

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití virtuální reality pro BOZP

Autor: Martin BAKEŠ
Vedoucí práce: Ing. Miroslav BEDNÁŘ

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin BAKEŠ**
Osobní číslo: **S19B0191P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Využití virtuální reality pro BOZP**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Virtuální realita a její využití v praxi
2. Návrh využití VR pro BOZP
3. Tvorba scénářů ve VR pro BOZP
4. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **0**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. GREENGARD, Samuel. *Virtual Reality*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2019. ISBN 262537524.
2. NEUGEBAUER, Tomáš. *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci v kostce*. 2. vydání. Praha: Wolters Kluwer, 2016. ISBN 978-80-7552-106-4.
3. HUGGETT, Cindy. *Virtual Training Basics*. 1st edition. Alexandria: Association for Talent Development, 2013. ISBN 978-1562867027.
4. SHERMAN, William R., CRAIG, Alan B. *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. 2nd edition. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann, 2019. ISBN 0128183993.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Bednář**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Matěj Dvořák**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Bednářovi a konzultantovi Ing. Matějovi Dvořákovi za cenné rady, připomínky a pomoc během vytváření práce. Poděkovat bych chtěl také za časté konzultace, které byly vždy velmi přínosné pro dokončení této bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bakeš	Jméno Martin	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bednář	Jméno Miroslav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Využití virtuální reality pro BOZP		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	54	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	24
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce obsahuje informace spojené s virtuální realitou, přičemž cílem bylo vytvořit aplikaci, která bude sloužit jako část školení BOZP se zaměřením na nebezpečný odpad. Aplikace pro virtuální realitu obsahuje důležité informace, které pracovníci následně využijí při práci s ním. Pracovníci budou školeni virtuálními brýlemi Oculus Quest 2, ve kterých bude aplikace nainstalována.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Virtuální realita, BOZP, HMD, Nebezpečný odpad, Oculus Quest 2

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bakeš	Name Martin
STUDY PROGRAMME	B0715A27001 Mechanical Engineering	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bednář	Name Miroslav
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Use of virtual reality for health and safety	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	54	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	24
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis contains information connected with virtual reality and its goal is to create an application which could be used as a part of OSH training while focusing on hazardous waste. The application for virtual reality includes important information which can be used by workers when dealing with such a type of waste afterwards. Workers will be trained with the Oculus Quest 2 headset in which the application will be installed.
KEY WORDS	Virtual reality, OSH, HMD, Oculus Quest 2, Hazardous waste

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod.....	13
2 Virtuální realita a její využití v praxi	14
2.1 Historie VR.....	14
2.2 Software pro virtuální realitu.....	16
2.2.1 Unity 3D.....	16
2.2.2 Unreal Engine 5.....	17
2.2.3 Blender	17
2.2.4 Substance 3D Painter	17
2.2.5 iClone8	18
2.3 Hardware pro virtuální realitu	18
2.3.1 Oculus Quest 2	18
2.3.2 Meta Quest Pro.....	19
2.3.3 HTC Vive Pro 2.....	19
2.3.4 Porovnání VR headsetů Quest a HTC.....	20
2.4 Druhy využití virtuální reality	20
2.4.1 Zábavní průmysl.....	21
2.4.2 Školství.....	21
2.4.3 Zdravotnický průmysl	21
2.4.4 Obranný průmysl.....	22
2.4.5 VR v podnicích.....	23
2.4.6 Metaverse	24
3 BOZP ve virtuální realitě	25
3.1 Vzdělávání zaměstnanců BOZP pomocí virtuální reality	25
3.2 Efektivita zaškolování pomocí virtuální reality.....	26
3.3 Příklady využití virtuální reality pro BOZP	26
4 Scénář a aplikace pro BOZP s nebezpečným odpadem	28
4.1 Postup tvorby aplikace.....	28
4.2 Návrh scénáře pro školení s nebezpečným odpadem ve VR.....	28
4.3 Postup školení.....	29
4.4 Tvorba a přenesení scénáře do virtuální reality.....	29
4.5 Vyhodnocení pracovníka.....	32

5	Příprava prostředí	33
5.1	Vytváření modelů	33
5.2	Kontrola a export modelů	34
5.3	Vytváření textur	34
5.4	Tvorba haly	37
5.5	První pracovní prostor	38
5.6	Druhý pracovní prostor	40
5.7	Testovací prostor	41
5.8	Animace	41
5.9	Zvuková instruktáž	42
6	Nastavení scény a tvorba aplikace	45
7	Testování aplikace	47
8	Závěr	50
	Seznam použitých zdrojů	51

Přehled použitých zkratk a symbolů

VR	Virtuální realita
AS FST	Akademický senát FST
BOZP a PO	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci a Požární ochrana
CIV	Centrum informatizace a výpočetní techniky
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FST	Fakulta strojní
HW	Hardware
IS/STAG	Informační systém STAG
KKE	Katedra energetických strojů a zařízení
KKS	Katedra konstruování strojů
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Sensorama [3]	15
Obrázek 2 - VLP headset [3].....	15
Obrázek 3 – Unity prostředí [vlastní zpracování]	16
Obrázek 4 – Blender prostředí [vlastní zpracování].....	17
Obrázek 5 - Oculus Quest 2 [14].....	18
Obrázek 6 - Meta Quest Pro [16]	19
Obrázek 7 - HTC Vive Pro 2 [18].....	19
Obrázek 8 - Herní prostředí ve VR [21].....	21
Obrázek 9 - Nácvik operace ve VR [21]	22
Obrázek 10 - Trénink vojáků ve VR [25]	23
Obrázek 11 - Využití VR pro vizualizaci součásti [29]	24
Obrázek 12 - Zaškolování pracovníka ve VR [35]	26
Obrázek 13 - Hašení ve virtuální realitě [36]	27
Obrázek 14 - Výškové práce ve virtuální realitě [37]	27
Obrázek 15 - První pracovní prostor	31
Obrázek 16 - Druhý pracovní prostor	31
Obrázek 17 - Model značky	33
Obrázek 18 - Nastavení exportu modelu.....	34
Obrázek 19 - Vytváření textur.....	35
Obrázek 20 - Nastavení Unity URP	35
Obrázek 21 - Přidání textur na značku	36
Obrázek 22 - Hala	37
Obrázek 23 - Hala z druhého pohledu.....	37
Obrázek 24 - Značka se SnapDropZonou	38
Obrázek 25 - Tabule s cedulkami a značkou.....	39
Obrázek 26 - Třídění odpadu	41
Obrázek 27 - Avatar v podobě školícího pracovníka	42
Obrázek 28 - Vypnutý PP.....	45
Obrázek 29 - Zapnutý PP	45
Obrázek 30 - Výběr platformy	46
Obrázek 31 - Nastavení zařízení	46
Obrázek 32 - Nastavení Multiview	46

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Porovnání headsetů Quest a HTC [15] [17] [19].....	20
Tabulka 2 - Grafické symboly s nebezpečnými vlastnostmi [41].....	29
Tabulka 3 - Hodnocení pracovníka	32
Tabulka 4 - Protokol nedostatků	48

1 Úvod

Virtuální realita zažívá v dnešní době rychlý nárůst díky velké dostupnosti této technologie pro běžné a komerční účely. Od druhé poloviny 20. století, kdy se o této technologii začalo poprvé mluvit pokročila až do stádia, kdy jí bude každý využívat pro různé potřeby.

Nejčastější setkání s virtuální realitou člověk zažije v oblasti zábavy, jelikož se jedná o velice rozšířené odvětví, které je snadno dostupné pro každého. V této oblasti uživatelé mohou sledovat živé přenosy, hrát videohry nebo se bavit s přáteli. Virtuální realita má ale mnohem širší a důležitější využití, které může například pomoci pracovníkům při práci, pacientům v nemocnicích s rychlejším uzdravením nebo vojákům při důležité přípravě. Využití najde i při zaškolování pracovníků o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci, což bude podstatná náplň této práce.

Tato práce obsahuje základní informace o virtuální realitě, její historii, hardwaru a softwaru. Jsou zde popsány, jaké náhlavní soupravy a enginy jsou ve světě nejčastěji používány a jaké budou použity pro naši práci. Dále je v práci ukázáno podrobnější využití této technologie v jednotlivých odvětvích a zjistíme, jak bude tato technologie vypadat v následujících letech. Praktická část této práce popisuje vytvoření scénáře a aplikace ve virtuální realitě pro školení BOZP orientované na nebezpečné odpady.

2 Virtuální realita a její využití v praxi

Virtuální realitu, zkráceně VR, lze nejlépe popsat jako umělé, trojrozměrné prostředí, ve kterém se můžeme pohybovat a interagovat s ním. Do tohoto vytvořeného prostředí se dostaneme pomocí VR headsetu v podobě virtuálních brýlí, umístěných na hlavě uživatele. Tento hardware snímá pohyby končetin a přenáší je do virtuálního prostředí. Hlavním cílem této technologie je vytvořit co nejrealističtější prostředí, kterého dosáhneme na základě těchto čtyř základních aspektů, jež ve své knize popsal Willam R. Sherman a Alan B. Craig. Těmito aspekty jsou: virtuální svět, imerze, zpětná vazba a interakce. [1] [2]

1) Virtuální svět

Virtuální svět je uměle vytvořené 360stupňové prostředí pomocí softwaru, ve kterém se následně uživatel může pohybovat. Toto prostředí může být vytvořené na skutečném základě, kde se snažíme napodobit prostředí např. z firmy, která bude pomocí této technologie školit zaměstnance. Další možností je vytvořit zcela jiné prostředí, jež není založeno na skutečnosti a které můžeme následně použít například pro herní průmysl. Prostředí je tvořeno z jednotlivých 3D modelů, které jsou texturovány tak, aby vypadaly co nejrealističtěji. [2]

2) Imerze

Imerze neboli schopnost ponořit uživatele do virtuálního prostředí a vnímat ho, jako bychom byli v přítomnosti. Cílem je získat takový emocionální nebo mentální stav, který v nás zanechá nové zkušenosti nebo zážitky. [2]

3) Zpětná vazba

Pomocí senzorů uživatel dostává zpětnou vazbu, která se mu ihned promítne do brýlí například v podobě pohybu svého těla a končetin, které vidí ve vytvořeném prostředí. Tyto senzory jsou umístěny v headsetu a v ovladačích, které monitorují náš pohyb. [2]

4) Interakce

Aby byl pocit z používání této technologie autentický musí být prostředí interaktivní. Jednotlivé objekty tedy musí reagovat na akce uživatele. Interakci lze definovat jako schopnost uživatele pohybovat s předměty, posouvat je, otáčet s nimi nebo ovládat jednotlivé prvky jako např. spínače nebo tlačítka. [2]

2.1 Historie VR

Významný historický okamžik se stal v roce 1956, kdy kameraman Morton Heilig vynalezl první VR stroj, kterému dal název Sensorama (viz Obrázek 1). Patentován byl až v roce 1962. Tento stroj ve velikosti skříně dokázal stimulovat všechny smysly. Uživatel mohl vidět plnobarevné 3D video, poslouchat zvuk, cítit vibrace, čichat vůni nebo například vnímat vítr. Pro tento svůj stroj, který je na následujícím obrázku vynálezce natočil šest krátkých filmů, které v něm prezentoval. Heilig si v roce 1960 nechal také patentovat telesférickou masku, což byl první displej umožňující využít 3D obraz se širším úhlem obrazovky a možností zvuku. Tato souprava však zatím nedokázala zachytit pohyb těla. [3]



Obrázek 1 – Sensorama [3]

Na počátku šedesátých let 20. století inženýři ze společnosti Philco Corporation vytvořili zařízení Headsight. Jedná se o první náhlavní soupravu v podobě, kterou známe dnes. Souprava disponuje magnetickým systémem pro sledování pohybu hlavy s obrazovkami pro každé oko zvlášť.

Ivan Sutherland přišel s vizí „Ultimate Display“ v roce 1965, která by replikovala realitu takovým způsobem, že by ji uživatel nebyl schopen rozlišit od skutečné reality. Vize zahrnuje virtuální svět viděného pomocí HMD (Head mounted display), ve kterém je možno pracovat a interagovat s prostředím za přítomnosti zpětné vazby. Součástí této vize byl také počítačový hardware, který by sloužil pro vytváření virtuálního světa a údržbu v reálném čase. Tato práce je považována za základní plán pro virtuální realitu.

V roce 1987 byl vytvořen termín „virtuální realita“ se kterým přišel Jaron Lanier a který byl také zakladatel laboratoře VPL. Díky působení a výzkumu v této firmě vyvinul a vytvořil spoustu zařízení pro virtuální realitu (viz Obrázek 2). Jedním ze zařízení byly například EyePhone displeje umístěné na hlavě. Tento výrobek se pak následně začal prodávat a díky tomu se stali první společností, která prodávala brýle pro virtuální realitu. V průběhu tohoto toku také firma Dimension International vytvořila software, který byl určen pro modelování a tvorbu trojrozměrného prostředí. [3]



Obrázek 2 - VLP headset [3]

NASA (National Aeronautics and Space Administration) zahájila v roce 1989 ve spolupráci s Crystal River Engineering projekt VIEW (Virtual Environment Workstation), sloužící pro výcvik astronautů před letem do vesmíru. Do tohoto projektu jsou již zapojeny i rukavice pro jemnou simulaci dotykových interakcí.

V roce 1991 Antonio Medina navrhl systém Computer Simulated Teleoperation ve virtuální realitě, který řídí robotická vozítka na Marsu v reálném čase ze Země, přičemž zohledňuje i jeho zpoždění.

Významný okamžik se stal také v roce 2014, kdy společnost Facebook koupila společnost Oculus VR a virtuální realita začíná narůstat na popularitě. V této době, firmy, jako je např. Samsung, Google, Sony oznamují, že začínají pracovat na svých VR produktech a o dva roky později už začaly být dostupné pro širokou veřejnost. [3]

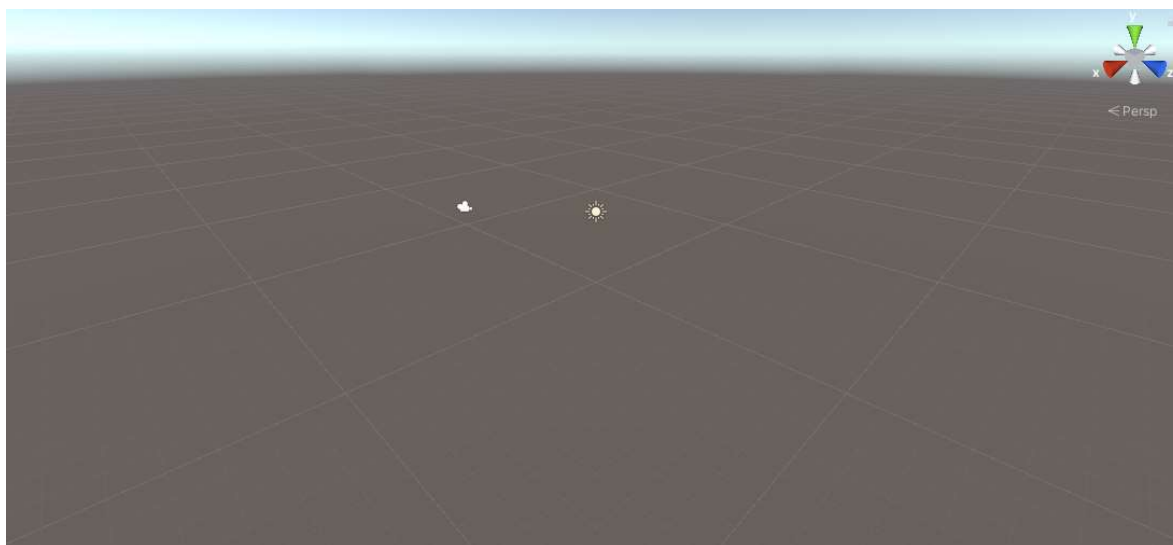
2.2 Software pro virtuální realitu

Vývojáři používají k vytváření svých prostředí různé softwarové programy neboli engine, které disponují a zahrnují 2D a 3D vykreslování, zvuky, programování, animace, detekce kolízi nebo přidání fyziky. Pomocí softwarů lze vymodelovat jakékoli prostředí, kterému je poté přidána funkčnost. Vzhled prostředí a celé scény závisí především na účelu aplikace a představitivosti vývojáře. Mezi nejvíce používané engine patří například Unreal engine nebo Unity 3D, které si následně popíšeme spolu s nástrojem pro počítačovou grafiku Blenderem a Substance 3D Painterem. [2] [4]

2.2.1 Unity 3D

Herní engine vyvinutý roku 2005 společností Unity Technologies za účelem vytvoření nástroje k vývoji her, aplikací a filmů. Jedná se o 2D a 3D engine, který se v průběhu svého působení stále rozšiřuje. Hlavním cílem je poskytnout co nejrozšířenější sadu nástrojů pro vývojáře nejen v herním průmyslu, ale i v ostatních odvětvích se zaměřením na vývoj 3D v reálném čase. V oblasti virtuální a rozšířené reality je Unity jedním z klíčových podporovatelů pro vývoj. Pro VR je k dispozici široká škála balíčků, které podporují téměř všechny VR headsety a které jsou neustále aktualizovány. Software také nabízí mnoho prvků, šablon, zvuků, efektů, které si můžeme koupit nebo stáhnout zdarma z Unity storu přímo pro náš projekt. Aplikace můžeme vytvářet pro široký počet platforem a exportovat je tak pro Android, iOS, Windows, MacOS, Linux, PS4, Xbox a další. (viz Obrázek 3)

Tento software mají uživatelé k dispozici zdarma a díky programovacímu jazyku C# je vhodný především pro začátečníky. Poplatky dle verze programu je nutné uhradit pouze v situaci, kdy uživatel vydělá pomocí tohoto engine za rok přes 100 000 dolarů. [4]



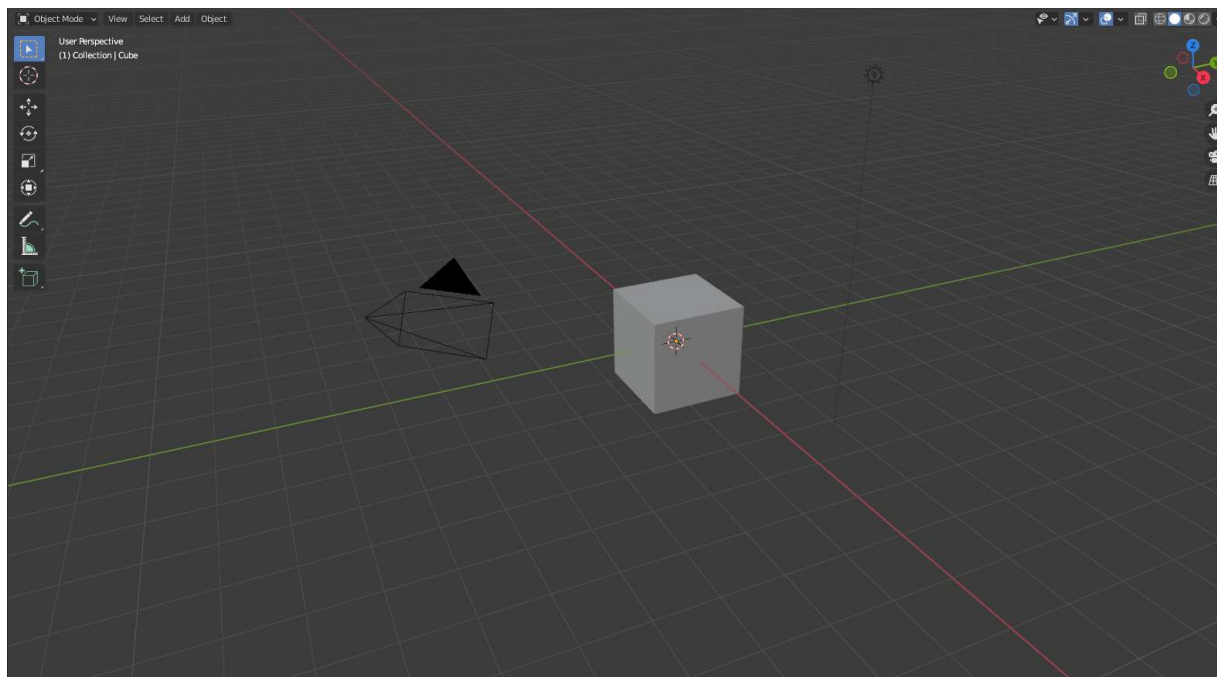
Obrázek 3 – Unity prostředí [vlastní zpracování]

2.2.2 Unreal Engine 5

UE neboli Unreal engine je nástroj pro vývoj videoher a filmů od společnosti Epic Games. Jedná se o software, který je sice přívětivý pro začátečníky, bývá ale doporučován spíše pro pokročilé, kvůli programovacímu jazyku C++. Tento jazyk je zde díky jeho dobré celkové stabilitě a vynikající alokaci paměti. Engine se dá používat na platformách iOS, Android, Windows, PlayStation nebo Xbox. Unreal engine slouží stejně jako Unity k vytváření a manipulaci s vizuály, zvuky a fyzikou, pro film nebo hry. Jedná se o nejschopnější a nejintegrovanejší engine s výbornou grafikou, skvělým designem, zvukem, osvětlením, animacemi a dalšími funkcemi. [5] [6]

2.2.3 Blender

Blender je 3D modelovací program určený pro vytváření modelů, animací, simulací, úprav videí nebo dokonce i vytváření her pro platformy Windows, Mac OS a Linux. Software byl vyvinut v roce 2002 firmou Blender Foundation. Bezpochyby největší výhodou programu je možnost bezplatného užívání a také fakt, že je veden pod licenci GNU (General Public Licence). Pro uživatele toto znamená možnost používat software pro jakýkoli účel a prodávat nebo distribuovat výtvořiny dle svého uvážení. Blender disponuje množstvím užitečných nástrojů jako je například modelování, tvarování, texturování a pro pokročilejší uživatele nalezneme i funkce jako 2D/3D hybridní Grease Pencil nebo fyzikální simulace. (viz Obrázek 4) [7] [8]



Obrázek 4 – Blender prostředí [vlastní zpracování]

2.2.4 Substance 3D Painter

Jedná se o software vytvořený francouzskou firmou Allegorithmic. Tento produkt uvedla na trh v roce 2014. Program se stal oblíbeným pro digitální malování a texturování zejména v oborech herního designu. Od ledna 2019 je však společnost Allegorithmic ve vlastnictví softwarové společnosti Adobe, která nadále rozvíjí tento program. Substance painter je vysoce výkonný nástroj pro 3D texturování modelů, se kterým dokážeme vytvořit velmi propracované textury, které bychom ve 2D programech nemohli vytvořit. Software disponuje i několika

přednastavenými chytrými materiály, které se dynamicky přizpůsobují k tvaru tělesa a vytváří tak například náhodné opotřebení, které napomáhá k reálnějšímu vzhledu modelu. Možnost malovat a texturovat přímo na model, se kterým můžeme v programu přímo pohybovat nám dá tu výhodu, že ihned vidíme, jak bude model s danou texturou vypadat. Substance painter exportuje textury ve formátu PBR, tudíž následně v engine budou vypadat zcela totožně. Program také umožňuje exportovat textury až v 8k rozlišení. [9] [10]

2.2.5 iClone8

iClone je 3D animační software pro snadné vytváření profesionálních animací k filmům, hrám nebo videím. Program kombinuje širokou škálu funkcí, která zahrnuje vykreslování obličejů, animaci postav, produkční mocap, návrh scén nebo filmové vyprávění. Lipsync animace je jednou z funkcí, která vytváří animace rtů podle zvukové nahrávky. Program nabízí možnost z nahraného zvuku automaticky generovat přesné textové údaje, díky tomu určí zároveň přesný čas zastavení požadované nahrávky umožňující synchronizaci animace pohybu rtů a zvuku zároveň. [11]

2.3 Hardware pro virtuální realitu

Hardware ve virtuální realitě slouží k manipulaci a interakci uživatele s prostředím. Bývá v podobě VR headsetů, ovladačů nebo dalších senzorů připevněných na těle. Díky těmto senzorům, které neustále snímají především pohyb naší hlavy, očí, rukou a nohou se pak můžeme v prostředí pohybovat a ihned vidět, kde se právě nacházíme a co ve virtuálním světě právě děláme. Hardware nám slouží zároveň jako vstupní i výstupní zařízení. Vstupní zařízení zahrnuje veškeré ovladače, senzory nebo pohybové platformy. Výstupní zařízení se stará o zpětnou vazbu v podobě vizuálu, zvuku nebo i vibrací. Na trhu dnes nalezneme mnoho VR headsetů s velkou škálou vlastností. Počínaje papírovými cardboardy, přes propracovanější virtuální headsety, jako jsou například náhlavní soupravy připojené k počítači nebo bezdrátové náhlavní soupravy. [12]

2.3.1 Oculus Quest 2

Headset Oculus Quest 2 se stal jedním z nejpoblárnějších mezi širokou veřejností, díky dobrému poměru cena / výkon. Tyto brýle nemusí být při používání připojeny k počítači, tudíž mohou být používány samostatně a lze je také zakoupit se dvěma ovladači. Pro dosažení vysoce kvalitního rozlišení a plynulého obrazu je nutné k počítači připojit brýle prostřednictvím kabelu USB-C nebo kabelu Link. Tento headset také disponuje vysokou obnovovací frekvencí, a to 120 Hz. (viz Obrázek 5) [13]



Obrázek 5 - Oculus Quest 2 [14]

2.3.2 Meta Quest Pro

Jsou to první brýle, které byly vyrobeny společností Meta. Při používání není zapotřebí jejich připojení k počítači a jsou standartně k dispozici se dvěma ovladači. Meta Quest Pro jsou brýle zaměřené i na smíšenou realitu, díky plně barevnému průchodu. Jsou doporučeny spíše pro podnikatelské záměry s různými vylepšeními oproti předchozí verzi Oculus Quest 2. Brýle mají funkci sledování očí a dynamické vykreslování pro vyšší úroveň detailů. Nižší vzdálenost mezi čočkami a displejem výrazně snižuje hloubkový profil brýlí. Vylepšením se zdá být vyvážený pásek brýlí zajišťující pevné přichycení na hlavě v průběhu používání. (viz Obrázek 6) [15]



Obrázek 6 - Meta Quest Pro [16]

2.3.3 HTC Vive Pro 2

Brýle vyrobené společností HTC mají vysoké rozlišení pro každé oko s vysokou obnovovací frekvencí a vysokým horizontálním zorným polem. Díky těmto vlastnostem musí být headset při používání připojen k počítači. Tuto soupravu lze také zakoupit se dvěma ovladači. Brýle o hmotnosti 850g je vybaven rozlišením 2448 x 2448 na jedno oko a disponuje obnovovací frekvencí 120 Hz. (viz Obrázek 7) [17]



Obrázek 7 - HTC Vive Pro 2 [18]

2.3.4 Porovnání VR headsetů Quest a HTC

Tabulka 1 - Porovnání headsetů Quest a HTC [15] [17] [19]

	Oculus Quest 2	Meta Quest Pro	HTC Vive Pro 2
Cena	10 990 Kč	37 000 Kč	35 000 Kč
Rozlišení	1832x1920 px	1800x1920 px	2448x2448 px
Obnovovací frekvence	120 Hz	90 Hz	128 Hz
Handtracking	Ano	Ano	Ne
Hmotnost	502 g	722 g	850 g
Zorný úhel	104°	106°	120°
Uložiště	64/128/256 GB	256 GB	Dle externího zařízení
Paměť ram [Gb]	6 GB	12 GB	Dle externího zařízení

V tabulce jsou shrnuty parametry, kterými jednotlivé brýle disponují (viz Tabulka 1). Lze tedy určit, které brýle dosahují největšího výkonu a které budou nevhodnější pro školení BOZP. Za nejvýkonnější lze považovat headset HTC Vive Pro 2 pro jeho vysoké rozlišení, velkou obnovovací frekvenci a díky širokému zornému úhlu. Cena těchto brýlí je trojnásobná oproti Oculus Quest 2, především z důvodu hardwarové výkonnosti. Cena nejnovějších brýlí Meta Quest Pro od společnosti Oculus je přibližně stejná jako u HTC Vive Pro 2 i přes slabší hardwarové specifikace, protože brýle často zapojují do funkcí smíšenou realitu a dokážou pracovat bez připojení k počítači. Tyto brýle jsou tedy vhodné spíše pro podnikatele, kteří nehledí na cenu a kteří dokážou využít co nejvíce potenciálu těchto brýlí. [15]

Nelze tedy říct, které brýle jsou nejlepší, záleží především na tom, k čemu jsou zapotřebí. Zda máme k dispozici počítač pro jejich připojení, nebo zda je výhodnější VR headset, který dokáže pracovat samostatně. Pro účely školení v oblasti BOZP postačí brýle Oculus Quest 2, díky jejím dostačujícím specifikacím, přívětivé ceně a volitelnosti připojení k počítači. Pracovníci při zaškolování budou provádět různé pohyby, při kterých by spojovací kabel mezi brýlemi a počítačem mohl překážet.

2.4 Druhy využití virtuální reality

Jelikož nám tato technologie umožňuje vytvořit jakékoli prostředí a dosáhnout zážitku blížící se realitě, může být využívána v různých oblastech. Díky ní můžeme nasimulovat jakýkoli scénář a situaci, při které jsme schopni bezpečně školit například zaměstnance nebo vojáky, aniž by došlo k nějakému zranění. V následujících odstavcích si ukážeme, jak je využívána tato technologie v jednotlivých odvětvích. [2] [20]

2.4.1 Zábavní průmysl

Zábavní průmysl stále patří k nejrozšířenější oblasti této technologie. Virtuální realita se používá v tomto průmyslu kvůli vysokému zážitku, který můžeme zažít například při sledování 360stupňových filmů nebo při hraní her.

Velkým trendem dnešní doby jsou také zábavné parky, kde si lidé mohou brýle zapůjčit a vyzkoušet přímo na místě. V těchto parcích nabízí velkou škálu zážitků počínaje zábavnými hrami, virtuálními prohlídkami nebo 360stupňovými filmy. Díky tomu, že vývojáři dokáží vytvořit jakékoli prostředí, se tak můžeme podívat i na místa, kam bychom se v opravdovém životě nikdy nepodívali. (viz Obrázek 8)

V zábavném odvětví narazíte už i na aplikace jako je Supernatural a Fit XR, které jsou prospěšné pro naše zdraví. Můžete se v nich zapojit do posilovacích cvičení, tanců, fit boxu a zasportovat si tak i s nevhodným zážitkem. Těchto cvičení se můžete zúčastnit i online se svými přáteli, aby cvičení bylo ještě zábavnější.

I sledování sportu díky několika společnostem zabývajících se touto technologií dostává nový rozměr. Nyní totiž můžeme sledovat například živé utkání NBA, NFL, finále Ligy mistrů UEFA nebo zahajovací ceremoniál olympijských her ve 360stupňovém prostředí z domova. Utkání můžeme sledovat z několika úhlů stadionu, jako bychom tam skutečně byli. Je to nový způsob, jak se dostat na sportovní události, na které bychom se nejspíše nedostali. [21]



Obrázek 8 - Herní prostředí ve VR [21]

2.4.2 Školství

Virtuální realita se začíná ve velké míře zapojovat i do škol jako nová forma vzdělání. Díky zážitku s názornými ukázkami si studenti probíranou látku dokážou lépe zapamatovat.

Žáci mohou ve virtuální realitě podniknout výlety a tím se tak podívat na místa po celém světě, které by jinak se školou navštívit nemohli. Mohou nahlédnout do vesmíru, kde si prohlédnou celou sluneční soustavu nebo mohou zkoumat lidské tělo a zkusit chemické a fyzikální pokusy. [22] [23]

2.4.3 Zdravotnický průmysl

Tato technologie ve zdravotnickém průmyslu najde využití pro širokou škálu potřeb. Mohou ji zde využít například zdravotníci pro různé nácviky operací nebo pacienti, kteří ji nejčastěji

využívají k rehabilitacím a procvičují tak základní pohyby svých končetin. Scénáře pro rehabilitace jsou navrženy tak, aby pacienti trénovali činnosti související s jejich každodenním životem.

Technologii můžeme využít i pro léčbu problémů s duševním zdravím nebo nám dokáže pomoci při různých terapiích, které mají za účel zbavit pacienta nejrůznějších fobií. Můžeme tak pacienty vystavit běžným situacím, které v nich vyvolávají stres a učit je tak o jejich bezproblémovosti v bezpečném prostředí.

Jak již bylo zmíněno, i zdravotníci využívají virtuální realitu, pomocí které se mohou lépe připravit na různé operace. Společnost Osso VR pomáhá pomocí této technologie například novým chirurgům, kteří mohou interagovat se zdravotnickým zařízením a nástroji. To jim pomáhá se lépe připravit na složité operace, nebo se mohou lépe obeznámit s novým zařízením a odbornosti v jejich implementaci. Chirurgové si tak mohou projít krok za krokem postupy operace nanečisto, aniž by ohrožovali zdraví pacienta. (viz Obrázek 9)

Studenti medicíny už také využívají aplikace ve virtuálním prostředí a učí se tak anatomii lidského těla, kde je možné si prohlédnout veškeré orgány a svaly tak, že s nimi lze jednotlivě pohybovat a natáčet je jakýmkoli směrem. [21] [24]



Obrázek 9 - Návuk operace ve VR [21]

2.4.4 Obranný průmysl

Armádní složky zapojují cvičení s touto technologií stále častěji, především u tréninkových situací, které mohou být nebezpečné, nebo příliš drahé na to, aby se mohly provádět tak často v opravdovém životě. Tento výcvik zlepšuje bojové dovednosti malých jednotek nebo jednotlivých vojáků, kteří se na postup svého cvičení mohou zpětně podívat a poučit se tak z případných chyb. Pro vojáky jsou vytvořeny speciální místnosti, kde používají HMD se sledovači pohybu celého těla a jsou vybaveni ovladači v podobě reálných zbraní, se kterými se učí zacházet. Takové cvičení pomáhá vojákům i k lepší kooperaci a sehranosti mezi sebou, při týmové operaci. (viz Obrázek 10)

Dalším příkladem využití této technologie v armádě může být využití ve výcviku pilotů. Letecké simulátory bývají pro tento výcvik zásadní, protože bezpečně pomáhají připravit piloty na skutečné scénáře v reálném světě. Využití mají i simulátory pozemních vozidel, kde si řidiči a celá posádka mohou nacvičit například střet s nepřátelskými ozbrojenými silami. [25] [26]



Obrázek 10 - Trénink vojáků ve VR [25]

2.4.5 VR v podnicích

Technologie virtuální reality je již v dnešní době natolik rozvinutá, abychom ji mohli implementovat v průmyslovém odvětví. Pro firmy má veliký význam a přináší jim přidanou hodnotu v podnikání. Strojírenské firmy s touto technologií dokážou například upravovat vzhled a tvary svých produktů ještě před uvedením prototypů do provozu. Některé automobilové společnosti provádí návrhy svých prvotních produktů nejprve ve virtuální realitě, než se díly začnou vyrábět, čímž snižují počet vyrobených prototypů a šetří tak peníze i čas. Stejným způsobem dokážeme vizualizovat i nové haly nebo montážní linky, které si ještě před postavením můžeme prohlédnout a odhalit tak jakékoliv nedostatky a rizika. (viz Obrázek 11)

Forma meetingového setkání ve virtuální realitě se stává stále častějším, jelikož lze tímto způsobem přirozeně a efektivně komunikovat s manažery, inženýry a operátory po celém světě. Stačí tedy nasadit VR headset a můžete například představovat nové produkty zákazníkům, kteří jsou schopni vidět a využívat 3D sdílený model v reálném čase. [21] [20]

Virtuální realita pomáhá i se zaškolováním zaměstnanců, což urychluje a zefektivňuje samotné zaškolování. Uživatel se ocitne v uměle vytvořeném prostředí, které je totožné s jeho opravdovým pracovištěm, kde si vyzkouší jednotlivé procesy spojené s jeho pracovní činností. Díky pohlcujícímu zážitku, který zasáhne více jejich smyslů, si jednotlivé postupy lépe zapamatují a naučí se tak řešit i různé situace, které při jejich povolání mohou nastat. [27] [28]

John Hayes uvedl příklad, co lze pomocí virtuální reality provést. Ze zdroje [20]: „*Díky trojrozměrné vizualizaci ve skutečném měřítku máte pocit, že stojíte přímo na výrobním stanovišti. Interaktivně můžete projít kroky, které musí udělat pracovník při montáži palivové nádrže, instalaci baterie a upevnění jejího krytu. To posouvá koncept virtuálního prototypování o veliký skok dál – nyní máme možnost ověřit celou montážní sekvenci, a dokonce i údržbu.*“



Obrázek 11 - Využití VR pro vizualizaci součástí [29]

2.4.6 Metaverse

Neal Stephenson ve svém vědeckofantastickém románu Snow Crash poprvé vytvořil termín „Metaverse“. Jedná se o představu virtuálního světa, který běží paralelně se světem skutečným.

Zdroj [27] uvádí, že v roce 2021 Marek Zuckerberg napsal „Funders Letter“, což byla jeho vize budoucnosti, která zněla: „*V metavesmíru budete moci dělat téměř cokoli, co si dokážete představit – setkávat se s přáteli a rodinou, pracovat, učit se, hrát si, nakupovat, tvořit – a také zcela nové zážitky, které se příliš nehodí k tomu, jak dnes přemýšlíme o počítačích nebo telefonech.*“

Metavers se stává významnou obchodní a finanční příležitostí pro technologický průmysl a další odvětví. Koncept metaversu pomocí headsetu pro virtuální realitu umožní uživatelům přístup do prostředí virtuální a rozšířené reality. Toto prostředí uživatelům umožní se scházet, pracovat, sportovat nebo nakupovat. Metaverse je složen z několika virtuálních prostorů, nikoli jen z jednoho. Tyto různé prostory vytváří společnosti podle svých potřeb, aby poskytly co nejvíce realistický a pohlcující zážitek. Uměle vytvořené světy budou přístupné pro mnoho uživatelů, kteří mohou prozkoumávat svět pomocí svých avatarů a komunikovat nebo interagovat tak s ostatními uživateli v reálném čase.

Facebook v roce 2021 oznámil, že mění svůj název na Meta Platforms a investuje mnoho peněz do vývoje a vytváření zážitků v metavers, s čím mu pomůže firma Oculus, která byla Metou koupena. Společnost věří v budoucnost této vize a spoléhá na technologii a kapacitu serverů, které zatím dosud nejsou k dispozici. Na trh se postupně dostávají VR headsety, které jsou cenově dostupné pro běžné spotřebitele, což je důležitý krok pro budoucnost a rozšířenost Metaversu. Metavers má zatím ještě mnoho neznámých aspektů, podle kterých se bude nadále rozvíjet. Bude záležet na tempu technologického vývoje a používaných platformách. [27] [30]

3 BOZP ve virtuální realitě

Úsilí státu se v současné době zaměřuje zejména na prevenci a prosazování preventivních koncepčních opatření v oblasti BOZP. Účinná forma prevence je kvalitní vzdělání a praktické zaškolení nových i stávajících zaměstnanců, díky kterým dostanou potřebné znalosti potřebné pro své zaměstnání, obzvláště při nebezpečných činnostech. Během prvního roku vzniká nejvíce pracovních úrazů především kvůli nedostatečnému zaškolení, dle informací z ročních zpráv Státního úřadu inspekce práce jsou školení o právních a ostatních předpisech k BOZP pro zaměstnance upravená v § 106 odst. 4 písm. b) zákona č. 262/2006 Sb., zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů. Školení provádí vedoucí pracovník nebo externě odborně způsobilé osoby v prevenci rizik. Předpisy už nestanovují, jakou formou musí být školení provedeno. [31]

Podle § 103 odst. 1 písm. f) zákoníku práce zaměstnanci, zejména zaměstnanci v pracovním poměru na dobu určitou, zaměstnanci agentury práce dočasně přidělení k výkonu práce k jinému zaměstnavateli, mladiství zaměstnanci, zaměstnanci jiného zaměstnavatele při společné práci na pracovišti musí být seznámeni s riziky vždy podle § 103 odst. 1 písm. g) ZP. Ani v tomto případě není žádným právním předpisem stanoveno, jaká osoba je povinna školit zaměstnance v oblasti BOZP. Zaměstnavatel tedy může buď pověřit osobu, která bude činnost vykonávat, nebo najmout externě odborného pracovníka.

Zaměstnanec při nástupu do práce musí nejdříve projít vstupním školením BOZP, které se provádí před zahájením pracovní činnosti. Nesmí nastat situace, že by pracovník začal vykonávat svou činnost, aniž by byl proškolen. Školení BOZP se provádí opakovaně dle zákoníku práce § 103 odst. 3 a zaměstnavatel sám rozhoduje v jakém časovém horizontu bude školení opakováno. Pro snížení a eliminaci rizik je vhodné provádět školení jednou ročně.

Po celou dobu pracovního vztahu by měly být veškeré dokumentace o provedeném školení uchovávány pro možné kontroly. Jakmile dojde k rozvázání pracovního vztahu se zaměstnancem, je doporučeno uchovávat tyto údaje v rozmezí pěti až deseti let pro případ pozdějšího prokazování povinností například státním orgánům. Promlčecí lhůta je tři roky podle § 629 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů. [32]

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci zahrnuje opatření stanovená právními předpisy s cílem zamezit ohrožení nebo poškození lidského zdraví při pracovních procesech. Hlavním účelem je zajistit takové prostředí, které neohrožuje zdraví pracovníka na jeho pracovišti. Postupy a metody v rámci BOZP mají takový výsledek, že pracovník nebude při svých procesech nijak fyzicky ani mentálně ohrožován. [33] [34]

3.1 Vzdělávání zaměstnanců BOZP pomocí virtuální reality

Převážná většina výrobních firem pro školení BOZP využívá prezentace, což se ukazuje jako neefektivní nástroj. Poslední dobou se začíná používat virtuální realita, která dokáže efektivněji zaujmout a lépe udržet soustředění pracovníka. Pomocí této technologie dokážeme vytvořit přesné virtuální pracoviště, které se podobá tomu opravdovému. Díky tomu se pracovník naučí bezpečně ovládat procesy potřebné k vykonávání jeho pracovní činnosti. Tímto školením dokážeme novému zaměstnanci lépe předat důležité informace nebo mu ukázat dopady pracovního selhání a související rizika. Zaměstnanci při školení BOZP ve virtuální realitě nemají čas vnímat rozptylující jevy a plně se tak koncentrují na přípravu. Díky tomu také zapojí do procesu více smyslů, což pomůže k rychlejšímu a správnému rozhodování v případě nebezpečných situací. [31]

3.2 Efektivita zaškolování pomocí virtuální reality

Virtuální realita nám umožní oddělit pracovníka od okolního prostředí a zároveň ho vtáhnout do toho umělého, kde se může vypořádat s případnými životy ohrožujícími riziky, aniž by byl vystaven nebezpečí. Efektivitu pro zaměstnavatele přináší tím, že nejsou zapotřebí speciální místnosti, flexibilitou, nízkými náklady, ale i tím, že nemusíme najímat školitele. Podle některých výzkumů zaškolování touto zábavnou a interaktivní formou zvedne efektivitu o 17% až 49%, protože se zvedá motivace a soustředění školených. (viz Obrázek 12) [31]



Obrázek 12 - Zaškolování pracovníka ve VR [35]

3.3 Příklady využití virtuální reality pro BOZP

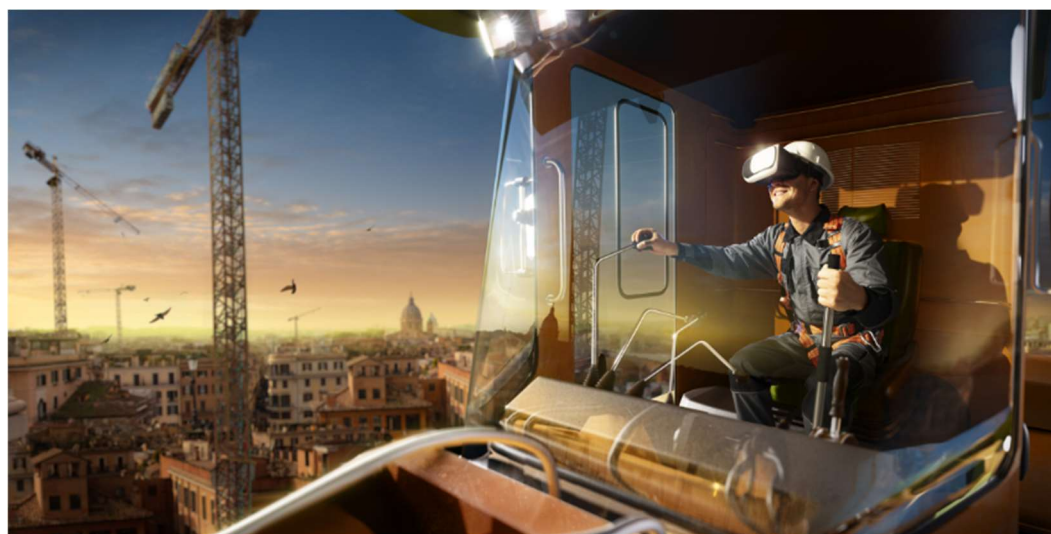
V reálném čase a prostředí nejsme schopni zaškolovat zaměstnance na všechny druhy nebezpečí, které mohou nastat. Simulovat například požár nebo výbuch je tedy nejvhodnější ve virtuální realitě, kde se při neúspěšném pokusu nikdo nezraní a nic nepoškodí. Tyto scénáře nejsou určeny pouze pro nové zaměstnance, ale mohou sloužit i pro ty, kteří si tímto školením už prošli.

Školení ve VR v oblasti požární bezpečnosti umožňuje simulovat například hašení požáru a seznámit se s prostředky, procesy a vybavením, které jsou potřebné k jeho bezpečnému uhašení. Při opravdových akcích pak hasiči využijí správné postupy, které se naučili během školení. (viz Obrázek 13) [20]



Obrázek 13 - Hašení ve virtuální realitě [36]

Ukázkovým příkladem, kde toto školení lze využít, je například u prací ve výškách, pomocí kterého si zaměstnanci zautomatizují bezpečnostní návyky a naučí se správně pracovat s pracovními postroji a nástroji na lešeních nebo vysunutých plošinách. Při nesprávných postupech pak zaměstnanci mohou vidět fatální následky, které by mohly v takových případech nastat. (viz Obrázek 14) [20]



Obrázek 14 - Výškové práce ve virtuální realitě [37]

Méně obvyklá, ale také důležitá školení o bezpečnosti ve VR, je při práci s nebezpečným odpadem. Pracovníci, kteří budou s tímto odpadem pracovat, pomocí této technologie zjistí, jak identifikovat nebezpečný odpad, jak s ním bezpečně zacházet a kam ho dočasně ukládat. Dále se také dozví, jaké by mohly vzniknout následky na jejich zdraví nebo životním prostředí při nedodržování pravidel v jeho blízkosti. Touto problematikou, týkající se nebezpečného odpadu, se bude zabývat praktická část této bakalářské práce. [38] [39]

4 Scénář a aplikace pro BOZP s nebezpečným odpadem

Praktická část se zaměřuje na vytvoření scénáře a aplikace, která bude využívána pro školení BOZP se zaměřením na nebezpečný odpad. Scénář bude koncipován tak, aby si pracovníci ze školení zapamatovali co nejvíce informací, a byli tak důkladně seznámeni s riziky, která mohou při práci s ním nastat. Aplikace bude vytvořena v Unity 3D a skládat se bude z modelů vytvořených primárně v Blendru. Součástí této práce bude také popis jednotlivých kroků, které zahrnují například nastavení scény, vytváření animací nebo namluvení zvukové instruktaže, která bude podstatnou součástí této aplikace. Tyto prvky se následně přidají do scény a nastaví tak, aby fungovaly podle navrhnutého scénáře. V závěru práce budou také informace o tom, jakým způsobem bude pracovník hodnocen nebo jak probíhalo testování aplikace nahané v brýlích.

4.1 Postup tvorby aplikace

Jednotlivé kroky postupu, od tvorby scénáře až po samotné testování aplikace, jsou podrobněji popsány níže.

- 1) **Tvorba scénáře** – Nejprve bylo nutné seznámit se s problematikou nebezpečného odpadu a podle toho vytvořit scénář, který je zároveň shodný s legislativou České republiky. Dále bylo zapotřebí najít způsob, jak tento scénář aplikovat do virtuální reality.
- 2) **Příprava prostředí** – Tato část byla zaměřena na vhodný výběr modelů a prostředí, ve kterém se bude pracovník pohybovat a interagovat. Zde bylo tedy zapotřebí stáhnout a vytvořit předměty, kterým budou následně přidány textury. S těmito předměty pak bude uživatel v aplikaci pracovat.
- 3) **Nastavení scény** – Nutnou částí je také správné nastavení scény, ve které se pracovník bude nacházet. Zde se především jedná například o nastavení světla, pozic jednotlivých prvků nebo přidání zvukové instruktaže a fyziky.
- 4) **Tvorba aplikace** – Po úpravě nastavení scény přichází na řadu samotné vytvoření aplikace. Zde dojde k nastavení aplikace pro platformu android, která je zapotřebí pro spuštění ve virtuálních brýlích.
- 5) **Testování** – Poslední částí je samotné testování, ve kterém zjistíme, zda aplikace pracuje podle našich požadavků.

4.2 Návrh scénáře pro školení s nebezpečným odpadem ve VR

Při návrhu scénáře bylo nejprve nutné zjistit podrobné informace o tom, za jakých podmínek se z odpadu stává nebezpečný odpad, jak se takový odpad označuje a jak by podle legislativy mělo docházet k jeho likvidaci. Díky těmto informacím byl následně proveden návrh scénáře, ve kterém jsou tyto prvky zahrnuty.

První část scénáře seznamuje zaměstnance se symboly a názvy nebezpečného odpadu. Jsou zde sděleny informace o následcích při nevhodném zacházení s ním, jak by pracovník při práci s ním měl postupovat nebo v jaké podobě se s tímto nebezpečným odpadem může setkat. V této fázi tedy pracovník nastuduje všechny druhy nebezpečného odpadu, se kterými se například může setkat v podniku.

Další náplní zaškolování je třídění odpadu, který obsahuje i nebezpečný odpad. Zde se pracovník dozví, co vše se zařazuje do nebezpečného odpadu a jak s tímto odpadem nakládat. Pracovníkovi jsou zde poskytnuty například i informace, jak by mělo být označeno místo, kam tento odpad dočasně ukládat, než bude odborně likvidován.

Poslední část slouží k vyhodnocení pracovníka, který bude po dokončení celého školení ve virtuálních brýlích procentuálně ohodnocen.

4.3 Postup školení



Kompletní průběh školení je rozdělen na dvě části. První neboli cvičná část je vytvořena tak, aby pracovník co nejlépe pochopil problematiku nebezpečného odpadu a aby si tyto znalosti co nejlépe zapamatoval. Za tímto účelem byly přidány pomocné prvky v podobě šipek, které například pomohou pracovníkovi se v aplikaci lépe orientovat. Dalším pomocným a zároveň informativním prvkem v této části je zvuková instruktáž, která pracovníkovi vždy sdělí doplňující informace k dané problematice a vysvětlí mu, jak postupovat v jednotlivých krocích školení dál. Tuto instruktáž provádí avatar, který má podobu zaškolovacího pracovníka. Cvičnou část si uživatel může vyzkoušet vícekrát, aby si mohl jednotlivé kroky ve virtuální realitě lépe osahat a aby si danou problematiku co nejlépe zapamatoval, než se dostane do testovací části.







V závěrečné testovací fázi pracovník plní stejné zadání jako ve cvičné části, postupuje však bez zvukové instruktáže a bez dopomoci šipek. Ponechán je pouze zvukový signál správného nebo špatného výběru. Zároveň je zde nastaveno časové omezení, ve kterém musí uživatel testovací verzi stihnout a na úplném konci je pracovníkovi udělen procentuální výsledek úspěšnosti, který se odvíjí od jeho neúspěšných pokusů.

4.4 Tvorba a přenesení scénáře do virtuální reality

Hlavním cílem první fáze školení je seznámit zaměstnance s druhy nebezpečného odpadu a jejich grafickým označením. Mezi nebezpečné odpady řadíme takové odpady, které vykazují alespoň jednu nebezpečnou vlastnost, která je uvedena v nařízení evropské komise (EU) č. 1357/2014 ze dne 18. prosince 2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech. Tyto vlastnosti jsou označovány písmeny HP a číslem. První zaškolovací činností pracovníka v aplikaci je tedy správné přiřazení grafického znázornění odpadu s jejich vlastnostmi. V tabulce níže je uveden seznam symbolů, které označují druhy nebezpečného odpadu a které byly použity pro školení (viz Tabulka 2). [40] [41]

Tabulka 2 - Grafické symboly s nebezpečnými vlastnostmi [41]

Grafický symbol	Nebezpečná vlastnost
	HP 1 Výbušné
	HP 3 Hořlavé

	HP 2 Oxidující
	HP 4 Dráždivé – dráždivé pro oči a kůži HP 8 Žíravé
	HP 6 Akutní toxicita HP 12 Uvolňování akutně toxického plynu
	HP 5 Toxicita pro specifické cílové orgány/ Toxicita při vdechnutí HP 7 Karcinogenní HP10 Toxické pro reprodukci HP 11 Mutagenní HP 13 Senzibilizující
	HP 4 Dráždivé – dráždivé pro oči a kůži HP 15 Následně nebezpečný
	HP 14 Ekotoxický

Po nasazení virtuálních brýlí se pracovník ocitne v uměle vytvořeném prostředí, které je vytvořené jako část podniku, ve kterém dochází ke školení zaměstnanců. Prostor je tedy tvořen výrobní halou, která disponuje školícím prostorem, ve kterém probíhá samotné zaškolování. V tomto místě pracovník vykonává veškerou činnost spojenou s určováním nebezpečného odpadu. Uživatel musí v první části správně poskládat grafický symbol nebezpečného dopadu, který je tvořen ze čtyř dílků rozmístěných libovolně na tabuli nacházející se před ním. Pracovník jednotlivé dílky uchopí rukou a přetáhne je na zvýrazněné místo určené pro sestavení kompletního symbolu. Tento krok byl zakomponován do scénáře především pro seznámení uživatele s manipulací v tomto prostředí. Zde je také použit krátký zvukový signál, který pracovníkovi sdělí, zda postupuje správně. Při nesprávném přetáhnutí se předmět vždy vrátí na původní místo a pracovník může zkusit další možnosti. Dále po kompletním sestavení obrazce musí dojít ke správnému přiřazení jeho nebezpečné vlastnosti. Na tabuli se objeví seznam všech nebezpečných vlastností, ze kterých pracovník vybere správnou a přiřadí ji opět na zvýrazněné místo k danému symbolu. Při správném přiřazení dojde ke zvukové instruktaži, která pracovníkovi sdělí podrobnější informace o daném nebezpečném odpadu. Uživatel tak zjistí, co dané symboly, které se objevují na výrobcích, znamenají, jaké by mohly mít fatální následky na jeho život, životní prostředí nebo v jaké formě se s těmito nebezpečnými odpady může setkat. Pracovník tyto informace zaslechne nejen od avatara, ale zároveň se mu vždy zobrazí na druhé dodatkové tabuli, která se nachází nalevo od pracovníka. Zde se informace postupně

odkrývají současně se správným přiřazením symbolu s jeho vlastností a pracovník si je může kdykoliv v průběhu zaškolení dodatečně přečíst (viz Obrázek 15). Jakmile jsou všechna grafická znázornění nebezpečného odpadu správně přiřazena k jejich vlastnostem, je pracovník přemístěn do druhé části, kde bude probíhat třídění odpadu.



Obrázek 15 - První pracovní prostor

Další fáze školení je cílena na identifikaci a následné rozřídění nebezpečného odpadu. Zaměstnanec je umístěn mezi stůl a kontejnery pro tříděný a nebezpečný odpad. Na stole jsou položeny předměty v podobě odpadu, se kterým se může v podniku setkat. Odpad je tvořen popsáním listem papíru A4, plastovou lahví na nápoje, rozbitým sklem, zářivkou a prázdnou nádobou od ředidla. Zaměstnanec nyní musí správně rozřídít tyto předměty do jednotlivých kontejnerů, které má umístěny okolo sebe. Na levé straně od zaměstnance se nachází tři kontejnery pro tříděný odpad v podobě modré, žluté a zelené popelnice. Na pravé straně od pracovníka je umístěn speciální kontejner, který musí být označen v souladu s vyhláškou č.273/2021 Sb. Na kontejneru je tedy viditelně umístěna cedulka s patřičným obsahem, aby bylo jasné, že se jedná o kontejner pro nebezpečný odpad. Pracovník v této části postupně uchopuje jednotlivé předměty a třídí je podle toho, pro jaký kontejner jsou určeny (viz Obrázek 16). Popsaný papír, plastovou láhev a rozbité sklo musí pracovník rozřídít do popelnice pro tříděný odpad, přičemž nejprve ještě musí uchopit a otevřít víko samotné popelnice, než do ní odpad vhodí. Zářivku a prázdnou nádobu od ředidla pracovník musí vložit do kontejneru pro nebezpečný odpad. Jednotlivé kroky budou opět doprovázeny zvukovou instrukcizí, která pracovníkovi například sdělí podrobnější informace o daném nebezpečném odpadu. [40] [41]



Obrázek 16 - Druhý pracovní prostor

Poslední částí školení je testovací fáze, která zahrnuje přiřazení nebezpečných symbolů k jeho vlastnostem a třídění skupiny odpadů bez veškeré vizuální nebo zvukové dopomoci. Hlavním cílem je zde zjistit, zda si pracovník z cvičné části něco zapamatoval a na konci celého školení bude procentuálně ohodnocen.

4.5 Vyhodnocení pracovníka

Na samotném konci celého školení pracovník obdrží procentuální úspěšnost, která se odvíjí od plnění úkolů v testovací verzi. Jakmile dojde k vyhodnocení výsledku, objeví se na závěrečné obrazovce spolu s chybami, kterých se pracovník během školení dopustil. Uživatel je hodnocen za správné pospojování symbolů nebezpečného odpadu s jeho vlastností a za správné roztrídění odpadů. Za poskládání značky se symbolem nebude pracovník hodnocen, jelikož se nejedná o podstatnou část a netvoří hlavní cíl tohoto školení. Hodnotí se 13 kroků, ze kterých je sečten procentuální výsledek. Pro úspěšné splnění školení musí vždy pracovník získat 75 % neboli získat 10 bodů. Za splnění každého kroku je vždy přičten jeden bod. Špatné přiřazení je penalizováno ztrátou poloviny jednoho bodu v první části, kde pracovník přiřazuje k symbolu jeho označení a ztrátou celého jednoho bodu při nesprávném třídění odpadu. Body za kroky jsou automaticky aplikací sčítány a pracovník ihned procentuální úspěšnost vidí v brýlích, aniž by školitel, který bude přítomen, musel úspěšnost ručně dopočítávat. (viz Tabulka 3)

Tabulka 3 - Hodnocení pracovníka

Získané body	Procentuální úspěšnost	Uspěl
10 - 13	76,9 % - 100 %	Ano
0 - 9	0 % - 69 %	Ne

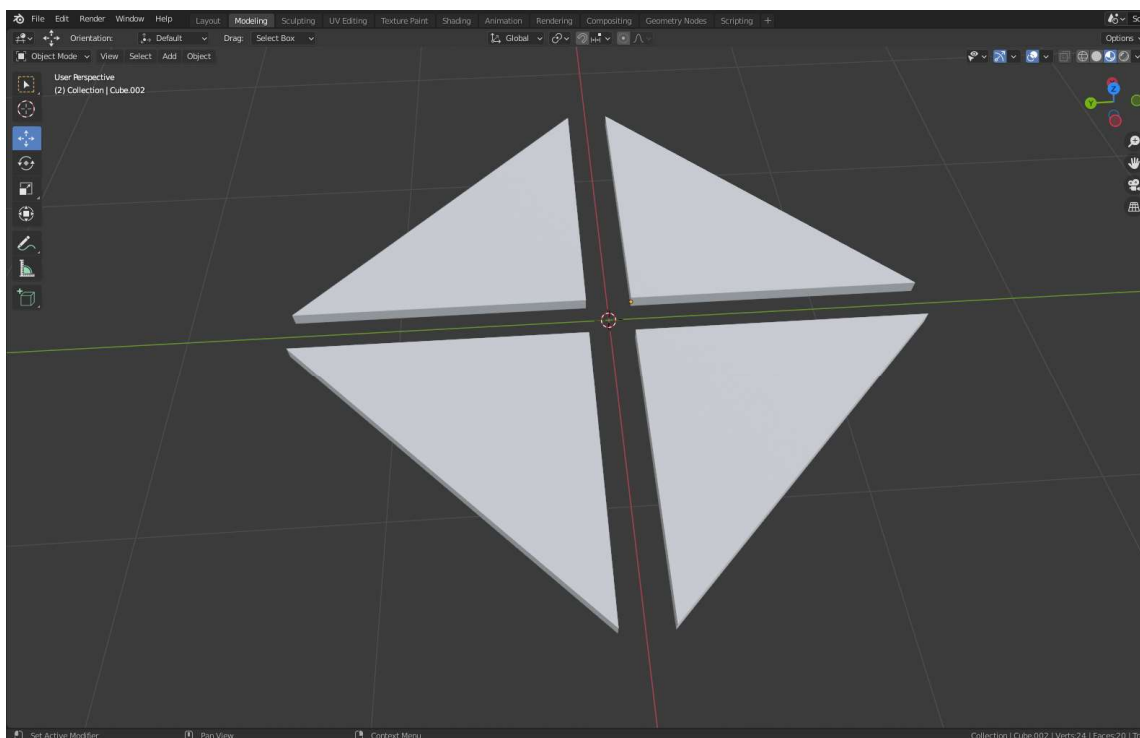
5 Příprava prostředí

Jak již bylo zmíněno, scéna vytvořena v enginu Unity3D je spouštěna v brýlích pro virtuální realitu Oculus Quest2. Pracovník může vše v prostředí ovládat pomocí rukou díky hand trackingu, kterým tyto brýle disponují. Pracovník má v prostředí umístěny všechny předměty okolo sebe, tudíž nemusí nikam popocházet. To nám umožní, že pracovníkovi stačí jeden metr čtvereční plochy, ve kterém se může pohybovat. Následující odstavce budou obsahovat postup přípravy prostředí.

5.1 Vytváření modelů

Modely, ze kterých je tvořeno prostředí, jsou rozděleny do dvou skupin. První skupina obsahuje modely nacházející se v pozadí, se kterými pracovník nebude interagovat. Tyto modely byly dodány z *Unity Asset Store* balíčku, který byl do projektu přidán přes *Window - Package Manager*. Po nahrání byly přidány modely v podobě CNC soustruhů, paletových vozíků, regálů nebo samotných palet. Všechny modely z *Unity Asset Store* obsahují vlastní textury, tudíž nemusely být zvlášť vytvořeny.

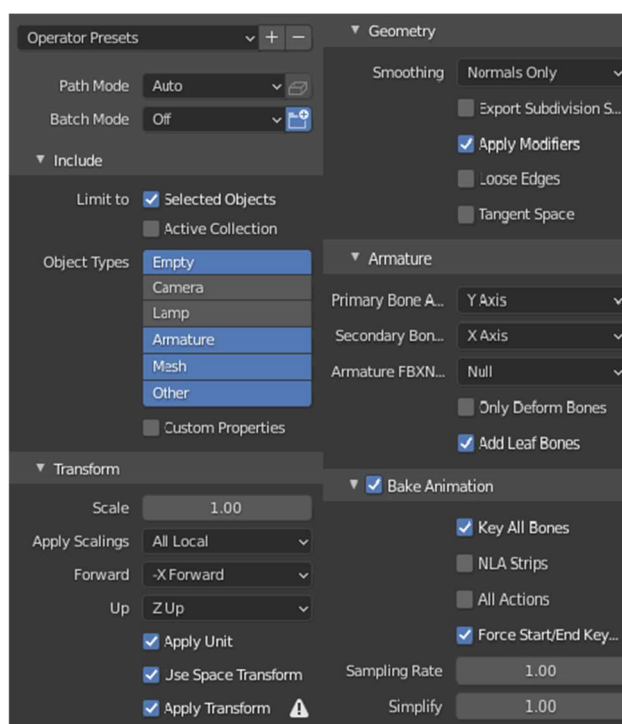
Druhou skupinou jsou modely, se kterými pracovník při školení pohybuje. Hlavní model, kterým je značka s grafickým znázorněním nebezpečného odpadu, je už natolik specifický, že musel být vytvořen v *Blenderu*. Přes *Mesh - Cube* byla vytvořena krychle, která byla otočena o čtyřicet pět stupňů podle osy *Z* a zploštěna na požadovanou tloušťku. Všechny vnější hrany byly zkoseny v *Edit Mode* pomocí funkce *Bevel*, a to z důvodu lepšího vzhledu samotného modelu. Dalším krokem bylo rozdělení této značky na čtyři části, které jsou následně pracovníkem při školení poskládány. Opět bylo nutné zapnout *Edit Mode* a pomocí funkce *Knife* rozříznout vytvořený kosočtverec úhlopříčně. Poté stačilo označit plochy jedné části z modelu a pomocí *Separate - Selection* jej oddělit. Tento postup byl proveden s každou částí, kterou jsme si rozřízli. Výsledkem je model neboli cedulka, která se skládá ze čtyř částí. (viz Obrázek 17)



Obrázek 17 - Model značky

5.2 Kontrola a export modelů

Všechny modely vytvořené nebo stažené se nejprve v Blenderu musí ještě zkontrolovat a dopravit. Hlavním krokem bylo zkontrolovat normály, abychom po naimportování modelu do Unity3D viděli všechny plochy a aby nedošlo k prosvítání modelu. Tento krok byl vždy proveden pomocí *Overal - Geometry - Face Orientation*. Díky tomu se dalo zjistit, zda jsou všechny normály natočené správným směrem. Po vymodelování objektu je také nutné vytvořit a správně nastavit UV mapy, které jsou zapotřebí k následnému přiřazení textur. Pro jejich správné zobrazení na modelu došlo také k natočení a nastavení koncentrace textur. Nejjednodušším postupem správného nastavení textur je nejdříve nutné u modelu nastavit *Apply - Scale*, pro nastavení přesných rozměrů UV map. Dále už stačí jen nastavit u modelu *UV Mapping - Smart UV Project* pro poskládání jednotlivých UV map modelu vedle sebe, aby nedocházelo k jejich překrytí. Po vytvoření a úplném nastavení kompletního modelu se musí soubor exportovat do formátu fbx. To je provedeno postupem *File - Export - FBX*, kde se ještě následně zvolí správné nastavení exportu. (viz Obrázek 18)



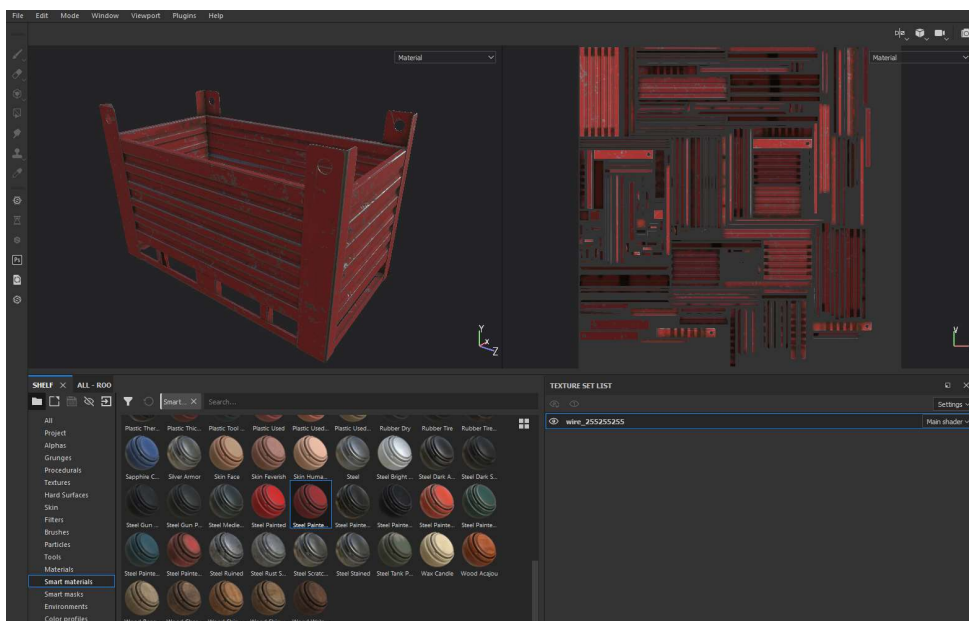
Obrázek 18 - Nastavení exportu modelu

Po vyexportování modelu do fbx můžeme soubor následně vložit do knihovny Unity3D. Přetažením souboru z knihovny do scény už můžeme vidět model, který jsme vytvořili. Další krok *Model - Inspektor - Select - Materials - Locations - Use External Materials (Legacy)* nám nadále umožní objektu přiřadit materiál, kterému přidáme naše vytvořené textury například ve formátu png nebo jpg.

5.3 Vytváření textur

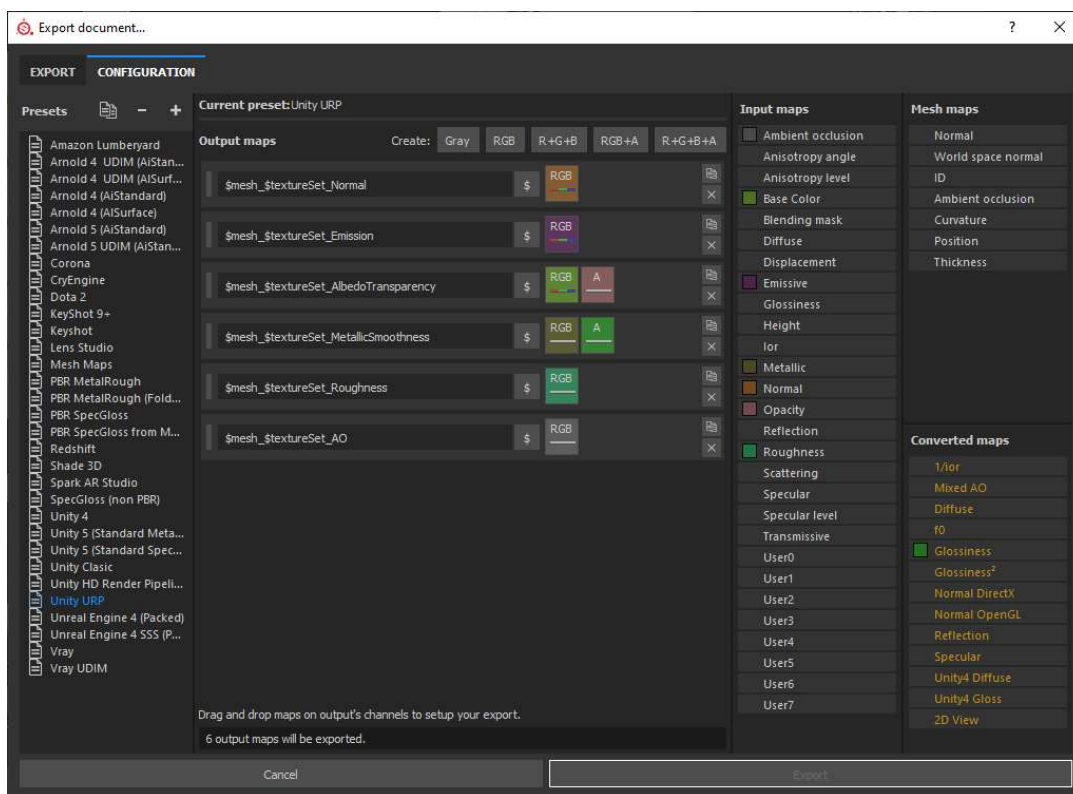
Důležitou součástí modelů jsou jejich textury neboli materiál, které dodávají modelu realistický vzhled. Vytváření textur probíhalo v programu Substancepainter, ve kterém byly tvořeny textury přímo na model, se kterým můžeme v aplikaci přímo manipulovat. Nejprve bylo nutné nahrát model do programu ve formátu fbx, kde jsme následně mohli vybírat ze široké škály materiálů, kterými program disponuje. Před výběrem materiálu nejprve provedeme zabezpečení mesh map postupem *Texture set settings - Bake mesh maps*, kde nastavíme *Output*

size na 2048, odklikneme políčko *ID* a zvolíme *Bake mesh maps*. Díky tomu se nám zapečou do textury stíny a tvary, které dodají materiálu realističtější vzhled. Poté byl vybrán a přiřazen modelu smart materiál, který sám na modelu vytvořil náhodné poničení nebo skvrny, aby se objekt co nejvíce podobal reálnému kontejneru. (viz Obrázek 19)



Obrázek 19 - Vytváření textur

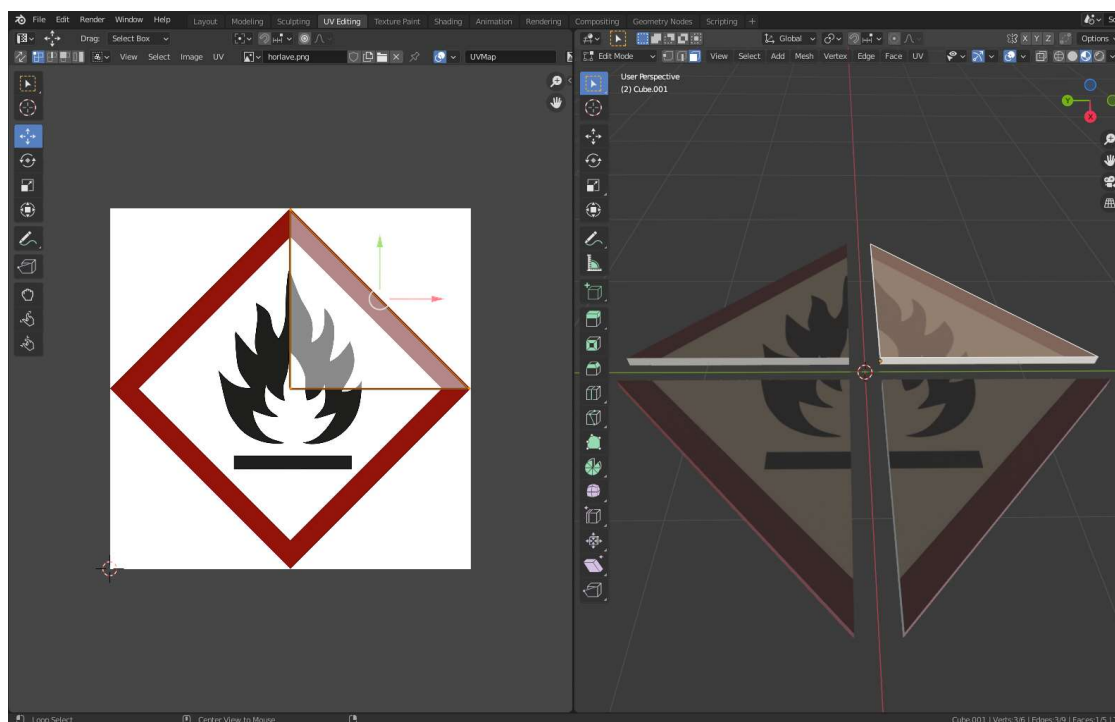
Posledním krokem je export těchto textur, který je proveden cestou *File - Export textures*, kde se následně nastaví, pro jaký typ projektu se musí materiály vyexportovat. V našem případě bylo zvoleno *Config - Unity URP*, které ovšem není programem nastaveno, a proto muselo dojít k modifikaci jeho nastavení. (viz Obrázek 20)



Obrázek 20 - Nastavení Unity URP

Některé balíčky textur byly staženy z internetu a samostatně přidány do Unity3D. Jednalo se například o materiály betonu a vlnitého plechu, kterými Substancepainter nedisponoval. Toto je další způsob, jak přidávat textury objektům, u kterých není vyžadováno vysoké propracování materiálu. Není vždy nutné je vytvářet v tomto programu, někdy je výhodnější například u méně důležitých modelů jejich stažení z internetu a následná upravení v Blenderu. Substancepainter disponuje především pokročilejšími materiály, které jsou vhodné pro modely, u kterých je potřeba vysoké propracovanosti textur.

Jak bylo již zmíněno, další možností vytváření textur je pomocí Blenderu, což bylo použito například při texturování značek. V tomto případě bylo nejdříve nutné stáhnout obrázky jednotlivých symbolů nebezpečného odpadu ve formátu jpg. Dále byl v Blenderu přidán stejný materiál každé části, která utváří celou značku. To bylo provedeno cestou *Material Properties - Add a new material*, kde bylo následně zvoleno *Base Color - Image Texture*, a kde došlo ke zvolení obrázku daného nebezpečného odpadu. Tímto krokem jsme přidali našemu materiálu obrázek, který se nám později zobrazí na modelu. Nyní bylo nutné přepnout *Shading* na *Material Preview*, díky kterému se nám právě už obrázek zobrazí na samotném modelu. Dalším krokem byl přechod do *UV Editing*, kde bylo zapotřebí finálně nastavit UV mapy pro správné umístění textury na všechny části modelu. Pozice a velikost těchto map se ukládají přímo na model, tudíž po jeho vložení do Unity3D zůstanou stejně a k modelu stačí přiřadit pouze daný obrázek. (viz Obrázek 21)



Obrázek 21 - Přidání textur na značku

5.4 Tvorba haly

Pro zvýšení autentičnosti byla vytvořena hala připomínající výrobní prostředí, ve kterém se nachází řada obráběcích strojů, skladové místo a prostor určený pro zaškolování zaměstnanců. Tento prostor je vybaven potřebným vybavením pro danou činnost a je oddělen provizorní zdí. V hale jsou rozmístěny tři modely CNC soustruhů, palet, regálů pro skladování výrobků, paletové vozíky a zázemí pro zaměstnance. Samotná hala je tvořena zdmi s texturami, které mají připomínat vlněný plech. Po obvodě této menší haly jsou sloupy a stropní konstrukce s betonovou texturou, která je použita i na podlahu. Okna jsou uložena v rámu a mají průhlednou texturu, aby bylo vidět ven. Náročnější modely, například v podobě CNC strojů nebo vysokozdvizného vozíku byly staženy z *Unity Asset Store*, jak už bylo zmíněno, a další prvky, jako například samotná hala, zázemí pro zaměstnance nebo vstupní roleta pro zavážení materiálu, byly vytvořeny v Blenderu. Všechny modely pak byly umístěny do scény v Unity3D, kde jim byly přiřazeny textury. Pomocí programu Substance Painter byly tyto jednotlivé textury k modelům vytvořeny. Hala je vytvořena tak, aby co nejrealističtěji napodobila skutečné výrobní prostředí. (viz Obrázek 22, 23)



Obrázek 22 - Hala



Obrázek 23 - Hala z druhého pohledu

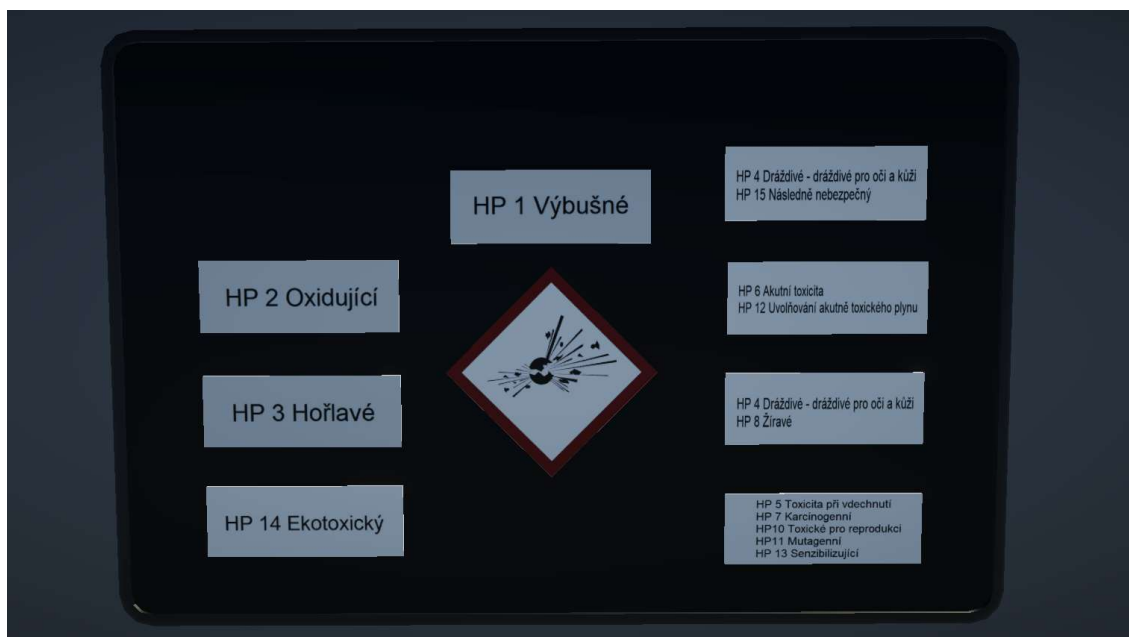
5.5 První pracovní prostor

Prvním vytvořeným modelem v Blenderu pro tento prostor byla značka kosočtvercového tvaru, na které byly přidány textury se symboly daných nebezpečných odpadů. Tyto značky jsou vytvořeny tak, aby se daly rozpojit na jednotlivé části, které jsou vždy náhodně rozmístěny po tabuli pomocí skriptu *SetPositionComponent*. Uprostřed tabule se nachází *SnapDropZone*, což je místo, kam uživatel musí přesouvat uchopené modely (viz Obrázek 24). Toto místo je znázorněno jako zelená značka, kam pracovník vždy přesune jednotlivé části symbolu, které se ve *SnapDropZone* sami uchytí, jakmile tam budou přesunuty rukou.



Obrázek 24 - Značka se SnapDropZonou

Po sestavení kompletní značky se pracovníkovi objeví na tabuli možnosti v podobě popisků s nebezpečnými vlastnostmi, které musí vždy správně přiřadit k poskládané značce (viz Obrázek 25). Tyto popisky opět pracovník přesune pomocí ruky do *SnapDropZone*, která je umístěna nad značkou se symbolem nebezpečného odpadu. Umístění modelu do *SnapDropZone* je vždy s přítomností zvukového signálu, který při nesprávném výběru zazní se zvukem reprezentujícím špatný výběr. Při správném výběru zazní zvukový signál značící správný výběr. Oba zvukové signály zajišťují skripty *IncorrectObject* a *CorrectObject*. Pokaždé, když uživatel správně přiřadí cedulku ke grafickému symbolu, je spuštěna zvuková stopa sdělující potřebné informace. Napravo od pracovníka je přítomen avatar v podobě školitele provádějící tuto instruktáž spolu s pohyby a gesty, které jsou avatarovi přidány v podobě animací.



Obrázek 25 - Tabule s cedulkami a značkou

Na levé straně od pracovníka je vytvořena bílá tabule, na které se postupně odkrývají informace k nebezpečným odpadům, když zaměstnanec správně spojí cedulku s grafickým symbolem. Zároveň dochází ke zvukové instruktaži, která tyto informace uživateli sděluje. Ten si je pak může kdykoliv v průběhu školení dodatečně přečíst. Pro vytvoření přívětivého vizuálního efektu se na tabuli objeví popisky vždy pomocí animace. Nebezpečné odpady na této tabuli obsahují informace:

1) Výbušný:

- Výbušné, nestabilní výbušnina, nebezpeční masivního výbuchu.
- Používejte ochranný oděv, chraňte před teplem, jiskrami, plamenem. Zákaz kouření.
- Zábavní pyrotechnika, střelivo.

2) Hořlavý:

- Vysoce hořlavý nebo extrémně hořlavý plyn, aerosol, kapalina a páry.
- Používejte nářadí z nejiskřícího kovu, uchovávejte obal těsně uzavřený.
- Lampový olej, dezinfekční prostředek, lepidlo.

3) Oxidující:

- Může způsobit požár nebo výbuch.
- Nezahřívejte. Používejte ochranný oděv. V případě styku s kůží opláchněte vodou.
- Bělidlo, kyslík.

4) Žíravý:

- Může způsobit korozi kovů, těžké poleptání kůže a poškození očí.
- Uchovávejte v původním obalu. Použijte ochranné rukavice, ochranný oděv a brýle.
- Čističe odpadu, kyseliny, zásady, čpavek.

5) Akutní toxicita:

- Při požití, vdechnutí nebo styku s kůží může způsobit poškození zdraví nebo smrt.
- Při používání tohoto výrobku nejezte, nepijte. Použijte ochranné prostředky. Skladujte uzamčené.
- Insekticidy, nikotinové náplně do elektronických cigaret.

6) Vysoká nebezpečnost pro zdraví:

- Může poškodit reprodukční schopnost nebo plod v těle matky, vyvolat rakovinu nebo poškodit orgány.
- Zamezte vdechnutí prachu. Skladujte uzamčeně. V případě dýchacích potíží volejte lékaře.
- Terpentýn, benzín, lampový olej.

7) Dráždivý:

- Může vyvolat alergickou kožní reakci nebo vážné podráždění očí. Při požití poškozuje zdraví.
- Zamezte styku s kůží a očima. Zabraňte uvolnění do životního prostředí.
- Prací prostředky, čističe, nemrznoucí kapalina, silikon, fermež, vteřinové lepidlo.

8) Ekotoxický:

- Toxický pro vodní organismy.
- Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Uniklý produkt seberte.
- Herbicidy, terpentýn, benzín, fermež. [42]

5.6 Druhý pracovní prostor

Do druhého prostoru přenesení pracovníka skript *MovePlace*, který je spuštěn na konci poslední zvukové instruktáže z prvního prostoru. Ve druhém prostoru se nachází odpad, který je v podobě modelu papíru, plastové láhve, skla, zářivky a prázdné nádoby od ředidla. Pro tento odpad, který se nachází na stole před pracovníkem, jsou na místě také připraveny barevné kontejnery pro tříděný a nebezpečný odpad. Kontejnery pro tříděný odpad byly vytvořeny ve třech barvách, modré, žluté a zelené, které jasně znázorňují, o jaký smíšený odpad se jedná. Modely popelnic jsou tvořeny ze dvou částí, aby pracovník mohl nejdříve otevřít víko popelnice a až poté do něj vhodit daný odpad. Na druhé straně pro nebezpečný odpad nalezneme plechový kontejner, do kterého se bude umisťovat tento typ odpadu. Na kontejner byla vytvořena cedulka, která jasně označuje, že se jedná o místo, kam lze odkládat nebezpečný odpad. Model cedulky byl vytvořen v Blendru a byla přidána textura, která byla vystřižena z obrázku, který udává, jak mají být tyto kontejnery značeny. *SnapDropZone* je přidán do každého kontejneru, kam bude pracovník odpad odkládat. Ve cvičné fázi jsou zde použity i naváděcí šipky, aby pracovník věděl, do kterého kontejneru odpad patří. Pohybující šipka se zobrazí nad správným kontejnerem ihned po uchopení daného odpadu do ruky. Kolizi při doteku ruky s objektem nám zajišťuje skript *BoxCollider*. Při vložení odpadu do nesprávného kontejneru bude odpad vrácen zpět na stůl a pracovník má další pokus. I zde se nachází avatar provádějící zvukovou instruktáž, pomocí které jsou sděleny podrobnější informace o vlastnostech jednotlivých nebezpečných odpadů. (viz Obrázek 26)



Obrázek 26 - Třídění odpadu

5.7 Testovací prostor

Jedná se prostor, ve kterém je hlavním cílem ověřit znalosti zaměstnance. Z tohoto důvodu prostor neobsahuje žádnou pomocnou vizualizaci ani zvukovou instruktaž. Testovací prostor je naprosto totožný jako cvičný bez přítomnosti avatara. Uživatel je v této části také hodnocen za správné spojení symbolu k jeho významu a za rozřídění odpadu. Za každý správný krok je udělen bod a za špatný se body odčítají. Celkový procentuální výsledek se pracovníkovi zobrazí na konci testovacího školení.

5.8 Animace

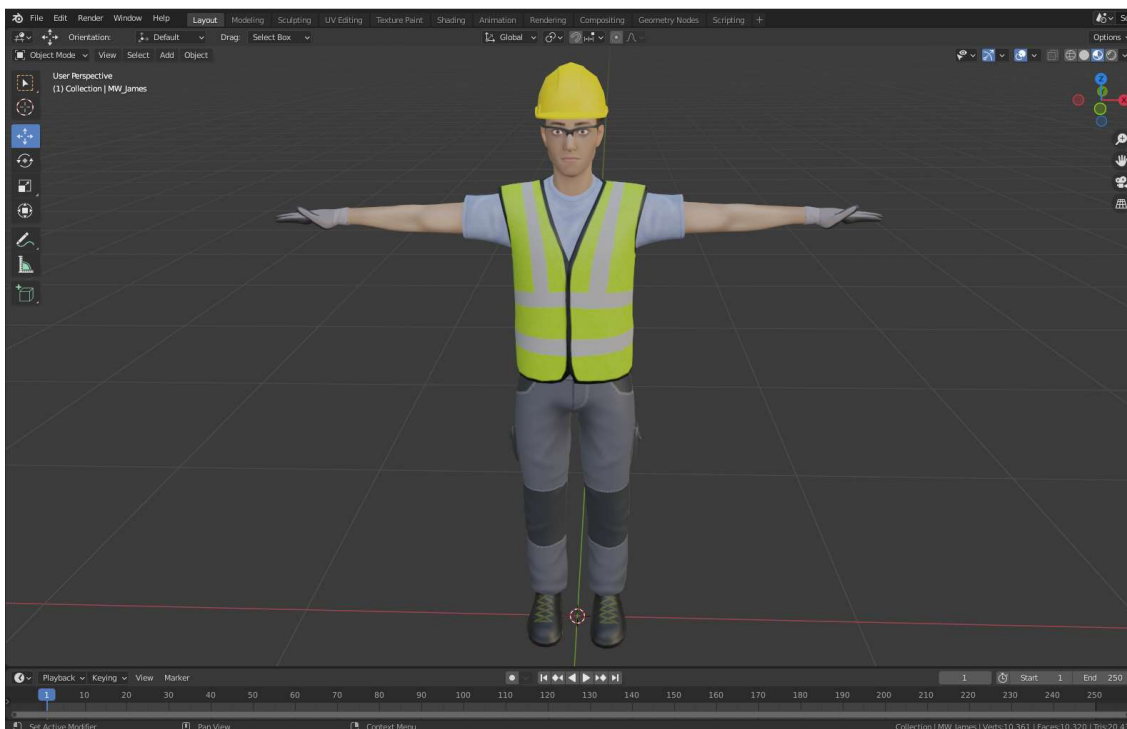
Jak již bylo výše uvedeno, prostředí obsahuje avatara v podobě školícího pracovníka, který provádí zvukovou instruktaž. Větší důvěryhodnosti této postavy můžeme dosáhnout přidáním animací pohybu hlavy, rukou nebo například přidáním obličejové mimiky. (viz Obrázek 27)

Animace byly vytvořeny pomocí obleku Xsens, který obsahuje senzory rozmístěné po celém těle. Po nasazení senzorů muselo dojít nejdříve ke kalibraci, která byla prováděna i průběžně. Každý senzor je určený pro dané místo na těle, tudíž nesmělo dojít k jeho použití na jiné končetině. Sensory byly umístěny na spodních a horních končetinách, trupu a hlavě. Na spodních končetinách byly senzory rozmístěny na stehnech, pod kolena a v botách. Horní končetiny obsahovaly senzory na dlaních v podobě rukavic, na zápěstí a pod ramena na místě, kde končí triko, které také obsahuje senzory monitorující samotný trup. Další senzor byl také umístěn v pase a na hlavě v podobě čelenky.

Program zachycuje pozici senzorů na těle, ze které následně vytvořil animaci. Při snímání byly prováděny pohyby rukou a hlavy pro dosažení autentičnosti při spuštění zvukové instruktaže. Tato vytvořená animace je v Unity 3D přidána avataru, který je k vidění na obrázku níže.

Dále byly vytvořeny animace, ve kterých dochází k pohybu úst. Ty byly vytvořeny programem iClone, který podle zvukové nahrávky sám vytvoří animaci, která hýbe ústy ve správný okamžik.

Všechny animace jsou v enginu nastaveny tak, aby byly přehrány zároveň se zvukovou stopou.



Obrázek 27 - Avatar v podobě školícího pracovníka

5.9 Zvuková instruktáž

Podstatnou částí aplikace jsou zvukové nahrávky, které pracovníkovi sdělují informace o problematice nebezpečného odpadu. Po každém správném kroku je pracovníkovi také sděleno, jak pokračovat dál a zda postupuje správně.

Jakmile dojde k nasazení virtuálních brýlí, je nejprve nutné uvést uživatele do školení a seznámit ho s prostředím. Uvítací zvuková stopa tedy uživateli sdělí, kde se nachází, co bude v aplikaci plnit za úkoly a jak manipulovat s předměty. První zvuková instruktáž tedy bude znít takto:

„Ahoj, vítěj ve školícím prostředí pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci s nebezpečným odpadem. V této aplikaci si procvičíš základní znalosti o druzích nebezpečného odpadu a následně tě bude čekat roztrídění takového odpadu, abys věděl, jak s takovým odpadem nakládat. Nejprve se ale pojď seznámit s druhy nebezpečných odpadů a začni tím, že správně poskládáš první symbol. Symbol poskládej ze čtyř částí, které nalezněš na tabuli před sebou. Pomocí ruky je přesuň na zeleně vyznačené místo.“

Pokaždé, když pracovník správně poskládá symbol, zazní:

„Výborně, nyní přiřad' k symbolu správné označení.“

Jakmile pracovník přiřadí k symbolu správné označení, spustí se další zvukové sdělení, které zní:

„Gratuluji, správně jsi poskládal první symbol, který značí výbušninu. Prvky s tímto symbolem označují nestabilní výbušninu a hrozí u nich nebezpečí masivního výbuchu. Při práci s ním používej ochranný oděv a chraň jej před teplem, plameny nebo horkými povrchy. V přítomnosti tohoto odpadu se nesmí kouřit. Tento symbol můžeme najít u zábavní pyrotechniky nebo střeliva.“

Při správném spojení grafického symbolu s označením se vždy spustí další zvukové instruktaže. Zvukové stopy budou spuštěny v takovém pořadí, aby souhlasily s daným nebezpečným odpadem. Budou mít znění:

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který značí hořlaviny. Jedná se o hořlavý nebo extrémně hořlavý plyn, aerosol, kapalinu a páry. Prvky s tímto symbolem nezahřívej ani nestříkej do otevřeného ohně. Používej nářadí z nejiskřícího kovu a obal uchovávej těsně uzavřený. Může se jednat o lampový olej, benzin, odlakovač na nehty, dezinfekční prostředek na mytí rukou, lepidlo.“

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který je označován jako oxidující. Může způsobit požár nebo výbuch. Předměty s tímto označením nezahřívej. Použij ochranný oděv a v případě styku s oděvem a kůží opláchni vodou. Můžeš se s tím setkat v podobě bělidla nebo kyslíku.“

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který je označován za žíraviny. Tyto prvky mohou způsobit korozi kovů, těžké poleptání kůže a poškození očí. Předměty uchovávejte v původním obalu. Použijte ochranné rukavice, ochranný oděv, ochranné brýle a obličejový štít. Tímto symbolem mohou být označeny čističe odpadů, kyseliny, zásady nebo čpavek.“

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který označuje akutní toxicitu. Při požití, vdechnutí nebo styku s kůží může způsobit poškození zdraví nebo smrt. Manipulujte s těmito předměty opatrně. Při používání nic nekonzumujte, nepijte a nekuřte. Používejte ochranné pomůcky. Zamezte styku s kůží a očima. Skladujte uzamčené. Jedná se o insekticidy, nikotinové náplně do elektronických cigaret.“

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který je označením pro vysokou nebezpečnost pro zdraví. Před použitím si přečtěte pokyny pro bezpečné zacházení s těmito látkami. Zamezte vdechování prachu nebo dýmu. Skladujte uzamčené. V případě dýchacích potíží volejte lékaře. S takovým symbolem se můžeme setkat například u terpentýnu, benzinu a lampového oleje.“

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který označuje nebezpečnost pro zdraví. Tyto prvky mohou vyvolat alergickou kožní reakci nebo vážné podráždění očí. Poškozuje zdraví i životní prostředí. Zamezte styku s kůží a očima. Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Symbol můžeme najít na pracích prostředcích, nemrznoucích kapalinách, silikonech, lepidlech.“

„Gratuluji, správně jsi poskládal další symbol, který označuje ekotoxicitu. Jsou to látky toxické pro vodní organismy. Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Uniklý produkt seberte. Takové látky mohou být v podobě herbicidů, terpentýnu, benzinu a fermeže.“

Po správném přiřazení všech částí pracovník postoupí do druhé části školení, kde ho bude čekat třídění odpadu. Následující zvuková instruktaž tedy bude znít takto:

„Výborně, právě jsi dokončil první část školení. Nyní tě bude čekat roztrídění odpadů, které máš na stole před sebou. Na levé straně máš kontejnery pro tříděný odpad a na pravé kontejner, pro odpad nebezpečný. Takový kontejner musí být vždy čitelně označen štítkem nebezpečný odpad. Mezi odpady určené pro tento kontejner se řadí takové materiály, které vykazují alespoň jednu nebezpečnou vlastnost, jako je například toxicita, karcinogenita, mutagenita, infekčnost nebo ekotoxicita. Všechny nebezpečný odpad bude následně likvidován externí firmou. Nyní správně roztríd' předměty podle toho, pro jaký kontejner jsou určeny. Uchop první odpad a začni třídít.“

Pracovník roztrídí první plastovou lahev a zazní:

„Ano, plastová lahev patří do kontejneru na plast. Roztríd' další předmět.“

Dále pracovník roztřídí rozbité sklo a dozví se následující informace:

„Ano, sklo patří do kontejneru na sklo. Roztříd' další předmět.“

Po roztřídění papíru bude pracovníkovi spuštěna zvuková stopa:

„Ano, papíry a kartony patří do kontejneru na papír. Roztříd' další předmět.“

Předposlední zvukovou stopou, kterou pracovník v cvičné verzi uslyší poté, co správně roztřídí zářivku, bude:

„Ano, zářivka patří do kontejneru pro nebezpečný odpad, jelikož obsahuje množství plynů a rtuti. Tyto odpady musí být vždy umístěny do kontejneru, který je označen viditelnou cedulkou nebezpečný odpad. Roztříd' poslední předmět.“

Po roztřídění posledního předmětu v podobě prázdné nádoby od ředidla zazní:

„Ano, prázdná nádoba od ředidla patří do kontejneru pro nebezpečný odpad, jelikož stále obsahuje malé množství nebezpečných látek. Výborně, dokončil jsi cvičné školení, nyní tě bude čekat testovací verze. Až budeš připraven, stiskni zelené tlačítko s nápisem TEST.“

Závěrečná testovací verze, do které se pracovník dostane stisknutím zeleného tlačítka, už nebude pouštět informační ani jiné pomocné zvukové stopy. V této části bude přehráno pouze jedno zvukové sdělení, které zazní až na konci celého školení před zobrazením celkové úspěšnosti.

„Gratuluji, úspěšně jsi dokončil testovací verzi. Tímto je tvoje školení u konce.“

6 Nastavení scény a tvorba aplikace

Celý projekt byl vytvářen v *Universal Render Popeline*, který slouží výhradně pro rychlejší a snadnější optimalizaci grafiky. Další výhodou je zahrnutí efektů následného zpracování neboli *Post Processing*, což výrazně ovlivní celkový vzhled prostoru aplikace. Na obrázcích níže můžeme vidět rozdíl při vypnutém a zapnutém následném zpracování. (viz Obrázek 28, 29)



Obrázek 29 - Zapnutý PP

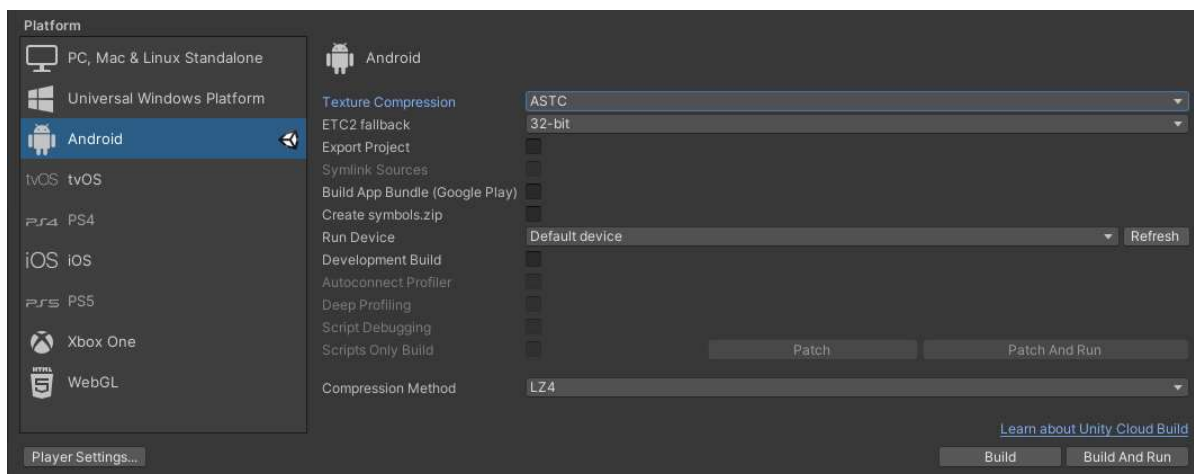


Obrázek 28 - Vypnutý PP

Další důležitou částí scény jsou světla. Do prostředí byla přidána bodová světla, která jsou umístěna nad prostorem, ve kterém se bude uživatel zaškolovat. Dále bylo zapotřebí nastavit *Reflection Probes*, což bylo zvoleno tak, aby se navzájem lehce překrývaly a pokryly tak celou oblast. Potřebným prvkem pro správné zapečení je také *Light Probe Group*, který byl vytvořen v celém prostoru školícího prostředí ve stejných rozestupech. Prvek tvoří několik bodů, které zkoumá změnu světla na stíny a opačně. Aby nemuselo docházet k neustálému vykreslování světél a stínů, bylo provedeno jejich zapečení. Tím bylo dosaženo především nižšího počtu *FPS* neboli *Frames Per Second*, což má za následek plynulejší chod aplikace. Zapečení bylo provedeno nejdříve nastavením světél, kde bylo zvoleno *Baked* v kolonce *Mode* a *Soft Shadows* v kolonce *Shadow Type*. Dále ve *Window - Rendering - Lighting - Scene* bylo vytvořeno *New Lighting Settings*. Pak už zbývalo pouze spustit zapečení, které bylo provedeno cestou *Lighting - Workflow Settings - Generate Lighting*.

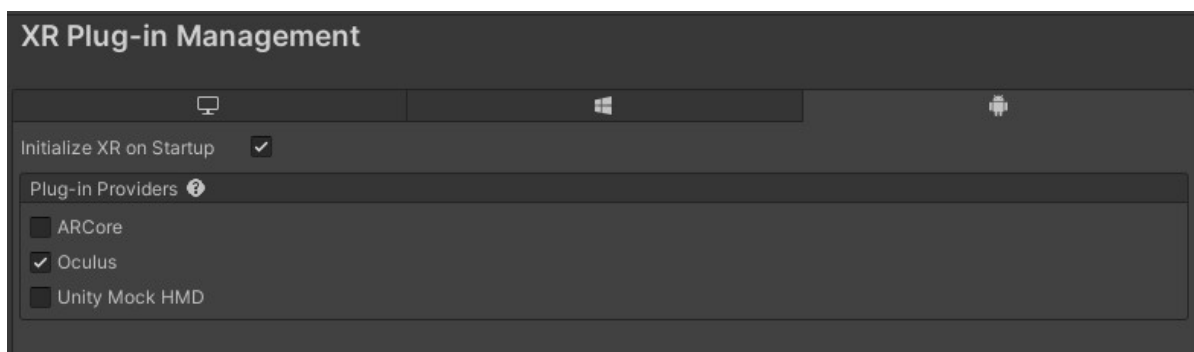
Poslední důležitou částí bylo přidání balíčků *Oculus Integration* a *XR Plugin Management*, které jsou zapotřebí při vytváření aplikace. Balíčky byly přidány cestou *Window - Package Manager*, kde byly jednotlivě vyhledány a nainstalovány do projektu.

Jakmile byla scéna kompletně nastavena, bylo možné přejít k poslednímu kroku, což bylo samotné vytvoření aplikace, která byla následně nainstalována do virtuálních brýlí a testována. Aby aplikace v brýlích fungovala, muselo nejprve dojít ke kompletním nastavením. Při vytváření *Buildu* byla zvolena platforma *Android*, kterou brýle disponují. Dalším krokem bylo nastavení *ASTC* neboli *Adaptive Scalable Texture Compression* u *Texture Compression*, a to pro lepší kvalitu textur a snížení hardwarové zátěže. (viz Obrázek 30)

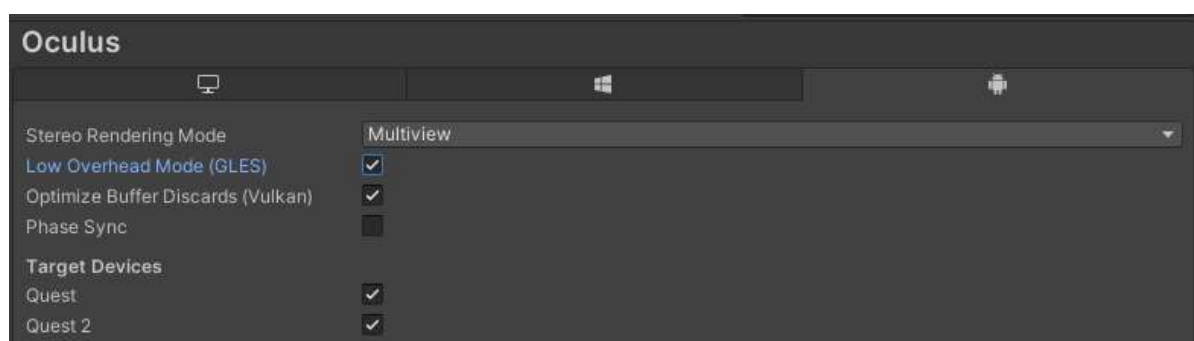


Obrázek 30 - Výběr platformy

Dále bylo nutné zakliknout v *Project Settings - XR Plug - in Management - Android settings* pole *Oculus* pro nainstalování pluginu. Toto bylo provedeno i pro *PC settings*, aby bylo možné aplikaci testovat v unity editoru přes připojené virtuální brýle k počítači. Nastavení *Multiview* u *XR Plug - in Management - Oculus - Android settings - Stereo Rendering Mode* nám zaručí rychlejší vykreslování objektů a opět sníží hardwarovou zátěž. (viz Obrázek 31, 32)



Obrázek 31 - Nastavení zařízení



Obrázek 32 - Nastavení Multiview

Poslední nastavení bylo provedeno přes *Project Settings - Player - Android settings* do *Other Settings*, kde došlo ke zvolení *Color Space* na *Linear*, *Minimum API Level* na *Android 6.0 (API level 23)* a *Scripting Backend* na *IL2CPP*.

7 Testování aplikace

Dokončená aplikace, která byla následně nahrána do virtuálních brýlí, musela ještě projít samotným testováním, ve kterém se odhalily nedostatky. Tento podstatný krok odhalí veškeré chyby, na které jsme nenarazili během tvorby a nastavování celé scény. Testování probíhalo podle předem stanoveného postupu, který obsahuje kroky:

- 1) **Definovat cíl testování**
 - Testování aplikace za účelem odstranění grafických a funkčních nedostatků.
- 2) **Testovací tým**
 - Tým skládající se ze dvou osob se znalostmi v oblasti virtuální reality.
- 3) **Místo testování**
 - Pro testování aplikace využít prostory katedry Průmyslového inženýrství a managementu na Západočeské univerzitě v Plzni.
- 4) **Zařízení VR**
 - Aplikace testována s náhlavní soupravou Oculus Quest 2.
- 5) **Testování**
 - Testovací tým provádí testování v různých scénářích a vyhodnotí výsledky.
- 6) **Zdokumentování a analyzování výsledků**
 - Zdokumentování výsledků do protokolu.
- 7) **Opravení nedostatků**
 - Opravení nedostatků podle výsledků z protokolu.
- 8) **Opakovat testování**
 - Provést další testy za účelem ujištění, že vše funguje podle navrhnutého scénáře.
- 9) **Dokončení aplikace**
 - Po ukončení testování dokončit aplikaci.

Pro otestování aplikace byl vytvořen scénář, podle kterého bude testování probíhat. Záměrně obsahuje veškeré chybné kroky, kterých by se pracovník mohl dopustit, abychom zamezili chybám, které by nesouhlasily se správným postupem školení. Scénář obsahuje následující kroky:

- Kontrola spuštění aplikace
- Spuštění školení
- Špatné poskládání cedulky
- Správné poskládání cedulky
- Špatné přiřazení názvu k cedulce
- Správné přiřazení názvu k cedulce
- Kontrola aktivity prvků během zvukové instruktáže
- Kontrola správného zobrazení informací na dodatkové tabuli
- Kontrola spuštění správné zvukové instruktáže
- Přesunutí na druhé školící pracoviště
- Špatné vytřídění odpadu
- Správné vytřídění odpadu
- Kontrola aktivity prvků během zvukové instruktáže
- Kontrola spuštění správné zvukové instruktáže
- Spuštění testu
- Kontrola správného vyhodnocení výsledku
- Kontrola vypnutí aplikace

Veškeré nedostatky, které byly objeveny během testování podle navrženého scénáře se zaznamenávaly do předem vytvořeného protokolu (viz Tabulka 4). Odstraňování nedostatků bylo prováděno podle jejich závažnosti. Závažné problémy byly odstraněny ihned po jejich nalezení, jelikož nám neumožňovaly dále pokračovat ve školení. Méně závažné nedostatky, které neomezovaly průběh školení byly odstraněny vždy po dokončení jednotlivého testování. Testování bylo několikrát opakováno, aby byly vyzkoušeny veškeré varianty, které během školení mohou nastat.

Tabulka 4 - Protokol nedostatků

Verze	Datum a čas	Výsledek
0.1	25.4.2023 13:17	Nízký počet FPS při spuštění aplikace.
0.1	25.4.2023 13:53	Špatné pořadí zobrazování informací na dodatkové tabuli.
0.1	25.4.2023 13:54	Příliš dlouhá doba animace zobrazující informace.
0.2	28.4.2023 10:32	Aktivní prvky odpadu během zvukové instruktáže.
0.2	28.4.2023 10:38	Špatný poměr velikosti prvků v druhém prostoru.
0.2	28.4.2023 10:45	Bez nedostatků.
0.3	28.4.2023 12:00	Bez nedostatků.

Z tabulky můžeme vyčíst, že první nedostatky byly zjištěny ihned při spuštění prvního pracovního prostředí. Při pohybu po školícím pracovišti docházelo k zasekávání a neplynulosti obrazu, což bylo způsobeno nízkým počtem FPS. Tento problém byl vyřešen úpravou a decimováním modelů s velkým počtem trianglů. Pomocí decimace dojde ke snížení tohoto počtu, čímž získáme větší počet FPS. Úprava proběhla u modelu vysokozdvizného vozíku, krabic, palet a CNC strojů v programu Blender.

Chyby v aplikaci se objevily i na dodatkové tabuli, kde docházelo k nesprávnému odkrývání podrobnějších informací k danému nebezpečnému odpadu. Při spojení výbušného grafického symbolu s názvem docházelo k zobrazení hořlavých dodatkových informací. Problém byl vyřešen úpravou pořadí dodatkových informací, které se postupně odkrývají pomocí animace. Během tohoto řešení problému došlo také ke zkrácení času této animace, jelikož původní doba byla příliš dlouhá.

U druhé pracovní činnosti, kdy pracovník třídí odpad do jednotlivých kontejnerů, bylo zjištěno, že prvky, které se nachází na stole před ním, jsou aktivní během zvukové instruktáže školícího pracovníka. Tato situace je nepřijatelná, jelikož zvuková instruktáž je důležitou částí tohoto školení a pracovník musí nejdříve získat potřebné informace, než začne provádět činnost. Situace byla vyřešena upravením skriptu, který umožní pohyb modelu, jakmile je ukončena zvuková instruktáž.

Poslední úpravou, která byla v prostředí provedena, byla úprava velikostí jednotlivých objektů. Při testování bylo zjištěno, že dochází k nepoměru velikostí objektů, například u avatara, jenž byl podobně veliký jako kontejnery pro tříděný odpad. Všechny modely byly v prostředí upraveny tak, aby se pracovník ve virtuálních brýlích například díval avatarovi přímo do očí. Ostatní prvky byly podle toho taktéž upraveny, aby poměrově odpovídaly.

Testování aplikace probíhalo tak dlouho, dokud nebyly odstraněny veškeré nedostatky. Samotné testování bylo prováděno ve dvou dnech a rozděleno do třech částí. První část byla zaměřena na odhalování nedostatků v prvním cvičném školícím prostoru a druhá část zjišťovala chyby v prostoru určeném pro třídění odpadu. Poslední část byla zaměřena na průběh celého

školení, kde bylo zjišťováno, jestli vše funguje podle našich představ a zda byly veškeré nedostatky správně opraveny.

8 Závěr

Práce popisuje základní informace o technologii VR a postupu vytvoření aplikace, která pomáhá školit zaměstnance o bezpečnosti a zdraví při práci s nebezpečným odpadem. Pro aplikaci byla vytvořena scéna z průmyslového prostředí, ve které bude zaškolování probíhat. Do prostředí byl také umístěn avatar v podobě školícího pracovníka, který bude po celou dobu školení poskytovat podrobnější informace o dané problematice.

Pracovník díky aplikaci bude schopen sám rozeznat jednotlivé druhy nebezpečného odpadu a seznámí se s jeho riziky. Dále uživatel zjistí, jaké musí mít odpad vlastnosti, aby se jednalo o nebezpečný odpad, jak s ním dále zacházet a jaké dodržovat předpisy. Hlavním cílem aplikace je informovat pracovníka o možných následcích, které by mohly nastat při práci s tímto odpadem.

Školení bylo rozděleno do cvičné a testovací části. Cvičná část slouží pro získání veškerých informací o dané problematice a k samotnému procvičování. To probíhá v podobě přiřazování vlastností k daným nebezpečným odpadům a jeho tříděním. Školení je pak následně zakončeno testovou částí, ve které se ověřují znalosti uživatele. Pro úspěšné splnění školení musí pracovník získat úspěšnost minimálně 75 %.

Výhodou tohoto školení ve virtuální realitě je maximální soustředěnost pracovníků při zaškolování, snadnější zapamatovatelnost díky prožití situací a možnost opakování. Podniky využívající tuto technologii nepotřebují speciálně vybavené pracoviště pro školení a mohou provádět zaškolování kdykoli.

Tato aplikace se zaměřením na nebezpečný odpad slouží pouze jako část školení a nenahrazuje tak kompletní školení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Katedra Průmyslového inženýrství a managementu na Západočeské univerzitě v Plzni vyvíjí souhrnnou skupinu školení BOZP s různým typem zaměření, do které bude tato aplikace zařazena.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *VIRTUÁLNÍ REALITA (VR) - DiGi DOUPĚ* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.digidoupe.upol.cz/index.php/digiseznam/7-3d-virtualni-realita-vr>
- [2] SHERMAN, William R a Alan B CRAIG. *Understanding virtual reality : interface, application, and design / William R. Sherman, Alan B. Craig*. 2019.
- [3] History Of Virtual Reality. *Virtual Reality Society* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- [4] SCHARDON, Lindsay. What is Unity? – A Guide for One of the Top Game Engines. *GameDev Academy* [online]. 22. únor 2022 [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://gamedevacademy.org/what-is-unity/>
- [5] *What Is Unreal Engine? - BairesDev* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.bairesdev.com/blog/what-is-unreal-engine/>
- [6] *Why should you care about Unreal Engine 5? | TechCrunch* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2022/04/11/what-is-epic-games-unreal-5/>
- [7] FOUNDATION, Blender. About. *blender.org* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.blender.org/about/>
- [8] What Is Blender (Software)? – Simply Explained. *All3DP* [online]. 21. květen 2020 [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/blender-simply-explained/>
- [9] *What is Substance Painter?* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://conceptartempire.com/what-is-substance-painter/>
- [10] What Is Substance Painter? – Simply Explained. *All3DP* [online]. 9. říjen 2019 [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-substance-painter-simply-explained/>
- [11] AI-Powered Lipsync Animation | iClone. *3D Animation Software for Character Animator | iClone | Reallusion* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.reallusion.com/iclone/lipsync-animation.html>
- [12] What Is Virtual Reality And How Does It Work. *Software Testing Help* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.softwaretestinghelp.com/what-is-virtual-reality/>
- [13] Oculus Quest 2: Full Specification. *VRcompare* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/oculusquest2>
- [14] *Oculus Quest 2, Visore VR all-in-one, da 64 GB : Amazon.it: Informatica* [online]. [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://www.amazon.it/Oculus-Quest-visore-all-one/dp/B08HHD6S26>
- [15] *Zuckerberg věří, že ve VR budeme pracovat i bavít se. Brýle Meta Quest Pro stojí balík – Živě.cz* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/zuckerberg-veri-ze-ve-vr-budeme-pracovat-i-bavit-se-bryle-meta-quest-pro-stoji-balik/sc-3-a-218825/default.aspx>
- [16] *Amazon.com: Meta Quest Pro: Everything Else* [online]. [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Meta-Quest-Pro-Oculus/dp/B09Z7KGTVW?th=1>
- [17] HTC Vive Pro 2: Full Specification. *VRcompare* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/htcvivepro2>

- [18] HTC Vive Pro 2: Nejlepší VR set s 5K na trhu. *PCTuning* [online]. [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://pctuning.cz/article/htc-vive-pro-2-nejlepsi-vr-set-s-5k-na-trhu>
- [19] *BP_Kunca.pdf* [online]. [vid. 2023-05-15]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/49205/1/BP_Kunca.pdf
- [20] *Virtuální realita v průmyslu? Už se využívá!* | *TechEdu.cz* [online]. [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://techedu.cz/clanky/59/virtualni-realita-v-prumyslu-uz-se-vyuziva>
- [21] *VR Applications: 23 Industries using Virtual Reality* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/vr-applications>
- [22] JENSEN, Lasse a Flemming KONRADSEN. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies* [online]. 2018, **23**(4), 1515–1529. ISSN 1573-7608. Dostupné z: doi:10.1007/s10639-017-9676-0
- [23] *VR for Education - The Future of Education | Immersion VR* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://immersionvr.co.uk/about-360vr/vr-for-education/>
- [24] Virtuální realita našla využití i ve studiu medicíny. *SystemOnLine.cz* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/it-pro-verejny-sektor-a-zdravotnictvi/virtualni-realita-nasla-vyuziti-i-ve-studiu-mediciny.htm>
- [25] *4 use cases for virtual reality in the military and defense industry* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://blog.techviz.net/4-use-cases-for-virtual-reality-in-the-military-and-defense-industry>
- [26] GREENGARD, Samuel. *Virtual Reality*. B.m.: MIT Press, 2019. ISBN 978-0-262-35469-1.
- [27] ROMANO, Jenna. What Is the Metaverse? An Explainer. *Wix Blog* [online]. 7. srpen 2022 [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.wix.com/blog/2022/09/what-is-the-metaverse/>
- [28] HUGGETT, Cindy. *Virtual Training Basics 2nd Edition*. 2018. ISSN 978-1-947308-65-7.
- [29] MR, VR | AR |. Augmented Reality and its use case in the Electronics and Manufacturing industry. *Medium* [online]. 31. červenec 2020 [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://arvrjourney.com/augmented-reality-and-its-future-in-the-electronics-industry-92d25eccac54>
- [30] *The Metaverse? What It Is & What You Should Know | Seeking Alpha* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://seekingalpha.com/article/4472812-what-is-metaverse>
- [31] INFO@WOLTERSKLUWER.CZ, Wolters Kluwer ČR, a s-. LIT291209CZ Digitalizace s důrazem na virtuální realitu jako součást vzdělávacích procesů v BOZP. *ASPI* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.aspi.cz/products/lawText/7/291209/1/2?vtextu=Covid%2BCoronavirus%2BKoronavirus%2B%22SARS%20CoV-2%22%2BSARS-CoV-2%2Bkdo>
- [32] S.R.O, Extéria a Miloslav RAMACH. Školení BOZP pro zaměstnance, jak často? Kdo může školit? Proč školit? *Extéria, s.r.o.* [online]. 28. duben 2020 [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://www.exteria.cz/skoleni-bozp-dokumentace-pro-zamestnance-jak-casto-kdo-muze-skolit-proc-skolit/>

- [33] Co je BOZP. *Kurzy BOZP* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.bozpkurzy.cz/sluzby-bozp/co-je-bozp/>
- [34] NEUGEBAUER, Tomáš. *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci v kostce, neboli, O čem je současná BOZP*. 2., aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Wolters Kluwer, 2016. ISBN isbn978-80-7552-106-4.
- [35] Virtual Reality Takes Work-Platform Training to New Heights. *For Construction Pros* [online]. srpen 2019 [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://www.forconstructionpros.com/business/business-services/training-education/article/21078933/virtual-reality-takes-workplatform-training-to-new-heights>
- [36] Pohlcující simulace VR při výcviku hasičů: studie z Norska. *Emergency Live* [online]. 7. září 2021 [vid. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.emergency-live.com/cs/hasi%C4%8Di/vr-pohlcej%C3%ADc%C3%AD-simulace-v-hasi%C4%8Dsk%C3%A9m-v%C3%BDcviku-studie-z-Norska/>
- [37] CURETON, Demond. Can Professionals Work in Virtual Reality? *XR Today* [online]. 19. duben 2023 [vid. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.xrtoday.com/virtual-reality/can-professionals-work-in-virtual-reality/>
- [38] *Možnosti využití virtuální reality ve vztahu k bezpečnosti práce | BOZPinfo.cz* [online]. [vid. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/moznosti-vyuziti-virtualni-reality-ve-vztahu-k-bezpecnosti-prace>
- [39] *Health and safety training - a VR revolution | TTRO* [online]. [vid. 2022-12-01]. Dostupné z: <https://www.ttro.com/blog/technology/this-is-how-vr-is-revolutionising-health-and-safety-training/>
- [40] ČR, MŽP. Nebezpečné odpady. <http://> [online]. 29. srpen 2008 [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nebezpecne_odpady
- [41] *Označování nebezpečných odpadů (eAGRI)* [online]. [vid. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/ostatni/103809036.html>
- [42] USER, Super. Nebezpečné odpady. *Znalostní systém prevence rizik v BOZP* [online]. [vid. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/nebezpecne-odpady-kam-s-tim>

