

**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 KUNCA  
**Vedoucí práce:** Ing. Miroslav BEDNÁŘ

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin KUNCA**  
Osobní číslo: **S20B0310P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Průmyslové inženýrství a management**  
Téma práce: **Využití virtuální reality pro BOZP**  
Zadávající 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. Jan Kubr**  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání bakalářské práce: **20. září 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, 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**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Bednářovi za vedení, rady a konzultace, které mi během tvorby této práce ochotně poskytoval.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během studia. Poslední poděkování patří mé přítelkyni, která mi byla silnou oporou a s její podporou jsem se dostal tak daleko.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

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

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	50	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	40	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Cílem bakalářské práce je vytvořit aplikaci pro školení bezpečnosti práce ve výškách. Aplikace bude tvořena pro brýle pro virtuální realitu Oculus Quest 2. Aplikace bude pouze doplňkem školení BOZP, školení samo sobě nemůže být nahrazeno pouhou aplikací. V aplikaci zazní důležité bezpečnostní informace, které je nutné pracovníkovi sdělit a následně budou ještě sděleny nejčastější chyby, kterých by se měl vyvarovat.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Virtuální realita, VR, Oculus Quest 2, HMD, Unity 3D, Hand tracking, BOZP, Výškové práce</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Kunca	Name Martin	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013 Mechanical Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bednář	Name Miroslav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST – KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Use of virtual reality for health and safety		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KPV	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	50	<b>TEXT PART</b>	40	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The goal of this bachelor thesis is to create an application for occupational safety for aerial work. Application will be developed for Oculus Quest 2 headset. This application will be only accessory for OSH training, this training cannot be replaced by an application. There will be heard important safety information that has to be told to worker with most common mistakes that he should avoid.
<b>KEY WORDS</b>	Virtual reality, VR, HMD, Unity 3D, Hand tracking, OSH, Aerial work

# Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků .....	11
Seznam tabulek .....	12
Úvod.....	13
1 Virtuální realita .....	14
1.1 Historie virtuální reality.....	14
1.2 Využití virtuální reality .....	16
1.2.1 Armáda .....	16
1.2.2 Zdravotnictví .....	16
1.2.3 Zábava .....	17
1.2.4 Vzdělávání.....	17
1.2.5 Průmysl.....	18
1.3 Hardware .....	19
1.3.1 Brýle pro virtuální realitu .....	19
1.3.2 Oculus Quest 2 .....	20
1.3.3 Náhlavní displeje značky HTC .....	20
1.3.4 Porovnání headsetů značky HTC a Oculus .....	21
1.3.5 Oblek pro virtuální realitu .....	22
1.3.6 CAVE .....	23
1.4 Software.....	23
1.4.1 Unity3D.....	23
1.4.2 Unreal Engine.....	24
1.4.3 Blender .....	24
2 Návrh využití VR pro BOZP.....	26
2.1 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci .....	26
2.1.1 Seznámení s riziky .....	26
2.1.2 Školení BOZP .....	26
2.1.3 Práce ve výškách .....	27
2.1.4 Ochrana před pádem z výšky .....	27
2.2 Využití VR pro školení BOZP.....	27
3 Tvorba scénářů ve VR pro BOZP .....	29
3.1 Prvotní návrh scénáře .....	29
3.2 Výběr vhodného zařízení pro výškové práce .....	29
3.3 Stanovení pracovní činnosti.....	30



3.4	Scénář .....	30
4	Tvorba scén .....	31
4.1	Hala.....	31
4.2	Tvorba první scény .....	32
4.3	Rozdělení plošiny .....	35
4.4	Tvorba druhé scény .....	37
4.5	Tvorba třetí scény .....	40
4.6	Tvorba čtvrté scény .....	41
4.7	Tvorba testovacích scén.....	41
5	Zvukové instrukce .....	42
6	Animace .....	44
7	Testování aplikace.....	46
	Závěr.....	48
	Seznam použitých zdrojů .....	49

## Přehled použitých zkratk a symbolů

VR	Virtuální realita
BOZP a PO	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci a Požární ochrana
OSH	Occupational Safety and Health (anglický název pro BOZP)
CAD	Computer Aided Design – Počítačem podporované projektování
CAE	Computer Aided Engineering – Počítačem podporované inženýrství
CAVE	Computer Aided Virtual Enviroment – Počítačem řízené virtuální prostředí
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 - Link Trainer [2] .....	14
Obrázek 2 - Super cockpit [4] .....	15
Obrázek 3 - VIEW a DataGlove, 1990 [5] .....	15
Obrázek 4 - Vojenský výcvik s pomocí VR [14] .....	16
Obrázek 5 - Virtuální muzeum [10] .....	17
Obrázek 6 - Virtuální trénink [18].....	18
Obrázek 7 - Ergonomické měření budoucího pracoviště [19] .....	19
Obrázek 8 - Oculus Quest 2 s ovladači [22].....	20
Obrázek 9 - HTC Vive Pro 2 [24] .....	21
Obrázek 10 - HTC Focus 3 [26].....	21
Obrázek 11 - CAVE [30] .....	23
Obrázek 12 - Unity3D [32] .....	24
Obrázek 13 - Blender [34].....	25
Obrázek 14 - Hala .....	31
Obrázek 15 - Pohled na halu z druhé strany.....	32
Obrázek 16 - Sklad.....	33
Obrázek 17 - Výběr helmy .....	33
Obrázek 18 - Záložka Animation a Animator .....	34
Obrázek 19 - Ukazatel správného výběru .....	34
Obrázek 20 - Skript TrueComponent .....	35
Obrázek 21 - Výběr bodů a rozdělení částí plošiny .....	36
Obrázek 22 - Časová osa animace.....	36
Obrázek 23 - Střešní konstrukce s ventilací .....	37
Obrázek 24 - Detail držáku ventilace .....	37
Obrázek 25 - Rozmístění kuželů .....	38
Obrázek 26 - Nastavení SnapDropZone.....	39
Obrázek 27 Vztah rodič/dítě u páčky s krychlí .....	39
Obrázek 28 - Detail závitové tyče .....	40
Obrázek 29 - Animační panel.....	41
Obrázek 30 - Rozmístění senzorů na přední části těla .....	44
Obrázek 31 - Rozmístění senzorů na zadní části těla.....	44
Obrázek 32 – Změna rozmístění kuželů.....	46

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Porovnání parametrů náhlavních displejů HTC a Oculus .....	22
Tabulka 2 - Výhody a nevýhody jednotlivých zařízení pro výškové práce .....	29

## Úvod

Virtuální realita se může jevit jakožto novodobá technologie, avšak její kořeny sahají až do 60. let minulého století. Od té doby technologie razantně pokročila a je dostupná pro široké spektrum lidí z pohodlí jejich domova.

S pojmem virtuální realita se dnes člověk setkává většinou v kontextu zábavy, specificky videoher, ovšem využití této technologie je daleko širší, než se může jevit. Virtuální realita má kromě zmiňovaného zábavního průmyslu také využití například v lékařství, stavebním a strojním průmyslu, armádě nebo vesmírném výzkumu. V těchto odvětvích může sloužit například pro zaučení dělníků ve virtuálním prostředí reálné montážní linky, pro simulaci letu či k trénování správných pohybů a cviků.

Cílem této práce je vytvořit virtuální trénink v rámci bezpečnosti práce pro zaměstnance průmyslových podniků. Uživatel, který si nasadí brýle pro virtuální realitu, se ocitne ve školicím prostředí zaměřeném na bezpečnost práce ve výškách. Tato práce se bude také věnovat představení virtuální reality, její stručné historii a popisu současných produktů nabízených na trhu. Další částí bude popis bezpečnosti práce a následné modelování scénáře pro školení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v rámci výškových prací.

# 1 Virtuální realita

O virtuální realitě můžeme hovořit, pokud jsou splněny čtyři klíčové elementy – virtuální svět, ponoření se do jiné reality, odezva a interakce. Při splnění výše uvedených parametrů, definují William R. Sherman a Alan B. Craig virtuální realitu jako: „Médium složené z interaktivní počítačové simulace, která vnímá uživatelskou pozici, její akce a mění či rozšiřuje zpětnou vazbu na více smyslů, tvořící pocit vtažení či přítomnosti v simulaci (virtuálním světě).“ [1]

## 1.1 Historie virtuální reality

Základy pro virtuální realitu byly položeny na počátku 19. století, kdy malíři této doby začali malovat panoramatické obrazy, jež zachycovaly celý prostor kolem malíře a měly diváka více vtáhnout na zobrazené místo. Roku 1929 Edward Link vyvinul první letecký simulátor pojmenovaný Link Trainer, který lze vidět níže na obrázku. Zde se budoucí piloti učili, jak létat a navigovat pomocí repliky kokpitu a přístrojů pro ovládání letadla. Tímto simulátorem prošlo přes 500 000 amerických pilotů. [1] [2]

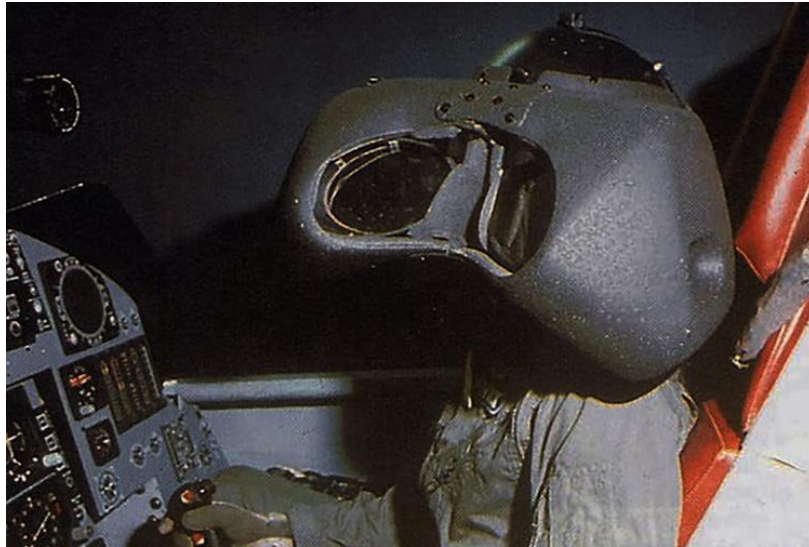


Obrázek 1 - Link Trainer [2]

V roce 1956 vynalezl Morton Heilig zařízení nazvané Sensorama, kde uživatel kromě nerušeného obrazu, zajištěného postranními klapkami, mohl zažít další vjemy, jako jsou vibrace, zápach nebo dokonce vítr. O 4 roky později přichází s prvním patentem pro virtuální brýle s názvem Stereoscopic-Television Apparatus for Individual Use. Roku 1961 vzniká první náhlavní displej vytvořený inženýry z firmy Philco. V roce 1963 vytvořil student MIT Ivan Sutherland aplikaci Sketchpad, s kterou bylo možno pomocí speciální tužky kreslit či komunikovat s aplikací formou výběru. O 5 let později, roku 1968, založil s profesorem Davidem Evansem firmu Computer Corp., která v témže roce přišla s náhlavním displejem. Byl zavěšen na konstrukci a uživatel se mohl s omezením pohybovat v prostoru a vnímat virtuální svět. V roce 1973 vyvinuli ve firmě Computer Corp. první letecký simulátor využívající počítačovou simulaci. [1] [3]

Eric Howlett v roce 1979 vytvořil široký zorný pohled pro malé displeje, kterého později využívaly první náhlavní displeje vytvořené v NASA. Roku 1981 se uvádí do provozu Super Cockpit pod dozorem Toma Furnesse, který využil HMD (Head mounted display –

náhlavní displej) ve smyslu rozšířené reality. Ten udával pilotovi například kolik střel je k dispozici, když se podíval na křídlo letadla. [1] [4]



Obrázek 2 - Super cockpit [4]

V roce 1984 najala NASA Scotta Fishera, aby vytvořil tzv. VIEW (Virtual Interface Environment Workstation – volně přeloženo jako virtuálně simulované pracovní prostředí). V rámci grantů podporující doplňky k tomuto projektu vznikají první rukavice DataGlove, jež přenášely polohu uživatelových rukou do počítače. V 90. letech vznikl sledovací systém Isotrak, který detekoval a hlásil lokaci senzorů, jež má uživatel na sobě. Roku 1989 proběhl první pokus dostat virtuální realitu do herního průmyslu společností Nintendo, která veřejnosti představila svoji herní rukavici Powerglove. Ovšem bez úspěchu. Ale díky své nízké ceně se stala populární mezi komunitou VR (Virtual Reality – virtuální realita) nadšenců. Na konferenci počítačové grafiky v Chicagu v roce 1992 byl představen systém CAVE (Computer Aided Virtual Environment – Počítačem řízené virtuální prostředí). K vývoji virtuální reality přispěla i arkádová 90. léta minulého století. Herní automaty dokázaly vtáhnout hráče do virtuálního světa, což zajišťovaly herní simulátory jízdy, tance nebo střelení pomocí herních pistolí. V rámci herních automatů vznikly dokonce systémy využívající brýle pro virtuální realitu. [1] [5]



Obrázek 3 - VIEW a DataGlove, 1990 [5]

## 1.2 Využití virtuální reality

Dnes je využití virtuální reality rozšířené v mnoha oborech. Bezesporu nejznámějším je komerční využití pro zábavu. VR ale rozhodně neslouží pouze k zábavě, ale i ke vzdělávání pomocí různých simulátorů.

### 1.2.1 Armáda

Vývoj různých technologií je často urychlen díky jejímu armádnímu využití, do kterého se investují velké finance. Virtuální realita není výjimkou. Dnes je zde možnost simulovat bojové situace, lékařský výcvik nebo dokonce rozšiřovat komunikační schopnosti vojáků s místními obyvateli. Výhodou takového použití je zvýšení kvalifikace vojáků bez rizika nebezpečí a snížení ceny tréninku. Virtuální trénink probíhá buď s pomocí HMD nebo simulátorů prostředí jako je například kokpit. Důležitou roli hraje také VR v léčbě vojáků s PTSD (posttraumatická stresová porucha). Cílem je vrátit tyto vojáky do normální života. [6] [7]



Obrázek 4 - Vojenský výcvik s pomocí VR [14]

### 1.2.2 Zdravotnictví

Další významné použití VR je ve zdravotnictví, kde se využívá pro simulace operací, léčení fobií, robotické operace a k tréninku personálu. Velikou výhodou je, že se zdravotníci mohou naučit nové dovednosti bez ohrožení pacienta. [8]

Robotické operace jsou takové operace, kdy je pacient operován pomocí robota, kterého ovládá chirurg. Díky této metodě je zde menší riziko špatného průběhu operace. Robotická ruka je přesnější a řezy jsou tudíž menší a čas hojení rychlejší. Důležitým faktorem je zde silová odezva, kde je potřeba, aby chirurg cítil fyzickou reakci robotické ruky a věděl kolik síly použít. [8]

V současné době vznikají za pomoci VR studie zaměřené na pacienty s neuropsychiatrickými chorobami jako je chronický stres, deprese či úzkosti. Na léčbu depresí se efektivně používá kognitivně behaviorální terapie, konkrétně část zaměřená na aktivity člověka. Tato metoda se snaží najít pozitivní aktivity konkrétnímu člověku a zařadit je do jeho běžného života. Studie zaměřená na tuto terapii vznikla z důvodu, že mnoho pacientů nemá k této léčebné metodě přístup a za použití VR je zde snaha tuto skutečnost změnit. Další vznikající studie se zaměřuje na pacienty, kteří trpí úzkostí. Pomocí virtuální reality jsou



sledování, jak se učí a rozhodují, jak se mění jejich řeč těla, postoj a pozorování. Cílem této studie je položit základy výzkumu pro zlepšení léčby této nemoci. [8] [9]

### 1.2.3 Zábava

Nejspíše nejznámější doménou využívající virtuální realitu jsou hry, které nyní kromě klasického zobrazování herní světa pomocí HMD a ovládní pomocí ovladačů, využívají i rukavice nebo oblek pro zaznamenání pohybu a jeho uskutečnění ve virtuálním světě.

Dále se můžeme s VR setkat v rámci kultury. Například vybraná muzea používají virtuální realitu převážně, aby zaujaly děti, které muzea vnímají jako nudná. Vytvářejí se interaktivní prostředí, která mají tuto bariéru zlomit a povzbudit je v následném navštěvování. Existují dokonce divadelní hry pro virtuální realitu, která má ještě více vtáhnout diváka do fiktivního světa.

Virtuální parky dnes také využívají virtuální svět k přenesení návštěvníku do míst, která by byla téměř nemožná vybudovat. Díky tomu můžeme navštívit místa, která jsou děsivá, nebezpečná a mohou vyvolávat až paranormální pocity. [10]



Obrázek 5 - Virtuální muzeum [10]

### 1.2.4 Vzdělávání

Výhodou použití VR pro vzdělávací účely je, že skupinky studentů mohou interagovat mezi sebou a zároveň i s virtuálním prostředím. Je zde umožněno přednášet komplexní data v takové míře, která je zároveň zábavná a lehká na naučení.

Studenti astronomie se mohou například naučit o solárním systému tak, že mohou posouvat planety, koukat se okolo hvězd a sledovat komety. Forma této výuky je nejvíce užitečná studentům, kteří mají specifický systém učení, jako je například učení se pomocí symbolů, barev nebo textu.

Dnešní generace dětí je sžitá s moderními technologiemi, vyrostli s nimi už od raného věku a na rozdíl od starší generace se je nebojí a nezdráhají je používat. Proto dává smysl implementovat virtuální realitu jakožto jednu z forem výuky. [11]

### 1.2.5 Průmysl

V současné době je v průmyslu nedostatek pracovníků, což vede k velkým časovým ztrátám a chybné výrobě, zapříčiněné neustálým zaškolováním nových zaměstnanců. Zároveň je velkým problémem fakt, že ve většině podniků není školicí proces standardizován. Další problém s tím spojený je, že výrobní návodky jsou navíc často časově náročné na pochopení. Tyto nedostatky se snaží překonat například počítačem podporovaná instruktáž (CAI), která má ale stejné informace jako návodka, jen není na papíře. Vzhledem k tomu, že obsahuje stejně zapsané informace, tak dopad na zlepšení práce není tak výrazný. Schopnost zaučení zlepšuje využití statických obrázků z CAD (Computer Aided Design – Počítačem podporované projektování). Použití animací modelů zlepšuje schopnost zaučení ještě více. VR a AR (Augmented Reality – rozšířená realita) nám umožňuje zobrazit instrukce ve 3D. Ukázka prostředí tréninku ve VR je zobrazena na obrázku níže. [12]



Obrázek 6 - Virtuální trénink [18]

Další využití VR v průmyslu je v rámci vývoje nových produktů. Mezi hlavní výhody užití VR v rámci produktového designu patří snížení ceny a času vývoje, a zlepšení kvality produktu. Dalším přínosem je možnost vymodelovat budoucí produkt se vstupními daty z CAD a možnost projednat návrh modelu se zákazníkem, místo vyrobení skutečného prototypu, který by byl daleko dražší. [13]

Velmi důležitý je převod modelu z CAD do systému virtuální reality. Zde ovšem vzniká problém ztráty animace a jednotlivých vazeb mezi součástmi. Tyto vazby je potřeba dodělat v mezikroku pomocí speciálních softwarů. Tento proces je ale velmi složitý a drahý, proto se pracuje na vývoji různých metod, které nám zachovávají potřebné vazby při přímém převodu modelů. [15]

Využití virtuální reality lze nalézt i v ergonomii. Ergonomie je obor zabývající se úpravou zařízení, náradí, strojů a pracovního prostředí pro zajištění bezpečné a efektivní práce. Zde můžeme virtuální realitu použít pro vytvoření budoucího pracoviště a následně ho otestovat bez nutnosti jeho postavení v reálném světě. [16]



Obrázek 7 - Ergonomické měření budoucího pracoviště [19]

U layoutů výrobních společností lze virtuální realitu využít pro prohlížení prostoru, kde je možné díky této technologii detekovat nedostatky jako jsou například kolize. Praktický význam můžeme nalézt u podniků, v jejichž části je omezený pohyb pracovníků (musí být dodržovány určité restriktce nebo je zde omezený čas, který mohou pracovníci strávit v určitém prostředí). Problém může například vzniknout při pravidelné údržbě, při které mají technici omezený čas pobytu v dané místnosti. Využitím VR můžeme techniky údržby seznámit s prostorem ve virtuálním prostředí a zefektivnit jejich práci. [17]

### 1.3 Hardware

Hardware je důležitou součástí potlačení vnímání reálného světa a vnoření se do světa virtuálního. Aby tohoto bylo dosaženo je třeba, aby hardware snímal pozici uživatele, především pozici hlavy, a určoval kde se nachází ve virtuálním světě. Dále je možné sledovat pozici očí, pohyb těla, pohyb pomocí tlačítek ovladače, které byly zmáčknuty, a dokonce pohyby rukou, které jsou snímány. Tyto aspekty jsou důležité pro vytvoření interakce uživatele s virtuálním světem. Následujících dílčí odstavce se budou věnovat nejnovějším produktům dostupným na trhu.[20]

#### 1.3.1 Brýle pro virtuální realitu

Brýle pro virtuální realitu nebo také jinak řečeno náhlavní displeje či VR headsety, jsou jednou z možností, jak dostat uživatele do prostředí virtuálního světa. Brýle pro virtuální realitu se dělí v základu do dvou kategorií, a to na VR brýle pro externí zařízení a mobilní VR brýle. Mobilní VR brýle nemají displej a je potřeba externího zařízení s displejem, nejčastěji se jedná o mobilní telefon. VR brýle pro externí zařízení se dělí na „standalone“, fungující samostatně, a takzvané „tethered“ headsety, které potřebují externí hardware pro spuštění virtuální reality. V následujícím popisu bude pro jednoduchost použito slovo „brýle“ ve významu brýle pro virtuální realitu. [17][37][38]

Obrovskou výhodou standalone headsetů je jejich přenositelnost a absence kabelů. Zařízení je napájeno baterií, tudíž nejsou potřeba žádné kabely při jeho provozu, což nám zajišťuje větší komfort při používání. Některé headsety nabízejí možnost ovládání pomocí rukou, což může dodat větší efekt vnoření do virtuálního světa, jelikož je tento pohyb více přirozený než zacházení s ovladači. Další výhodou je, že není třeba mít v místnosti zařízení pro snímání pozic hlavy a rukou jako je to u tethered displejů. Nevýhodou tohoto náhlavního

displeje je jeho hrubý výkon, který je nižší než u headsetů, které jsou propojeny s výkonnějšími zařízeními, na kterých jsou spuštěny programy pro virtuální realitu. Omezení výkonu vychází především z omezených rozměrů brýlí a jejich kapacity baterie. Zvýšení výkonu by bylo možné dosáhnout například pomocí většího rozměru displeje, kam by bylo možné vložit lepší hardware s dostatečným chlazením. To by bylo ovšem za cenu zvýšení váhy, což by bylo pro uživatele nepříjemné, a to je nepřijatelné. V dnešní době rychle se vyvíjejících technologií budu zvýšení výkonu se zachováním hmotnosti nebo dokonce s jejím snížením otázkou pár let. [17][37][38]

Tethered headsets jsou pomocí kabelů spojeny se zmiňovaným hardwarem. Tento headset je určen pouze pro vizualizaci obrazu, samotné prostředí virtuální reality je spuštěno na externím zařízení. Hardwarem je zde většinou herní konzole nebo počítač. Nevýhodou takového připojení je nárok na výkon, který musí být u počítače velký, převážně v rámci grafické karty a procesoru. Další nevýhodou je omezená mobilita kvůli propojení headsetu s externím zařízením pomocí kabelů. [17][37][38]

### 1.3.2 Oculus Quest 2

Oculus Quest 2 je náhlavní displej od společnosti Meta Platforms Inc. (dříve Facebook Inc.), konkrétně divize Oculus. Jedná se o standalone VR systém. Zařízení využívá systém android s procesorem Qualcomm Snapdragon XR2 a operační paměť 6 GB, nabízí rozlišení 1832x1920 pixelů s obnovovací frekvencí 90 Hz a je dostupný s úložištěm o velikosti 128 GB nebo 256 GB. Je zde zabudovaný reproduktor, který ve většině případů svým zvukem postačuje, ale v případě aplikací s nárokem na vyšší kvalitou zvuku může uživatel přicházet o umocněný aspekt vnoření do virtuálního světa. Toto může být vyřešeno připojením sluchátek do 3.5mm audio vstupu, který je v zařízení zabudovaný. Ke sledování pozic rukou je možné využít příslušné ovladače nebo ruce samotné. Oculus Quest 2 totiž nabízí snímání rukou (handtracking). Snímání rukou či ovladačů je zajištěno čtyřmi kamerami, jež jsou součástí brýlí. Není tak třeba mít v prostoru zařízení pro snímání brýlí a ovladačů.[21][22]



Obrázek 8 - Oculus Quest 2 s ovladači [22]

### 1.3.3 Náhlavní displeje značky HTC

Náhlavní displeje od HTC Corporation jsou v provedení all-in-one (standalone) nebo ve formě, kde jsou brýle připojeny k počítači. [24]

HTC Vive Pro 2 využívá k renderování (vykreslování) světa počítač, který musí být kvůli náročnosti virtuální reality značně výkonný. Ke sledování pozice brýlí a speciálních

ovladačů jsou potřebné dvě základní stanice, které jsou umístěny ideálně v prostoru ve vzdálenosti menší než 5 metrů. Tyto brýle se řadí k high-endu (to nejlepší co lze na trhu pořídit) náhlavních displejů, a to zejména díky 5K displeji, obnovovací frekvenci 120 Hz či úhlu záběru 120°. Ovšem i zde se najdou nevýhody. Jsou jimi vyšší hmotnost, nutnost připojení brýlí k počítači přes kabel a v neposlední řadě potřeba počítače s výkonnou grafickou kartou.[24][25]



Obrázek 9 - HTC Vive Pro 2 [24]

HTC Focus 3 jsou na druhou stranu plně samostatné brýle, jež nepotřebují k provozu počítač. Parametry jsou podobné jako u Vive Pro 2: náhlavní displej nabízí rozlišení 5K, úhel záběru 120°, obnovovací frekvence je však menší - 90 Hz. Systém využívá stejný procesor jako Oculus Quest 2, tedy Qualcomm Snapdragon XR2 s 8 GB operační paměti a 128 GB úložištěm. Oproti Oculus Quest 2 zde ovšem chybí detekce samotných rukou (handtracking), kterými by bylo následně možné ovládat aplikaci. Tato funkce by měla být v budoucnu implementována. Oproti konkurenci od Oculus je nejvýraznější rozdíl hlavně cena, která je téměř trojnásobná.[24][26][27]



Obrázek 10 - HTC Focus 3 [26]

#### 1.3.4 Porovnání headsetů značky HTC a Oculus

Nejde jednoznačně říct, který náhlavní displej je nejlepší, jelikož každý má své pro a proti a je lepší nebo horší v dané činnosti. S tímto ohledem budou porovnány brýle od společnosti HTC a Oculus.

	HTC Vive Pro 2	HTC Focus 3	Oculus Quest 2
Displej	4896x2448	4896x2448	1832x1920
Obnovovací frekvence	120 Hz	90 Hz	90 Hz
Standalone	Ne	Ano	Ano
Handtracking	Ne	V budoucnu	Ano
Procesor	Dle externího zařízení	Qualcomm Snapdragon XR2	Qualcomm Snapdragon XR2
RAM	Dle externího zařízení	8 GB	6 GB
Úložiště	Dle externího zařízení	128 GB	128/ 256 GB
Zorný úhel	120°	120°	90°
Cena	35 000 Kč	37 590 Kč	10 990 Kč

Tabulka 1 - Porovnání parametrů náhlavních displejů HTC a Oculus

V Tabulka 1 lze vidět jednotlivé parametry jednotlivých brýlí, které byly zmíněny v této práci. Z tabulky lze jednoznačně vyčíst, že v rámci hardwaru jsou lépe vybaveny brýle od firmy HTC, které nabízejí daleko větší rozlišení displeje, větší obnovovací frekvenci a větší zorný úhel oproti jejich konkurenci od Oculus. V případě standalone headsetů nabízí HTC o 2 GB více operační paměti oproti Oculus. Lepší hardwarové specifikace se ovšem promítají v ceně těchto brýlí, která je u Vive Pro 2 a Focus 3 téměř trojnásobná v porovnání s konkurencí. Co se týče handtrackingu, zaznamenávání a ovládání aplikací pomocí rukou, tak zde exceluje Oculus Quest 2, který jako jediný tento prvek nabízí. Tuto funkci by v budoucnu měly mít i brýle Focus 3, ovšem nyní stále tento prvek ještě nenabízejí. [23][25][26][27]

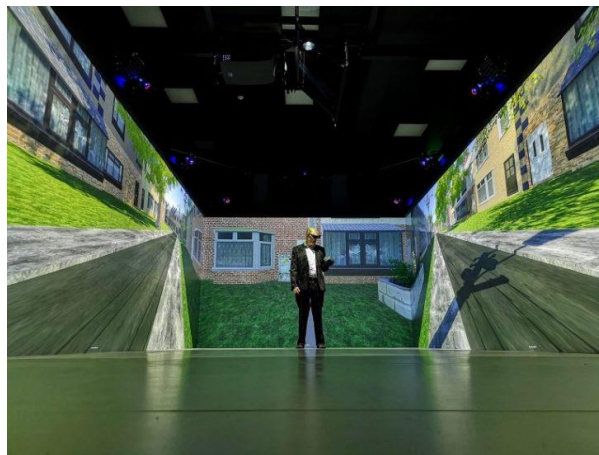
Virtuální trénink vypracovaný v rámci této práce bude zaměřený na školení bezpečnosti výškových prací, a tudíž zde není nutnost extrémně propracovaného a detailního prostředí a nebudou zde složité efekty, které by vyžadovali vyšší výpočetní výkon. Z tohoto důvodu je vhodnější použít standalone headset oproti tethered, kde by bylo nutné vlastnit výkonné externí zařízení, na kterém by byla aplikace virtuální reality spuštěna. Handtracking bude v rámci virtuálního tréninku výhodou – trénink může být pro uživatele více intuitivní. Z těchto důvodů budou použity brýle Oculus Quest 2, které jsou mimo jiné i nejlevnější variantou z posuzovaných náhlavních displejů, a tudíž pokryjí větší část trhu.

### 1.3.5 Oblek pro virtuální realitu

V současné době je ve vývoji celotělový oblek od společnosti TeslaSuit, který posune virtuální realitu na novou úroveň. Oblek by měl nabízet 68 haptických bodů, které umožňují cítit přímo na těle stimuly z virtuálního světa, což povede ke zlepšení celkového zážitku. Hlavní využití je zatím převážně při virtuálním tréninku a v herním průmyslu. Zabudovaný biometrický systém, který kontroluje emocionální stav, úroveň stresu a klíčové životní funkce, by měl sloužit pro personalizaci virtuálního tréninku pro konkrétního uživatele. Motion capture, který nahrává skutečné pohyby člověka na digitální model, spolupracuje s haptickou technologií pro udělení správné zpětné vazby na specifickou část těla. [17][28][29]

### 1.3.6 CAVE

CAVE systém je projekce obrazu na projekčních plochách, které jsou rozmístěny v prostoru kolem pozorovatele. Projekční plochou může být i podlaha nebo strop. Zde je uživatel vtažen do virtuálního světa pomocí projekce, jež ho obklopuje. Pozice hlavy je zde hlídána pomocí takzvaného trackovacího zařízení, které napomáhá vidět celou projekci z úhlu uživatele. Interakce s virtuálním prostředím probíhá pomocí haptických rukavic, joysticků nebo jiných zařízení, jako například volant s pedály v případě simulace jízdy. Výhoda této projekce je, že umožňuje imerzi více uživatelů najednou. Nevýhody tohoto konceptu jsou: potřeba větších místností, více projektorů a projekčních ploch a velmi výkonné grafické stanice, kvůli kterým se více v praxi využívá řešení pomocí náhlavních displejů. [17][30]



Obrázek 11 - CAVE [30]

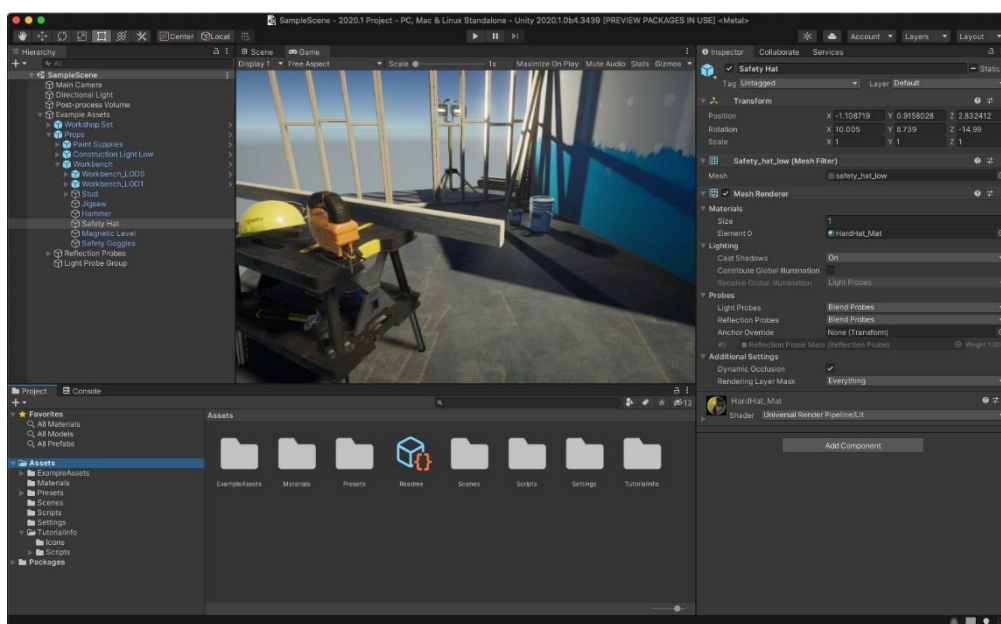
## 1.4 Software

V dnešní době neexistuje software určený výhradně na vytváření aplikací do VR. Z tohoto důvodu se pro vytváření virtuálního prostředí používají programy pro vytváření počítačových her, takzvané herní enginey. Herní enginey v sobě obsahují funkce jako je například 2D a 3D renderování (vykreslování), fyzikální engine, detekce a kolize, zvuky, programování nebo animace. V těchto programech je možné vytvořit téměř cokoliv. Dnes je k dispozici celá řada hotových prostředí, které můžeme využít. Níže budou popsány softwary Unity3D a Unreal Engine 4. Jejich výhodou je, že jsou volně ke stažení a jsou volně k využití, pokud uživatel (nebo firma) nepřekročí roční příjmy, které jsou dány výrobcem. Unity3D bude využit pro vytvoření aplikace pro virtuální trénink v této práci. [17][20][40]

### 1.4.1 Unity3D

Tento herní engine byl představen v roce 2005 a byl podporován pouze na operačním systému OS X od společnosti Apple. Dnes je již podporován i systém Windows. Díky tomu, že je program na trhu více jak 15 let, tak má velkou řadu uživatelů a díky tomu i velkou knihovnu modelů, skriptů, scén, materiálů a plno užitečných vzdělávacích videí. Platforma poskytuje hlavně možnost tvorby her ve 2D a 3D, a také tvorbu vlastních skriptů, jež jsou v programovacím jazyce C#. Unity3D nabízí skvělé možnosti animace a práci se stíny a světlem. Obrovskou výhodou je podpora cross-platform, to znamená, že je podporována téměř každá větší herní platforma a každý větší operační systém, na který mohou být hry pomocí Unity3D vytvářeny. [17][31]

Unity3D je dostupné zdarma, pokud uživatel nepřesáhne roční výdělek nad 100 000 dolarů. V případě překročení této částky jsou účtovány fixní poplatky na základě zvolené verze programu. Verze Plus je pro uživatele či firmy jejichž roční výdělek je v rozhraní 100 000 až 200 000 dolarů a cena této verze je 40\$/měsíc. V případě ročního výdělku nad 200 000 dolarů jsou k dispozici verze Pro a Enterprise. Verze Enterprise nabízí výhody navíc, jako je například pravidelná školení dle potřeb organizace. Tato verze vyjde na 4 000\$/měsíc. Pro verze stojí 150\$/měsíc. (Toto jsou aktuální ceny při psaní této práce. Ceny jsou aktuální k prosinci roku 2021.) [17][32]



Obrázek 12 - Unity3D [32]

## 1.4.2 Unreal Engine

Unreal Engine vytvořila v roce 1998 společnost Epic Games. Unreal Engine je podporován na většině operačních platformách jako jsou Microsoft Windows, Linux, Mac OS či Mac OS X. Jádro enginu je napsáno v programovacím jazyce C++. Můžeme zde nalézt základy umělé inteligence pro herní postavy ovládané počítačem, kterou lze upravovat a vylepšovat. Jako Unity3D, i Unreal Engine nabízí možnosti programování. Programovat v Unreal Enginu můžeme buď pomocí klasického psaní skriptu nebo pomocí funkce Blueprint, kdy je skript tvořen pomocí vývojových diagramů a uživatel tak nemusí znát programovací jazyk. K zpopltnění v rámci této aplikace dochází až tehdy, když výdělek uživatele překročí 3 000 dolarů za čtvrt roku. V případě placení poplatků zde není fixní částka jako tomu je u Unity3D, ale uživatel platí 5 % ze svého hrubého příjmu. (Toto jsou aktuální ceny při psaní této práce. Ceny jsou aktuální k prosinci roku 2021.) [17][33]

## 1.4.3 Blender

Blender je software pro tvorbu 3D objektů, který kromě modelování nabízí ještě možnosti animace, editování videa, renderingu a sledování pohybu. Je zdarma a má otevřený zdrojový kód. Nové přínosné funkce, které jsou vytvořené uživateli, mohou potom být v rámci otevřenosti softwaru implementovány do nové verze. Program je podporovaný na operačním systému Windows, Linux i Mac OS. [34]





Obrázek 13 - Blender [34]

## 2 Návrh využití VR pro BOZP

Při zmínce školení BOZP (Bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) ve VR se jedná o trénink ve virtuálním prostředí skrze simulaci. Situace v rámci tréninku mohou obsahovat reálné události, které mohou při práci nastat, jako je například zranění pracovníka. Při výzkumu prováděném na italské univerzitě v Udině (University of Udine) v simulaci bezpečnostního školení cestujících letadla, které nouzově přistálo na vodě, bylo zjištěno, že školení ve virtuálním prostředí je výborně zapamatovatelné. Ohromnou výhodou školení BOZP ve virtuální realitě je simulace rizikových situací jako je například zacházení s nebezpečným opadem, kontrola asbestu nebo hašení velkých požárů. [35]

### 2.1 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Jedná se o široký mezivědní obor zajišťující zabezpečení právních předpisů v rámci předcházení ohrožení a poškození lidského zdraví v rámci pracovního procesu. V BOZP se cílí na odstranění rizik, které mohou ohrožovat život a zdraví člověka. Každý zaměstnavatel je povinen, dle platné legislativy, zajišťovat ochranu zdraví, života a bezpečnosti zaměstnanců při výkonu práce. BOZP musí zajišťovat zaměstnavatel zaměstnávající zaměstnance nebo sám pracující, podnikatelé a živnostníci fungující podle zákona č.455/1991 Sb., kteří jsou zadavatelé, zhotovitelé nebo se podíleli na zhotovení stavby. [36]

BOZP je spojena s riziky, se kterými se může zaměstnanec setkat při jím vykonávané pracovní činnosti. Dále jsou požadována speciální školení pro výkon jednotlivých druhů pracovních činností, pro které není běžné školení dostatečné (například práce ve výškách). Zaměstnanec, který úspěšně neabsolvoval školení nesmí zahájit úkon práce, jelikož nesplňuje kvalifikační požadavky. Školení musí být zajištěno při nástupu do práce, při změně pracovního zařazení nebo druhu práce, při zavedení nové technologie nebo změny výrobních a pracovních prostředků, změny pracovních postupů a v případech, které mohou mít zásadní vliv na BOZP. [39]

#### 2.1.1 Seznámení s riziky

Zaměstnavatel je ze zákona § 103 odst. 1 písm. f) ZP povinen seznámit zaměstnance s riziky spojenými s výkonem jejich pracovní činnosti nebo s prostory, ve kterých práci vykonávají a seznámit je s opatřeními, která je ochrání před těmito riziky. Cílem tohoto školení je také naučit zaměstnance, že vnímání a vyhodnocování rizik při práci není složité a jedná se o běžnou každodenní záležitost, kterou v osobním životě činí téměř každý. [39]

#### 2.1.2 Školení BOZP

Zaměstnavatel je dle zákoníku práce paragrafu 103 ZP povinen stanovit obsah školení pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Četnost školení, jeho obsah, způsob ověřování znalostí a způsob vedení dokumentace o provedeném školení zpracovává odborně způsobilá osoba. Tento návrh schválí zaměstnavatel a až tehdy se stává ve firmě platným. V případě, že školení realizuje externí firma, je důležité jednoznačně definovat cíl školení. Externí firmy často provádí pouze obecné školení a je potom na zaměstnavateli, aby seznámil zaměstnance s dalšími skutečnostmi jako jsou například konkrétní rizika, jejich přijaté opatření nebo kategorizace prací.

Osnova školení musí odpovídat specifickým podmínkám ve firmě, brát v potaz interní předpisy firmy a být zpracována zvlášť pro určitou skupinu zaměstnanců, jako je například administrativní úsek nebo úsek dělnický, jelikož se rizika u těchto skupin budou lišit. Součástí

osnovy školení by měla být prezenční listina, která zaznamenává úspěšně absolvované školení zaměstnanců. Výstupem úspěšného školení je potvrzení o absolvování školení, které zaměstnanec dostane po skončení školení a je třeba si jej ponechat do doby dalšího školení. Dále by osnova měla obsahovat způsob ověření znalostí školených, což může být pohovor, ústní nebo písemná zkouška. Osnovy školení je třeba pravidelně aktualizovat na základě změn právních a ostatních předpisů ohledně BOZP.

Není zde žádný právní předpis, který by stanovoval, kdo by měl školení BOZP provádět, tudíž si každý zaměstnavatel musí vybrat vhodnou osobu pro tuto činnost sám. Může to být kdokoli, kdo bude mít o přednášeném tématu minimální znalosti a bude mít schopnost přednášet. Jiná varianta je zajistit externího školitele BOZP, který zaměstnance seznámí s předpisy danými zaměstnavatelem schválenou osnovou školení. Školení BOZP je možné provádět jinými formami, než je přednáška, jakou jsou například webináře nebo e-learning.

Zákoník práce vyžaduje školení BOZP pravidelně opakovat, pokud je to nutné kvůli povaze rizik a jejich závažnosti. Ovšem už nestanovuje intervaly, kdy by se přeškolení mělo uskutečnit a o četnosti přeškolení rozhoduje zaměstnavatel. Často se používají termíny stanovené pro požární ochranu – nejméně jednou za tři roky pro vedoucí zaměstnance a nejméně jednou za dva roky pro zaměstnance ostatní.

Školení zaměstnanců se týká i cizinců, kde zákoník práce říká, že školení musí být srozumitelné, ovšem nikde není uvedeno, v jakém jazyce se musí školení vykonávat. Pokud je ve firmě zahraniční vedení, tak je obvykle vrcholový management školen v komunikačním jazyce firmy, například v angličtině, na nižší úrovni pracovních pozic je již školení vhodnější provádět v příslušném jazyce státu, kde se firma nachází, u nás tedy v češtině. [39]

### **2.1.3 Práce ve výškách**

Za práci ve výšce lze považovat jakoukoliv činnost, která se odehrává v jakékoliv výšce. Ovšem při práci ve výšce nad 1,5 metru je zaměstnavatel povinen zaměstnancům zajistit ochranné prvky proti pádu. Za práci ve výšce se považuje i práce na žebříku, kde platí důležité pravidlo a to jest, že pokud je vykonávána práce na žebříku výše než 5 metrů, musí být zaměstnanec zajištěn prvky osobní ochrany. [43]

### **2.1.4 Ochrana před pádem z výšky**

Zaměstnavatel je povinen zaměstnancům poskytnout ochranu proti pádu z výšky nebo do hloubky. K tomuto zabezpečení slouží prvky kolektivní nebo osobní ochrany. Mezi prvky kolektivní ochrany patří například zábradlí, záchytné sítě nebo poklapy. Cílem prvků kolektivní ochrany je zamezit přístup nepovolaným osobám na riziková místa, zachytit padajícího člověka nebo břemena, zamezit propadnutí do otvoru jeho zaklopením nebo zasypaním. Osobní ochranné pracovní prostředky (OOPP) se používají buď samostatně nebo v kombinaci s prvky kolektivní ochrany. Mezi tyto prostředky patří například jistící lana, bezpečnostní postroje, tlumiče pádu, karabiny nebo bezpečnostní brzdy. Jedná se o prostředky pro zachycení pádu. Tyto prostředky je potřeba pravidelně kontrolovat. Vizualní kontrola by měla proběhnout před každým použitím. Opravy těchto prvků smí provádět pouze jejich výrobce. [44]

## **2.2 Využití VR pro školení BOZP**

Školení BOZP nemá specificky danou formu jeho provedení. Nejdůležitějším prvkem je seznámení zaměstnanců s riziky plynoucími z jejich práce a seznámení s opatřeními proti těmto rizikům za účelem ochrany jejich zdraví a zdraví ostatních zaměstnanců. Z toho vyplývá, že školení lze bez problému doplnit o interaktivní část například za pomoci virtuální reality.

Takovéto školení může mít hlavně výhodu v jeho názornosti a opakovatelnosti. Názorné školení se lépe zapamatovává a v případě specifické situace v rámci školení, například při úrazu na pracovišti, již zaměstnanec ví, co má dělat, protože se se situací setkal ve virtuálním světě. Dalo by se říct, že školení využívající virtuální realitu přináší praktickou část, jež doplňuje část teoretickou, ovšem ji nijak nenahrazuje. Další výhodou je, že lze praktickou částí doplnit téměř jakýkoliv druh školení, jelikož školicí aplikace pro VR je vytvářena pro specifický typ školení. Vývoj takovýchto školicích aplikací vzniká za spolupráce s bezpečnostními techniky a zkušenými zaměstnanci oborů, pro které se školení vyvíjí.

Technologie virtuální reality nabízí novou úroveň školení, která zefektivňuje školení nových zaměstnanců a činí školení zábavnějším. Pokud by firma, která školí zaměstnance, chtěla implementovat virtuální realitu, musela by pořídit příslušné brýle, nakoupit licenci softwaru pro tvorbu obsahu a najmou nové zaměstnance, kteří by obsah vytvářeli. Na druhou stranu by odpadly náklady na školitele specialistu. Školení by mohla provádět osoba, která má o přednášených tématech minimální znalosti a další potřebné informace by zazněli v rámci virtuálního tréninku. S ohledem na tyto informace je patrné, že školení s pomocí VR je výhodnější než klasické.

### 3 Tvorba scénářů ve VR pro BOZP

V praktické části bakalářské práce bude vytvořena aplikace pro virtuální realitu v rámci školení výškových prací v rámci BOZP. Cílem je vytvořit scénu, která bude koncipována jako doplněk pro školení o výškových pracích ve strojírenské výrobní firmě, ale bude ji případně možné použít i v jiných oborech než jen ve strojírenství.

#### 3.1 Prvotní návrh scénáře

Ze začátku bylo potřebné vytvořit a stanovit, jak bude scénář koncipovaný, aby se mohlo dále pokračovat. Byla zvolena varianta, kdy se uživatel dostane do výšky pomocí vhodného zařízení a uskuteční nějakou pracovní činnost. Výběr zařízení a pracovní činnosti je popsán níže. Důvodem výběru takového scénáře je, že se takto odehrává většina pracovních činností ve výšce.

Pro zachování bezpečnosti práce ve výškách je potřebné, aby měl pracovník řádné ochranné pomůcky. Z toho důvodu bude výběr pomůcek zakomponován do scénáře. Ochranné pomůcky si uživatel vybere předtím, než půjde vykonat pracovní činnost.

#### 3.2 Výběr vhodného zařízení pro výškové práce

Způsob	Výhody	Nevýhody
Žebřík	Jednodušší pracovní činnost, dostupnost, cena, univerzální využití	Omezená pracovní činnost, omezená dovolená hmotnost břemene, nutné mít minimálně tři končetiny současně na žebříku
Vysokozdvíhací/nůžková plošina	Univerzální využití, dobré pracovní podmínky	Cena, doprava
Specializovaná plošina	Přizpůsobené konkrétní činnosti	Pouze pro specifickou činnost
Zavěšení na laně	Tam kde nejsou předchozí způsoby vhodné	Minimální využití ve výrobním podniku
Lešení	Dobré pracovní podmínky, stabilní, výškově nastavitelné	Montáž/demontáž, převážně používané ve stavitelství

Tabulka 2 - Výhody a nevýhody jednotlivých zařízení pro výškové práce

V tabulce výše je uvedeno porovnání různých zařízení používaných pro výškové práce. Z tabulky vyplývá, že žebřík je sice cenově výhodný, téměř každá výrobní firma ním disponuje, ovšem jeho nevýhody převažují jeho výhody. Na žebříku je nutné mít alespoň tři končetiny současně, což ztlačně omezuje práce, které lze s jeho využitím provádět. Na druhou stranu, vysokozdvíhací plošina žádná taková omezení nemá, jelikož je pracovník na rovné ploše, která je opatřena zábradlím. Tato konstrukce zajišťuje příznivé pracovní podmínky, pracovník může po plošině chodit, měnit její výšku, jezdit s ní a případně mít položené nářadí na pochozí desce, které má díky tomu stále u sebe. Další velkou výhodou plošiny, stejně jako u žebříku, je její univerzálnost, lze ji použít takřka kdekoliv, kde je potřeba vykonat práci ve výšce a plošina nám výškově stačí. Nevýhodou plošiny je její vyšší cena a případná náročnější manipulace oproti žebříku nebo lanové technice. Specializovaná plošina bývá dlouhodobě postava pro konkrétní činnost v daném podniku, z čehož vyplývá, že nemá univerzální využití a pro návrh scénáře je tedy nevyhovující. Lanová technika se využívá při činnostech, kdy nelze použít předchozí metody, nebo se jedná o formu jištění. Mezi takové práce můžou například patřit práce natěračské, pokrývačské, kácení stromů nebo mytí oken. Ve strojírenském výrobním

podniku se ovšem využití této techniky často neuplatní. Ovšem v podnicích zaměřující se například na výrobu chemickou se tento druh zařízení může použít například při opravách strojů a potrubí, kdy se lana uplatňují převážně k zajištění proti pádu. V těchto podnicích se zároveň používá i lešení. Výhodou lešení je jeho stabilita a výšková nastavitelnost. S tím se pojí ale i jeho nevýhoda – montáž/demontáž. Dalším pro tuto práci nevhodným faktorem je jeho menší využití ve výrobním odvětví. Z výše uvedených informací vyplývá, že nejvhodnějším zařízením pro tvorbu scénáře této práce je vysokozdvizná plošina, která má univerzální využití a dobré pracovní podmínky. Její využití není tedy jen ve strojírenských podnicích a bude možné vytvořenou školicí aplikaci použít i v jiných pracovních odvětvích.

### 3.3 Stanovení pracovní činnosti

V této aplikaci je největší důraz kladen na pracovní postup, nikoliv na samotnou činnost ve výšce. Z toho důvodu byl zvolen jednodušší pracovní úkon, který nevyžaduje velké odbornosti. Konkrétně se bude jednat o dotažení matice držáku ventilačního systému. Tato činnost byla zvolena kvůli své univerzálnosti. Šroubové spojení je jednoduchý spojovací prvek, se kterým se v běžném životě lidé setkávají téměř dennodenně a ventilační systém je dnes součástí mnoha budov.

### 3.4 Scénář

Nyní je stanoveno, že si uživatel v aplikaci vybere ochranné pomůcky a následně s pomocí vysokozdvizné plošiny utáhne matici držáku ventilačního systému. Tyto činnosti jsou pro školení nedostatečné a je potřeba do scénáře přidat další prvky.

Ve školení bezpečnosti práce je mnoho informací, které by bylo dobré zdůraznit. Kvůli tomu bude školení doplněno o zvukové instrukce. Instrukce se budou týkat činností, které má uživatel učinit a dále zazní důležité informace. Na konci školení budou řečeny nejčastější chyby, které se stávají při úkonu prací ve výškách, aby se jich mohl školený vyvarovat.

Prostor v okolí vysokozdvizné plošiny je potřeba ohraničit výstražnými kužely, aby se v jejím místě nikdo nenacházel. Několik kuželů rozmístí uživatel sám, aby si tuto činnost vyzkoušel a věděl, že je v rámci bezpečnosti práce nutná. Nemá význam, aby uživatel rozmisťoval okolo plošiny všechny kužely. Aby mohl rozmístit všechny kužely okolo plošiny bylo by zapotřebí velkého prostoru pro pohyb, který by v mnoha vnitřních prostorech nebyl dostupný.

Na závěr bude potřeba otestovat znalosti a pozornost školeného uživatele. Toho bude docíleno tak, že se aplikace spustí po úspěšném dokončení znovu, tentokrát ovšem bez zvukových pokynů. Školení je úspěšné po dokončení této části. Školení tudíž bude rozděleno na dvě části, část první, která bude školicí a bude obsahovat zvukové instrukce s informacemi. Část druhá bude testovací a bude bez instrukcí.

## 4 Tvorba scén

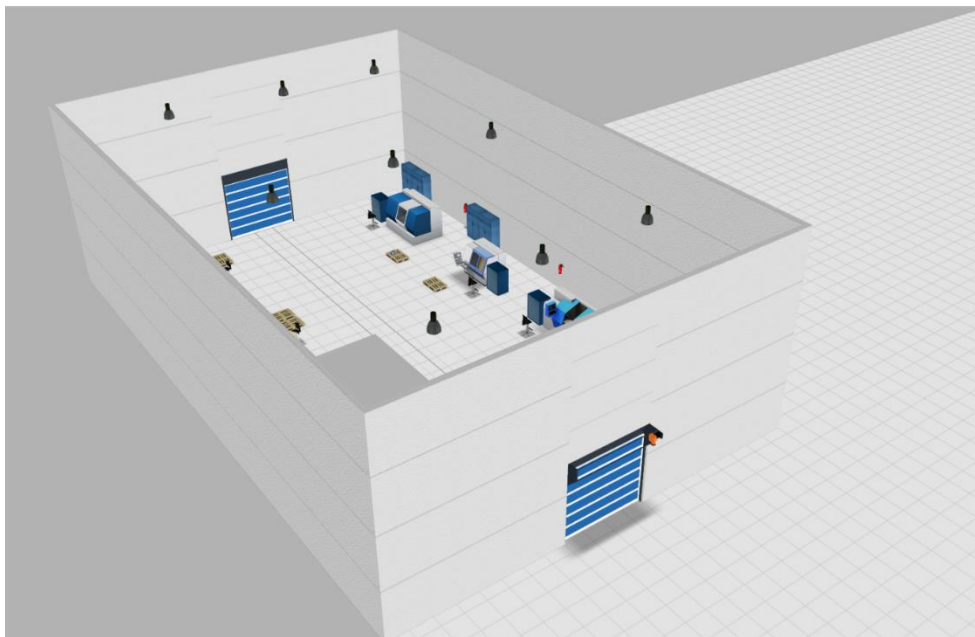
V rámci této aplikace budou vytvořeny tři scény. První scéna bude určena pro výběr správného pracovního vybavení, kdy bude potřeba vybrat správnou ochranu hlavy, rukou a reflexní vestu. Druhá scéna bude zaměřena na sdělení důležitých informací, se kterými musí být uživatel seznámen před vstupem na plošinu. Součástí této scény bude ještě rozmístění výstražných kuželů okolo plošiny. Následně se uživatel pomocí animace přesune do výšky, kde uskuteční pracovní činnost dotažení matice. Poslední scéna bude pouze informační a zde zazní nejčastější chyby spojené s BOZP výškových prací.

Pro testovací část budou použity první dvě scény, které budou upraveny. Z těchto scén bude odebrána zvuková stopa a postava průvodce, zachován bude jen zvukový signál správného a špatného výběru.

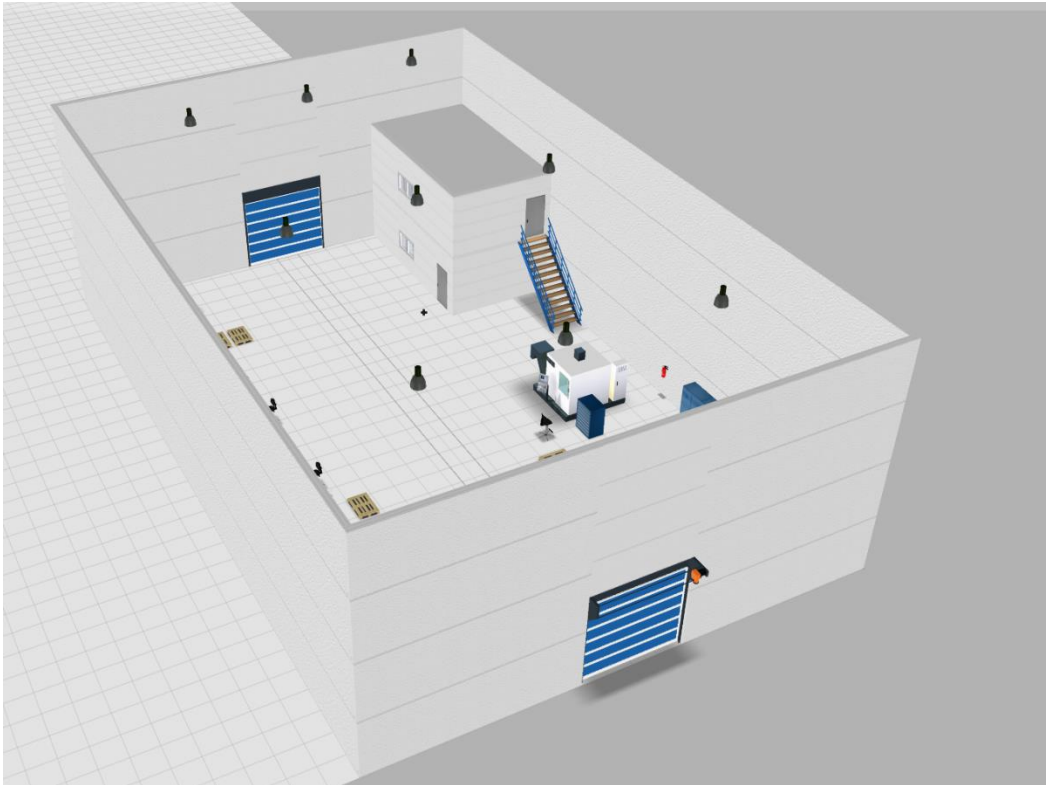
Scény se budou vytvářet v programu Unity3D a budou určeny pro brýle pro virtuální realitu Oculus Quest 2, jak již bylo uvedeno v předchozí části práce.

### 4.1 Hala

Před tvorbou scén byla nejdříve vytvořena výrobní hala. Důvodem volby tohoto kroku jako prvního bylo, aby se dále pracovalo jen v jednom programu, Unity3D. Hala byla vytvořena v programu visTable, který je určen speciálně pro tvorbu layoutů a materiálových toků. Následně byl model haly importován do projektu v Unity3D. Program visTable nabízí širokou knihovnu modelů, včetně modelů obráběcích strojů, které bylo potřeba do haly umístit. Vytvořená hala je totiž koncipována jako úsek pomyslného výrobního podniku, konkrétně úsek obrobny. Jsou zde tedy obráběcí stroje, palety pro materiál, koleje pro převoz materiálu a místnost pro mistry a programátory. Vytvoření haly takovýmto způsobem je daleko efektivnější, než kdyby se vytvářela v Unity3D za pomoci importovaných modelů výrobních zařízení. Modely by se musely buďto vytvářet, což by bylo časově velmi náročné nebo by je bylo potřeba stáhnout, ovšem volně dostupných modelů výrobních strojů je nedostatek.



Obrázek 14 - Hala



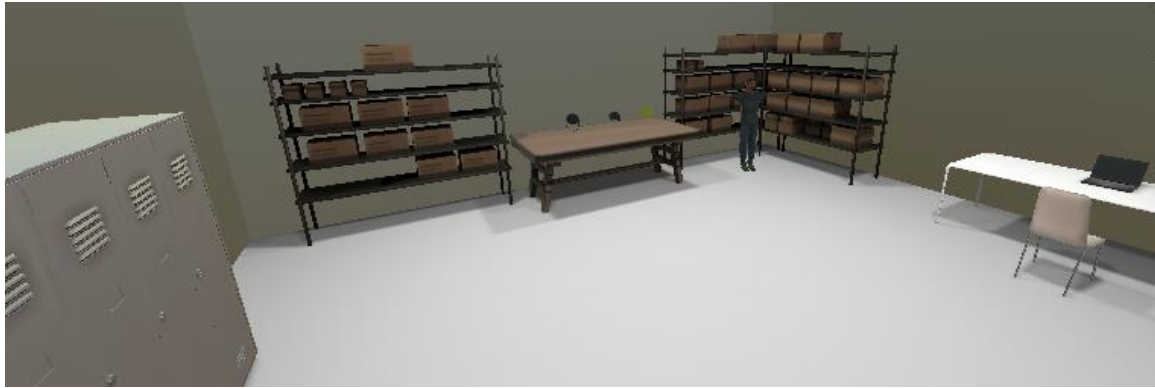
Obrázek 15 - Pohled na halu z druhé strany

## 4.2 Tvorba první scény

První scéna je určena pro seznámení školeného s aplikací a následný výběr ochranných pomůcek, které jsou potřeba pro vstup na pracoviště.

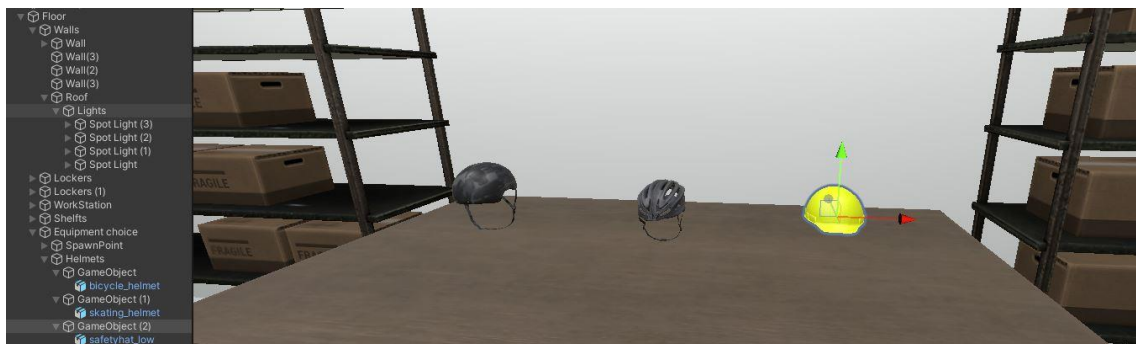
Tato scéna je koncipována jako malý sklad pro výdej ochranných pomůcek. Sklad byl vytvořen pomocí modelů z balíčku z Unity Asset Store. Byly použity modely z balíčků *Locker*, *Wooden PBR Table*, *HQ Laptop Computer*, *Modern Table with Chairs*, *Cardboard Boxes Pack* a *Shelf*. Balíčky byly přes *Window* → *Package Manager* nahrány do projektu. Do čela scény byl umístěn stůl, kde jsou rozmístěny pomůcky pro výběr. V okolí stolu se nachází regály s krabicemi. Po levé straně se nachází skřínky a po pravé straně se nachází pracovní stůl s počítačem. V blízkosti pravého rohu se nachází postava průvodce školením. Tato postava je v aplikaci umístěna proto, aby zvýšila autentičnost školení, a aby se uživatel cítil příjemněji, když uslyší zvukové instrukce doprovázené pohybem postavy průvodce. O animacích postavy průvodce pojednává samostatná kapitola – Animace.





Obrázek 16 - Sklad

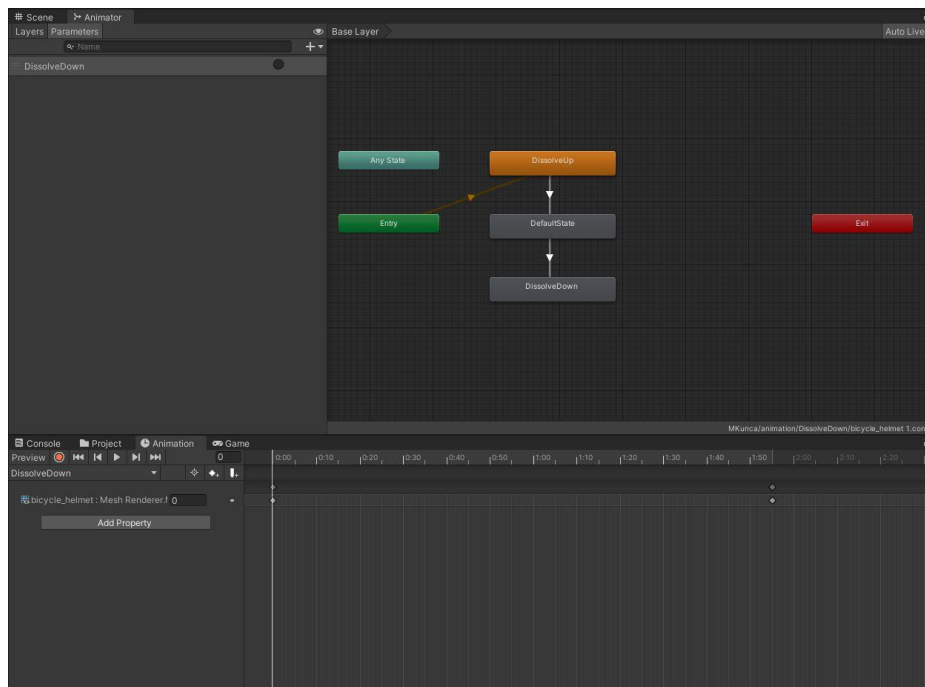
Úkolem školeného v této scéně je správně vybrat ochranné pomůcky. Pomůcky bude vybírat celkem ze tří prvků z toho jen jeden je správně. Takto vybere ochranou helmu, pracovní rukavice a reflexní vestu, přesně v tomto pořadí. Uživatel bude vybírat pomůcky pomocí rukou tak, že se jich dotkne. Pokud zvolí špatnou pomůcku zazní chybný zvukový signál a může výběr zkusit znovu. Po výběru správného vybavení zazní úspěšný zvukový signál, zmizí stávající prvky a zjeví se další objekty. Po zvolení správných pomůcek zazní gratulace ke správnému výběru a uživatel bude přemístěn do další scény.



Obrázek 17 - Výběr helmy

Výběr objektů je umožněn poté co dohraje zvuková stopa úvodního seznámení s aplikací. Obsah zvukových stop je možné vidět v samostatné kapitole – Zvukové instrukce. Po dohrání této stopy se objeví objekty a uživatel již může vybírat. Objekty se objeví a zmizí díky funkci *Animation*. Animace byla vytvořena v záložce *Project*. V panelu *Animation* bylo dále pracováno s *Add Property*, což umožňuje přidat do animace vlastnosti, které chceme v průběhu času animace měnit. Zde bylo vybráno *Mesh Renderer* → *Material*. *Dissolve*. Tento parametr umožňuje měnit viditelnost objektu. Aby byl materiálový parametr k dispozici, bylo potřeba stáhnout balíček *URP Dissolve*. Byly vytvořeny dvě animace, a to na zviditelnění a zneviditelnění objektu. Animace *DissolveUp* znázorňuje zviditelnění a *DissolveDown* naopak zneviditelnění objektu. V *Animator*, který kontroluje, jaké animace a za jakých okolností hrají, bylo potřeba určit sled animací. Jako první bude přehrána animace *DissolveUp*, následovat bude *DefaultState*, v tomto stavu se nic neděje, a jako poslední animací bude přehrána *DissolveDown*. V *Animator* bylo potřeba určit změny stavů/animací, aby tento sled animací byl takový, jak je popsáno v předchozí větě. Stav, který má být jako první byl nastaven přes *Set as Layer Default State*. Změna stavů je zde vytvořena pouze jednostranná, to znamená, že jakmile jedna animace dohraje, je spuštěna následující, a první animace se již nepřehraje. Animace by se mohla zpětně přehrát, pokud by byla vazba oboustranná. Přechod stavů z *DissolveUp* do *DefaultState* je bez podmínky, první animace se přehraje hned poté, co jsou objekty aktivovány. Jakmile animace dohraje je změněn stav na *DefaultState*, ve kterém se nic neděje. Přechod z tohoto stavu na

*DissolveDown* je podmíněn parametrem *Trigger*. Poté, co je tato podmínka vytvořena, je potřeba kliknout na požadovanou šipku, která označuje změnu stavu, a tuto podmínku zvolit v *Conditions*. Spuštění této podmínky (tohoto spouštěče) je voláno ve skriptu. Když je tato podmínka zavolána, tak se spustí animace *DissolveDown*. Změna stavu je spuštěna, jakmile uživatel vybere správné vybavení.



Obrázek 18 - Záložka Animation a Animator

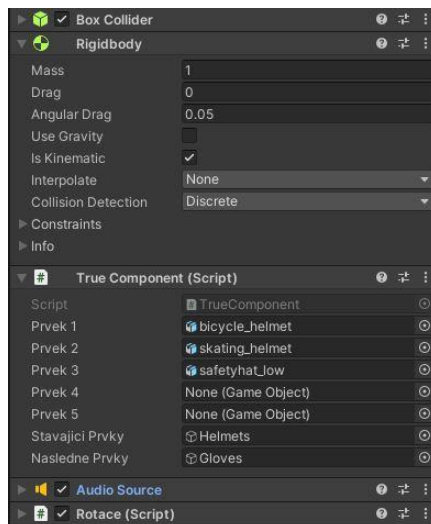
Aby byl v této části zajištěn správný výběr vybavení, je nad každý správný objekt umístěna šipka, která se pro zvýšení viditelnosti pohybuje nahoru a dolů a spolu s objektem se otáčí.



Obrázek 19 - Ukazatel správného výběru

Rozmístění objektů umožňuje skript *SetPositionComponent*, který zajišťuje náhodné rozmístění prvků. Tím je zajištěno, že se prvky pokaždé neumístí na stejné místo a uživatel si nemůže výběr zapamatovat pomocí pozice. Výběr je opatřen zvukovými signály a to tak, že při výběru špatné pomůcky zazní signál upozorňující na špatný výběr a při zvolení správného vybavení uslyší uživatel zvuk, který reprezentuje správný výběr. Špatný zvukový signál, který upozorní na výběr špatného vybavení, zajišťuje skript *WrongComponent* spolu se zvukovým signálem. Tyto prvky jsou vždy vloženy na objekt špatného výběru, přičemž zvukový signál je zavolán skriptem při dotyku ruky uživatele s tímto objektem. Skript *TrueComponent* volá správný zvukový signál a dále zajišťuje zmizení stávajících prvků a zapnutí následujících prvků. Animace zmizení je přidáno proto, aby objekty hezky vizuálně zmizely, ne aby zmizely

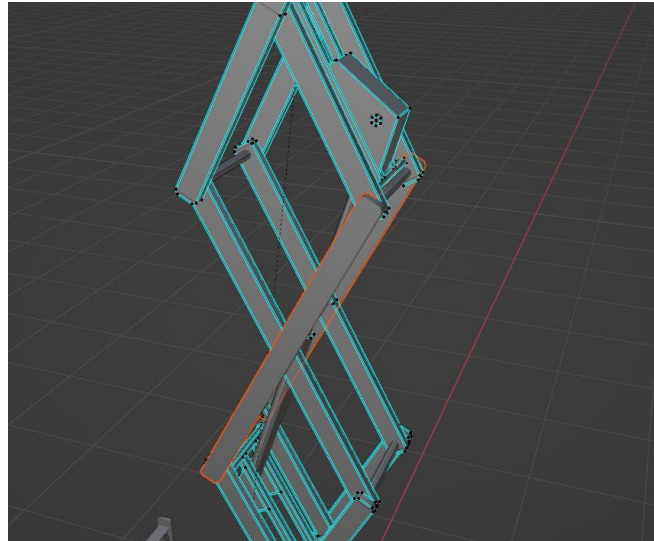
okamžitě. Objekty jdou do skriptu vkládat v *Inspektoru*, tudíž je zde možnost rychlých a jednoduchých změn. Skripty *TrueComponent* a *WrongComponent* jsou umístěny na prázdném *GameObject* spolu s *BoxCollider*, který nám zajišťuje kolizi při doteku ruky s objektem, a *Rigidbody* sloužící k nastavení fyzikálních parametrů, dále je zde ještě zvuková stopa a skript pro rotaci objektu. Tyto prvky jsou umístěny na prázdném objektu z toho důvodu, že při změně stávajícího modelu např. helmy za jiný, není potřeba tyto parametry na model znovu vkládat. Na modelu objektů je vložena pouze animace. Ta je volána ve skriptu *TrueComponent* z *Prvek 1* až *5*. Pokud by byl vyměněn model helmy za jiný, je potřeba nový model vložit do *Prvek*, kde byl původní model. Tím se zajistí volání animace, která musí být opět vložena na nový model objektu.



Obrázek 20 - Skript TrueComponent

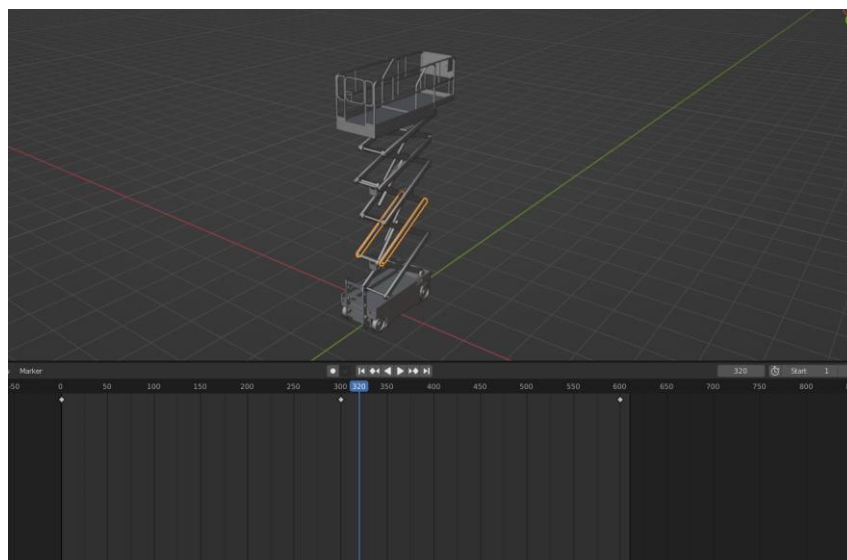
### 4.3 Rozdělení plošiny

Stažený model vysokozdvížné plošiny byl pro tuto práci nedostatečný, protože jeho části nebyly rozdělené, takže bylo nutné požadované části rozdělit. Model se původně skládal z kol a jednotného modelu plošiny. Pro tuto práci bylo potřeba mít plošinu v rozloženém, ale i složeném stavu. Bylo potřebné rozdělit zdvihací konstrukci, aby bylo možné vytvořit složený stav plošiny. Toho bylo dosaženo pomocí označení plošiny → *přepnutí do editačního módu pomocí Tab* → *označení bodů částí, které chceme rozdělit* → *p* → *selection*. Takovýmto postupem byl model rozdělen na několik částí, ze kterých lze vytvořit animaci.



Obrázek 21 - Výběr bodů a rozdělení částí plošiny

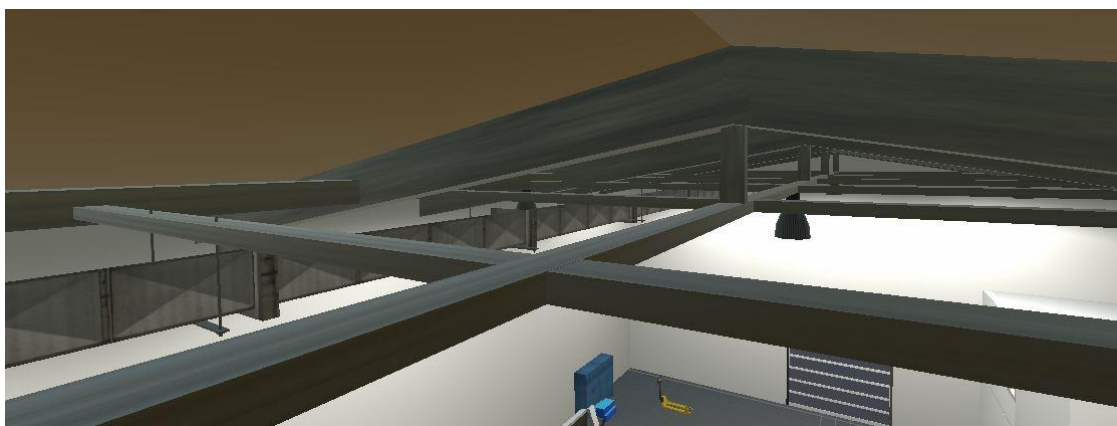
Když byl model rozdělen, bylo možné udělat animaci zvedání plošiny a její následné složení. Té bylo dosaženo tak, že na časové ose byl zvolen počáteční a koncový bod. V čase „1“ byl vložen *keyframe* pomocí tlačítka *i* → *Location&Rotation*, tento *keyframe* reprezentuje počáteční polohu a pozice v tomto bodě měněna nebyla. V čase „300“ a „600“ byly vloženy další *keyframe*, ovšem zde byla již pozice změněna, a to jak lokace, tak i rotace. *Keyframe* v čase „600“ reprezentuje konečnou polohu, zde byla pozice rozdělené konstrukce změněna do požadovaného koncového stavu. *Keyframe* v čase „300“ je přidán, aby animace fungovala a vypadala lépe. Bez tohoto *keyframe* měla animace nedostatky v podobě oddělených částí, které „létaly ve vzduchu“. Výše uvedený postup byl aplikován na všechny potřebné části modelu, tj. na zdvihací profily a pracovní koš. Délka animace je zhruba dvakrát rychlejší, než je reálný čas zvedání plošiny. Protože se jedná o simulaci, tak nepotřebujeme, aby měla animace reálný čas, který by mohl být pro školení zbytečně dlouhý.



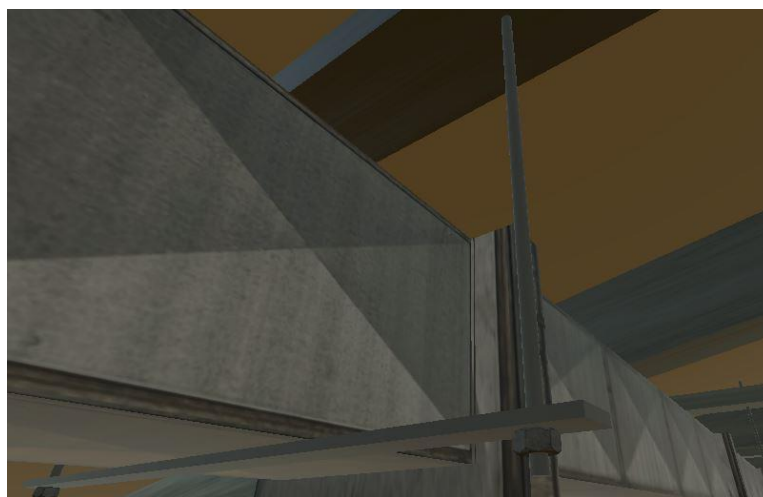
Obrázek 22 - Časová osa animace

#### 4.4 Tvorba druhé scény

Při vytváření této scény byla nejprve importována hala vytvořená v programu visTable. Hala byla doplněna o sedlovou střechu. Střešní panely byly vytvořeny v Unity přes vložení *Cube*, krychle byla dále pomocí nástroje *Scale* upravena do požadovaného tvaru a velikosti, natočena a panely byly umístěny na požadované místo. Ke střechě byla následně vymodelována střešní konstrukce, která je nutná kvůli ventilačnímu systému, který na ni bude zavěšen. Střešní konstrukce byla vytvořena stejným způsobem jako střešní panely. Jakmile byla konstrukce kompletní, mohl být přidán model ventilace. Ten byl stažen z Unity Asset Store. K tomuto modelu byly dodělané jednoduché držáky v programu Blender. Závítové tyče držáků, kromě jednoho, mají modely tvaru válcové tyče, která reprezentuje tyč závitovou, na které je matice zachycující plech držící ventilaci. Důvodem této volby bylo to, že uživatel nemá šanci vidět detail držáku z dálky a tím pádem je zbytečné, aby ho brýle vykreslovaly. Detail závitů je na držáku s povolenou maticí, která bude dotažena.

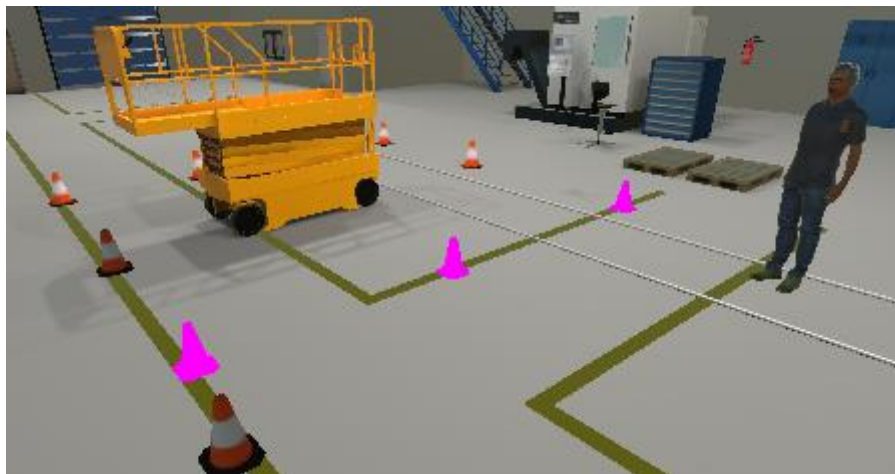


Obrázek 23 - Střešní konstrukce s ventilací



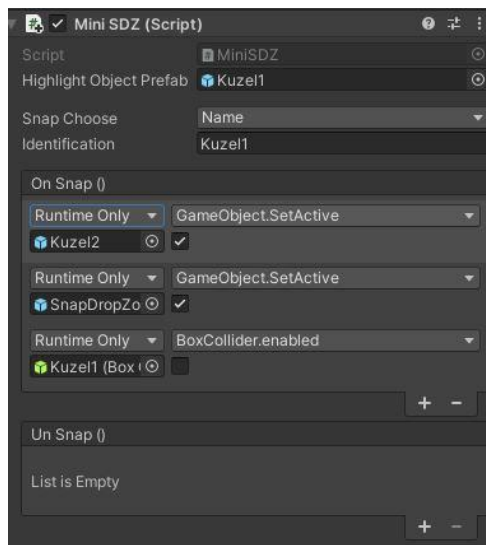
Obrázek 24 - Detail držáku ventilace

Po dokončení střešní konstrukce byly přidány modely kuželů, zdvihací plošiny a postava průvodce školením. Kužely byly rozmístěny okolo plošiny, aby ohraničily nebezpečné místo okolo plošiny, kde by se nikdo neměl nacházet. Celkově bylo rozmístěno 5 kuželů z 8, 3 kužely budou rozmístěny školeným.



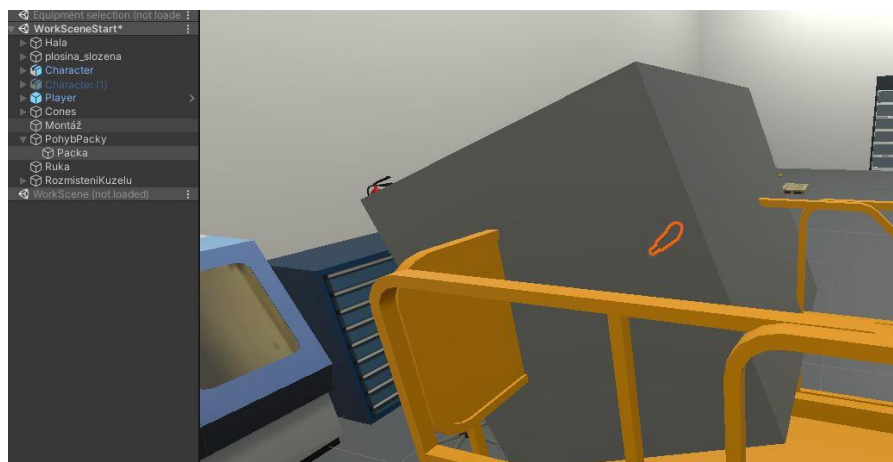
Obrázek 25 - Rozmístění kuželů

Uživatel je do této scény umístěn poté, co si správně vybere ochranné vybavení. Při změně scén obrazovka postupně zčerná a poté se postupně rozsvítí, jakmile je uživatel v nové scéně. To zajišťuje klidný vizuální přechod mezi scénami. Na začátku této scény bude školeného čekat seznámení s důležitými informacemi, se kterými musí být seznámen, než vstoupí na plošinu. Informace opět zazní přes zvukovou stopu. Poté, co jsou informace sděleny, je uživateli zadán úkol, aby rozmístil zbývající výstražné kužely. Kužely budou rozmístěny do tzv. *SnapDropZone*, znázorněné jako růžový kužel, kam uživatel umístí kužel, který se na místě *SnapDropZone* objeví, jakmile se jí dotkne. Zmíněnou zónu je možné vidět na obrázku výše. Tato zóna funguje přes skript, který byl vyvinut zaměstnanci školy a dodán pro potřeby této práce. Do skriptu v *Inspektoru SnapDropZone* se umístí objekt, který chceme zviditelnit. K tomu je určena kolonka *Highlight Objcet Prefab*. Dále se musí zvolit při jakém dotyku objektů se tak má stát, v tomto případě je zvoleno, že se tak stane, jakmile se objektu dotkne jiný objekt s *Jménem Kuzel1*. Funkce *On Snap* udává, jaké události se stanou, jakmile se tyto objekty dotknou. Při umístění prvního kužele je potřeba, aby se objevila následná zóna a kužel, který se má do ní umístit. Zároveň je žádoucí vypnout *BoxCollider* prvního kužele, aby s ním uživatel nemohl nadále manipulovat. Postup, kdy se postupně zobrazují a umisťují kužely je zvolen kvůli tomu, aby se postupovalo pořádně, a hlavně aby bylo možné postupně vypínat *BoxCollider* již umístěných kuželů. Tohoto je dosaženo jednoduše po dotyku specifického kužele se *SnapDropZone*. V nastavení *On Snap* na obrázku níže, lze vidět co se bude dít po dotyku *SnapDropZone* s *Kuzel1*. Po dotyku bude zapnut objekt *Kuzel2*, a zároveň *SnapDropZone*, do které se má umístit a zároveň bude vypnut *BoxCollider Kuzel1*, aby s ním uživatel již nadále nemohl manipulovat.



Obrázek 26 - Nastavení SnapDropZone

Po rozmístění všech kuželů bude uživatel přesunut na plošinu, kde pomocí páčky vyjede nahoru. V okamžiku, kdy se školený dotkne páčky, tak bude spuštěna animace páčky směrem nahoru a uživatel bude přesunut do další scény. Animace páčky byla vytvořena tak, že se model páčky vložil jako dítě *Krychle (Cube)*. Vztah dítě rodič udává v Unity to, že objekt spadá pod jiný, v tomto případě je dítě páčka a rodič je *Cube*. Pokud se pohne s rodičem hýbe se i dítě, pokud se tak učiní naopak, tak rodič zůstává stát a hýbe se jen dítě. Páčka je vložena pod *Cube*, aby bylo možné změnit úhel rotace pouhým nastavením polohy *Cube*. Původně se při změně polohy a natočení samotné páčky objevil problém, při kterém páčka udělala ve finální animaci pohyb do výšky mimo ovládací panel, než se dostala do koncové polohy. Bylo potřeba tento problém opravit a animaci udělat pouze přes rotaci. Proto byl model vložen pod *Cube* a byla měněna pouze jeho poloha, která mění úhel rotace. Rotace byla provedena pro objekt *Cube*, která zároveň hýbe s páčkou. U *Cube* byl vypnut *Mesh Renderer*, který vypne její 3D zobrazení. Páčku vloženou a spadající ve struktuře i scéně pod *Krychle* s názvem *PohybPacky* je možné vidět na obrázku níže. Jak je již zmíněno výše, původně bylo zamýšleno, že uživatel vyjede pomocí animace s plošinou nahoru, ovšem animace, při které dochází k pohybu, ale uživatel stojí v reálném světě na místě může vést k tzv. motion sickness, což může způsobovat nevolnost, a proto bylo z tohoto řešení upuštěno a byla přidána další scéna, která se odehrává na vyzdvižené plošině.



Obrázek 27 Vztah rodič/dítě u páčky s krychlí

## 4.5 Tvorba třetí scény

Tato scéna je do aplikace přidána dodatečně. Důvodem je změna způsobu, jakým se uživatel dostane nahoru pomocí zdvihací plošiny. V této scéně se školený ocitne chvilku poté, co zatáhne za páčku vysokozdvížné plošiny. Cílem této scény je realizace pracovního úkolu, kvůli kterému se uživatel do výšky dostal.

Třetí scéna byla vytvořena pouhým zkopírováním druhé scény. Jedinými změnami modelů jsou rozevřená plošina, detail závitové tyče u držáku ventilace nad plošinou a již rozmístěné výstražné kužely. Následně byl přidán klíč na utažení matice.



Obrázek 28 - Detail závitové tyče

Scéna opět začíná zvukovou stopou. Zde se jedná o krátký zvukový příkaz, který pobízí k dotažení matice. Po zaznění zvuku se objeví klíč a uživatel může dotáhnout matici. Dotažení matice je realizováno pomocí animace. Ta funguje tak, že se spustí při dotyku ruky uživatele s klíčem. Pokud dá uživatel ruku pryč, animace se zastaví a spustí se až tehdy jakmile ji vrátí. Po dotažení matice zazní zvukový signál, který v první scéně určoval správný výběr vybavení, aby uživatel věděl, že matici dotáhl. Po dotažení matice klíč zmizí. Animace funguje na stejném principu jako animace páčky, tedy tak, že je model klíče opět dítětem *Cube*, aby mohla být animace realizována jednodušeji. Animace je určena jak pro klíč, tak i pro matici. Z toho důvodu byly tyto modely vloženy pod jeden prázdný *GameObject*. To umožňuje vytvořit jednu animaci pro oba objekty. Při výběru prvků *Add Property* v záložce *Animation*, lze určit jaké parametry je možné přidat. Díky tomu, že jsou oba objekty pod jedním prázdným objektem, tak je možné přidat parametry polohy a rotace matice a klíče. Výběr parametrů je dán parametry přiřazenými k objektu. Je možné přidat například *BoxCollider*, *RigidBody* nebo parametry zvuku přiřazeného k objektu. Po vložení požadovaných parametrů byla na časové ose měněna poloha a rotace. Na časové ose byl přesunut vertikální ukazatel směrem doprava do požadovaného času a zvoleno tlačítko *Enable/disable keyframe recording mode*, které se nachází po levé straně časové osy na ovládacím panelu animace. Výběrem této funkce byla zahájena animace a změněna poloha, rotace nebo obojí najednou. Po umístění modelů do požadované polohy v určitém časovém okamžiku byla funkce opět použita, což vedlo k vypnutí nahrávání animace a s objektem šlo dále hýbat bez toho, aniž by se změnila výsledná animace. Tímto způsobem bylo vytvořeno několik *keyframe*, ze kterých se skládá výsledná animace utažení matice. Vytvořená animace se snaží co nejvíce působit, jako kdyby matici opravdu utahoval člověk. Klíč se objeví již umístěný v poloze, kdy je možné matici utáhnout, jakmile je matice dotažena o určitý úhel, je klíč vyjmut a posunut zpět do polohy podobné výchozí a dotažení se opakuje takto ještě dvakrát.





Obrázek 29 - Animační panel

Po dokončení tohoto úkolu bude školený ještě vyzván, aby zkontroloval matici na druhé straně držáku. Jakmile zkontroluje, že matice povolena není, může sjet pomocí páčky dolů. Jakmile se uživatel dotkne páčky bude spuštěna animace, při které páčka sjede směrem dolů a uživatel bude přesunut do poslední scény.

#### 4.6 Tvorba čtvrté scény

Tato scéna byla opět vytvořena pouhým zkopírováním druhé scény. Zde je vysokozdvízná plošina ve složeném stavu. Rozdíl oproti druhé scéně je ten, že všechny výstražné kužely jsou již rozmístěny. Jak bylo zmíněno výše v této práci, tato scéna je zaměřena pouze na sdělení informací. Uživatel zde uslyší upozornění na nejčastější chyby spojené s prací ve výškách v rámci bezpečnosti práce. V této scéně ho již nečeká žádný úkol a jakmile zazní všechny výstrahy, bude první část školení hotová a spustí se část druhá, testovací. Druhá část bude spuštěna, jakmile bude uživatel připraven. K začátku testovací fáze dojde, jakmile uživatel zmáčkne tlačítko start, které se objeví, jakmile dohraje zvuková stopa.

#### 4.7 Tvorba testovacích scén

Jak již bylo zmíněno výše, testovací scéna bude určena pro ověření znalostí. Testovací scény budou celkem tři, a to z důvodu, že čtvrtá scéna pro tuto část nemá smysl, jelikož v ní člověk nemá takovou interakci jako v prvních třech.

První testovací scéna byla vytvořena zkopírováním první školicí scény. Byla smazána postava průvodce, která již není potřebná a šipky, které ukazovaly na správný objekt. Skript, který iniciuje začátek scény byl přesunut na prázdný *GameObject*, který byl přejmenován na *ZvukZacatek*, k tomuto objektu byla také přiřazena zvuková stopa. Ta pobízí uživatele k výběru ochranného vybavení. Po správném výběru již nezazní žádná zvuková gratulace a uživatel bude okamžitě přesunut do další scény.

Druhá testovací scéna byla vytvořena naprosto stejně jako první, zkopírováním příslušné scény, která bude sloužit pro testování. V této scéně byla opět smazána postava průvodce a šipky. Byl přidán skript *TeleportPlosina*, který teleportuje hráče po rozmístění kuželů na plošinu. Skript je přiřazen na prázdný objekt *Teleport*, který se spustí po umístění posledního kužele a zavolá skript teleportace.

Poslední testovací scéna byla opět vytvořena stejně. Opět zde byly smazány všechny zvukové stopy a scéna je bez instrukcí. Na konci této scény, po utažení matice a kontroly matice na druhé straně držáku zazní zvuková stopa, která pogratičuje uživateli k úspěšnému dokončení školení.

## 5 Zvukové instrukce

Pro tuto školicí aplikaci bylo důležité, aby obsahovala zvukové instrukce. Je potřeba seznámit uživatele s tím, co bude jeho úkolem, co má v danou chvíli udělat a sdělit mu důležité informace.

Na začátku scény je důležité uvést uživatele do prostředí školení, ve kterém se nachází. První zvuková stopa tedy uvítá uživatele v aplikaci, stručně mu sdělí, co bude v aplikaci dělat a zadá mu první úkol pro výběr správného vybavení. Pro tuto zvukovou sekvenci byla nahrána tato zvuková stopa:

*„Vítejte ve školicí aplikaci pro bezpečnost výškových prací. V této simulaci si vyzkoušíte pracovní činnost ve výšce za pomoci zdvihací plošiny. V první části simulaci si vyberete příslušné vybavení a ve druhé si vyzkoušíte práci ve výšce. Pro vstup na pracoviště potřebuje řádnou ochranu hlavy, pracovní rukavice a reflexní vestu, prosím, vyberte toto vybavení.“*

Po správném výběru vybavení bylo nutné upozornit uživatele co se bude odehrávat dále. Pro toto sdělení byla pořízena následující nahrávka:

*„Gratuluji k výběru správných bezpečnostních pomůcek. Nyní se přesunete do druhé části.“*

Chvíli poté co zazní tato zvuková stopa bude uživatel přesunut do druhé scény. Jak je zmíněno výše, tato scéna je převážně informativní. Bylo nutné zdůraznit důležité informace, se kterými musí být pracovník seznámen předtím, než vstoupí na plošinu. Na konci toho sdělení je ještě uživateli zadán úkol rozmístění kuželů. Zvuková stopa s obsahem důležité sdělení je následující:

*„Vítejte ve druhé části simulace. Předtím, než můžete vlézt na plošinu, tak je nutné zdůraznit jisté body:*

*Pracovník obsluhující plošinu musí být seznámen s obsahem návodu pracovní plošiny.*

*Základním požadavkem při práci s plošinou je zabezpečit ohrožený prostor pod místem práce ve výšce, aby se zamezilo zranění osoby, která by se v prostoru mohla potencionálně nacházet.*

*Před vstupem na plošinu zkontrolujte maximální možné zatížení a plošinu za žádných okolností nepřetěžujte. Přetížení plošiny může vést k poškození hydraulického systému.*

*Zábradlí plní pouze funkci k ochraně před pádem, nikoli jako žebřík, a proto je zakázáno na zábradlí stoupat.*

*Předtím než vstoupíte na plošinu, tak je potřeba rozmístit zbývající výstražné kužely, prosím učiňte tak.“*

Po umístění zbývajících kuželů na správné místo bude uživatel přesunut na vysokozdvížnou plošinu, kde mu bude zároveň sděleno, ať pomocí páčky vyjede s plošinou nahoru. Sdělení zazní takto:

*„Výborně, nyní můžete jít na plošinu a pomocí páčky vyjet nahoru.“*

Po přemístění na plošinu a zatáhnutí za páčku bude uživatel přesunut do další scény. Zde mu bude sděleno, aby utáhl matici držáku ventilačního systému. Bude řečeno následující:

*„Vaším úkolem je dotáhnout povolenou matici. Pomocí klíče matici dotáhněte.“*

Po dotažení matice bude ještě potřeba zkontrolovat, zda není matice na druhé straně držáku také povolena. Tento pokyn bude uživateli sdělen následovně:

*„Když už jste nahoře zkontrolujte matici na druhé straně“*

Po kontrole matice bude potřeba uživatele přesunout do další scény, do které se dostane tak, že zatáhne za páčku směrem dolů. K tomu bude školený vyzván následovně:

*„To je vše, můžete pomocí páčky sjet dolů.“*

V poslední scéně je uživateli pográtulováno k dokončení simulace a je mu řečeno, že ho čeká ještě testovací část, která neobsahuje zvukové instrukce. Dále mu jsou sděleny informace o nejčastějších chybách, kterých se pracovníci pracující ve výškách dopouštějí. Zvuková stopa zní následovně:

*„Gratuluji ke splnění simulace. Ještě Vás čeká testovací verze, kde si školením projdete ještě jednou, nyní ovšem bez instrukcí. Předtím než budete přesunuti do této části, tak Vám budou ještě sděleny nejčastější chyby spojené s bezpečností práce pro práci ve výškách.“*

*Nejčastěji dochází k nehodám při pádu z přenosného žebříku. To je často způsobeno nesprávným zacházením se žebříkem, nedostatečným jištěním nebo nevhodně zvoleným žebříkem. Nehody se stávají i u pevně zabudovaných žebříků, zde se doporučuje pro zvýšení bezpečnosti používat systémy pro zachycení pádu.*

*Často je podceňováno preventivní opatření proti pádu při montáži nebo údržbě strojů. I pád z malé výšky může způsobit vážná zranění.*

*Mezi další časté případy nehod patří propadnutí. Neměli byste stoupat na povrchy, u kterých si nejste jisti, zda vás udrží nebo je zde riziko propadnutí. Tyto povrchy by měly být zvýrazněny tak, aby na ně nikdo nestoupal.*

*Všechny střechy a plošiny by měly být na svých okrajích zabezpečeny. Pokud se na těchto plochách přímo nepracuje a pracovníci se pohybují v okolí, měly by se použít alespoň alternativní metody pro zabezpečení proti pádu jako je například dočasné zábradlí nebo zadržovací systém.*

*Další nebezpečí představují padající předměty. Z toho důvodu byla pracovní plocha okolo plošiny ohraničena kužely, aby se zde nikdo nenacházel. Na pracovišti by neměly být nezajištěné předměty. Pracovní nástroje je doporučeno mít například v taškách či kufříkách, nářadí je také možné mít přivázané ke svému tělu.*

*Prosím berte tyto chyby v potaz a při práci ve výšce vždy myslete prioritně na svoje zdraví a zdraví lidí ve Vašem okolí.*

*Až budete připraveni spustit testovací scénu, zmáčkněte červené tlačítko.“*

Po zaznění tohoto zvukového záznamu bude uživatel, po zmáčknutí tlačítka, přesunut do testovací verze aplikace.

V testovací části zazní pouze jedna zvuková nahrávka. Tato nahrávka bude přehrána až na konci, po kontrole matice držáku, a bude gratulovat uživateli k úspěšnému dokončení školení, zároveň takto indikuje konec školení. Zní následovně:

*„Všechny úkoly jste splnili správně. Tímto je školení u konce, gratuluji k jeho úspěšnému splnění.“*

## 6 Animace

Pro zvýšení autentičnosti byly vytvořeny animace pro postavu průvodce, které budou spuštěny současně se zvukovou stopou. Pro každou zvukovou stopu byla vytvořena jedinečná animace. Animace jsou především zaměřeny na pohyb rukou a hlavy.

Animace byly nahrány pomocí obleku od společnosti Xsens. Oblek se skládá z trika, ob vazů a snímacích senzorů. Pro správné snímání postavy je potřeba přesně nastavit zmíněné senzory. Po obléknutí trika je potřeba ruce, nohy a pas omotat obvazy, na kterých jsou následně umístěny senzory. Obvazy je potřeba mít obmotané na vrchní části ruky, kde končí triko, na zápěstí, pasu, stehně a pod kolenem. Senzory jsou specificky pro danou část těla, a tudíž je potřeba, aby byly správně rozmístěny. Místa kam se senzory musí umístit jsou následující: horní část ruky, zápěstí, dlaně, hrud', lopatky, hlava, zadní část pasu, stehno, dolní část nohy a chodidla. Pro dlaňové senzory jsou učeny rukavice, do nichž je senzor umístěn, pro sledování hlavy je určena čelenka, do níž je senzor uložen. Senzory pro lopatky a hrud' jsou umístěny na triku, pro snímání chodidel je senzor jednoduše umístěn do boty hned pod její jazýček. Po správném umístění a zapnutí senzorů je potřeba oblek zkalibrovat. Kalibraci je potřeba provádět průběžně. Kalibraci se získá poloha uživatele, tak, že se uživatel projde po místnosti a zpět na pozici kde chůzi započal a na místě nehybně po určitou dobu stojí.



Obrázek 30 - Rozmístění senzorů na přední části těla



Obrázek 31 - Rozmístění senzorů na zadní části těla

Program následně vyhodnotí pozici senzorů, které jsou na uživateli přichyceny. Kalibraci je nutné provádět z toho důvodu, že snímání uživatele není dostatečně přesné a může se stát, že digitální model uživatele neodpovídá realitě. To znamená, že mohou být například vychýlená chodidla na jinou stranu než v realitě, uživatel vypadá, že je sehnutý, i když stojí vzpřímeně nebo může nastat kolize ruky s hrudí, kdy ruka prochází hrudí a je potřeba stát s velkým rozpětím paží, které je nepřírozené a uživatel může nevědomky vrátit ruce do mnohem přirozenější polohy, což vede ke špatně vypadající animaci.

Animace byly nahrány na základě zvukové stopy. Nejprve byl spuštěn zvuk a následně nacvičeno gestikulování pomocí rukou a hlavy. Poté byla animace nahrána. Animace byly nahrány pomocí programu iClone7. Tento program automaticky, podle zvukové nahrávky, určí, kdy se mají otevírat ústa a tuto animaci vždy sám vytvoří. Animace byly následně vyexportovány a nahrány do projektu.

Program nabízí možnost vlastního avatara včetně vlastního obličej podle fotografie. Na základě tohoto faktu byl vyfocen tvůrce této práce a jeho obličej použit pro animačního avatara, který byl následně řádně oblečen. Tento avatar byl vyexportován spolu s animacemi a nahradí postavu průvodce, kterou je možné vidět na obrázcích v předchozích kapitolách.

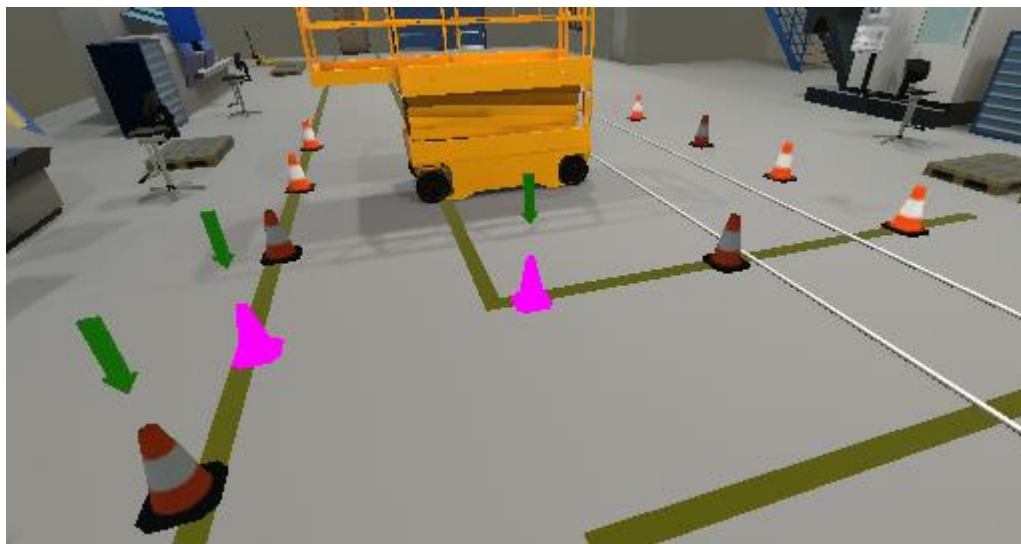
Animace byly v Unity3D nastaveny spolu se zvukovými stopami, pro které byly specificky dělané. Byly načasovány tak, aby pohyb úst započal spolu se začátkem zvukové stopy. Na konec některých animací byl přidán *Event*, který umožní zadat určitou funkčnost na konci animace. V případě této práce jsou v *Event* volány metody ze skriptu, které jsou určeny pro přepínání scén.

## 7 Testování aplikace

Nakonec bylo potřeba zjistit, zda školicí aplikace funguje i mimo Unity3D, tj. v brýlích pro virtuální realitu. To bylo zjištěno tak, že se aplikace nainstalovala do brýlí a následně se vyzkoušela. Testování aplikací je důležitý krok, díky kterému se zjistí chyby, které by jinak mohly zůstat bez povšimnutí. Zároveň se odzkouší vytvořené funkčnosti, zda fungují tak, jak mají.

Okamžitý vizuální nedostatek byly vidět hned při začátku první scény a byly jimi modely, které neodpovídaly velikostně. Na základě tohoto zjištění byly všechny potřebné modely zvětšeny. Další nedostatek byl opět vizuální, a to bylo grafické znázornění celé scény. Hrany všech objektů byly extrémně ostré, zubaté. Oprava byla realizována tak, že se v nastavení v Unity3D zvýšila úroveň grafického znázornění.

Ve druhé scéně bylo zjištěno, že se rozmístěné kužely nachází ve vzduchu. V Unity3D byly posunuty *SnapDropZone* tak, aby se kužely již nacházely na zemi. Při rozmisťování kuželů bylo vyzorováno, že pro rozmístění všech tří kuželů je potřeba mít k dispozici hodně volného prostoru pro pohyb. Z toho důvodu byl zredukován počet kuželů, který uživatel rozmístí, ze tří na dva. Potřeba prostoru potřebného pro rozmístění kuželů byla ovšem stále velká, proto byly přidány nehybné (rozmístěné) kužely. Tím bylo možné zmenšit mezeru mezi dvěma kužely, které rozmístí uživatel. Ke kuželům byla zároveň přidána pomocná šipka, která uživatele naviguje, který kužel má umístit. Po rozmístění kuželů nefungovala teleportace uživatele na plošinu, chyba byla pouze v tom, že ve skriptu *ZvukTeleport* nebyl odkaz na postavu uživatele, která má být teleportována. Odkaz byl přidán a teleportace fungovala. Po teleportování na plošinu se uživatel propadnul do textury plošiny, to bylo způsobeno tím, že plošina neobsahovala *Collider*, který by propadnutí zamezil. *Collider* byl přidán na plošinu ve všech scénách. Do scén odehrávajících se v hale byly přidány koridory pro pracovníky.



Obrázek 32 – Změna rozmístění kuželů

Plošina ve třetí scéně byla příliš vysoko a v reálu by se musel pracovník extrémně přikrčit, aby se dostal na druhou stranu plošiny a vyhnul se ventilačnímu systému. Z toho důvodu byla výška plošiny snížena. Snížená plošina byla zároveň umístěna do testovací scény. Při dotažení animaci dotažení matice nastal problém, kdy se animace zastavila, i když a klíče byla položena ruka. Ruku bylo potřeba z klíče vyjmout a klíče se znovu dotknout, aby animace znovu hrála. Ve skriptu bylo potřeba změnit podmínku, kdy se animace spustí a to tak, že

*Collider.OnStriggerEnter* byl změněn na *Collider.OnTriggerStay*. Po této změně animace fungovala bez zastavení.

## Závěr

V rámci této práce byla vytvořena aplikace zaměřující se na školení BOZP pro výškové práce. Aplikace je především zaměřena na průmyslové podniky, a proto se scénář školení odehrává ve výrobní hale. Její využití je ale univerzálnější. V práci byl velmi důležitý zvukový doprovod, který pojednává o zásadách bezpečnosti práce a vyzdvihuje časté chyby spojené s bezpečností práce ve výškách. Obsah pracovní činnosti nebyl pro práci zdaleka tak zásadní jako zvuková stopa, a proto byla vytvořena nenáročná činnost. Úkolem školeného je dotažení matice držáku ventilačního systému. Ventilační systém je zvolen z důvodu, že se v dnešní době nachází v téměř každé budově. Kromě výrobních hal se s ním můžeme setkat například v nákupních centrech. Šroubové spojení je zvoleno kvůli tomu, že se jedná o velmi často používané rozebíratelné spojení, se kterým se běžný člověk setká velmi často.

Aplikace je vytvořena pro brýle Oculus Quest 2, které fungují samostatně na systému Android a disponují funkcí handtracking, který může zvýšit autentičnost školení. K aplikaci tudíž není potřeba žádného výkonného počítače, na kterém by bylo školení spuštěné, a ke kterému by byly připojené brýle nebo ovladače k brýlím.

Aplikace má dvě části, první část školicí a druhou testovací. V první části je uživatel seznámen se školením, jsou zdůrazněny důležité pokyny pro práci ve výškách a také časté chyby. K pracovní činnosti je uživatel vyzván pomocí zvukového záznamu. Scéna je dále doplněna o vizuální pomoc, šipky, pro navádění v této školicí části. Druhá fáze aplikace, testovací, je určena k otestování osvojených znalostí. V této části jsou úkoly pro uživatele stejné jako v části první, ovšem s tím rozdílem, že zde není pomoc vizuální ani zvuková.

Vytvořená aplikace má použití pro školení zaměstnanců v rámci BOZP ve výškách. Tato aplikace bude pouze část širší, komplexní simulace pro školení BOZP. Zmíněná aplikace bude dále rozvíjena a testována katedrou Průmyslového inženýrství a managementu na Západočeské univerzitě v Plzni. Tento komplexní modul nebude omezen pouze na školení bezpečnosti pro výškové práce, ale mohou v něm být například obsaženy školení požární ochrany, školení první pomoci nebo školení řidičů vysokozdvížných vozíků.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] SHERMAN, William R. a Alan B. CRAIG. *Understanding Virtual Reality*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 2003. ISBN 978-1-55860-353-0.
- [2] PETŘÍK, Jaroslav, nedatováno. Virtuální realita pod lupou: cizí svět na dosah. *Doupe.cz* [online] [vid. 2021-10-18]. Dostupné z: <http://doupe.zive.cz/clanek/virtualni-realita-pod-lupou-cizi-svet-na-dosah>
- [3] SUTHERLAND, I., 1968. A head-mounted three dimensional display. In: *AFIPS '68 (Fall, part I)* [online]. Dostupné z: doi:10.1145/1476589.1476686
- [4] BÍLEK, Petr, 2021. Virtuální realita: Historie prvních kroků. *oTechnice.cz* [online]. [vid. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://otechnice.cz/virtualni-realita-historie-prvnich-kroku/>
- [5] ROSSON, Lois, 2014. The Virtual Interface Environment Workstation (VIEW), 1990. NASA [online] [vid. 2021-10-18]. Dostupné z: [http://www.nasa.gov/ames/spinoff/new\\_continent\\_of\\_ideas](http://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas)
- [6] GREENGARD, Samuel. *Virtual Reality*. Cambridge: The MIT Press, 2019. ISBN 978-0-262-53752-0.
- [7] Anon., 2017. Virtual Reality in the Military. *Virtual Reality Society* [online]. [vid. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-military/>
- [8] Anon., 2017. Virtual Reality in Healthcare. *Virtual Reality Society* [online]. [vid. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/>
- [9] Anon., 2020. Medical Virtual Reality. *VHIL* [online]. [vid. 2021-10-25]. Dostupné z: <https://stanfordvr.com/projects/2020/medical-virtual-reality-research/>
- [10] ARANGO, Benjamin, [b.r.]. *VR Application in Entertainment[2021]* [online] [vid. 2021-10-27]. Dostupné z: <https://filmora.wondershare.com/virtual-reality/virtual-reality-use-in-entertainment.html>
- [11] Anon., 2017. Virtual Reality and Education. *Virtual Reality Society* [online]. [vid. 2021-10-27]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-education/>
- [12] HOŘEJŠÍ, Petr, Konstantin NOVIKOV a Michal ŠIMON. A Smart Factory in a Smart City: Virtual and Augmented Reality in a Smart Assembly Line. *IEEE Access*. 2020, roč. 8, s. 94330–94340. ISSN 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994650
- [14] OTTOSSON, Stig, 2002. Virtual reality in the product development process. *Journal of Engineering Design - J ENGINEERING DESIGN* [online]. **13**, 159–172. Dostupné z: doi:10.1080/09544820210129823
- [13] PARKIN, Simon, 2015. How VR is training the perfect soldier. *Wearable* [online] [vid. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/vr/how-vr-is-training-the-perfect-soldier-1757>
- [15] LORENZ, Mario, Michael SPRANGER, Tino RIEDEL, Franziska PÜRZEL, Volker WITTSTOCK a Philipp KLIMANT, 2016. CAD to VR – A Methodology for the Automated Conversion of Kinematic CAD Models to Virtual Reality. *Procedia CIRP* [online]. **41**, Research and Innovation in Manufacturing: Key Enabling Technologies for the Factories of the Future - Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 358–363. ISSN 2212-8271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2015.12.115
- [16] GRAJEWSKI, Damian et al. Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces. *Procedia Computer Science*. 2013, roč. 25, s. 289–301. ISSN 1877-0509. DOI: 10.1016/j.procs.2013.11.035
- [17] HOŘEJŠÍ, Petr. Podklady pro výuku Digitální podnik a virtuální realita KPV/DPVR 2021.
- [18] *vReact - 3D / VR training application for the industrial market* [online] [cit. 13.11.2021]. Dostupné z: <https://appsbow.com/vreact/>

- [19] Anon., [b.r.]. Ergo VR - Fraunhofer IDMT. *Fraunhofer Institute for Digital Media Technology IDMT* [online] [vid. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.idmt.fraunhofer.de/en/institute/projects-products/ergovr.html>
- [20] LAVALLE, Steven, 2020. *Virtual reality*. University of Oulu: Cambridge universtiry press.
- [21] Get Started Developing for the Oculus Quest Platform | Oculus Developers. In: [cit. 16.11.2021]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/quest/>
- [22] LANG, Ben. *Oculus Quest 2 Review – The Best Standalone Headset Gets Better in (Almost) Every Way* [online]. 2020 [cit. 16.11.2021]. Dostupné z: <https://www.roadtovr.com/oculus-quest-2-review-better-in-almost-every-way/>
- [23] Anon., [b.r.]. *Oculus Quest 2 (2021), 128GB O2 TV HBO a Sport Pack na dva měsíce* [online] [vid. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.czc.cz/oculus-quest-2-2021-128gb/325552/produkt>
- [24] Anon., [b.r.]. *VIVE United States | Next-level VR Headsets and Apps* [online] [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.vive.com/us/www.vive.com/us/>
- [25] MARTINŮ, Ondřej, 2021. Nové HTC Vive Pro 2 je virtuální lahoda pro oči. Levné stáále není. *iDNES.cz* [online] [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/hry/magazin/recenze-htc-vive-pro-2-virtualni-realita-vr.A210602\\_135303\\_bw-magazin\\_oma](https://www.idnes.cz/hry/magazin/recenze-htc-vive-pro-2-virtualni-realita-vr.A210602_135303_bw-magazin_oma)
- [26] OLŠAN, Jan, 2021. VR brýle HTC Vive Focus vydány: parametry, funkce a cena. *Cnews.cz* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/htc-vive-focus3-autonomni-vr-bryle-rozliseni-5k-nepotrebuje-pc-ani-majaky/>
- [27] A.S, Alza, [b.r.]. Alza.cz – nakupujte bezpečně z pohodlí domova | Alza.cz. *Alza* [online] [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/>
- [28] Anon., [b.r.]. TESLASUIT - Haptic feedback VR suit for motion capture and VR training. *TESLASUIT* [online] [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://teslasuit.io/the-suit/>
- [29] CARLTON, Bobby, 2021. Feel Rain Fall In VR With Full-Body TESLASUIT. *VRScout* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://vrscout.com/news/feel-rain-fall-in-vr-with-full-body-teslasuit/>
- [30] Anon., [b.r.]. Virtual Reality CAVE Solutions. *Antycip* [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://steantycip.com/vr-cave/>
- [31] PETTY, Josh. What is Unity 3D & What is it Used For? In: *Concept Art Empire* [online]. 14. 3. 2019 [cit. 21.11.2021]. Dostupné z: <https://conceptartempire.com/what-is-unity/>
- [32] TECHNOLOGIES, Unity. Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine. In: [cit. 21.11.2021]. Dostupné z: <https://unity.com/>
- [33] PACKT, 2015. An overview of Unreal Engine. *Packt Hub* [online] [vid. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://hub.packtpub.com/overview-unreal-engine/>
- [34] FOUNDATION, Blender, [b.r.]. blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. *blender.org* [online]. [vid. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.blender.org/>
- [35] ATKINSON, Kate, [b.r.]. Health and safety training - a VR revolution | TTRO. *TTRO Site* [online] [vid. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.ttro.com/blog/technology/this-is-how-vr-is-revolutionising-health-and-safety-training/>
- [36] Anon., [b.r.]. Co je BOZP. *Kurzy BOZP* [online] [vid. 2021-11-22]. Dostupné z: <https://www.bozpkurzy.cz/sluzby-bozp/co-je-bozp/>
- [37] Types of head-mounted displays | Unity Virtual Reality Projects. In: *Packt* [online] [cit. 26.11.2021]. Dostupné z: <https://subscription.packtpub.com/book/game-development/9781783988556/1/ch01lv11sec09/types-of-head-mounted-displays>

- [38] Jak vybrat VR brýle? In: [cit. 26.11.2021]. Dostupné z: <https://bryle-pro-virtualni-realitu.heureka.cz/poradna/jak-vybrat-vr-bryle/>
- [39] NEUGEBAUER, Tomáš, 2014. *Školení bezpečnosti práce, požární ochrany a motivační školení k prevenci rizik*. Praha: Wolters Kluwer ČR. ISBN 978-80-7478-454-5.
- [40] Anon., [b.r.]. *What does game engine mean?* [online] [vid. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.definitions.net/definition/game+engine>
- [41] Anon., 2017. Šest nejčastějších nehod při práci ve výškách: jak jim můžeme předcházet? *ASB Portal* [online]. [vid. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/stavebni-technika/sest-nejcastejsich-nehod-pri-praci-ve-vyskach-jak-jim-muzeme-predchazet>
- [42] HUGGETT, Cindy, 2013. *Virtual Training Basics 1st edition*. Alexandria: Association for Talent Development. ISBN 978-1-56286-702-7.
- [43] Anon., [b.r.]. *Co je práce ve výškách? | CRDR* [online] [vid. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.bozp.cz/slovník-pojmu/prace-ve-vyskach/>
- [44] Anon., [b.r.]. *Bezpečnost práce ve výškách - vše co potřebujete znát | CRDR* [online] [vid. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.skolenibozp.cz/aktuality/bezpecnost-prace-ve-vyskach-legislativa-priciny-dusledky-povinnosti-a-ochrana/>