, plynulé, prováděné ve fyziologické rychlosti po přímých křivkách. Není pravdou, že by pohyby měly mít vždy nejkratší dráhu. Při změnách směru a rychlosti musí být také zachována plynulost. Pokud pracuje více zaměstnanců současně, je zapotřebí realizovat pohyby tak, aby si navzájem nepřekáželi. Podle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., musí být pro jednoho pracovníka v prostoru určeném pro trvalou práci volná podlahová plocha nejméně 2 m<sup>2</sup>, mimo stabilní provozní zařízení a spojovací cesty. Šíře volné plochy pro pohyb nesmí být stabilním zařízením v žádném místě zúžena pod 1 metr. [6] [7] [10] [11]



Obr. 7: Rozsah horních končetin

### 2.3.4. Vybavení pracoviště

Vybavení pracoviště vychází z druhu práce, a i z poznatků, že účelné, efektivní a ergonomické vybavení ovlivňuje chování, pocity a pracovní výkon člověka. Jedním ze základních vybavení jsou ovladače a sdělovače. Pracovník pomocí ovladače ovládá danou techniku. Ovladače rozlišujeme na ruční (ovládání oběma rukama, rukou, prstem, více prsty) a nožní. Lze je také dělit i dle poloh na plynule nastavitelné, vícepólové a dvoupólové. Vhodně umístěné ovladače odpovídají správným pohybovým a silovým možnostem pracovníka. Sdělovače jsou zařízení, která informují pracovníka

o průběhu výroby, chodu stroje nebo o sledovaných parametrech. Podle způsobu sdělování je dělíme na vizuální, akustické nebo dotykové. Také podle informací, které sdělovače poskytují, se dělí na kvantitativní (teploměry, otáčkoměry) a kvalitativní (stručné informace a signály). Jestliže vybavujeme pracoviště nářadím, raději zvolíme ergonomické nářadí (př. elektrické šroubováky). [11]



Obr. 8: Vybavení pracoviště

Ergonomické ruční nářadí pomáhá provést stejnou práci s vynaložením menší síly, menším tlakem a třením působícím na šlachy a klouby. U ručního nářadí je vhodné použití nástrojů s mírně odkloněnou rukojetí. Pozornost bychom měli zaměřit na těžiště nástroje, které by mělo být co nejbližší místu úchopu. Při výběru ručního nářadí je dobré se také držet základních atributů dobré rukojeti. Dobře uchopitelná celou rukou, dostatečně dlouhá a široká, netvarovaná pro úchop vzhledem k různé velikosti rukou pracovníků, měkkčený povrch zamezující otlaky, povrch zabraňující přenosu tepla i chladu a vibrací. [7] [10]

## 2.1. Normování lidské práce

Užitečný nástroj pro analýzu a optimalizaci ergonomických podmínek je normování lidské práce, které stanovuje objem lidské práce při výkonu pracovní činnosti. Tento nástroj bereme jako součást ergatiky. Výhodou normování objemu práce je použití pro optimalizaci plánování výroby, a tedy i ke stanovení počtu pracovníků pro dílčí činnosti. Díky tomu můžeme provádět časové řízení práce a mít kontrolu nad objemem vykonávané práce.

### 2.1.1. Dělení časů

V rámci normování objemu práce je užíván rozbor dějů a čerpání času pracovníkem. Tyto časy jsou rozlišovány tak, jak je uvedeno v Tab. 3. [6]

Tab. 3: Dělení časů [6]

Časy nutné	Souhrn různých druhů spotřeby času pracovníka za směnu, který je nezbytný pro splnění pracovního úkolu
Časy zbytečné	Všechny časy za směnu, které jsou pro splnění pracovního úkolu nepotřebné.
Časy práce	Doba, kdy pracovník vykonává pracovní úkoly nutné pro splnění pracovního úkolu.
Časy přestávek	Obecně nutné přestávky vyplývají z fyziologických potřeb pracovníka a zákonných ustanovení
Časy jednotkové	Doba, která se vztahuje k jednotce produkce, a proto jeho spotřeba roste úměrně s množstvím zpracovaných jednotek
Časy dávkové	Doba, vztahující se k jedné výrobní dávce a není závislá na její velikosti
Časy směnové	Doba, vztahující se k celé pracovní směně
Časy pravidelné	Čas dějů, které se v určitém množství jednotek, dávek nebo směn opakují pravidelně
Časy nepravidelné	Čas dějů, které se vyskytují nepravidelně, např.: opravy a vady u součástí

### 3. Virtuální realita

Vzhledem k tomu, že do navrhovaného prostředí bude vstupováno pomocí virtuální reality, je nutné se seznámit s principem fungování virtuální reality, s jejími typy, historií, náhlavními soupravami a s používaným i vývojovým softwarem.

Virtuální realita je termín používaný ve spojení s počítačem generovaným prostředím, kde jsou nahrazeny reálné vizuální, zvukové, haptické a jiné vjemy reálného světa těmi uměle vytvořenými. Takové generované prostředí může být kopie reálného světa anebo zcela smyšlené. Ke vstupu do tohoto simulovaného prostředí je využito většinou stereoskopické náhlavní sestavy s displeji, která se označuje jako HMD neboli „head-mounted display“ (náhlavní souprava s displejem) a k interakci s objekty se používá pohybových ovladačů připevněných k dlani s akcelerometry. Takové sestavě se poté říká VR kit, tedy náhlavní souprava, která navíc obsahuje ještě základny s IR, infračervenými, kamerami, pro snímání pohybu těchto zařízení v základnami vymezeném prostoru a pohybové ovladače. V takovém virtuálním prostředí můžeme interagovat s věcmi uvnitř trojrozměrného prostoru tak, jako v realitě a simulovat různé scénáře, kde na rozdíl od klasické simulace na počítači s klasickou obrazovkou je člověk více ponořen do virtuálního světa a veškeré jeho interakce jsou více reálné a pohlcující, jelikož k pohybu se již dále nevyužívá myš a klávesnice, ale snímání polohy náhlavního headsetu (náhlavní soupravy) a páru ovladačů simulující pohyb rukou, který v klasické simulaci buď zcela chybí, nebo je zaveden pouze možností zvednout předmět pomocí tlačítka na klávesnici. Velkou výhodou virtuální reality je, že vytváří bezpečné prostředí, kde můžeme simulovat scénáře pro posouzení rizik v různých událostech, které se blíží reálnému světu bez toho, aniž bychom tyto rizika reálně podstupovali. [12]

Virtuální realita se dá rozdělit do tří hlavních kategorií:

**Neimersivní pasivní virtuální realita** je kategorie, která není často označovaná za virtuální realitu a jedná se o běžnou formu, se kterou se setkáváme na denní bázi, jelikož do ní spadá již například hraní videoher či sledování filmu. Uživatel si uvědomuje své fyzické okolí, je schopný pomocí počítače či obrazovky interagovat s tím, co se děje uvnitř simulace, ale simulace již neinteraguje s uživatelem. [13]

**Semi-imersivní aktivní virtuální realita** je typ simulace, kde se více odprošťujeme od fyzického okolí a více se vnořujeme do virtuálního prostředí. V tomto směru jde již o netypický zážitek či interakci, jelikož většinou využíváme rozšířených periférií. Příkladem aktivní virtuální reality je například letecký simulátor pro výcvik pilotů, kde fyzický kokpit simulátoru je přesná replika letounu, včetně ovládacích prvků a obrazovek. Takový systém může obsahovat i pohybovou simulaci, kde se o pohyb konstrukce stará několik paralelních robotů. Na místo průzorů v kokpitu jsou umístěny displeje,



kteřé poskytují obraz simulace. Pro člověka už může být složitější uvědomit si své fyzické okolí, jelikož dostáváme zpětnou vazbu v podobě pohybu, zvukových signálů či obrazu, který netvoří jen obrazovky, ale i samotné prostředí simulátoru. [13]

**Plně imersivní interaktivní virtuální realita** je nejvyšší stupeň virtuální reality, který tvoří největší ponoření do virtuálního světa, především díky přenesení všech lidských vjemů a smyslů do virtuálního prostředí. V takovém případě se dá hovořit o tom, že je člověk fyzicky přítomný ve virtuální realitě. K docílení takového efektu je však nutné použití speciálního vybavení jako je HMD, detektory pohybu těla a případně také rukavic simulujících dotyk. Příkladem může být herní aplikace VRChat, kde pomocí výše zmíněných zařízení můžeme simulovat virtuální svět, se kterým můžeme interagovat, dotýkat se předmětů, komunikovat a socializovat se s ostatními hráči. V dnešní době, pokud se řekne pojem virtuální realita, myslí se právě jeho nejvyšší, a tedy interaktivní stupeň. [13]

### 3.1 Princip fungování VR

Základem virtuální reality je stereoskopická náhlavní sestava, někdy také označovaná jako virtuální brýle. Pokud náhlavní souprava umožňuje sledování polohy brýlí, většinou se využívá dvou způsobů, dle výrobce:

**Konvenční snímání polohy** – využívá externích zařízení, většinou infračervených kamer nebo LiDAR senzorů v základních stanicích, pro snímání polohy. Tyto kamery či senzory sledují pohyb náhlavní soupravy, která má na sobě několik IR zářičů nebo bodů a dokáže vyhodnotit, kde se dané zařízení nachází vzhledem k poloze kamer. Jde o více přesné snímání polohy, ale klade větší nároky na velikost prostoru. [14]

**Sledování naruby** – využívá kamer pro sledování polohy, ty ale již nejsou ve stanicích, jelikož tato metoda stanice nevyužívá, ale přímo v náhlavní sestavě. Ta skenuje okolí a vytváří model a referenční body, tyto body se snaží nasadit do toho, co kamera vidí a odvozuje z toho pohyb soupravy. Oproti konvenčnímu snímání, díky přítomnosti kamer přímo na soupravě, jsme schopni provozovat na takových soupravách i rozšířenou realitou. Jedná se však o méně přesné sledování polohy. [14]

Pro interakci s objekty se u základnějších VR sestav používá ovladač herní konzole nebo klávesnice a myš. Většina moderních VR sestav však využívá pohybové ovladače, které simulují pohyb rukou. Pomocí těchto ovladačů pak můžeme pokročile interagovat s virtuálním světem.

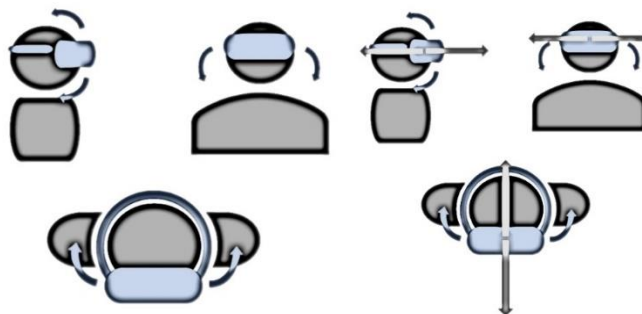
### 3.1.1. Popis HMD

Náhlavní souprava nebo-li HMD obsahuje dvojici čoček a jeden displej či dvojici displejů. Displeje bývají často OLED technologie, kvůli nízké odezvě pixelů, a aby nedocházelo k závratím, je obnovovací frekvence pixelů nastavená alespoň na 90 snímků za sekundu. Pro větší plynulost obrazu mají lepší soupravy standardem 120 snímků za sekundu. Obraz generovaný displeji je promítaný přes čočky, které tvoří dojem hloubky a periferního vidění pro uživatele. Navozují tak dojem, že jsme obklopeni virtuálním světem. Novější soupravy obsahují sluchátka, která se starají o stereofonní zvuk. [12]

Soupravy pro virtuální realitu rozlišujeme na dvě kategorie:

**Mobile** – Jedná se o samostatnou sestavu, která nepotřebuje připojení k PC a obvykle je omezená třemi stupni volnosti, na Obr. 9 vlevo. U souprav využívající chytrý telefon je použito inerciální měřící jednotky, často také označované jako IMU. Ta využívá gyroskop, akcelerometr a magnetometr pro detekci rotací headsetu. Nedokáže však snímat polohu a její výkon je určen výkonem mobilního zařízení. Taková sestava je pro použití ve virtuální realitě značně omezena. [12] [15]

**Desktop** – Sestavy určené pro desktop potřebují PC, kde dochází ke generování obsahu. Pro detekci rotací používají vlastní interní IMU jednotku a k detekci polohy používají technologie zmíněné v kapitole 3.1. Snímají tedy nejen rotaci, ale také i polohu headsetu, tak jak je znázorněno na Obr. 9. [12] [15]



Obr. 9: Snímání polohy a rotací headsetu [15]



### 3.1.2. Popis pohybových ovladačů

Většina VR ovladačů má typicky set tlačítek, analogovou spoušť a plochu či joystick pro jemné pohyby palcem viz Obr. 10. Některé sestavy obsahují pohybové ovladače, které jsou schopné sledovat pozici všech prstů. Pro sledování polohy využívají stejných technologií jako náhlavní souprava. Disponují Bluetooth či jiným proprietárním protokolem ke komunikaci s PC. Využívají se výhradně ve spojení s desktop kategorií. [16]



Obr. 10: Detail ovládacích prvků pohybového ovladače [17]

### 3.1.3. Popis základních stanic

Jedná se o stanice využívající IR kamery či LiDAR senzory, které snímají polohu VR zařízení. Většinou se používá set dvou stanic, ale pokročilejší sestavy dovolují až čtyři stanice. Tyto stanice vymezují prostor, ve kterém se uživatel může volně hýbat bez nutnosti jiného typu přesunu, tak jak je znázorněno na Obr. 11. [16]



Obr. 11: Schéma rozmístění stanic [17]

### 3.1.4. Problematika

Hlavním problémem virtuální reality jsou její vysoké nároky na výpočetní výkon. Oproti klasickému FullHD rozlišení na PC disponují HMD vysokým rozlišením, které je často dvojnásobek FullHD rozlišení, a navíc generovaný obraz musí být často vykreslený ještě ve vyšším rozlišení, kvůli korekci zkreslení čoček. Počítač musí navíc pro každé oko zvlášť vykreslovat dvě různé scény, což přispívá k větší náročnosti na grafický hardware PC. Všechny tyto skutečnosti musí počítač zvládnout tak, aby udržel rozmezí 90 až 120 snímků za sekundu, tedy obnovovací frekvenci náhlavní soupravy. [18]

Dalším problémem bývá často „VR nevolnost“, což je termín, který si osvojili hráči a vývojáři pro popis různých obtíží způsobených užíváním VR headsetu. Představuje nevolnost, závratě a dezorientaci a řadu dalších příznaků souvisejících s pohybovou nevolností, které jsou běžné pro mnoho uživatelů virtuální reality a mohou být umocněny či zhoršeny povahou obsahu virtuální reality. Příkladem může být pohyb ve virtuální realitě, kde nám oči mozku říkají, že se pohybujeme, ale ve skutečnosti sedíme na židli a nehýbeme se. [18] [19]

## 3.2. Historie

Chronologicky nejdůležitější jednotlivé výtvořby či koncepty, které přispěly k dnešní virtuální realitě, jsou:

**Senzorama Heilig 1957** – Obří nepohodlné stereoskopické kino viz Obr. 12 pro sledování filmů, které stimulovalo všechny smysly, mimo čich. Nedokonalé technologie té doby neumožňovaly funkční VR.



Obr. 12: Heilig Sensorama [20]

**Telesphere Heilig 1960** – Zmenšená verze produktu Sensorama, která stimulovala pouze zrakové a sluchové vjemy. Jedná se o první HMD soupravu té doby, avšak stále neinteraktivní.

**Sword of Damocles 1968** – Výtvar Ivana Sutherlanda posouvá dál koncept HMD, jedná se o první VR připojené k počítači, je ale tak těžké, že musí být zavěšeno ze stropu, proto název Damoklův meč. Využívá velmi primitivní grafické zobrazení té doby.

**Sega VR 1993** – Firma Sega vytváří pro svojí herní konzoli Genesis prototyp VR, který využívá HMD se sledováním polohy. Prototyp byl velmi podobný dnešním VR headsetům, avšak kvůli nízkému počtu obsahu a vysoké ceně se komerčně neuchytil.

**Oculus Rift 2012** – V roce 2011 byla založena společnost Oculus s myšlenkou vytvořit náhlavní soupravu pro virtuální realitu, kterou lze pořídit za nízkou částkou a nabízela by široké propojení s většinou her. V roce 2012 po úspěšné kampani na Kickstarteru přichází s prvním funkčním konceptem. V roce 2015 firma vydává finální verzi Oculus Rift, přináší tak koncept virtuální reality, který známe dnes a ze kterého vycházejí všechny nejnovější headsety.

**Google Cardboard 2014** – Firma Google (dnes již Alphabet) vytváří produkt Cardboard ve snaze zpopularizovat a nabídnout všem v omezené míře VR zážitek. Jedná se o kartonový výřezek s čočkami viz Obr. 13, do kterého si člověk vloží svůj chytrý telefon jako zobrazovací a pohybové zařízení, využívající displej a akcelerometry telefonu. Hlavní oblast využití našel produkt Cardboard ve sledování filmů.



Obr. 13: Brýle Google Cardboard [21]

**HTC Vive 2015** – Firma HTC ve spolupráci s firmou Valve vyrábí svůj herní headset pro virtuální realitu, který je rozšířen navíc od ostatních konceptů o pohybové ovladače, umožňující simulovaný pohyb rukou ve virtuálním prostředí. Dalším prvkem navíc jsou IR stanice pro sledování pohybu zařízení. [12] [20]

### 3.3. Oblasti využití

Virtuální realita najde své uplatnění i v mnoha jiných odvětvích z oblasti průmyslu, kde se využívá především pro své bezpečné prostředí a možnost rychle prototypovat různé scénáře. [12]

#### 3.3.1. Strojírenství

Virtuální realita je vhodná pro strojírenství zejména z hlediska návrhu nových produktů, či výrobních linek a hal. Je tak možné testovat různé funkce výrobků před produkcí, bez nutnosti vytvářet reálný a nákladný prototyp. V oblasti automotive je tak možné vyzkoušet ergonomii vozu před produkcí, celkový dojem interiéru nebo návrh výrobní linky pro montáž vozidla. V jiných odvětvích je možné velmi rychle a efektivně navrhovat, procházet výrobní linky, sledovat a vyhodnocovat možná rizika, která by jinak nebyla vidět. [12]

#### 3.3.2. Architektura

Nejčastější uplatnění v oblasti architektury virtuální realita nalézá v potřebě představit si prostorové věci a skutečnosti v prostředí, které zatím neexistuje. Umožňuje tak uživateli projít si navrhnutý dům, který zatím nestojí anebo navrhnutou vybavení domu před samotnou stavbou domu. Umožňuje tedy uživateli nejen si představit navrhovanou budovu, ale zjistit a pochopit, jak budova na nás působí. V oblasti architektury z hlediska marketingu je možné také využití pro potenciálního zákazníka, který si tak může prohlédnout během chvilky několik různých interiérů či budov. [22]

#### 3.3.3. Trénování zaměstnanců

Pravděpodobně největší uplatnění nachází virtuální realita v trénování zaměstnanců či školení především tam, kde je běžné reálné školení velice nákladné a nepraktické. Příkladem může být trénink nových svářečů pro osvojení zručnosti s nástroji či školení zaměstnanců pro montáž nového výrobku. Zajímavé je také použití virtuální reality pro školení obsluhy těžké techniky, například na stavbě. Výhodou je, že nepotřebujeme reálné vybavení a můžeme velmi rychle měnit celé prostředí či nástroje bez nutnosti tyto nástroje opravdu vlastnit. Nehrozí ani riziko úrazu či nehody. [22]

#### 3.3.4. Zábavní průmysl

Virtuální realita se v zábavním průmyslu využívá nejčastěji k hraní her, sledování filmů či k navození nějakého nevšedního zážitku. V případě filmu se virtuální realita snaží o navození dojmu, že jsme v kině a film sledujeme na obrovském plátně. Dále také můžeme sledovat panoramatické video a prohlížet si tak filmovanou scénu ze všech úhlů. V oblasti her se VR snaží o navození dojmu, že jsme středem událostí. Jedná se tedy o hry z pohledu první osoby, kde již neovládáme postavu, ale spíše jsme postavou ve hře. [22]

## 3.4. Přehled HMD zařízení

Náhlavní sestavy jsou nedílnou součástí dnešní virtuální reality a jsou tak pro vstup do virtuálního prostředí nezbytné. V této kapitole budou popsány nejpoužívanější náhlavní sestavy z řad kategorie desktop i mobile. [12]

### 3.4.1. Oculus Quest 2

Nejrozšířenější produkt firmy Oculus (dnes již Meta) nepotřebuje připojení k počítači. Headset je tak schopný pracovat jako mobile nebo jako desktop verze. Využívá technologii sledování naruby pro snímání polohy a tedy má 6 stupňů volnosti. Headset využívá externích sluchátek. Pohybové ovladače s joystickem, které můžeme vidět na Obr. 14, jsou součástí balení. Další specifikace jsou uvedeny v Tab. 4. [23]

Tab. 4: Specifikace Oculus Quest 2 [23]

Obnovovací frekvence:	90 Hz
Rozlišení na jedno oko	1832 x 1920 pixelů
Celkové rozlišení	3664 x 1920 pixelů
Připojení	USB-C, Wi-Fi



Obr. 14: Oculus Quest 2 [23]

### 3.4.2. HTC Vive Pro 2

Aktuální headset vyráběný firmou HTC. Jedná se o desktop kategorii náhlavního headsetu. Využívá konvenčního způsobu sledování polohy, má 6 stupňů volnosti. Součástí headsetu jsou sluchátka. Součástí balení jsou stanice pro sledování pohybu a pohybové ovladače viz Obr. 15. Další specifikace jsou uvedeny v Tab. 5. [24]

Tab. 5: Specifikace HTC Vive Pro 2 [24]

Obnovovací frekvence:	120 Hz
Rozlišení na jedno oko	2448 x 2448 pixelů
Celkové rozlišení	4896 x 2448 pixelů
Připojení	USB-C, Display Port, Bluetooth



Obr. 15: HTC Vive Pro 2 [24]

### 3.4.3. Valve Index

VR kit vyráběný firmou Valve využívá desktop kategorii headsetu a LiDAR stanice pro sledování polohy zařízení. Disponuje tedy 6 stupni volnosti. Obsahuje interní sluchátka. Součástí balení jsou stanice a pohybové ovladače viz Obr. 16, které se od konkurence liší tím, že snímají polohu všech prstů na ruce, headset umožňuje obnovovací frekvenci pixelů až 144 Hz a zorné pole je 130° místo standardních 120°. Další specifikace jsou uvedeny v Tab. 6. [17]

Tab. 6: Specifikace Valve Index [17]

Obnovovací frekvence:	144 Hz
Rozlišení na jedno oko	1600 x 1440 pixelů
Celkové rozlišení	3200 x 1440 pixelů
Připojení	USB-C, Display Port, Bluetooth



Obr. 16: Valve Index [17]

#### 3.4.4. PlayStation VR

PlayStation VR je headset vyráběný firmou Sony. Jedná se sice o desktop kategorii, ta ale nevyžaduje počítač, ale herní konzoli PlayStation 4/5. Určení tohoto headsetu je tedy čistě herní a jeho využití je tedy značně omezené. Disponuje konvenční metodou snímání polohy. Obsahuje interní sluchátka a speciální pohybové ovladače, tak jako na Obr. 17. Další specifikace produktu jsou uvedeny v Tab. 7. [25]

Tab. 7: Specifikace PlayStation VR [25]

Obnovovací frekvence:	120 Hz
Rozlišení na jedno oko	960 x 1080 pixelů
Celkové rozlišení	1920 x 1080 pixelů
Připojení	USB-A, HDMI



Obr. 17: PlayStation VR [25]



### 3.4.5. Pimax Vision 8K

Brýle od firmy Pimax na Obr. 18 se snaží posunout virtuální realitu na novou úroveň s headsetem, který má nekompromisní specifikace, avšak s tím přináší limitace v podobě nároků na výpočetní výkon. Je tedy značně omezené použití tohoto headsetu na náročnější virtuální prostředí. Headset disponuje obřím zorným polem 200°. Využívá konvenční metody snímání pohybu, avšak balení neobsahuje ani pohybové ovladače ani snímací stanice. Jedná se o desktop kategorii produktu. Obsahuje interní sluchátka. Bližší specifikace produktu jsou uvedeny v Tab. 8. [26]

Tab. 8: Specifikace Pimax Vision 8K [26]

Obnovovací frekvence:	90 Hz
Rozlišení na jedno oko	3840 x 2160 pixelů
Celkové rozlišení	7680 x 2160 pixelů
Připojení	USB-C, Bluetooth



Obr. 18: Pimax Vision 8K [26]

### 3.4.6. Samsung Gear

Brýle pro virtuální realitu od firmy Samsung na Obr. 19 využívající chytrý telefon, který se vloží do brýlí a slouží jako obrazovka a jednotka pro měření rotací. Specifikace jsou tedy stejné, jakými disponuje mobilní telefon. Jsou kompatibilní s celou řadou chytrých telefonů značky Samsung. Jedná se o mobile kategorii brýlí, která není schopná sledovat polohu. Jejich použití je tedy omezeno. Specifikace produktu jsou uvedeny v Tab. 9. [27]

Tab. 9: Specifikace Samsung Gear VR [27]

Obnovovací frekvence:	60 Hz
Rozlišení na jedno oko	Záleží na použitém telefonu
Celkové rozlišení	Záleží na použitém telefonu
Připojení	Bluetooth, Wifi



Obr. 19: Samsung Gear VR [27]

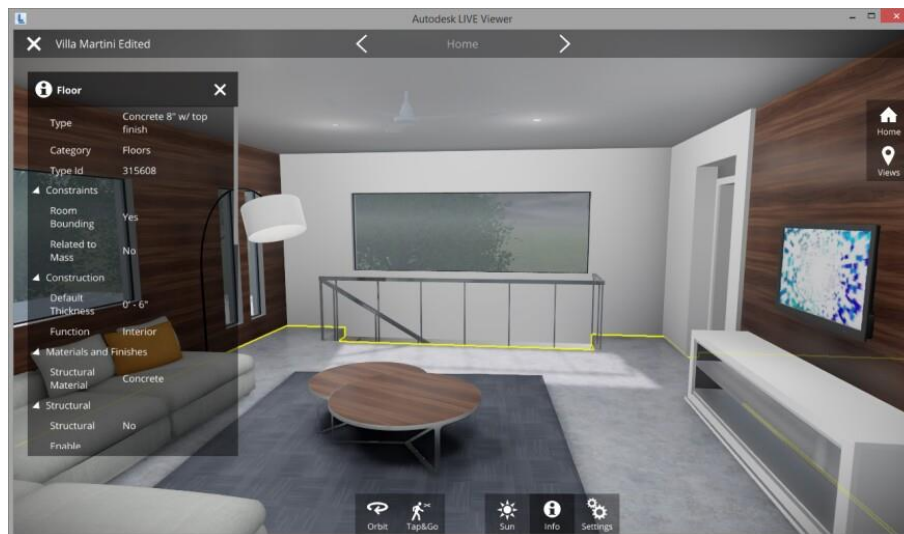
### 3.5. Příklad software využívající VR

V dnešní době existuje mnoho softwaru, využívající virtuální realitu pro vizualizaci i pro interakci s objekty nebo rovnou simulaci celého 3D prostředí. Vyjma nespočtu herních aplikací existují i aplikace pro průmyslové využití a jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3, většina daných odvětví má svoje specifické aplikace. Některé z těchto aplikací se snaží pouze o vizualizaci a nabídnout uživateli pohled na před produkční výrobek či stavbu nebo mají snahu poskytnout určitou úroveň interakce s objekty například pro školení pracovníků. Mezi tyto programy patří například:

**Autodesk Inventor CAD-to-VR** - Jedná se o aplikaci ve webovém prohlížeči umožňující prohlížení CAD souborů z programu Inventor ve virtuální realitě. [28]

**Autodesk CIVIL 3D** – Aplikace pro civilní inženýrství s možností spuštění a procházení scén ve virtuální realitě. [28]

**Autodesk Revit 2023** – Aplikace určená pro stavební inženýrství a architekturu. Umožňuje procházet nahrané 3D CAD modely ve virtuální realitě viz Obr. 20 [28]



Obr. 20: LIVE view aplikace Autodesk Revit 2023 [28]

**Simlab Composer** – Aplikace určená pro zobrazování CAD modelů, se kterými je možné v omezené míře hýbat v prostoru a interagovat. [29]

**Ford FIVE** – Simulátor pro testování chování a celkového dojmu vozů Ford. Poskytuje režim pro testování vozu ve více lidech. [30]

**Unreal Engine 4/5** – Herní engine umožňující vizualizaci či interakci prvků pro tvorbu her, filmů, vizuálů a ověření konceptů. [31]

## 3.6. Vývojové nástroje pro VR

V dnešní době existuje několik nástrojů a technik, které se dají použít k vytvoření virtuálního prostředí. Kromě klasických metod užívaných v softwarovém inženýrství máme k dispozici specifické nástroje, které usnadňují tvorbu obsahu a bez kterých se často pro potřeby vývoje virtuálního prostředí neobejdeme. Jak je znázorněno na Obr. 21, počátkem vývoje virtuálního prostředí je návrh, ve kterém by mělo být ujasněno, pro jaký typ náhlavní soupravy a pro jakou platformu bude virtuální prostředí vyvíjeno. Dále je nutné se zaměřit na tvorbu 3D modelů, tedy objektů, které budou ve virtuálním prostředí potřeba a jejich texturováním a následným importem do vybraného herního engine. V herním engine je možné pomocí skriptů a jiných technik vytvářet a nastavovat pravidla a parametry požadované scény, která tvoří simulační prostředí. [32]



Obr. 21: Vývojové schéma virtuálního prostředí

### 3.6.1. 3D Modely

Základním prvkem ve virtuálním prostředí je static mesh, objekt, který se skládá z polygonů a tvoří 3D model. Modely jsou používány k tvorbě světa virtuálního prostředí, udávají nejen geometrii prostředí kolem nás, ale tvoří samotné objekty, se kterými můžeme interagovat. Jejich tvorba probíhá pomocí externích modelovacích aplikací, jako jsou například: [33]

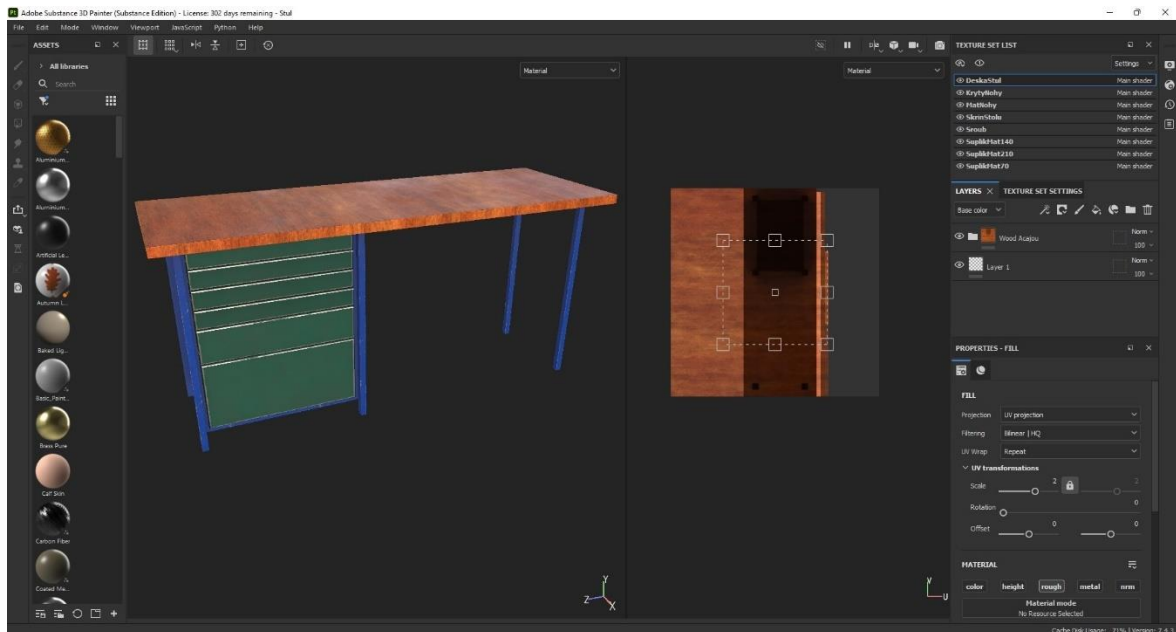
**Blender** – bezplatný open-source balíček 3D modelovacích nástrojů pro tvorbu obsahu. Používá se k celé řadě 3D tvorby jako je modelování, tvorba animací, simulací či rendering. Je možné v něm hotové modely do jisté míry rovnou texturovat. Pomocí Blender můžeme tvořit nejen modely, ale i celé scény a krátké filmy. Je vhodný pro začátečníky, díky velké komunitní podpoře a velkému počtu tutoriálů online. Lze snadno hotové výtvořky rychle importovat do všech běžných formátů. [34]

**3ds Max/Maya** – Tyto produkty společnosti Autodesk jsou standardem v oblasti modelování, 3D sculptingu, tvorbě animací a vizuálních efektů ve 3D. Díky průmyslovému standardu uživatelského prostředí je používán většinou herních a filmových studií. Používá se tedy často k tvorbě částečných či celých filmových scén, ale uplatnění najde i v základní tvorbě 3D modelů. Výhodou je robustnost celého systému, která ale tvoří i nevýhodu v podobě náročnosti na naučení. Program tedy není vhodný pro nováčky a jeho pořízení je finančně náročné. [35] [36]

### 3.6.2. Textury

Takto vytvořené modely mají šedou barvu bez materiálu a bývá zvykem tyto modely do virtuálního prostředí natekturovat pro realistickou vizuální stránku. Model ve 3D je nutné rozložit na 2D obrázek, takzvanou UV mapu, na kterou je možné aplikovat celou škálu barev, povrchových atributů anebo aplikovat fotografie pro detailní vzhled. Pro tyto potřeby existují texturovací softwarové balíčky, které usnadňují tvorbu takových textur. Mezi nejčastěji používané texturovací software v oblasti virtuální reality patří: [37]

**Adobe Substance Painter** – Program se širokou knihovnou materiálů, jehož hlavním účelem je tvorba textur pro 3D modely. Obsahuje pokročilé nástroje pro tvorbu masek a procedurálních textur, které se dají velmi snadno aplikovat na modely. Součástí je také set štětců, kterými se dají textury upravovat přímým kreslením na modelu. Tato metoda je mnohem efektivnější a jednodušší, než tvoření čistě 2D textur v programech jako je například Adobe Photoshop. Především hlavně vidíme aplikovanou texturu na modelu v reálném čase, jak můžeme vidět na Obr. 22. [38]



Obr. 22: Prostředí programu Substance Painter

**Foundry Mari** – Jedná se o obdobu programu Substance Painter, avšak dokáže tvořit mnohem detailnější, komplexnější textury a obsahuje robustnější set nástrojů. Není tak vhodný pro nováčky. Větší a detailnější textury také znamenají větší nároky na hardware. Ve spojení s virtuální realitou tedy není vhodné použití velkých textur na komplexnější scény. [39]

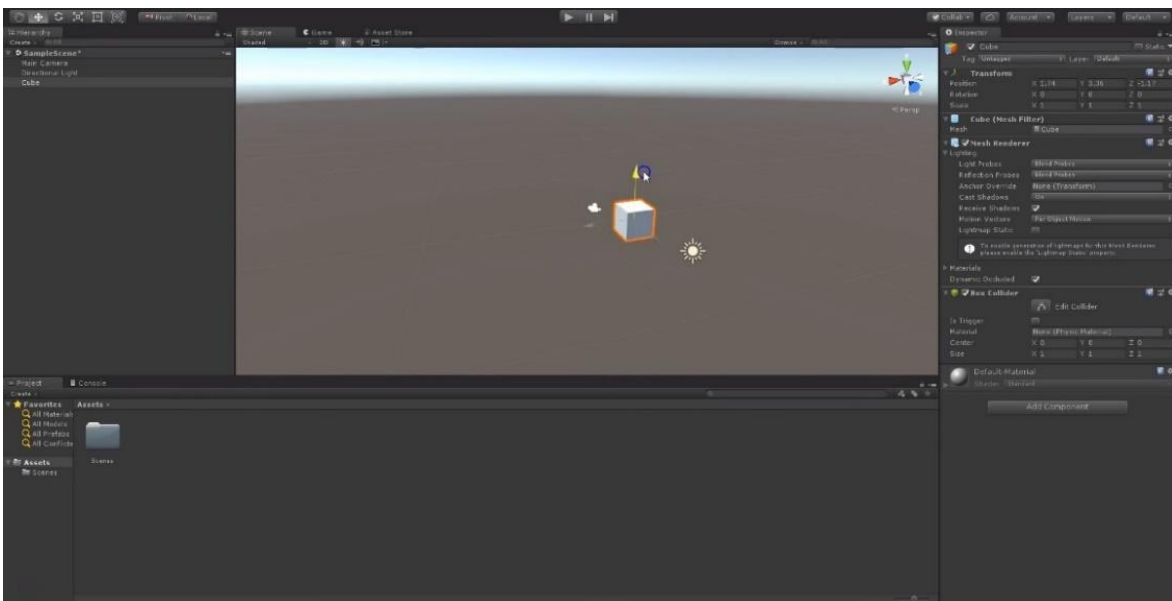
### 3.6.3. Herní engine

Nejvíce důležitou skupinou vývojových nástrojů v oblasti virtuální reality je herní engine, software původně určený pro vývoj 3D videoher, ale protože vývoj virtuální reality má mnoho společného s vývojem her, jsou tyto herní engine hojně využívány. Jedná se o univerzální softwarový framework, který obsahuje vykreslovací systém ve 3D či 2D prostoru, API rozhraní, fyzikální zákony v podobě detekce kolizí a gravitace, systém osvětlení, zvukový systém, síťové propojení a celou řadu dalších funkcí, které umožňují rychlý a snadný vývoj aplikací bez vysokých požadavků na technické a specializované programátorské dovednosti. Do herního engine se nahrávají vytvořené objekty, které následně engine vykresluje a vizualizuje ve 3D či 2D prostoru a pomocí kterých tvoříme scénu v editoru herního engine. V editoru probíhá vše v reálném čase a můžeme tak rychle testovat různé scénáře nebo prototypovat navrhnuté skripty, a především rozmísťovat vložené objekty. Jednotlivé herní engine se od sebe nejvíce liší především použitým programovacím jazykem, sadou nástrojů, metodami vykreslování, osvětlení a skriptování. [40]

Mezi zdarma dostupné vývojové herní engine s podporou virtuální reality patří například:

#### Unity

Unity je univerzální herní engine s podporou několika platform, který je vhodný pro začátečníky, díky možnosti programování v jazyce C# a JavaScript. Vzhledem k tomu je také velmi populární mezi širokou veřejností. Herní engine byl vyvinutý společností Unity Technologies v roce 2005 pro tvorbu her a aplikací, ale dnes najde využití i v oblasti tvorby krátkých animovaných filmů. [41]



Obr. 23: Vývojové prostředí Unity [41]

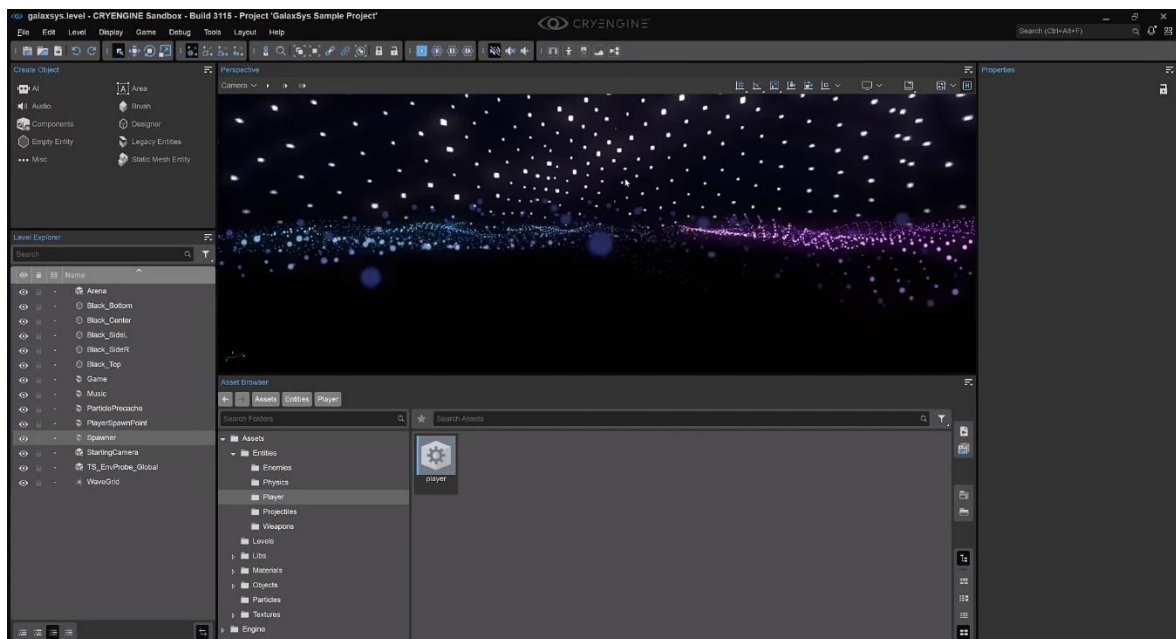


Engine je velmi často používaný pro vývoj mobilních her a poskytuje možnosti vývoje virtuální a rozšířené reality.

Mezi jeho největší výhody patří velká sbírka výukových materiálů a dostupný obchod s 3D modely či funkcemi, které zdarma či za poplatek, může uživatel využít k usnadnění vývoje aplikace. [41]

## CryEngine V

Herní engine vyrobený vývojářem CryTek, který je od roku 2011 bezplatný a volně dostupný. Podporuje více platforem a vyznačuje se fotorealistickými vizuálními efekty a je tak hojně používán pro vývoj her z pohledu první osoby. Používá editor CryEngine Sandbox, který využívá skriptování v jazyce Lua, ale složitější prvky je nutné programovat v jazyce C++. Jelikož tento herní engine nepatří mezi nejvíce používané širokou veřejností, je dostupnost výukových materiálů značně omezena a jedná se tedy o engine, který není vhodný pro začátečníky, ale spíše pro velmi pokročilé uživatele. [42]



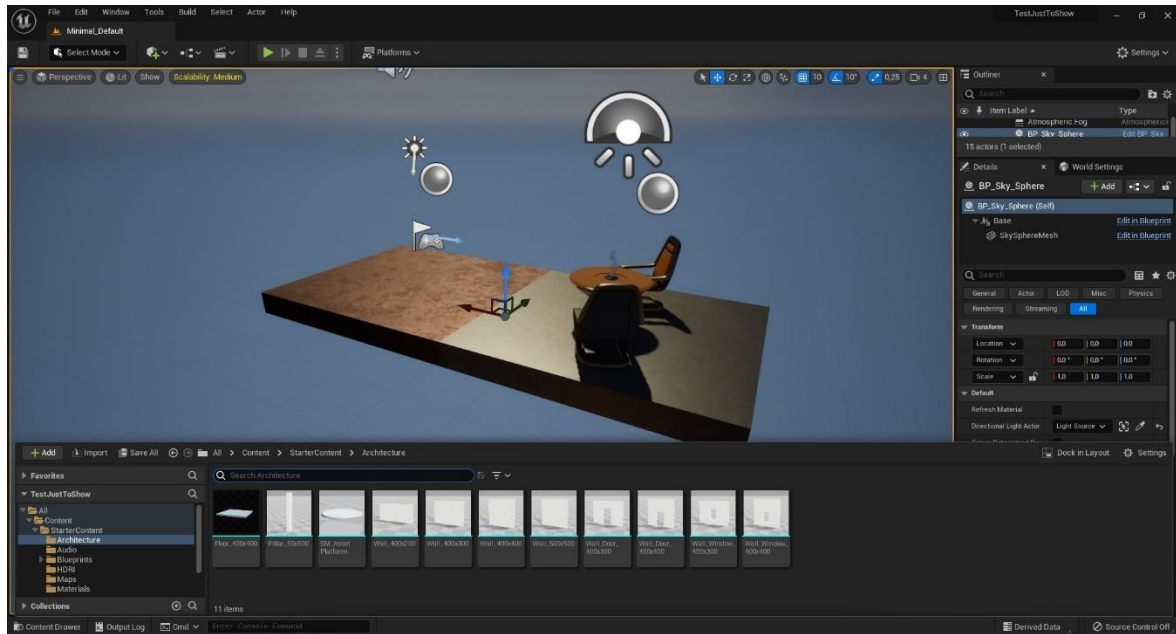
Obr. 24: Vývojové prostředí CryEngine V [42]

## Unreal Engine 5

Původně proprietární herní engine firmy Epic Games vytvořený v roce 1998. S vydáním jeho čtvrté verze v roce 2014 se společnost rozhodla vydat i multiplatformní vývojové prostředí Unreal Engine pro širokou veřejnost včetně editoru. Engine využívá programovací jazyk C++ a práce s ním je tak náročnější, ale obsahuje i vizuální skriptování nazvané Blueprint, které je vhodné pro začátečníky.



Vzhledem k jeho pokročilým funkcím a rozšířeným nástrojům pro tvorbu úchvatných vizuálních efektů se jedná o jedno z nejoblíbenějších vývojových prostředí. Využití najde nejen v oblasti her, ale také u architektonické a automobilové vizualizace, tvorby filmového obsahu, školení, simulace a jiných real-time aplikací. Stejně jako engine Unity obsahuje Unreal Engine svůj obchod s doplňky jako jsou 3D modely a funkce, které uživatel může využít k usnadnění vývoje. [43]



Obr. 25: Vývojové prostředí Unreal Engine 5





## 4. Vývoj prostředí pro simulaci montáže

Hlavním cílem této práce je vývoj virtuálního prostředí, ve kterém je možné simulovat montážní postupy a organizaci pracoviště, včetně možnosti sledovat ergonomické pohyby a dosahy. Podoba virtuálního prostředí bude směřována do montážního pracoviště, které bude obsahovat montážní stůl, včetně montážních boxů, objektů montážní úlohu a nářadí. Toto pracoviště bude zároveň sloužit pro účely ověření funkcionality virtuálního prostředí v rámci jednoho montážního pracoviště.

V této kapitole dojde k seznámení se s popisem tvorby této aplikace pomocí herního engine. Dále bude popsána tvorba a příprava modelů, včetně textur a materiálů, které budou v aplikaci použity. Simulovaná montáž bude probíhat na součástkách modelu dvoustupňového čerpadla, čemuž budou uzpůsobeny tvořené modely.

### 4.1. Tvorba modelů virtuálního prostředí

Tvorba 3D modelů je proces vytváření trojrozměrných sítí, takzvaných meshů, které reprezentují povrchy či objekty. Během tohoto procesu je určena velikost a tvar 3D modelu. Mesh, který tvoří model, jsou složeny z polygonů, kde hlavní strukturou polygonů jsou body, které se označují jako vertices a polygon tvoří tehdy, pokud jsou tyto body propojeny čarou do uzavřené smyčky. Tvar, velikost a počet vrcholů polygonu je udáván počtem čar a polohou bodů. O identifikaci polohy těchto bodů se v modelovacím software stará souřadnicový systém, který polohu bodů odvozuje od počáteční či referenční pozice. S těmito body modelu je možné v modelovacím software pohybovat a měnit tak přímo tvar objektu nebo je možné tyto body rozpojit a vytvořit tak propojení pomocí čar s jinými body.

Běžným začátkem tvorby 3D modelů, je začít poskytnutým základním tvarem, který modelovací software nabízí. Mezi tyto základní tvary se řadí model krychle, válce, koule nebo čtverce. Ze základního tvaru je pak možné modelovat požadovaný vzhled tvořených modelů.

Jelikož jsou modely hlavním prvkem, který budeme ve virtuální realitě potřebovat, je vhodné začít jejich tvorbou. Pro tvorbu modelů byl použit program Blender, jelikož nabízí velké množství výukových materiálů a tutoriálů a jeho celkové používání je velmi snadné. Některé modely byly 3D skenovány pomocí LiDAR senzoru, k vytvoření referenčních bodů i pro snadnější modelování.

#### 4.1.1. Prostor pracoviště

Nejdůležitějším modelem celého virtuálního prostředí je samotná místnost, ve které bude simulace montáže probíhat. Tvorba toho modelu byla provedena za pomoci LiDAR skeneru a aplikace Polycam na zařízení Apple iPhone 13 Pro. Výsledný sken na Obr. 26 byl importován do aplikace

Blender a použít k vyznačení rohů, oken a jiných elementů místnosti. Jelikož jsou známé pravé rozměry místnosti, byl naskenovaný model roztáhnut, tak aby odpovídal skutečným rozměrům.



*Obr. 26: 3D sken laboratoře*

Pro porovnání se skutečným stavem a 3D skenem může posloužit Obr. 27 a Obr. 28.

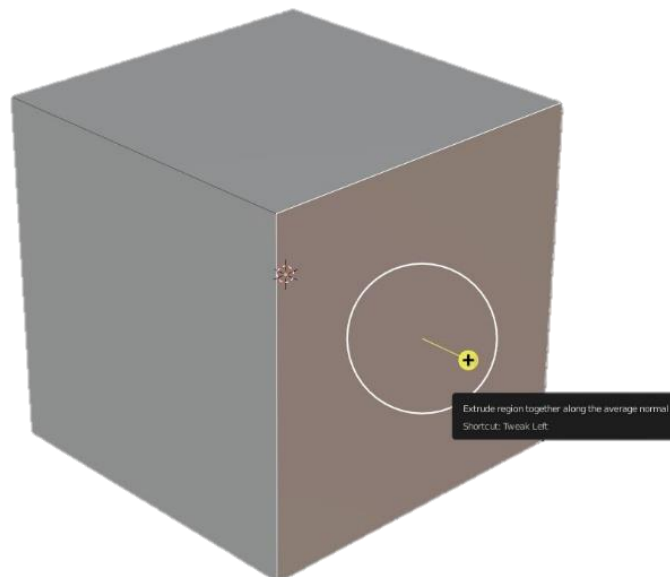


*Obr. 27: Fotografie laboratoře #1*



*Obr. 28: Fotografie laboratoře #2*

Za pomoci vyznačených referenčních bodů byl vytvořen půdorys místnosti Obr. 30, ze kterého byly dále vytaženy samotné stěny místnosti funkcí extrude Obr. 29, včetně výklenků a jiných konstrukčních prvků.



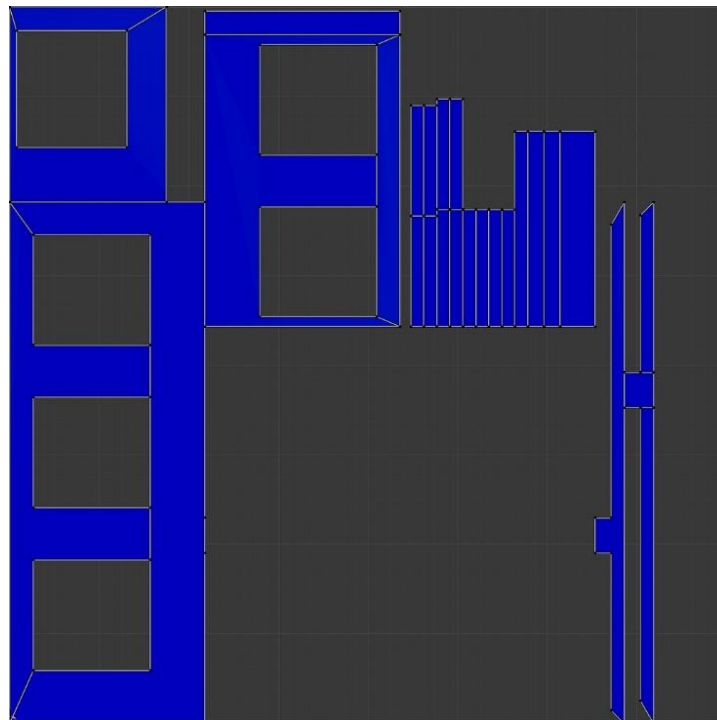
*Obr. 29: Funkce extrude programu Blender*



*Obr. 30: Vyznačený půdorys místnosti*

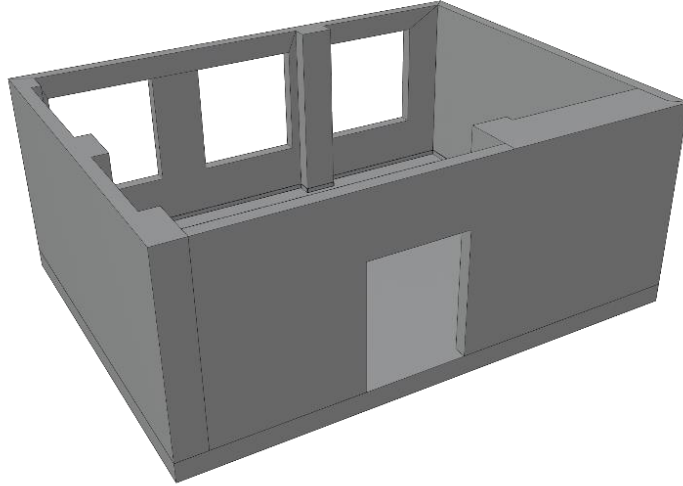
Stěny místnosti byly rozděleny na jednotlivé modely, a to včetně podlaží a stropu, kvůli zvýšení rozlišení textur, jelikož výsledná textura se tvoří rozložením polygonů (sít čtverců, trojúhelníků a mnohoúhelníků) do UV mapy, která má limitované rozlišení a prostor, jak je znázorněno na Obr. 31.

Pro každou stěnu zvlášť, jako jednotlivý model, je tak vytvořeno až šest UV map, tedy 6 textur pro každý rozdělený model. Těto techniky bude využito i u některých dalších modelů. [44]



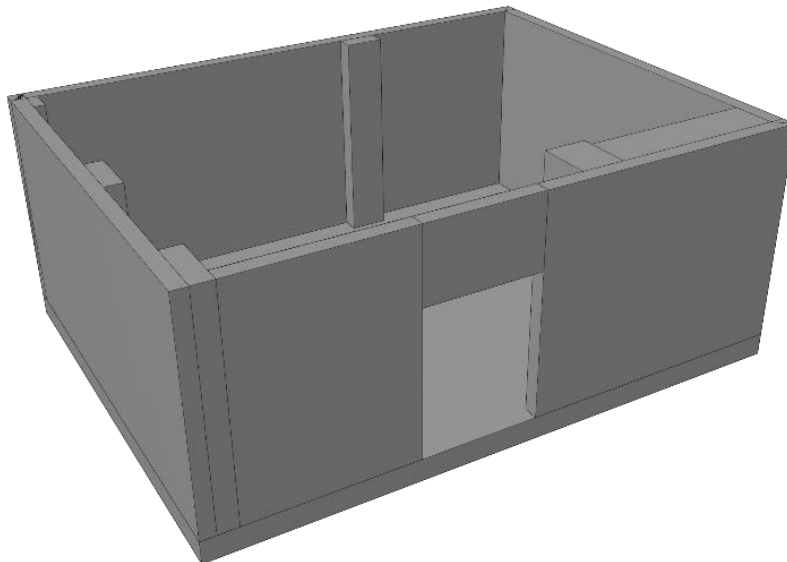
*Obr. 31: Rozložení modelu stěny s okny do UV mapy*

Finální podobu modelu je možné vidět na Obr. 32, kde do hotového modelu byly pomocí funkce bool dodělány otvory pro stěny a dveře. Pro lepší představu není na obrázku vizualizován strop místnosti.



*Obr. 32: Vytvořený model pomocí referenčního skenu*

Pro správné fungování kolizí v herním engine je nutné pro model vytvořit kolizní bloky viz Obr. 33, které budou odpovídat rysům místnosti. Tyto modely nesou předponu UCX, po nahrání modelu do engine, se automaticky zapnou jako kolizní model a nejsou engine vizualizovány.



*Obr. 33: Kolizní bloky modelu*

Pokud je model takto připraven v programu Blender a jsou tedy vymodelovány všechny prvky, nastaveny UV mapy a kolizní modely, můžeme hotový model vyexportovat do formátu, který bude využívat texturovací program a herní engine. Pro tyto účely poslouží formát typu FBX.

Pro model místnosti byly dále vymodelovány dveře a okna. Tyto modely byly také rozloženy do UV mapy pro texturování, ale vzhledem k tomu, že se nejedná o interaktivní model, nebyly vytvořeny modely pro kolize, engine tedy použije základní, které sám vypočítá.

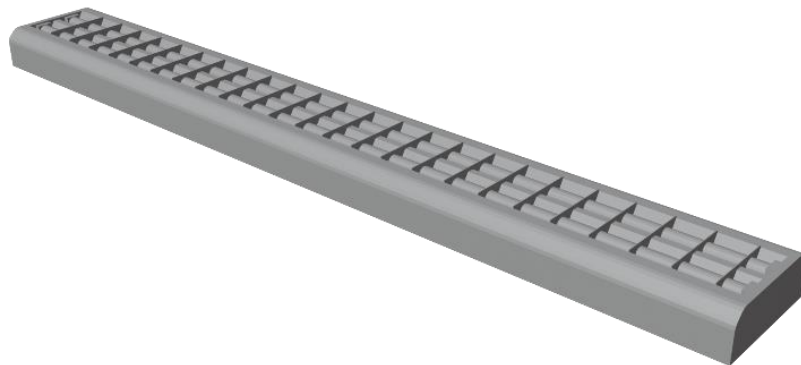


*Obr. 34: Dveře místnosti*

Pro navození realistického vzhledu místnosti ve virtuální realitě byly vytvořeny modely rozvaděče elektrické energie a zářivky, které budou později použity pro osvětlení místnosti.



*Obr. 35: Rozvaděč místnosti*



Obr. 36: Zářivka místnosti

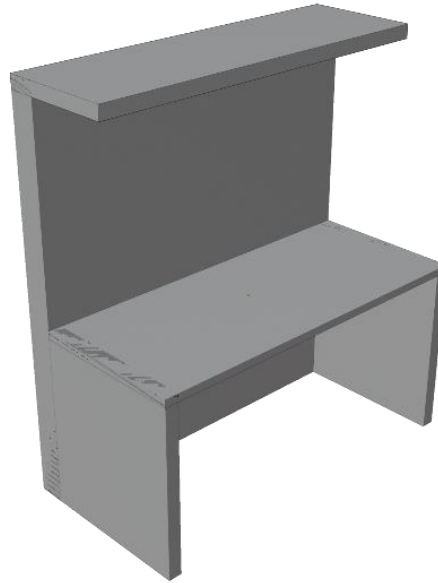
#### 4.1.2. Montážní stůl

Druhým nejdůležitějším modelem je samotné pracovní místo. To představuje montážní stůl umístěný v laboratoři, který byl naměřen a ze známých rozměrů byl vytvořen jeho model. Rozsah pracovní roviny stolu je ohraničen pracovní deskou o rozměrech 1600 x 800 mm. Model stolu byl kvůli texturování rozdělen na dvě části. Na samotnou desku stolu s děrovaným plechem a trubice, tvořící konstrukci stolu s jejich plastovými spojkami.



Obr. 37: Montážní stůl

Tyto dva modely byly rozloženy do UV mapy a následně byly vytvořeny kolizní bloky stolu viz Obr. 38. Finálně byl model exportován do formátu FBX.



Obr. 38: Kolizní bloky montážního stolu

#### 4.1.3. Nářadí a nástroje

Pro potřeby montáže čerpadla byly vybrány z řad utahovací techniky šroubovák a akumulátorový šroubovák. Šroubovák byl vymodelovaný v programu Autodesk Inventor 2023 dle předlohy z dostupných nástrojů v místnosti laboratoře montáže viz Obr. 39 a následně převeden do programu Blender. Akumulátorový šroubovák, který byl stažen z volně dostupných zdrojů ve formátu CAD byl převeden do formátu FBX viz Obr. 40. Šroubovák byl následně jako všechny předchozí modely rozložen do UV mapy, obohacen o model kolizí a vyexportován do formátu FBX. Jelikož akumulátorový šroubovák textury již obsahoval, nebude nutné provádět rozklad do UV mapy, odpadá nutnost vlastních textur. Byly však dodělané modely pro kolize.



Obr. 39: Vymodelovaný šroubovák

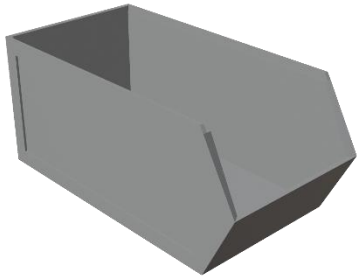


Obr. 40: Akumulátorový šroubovák

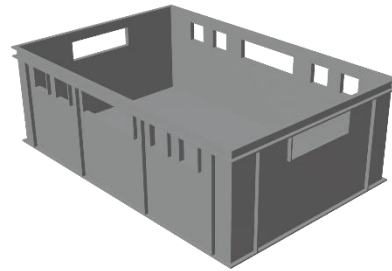


#### 4.1.4. Přepravky

Pro potřeby uskladnění montážních součástí a hotových montážních celků byl vymodelován montážní regálový box a montážní euro přepravka viz Obr. 41 a Obr. 42. I přesto, že montážní boxy obvykle mívají nespočet rozměrů a tvarů, není nutné modelovat více objektů, jelikož model půjde v herním engine roztáhnou či zmenšit pomocí funkce měřítko. Na oba modely byly aplikovány následně stejné dokončující postupy jako u předchozích modelů.



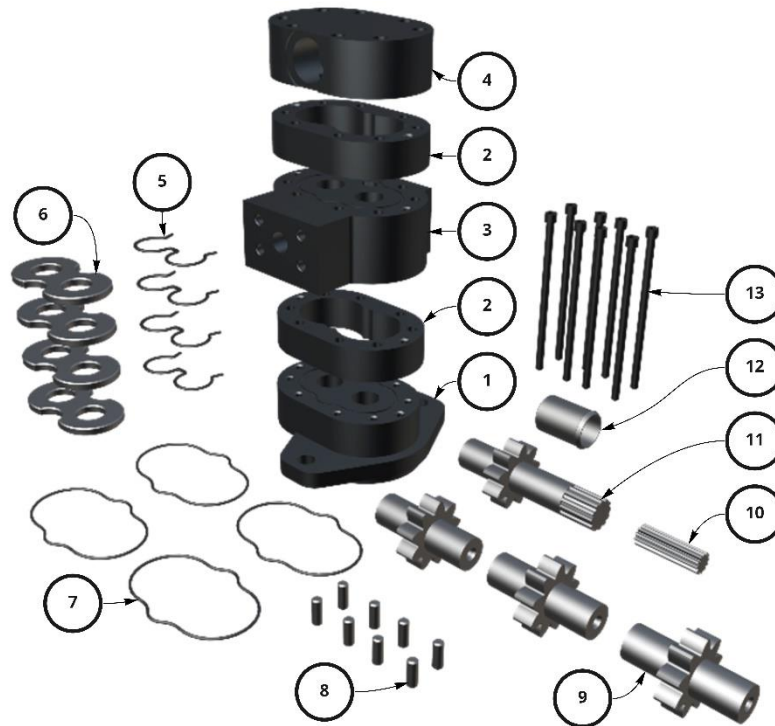
Obr. 41: Montážní regálový box



Obr. 42: Montážní euro přepravka

#### 4.1.5. Součástky pro montáž

Hlavním objektem montáže je model dvoustupňového čerpadla. Dvoustupňová čerpadla vzhledem ke své výkonnosti a jednoduché konstrukci jsou určena pro náročné provozní podmínky a velké zatížení (např. závlahy, zemědělství, chladicí systémy, tlakové stanice). Proto jsou důležitou součástí průmyslové výroby. Jako objekt montážní úlohy bylo čerpadlo zvoleno z důvodu velkých i malých montážních součástí a přítomnosti hrubých i jemných montážních úkonů. Čerpadlo je složeno z několika součástí, tak jak je znázorněno na Obr. 43. Jelikož jde o model vytvořený pomocí CAD software, bylo nutné provést některé úpravy jednotlivých modelů pro správné zobrazení v herním engine. Konkrétně se jednalo o spojení duplikovaných bodů polygonů a minimalizování celkového počtu polygonů z hlediska optimalizace pro virtuální realitu. Tyto modely již obsahovaly základní textury a nebude je tedy nutné dále texturovat.



Obr. 43: Součástky čerpadla

Čerpadlo jako takové je složeno z několika unikátních součástí a dále z některých součástek, které se v celkové sestavě objevují vícekrát. Všechny tyto součástky jsou uvedeny v Tab. 10.

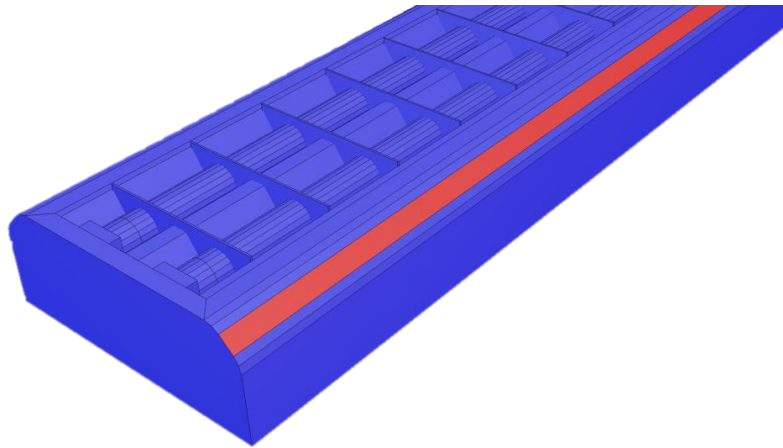
Tab. 10: Kusovník čerpadla

Díl	Počet kusů	Značka
Příruba čerpadla	1	1
Tělo čerpadla	2	2
Mezi těleso čerpadla	1	3
Víko čerpadla	1	4
Těsnění přítlačné desky	4	5
Přítlačná deska	4	6
Těsnění těla čerpadla	4	7
Spojovací kolík	8	8
Hnací hřídel malá	3	9
Spojka hnací hřídele	1	10
Hnací hřídel	1	11
Nátrubek mezi tělesa	1	12
Šroub M12x170	8	13

## 4.2. Možné problémy s modely při texturování

Při modelování objektů mohou nastat určité jevy, které poté při texturování či zobrazení v herním engine tvoří nežádoucí efekty a grafické artefakty. Tyto jevy jsou obvykle způsobené zdvojenými body zakončení přímek, které na sebe dále již nenavazují. To je možné v programu Blender vyřešit označením všech těchto bodů a spuštěním funkce „Merge by distance“, která sloučí tyto body v jeden.

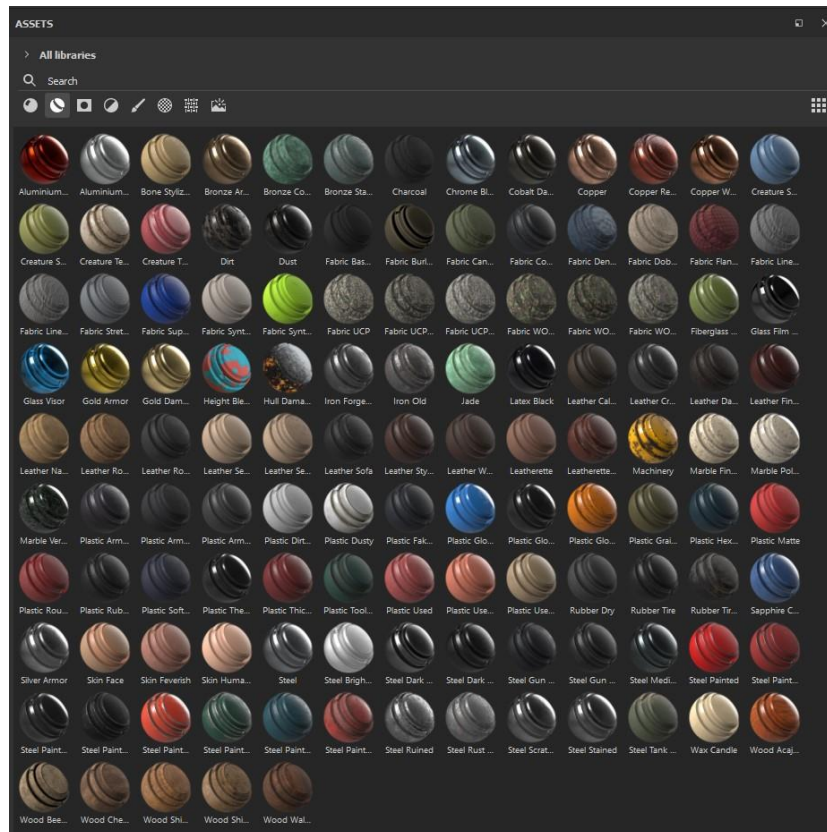
Dalším obvyklým nežádoucím jevem je průhlednost plochy do vnitřku modelu. Tento problém je způsoben nejčastěji funkcí „extrude“ anebo zrcadlením prvků, které způsobí nechtěné převrácení normálových ploch. Stav těchto ploch jde ověřit zapnutím zobrazení „Face orientation“ v programu Blender, kde modré plochy značí orientaci vně a červené plochy orientaci dovnitř viz Obr. 44. Tento problém jde snadno opravit kliknutím na danou plochu pravým tlačítkem a zvolení funkce „Flip Normals“.



Obr. 44: Převrácená normálová plocha části modelu

### 4.3. Výběr texturovacího programu

Hotové modely je následně potřeba otexturovat, aby výsledné objekty působily reálným dojmem a nenarušovali navozený dojem virtuálního prostředí. To přispívá především k tomu, že to, co člověk vidí uvnitř virtuální reality, bude mít naučené pro reálné prostředí, které se bude co nejvíce podobat simulaci. Pro tyto potřeby byl zvolen program Adobe Substance 3D Painter, který nabízí pro studenty zdarma licenci na dobu 365 dní a širokou knihovnu volně dostupných materiálů viz Obr. 45.

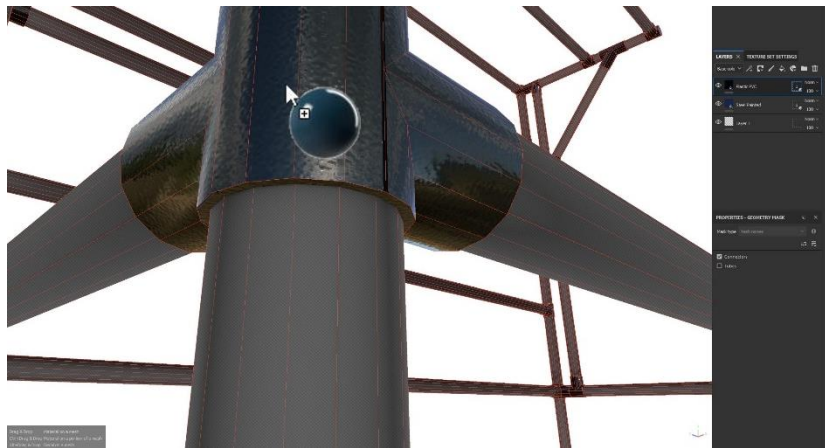


Obr. 45: Knihovna materiálů Adobe Substance 3D Painter

## 4.4. Tvorba textur pro modely

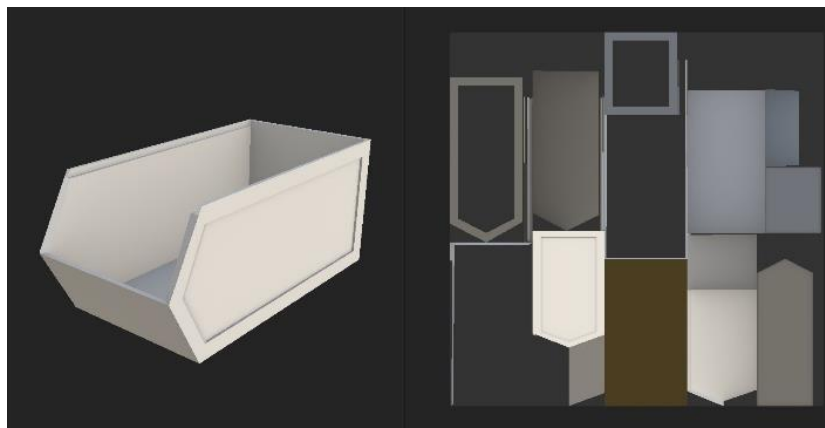
Tvorba 3D modelů je náročný proces, avšak pro další využití ve virtuální realitě by mohl přijít nazmar bez použití texturovacích programů. Obvykle každý vytvořený 3D model v modelovacích či CAD programech začíná s výchozí šedivou barvou, jak již bylo řečeno v kapitole 3.6.2. Vizuální stránka modelů, která udává realističnost, závisí na použité textuře, materiálu a zvolené technice. Textury vytvořené v texturovacím programu mohou modelům dodat barvu, metalický parametr, parametr odrazu a reliéf. Texturování je tedy jednou z hlavních fází tvorby trojrozměrného modelu. Modelovaný objekt by měl získat určité specifické vlastnosti, aby byl model realističtější, což je hlavním cílem texturování modelů. A tak mu dodat příjemný a realistický vzhled uvnitř virtuální reality, aby více simuloval skutečné prostředí.

Tvorba textur pro modely probíhala vybráním správného a odpovídajícího materiálu z knihovny aplikace Adobe Substance 3D Painter, který se co nejvíce blížil realitě a aplikováním tohoto materiálu na danou část modelu viz Obr. 46. Dále byly upraveny některé parametry jako barva, odrazivost či drsnost povrchu nebo popřípadě velikost materiálu a měřítka, pokud vizuálně či rozměrově materiál neodpovídal.



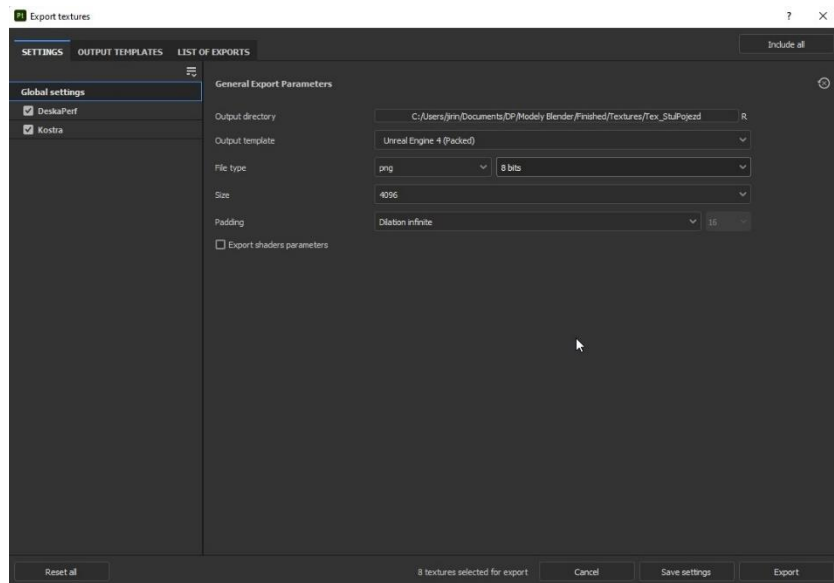
Obr. 46: Aplikace materiálů na model

Před aplikováním materiálu na modely bylo nejprve u všech texturovaných modelů nastaveno rozlišení UV mapy na 4096 x 4096 pixelů pro detailní zobrazení ve virtuální realitě. Dále u všech modelů bylo použito zapékání parametrů modelů, což způsobí, že například měkké stíny v zakrytých oblastech modelu budou zaryty do textury modelu a nebudou muset být dále vykreslovány a počítány herním engine, což ušetří výpočetní výkon, který je ve virtuální realitě velmi důležitý.



Obr. 47: Importovaný model v Substance Painter s UV mapou

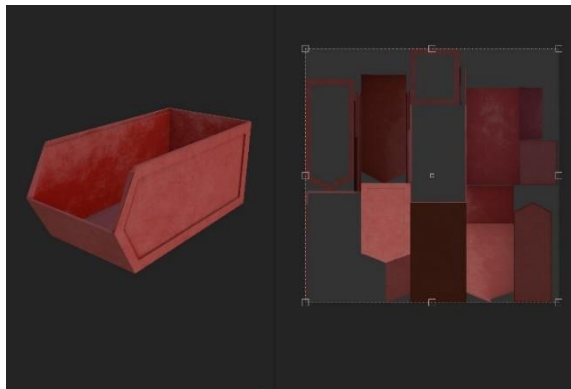
Na Obr. 47 je možné vidět rozhraní programu Adobe Substance, ve kterém je vidět na levé straně 3D pohled na objekt a na pravé straně rozloženou UV mapu. Z knihovny materiálů je možné požadovaný materiál přímo přetáhnout na model, nebo štětcem kreslit do 3D pohledu na model či na UV mapu. Finální textury byly poté vyexportovány ve formátu pro herní engine v 8 bitové hloubce viz Obr. 48. Export obsahuje tři sady textur, kde první typ představuje barvu textury, druhý typ představuje normálovou mapu modelu, zobrazující výstupky či rýhy a třetí typ, který udává informaci o okluzi, hrubosti a odrazivosti objektu.



Obr. 48: Okno pro export textur z programu Substance 3D Painter

#### 4.4.1. Přepravky

Prvními texturovanými modely byly přepravky, kvůli jejich jednoduchosti v použitém materiálu. Z knihovny byl vybrán hrubý matný plastový materiál, který byl aplikován na box Obr. 49 a pouze matný plastový materiál aplikovaný na montážní přepravku viz Obr. 50.



Obr. 49: Aplikovaný materiál na model boxu v programu Adobe Substance 3D Painter



Obr. 50: Texturovaný model přepravky

#### 4.4.2. Montážní stůl

Dále byl texturován montážní stůl, který používá dva sady textur, a tedy dvě různé UV mapy. To umožňuje zvýšit rozlišení textur aplikovaných na konstrukci stolu s plastovými spojkami, které obsahují velký počet polygonů. Pro ocelovou konstrukci stolu byl zvolen materiál barvené ocele a pro plastové spojky byl vybrán materiál PVC. Pro desku stolu byl použit plastový matný materiál, který nejvíce imituje povrch stolu. Pro perforovaný ocelový plech byl použit znovu materiál barvené ocele. Celkový natexturovaný model je tak možné vidět na Obr. 51.





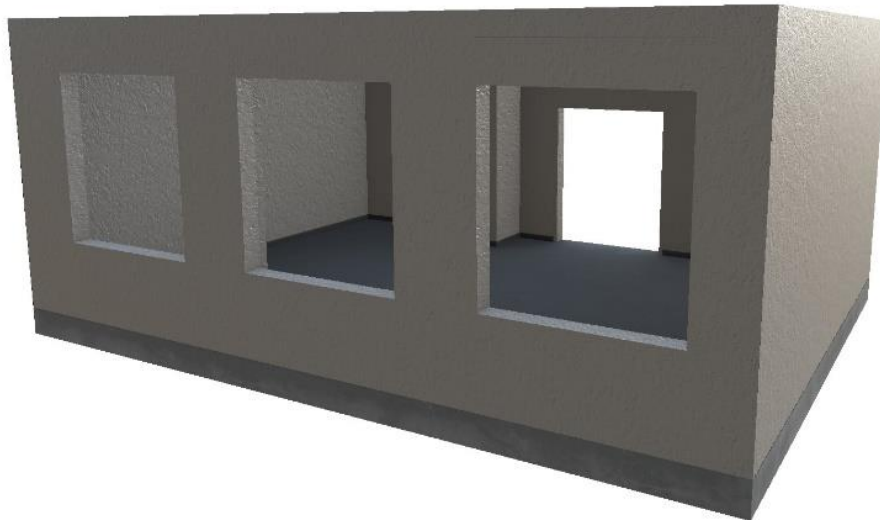
Obr. 51: Aplikované textury na model montážního stolu

#### 4.4.3. Prostor pracoviště

Dalším modelem, který byl texturován je místnost laboratoře, tedy samotný prostor pracoviště. Pro stěny a strop místnosti byl použit materiál základního bílého nátěru stěn, jinak nazývaný štukový nátěr. I přesto, že stěny jsou rozděleny na pět různých modelů, používají všechny stejný typ materiálu. Jedná se pouze o techniku, kterou se zvýší rozlišení textury, která se nemusí rozměrově roztahovat, vizuálně deformovat, i tak si zachová svůj detail. Jako materiál podlahy byl použit gumový nátěr. Výsledek texturování je možné vidět na Obr. 52 a Obr. 53.



Obr. 52: Texturovaná místnost pracoviště



*Obr. 53: Pracoviště s aplikovanými texturami*

K prostorám pracovní místnosti náleží i modely dveří Obr. 54, oken Obr. 56, světel Obr. 57 a rozvaděče Obr. 55, které byly texturovány dle jejich skutečného vizuálu. Na Obr. 56 není na modelu okna zobrazené průhledné okno. Jedná se pouze o typ vykreslení programu Adobe Substance Painter.



*Obr. 54: Model dveří s texturami*



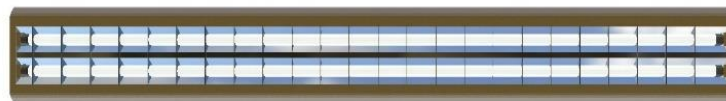
*Obr. 55: Model rozvaděče s texturami*

Na Obr. 56 je možné vidět, že nebyl aplikován materiál pro sklo okna. Tento postup byl zvolen z důvodů nekompatibilních shaderů neboli instrukcím, které říkají grafické kartě, jak má být daný objekt vyobrazen v herním engine. Řešení problému spočívá v použití výchozího materiálu pro sklo v herním engine, které zahrnuje refrakci a správnou odrazivost.





*Obr. 56: Model okna s texturami*



*Obr. 57: Model zářivky s texturami*

#### 4.4.4. Nářadí a nástroje

Z použitých nástrojů byl texturován pouze model šroubováku, jelikož stažený model akumulátorového šroubováku vlastní textury obsahuje. Pro tento model byly vybrány materiály, které nejvíce reflektují reálný vzhled pracovního nástroje, a to plastový hrubý materiál a leštěnou ocel. Výsledný model s texturami je vizualizován na Obr. 58.



*Obr. 58: Texturovaný model nástroje*

## 5. Výběr herního engine

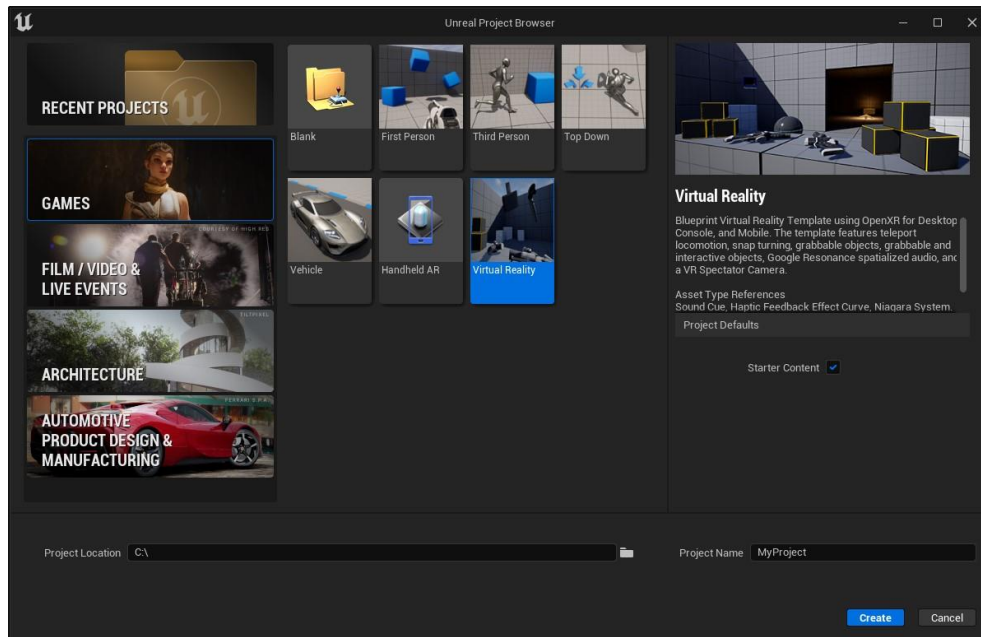
Aby bylo možné vytvořit interakci mezi vytvořenými modely a aplikovat na tyto modely textury je nutné zvolit herní engine, do kterého bude možné všechny vytvořené a stažené modely nahrát a pomocí skriptů, pravidel chování, vytvořit simulaci montáže ve virtuálním prostředí. Pro tvorbu virtuálního prostředí byl vybrán program Unreal Engine 5 z důvodu snadné implementace virtuální reality pomocí pluginů, podpory velkého množství náhlavních VR sestav, možnosti využití skriptů Blueprint a úchvatných grafických vizuálů. Dalším ovlivňujícím faktorem při výběru engine byla předchozí zkušenost se starší verzí programu Unreal Engine 4, avšak ta v ranných verzích programu neobsahovala možnost skriptování pomocí Blueprint a ani možnost využití virtuální reality.

I přesto, že je Unreal Engine 5 poměrně složitý nástroj pro nezkušené vývojáře, obsahuje nespočet pokročilých funkcí, díky kterým je optimalizace a například správa osvětlení nebo modelů velice snadná. Díky základu herního engine v jazyce C++ nabízí také vysokou stabilitu a bezproblémový chod vytvořených aplikací, včetně dostupného open-source přístupu k jádru engine na stránkách tvůrce.

Unreal Engine ve své verzi 5 také obsahuje nové předělané grafické rozhraní, které využívá moderní design a je celkově velmi přehledné pro nové uživatele. Součástí grafického rozhraní je i správce obsahu, který se stará o umístění nahraných modelů, textur a materiálů. Současně s oknem správce obsahu (Content Manager) je součástí rozhraní i okno osnov (Outliner) všech umístěných modelů, skriptů, osvětlení a dalších komponent, které tvoří samotnou virtuální scénu.

### 5.1. Příprava a nastavení engine

Při prvním spuštění Unreal Engine 5 je vhodné, pro potřeby virtuální reality a usnadnění práce s programováním požadovaných vlastností, zvolit pro nový projekt šablonu „Virtual Reality“ a zaškrtnout tlačítko „Starter Content“ viz Obr. 59. To poskytne základní Blueprint skripty pro pohyb rukou a kamery, přesun uživatele v prostoru a možnost uchopit některé zvolené objekty, což umožní dále navázat a využít tyto skripty pro potřeby této práce. [45]



Obr. 59: Úvodní okno aplikace Unreal Engine 5

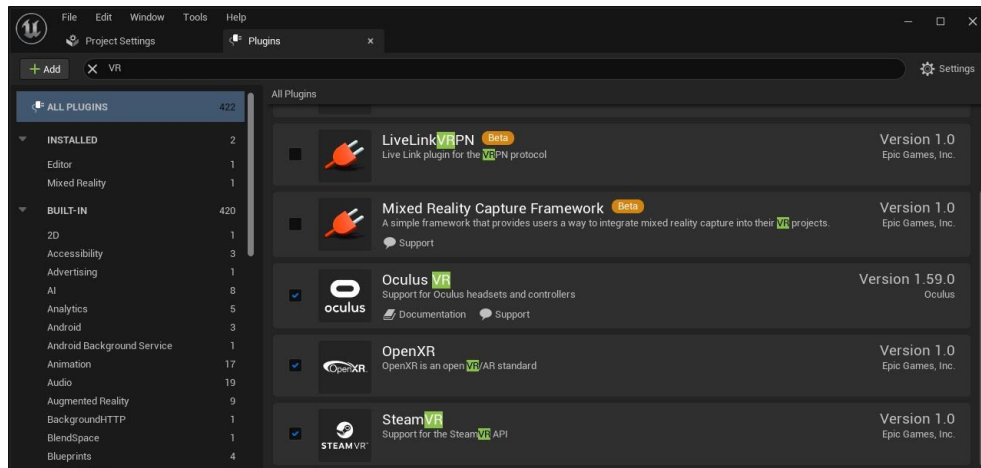
Po načtení šablony je ke správnému fungování nutné vyčkat na přípravu shaderů. Jedná se o částí kódu, které grafická karta využívá ke správnému vykreslení obrazu a jeho manipulaci. Načtenou šablonu můžeme vidět na Obr. 60.



Obr. 60: Prostředí Unreal Engine 5

Dále je vhodné povolit režim „Scalability settings“, který umožní rychle přepínat mezi úrovněmi grafického zobrazení bez nutnosti restartovat aplikaci či přepisovat shadery. Následně byly smazány veškeré modely z prostoru scény, jelikož je nahradíme vlastními modely.

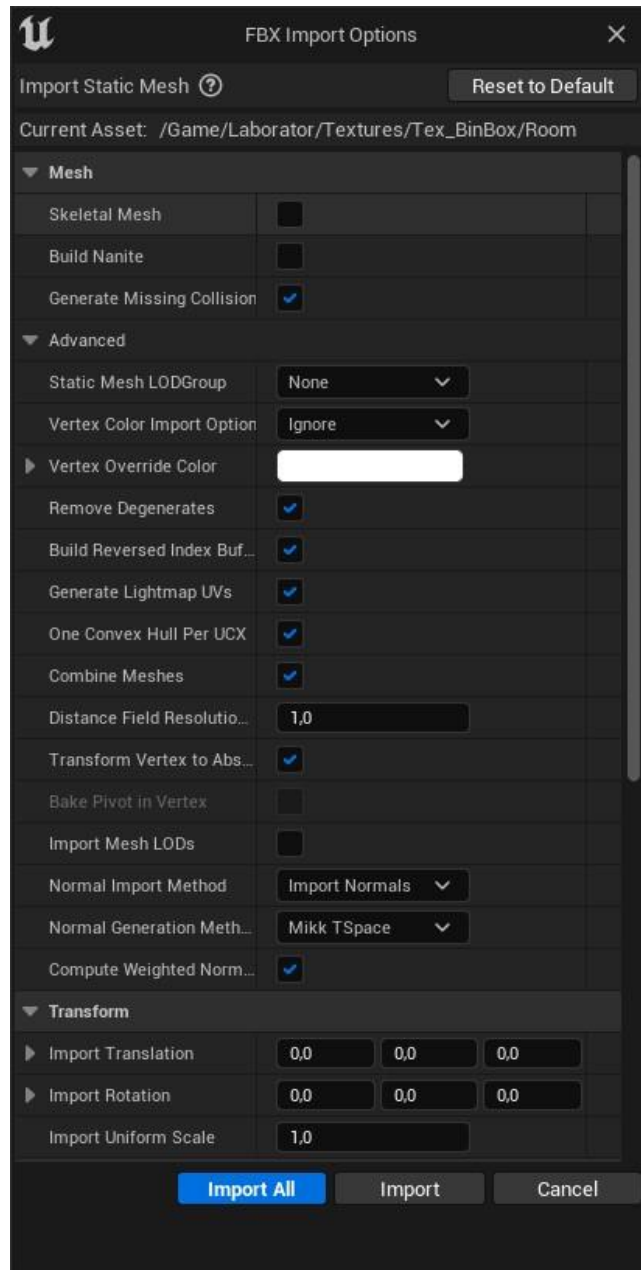
Finálně je důležité zapnutí potřebných pluginů, doplňků, které umožní spuštění scén ve virtuální realitě pro daný headset. Je příhodné povolit všechny 3 typy VR pluginů viz Obr. 61, které umožní implementaci aplikace pro nejvíce druhů VR headsetů.



Obr. 61: VR pluginy Unreal Engine 5

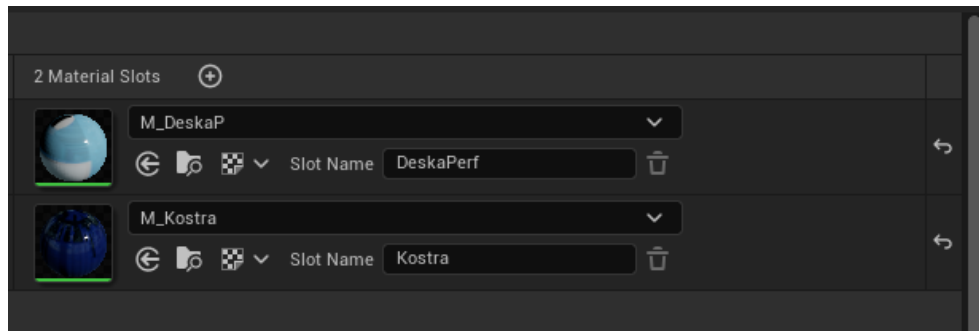
## 5.2. Import modelů a textur do engine

Pokud jsou všechny hotové modely ve formátu FBX a jejich textury umístěny do složky, stačí aby byla tato složka pouze přetáhnuta do aplikace Unreal Engine 5. Aplikace najde všechny potřebné soubory a uloží je tak, jak jsou ve složce. Jelikož jsou některé modely tvořeny více objekty, je nutné v nastavení FBX importu Obr. 62 zaškrtnout políčko „Combine Meshes“, které nahrají vícero objektů patřící k sobě jako jeden model. Dále je vhodné, jelikož používáme vlastní textury z externí aplikace, zaškrtnout políčko „Do not import textures“. [46]

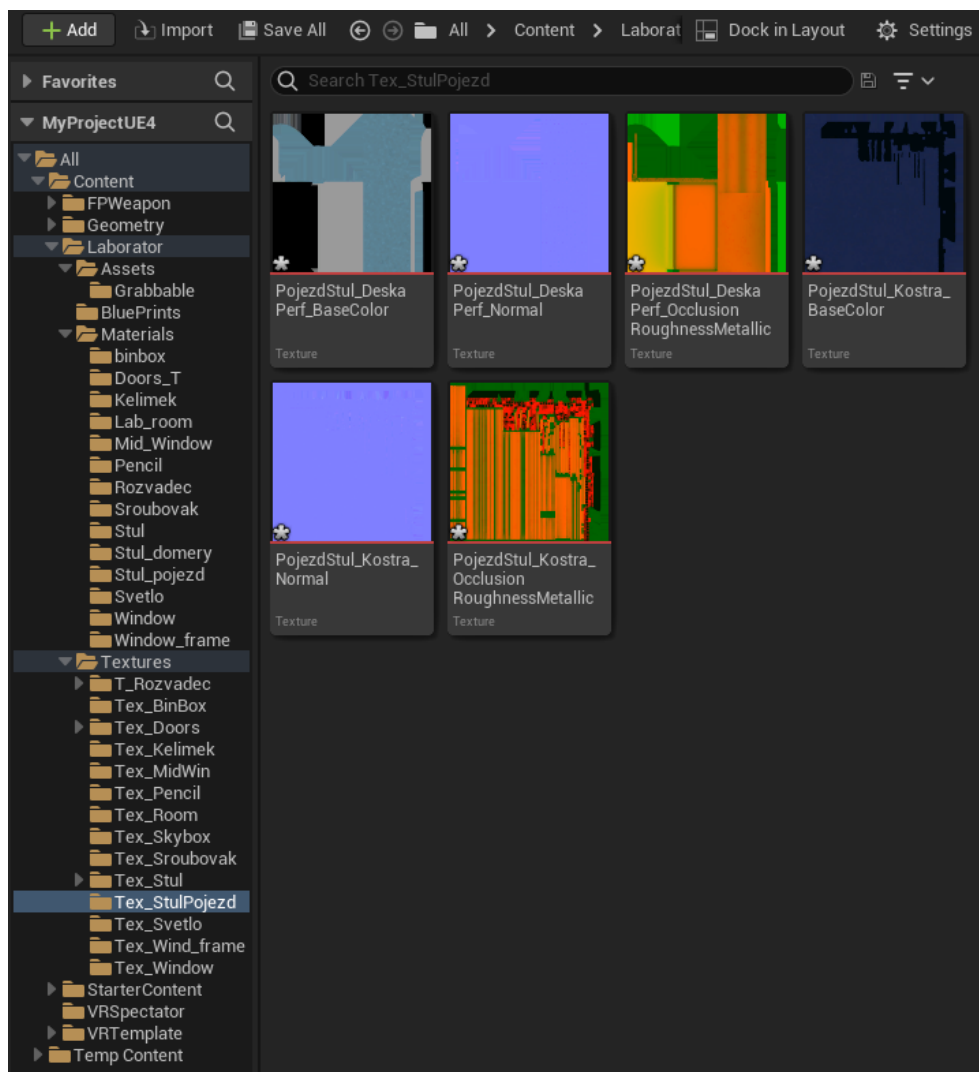


Obr. 62: Okno importu modelů

Po importu modelů bylo otevřeno okno vlastností každého jednotlivého modelu, zde byl vybrán každý jednotlivý materiál viz Obr. 63 a z knihovny nahraného obsahu Obr. 64 byly vybrány textury daného materiálu.

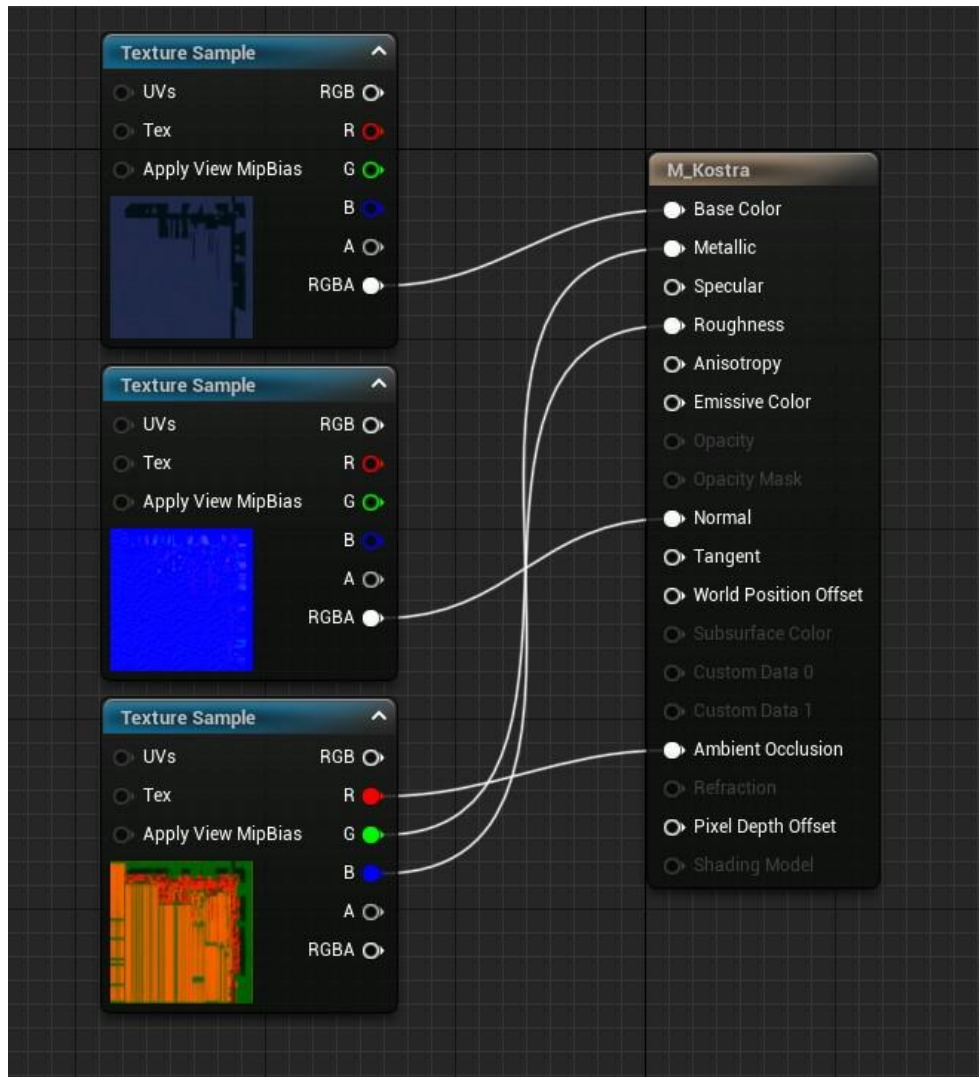


Obr. 63: Karta materiálů modelu v UE5



Obr. 64: Nahrané textury modelu stolu

Vybrané textury byly přetaženy do okna materiálů a propojeny s jejich určenými parametry viz Obr. 65. Stejný postup bude aplikován na všechny materiály všech modelů. [47]



Obr. 65: Propojené textury s materiálem modelu

### 5.3. Implementace požadovaných vlastností

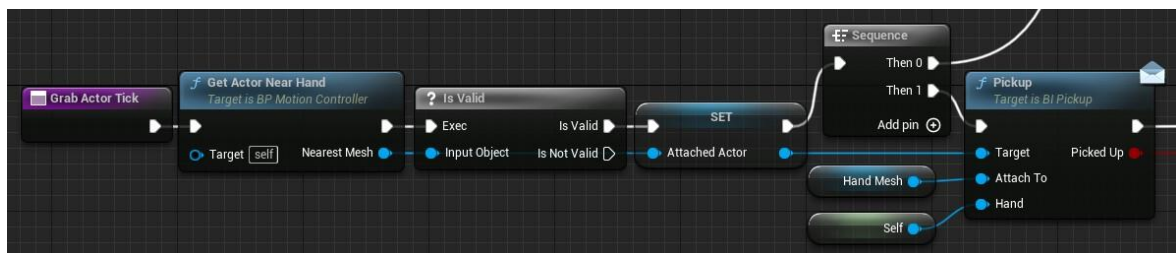
Součástí virtuálního prostředí je především interakce s objekty a okolím. Vzhledem k tomu, že tato interakce neprobíhá v Unreal Engine 5 zcela automaticky, je třeba vytvořit funkce a skripty, které odpovídají potřebám této práce a umožní implementaci požadovaných vlastností. Skripty budou tvořeny pomocí Blueprint, což umožní rychlé navrhování a rychlé změny skriptů oproti jazyku C++. Výhodou užití Blueprint je možnost provádět veškeré skriptování v rozhraní programu Unreal Engine 5 v reálném čase včetně simulací navrhnutých skriptů a velké množství dostupných tutoriálů a dokumentací, které usnadní další vývoj. [48]

#### 5.3.1. Uchopení součástí

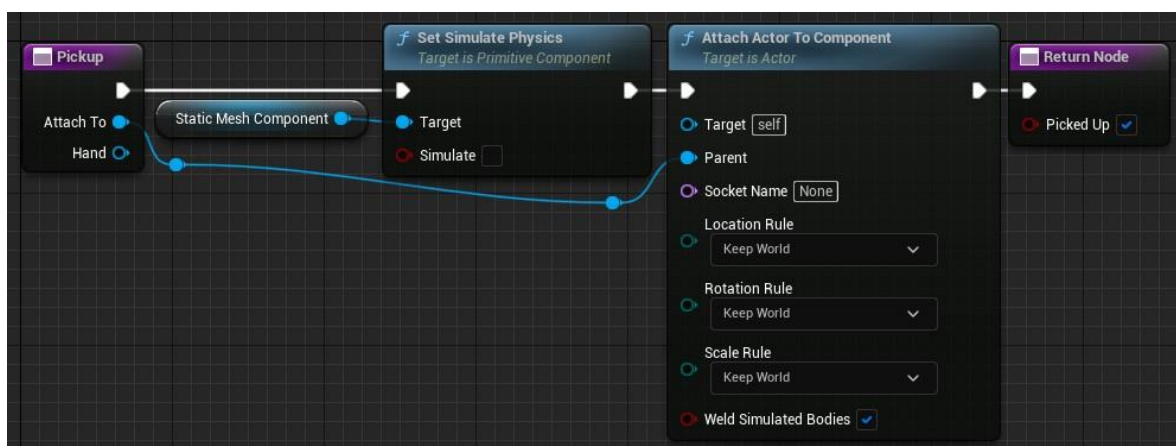
Pro snadnou interakci prostým uchopením součástí byla využita základní funkce herního engine, která vyhodnotí, pokud jsou dva objekty, v herním engine označovány jako „Actor“, blízko u sebe. V rámci stavby funkce bylo nastaveno, že objektem, ke kterému budou přichyceny jiné objekty,



bude model ruky, která reprezentuje polohu pohybového ovladače viz Obr. 66. Druhý objekt, který bude připojován, bude svůj vlastní Blueprint skript na Obr. 67, který bude obsahovat možnost volby modelu, se kterým chceme interagovat, namísto interakce se všemi objekty ve scéně. Tyto funkce byly využity jako Blueprint Interface, rozhraní, které vytváří veřejně volatelné funkce a proměnné v jiných Blueprint skriptech. Jako podmínku vykonání funkce bylo nastaveno zmáčknutí tlačítka na příslušném pohybovém ovladači, pokud tedy bude tlačítko puštěno, funkce se přeruší a objekt nadále nebude držen rukou. Tyto skripty včetně funkcí z oblasti Blueprint Interface byly dále použity i v dalších funkcích, kde byl požadavek na uchopení daného objektu.



Obr. 66: Skript pro vyhodnocení uchopení

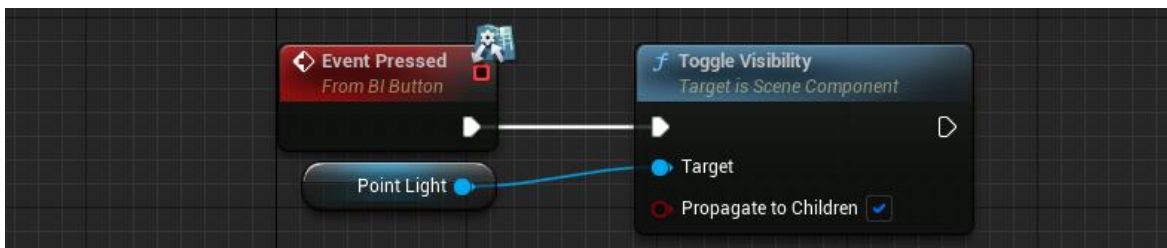


Obr. 67: Skript připojující objekt k modelu ovladače

### 5.3.2. Ovládání světel

Pro ovládání světel bylo vytvořeno virtuální tlačítko, které snímá kolize modelu tlačítka a ruky reprezentující pohybový ovladač. Pokud dojde ke kolizi, je zaznamenáno zmáčknutí a je změněna proměnná skriptu světel, která způsobí přepnutí viditelnosti světel viz Obr. 68. To způsobí efekt vypnutí nebo zapnutí světla při zmáčknutí tlačítka.



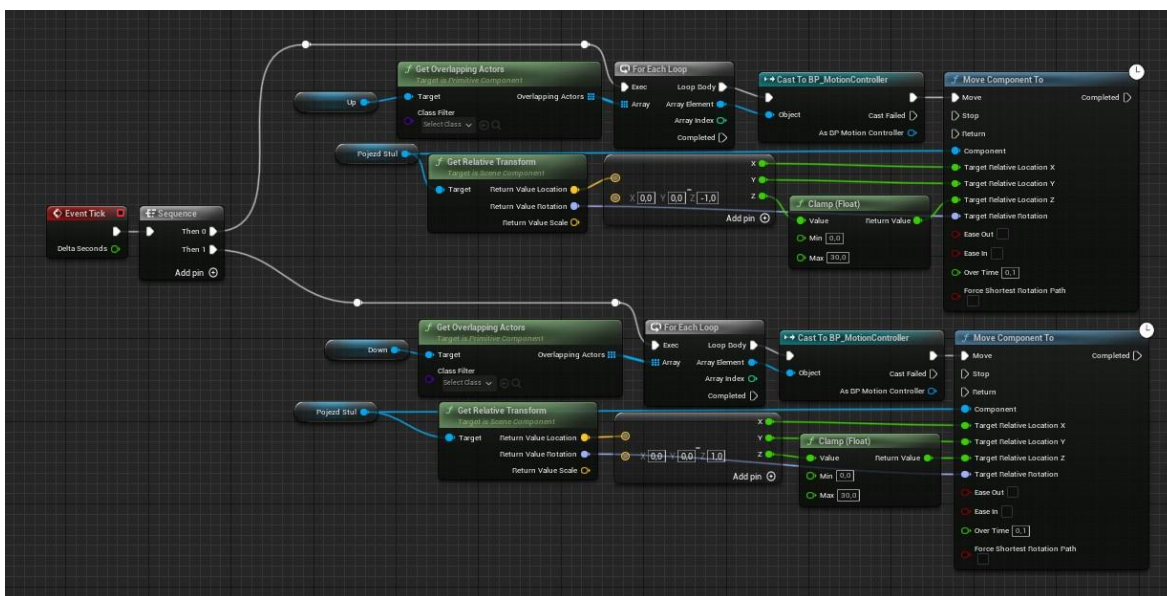


Obr. 68: Skript nastavující viditelnost světel

Dané tlačítko použité k ovládání světel využívá také rozhraní Blueprint Interface a je možné jej využít i pro vyslání signálu do jiných skriptů.

### 5.3.3. Nastavitelná výška stolu

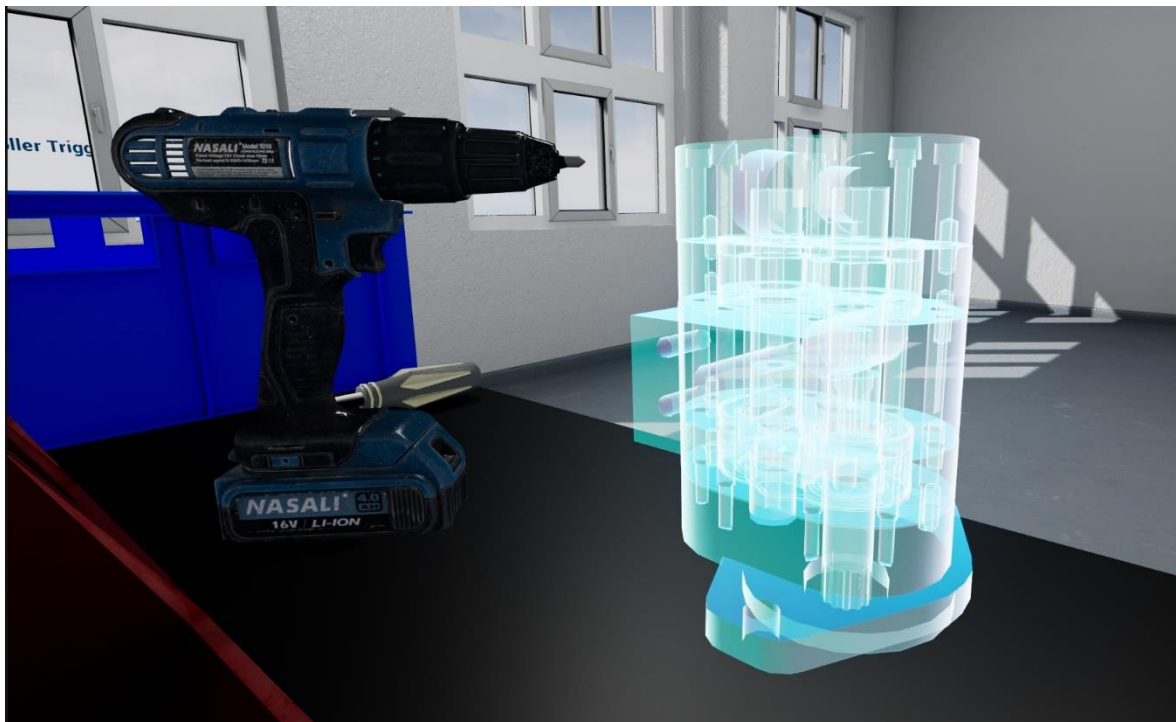
Pro potřeby nastavitelné výšky stolu byl vytvořen skript, který obsahuje model montážního stolu se dvěma ovládacími tlačítky výšky pro pohyb stolu nahoru respektive dolů. Tyto tlačítka fungují na podobném principu jako tlačítko světel a zaznamenávají kolizi pohybového ovladače a také využívají rozhraní Blueprint Interface z předchozího skriptu. Pokud dojde ke kolizi jednoho z tlačítek s ovladačem, spustí se skript, který přičte nebo odečte nastavenou hodnotu z relativní pozice objektu v 3D prostoru a dojde k pohybu stolu. Z důvodu reálného omezeného rozpětí nastavitelné výšky stolu bylo zavedeno podobné omezení i ve virtuálním prostředním zasvorkováním rozsahu relativních hodnot. Tím se zamezí nechtěnému pohybu stolu mimo jeho rozsah. Finální skript je možné vidět na obrázku Obr. 69. Pro stůl byl zaveden Blueprint Interface s proměnou, pokud se stůl pohybuje, pro předání informace o pohybu stolu pro objekty, které budou později na stůl umístěny.



Obr. 69: Skript pro ovládání výšky stolu

#### 5.3.4. Montážní úloha

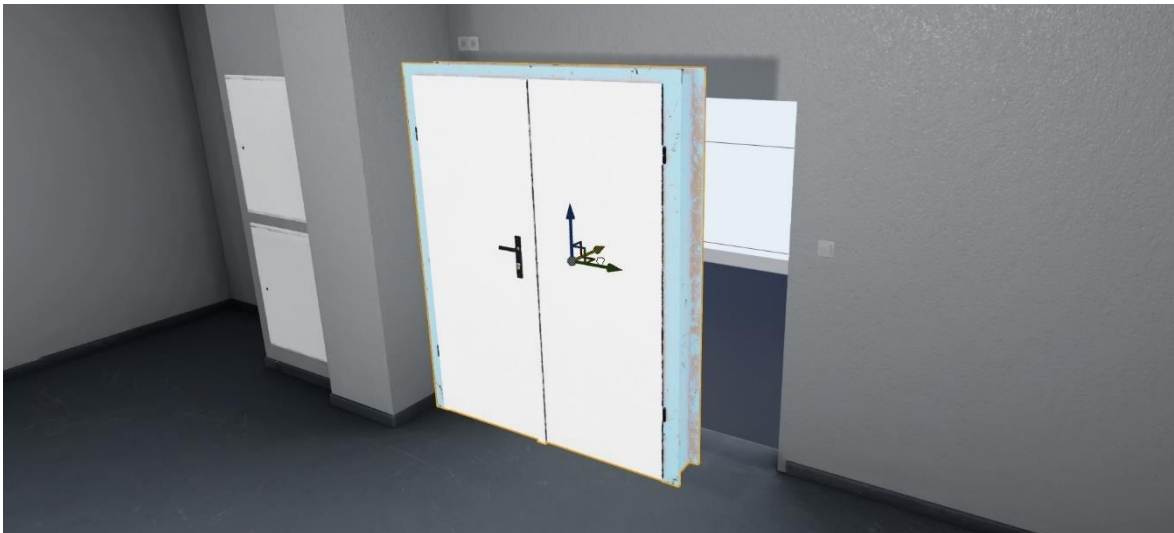
Nejdůležitějším prvkem, který bude pro montáž čerpadla implementován je zakládání montážních součástí do vlastních předem určených pozic. Pro tyto potřeby byl použit balíček skriptů uživatele Gabee dostupný z Unreal Engine Marketplace. Balíček obsahuje skript, který zobrazí hologram součástky, která do něj má být vložena a dále skript, který tyto součástky vytvoří. V nastavení těchto skriptů byly dále vybrány jednotlivé modely tvořící dvoustupňové čerpadlo a byl vytvořen popis těchto součástí pro přiřazení ke správnému hologramu. U těchto skriptů došlo k úpravě dílčích funkcí v podobě možnosti tvořit více jednotlivých modelů a dále byla přidána funkce, která vytvoří model sestaveného čerpadla po úspěšné montáži po stisku tlačítka a následně smaže předchozí samostatné modely zakládáné do hologramů, pro realističtější simulaci montážního procesu. Finálním prvkem balíčku je skript umožňující použití šroubových spojů, které je možné zašroubovat pomocí akumulátorového šroubováku. Pro potřeby montáže čerpadla byl změněn model akumulátorového šroubováku, model nástavce a použitého bitu. Finální úpravu a nastavení těchto skriptů je možné vidět na Obr. 70. [49]



Obr. 70: Holografické zobrazení montážních součástek

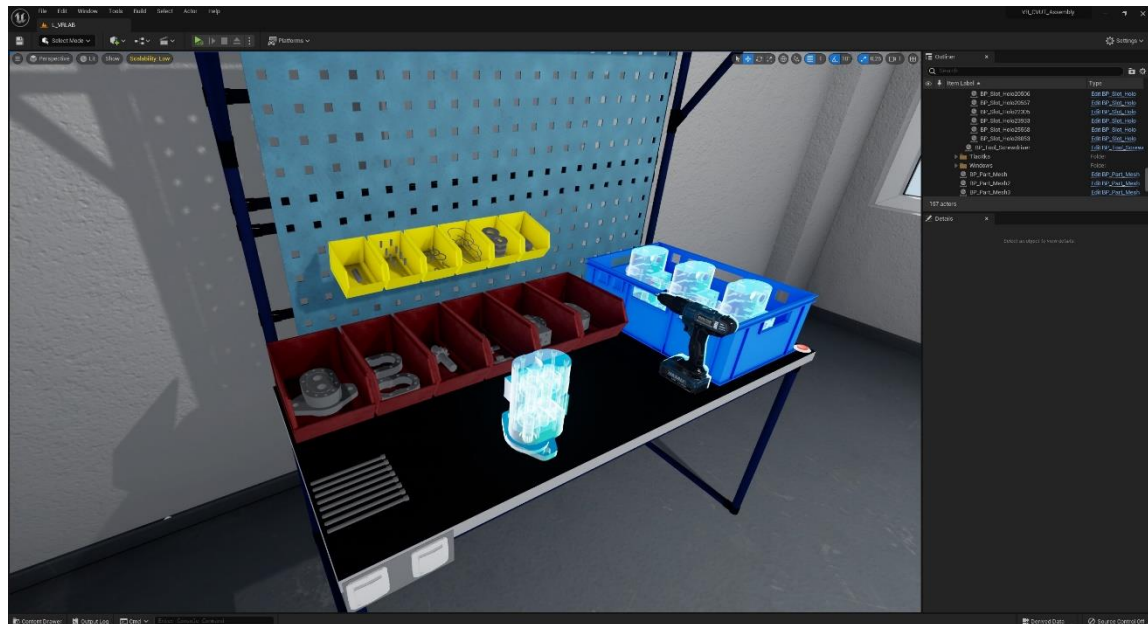
#### 5.4. Umístění objektů v prostoru

Z knihovny obsahu, kam byly nahrány všechny modely a kde se nacházejí všechny vytvořené skripty, byl do 3D prostoru umístěn model laboratoře. Do vnitřku modelu byly postupně vloženy modely oken, dveří, rozvaděčů a světel podle reálné předlohy. Příklad umístění modelu dveří je možné vidět na Obr. 71

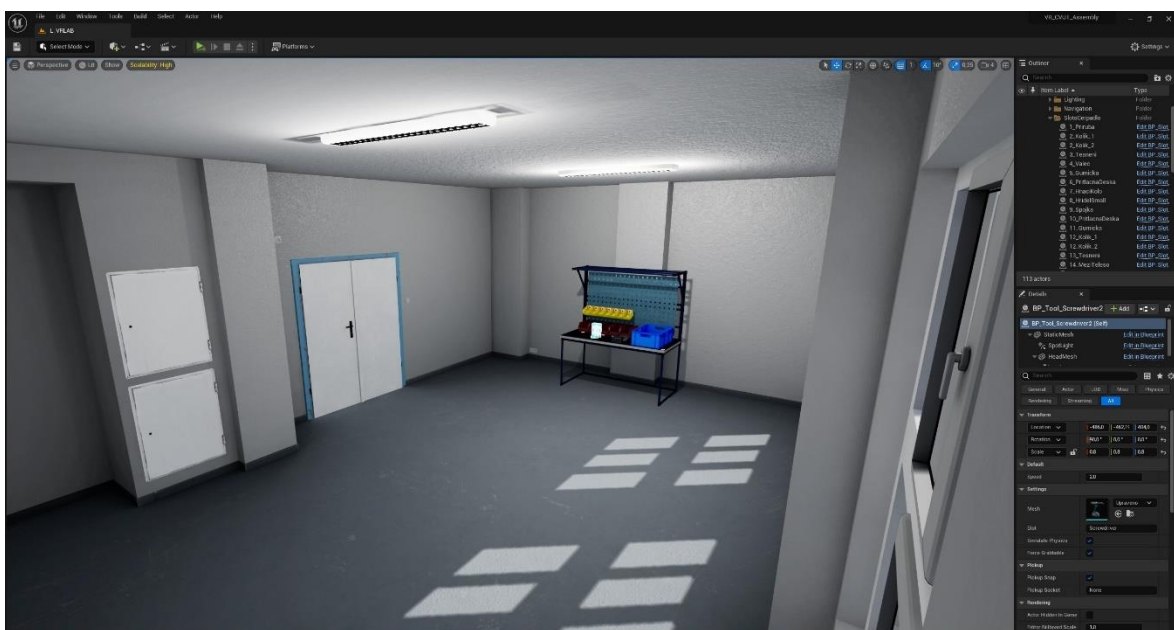


Obr. 71: Posuv objektů v UE5

Dále byl na volné místo ke stěně umístěn Blueprint pracovního stolu, který umožňuje nastavit výšku pracovní roviny. Do skriptu montážního stolu byly umístěny montážní boxy, které obsahují pozice montážních součástek a samotné skripty montážních součástek. Dále byly na model pracovního stolu, mimo skript, umístěny holografické projekce, zobrazující správnou pozici montážních součástek, které ukazují montážní postup. Následně na volnou pozici na stole byl umístěn Blueprint funkčního akumulátorového šroubováku, včetně umístitelné holografické pozice a uchopitelný model šroubováku. Finálně byla na montážní stůl umístěna euro přepravka s holografickou pozicí pro umístění hotového montážního celku, včetně tlačítka pro ukončení montáže a vytvoření daného modelu celku. U některých pohyblivých modelů a skriptů, které jsou objektem interakce a montáže byla povolena fyzika, což způsobí, že takové objekty reagují na svůj kolizní model a jsou ovlivňovány gravitací. U některých menších objektů nebyla povolena fyzika z důvodu propadávání dané součástky jinými modely. U některých jiných modelů byly dodělané neviditelné holografické pozice v boxech pro uložení součástky a zajištění jednotného pohybu s pohybem stolu. Výsledná virtuální scéna je zobrazena na Obr. 72 a Obr. 73.



Obr. 72: Scéna virtuálního prostředí v UE5

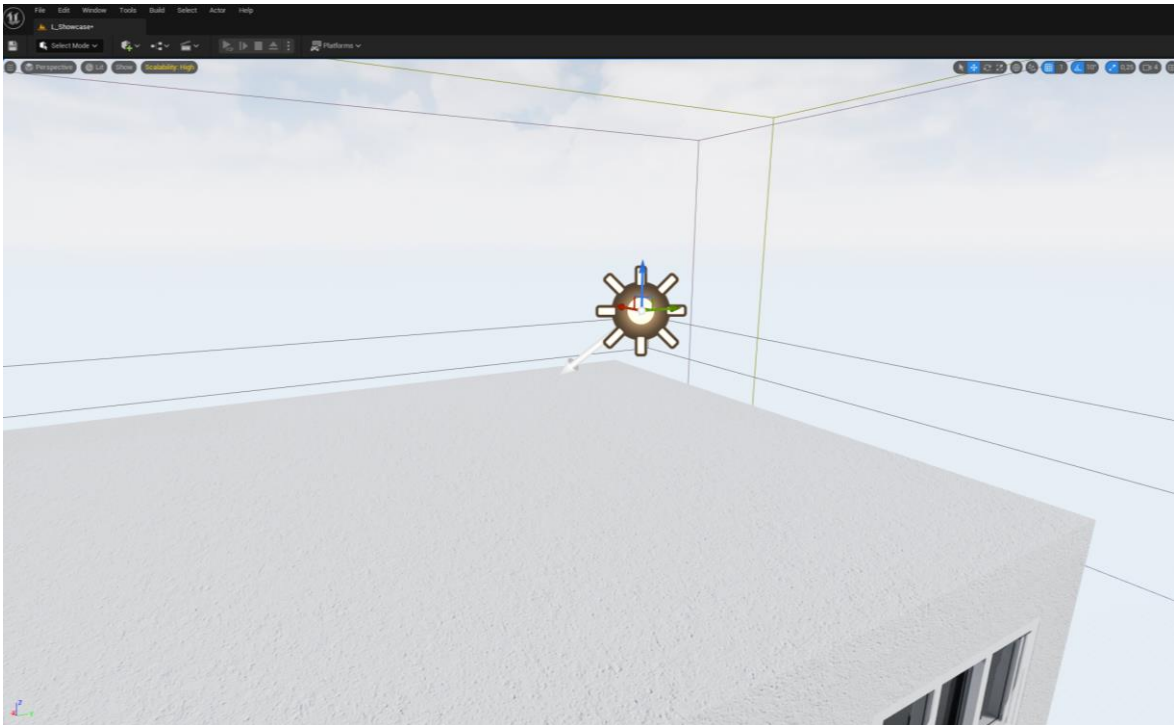


Obr. 73: Virtuální laboratoř

## 5.5. Nasvícení scény

V použité šabloně „Virtual Reality“ je výchozí komponentou pro osvětlení scény „Directional Lighting“ neboli směrové světlo viz Obr. 74, které simuluje přirozené denní světlo. U toho typu osvětlení je možné nastavit sílu zdroje, úhel vyslaného světla ze zdroje, barvu a teplotu světla. [45]





Obr. 74: Směrové světlo v UE5

Pro potřeby osvětlení montážního pracoviště je však nutné přidání dodatečných světelných zdrojů, aby byl pracovní prostor dobře osvětlený. Kromě směrového světla jsou na výběr v Unreal Engine 5 další tři typy osvětlení, mezi které patří „Spot Light“, které simuluje jevištní světlo, dále „Point Light“, které simuluje žárovku a finálně „Rect Light“, které simuluje velký LED panel. U všech typů těchto světél je možné nastavit barvu a teplotu světla. Na rozdíl od směrového světla však nemají neomezený dosah, ale je nutné pro každé světlo nastavit okruh působení. Z důvodu velké náročnosti na výpočetní výkony by se nikdy neměly překrývat více jak dva okruhy působení světél. [50]

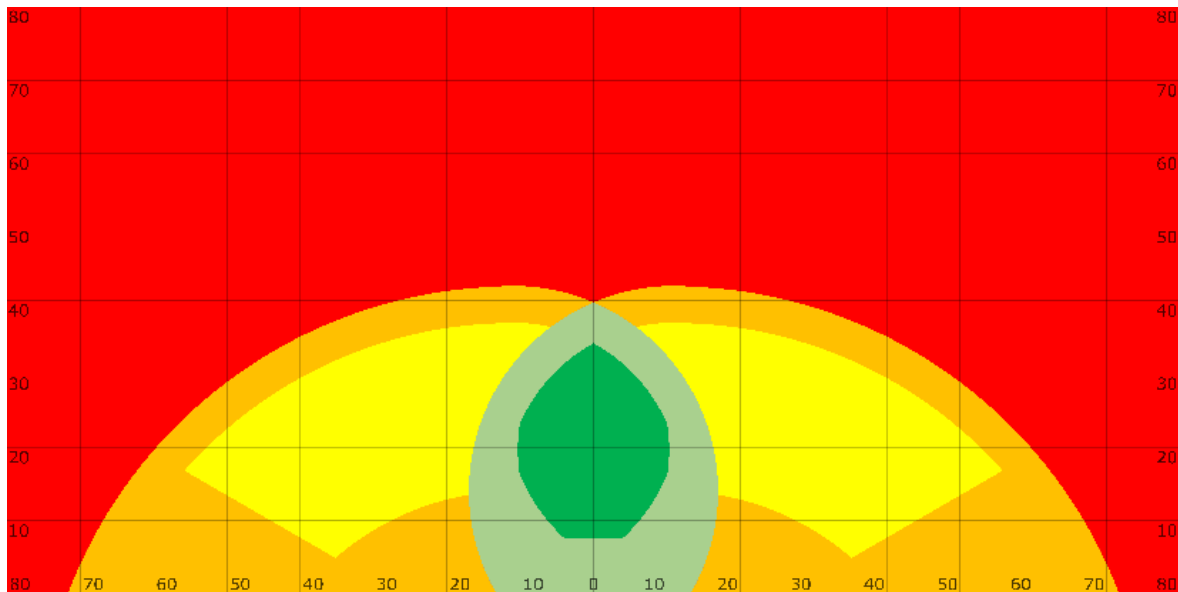
Pro montážní pracoviště bylo zvoleno bodové světlo „Point Light“ pod každý model stropního zářivkového svítidla viz Obr. 75. Bodové světlo bylo roztaženo přes celou šířku modelu svítidla, aby světelný projev odpovídal specifikacím zářivkové výbojky. U parametrů byla vybrána taková intenzita světla, která nejvíce odpovídá reálnému stavu osvětlení v místnosti.



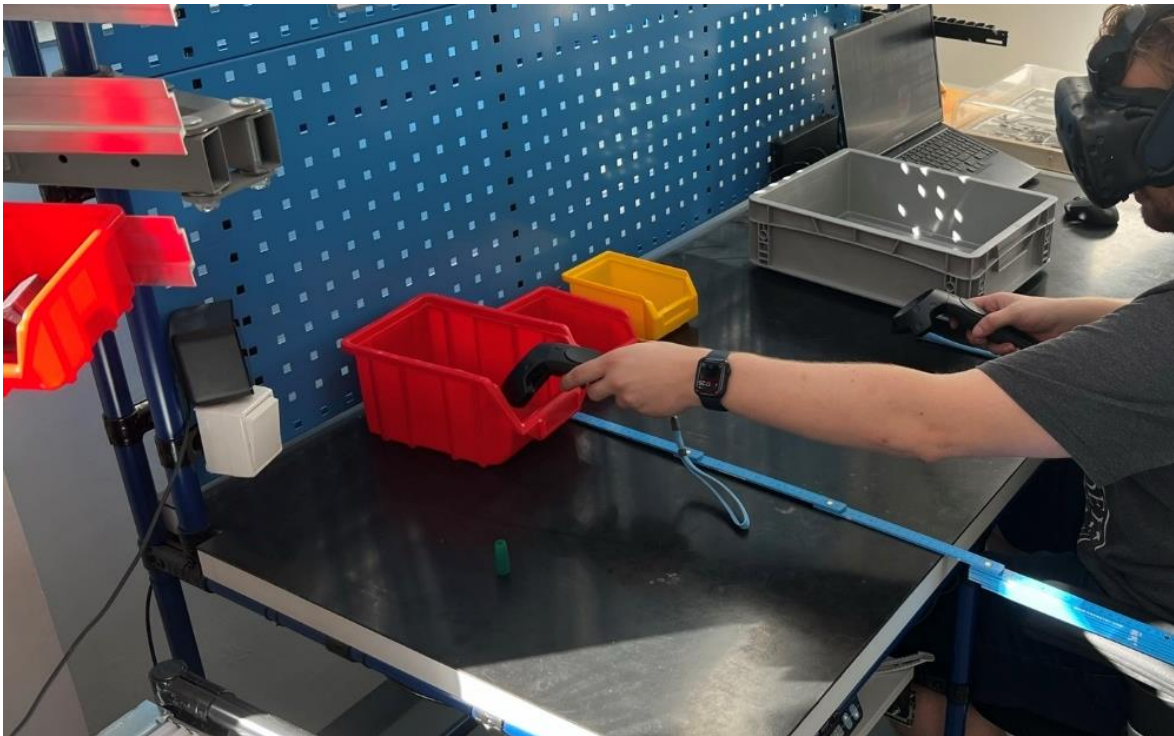
Obr. 75: Stropní svítidla

## 6. Ověření funkcionality virtuálního prostředí prostřednictvím montážní úlohy

Jelikož účelem této práce je napodobit co nejvíce montážní proces, je důležité ověřit, že dosah pohybových ovladačů ve virtuálním prostředí zhruba odpovídá skutečnosti. To bylo provedeno natažením ruky s pohybovým ovladačem přes plochu stolu a porovnáním dosažené vzdálenosti s reálným dosahem horních končetin. Na montážní stůl ve virtuální realitě byl aplikován překryv viz Obr. 76, ze kterého byly odečteny souřadnice umístěných montážních boxů. Jelikož by bylo velmi složité napasovat virtuální prostředí na to reálné, jedná se pouze o odhady, kdy byla zaujata pozice uprostřed stolu a z této pozice byl testován dosah na montážní boxy umístěné na stole ve virtuální realitě. Pro potřeby ověření dosahu byl na reálný montážní stůl umístěn montážní box na přibližně podobné odměřené pozice z virtuální reality a následně byl vyzkoušen dosah, který odpovídal skutečnosti viz Obr. 77 a Obr. 78. Tyto obrázky také slouží pro lepší pochopení toho, co vidí uživatel ve virtuální realitě v simulovaném virtuálním prostředí viz Obr. 78 a jak tato pracovní poloha vypadá mimo virtuální realitu viz Obr. 77.



Obr. 76: Mapa testovaných rozsahů



Obr. 77: Testování dosahů



Obr. 78: Testování dosahů ve virtuální realitě

## 6.1. Popis montážního procesu

Celý montážní proces je v simulaci realizovaný jedním pracovníkem montážního pracoviště. Podrobný rozpis montážních operací je uvedený v Tab. 11.

Tab. 11: Popis operací montáže čerpadla

Číslo operace	Popis operace
10	Odebrání příruby čerpadla z boxu
20	Umístění příruby čerpadla na montážní stůl



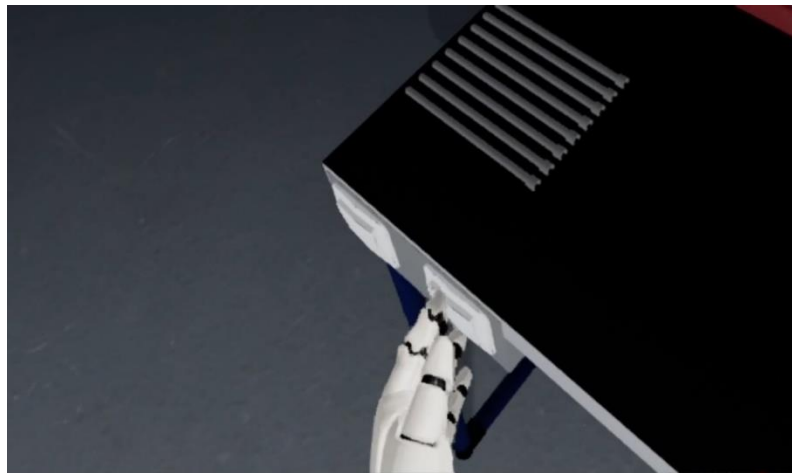


30	Odebrání spojovacích kolíků z boxu
40	Umístění spojovacích kolíků do příruby čerpadla
50	Odebrání těsnění těla čerpadla z boxu
60	Umístění těsnění do pozice
70	Odebrání těla čerpadla z boxu
80	Založení těla na přírubu čerpadla
90	Odebrání těsnění přítlačné desky z boxu
100	Umístění těsnění přítlačné desky na pozici
110	Odebrání přítlačné desky čerpadla z boxu
120	Umístění přítlačné desky čerpadla
130	Odebrání hnací hřídele z boxu
140	Založení hřídele do pozice
150	Odebrání spojky z boxu
160	Založení spojky do hnací hřídele
170	Odebrání malé hnací hřídele z boxu
180	Založení malé hnací hřídele do pozice
190	Odebrání přítlačné desky čerpadla z boxu
200	Umístění přítlačné desky do pozice
210	Odebrání těsnění přítlačné desky z boxu
220	Umístění těsnění přítlačné desky na pozici
230	Odebrání těsnění těla čerpadla z boxu
240	Umístění těsnění do pozice
250	Odebrání spojovacích kolíků z boxu
260	Umístění spojovacích kolíků do těla čerpadla
270	Odebrání mezitělesa čerpadla z boxu
280	Založení mezitělesa na tělo čerpadla
290	Odebrání nátrubku z boxu
300	Zasazení nátrubku do mezitělesa čerpadla
310	Odebrání spojovacích kolíků z boxu
320	Umístění spojovacích kolíků do mezitělesa čerpadla
330	Odebrání těsnění těla čerpadla z boxu
340	Umístění těsnění do pozice
350	Odebrání těla čerpadla z boxu
360	Založení těla na mezitěleso čerpadla
370	Odebrání těsnění přítlačné desky z boxu
380	Umístění těsnění přítlačné desky na pozici
390	Odebrání přítlačné desky čerpadla z boxu
400	Umístění přítlačné desky čerpadla
410	Odebrání malé hnací hřídele z boxu
420	Založení malé hnací hřídele do pozice
430	Odebrání malé hnací hřídele z boxu
440	Založení malé hnací hřídele do pozice
450	Odebrání přítlačné desky čerpadla z boxu
460	Umístění přítlačné desky do pozice
470	Odebrání těsnění přítlačné desky z boxu
480	Umístění těsnění přítlačné desky na pozici
490	Odebrání těsnění těla čerpadla z boxu
500	Umístění těsnění do pozice
510	Odebrání spojovacích kolíků z boxu
520	Umístění spojovacích kolíků do těla čerpadla
530	Odebrání víka čerpadla z boxu

540	Založení víka čerpadla na tělo
550	Odebrání šroubů z boxu
560	Založení šroubů do pozice
570	Utažení šroubů
580	Umístění složeného čerpadla do euro přepravky

## 6.2. Ověření a testování simulace montáže

Testování montáže probíhalo přiřazením štítku montážním součástkám uložených v boxech, pro správné přiřazení pozice v hologramu. Dále byla pod montážní stůl umístěna kamera, reprezentující náhlavní sestavu takovým způsobem, aby při nasazení na hlavu uživatel seděl či stál přímo u montážního stolu ve virtuálním prostředí. Následně byl spuštěn program, kde byla nejdříve viz Obr. 79 nastavena vyhovující výška pracovní roviny pro montáž ve stoje.



Obr. 79: Úkon nastavení výšky pracovní roviny

Následně byla započata montáž uchopením základního dílu čerpadla viz Obr. 80 a uložení do holografické pozice, která se po uchopení dílu na montážním pracovišti objeví viz Obr. 81.

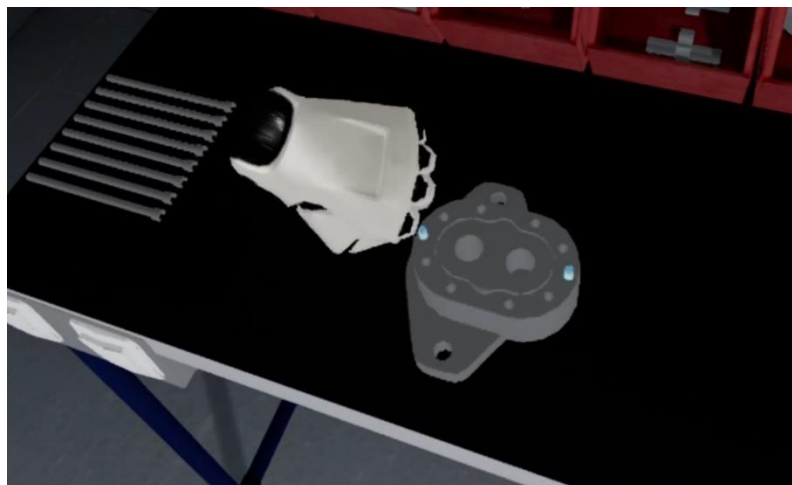


Obr. 80: Úkon uchopení dílu příruby čerpadla



*Obr. 81: Úkon založení dílu do holografické pozice*

Po přiblížení modelu příruby skript hologramu zaznamená kolizi a držený model uchytí do pozice namísto zobrazeného hologramu viz Obr. 82. Na obrázku je dále patrné, že další objekty montáže, které mají přijít na řadu, mají pro holografickou pozici zapnuté vyžádání předchozí založené součástky. V tomto případě holografické zobrazení spojovacích kolíků vyžaduje založenou součástku příruby čerpadla.

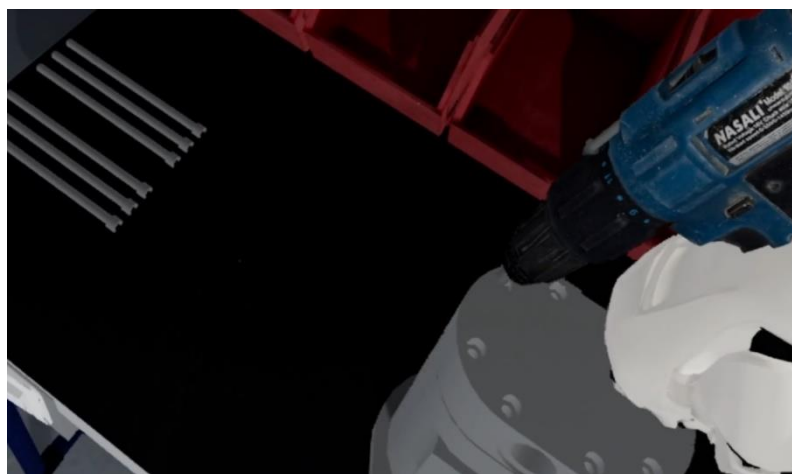


*Obr. 82: Založený díl příruby čerpadla*

Simulace montáže pro ostatní montážní součástky probíhala obdobně, kde hologram pokaždé vyzval uživatele pro uchopení a založení zobrazovaného modelu montážní součástky, vyjma modelů šroubů. Po nasazení víka čerpadla byl uživatel pro montáž šroubů také vyzván hologramem viz Obr. 83, avšak veškeré šrouby musely být po uložení do pozice následně zašroubovány pomocí modelu akumulátorového šroubováku viz Obr. 84.



*Obr. 83: Montáž šroubu*



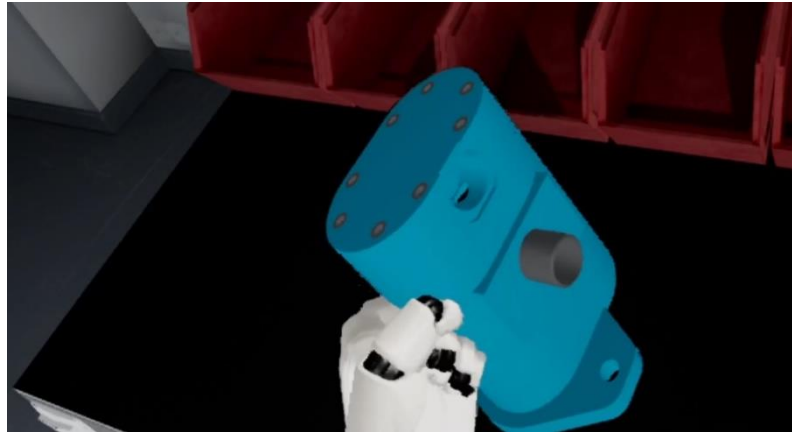
*Obr. 84: Úkon utažení šroubů pomocí akumulátorového šroubováku*

Po kompletaci všech montážních součástí a utažení všech šroubových spojů byla ukončena montáž pomocí zmáčknutí tlačítka na pravém kraji montážního stolu viz Obr. 85.



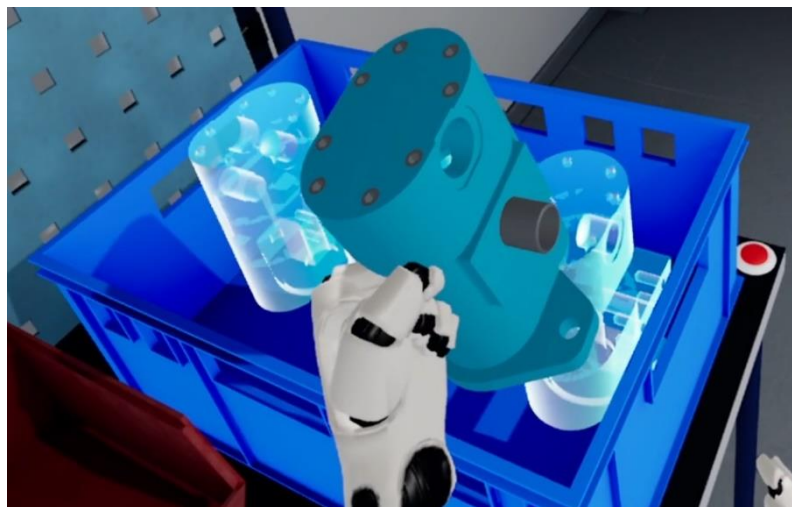
*Obr. 85: Úkon zmáčknutí tlačítka ukončující montáž*

Tento úkon způsobil vymazání všech jednotlivých montážních součástek čerpadla a došlo k vytvoření jednotného uchopitelného montážního celku čerpadla viz Obr. 86 namísto původního holografického zobrazení se založenými součástkami.

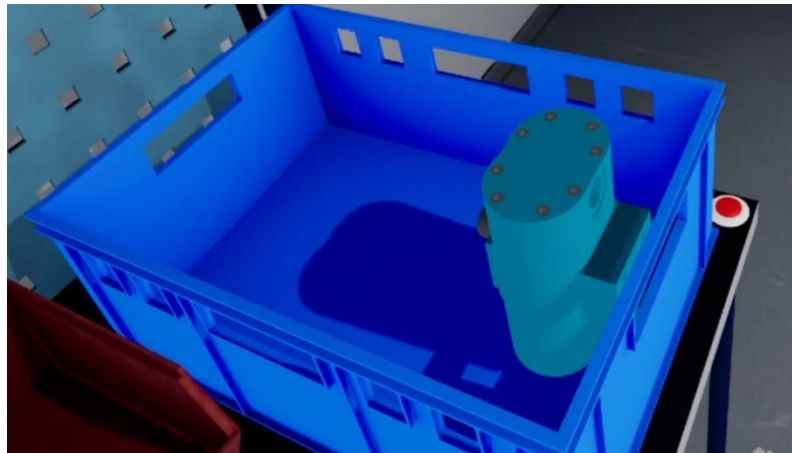


*Obr. 86: Montážní celek čerpadla*

Uchopením tohoto modelu byla v montážní euro přepravce zobrazena holografická pozice pro uložení montážního celku čerpadla viz Obr. 87 a následným založením do pozice viz Obr. 88 byl ukončen montážní proces.



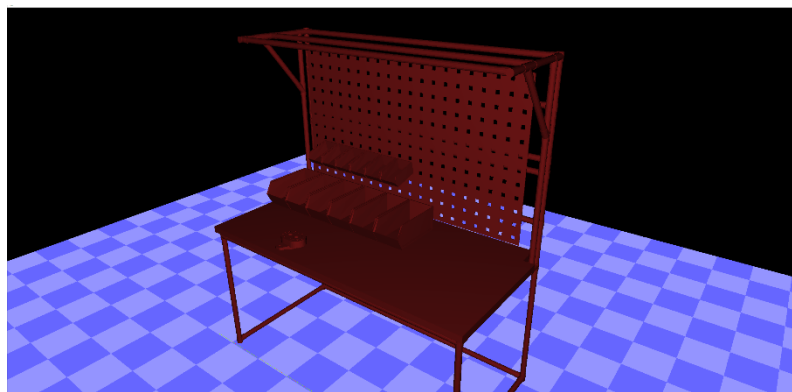
*Obr. 87: Úkon uložení čerpadla do přepravky*



Obr. 88: Uložené čerpadlo v montážní přepravce

### 6.2.1. Ověření dosahu dle legislativy

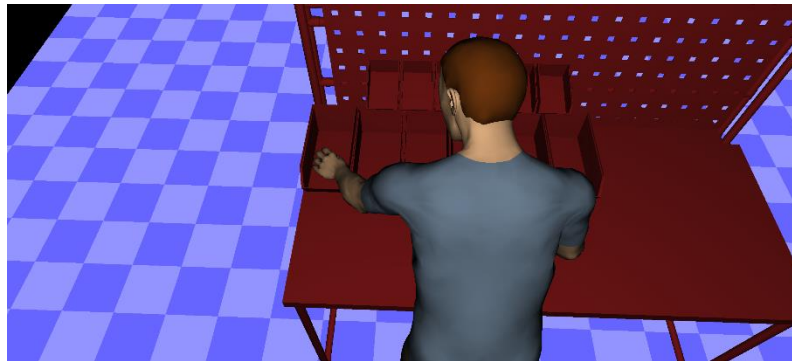
V programu Siemens Tecnomatix Jack 9.0 byla vytvořena kopie montážního stolu pro ověření dosahu pracovníka a následného vyhodnocení dle platné legislativy, konkrétně nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Montážní boxy byly na pracovní stůl umístěny totožně jako ve virtuálním prostředí v programu Unreal Engine 5 viz Obr. 89. Stůl byl umístěn do stejné polohy jako při testování montážní simulace a testování reálných dosahů na fyzickém pracovním stole umístěném v laboratoři, z důvodu nemožnosti nastavení výšky reálného stolu a pro co nejvíce podobné výsledky. Tato výška stolu spíše odpovídá výšce pracovní roviny pro montáž v sedě.



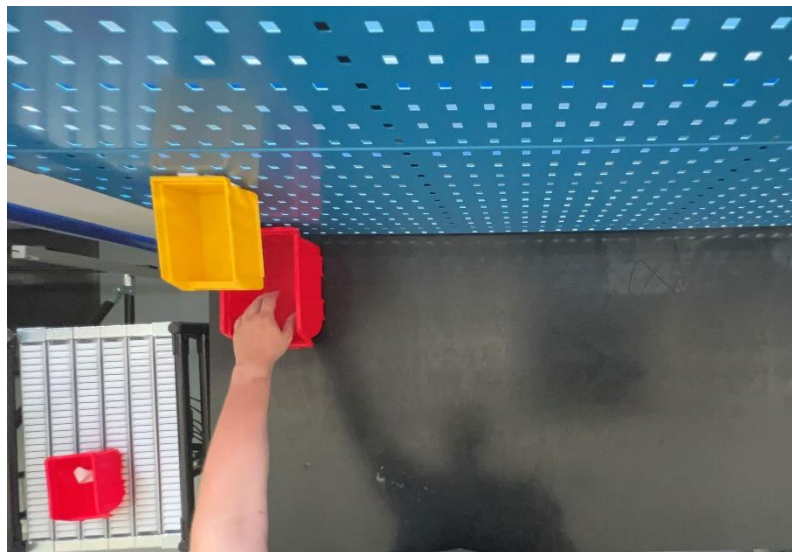
Obr. 89: Montážní pracoviště v programu Siemens Jack

Ke stolu byla v programu Siemens Jack doplněna postava pracovníka s výchozími proporcemi, a to mužské postavy výšky 175 cm a váhy 79 kg. Pro ověření dosahu a náročnosti pohybů byly vybrány nejkritičtější pozice levého horního a dolního montážního boxu. Na Obr. 90 je možné vidět zvolenou pozici levého dolního montážního boxu a figuru pracovníka, který vykonává úkon odebrání příruby čerpadla z boxu. Na Obr. 91 a Obr. 92 je poté možné vidět porovnání vůči obrázku Obr. 90 se skutečností a virtuálním prostředím.





*Obr. 90: Dosah na levý dolní montážní box č. 1*



*Obr. 91: Dosah na levý dolní montážní box ve skutečnosti*



*Obr. 92: Dosah na levý dolní montážní box ve virtuálním prostředí*

Dosah na levý dolní box byl dále vyhodnocen v programu Siemens Jack pomocí pluginu N361, který vyhodnocuje fyzickou zátěž pracovní roviny dle nařízení vlády 361/2007 Sb. Hlava IV Díl 3. viz Obr. 93. Z obrázku tabulky je patrné, že zdánlivě problémovými pracovními pohyby je pronace a

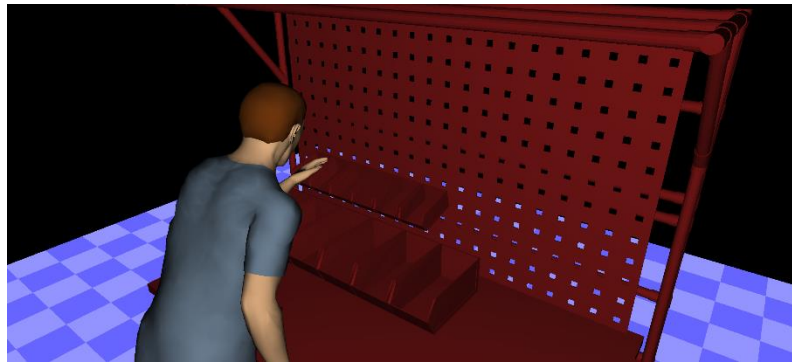
supinace levého zápěstí s hodnotou 37,6 stupňů, flexe zápěstí s hodnotou 15,9 stupňů a ventrální flexe horní levé paže s hodnotou 48,6 stupňů. Obě tyto hodnoty jsou vyznačeny oranžovou barvou, která značí zónu podmíněně přijatelných pracovních pohybů. Pro vysvětlení zelená barva značí hodnocení rizika pracovní polohy jako přijatelnou, oranžová jako podmíněně přijatelnou a červená barva, která není v hodnocení přítomna, značí nepřijatelnou pracovní polohu. U podmíněně přijatelných pracovních poloh je průměrný hygienický limit pro dobu práce v osmihodinové směně 160 minut a doba trvání jednotlivých pracovních poloh nesmí být delší než jedna až osm minut dle závislosti na typu pracovní polohy. [51]

Human:	human
<b>Torso:</b>	
Flexion:	29.5
Lateral:	-0.2
Axial:	0.7
<b>Head-Neck:</b>	
Flexion:	10.2
Lateral:	-0.9
Axial:	14.4
<b>Upper arm:</b>	
	Left: Right:
Flexion:	48.6 19.4
Abduction:	37.5 15.3
Transverse:	34.1 37.9
LatHumRot:	-3.2 -4.5
<b>Wrist:</b>	
Flexion:	15.9 12.6
Deviation:	-8.0 -0.1
Pron/Sup:	37.6 -29.1 <input type="checkbox"/>
<b>Elbow:</b>	
Flexion:	34.6 46.3 <input type="checkbox"/>
<b>Knee:</b>	
Flexion:	17.2 19.7 <input type="checkbox"/>
<b>Foot:</b>	
Flexion:	16.6 12.6
Add/Abd:	4.0 -0.3 <input type="checkbox"/>

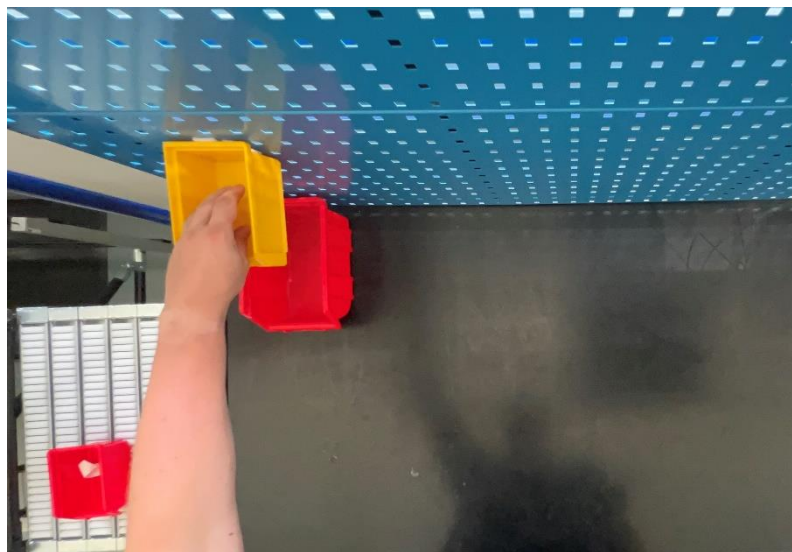
Obr. 93: Vyhodnocení dosahu na levý dolní box dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

Stejný postup byl zvolen i pro horní levý box obsahující spojovací kolíky viz Obr. 94. Obdobně jako u první pracovní polohy i zde je porovnání se skutečností a virtuálním prostředím viz Obr. 95 a Obr. 96.





Obr. 94: Dosah na levý horní montážní box č. 1



Obr. 95: Dosah na levý horní montážní box ve skutečnosti



Obr. 96: Dosah na levý horní montážní box ve virtuální realitě

V obrázku tabulky Obr. 97 jsou vyznačeny jako podmíněně přijatelné pracovní pohyby pronace a supinace levého zápěstí s hodnotou 29,1 stupňů a ventrální flexe levé paže s hodnotou 55,6 stupňů.

Human: human

Postures | Indicators | Reach | Other | Export | Setting

**Torso:**

Flexion:	29.5	
Lateral:	-0.2	
Axial:	0.7	

**Head-Neck:**

Flexion:	2.1	
Lateral:	-0.7	
Axial:	9.5	

**Upper arm:**

	Left:	Right:	
Flexion:	55.6	-8.4	
Abduction:	13.4	5.3	
Transverse:	9.2	147.9	
LatHumRot:	5.0	5.4	

**Wrist:**

Flexion:	-5.0	8.3	
Deviation:	9.5	-5.2	
Pron/Sup:	29.1	-29.1	<input type="checkbox"/>

**Elbow:**

Flexion:	72.1	43.0	<input type="checkbox"/>
----------	------	------	--------------------------

**Knee:**

Flexion:	17.2	19.7	<input type="checkbox"/>
----------	------	------	--------------------------

**Foot:**

Flexion:	16.6	12.6	
Add/Abd:	4.0	-0.3	<input type="checkbox"/>

Usage Dismiss

Obr. 97: Vyhodnocení dosahu na levý horní box dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

### 6.3. Zhodnocení virtuálního prostředí

Pro potřeby simulace montáže ve virtuální realitě byla vytvořena aplikace v editoru Unreal Engine 5 pomocí pluginů nabízených přímo v rozhraní UE5 a vytvořených či stažených modelů s jejich vytvořenými texturami a materiály. Modely byly tvořeny v aplikaci Blender dle reálných předloh dostupných v místnosti montážní laboratoře, vyjma modelu šroubováku, který byl vytvořen v CAD programu Autodesk Inventor 2023 a převeden do formátu programu Blender, pro otestování funkčnosti modelů třetích stran. Pro všechny tyto modely, vyjma modelu akumulátorového šroubováku, který byl stažen i s texturami, byly vytvořeny textury v programu Adobe Substance Painter 3D pomocí široké knihovny textur obsažené v programu. Textury tvořící materiál modelů v UE5 byly voleny dle jejich reálné předlohy, tak aby co nejvíce vizuálně odpovídaly realitě. Tyto



otexturované modely byly v prostředí základní šablony pro virtuální realitu v UE5 rozloženy tak, aby tvořily kopii reálného prostředí montážní laboratoře v budově ČVUT, kde probíhalo testování virtuálních prvků v engine. Dále byly naprogramovány skripty v rozhraní UE Blueprint, umožňující interakci s okolím (např. vypnutí a zapnutí světel), a především umožňující samotnou montáž čerpadla. V prostředí byl dále umístěn stůl, který pomocí skriptů nabízí nastavitelnou výšku pracovní roviny. Na tento stůl byly umístěny montážní boxy v jednoduchém rozložení, obsahující skripty jednotlivých částí modelu čerpadla, které uživatel může uchopit. Následně byly na stůl umístěny holografické pozice části čerpadla pro signalizaci uživatele k založení daného dílu. Pokud uživatel přiloží daný díl do pozice holografu, díl nahradí holograf a uživateli je zobrazena další část pro založení. V takovém principu fungují i následující úkony montáže, až na modely šroubů, které je potřeba akumulátorovým šroubovákem utáhnout. V pravém dolním rohu stolu je umístěno tlačítko signalizující ukončení montážního procesu, které smaže založené modely a nahradí je finálním modelem čerpadla, které uživatel umístí do přepravky a tím ukončí simulaci.

Takové simulační prostředí může sloužit pro seznámení se montážním procesem, a tedy tréninku zaměstnanců pro osvojení nových montážních postupů či při přeškolení na montáž jiného nebo nového produktu. Velkou výhodou je, že si může uživatel prohlédnout důkladně každou jednotlivou součástku montáže a bez rizik si projít montážní proces a pomocí editoru nastavit rozložení montážních boxů dle libosti. Kromě simulace montáže může uživatel zároveň zhodnotit ergonomii pracoviště a na vlastní kůži si vyzkoušet biomechanickou zátěž daného rozložení například i v jiných výškách pracovní roviny ať již v sedě, či ve stoje. Tím že v simulaci replikujeme reálné pohyby, které by uživatel vykonával i v realitě je možné do jisté míry vyhodnotit i normování lidské práce během montážního procesu.

Pro spuštění této simulace byla použita grafická karta Nvidia RTX 3070, AMD Ryzen 7 5800H, 16GB DDR4 RAM a HTC Vive Pro 2 VR kit. Doporučený minimální hardware byl odhadnut pro Nvidia GTX 1080 nebo AMD RX 5700 XT, Intel Core i7 8700K nebo AMD Ryzen 7 2700X a 16GB DDR4 RAM. Jako VR kit může uživatel využít HTC Vive Pro 2 nebo Oculus Quest 2, avšak simulace by měla být kompatibilní s většinou HMD zařízení a jejich periferií.

### 6.3.1. Zhodnocení ergonomie

V kapitole 6.2.1 došlo k ověření dosahů v programu Siemens Jack a byla vyhodnocena nejkritičtější místa rozložení pracovního stolu pomocí pluginu N361, který vyhodnocuje pracovní pohyby dle nařízení vlády 361/2007 Sb. Hlava IV Díl 3. Rozložení montážních boxů a nástrojů je zobrazeno na Obr. 98.



*Obr. 98: Rozložení montážního pracoviště*

Dle obrázků Obr. 93 a Obr. 97 je patrné, že většina pracovních pohybů v kritických polohách vyšla přijatelně, vyjma pronace, supinace a flexe zápěstí a ventrální flexe horní končetiny, které se nachází v hodnotách podmíněně přijatelných. U podmíněně přijatelných pracovních pohybů nesmí doba jednotlivých pracovních poloh přesáhnout čas jedné až osmi minut. U pracovních pohybů vykonávaných během simulace není tento limit překročen pro žádný pohyb během celého montážního procesu. Důležitou roli v tomto vyhodnocení také hraje výška pracovní roviny, která je snižena tak, aby odpovídala výšce reálného stolu umístěného v laboratoři montáže. Montážní proces je tak v simulaci i programu Siemens Jack vykonáván ve stoje pro výšku pracovní roviny, která odpovídá poloze v sedu.

Toto zhodnocení a porovnání virtuálního prostředí se simulací montáže oproti výstupům z programu Siemens Jack zároveň slouží jako validace samotného virtuálního prostředí, kde Siemens Jack reprezentuje skutečnost. Pomocí tohoto porovnání je možné určit, že pracovní pohyby a dosahy provedené ve virtuálním prostředí mají stejné parametry.



## Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvořit funkční a plně interaktivní virtuální prostředí pro simulaci montáže ve virtuální realitě. Zpočátku se práce věnuje teorii montáže, byly přiblíženy pojmy a legislativa ergonomie pro správné rozvržení montážního pracoviště v simulaci a dále bylo přiblíženo téma virtuální reality pro lepší pochopení pojmů a možností v rámci vývoje prostředí pro virtuální realitu.

V další části práce byl představen postup řešení při vývoji virtuálního prostředí, který obsahoval popis tvorby 3D modelů v aplikaci Blender, popis tvorby materiálů a textur tvořených pomocí programu Adobe Substance 3D Painter, včetně popisu řešení vyskytlých problémů během produkce. Dále bylo popsáno nastavení aplikace Unreal Engine 5 pro virtuální realitu a inicializace výchozí scény, do které byly následně nahrány všechny modely a textury s materiály. Pomocí těchto modelů byla vytvořena kompletní virtuální scéna. Následující popis implementace požadovaných vlastností byl věnován tvorbě skriptů, pomocí kterých dostala virtuální scéna nejenom možnosti vizualizace, ale i možnost interagovat s objekty.

V závěru práce bylo vypracováno celkové ověření prostředí pro simulaci montáže ve virtuální realitě, které bylo porovnáno se skutečností, otestováno na montážní úloze dvoustupňového čerpadla a dále ověřeno v programu Siemens Jack pro validaci pracovních pohybů ve virtuálním prostředí. Ověřením totožnosti těchto pracovních pohybů došlo k validaci virtuálního prostředí. Hlavní cíl práce byl tedy splněn.

Výstupem práce je tak simulační virtuální prostředí, které je možné použít pro školení montážních postupů dvoustupňového čerpadla, ověření ergonomických pracovních pohybů a dosahů, nebo jako výukový materiál, pro seznámení studentů s problematikou návrhu montážního pracoviště. Další vývoj této práce by mohl směřovat přidáním výběru odlišných montážních celků na začátku aplikace a přidáním podpory více uživatelů v jedné instanci simulace, kteří by mohli pracovat zároveň na odlišných montážních pracovištích.

Tato práce obsahuje popis, který přibližuje vývoj virtuálního prostředí pro simulaci montáže a otevírá tak cestu studentům k práci s touto simulací. Umožňuje jim na jejích základech dále tvořit pro získání zkušeností v oblasti vývoje podobných virtuálních prostředí, jelikož proprietární řešení velkých firem nenabízí možnost interakce s objekty nebo se jedná o přísně střežené know-how, které tyto firmy nenabízejí pro širokou veřejnost.



## Zdroje

- [1] PETRŮ, Jana a Robert ČEP. *Základy montáže: učební text*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.
- [2] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [3] HOFMANN, Petr. *Technologie montáže*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, 1997. ISBN 80-7082-382-8.
- [4] DUŠÁK, Karel. *Technologie montáže: základy*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-906-6.
- [5] DUŠÁK, Karel. *Metodika řešení rozměrových řetězců*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2006. ISBN 80-7372-053-1.
- [6] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [7] MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. *Základy aplikované ergonomie*. Vyd. 1. Praha: VÚBP, 2009. Bezpečný podnik. ISBN 978-80-86973-58-6.
- [8] Technor. In: *Technor: Technické normy ČSN* [online]. [cit. 2022-06-24]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/>
- [9] Zákony pro lidi. In: *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů ČR* [online]. [cit. 2022-06-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [10] MATOUŠEK, Oldřich a Jaroslav BAUMRUK. *Pracovní místo a zdraví: ergonomické uspořádání a vybavení pracovního místa*. 2., upr. vyd. Praha: Státní zdravotní ústav, 2000. ISBN 80-7071-160-4.
- [11] FASSATI, Tomáš. *Česká ergonomie 2015*. První. Praha: Česká ergonomická společnost, 2015. ISBN 978-80-87400-18-0.
- [12] ACCIALINI, Nicola. *Industry 4.0: User Guide*. 1st. Great Britain: Amazon, 2021. ISBN 9798722273697.
- [13] 5 Types Of Virtual Reality: Creating A Better Future. In: *Rextheme* [online]. [cit. 2022-07-02]. Dostupné z: <https://rextheme.com/types-of-virtual-reality/>
- [14] Inside-out v Outside-in. In: *Wearable* [online]. [cit. 2022-06-29]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/vr/inside-out-vs-outside-in-vr-tracking-343>



- [15] What is a 3dof vs 6dof in vr. In: *Mechatech* [online]. 2021 [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://www.mechatech.co.uk/journal/what-is-a-3dof-vs-6dof-in-vr>
- [16] WHYTE, Jennifer a Dragana NIKOLIĆ. *Virtual Reality and the Built Environment*. 2nd Edition. London: Routledge, 2018. ISBN 9781315618500.
- [17] *Valve Index* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/sub/354231/>
- [18] GIRDHAR, Abhinav. The Limitations of Virtual Reality. In: *Appypie* [online]. 2020 [cit. 2022-07-07]. Dostupné z: <https://www.appypie.com/virtual-reality-limitations>
- [19] CHATTHA, Umer Asghar. Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 130486-130499 [cit. 2022-07-12]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: [doi:10.1109/ACCESS.2020.3007076](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076)
- [20] Virtuální realita: Historie a současnost. In: *VREducation* [online]. [cit. 2022-07-08]. Dostupné z: <https://vreducation.cz/virtualni-realita-historie-a-soucasnost/>
- [21] *Google Cardboard VR* [online]. 2014 [cit. 2022-07-15]. Dostupné z: <https://arvr.google.com/cardboard/>
- [22] Virtual Reality Applications. In: *Trio* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.trio.dev/blog/virtual-reality-applications>
- [23] *Oculus Quest 2: Meta* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://store.facebook.com/quest/products/quest-2/>
- [24] *HTC: VIVE Pro 2* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://www.vive.com/us/product/vive-pro2/overview/>
- [25] *Playstation VR* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/ps-vr/>
- [26] *Pimax: Vision 8K* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://pimax.com/product/vision-8k-x/>
- [27] *Samsung: Gear VR* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/cz/support/model/SM-R325NZVAXEZ/>
- [28] *Autodesk: Software using AR/VR* [online]. 2022 [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://asean.autodesk.com/solutions/virtual-reality>
- [29] *Simlab Soft: Composer* [online]. [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://www.simlab-soft.com/3d-products/simlab-composer-main.aspx>



- [30] BLAIN, Loz. Ford VR Immersive Vehicle Environment. In: *New Atlas* [online]. [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://newatlas.com/ford-immersive-vehicle-environment-five-lab-vr/33952/>
- [31] *Unreal Engine 5 Documentation: Developing for XR Experiences* [online]. 2022 [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/developing-for-xr-experiences-in-unreal-engine/>
- [32] TOM DIECK, M. Claudia a Timothy JUNG, ed. *Augmented Reality and Virtual Reality* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2019 [cit. 2022-07-12]. Progress in IS. ISBN 978-3-030-06245-3.
- [33] *Unreal Engine 5 Static Meshes* [online]. [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/static-meshes/>
- [34] *Blender.org: Home of the Blender project* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.blender.org/>
- [35] *Autodesk: Software 3ds Max* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [36] *Autodesk: Software Maya* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/maya/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [37] *Unreal Engine 5 Documentation: Textures in Unreal Engine* [online]. [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/textures-in-unreal-engine/>
- [38] *Adobe: Substance Painter 3D* [online]. [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://www.adobe.com/cz/products/substance3d-painter.html>
- [39] *Founder: Mari* [online]. [cit. 2022-07-13]. Dostupné z: <https://www.foundry.com/products/mari>
- [40] THORN, Alan. *Game engine design and implementation*. Sudbury, Mass.: Jones & Bartlett Learning, 2010. ISBN 978-0-7637-8451-5.
- [41] *Unity 2021.3: LTS* [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [42] *CryEngine V: Manual* [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://docs.cryengine.com/display/CEMANUAL/CRYENGINE+V+Manual>
- [43] *Unreal Engine 5: Documentation* [online]. 2022 [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/>





- [44] *Blender: UVs & Texture Space* [online]. [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: [https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/uv/uv\\_texture\\_spaces.html#uv-maps](https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/uv/uv_texture_spaces.html#uv-maps)
- [45] *Unreal Engine 5 Documentation: VR Template* [online]. [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/vr-template-in-unreal-engine/>
- [46] *Unreal Engine 5 Documentation: Importing Assets* [online]. [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/importing-assets-directly-into-unreal-engine/>
- [47] *Unreal Engine 5 Documentation: Materials* [online]. [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/unreal-engine-materials/>
- [48] *Unreal Engine 5 Documentation: Blueprints Visual Scripting* [online]. [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine/>
- [49] *UE Marketplace: Gabeee Content* [online]. [cit. 2022-07-18]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/profile/Gabeee?>
- [50] *Unreal Engine 5 Documentation: Light Types* [online]. [cit. 2022-07-18]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/light-types-and-their-mobility-in-unreal-engine/>
- [51] *Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.* In: . Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Nákres soustředné montáže [1] .....	11
Obr. 2: Nákres rozčleněné montáže [1] .....	12
Obr. 3: Nákres proudové montáže [1] .....	12
Obr. 4: Nákres předmětné montáže [1] .....	13
Obr. 5: Nákres linkové montáže [1] .....	13
Obr. 6: Ergonomie pracovního místa .....	16
Obr. 7: Rozsah horních končetin .....	19
Obr. 8: Vybavení pracoviště .....	20
Obr. 9: Snímání polohy a rotací headsetu [15] .....	24
Obr. 10: Detail ovládacích prvků pohybového ovladače [17] .....	25
Obr. 11: Schéma rozmístění stanic [17] .....	25
Obr. 12: Heilig Sensorama [20] .....	26
Obr. 13: Brýle Google Cardboard [21].....	27
Obr. 14: Oculus Quest 2 [23] .....	29
Obr. 15: HTC Vive Pro 2 [24] .....	30
Obr. 16: Valve Index [17].....	31
Obr. 17: PlayStation VR [25].....	32
Obr. 18: Pimax Vision 8K [26].....	33
Obr. 19: Samsung Gear VR [27].....	34
Obr. 20: LIVE view aplikace Autodesk Revit 2023 [28].....	35
Obr. 21: Vývojové schéma virtuálního prostředí .....	36
Obr. 22: Prostředí programu Substance Painter .....	37
Obr. 23: Vývojové prostředí Unity [41] .....	38
Obr. 24: Vývojové prostředí CryEngine V [42] .....	39
Obr. 25: Vývojové prostředí Unreal Engine 5.....	40
Obr. 26: 3D sken laboratoře .....	42
Obr. 27: Fotografie laboratoře #1 .....	42
Obr. 28: Fotografie laboratoře #2 .....	43
Obr. 29: Funkce extrude programu Blender .....	43
Obr. 30: Vyznačený půdorys místnosti .....	44
Obr. 31: Rozložení modelu stěny s okny do UV mapy .....	44
Obr. 32: Vytvořený model pomocí referenčního skenu.....	45
Obr. 33: Kolizní bloky modelu .....	45
Obr. 34: Dveře místnosti .....	46



Obr. 35: Rozvaděč místnosti .....	46
Obr. 36: Zářivka místnosti .....	47
Obr. 37: Montážní stůl .....	47
Obr. 38: Kolizní bloky montážního stolu .....	48
Obr. 39: Vymodelovaný šroubovák .....	48
Obr. 40: Akumulátorový šroubovák .....	48
Obr. 41: Montážní regálový box .....	49
Obr. 42: Montážní euro přepravka .....	49
Obr. 43: Součástky čerpadla .....	50
Obr. 44: Převrácená normálová plocha části modelu .....	51
Obr. 45: Knihovna materiálů Adobe Substance 3D Painter .....	52
Obr. 46: Aplikace materiálů na model .....	53
Obr. 47: Importovaný model v Substance Painter s UV mapou .....	53
Obr. 48: Okno pro export textur z programu Substance 3D Painter .....	54
Obr. 49: Aplikovaný materiál na model boxu v programu Adobe Substance 3D Painter .....	54
Obr. 50: Texturovaný model přepravky .....	54
Obr. 51: Aplikované textury na model montážního stolu .....	55
Obr. 52: Texturovaná místnost pracoviště .....	55
Obr. 53: Pracoviště s aplikovanými texturami .....	56
Obr. 54: Model dveří s texturami .....	56
Obr. 55: Model rozvaděče s texturami .....	56
Obr. 56: Model okna s texturami .....	57
Obr. 57: Model zářivky s texturami .....	57
Obr. 58: Texturovaný model nástroje .....	57
Obr. 59: Úvodní okno aplikace Unreal Engine 5 .....	59
Obr. 60: Prostředí Unreal Engine 5 .....	59
Obr. 61: VR pluginy Unreal Engine 5 .....	60
Obr. 62: Okno importu modelů .....	61
Obr. 63: Karta materiálů modelu v UE5 .....	62
Obr. 64: Nahrané textury modelu stolu .....	62
Obr. 65: Propojené textury s materiálem modelu .....	63
Obr. 66: Skript pro vyhodnocení uchopení .....	64
Obr. 67: Skript připojující objekt k modelu ovladače .....	64
Obr. 68: Skript nastavující viditelnost světel .....	65
Obr. 69: Skript pro ovládání výšky stolu .....	65



Obr. 70: Holografické zobrazení montážních součástek.....	66
Obr. 71: Posuv objektů v UE5.....	67
Obr. 72: Scéna virtuálního prostředí v UE5.....	68
Obr. 73: Virtuální laboratoř.....	68
Obr. 74: Směrové světlo v UE5.....	69
Obr. 75: Stropní svítidla.....	70
Obr. 76: Mapa testovaných rozsahů .....	71
Obr. 77: Testování dosahů .....	72
Obr. 78: Testování dosahů ve virtuální realitě .....	72
Obr. 79: Úkon nastavení výšky pracovní roviny .....	74
Obr. 80: Úkon uchopení dílu příruby čerpadla.....	74
Obr. 81: Úkon založení dílu do holografické pozice .....	75
Obr. 82: Založený díl příruby čerpadla .....	75
Obr. 83: Montáž šroubu .....	76
Obr. 84: Úkon utažení šroubů pomocí akumulátorového šroubováku.....	76
Obr. 85: Úkon zmáčknutí tlačítka ukončující montáž.....	76
Obr. 86: Montážní celek čerpadla .....	77
Obr. 87: Úkon uložení čerpadla do přepravky .....	77
Obr. 88: Uložené čerpadlo v montážní přepravce .....	78
Obr. 89: Montážní pracoviště v programu Siemens Jack.....	78
Obr. 90: Dosah na levý dolní montážní box č. 1.....	79
Obr. 91: Dosah na levý dolní montážní box ve skutečnosti .....	79
Obr. 92: Dosah na levý dolní montážní box ve virtuálním prostředí .....	79
Obr. 93: Vyhodnocení dosahu na levý dolní box dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ....	80
Obr. 94: Dosah na levý horní montážní box č. 1 .....	81
Obr. 95: Dosah na levý horní montážní box ve skutečnosti.....	81
Obr. 96: Dosah na levý horní montážní box ve virtuální realitě .....	81
Obr. 97: Vyhodnocení dosahu na levý horní box dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ....	82
Obr. 98: Rozložení montážního pracoviště .....	84



## Seznam tabulek

Tab. 1: Legislativa v ergonomii [8] [9] .....	17
Tab. 2: Doporučené výšky pracovní roviny pro sed [7] .....	18
Tab. 3: Dělení časů [6] .....	21
Tab. 4: Specifikace Oculus Quest 2 [23] .....	29
Tab. 5: Specifikace HTC Vive Pro 2 [24] .....	30
Tab. 6: Specifikace Valve Index [17] .....	31
Tab. 7: Specifikace PlayStation VR [25] .....	32
Tab. 8: Specifikace Pimax Vision 8K [26] .....	33
Tab. 9: Specifikace Samsung Gear VR [27] .....	34
Tab. 10: Kusovník čerpadla .....	50
Tab. 11: Popis operací montáže čerpadla .....	72

## Seznam použitého software

Adobe Substance 3D Painter 8.1.1

Autodesk Inventor Professional 2023

Blender 3.1

Microsoft Office 365

Siemens Tecnomatix Jack

Unreal Engine 5.0.2