

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh laboratoře virtuální reality pro Centrum výzkumu Řež, s. r. o.

Autor: **Monika MILATOVÁ**
Vedoucí práce: **Ing. Petr HOŘEJŠÍ, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Monika MILATOVÁ**
Osobní číslo: **S16B0095P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Návrh laboratoře virtuální reality pro Centrum výzkumu Řež, s. r. o.**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Rešerše
3. Analýza současného stavu, specifikace požadavků
4. Návrh variant, jejich zhodnocení a výběr vhodného řešení
5. Závěr

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

Seznam doporučené literatury:

1. HOŘEJŠÍ, P., GÖRNER, T. *Virtuální realita v prostředí DP*, e book. Plzeň: SmartMotion, 2013. ISBN 978-80-87539-22-4
2. STEVEN M. LAVALLE. *Virtual Reality*. Cambridge University Press, 2017.
3. *Internetové zdroje*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Bc. Vlastimil Habrcetl**
Centrum výzkumu Řež, s. r. o.

Datum zadání bakalářské práce: **24. září 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

V Plzni dne 24. září 2018



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 chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Hořejšímu, Ph.D. za cenné rady a důležité informace, které mi poskytoval během zpracování této bakalářské práce. Zároveň bych chtěla poděkovat svému konzultantovi Bc. Vlastimilovi Habrcetlovi a zaměstnancům z Centra výzkumu Řež, s.r.o. za rady a odbornou pomoc z hlediska jaderné energetiky a poskytnutí veškerých důležitých podkladů. V neposlední řadě děkuji své rodině, příteli a spolužákům za podporu a pomoc během celého studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Milatová	Jméno Monika	
STUDIJNÍ OBOR	B 2301 „Průmyslové inženýrství a management“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. HOŘEJŠÍ, Ph.D.	Jméno Petr	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh laboratoře virtuální reality pro Centrum výzkumu Řež, s. r. o.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	64	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato bakalářská práce se věnuje návrhu laboratoře pro virtuální realitu, která bude sloužit v Centru výzkumu Řež, s.r.o. jako místo pro simulaci prostor jaderné elektrárny ve 3D prostředí. Také bude sloužit zaměstnancům jako místo pro trénink pracovních postupů a měření, které probíhají v prostorách elektráren. Práce obsahuje řešení o virtuální realitě a jaderné energetice, návrh softwaru a hardwaru, výběr nejlepší varianty a návrh dispozičního rozložení místnosti. Na závěr jsou zhodnoceny přínosy a nevýhody laboratoře.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Virtuální realita, jaderná energetika, návrh laboratoře, HMD, HW, SW</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Milatová	Name Monika	
FIELD OF STUDY	B 2301 „Department of Industrial Engineering and Management“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. HOŘEJŠÍ, Ph.D.	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Designing A Laboratory of Virtual Reality for Research Center Řež, s. r. o.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	64	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis is devoted to designing of laboratory for virtual reality which will serve in the Research Centre Řež, s.r.o. as a place for simulation space of nuclear power plant in 3D environment. It will also serve employees as a place to train workflows and measurements that take place in power plant premises. Research of virtual reality and nuclear energy is conducted, a suggestion of software and hardware, selection of the best variant and layout of the room. In the end are evaluated benefits and disadvantages of the laboratory.</p>
KEY WORDS	Virtual reality, nuclear energy design of laboratory, HMD, HW, SW

Obsah

Úvod.....	12
1 Virtuální realita.....	13
1.1 Podstata VR.....	13
1.1.1 Avatar.....	13
1.2 Historie.....	13
1.2.1 První HMD.....	14
1.2.2 Leap a View systém.....	15
1.2.3 Aspen Movie Map.....	15
1.2.4 90. léta.....	15
1.2.5 Virtual Boy.....	16
1.2.6 21. století.....	16
1.3 Hardware.....	18
1.3.1 Brýle.....	18
1.3.2 Headset.....	18
1.3.3 Snímače.....	19
1.3.4 Displej.....	19
1.3.5 Příslušenství.....	20
1.4 Existující zařízení.....	25
1.5 Software.....	29
1.5.1 Enginy.....	29
1.5.2 Funkce.....	31
1.5.3 Parametry.....	31
1.6 Interakce hardwaru a softwaru.....	31
1.6.1 Neimerzní.....	32
1.6.2 Částečně imerzní.....	32
1.6.3 Plzně imerzní.....	32
1.7 Použití VR.....	32
1.7.1 Letectví.....	32
1.7.2 Lékařství.....	33
1.7.3 Speciální případy využití VR.....	33
1.8 Zhodnocení VR.....	34
2 Jaderná energetika.....	35
2.1 Zdroj energie.....	35

2.2	Nebezpečí JE	35
2.3	Jaderná elektrárna.....	36
2.4	Fúzní reaktor	36
2.5	Horká komora.....	36
2.5.1	Vybavení pracoviště.....	37
2.6	Kontrolované pásmo	38
2.7	Radioaktivita	38
2.8	Zhodnocení JE.....	39
3	Specifikace požadavků	40
3.1	Dispoziční podmínky	40
3.2	Činnosti prováděné ve VR	42
4	Výběr vhodného softwaru	43
5	Varianty	48
5.1	Náhlavní display.....	48
5.2	Příslušenství	51
5.3	Požadavky na PC.....	52
5.4	Vybraný hardware	53
6	Rozložení místnosti	54
7	Zhodnocení přínosů laboratoře	57
	Závěr.....	58
8	Seznam použité literatury	59

Seznam obrázků

Obr. 1.1 - Stereoscope [1]	14
Obr. 1.2 - Sensorama-Morton Leonard Heilig [1]	14
Obr. 1.3 - Damoklův meč [1]	14
Obr. 1.4 - The Cave [7]	15
Obr. 1.5 - Datová rukavice 1989 [8]	15
Obr. 1.6 - Sega VR 1-1994 [9]	16
Obr. 1.7 - Virtual Boy Nintendo [10]	16
Obr. 1.8 - Oculus Rift CV1 [11]	17
Obr. 1.9 - HTC Vive [13]	17
Obr. 1.10 - PlayStation VR [14]	17
Obr. 1.11 - Brýle pro VR [16]	18
Obr. 1.12 - Headset [17]	19
Obr. 1.13 - Gloveone [23]	20
Obr. 1.14 - Dexmo rukavice [24]	21
Obr. 1.15 - Rukavice s otevřenými špičkami prstů [25]	21
Obr. 1.16 - VR Gluv [27]	21
Obr. 1.17 - HTC Controller [28]	22
Obr. 1.18 - Move Motion Controller [29]	22
Obr. 1.19 - Oculus Touch [30]	22
Obr. 1.20 - Zaměřovací ovladač [31]	23
Obr. 1.21 - HTC Vive Tracker [32]	23
Obr. 1.22 - Trackovací oblek [33]	23
Obr. 1.23 - Virtuix Omni [34]	24
Obr. 1.24 - Green Screen bez pozadí [35]	24
Obr. 1.25 - Green Screen s pozadím [35]	25
Obr. 1.26 - Google Cardboard [36]	25
Obr. 1.27 - ColorCross [37]	25
Obr. 1.28 - Samsung Gear VR [38]	26
Obr. 1.29 - Dell Visor [39]	26
Obr. 1.30 - Pimax 4K [40]	26
Obr. 1.31 - Asus Windows Mixed Reality [41]	27
Obr. 1.32 - Oculus Go [42]	27
Obr. 1.33 - HTC Vive Pro [39]	27

Obr. 1.34 - Oculus Rift [39]	28
Obr. 1.35 - Samsung Odyssey [39]	28
Obr. 1.36 - Windows MR [39]	28
Obr. 1.37 - PlayStation VR [39].....	29
Obr. 1.38 - Letecký simulátor [57].....	33
Obr. 1.39 - Virtual Medicine [58]	33
Obr. 2.1 - Horká komora [67]	36
Obr. 2.2 - Průzorové okno [67]	37
Obr. 2.3 - Dopravník [67].....	37
Obr. 2.4 - Operativní zásobník [67]	38
Obr. 2.5 - Mezikomorový průchod [67].....	38
Obr. 3.1 - Současná dispozice místnosti	40
Obr. 3.2 - Místnost 1. pohled	41
Obr. 3.3 - Místnost 2. pohled	41
Obr. 3.4 - Místnost 3. pohled	41
Obr. 3.5 - 3D Model budovy	42
Obr. 4.1 - Fúzní reaktor v enginu Godot	43
Obr. 4.2 - Pohled 1	44
Obr. 4.3 - Pohled 2	44
Obr. 4.4 - Pohled 3	44
Obr. 4.5 - Pohled 4	45
Obr. 4.6 - Ukázka řezání potrubí ve 3D	45
Obr. 4.7 - Budova horké komory	46
Obr. 4.8 - Pohled zevnitř	46
Obr. 5.1 - HTC Wireless Adaptor [75].....	51
Obr. 5.2 - Tracker na HTC Vive Pro [77]	51
Obr. 5.3 - Manus VR Gluv [25]	51
Obr. 5.4 - Televize Samsung [80]	52
Obr. 5.5 - Monitor Philips [83]	53
Obr. 6.1 - Návrh rozložení místnosti.....	54
Obr. 6.2 - 3D návrh místnosti – pohled 1	55
Obr. 6.3 - 3D návrh místnosti - pohled 2	55
Obr. 6.4 - 3D návrh místnosti - pohled 3	56
Obr. 6.5 - 3D návrh místnosti - pohled 4	56

Seznam tabulek

Tabulka 5.1 - Parametry HMD systémů.....	48
Tabulka 5.2 - Bodové hodnocení kritérií	49
Tabulka 5.3 - Bodové ohodnocení kritérií	49
Tabulka 5.4 - Geometrický průměr a váha.....	50
Tabulka 5.5 - Procentuální hodnocení variant	50
Tabulka 5.6 - Vybraný hardware + cena	53

Seznam zkratek

VR – Virtual Reality (Virtuální realita)

HMD – Head-mounted display (Náhlavní displej)

Leep – Large Expanse Extra Perspective (Extra rozšířená perspektiva)

VIEW – Virtual Interactive Environment Workstation (Virtuální interaktivní pracovní prostředí)

CAVE – Computer Aided Virtual Environment (Virtuální prostředí podporované počítačem)

OLED – Organic light-emitting diode (Organické diody emitující světlo)

AMOLED – Active Matrix Organic Light Emitting Diode (Aktivní matice diody emitující organické světlo)

VRML – Virtual Reality Modeling Language (Jazyk pro modelování virtuální reality)

MoCap – Motion Capture (Zachycení pohybu)

PMD – Photonic Mixer Device (Fotonické směšovací zařízení)

TOF – Time Of Flight (Čas letu)

AR – Augmented reality (Rozšířená realita)

PTSD – Posttraumatická stresová porucha)

JE – Jaderná energetika

HK – Horká komora

PC – Personal Computer (Osobní počítač)

PS4 – Play Station 4

Sv – Sievert

Rem – biologický ekvivalent Röntgena

Úvod

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu přístrojového a softwarového vybavení laboratoře pro VR (virtuální realitu), která bude sloužit v Centru výzkumu Řež, s.r.o. jako prostor pro simulaci pracovních postupů v prostředí horkých komor a výrobních bloků jaderných i klasických elektráren. K této simulaci by měl sloužit náhlavní displej spolu s ručními ovladači a softwarem, který bude obsahovat 3D modely reaktoru či dalších systémů a technologií již existujících elektráren, a tím umožní člověku vidět prostředí, ve kterém k měření ve skutečnosti dochází a vizualizaci šíření škodlivých látek prostorem. Mezi riziková prostředí patří například kontrolované pásmo se zdroji ionizujícího záření, ve kterém dochází ke vzniku nebezpečí z ozáření.

Výroba elektřiny v jaderných elektrárnách patří k nejekologičtějším zdrojům energie, na rozdíl od uhelných elektráren, které ještě navíc znečišťují ovzduší tím, že vypouští plyn CO₂, který má za následek oslabování ozonové vrstvy, vznik skleníkového efektu a tím způsobené globální oteplování Země. V těchto elektrárnách se pracuje s materiálem, který vyzařuje ionizující záření nebezpečné pro člověka. Materiál je stíněn od okolí například tlustou stěnou z betonu a olova, což je biologické stínění reaktoru, které brání průchodu ionizujícího záření a rychlých neutronů do okolního prostředí.

Bezpečnost práce je obzvlášť v jaderné energetice velice zásadním tématem, jelikož při různých měření v jaderných blocích může docházet k ozáření člověka. Proto bude virtuální studio sloužit jako jedinečná příležitost pro člověka, vyzkoušet si tzv. nanečisto celý pracovní postup měření, který by absolvoval v samotném prostoru jaderné elektrárny, a to bez toho, aniž by byl ozářen.

Využití VR je v dnešní době vzrůstajícím trendem a začíná se využívat v mnoha oblastech jako je lékařství, letectví, astronautika, či jaderná energetika a jiné. S rostoucím zájmem společnosti vznikají nové vylepšené systémy vytvářející takové prostředí, které se co nejvíce podobá realitě. Slouží k tomu náhlavní displeje, haptické rukavice, joysticky a další příslušenství spolu se softwarem, který prohlubuje zážitek uživatele z VR.

Součástí této práce bude také finanční analýza jednotlivých komponent a srovnání cen na trhu. Dále porovnání a hodnocení jednotlivých druhů zařízení, které slouží k realizaci VR a následné vybrání optimální varianty, která bude splňovat požadavky zadavatele. Následně dojde k situačnímu návrhu místnosti, do kterého již budou zahrnuty vybrané komponenty, které se budou kupovat spolu s nábytkem.

Cílem práce je výběr optimální varianty zařízení pro VR doprovazený o vhodný software, spolu s vybavením celé laboratoře. Bude také vytvořen návrh rozložení nábytku a dalších komponent. To vše bude vybráno s ohledem na požadavky zadavatele.

1 Virtuální realita

Pojem virtuální realita, také označován zkratkou „VR“ z anglického *virtual reality*, byl poprvé použit v knize *The Judas Mandala* 1982 *Damien Broderickem* se sci-fi kontextem. Tak, jak ho známe nyní se začal objevovat již před 15ti lety, kdy došlo k rozvoji systému simulace iluzivního 3D prostředí, které se uživateli zobrazilo jako reálné. Prostor může představovat skutečný svět, nebo zcela fiktivní, což se objevuje převážně u počítačových her, kdy dochází k zobrazení věcí, které nejsou v běžném životě možné. [1]

1.1 Podstata VR

Smyslem VR je umožnění člověku pohybovat se a konat určité pohyby a úkony ve vymyšleném digitálním prostředí, které může být zobrazeno pomocí náhlavního displeje a dalších fyzických přístrojů, jako je joystick, volant či datová/haptická rukavice, nebo může být vytvořena VR v celé místnosti. K vytvoření co nejreálnějšího prostředí se používají reproduktory pro simulaci zvuků, či sluchátka přímo na náhlavním displeji. Dále se mohou nasimulovat různé otřesy a vibrace, aby prohloubily imerzní zážitek při hraní.

Člověk by měl být schopen se v prostoru pohybovat a teleportovat pomocí ovladačů, či v prostoru chodit fyzicky, otáčet se o 360° a využívat různých funkcí, jako například manipulace s virtuálními předměty, nebo provádění akcí pomocí tlačítek, gest, pohybů či zvuků. [2]

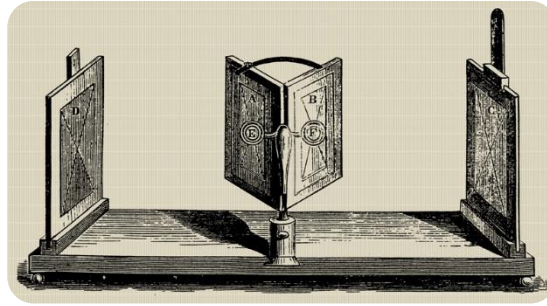
1.1.1 Avatar

Pojem avatar, odvozen z hinduistického slova *avatár*, které znamená vtělení duchovní bytosti do podoby lidské, představuje grafické znázornění uživatele ve VR pomocí 3D objektů, dvourozměrných obrazů, nebo postav různých tvarů, velikostí a vzhledů. Znázorňuje také charakter, s kterým se uživatel částečně ztotožňuje a pomocí něhož jedná ve virtuálním světě. [3]

Tento pojem byl poprvé použit ve hře *Ultima (1985)*, kde bylo cílem stát se právě avatarem. [4]

1.2 Historie

Počátek VR jako takové je poměrně sporný. Její historie je úzce spjata s objevem stereoskopie neboli vnímání třetího rozměru v obrazu. Roku 1838 ji objevil *Sir Charles Wheatstone*. Principem je zobrazení obrazu zvlášť pro pravé a levé oko. Tyto obrazy jsou od sebe vzdálené 65 mm. Lidský mozek díky tomu vnímá prostor trojrozměrně. Na základě toho vznikl stroj zvaný *stereoscope* (viz Obr. 1.1). [1] [5] [6]



Obr. 1.1 - Stereoscope [1]

První zmínky a náznaky vzniku simulovaného 3D světa spadají do 50. let 20. století, kdy *Morton Leonard Heilig* psal o tzv. *Divadle zážitků* z anglického *Experience Theater*, které pojednává o tom, že by měl divák vnímat všemi svými smysly hranou scénou. Na základě této myšlenky sestrojil v roce 1962 stroj zvaný *Sensorama* (viz Obr. 1.2), který sloužil k promítání filmů. Člověku umožňoval nejen vidět obraz a slyšet zvuky, ale také cítit vůni, která byla produkována pomocí větráků. [2] [6]



Obr. 1.2 - Sensorama-Morton Leonard Heilig [1]

1.2.1 První HMD

Jako první HMD (head-mounted display) neboli náhlavní displej, se považuje přístroj sestavený *Ivanem Sutherlandem* a jeho studenty *Bobem Sproullem* a *Ivanem Engelbartem* roku 1968. Tento přístroj nesl název „*Damoklův meč*“, protože byl moc těžký a musel být zavěšen na stropě, tudíž jeho užívání nebylo příliš praktické (viz Obr. 1.3). Také byl z uživatelského hlediska poměrně primitivní. [2]



Obr. 1.3 - Damoklův meč [1]

1.2.2 Leap a View systém

Mezi lety 1970–1990 poskytoval VR průmysl zařízení převážně pro lékařské odvětví, letové simulace, automobilový průmysl a vojenský výcvik. Také vznikl *Leap systém* (Large Expanse, Extra Perspective), který byl kombinací stereoskopického obrazu, jenž umožnil prostorové vidění, a dostatečně velkého prostoru, který pomohl zobrazit nejvěrohodnější prostředí. To dalo základ vzniku náhlavních displejů, které jsou dnes běžně dostupné. Roku 1985 přepracoval *Scott Fisher* tento systém pro *Národní ústav pro letectví a vesmír NASA* na systém *The VIEW* (Virtual Interactive Environment Workstation), což byla první VR, která zde byla nainstalována. [2]

1.2.3 Aspen Movie Map

Jako předchůdce nynějších *Google Maps* můžeme považovat *Aspen Movie Maps*, vytvořené *Andy Lippmannem* roku 1978. Pomocí čtyř fotoaparátů nafotil Andy a jeho tým všechny ulice města Aspen a díky tomu vznikla první interaktivní mapa, ve které se člověk mohl pohybovat do čtyř směrů pomocí grafického displeje. [7]

1.2.4 90. léta

V tomto období došlo k vzniku prvního kubického virtuálního pokoje nazývaného *The Cave* (jeskyně) z anglické zkratky *Computer Aided Virtual Environment* („Počítačem řízené virtuální prostředí“) (viz Obr. 1.4). Zde bylo možné promítat obraz na pět stěn místnosti pomocí tzv. aktivní 3D stereoskopické zadní projekce. [2] [8]



Obr. 1.4 - *The Cave* [8]

Jako další byla vyrobena datová rukavice a brýle s vysokým rozlišením. Tato rukavice sloužila jako zařízení, které se nasadilo na ruku s tím, že byla připojena pomocí kabelů k počítači. Tlačítka a senzory na rukavici zachycovaly pohyby prstů a dlaně, které byly přenášeny do počítače (viz Obr. 1.5). [2] [9]



Obr. 1.5 - *Datová rukavice 1989* [9]

V následujících letech došlo k rozvoji náhlavních displejů, které začala vyrábět firma *Virtuality* ve velkém, ale nevýhodou byla jejich vysoká cena. To se změnilo v roce 1994, kdy

na trh přišel simulátor od firmy *Sega* nazývaný *Sega VR-1* (viz Obr. 1.6). Simulátor se měl vyrábět jak pro arkádové hry, tak pro domácí konzole, ale k tomu nikdy nedošlo. [10]



Obr. 1.6 - *Sega VR 1-1994* [10]

1.2.5 Virtual Boy

Firma *Nintendo* vydala v Japonsku roku 1995 herní konzoli *Virtual Boy* (viz Obr. 1.7), která se skládala z náhlavního displeje, který měl podpěru, a tudíž se nedal používat ve stoje, ale pouze v sedě a z ovladače, který se skládal ze dvou madel pro lepší držení při hraní a několika tlačítek na ovládání. Konzole je označována jako první konzole, která dokáže zobrazit stereoskopickou 3D grafiku. Prodej ale netrval tak dlouho, jelikož *Nintendo* muselo čelit kritice kvůli vysoké ceně, špatné kvalitě her, monochromatickému displeji, a hlavně kvůli obavám o lidské zdraví. [11] [6]



Obr. 1.7 - *Virtual Boy Nintendo* [11]

1.2.6 21. století

V roce 2007 představila společnost *Google* panoramatický obraz ulic, cest, budov a venkova pomocí aplikace *Street View*, která se neustále vyvíjela a postupem času byly dodány obrazy měst z celého světa. [2]

Rok 2010 byl významný zejména pro vznik prvního *Oculus Rift* navrženého *Palmer Luckeyem*. Tento přístroj umožňoval vidění v rozsahu 90°, což bylo do té doby nevídané. Na základě tohoto prototypu vzniklo mnoho dalších variant s různým vylepšením, které můžeme vidět nyní. Od nejstaršího *Development Kit 1*, *HD* a *Crystal Cove* prototypu, *Development Kit 2*, *Crescent Bay*, až po *Oculus Rift Consumer Version 1* z roku 2014 (viz Obr. 1.8). [12] [6]



Obr. 1.8 - Oculus Rift CV1 [12]

HTC a *Valve Corporation* představili náhlavní systém *HTC Vive* spolu s ovladači (viz Obr. 1.9). Tento set obsahuje přenosovou technologii nazývanou *Lighthouse*. Tato technologie umožňuje vyznačení prostoru, ve kterém se může člověk pohybovat pomocí infračerveného světla, které vychází ze stanic umístěných na stěnách místnosti. [13]



Obr. 1.9 - HTC Vive [14]

V roce 2016 přišel na trh *Sony* s náhlavním systémem *PlayStation VR* (viz Obr. 1.10) pro domácí herní konzoli *PlayStation 4*, známý také pod názvem *Project Morpheus*. Obraz může být zobrazen v náhlavním displeji a zároveň v televizi. Díky devíti LED diodám lze vidět obraz v rozsahu 360°, tudíž se může uživatel otáčet okolo své osy. [15]



Obr. 1.10 - PlayStation VR [15]

1.3 Hardware

K tomu, aby bylo člověku zprostředkované 3D prostředí, ve kterém se může pohybovat, je zapotřebí mít potřebné vybavení. Mezi hardware sloužící pro VR patří brýle, reproduktory, sluchátka, rukavice, kamery, headsety, joysticky, volant, promítací či zelené plátno a počítač, mobilní telefon nebo notebook. Velice důležité jsou jednotlivé parametry hardwaru, které musí splňovat požadavky zákazníka. Podstatná je také cena odpovídající kvalitě. [2]

Provoz VR je poměrně náročný na výkon, a proto se rozlišují 3 druhy hardwaru, pomocí kterého se VR promítá, a tím je mobilní telefon u kterého je zapotřebí, aby byl výkonný a měl Full HD displej spolu s několika jádrovými procesory, počítač s dobrým výkonem grafické karty, velkým obsahem operační paměti a silným procesorem a herní konzole, které jsou sami o sobě dostatečně výkonné na to, aby se na nich dala využívat VR. [16]

1.3.1 Brýle

Nejjednodušší a ekonomicky výhodný způsob proniknutí do VR je za použití brýlí (viz Obr. 1.11). Brýle se nasadí na hlavu, ale jelikož neobsahují displej, je zapotřebí připojit k nim mobilní telefon pomocí příslušných držáků. Prostřednictvím telefonu a požadované aplikace dochází k vytvoření VR, která ale není tak imerzní, jako při použití headsetu. [16]



Obr. 1.11 - Brýle pro VR [17]

1.3.2 Headset

Propracovanější způsob vytvoření VR je pomocí náhlavních setů. Některé umožňují zobrazení prostředí v zorném poli 360°, jiné v 90° či 100°. Pomocí dvou displejů, které jsou umístěné před každým okem a díky mnoha snímačům, mezi které patří snímač zrychlení a pozice, magnetometr, gyroskop, nebo laserové senzory se prohloubí zážitek z virtuálního světa. Tyto headsety nepotřebují žádné další zařízení jako je například mobilní telefon, jelikož si veškerou elektroniku nesou v sobě a pro přenos obrazu obsahují připojený kabel vedoucí z počítače (viz Obr. 1.12). Některé headsety mají adaptér, díky kterému dochází k přenosu obrazu „vzduchem“, tudíž nemusí mít přípojné kabely. [16]



Obr. 1.12 - Headset [18]

1.3.3 Snímače

Každý headset obsahuje senzory, pomocí kterých zaznamenává pohyb, pozici či polohu ve kterém se zařízení právě nachází. K tomu také slouží stanice upevněné na stěnách místnosti, které zaznamenávají pohyb uživatele VR. U VR brýlí obsahuje samotný telefon. Cílem těchto senzorů je dosáhnout šesti stupňů volnosti, které definují pohyb objektu v prostoru. [2]

Magnetometr

Je to senzor, který udává informaci o magnetickém poli, které se měří ve třech osách x, y, z. Jednotkou je *tesla* T . Reaguje na změnu magnetického pole, která vznikne při pohybu magnetu zabudovaného v brýlích. [19]

Akcelerometr

Určuje směr pohybu zařízení ve dvou osách a jeho zrychlení při konstantní rychlosti, nebo při její změně z nulové rychlosti. Mikroskopické piezokrystaly indukují náboj při působení síly, což v praxi znamená, že pokud se hmotný element senzoru vysokým zrychlením pohne, tak jeho uložení v piezokrystalech indukuje napětí kvůli setrvačné síle, kterou tento pohyb vyvolal. [20]

Gyroskop

Jeden z ukazatelů pozice a prostorové orientace spolu s akcelerometrem. Na rozdíl od akcelerometru měří úhlovou rychlost ve třech osách x, y, z a s využitím zemské přitažlivosti je schopen udávat informace o orientaci zařízení neboli jeho naklonění a natočení v prostoru. [20]

Laserové senzory

Slouží k vylepšení snímání pozice člověka v prostoru pomocí laserů a senzorů umístěných na několika místech na těle. Čím více senzorů, tím lépe je zachycen jakýkoli pohyb. [20]

1.3.4 Displej

U použití mobilního telefonu pro VR určují parametry displeje technické parametry telefonu. Při použití headsetů je ale třeba brát ohled na jiné aspekty. Důležitá je technologie výroby. Nejčastěji se vyrábí OLED a AMOLED displeje. *Organic light-emitting diode* je dioda, která obsahuje organickou hmotu, která svítí pod napětím. Při přívodu napětí dojde k vyvolání kladného a záporného náboje a tím vzniká světelné záření. Jejich výhodou je dokonalé

zobrazení černé barvy a kvalitní pozorovací úhly. Displeje s aktivní maticí, nazývané *Active Matrix Organic Light Emitting Diode*, se používají u graficky náročných aplikací s velkým rozlišením, jelikož je jejich výhodou vyšší zobrazovací frekvence, nižší spotřeba a ostřejší vykreslení obrazu. Nevýhodou je složitější struktura a tím pádem vyšší cena. [21]

Rozlišení

Nejčastěji se rozlišení displejů pohybuje okolo 1 920 x 1 080 pixelů. Například *HTC Vive Pro* má rozlišení 2 880 x 1 600 pixelů a *Oculus Rift* o něco menší a to 2 160 x 1 200 pixelů. Čím jemnější rozlišení displej obsahuje, tím je obraz více podobný realitě. Displej s jemností 1 443 pixelů na palec (PPI), což je přibližně 5 500 x 3 000 pixelů, chce v budoucnu představit *Google* ve spolupráci s *LG*. Takovýto displej se se svým rozlišením blíží horní hranici lidského vnímání, které je 9 600 x 9 000 pixelů. [22]

1.3.5 Příslušenství

Ke zpříjemnění a prohloubení zážitku z VR slouží různá přídavná zařízení, díky kterým člověk ovládá avatar v dané hře, či simulovaném prostředí.

Rukavice

K zvednutí, či uchopení různých virtuálních objektů slouží rukavice se senzory, díky kterým má člověk pocit, že opravdu zvedá reálnou věc. Při pohybu prstů dojde k vytvoření protitlaku, který simuluje rozměry a váhu objektu se kterým je manipulováno. Některý druh rukavic při doteku objektu začne vysílat vibrace, které simulují daný povrch a jeho texturu. První rukavice byla vynalezena již v 80. letech a nazývala se datová rukavice. Dnes existují jak látkové rukavice se senzory uvnitř, například *Gloveone* (viz Obr. 1.13), tak exoskeletonová *Dexmo* rukavice (viz Obr. 1.14), která při stisknutí ruky začne na prsty působit silou, která znázorňuje uchopení objektu. Tato speciální rukavice působí na prsty shora, tudíž vytváří odpor a prsty jsou nuceny se rozevírat. Některé rukavice mají otevřené špičky prstů (viz Obr. 1.15). U rukavic, které nejsou napájené přes kabel je jejich výdrž závislá na obsahu baterií. [23]



Obr. 1.13 - Gloveone [24]

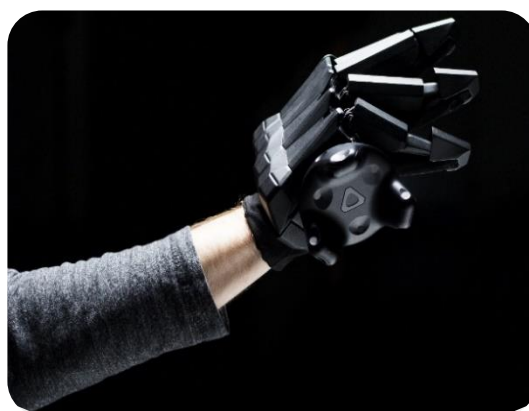


Obr. 1.14 - Dexmo rukavice [25]



Obr. 1.15 - Rukavice s otevřenými špičkami prstů [26]

Speciální příklad futuristické rukavice představuje VRGluv (viz Obr. 1.16). Už její nadčasový vzhled zaujme na první pohled každého. Pomocí senzorů v každém prstu lze cítit materiál, váhu a velikost objektu se kterým se manipuluje. [27]



Obr. 1.16 - VR Gluv [28]

Ovladače

Většina náhlavních setů obsahuje také různé ovladače, které slouží k manipulaci ve VR. Nejběžnější jsou joysticky různých ergonomických tvarů, jako například *HTC Controller* (viz Obr. 1.17), navigační ovladač se světelnými senzory pro *PlayStation VR* zvaný *Move Motion Controller* (viz Obr. 1.18), nebo *Oculus Touch* (viz Obr. 1.19). Speciální zaměřovací ovladač také od firmy *PlayStation*, dělaný přímo pro hraní FPS her z anglického *First Person Shooting* (česky „Střílečka z pohledu první osoby“) (viz Obr. 1.20).



Obr. 1.17 - HTC Controller [29]



Obr. 1.18 - Move Motion Controller [30]



Obr. 1.19 - Oculus Touch [31]



Obr. 1.20 - Zaměřovací ovladač [32]

Trackery

Snímání pohybu lze zaznamenávat a převádět do VR pomocí trackovacích zařízení, mezi které patří *HTC Vive Tracker* (viz Obr. 1.21). Toto zařízení je malé a lehké, díky tomu lze snadno připnout jak na ruce, nohy, nebo také na různá náčiní v podobě ping-pongové pálky, baseballové či tenisové rakety. Pro snímání pohybů celého těla slouží *Teslasuit* (viz Obr. 1.22) neboli oblek, který obsahuje dostatek senzorů po celém těle na to, aby byl schopný zaznamenat každý pohyb, který člověk udělá.



Obr. 1.21 - HTC Vive Tracker [33]



Obr. 1.22 - Trackovací oblek [34]

Virtuix Omni

Jedná se o herní set v podobě pohyblivého pásu s podpěrami, mezi kterými je kruh, který si člověk upne kolem pasu, aby měl zajištěnou polohu. Při hraní hry může chodit a běhat, aniž by se pohnul z místa, či spadnul, a to v rozsahu 360°. Při koupi setu jsou v balení i pohodlné boty různých velikostí určené přímo na tento pás (viz Obr. 1.23). [35]



Obr. 1.23 - Virtuix Omni [35]

Plátna

Člověku užívajícímu VR je zobrazeno prostředí pomocí náhlavního displeje. Toto prostředí ale vidí pouze on, popřípadě diváci pomocí televizní či počítačové obrazovky z pohledu první osoby. K tomu, aby bylo možné vidět člověka z pohledu osoby třetí přímo v daném prostředí ve kterém hraje a pohybuje se slouží pozadí zvané „backdrop“, nebo „green screen“. Obojí představuje plátno o různých velikostech, které se nainstaluje do místnosti, ve které není žádný nábytek, tudíž se zde dá volně pohybovat. Plátno je jednobarevné z toho důvodu, že při snímání obrazu kamerou nebude vidět barva plátna, ale zobrazí se zde živé prostředí hry spolu s hráčem. Barva plátna je obvykle zelená či modrá. Taková plátna se využívají ve filmech pro vytvoření speciálních efektů, či v televizi pro předpověď počasí (viz Obr. 1.24, Obr. 1.25). [36]



Obr. 1.24 - Green Screen bez pozadí [36]



Obr. 1.25 - Green Screen s pozadím [36]

1.4 Existující zařízení

Na trhu s elektronikou se nachází již spoustu let zařízení pro VR, ale až v poslední době se stala dostupnější pro širokou veřejnost. Díky jednoduchému provedení celého systému, které je uživatelsky přívětivé je prožitek z VR jedinečný. Cenově nejdostupnější, velice primitivní zařízení je *Google Cardboard* (viz Obr. 1.26), které si člověk sám složí dle návodu na internetu a za použití mobilního telefonu sleduje videa, či hraje hry ve VR. Zařízení využívá schopnosti mobilního telefonu, který dokáže vnímat svou polohu pomocí senzorů mezi které patří gyroskop, kompas, či akcelerometr. [37]



Obr. 1.26 - Google Cardboard [37]

O něco designově vyspělejší a cenově dražší jsou brýle pro VR *RETRAK Utopia*, *ColorCross VR BOX* (viz Obr. 1.27), či *Samsung Gear VR* (viz Obr. 1.28), které svým vzhledem připomínají headset, ale pořád je potřeba vložení mobilu pro přenos VR (viz Obr. 1.29). [38]



Obr. 1.27 - ColorCross [38]



Obr. 1.28 - Samsung Gear VR [39]

Mezi samotné headsety, které již nepotřebují k provozu mobil, ale počítač, či televizi patří z kategorie do 15 000,- *Dell Visor*, *Pimax 4K VR*, *Asus Windows Mixed Reality*, *Oculus Go*, *Oculus Rift* (viz Obr. 1.29, Obr. 1.30, Obr. 1.31, Obr. 1.32). [40]



Obr. 1.29 - Dell Visor [39]



Obr. 1.30 - Pimax 4K [41]



Obr. 1.31 - Asus Windows Mixed Reality [42]



Obr. 1.32 - Oculus Go [43]

Zařízení s nejvyspělejšími technickými parametry, které nabízí bezkonkurenční zážitek z VR sebou přináší určité nároky, a to převážně finanční. Dostupné HMD systémy se zařízením na ovládání se pohybují od 15 000,- a výše s ohledem na potřebné příslušenství. Mezi nejprodávanější patří *HTC Vive*, *HTC Vive Pro*, *Sony PlayStation VR*, *Oculus Rift*, *Samsung Odyssey*, *Windows MR*, *Lenovo Explorer* (viz Obr. 1.33, Obr. 1.34, Obr. 1.35, Obr. 1.36, Obr. 1.37). [40]



Obr. 1.33 - HTC Vive Pro [40]



Obr. 1.34 - Oculus Rift [40]



Obr. 1.35 - Samsung Odyssey [40]



Obr. 1.36 - Windows MR [40]



Obr. 1.37 - PlayStation VR [40]

1.5 Software

K vytvoření prostředí, které se nachází uvnitř brýlí, pomocí kterých se dostáváme ze světa reálného do zcela smyšleného je zapotřebí několik klíčových bodů. Zaprvé je důležité zbavit se jakýchkoli 2D efektů, dále odstranit malé nedostatky v geometrii, které se ve 2D zobrazení dají přehlédnout, ale ve VR to již nelze. Příkladem je loď plující po moři, která se vznáší 2 cm nad vodou, což je špatně. Kvalita audiovizuálních efektů je také velice důležitá pro co nejpřesnější napodobení reality. Podstatné je také, aby uživatel neprocházel stěnami, zvířaty či nábytkem, ale aby je obcházel jako v realitě.

Pro vytváření her a virtuálního prostředí je zapotřebí engine, což je, jak již překlád naznačuje, motor poskytující vývojářům rámec možností pro vytváření a simulování herního prostředí. Vývojáři využívají knihovny, které nabízí celou řadu již vytvořených modelů, zvuků, efektů a jiné. Takovým engineem je například VRML (Virtual Reality Modeling Language), Unity3D za použití programovacího jazyku C#, nebo JAVA, Unreal Engine a C++, Lumberyard, či Cryengine. [44]

Steam VR

Zábavní platforma, která slouží v herním průmyslu jako zdroj veškerých počítačových her. Komunita více než 13 mil. hráčů z celého světa sdílí své zkušenosti a poznatky v této oblasti. Uživatelé mohou hry také sami vytvářet a sdílet pro ostatní. Tato platforma slouží také jako knihovna pro různé aplikace pro VR, které jsou buď zdarma, či placené. [45]

1.5.1 Enginy

VRML

Již v 80. letech vznikl programovací jazyk pro popis trojrozměrných scén, které obsahují prvky jak pasivní, tak aktivní. Pomocí tohoto jazyka lze popsat virtuální svět, ve kterém se dá volně pohybovat všemi směry, přemísťovat se z místa na místo a prohlížet objekty ze všech stran. Mezi prvky patří prostorová tělesa, která jsou popsána pomocí seznamu souřadnic vrcholů a plochami specifikovanými indexy svých vrcholů. Jelikož jsou hierarchicky uspořádané ve stromové struktuře je s nimi poměrně jednoduchá manipulace. Další možnosti

je specifikace animací, nebo také naprogramování reakcí na určité události, typické pro prostředí VR. Jelikož se jedná o textové soubory, lze je jednoduše upravovat pomocí běžných textových editorů, či spojovat více souborů dohromady. [46]

Unity3D

Jedním z enginů, který slouží pro tvorbu profesionálních a poměrně složitých her s virtuálním 3D prostředím je *Unity3D*. Existují dvě verze a to pro začátečníky, která je dostupná ke stažení zadarmo a Pro verze, která je placená, ale obsahuje více nástrojů a možností. Hry vytvořené v tomto enginu se dají využít na všech platformách, jimiž jsou konzole, chytré televizory, mobilní telefony, VR (*Oculus Rift*, *Google Cardboard*, *Playstation VR*, *Hololens*, atd.) a desktopové aplikace. Převážná většina her na počítač jsou zcela zdarma, to se ale nedá říci o hrách na jiné platformy, které jsou placené skoro všechny. Jazyky podporované enginem jsou Javascript a C#. [47]

Unreal Engine

Za populárním programem *Unreal Engine* stojí společnost *Epic Games*, která zprvu vytvořila herní engine pro bojové hry z pohledu první osoby a další aplikace pro PC, konzole, či mobilní telefony. Jazyk využívaný pro psaní kódu je C++. V současné době se společnost rozhodla vylepšit dosavadní program na verzi *UE 4.18* tak, aby bylo možné vyvíjet hru přímo ve VR a odpadla by nutnost přepínat z klasické reality do virtuální jako tomu bylo doposud. Vytváření prostředí je snazší a přesnější již z hlediska měřítka, jelikož objekty vytváří vývojář sám v daném prostředí pomocí svých rukou a různých ovladačů. [48]

Lumberyard

Společnost *Amazon* přišla na trh s herním 3D enginem zvaným *Lumberyard*, který slouží pro vytváření vysoce kvalitních her. Tento engine je zcela zdarma, bez jakýchkoli poplatků během používání. Za využití programovacího jazyka C++ může uživatel vytvářet dokonalý vizuální svět spolu s použitím již přednastavených funkcí a 3D modelů, hudby, efektů a shaderů/materiálů. Engine je používán pro vytváření her na počítače a herní konzole. V dnešní době se dá také využívat pro vytváření prostředí VR. [49]

Plugin

Typ programu, který funguje jako zásuvný modul a nedokáže fungovat sám o sobě, pouze prostřednictvím základního programu (enginu). Po instalaci do programu rozšiřuje jeho funkce a možnosti. [50]

Middle VR

Schopnosti, které dodá tento plugin základnímu enginu jsou podpora HMD, spolupráce mezi VR systémy, například mezi *Cave* a HMD, mluvené chatování s jinými uživateli, zobrazení webových stránek ve VR prostředí, či přizpůsobitelné avatary. Tento plugin slouží pro *Unity engine*. [51]

getReal3D

Dalším pluginem s podobnými funkcemi jako u předchozího je *getReal3D*, který umožňuje uživateli vytvořit složitý svět ve známém herním prostředí a převést jej do VR. Příkladem je *the Cave*, *Powerwall*, či HMD. Může také sloužit pro vytváření tréninků, nebo vizualizace produktu pro zákazníka, který ho může vidět v jakémkoliv měřítku a pohybovat s ním. [52]

1.5.2 Funkce

Renderování

Renderování je způsob vykreslení reálné textury povrchu na modely vytvořené ve 3D programu. Díky tomu získávají obvyčejné jednobarevné modely vzhled reálných předmětů. [53]

MoCap

Motion Capture je metoda, která zachycuje pohyby reálného předmětu, nebo člověka a převádí ho na pohyb modelu v počítači. Na reálný objekt jsou připojeny markery, pomocí kterých se zachycuje daný pohyb. Čím více bodů, tím přesněji je pohyb zachycen. Tato metoda se využívá převážně ve filmovém odvětví, herním průmyslu, medicíně, sportu, či strojírenství. [54]

Existuje několik systémů zachycování pohybu. Nejčastější je optický systém, který je velice přesný díky tomu, že se na jakýkoliv objekt umístí reflexní kuličky o různém průměru a pomocí kamer dojde ke snímání pohybu. [5]

Další systémy:

- Magnetický
- Mechanický
- Ultrazvukový
- Rádiový

PMD Senzor

Photonic Mixer Device je senzor, pomocí kterého lze měřit vzdálenosti ve 3D prostoru. Využívá se zde metoda TOF (*Time-Of-Flight*), která je poměrně přesná a snadno realizovatelná. Dokáže změřit vzdálenost až na několik kilometrů, nezávisle na natočení objektu, rotaci, či jeho pohybu. [55]

1.5.3 Parametry

K tomu, aby byl zážitek z VR co nejpřesnější je potřeba brát ohled na parametry, které určují míru imerze. Patří mezi ně rozlišení, latence, snímková obnovovací frekvence, zorné pole, či velikost herní plochy.

1.6 Interakce hardwaru a softwaru

Interakce dvou složek znamená jejich vzájemné působení a ovlivňování jeden druhého, které je mezi hardwarem a softwarem zásadní proto, aby vytvořili takové prostředí, které

dokáže komunikovat s uživatelem a reagovat na jeho pohyby, pokyny a gesta. Úkony prováděné člověkem v reálném čase se musí promítnout bez sebemenšího zpoždění ve VR, kdy uživatel nepocítí časovou prodlevu. To samozřejmě záleží na zvoleném zařízení a dané aplikaci. Jeden z hlavních parametrů VR je stupeň imerze neboli proniknutí. Je to takový stupeň, který určuje, jak moc je člověk pocitově vtažen do 3D světa. Snahou je napodobení se co nejvíce světu reálnému. [5]

1.6.1 Neimerzní

V této úrovni imerze jsou stimulované pouze některé lidské smysly, proto míra vnoření není úplná. Člověk vnímá periferně reálné prostředí okolo sebe, jelikož vstupuje do trojrozměrného světa prostřednictvím monitorů s vysokým rozlišením. Patří zde AR (Augmented reality) nebo VR, která ovlivní pouze jeden ze čtyř lidských smyslů. [56]

1.6.2 Částečně imerzní

V leteckém průmyslu se nachází VR s částečnou imerzí v podobě letadlových simulátorů. Částečná imerze je zprostředkována pomocí výkonného grafického výpočetního systému spolu s několika obrazovkami, či projektorem a promítacím plátnem. Při tomto způsobu projekce se využívá širokého úhlu zorného pole, což zvyšuje samotný pocit imerze s tím, že člověk stále vnímá částečně svět reálný. [56]

1.6.3 Plně imerzní

Technologie plně imerzní VR poskytne uživateli nejlepší zážitek díky náhlavnímu displeji a dalším pohyb zachycujícím zařízením, či zvukovým reproduktorům. Na základě toho je uživatel plně vtažen do virtuálního prostředí a jsou zapojeny všechny jeho smysly. [56]

1.7 Použití VR

Používání VR je v dnešní době neustále se rozšiřující trend, který zasahuje do různých oblastí života, mezi které patří především zábavní průmysl v podobě her a 3D kin, ale také zábavní parky, kde se využívají například horské dráhy, lékařství, vzdělávání, marketing, robotika, trénink jak vojáků, mediků, tak i kosmonautů, archeologie a jiné. [57]

1.7.1 Letectví

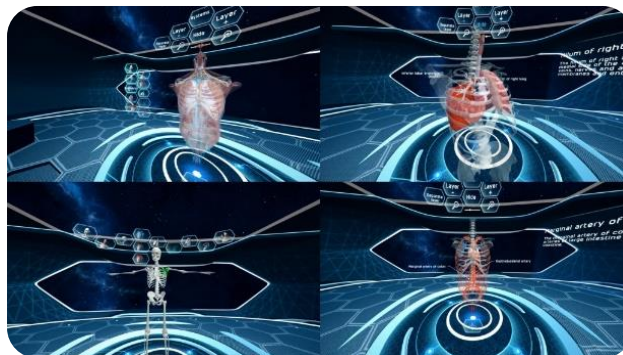
Spousta firem využívá VR pro trénink svých zaměstnanců, a to převážně pokud jsou vystaveni nebezpečným či komplikovaným činnostem. Nejběžnější je trénink pilotů v různých leteckých simulátorech, kde si pilot může natrénovat manévry a reakce na vnější vlivy. Tento způsob využití VR šetří čas i peníze, a hlavně dojde k vymezení chyb a jejich následků, které by se mohli stát při tréninku v opravdovém letadle. Další výhodou je opakovatelnost dané situace tolikrát, dokud se to pilot nenaučí zvládnout správně (viz Obr. 1.38). [5]



Obr. 1.38 - Letecký simulátor [58]

1.7.2 Lékařství

Pro zlepšení kvality a výkonu lékaře, převážně u začínajících doktorů se také využívá VR, a to převážně k zobrazení lidského těla zevnitř. Medik si může zobrazit jednotlivé části těla a sledovat je ze všech stran a úhlů. K získání důležitých dat, pomocí kterých se zkvalitňují virtuální modely se využívá počítačové tomografie (CT) a magnetické rezonance. Lékař si může vyzkoušet operovat člověka nanečisto, jednotlivé postupy krok za krokem bez toho, aniž by ohrozili zdraví pacienta (viz Obr. 1.39). [59]



Obr. 1.39 - Virtual Medicine [59]

1.7.3 Speciální případy využití VR

Galaxy Erding

V německém aquaparku *Galaxy Erding* byl v roce 2018 představen *VR Slide system*, který se využívá při jízdě na tobogánu, kdy si člověk nasadí na hlavu náhlavní displej a při sjezdu dolů projíždí různými prostředními, které jsou zprostředkovány pomocí vodotěsného setu. Tento set se dá používat až několik metrů pod vodou. Je zde využit vlastní software přenášený pomocí Samsung Galaxy S8. [60]

Terapie virtuální realitou

Pro léčbu psychických poruch, fobií, jako například strach z výšek, pavouků, létání, uzavřených prostor, nebo vystupování na veřejnosti, se začala používat VR, někdy také nazývaná *Expoziční terapie virtuální realitou (VRET)*. Člověku s určitou poruchou je nasimulováno potřebné digitální prostředí, ve kterém se mu nemůže nic stát, a díky němuž může bojovat se svým strachem, čelit překážkám způsobeným jeho vlastními pocity a plnit úkoly speciálně navržené pro léčbu dané nemoci. Pacienti reagují na traumatické podněty a snaží se snížit své reakce na strach, který je v nich vyvolán. Terapeut sleduje jejich reakce a pomocí pachů, zvuků či vibrací určuje úroveň jednotlivých spouštěčů daného strachu.

Účinné využití nachází tento způsob léčby u pacientů s PTSD neboli posttraumatickou stresovou poruchou. Ta vzniká u lidí, kteří prožili traumatickou událost, která jim zůstala v paměti. Událost prožívají opakovaně ve svých myšlenkách, fantazii a snech, kdy pociťují úzkost, stres, strach či smutek. Mezi takové události patří autonehoda, smrt blízké osoby, požár, únos, rozvod, válka či nevléčitelná nemoc. [61] [62]

Touching Masterpieces

Spolupráce španělské firmy *NeuroDigital Technologies* a *Národní galerie* v Praze dala vzniknout unikátnímu projektu zvanému *Touching Masterpieces*, což v překladu znamená „Dotýkat se uměleckých děl“. Princip tohoto projektu je v tom, umožnit nevidomým lidem „vidět“ krásu tří uměleckých soch z našich dějin pomocí haptických rukavic. Je všeobecně zakázané dotýkat se jakýchkoli uměleckých děl a soch v galeriích a muzeích. Tyto rukavice umožňují lidem dotýkat se soch a cítit jejich tvar díky senzorům, které vysílají vibrace přímo do rukavice. Firma při vývoji tohoto projektu využila 3D scany, ze kterých následně vytvořila haptické mapy a pomocí vlastní technologie je převedla na 3D modely. [63]

1.8 Zhodnocení VR

Na základě provedené rešerše o VR dojde k využití daných poznatků v další části práce. Z hlediska existujícího hardwaru se bude brát v potaz hlavně HMD, či brýle, haptické rukavice, ovladače a s tím spojené příslušné trackovací zařízení a kamery. Vše bude vybráno na základě parametrů jednotlivých komponent.

Díky definování programovacích aplikací a jejich funkcí bude vybrán takový software, aby byl kompatibilní s daným hardwarem. Díky *SteamVR* obsahující sady knihoven mohou být získány potřebné tituly, aplikace a hry. Důraz bude také kladen na to, aby byl zážitek z VR plně imerzní, tedy zapojení všech smyslů uživatele. To bude mít příznivý vliv na trénink zaměstnanců firmy, kterým bude co nejvíce přiblíženo reálné prostředí jaderné elektrárny, a hlavně těžko dostupných míst, kde je obsažen zdraví nebezpečný materiál, který vyzařuje radioaktivní záření. Mezi taková místa patří například horké komory, fúzní reaktor, či kontrolovaná pásma a jiné. Ve 3D prostředí se dají zobrazit i jednotlivé součásti turbín a jiných zařízení, která se dají zkoumat z maximální blízkosti z hlediska povrchu a vzniklých vad.

2 Jaderná energetika

V následující kapitole dojde k seznámení se s jadernou energetikou, a to z toho důvodu, že se společnost Centrum výzkumu Řež, s.r.o. zabývá právě výzkumem, vývojem a inovací v tomto oboru. Cílem této práce je vybavení laboratoře sloužící pro VR, ve které bude vytvořeno například prostředí horkých komor či fúzních reaktorů a dalších zařízení používaných v jaderných elektrárnách, kde dochází ke kontaktu zaměstnanců s nebezpečným ionizujícím zářením. Je podstatné pro tuto práci zmínit se o jaderné energetice a případném nebezpečí, které zde může vzniknout z toho důvodu, že laboratoř, která bude navržena, bude sloužit k simulaci různých prostředí z této oblasti.

Průmyslové odvětví, které se zabývá převážně výrobou elektrické energie v jaderných elektrárnách, jejich výstavbou a zkoumáním jádra a atomů. Takto získaná energie se považuje jako neobnovitelný zdroj, jelikož zdroje uranové rudy jsou vyčerpateľné. Počátky využití tohoto typu zdroje energie sahají až do první poloviny 19. století, kdy byl proveden první pokus jaderného štěpení v Německu. Následující vývoj měl využití jak vědecké, tak vojenské. Během druhé světové války došlo k vynalezení několika jaderných zbraní a bomb. V dnešní době je vystavěna spousta jaderných elektráren po celém světě, jelikož se jedná o jeden z neekologičtějších energetických zdrojů. Některé země jsou však proti z důvodu skladování nebezpečného odpadu, který při získávání energie vzniká. V České republice se nachází dvě jaderné elektrárny, a to Dukovany a Temelín. [64]

2.1 Zdroj energie

Energie je získána na základě řízené jaderné reakce, při které dojde ke štěpení jader atomů, a to například uranu, plutonia a jiných radioaktivních látek. Uvolněná energie se přeměňuje na tepelnou tak, že uvolněné částice jsou zpomalovány moderátorem a ten předává tepelnou energii například médiu sekundárního okruhu. Při chlazení vodou pohání vzniklá pára turbínu a generátor vyrábí elektrickou energii. Další fyzikální principy, pomocí kterých se získává jaderná energie je termojaderná fúze neboli přeměna deuteria a tritia fúzí jader na těžší plyny. [64]

2.2 Nebezpečí JE

Skleníkové plyny (například metan, či CO₂) nejsou způsobeny jadernou energetikou, jak si mylně spousta lidí myslí. Samotná výroba jaderné energie neprodukuje prakticky žádné skleníkové plyny a nedochází k emisím stabilních škodlivých látek do ovzduší. Problém nastává až u radioaktivního odpadu a použitého jaderného paliva a jejich skladování. Odpadem se rozumí jakýkoliv materiál, který byl kontaminován. Tento nízký až středněaktivní odpad se uzavírá do bezpečných obalů a musí být vložen do zabezpečených úložišť. Oproti tomu je jaderné palivo vysoce aktivní materiál, který je velice nebezpečný a ukládá se dlouhodobě do speciálních kontejnerů, kterým je například obalový soubor typu *CASTOR – Škoda JS*. To vše je uloženo do izolovaných prostor, kde nedojde ke znečištění životního prostředí.

Při provozu elektrárny musí být její okolí a pracovníci chráněni fyzickými bariérami, které jsou složeny z několika vrstev. Palivové pelety jsou uloženy v trubičkách ze slitiny zirkonia a mědi a jejich uvolnění brání hermetické uzavření. Část elektrárny, kde se nachází jaderný reaktor je chráněna železobetonovou obálkou (kontejnmentem), která brání úniku radioaktivity do okolí. [65]

2.3 Jaderná elektrárna

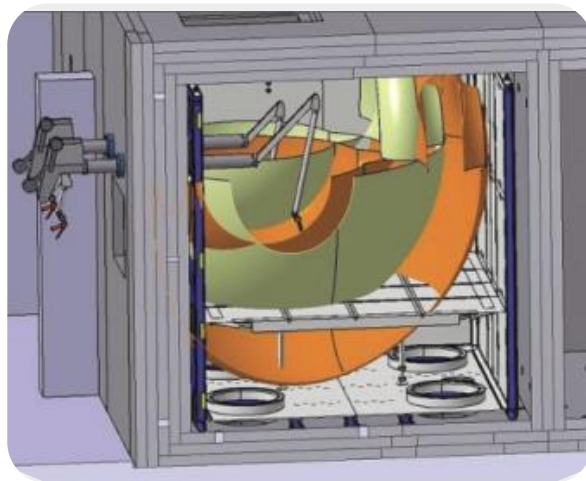
Základními částmi elektrárny jsou reaktor a parní turbína s generátorem. Existuje několik typů elektráren, které se liší typem reaktoru, či samostatnou konstrukcí. Základní typy reaktorů jsou tlakový, varný, těžkovodní, plynem chlazený, lehkovodní grafitový a rychlý množivý. Živostnost reaktoru je omezená, a to v současné době přibližně 47 let. Jaderná elektrárna je svým principem fungování sekundárního okruhu podobná elektrárně uhelné s rozdílem zdroje tepla. [66]

2.4 Fúzní reaktor

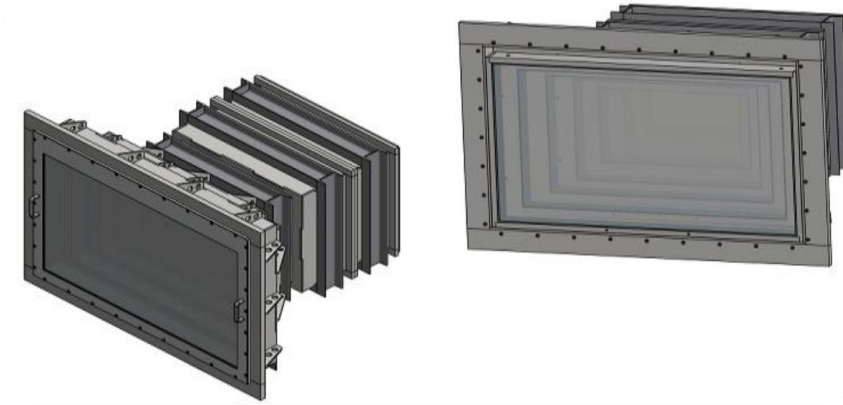
Zařízení pro slučování jader, například typ tokamak má tvar prstence obklopeného cívkami toroidálního magnetického pole, které zabraňují dotyku horkého plazmatu se stěnou vakuované komory. Síla magnetického pole udržuje plazma, které je ohříváno třemi způsoby, a to svazky neutrálních částic, proudovým ohřevem, nebo mikrovlnami. Cívka tokamaku vytváří sekundární závit transformátoru a ten generuje proud v komoře, který kolem sebe vytváří poloidální magnetické pole. Při složení poloidálního a toroidálního pole vznikne magnetické pole ve tvaru šroubovice. Fúzní reakce funguje na principu srážek lehkých jader atomů při vysokých rychlostech, kde vznikají jádra těžší a zároveň se uvolňuje energie. Vysokých rychlostí se dosáhne právě ohřevem paliva. [67]

2.5 Horká komora

Pracoviště, které slouží k manipulaci s uzavřenými radionuklidovými zářiči neboli s vysoce radioaktivními materiály (viz Obr. 2.1). Ty jsou izolované od okolí pomocí stínění, které se skládá například z tlusté betonové stěny a z olova či oceli. Pracoviště může obsahovat i více komor vedle sebe pro souběžnost prací na několika stanovištích. Jedná se o bezpečné pracoviště, kde je personál chráněn před nadlimitním ozářením při manipulaci se vzorky. V této komoře se nachází pomůcky a nástroje pomocí kterých se pracuje se zářiči. Jsou to různá manipulační zařízení, laboratorní přípravky, nebo rozvody technických plynů. Podstatné je, aby komora obsahovala průzorové okno, které je složené z několika skel obsahující PbO spolu s příměsí CeO. Je podstatné, aby okno dosahovalo stejné úrovně stínění jako ostatní místa komory, proto je mnohdy takové sklo tlusté až několik desítek centimetrů. Celé sklo je usazené v olověné vlně za účelem odstranění vzduchových mezer (viz Obr. 2.2). [68]



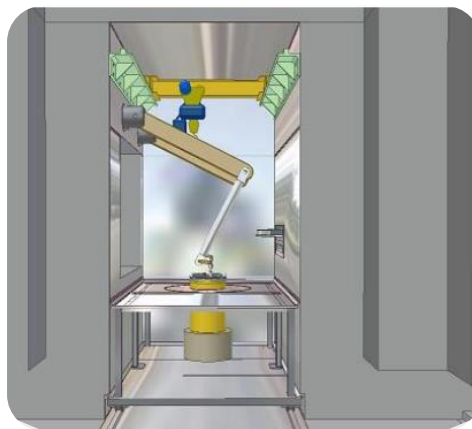
Obr. 2.1 - Horká komora [68]



Obr. 2.2 - Průzorové okno [68]

2.5.1 Vybavení pracoviště

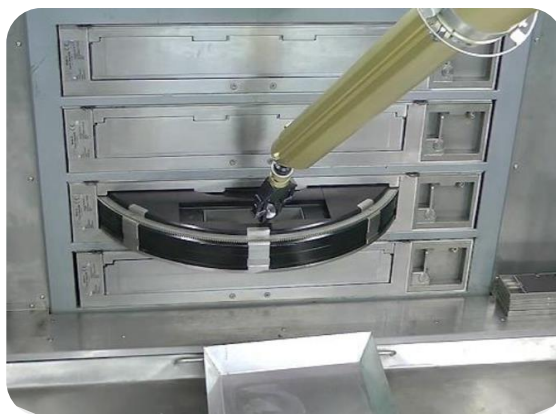
Základem takového pracoviště jsou manipulátory, které nahrazují ruku operátora. Tyto mechanismy jsou poháněny elektrickým, nebo ručním pohonem (viz Obr. 2.3). Pomocí nich manipuluje operátor se zářiči, proto jsou na ramena nasazeny různé adaptéry, které slouží pro jednotlivé operace. Adaptéry jsou například kleště, pinzety a jiné držáky laboratorních pomůcek. Spolu s tím se zde nachází zobrazovací a ovládací posuvný panel, kde je promítán obraz toho, co se děje uvnitř komory. Kamer je zde několik pro lepší zachycení a přiblížení sledovaného vzorku. Nacházejí se jak uvnitř prostoru HK, tak na jednotlivých jeřábech a dopravnících. Dále se zde nacházejí sekce s osvětlením. Vnitřek horké komory a všechny instalované technologie mají takovou povrchovou úpravu, aby byla následně snadná dekontaminace. [68]



Obr. 2.3 - Dopravník [68]

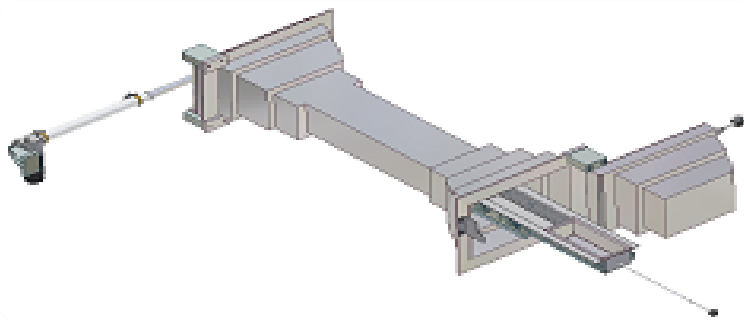
Každé vybavení je zhotoveno na základě specifikací určující typ práce prováděné v HK. Kontejnery uskladňující zdroje ionizujícího záření potřebují na míru vyrobený podstavec, krycí lemovací plech a adaptér sloužící k vyjmutí zářiče. Ty se dají mechanicky upravovat, a to na specializovaných obráběcích, pájecích či svařovacích automatických strojích. [68]

Operativní zásobníky jsou taková zařízení, do kterých se upevňují zářiče pro dočasné uložení (viz Obr. 2.4). Zásobníky jsou celé vloženy do betonové zdi, aby nezabíraly pracovní prostor. Stínění je provedeno pomocí olova. Samotný zásobník je tvořen rotačním diskem a košíkem, ve kterém je uložen zářič. [68]



Obr. 2.4 - Operativní zásobník [68]

Pro přesun zářičů, které nejsou nijak stíněné, z jedné komory do druhé, slouží mezikomorové průchody (viz Obr. 2.5). Výhodou je ušetření času při manipulaci a přesunu zářičů z jedné komory do druhé. Zajistí se tak i souslednost prací na jedné zakázce. [68]



Obr. 2.5 - Mezikomorový průchod [68]

2.6 Kontrolované pásmo

Jedná se o prostor s regulovaným přístupem osob a zaměstnanců zde pracujících. Je to jednoznačně ucelená a označená část pracoviště, kde platí přísná pravidla, která zajišťují radiační ochranu a zabráňují rozšíření radioaktivní kontaminace. Jelikož se zde nachází zdraví nebezpečné látky, je důležité veškerou práci zaznamenávat, dohlížet na ní a regulovat jí. [69]

2.7 Radioaktivita

Při jaderných reakcích dochází k přeměně jader s menší vazebnou energií na větší s tím, že se energie uvolňuje v podobě neviditelného záření. Takové záření je pro člověka nebezpečné. Radioaktivita je buď přirozená, či umělá. V prvním případě se jedná o radioaktivní přeměnu, která probíhá samovolně v přírodě, kdy se přeměňují nestabilní prvky na stabilní. Umělá radioaktivita je vyvolána určitým vnějším vlivem, který dává prvku příliš velkou energii, a to způsobí rozpad na jiný prvek s tím, že se přebytečná energie vyzáří. [70]

Existují tři druhy radioaktivního záření. Prvním a také nejslabším je záření α , které je možné zastavit i listem papíru. O něco silnější je záření β , které je tvořeno proudem elektronů, a tudíž je mnohokrát intenzivnější než α záření, proto pro jeho zastavení musí být použit například hliněný materiál o tloušťce 1 mm. Pro člověka nejnebezpečnějším zářením je γ . Jedná se o proud světelných částic zvaných fotony, které jsou zastavitelné například tlustou stěnou z oloveného materiálu. [70]

Nemoci

Nemoc z ozáření vzniká při kontaktu s ionizujícím zářením, které způsobí poškození orgánových tkání. Nejčastější příznaky jsou popálení a zarudnutí kůže, nevolnost, zvracení, neplodnost, potrat u žen, vypadávání vlasů, krvácení, odbourávání vápníku v kostech a zubech. Převážná většina lidí, kteří přijdou do kontaktu s větším množstvím radioaktivního záření dostanou rakovinu a podle míry radiace umírají do několika dnů. [71]

Míra radiace

Jednotkou pro měření míry radiace je Sv (Sievert), což odpovídá 100 rem. Rem je zastaralá jednotka určující dávkový ekvivalent ionizujícího záření, doslovně přeloženo jako *biologický ekvivalent Röntgena*. 0,05 - 0,2 Sv je nejnižší úroveň ozáření, kdy se neobjevují žádné příznaky akutní nemoci z ozáření. Od 0,5-2 Sv dochází k mírné až lehké nemoci z ozáření, což se projevuje bolestmi hlavy, zvracením a oslabením imunitního systému. Vzniká 10 % - 35% riziko úmrtnosti po 30ti dnech. Při 3-50 Sv dochází k vážné nemoci z ozáření, kdy se začínají objevovat různé příznaky během několika dní po ozáření. Většinou to končí rakovinou a posléze smrtí. 50 Sv a více znamená 100% úmrtnost z akutní nemoci z ozáření do několika dnů, či hodin. [71]

2.8 Zhodnocení JE

S ohledem na informace získané v kapitole o jaderné energetice bude brána v potaz převážně struktura a funkce horkých komor, fúzního reaktoru a dalších prostor elektrárny, rozmístění jednotlivých komponent a manipulátorů, jelikož dojde k vytvoření těchto prostor ve 3D programu. To bude následně promítáno v laboratoři VR pomocí náhlavního displeje. Zde si budou zaměstnanci zkoušet manipulaci se zařízením nanečisto kolikrát bude potřeba, aby si nacvičili jednotlivé postupy a osvojili si práci například s novým zařízením. Nebezpečí a vliv radioaktivního záření bude zohledněn v porovnání s výhodami, které přinese laboratoř VR pro Centrum výzkumu Řež, s.r.o.

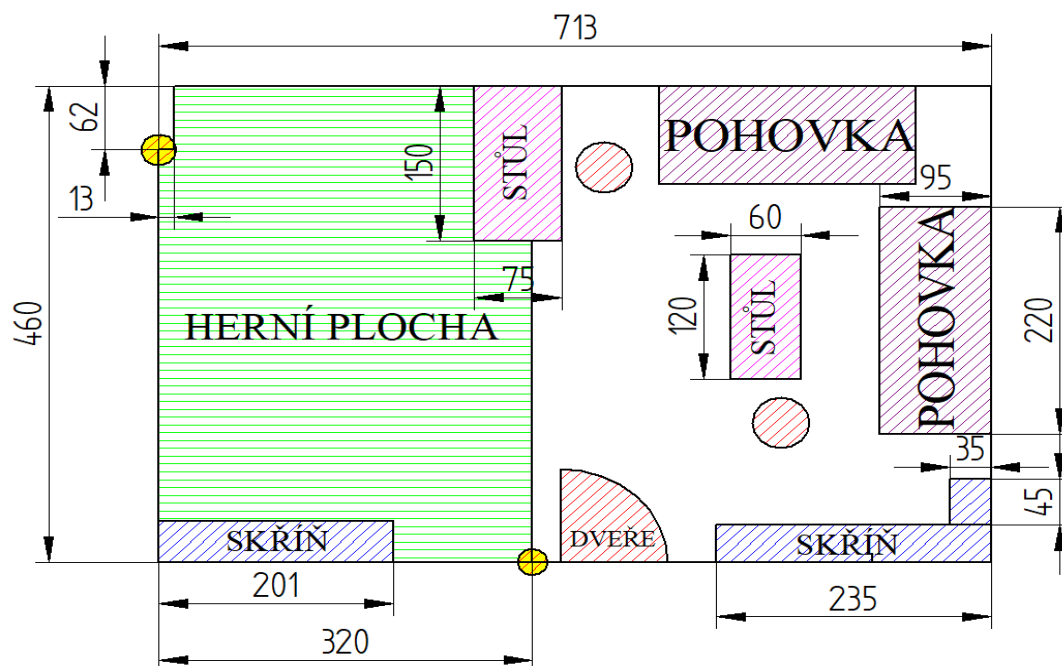
3 Specifikace požadavků

Od společnosti Centrum výzkumu Řež, s.r.o. vznikl požadavek na vybavení laboratoře sloužící pro VR, kde by si mohli zaměstnanci centra zkoušet nanečisto práci a manipulaci s měřicími přístroji v horkých komorách, jaderných reaktorech, kontrolovaných pásmech a jiných prostředí simulovaných právě pomocí VR. Výhodu vidí v tom, že nedojde k ozáření zaměstnanců ionizujícím zářením, které vyzařuje materiál uložený právě v těchto prostorech, jelikož s ním nepřijdou do kontaktu, protože bude vše simulované ve virtuálním 3D prostředí v bezpečné laboratoři, ve které se nenachází žádné nebezpečné látky. Účelem je opakované trénování zaměstnanců v manipulaci s měřicími přístroji, nacvičení jednotlivých postupů práce v daných prostorách, či zkoumání povrchů součástí z velké blízkosti a využití dalších funkcí, které VR nabízí.

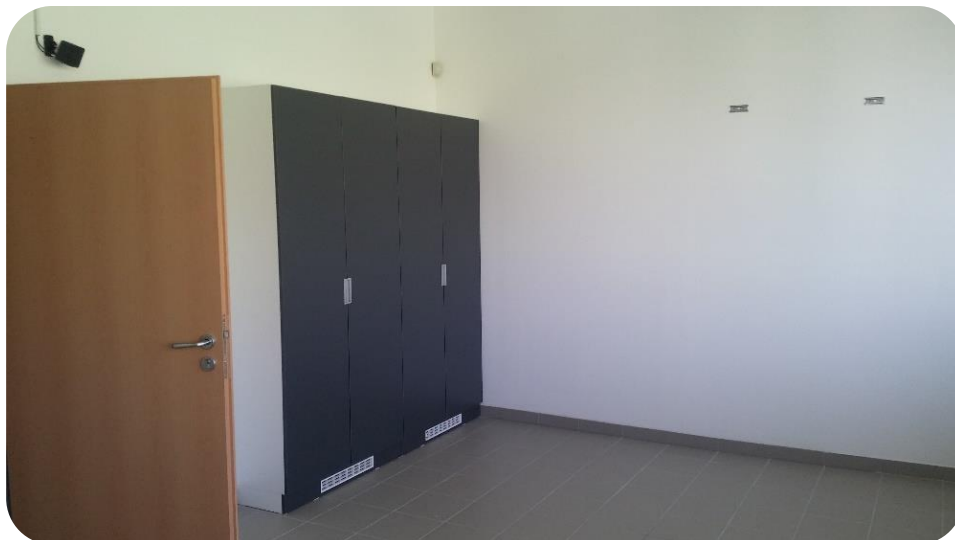
Na základě specifikace požadavků od zákazníka bude vybrána nejlepší varianta hardwarového a softwarového vybavení sloužící pro VR. Bylo dohodnuto, že by měl být v návrhu náhlavní systém, přídavné zařízení v podobě ovladačů, pomocí kterých se bude manipulovat a hýbat s předměty v daném prostředí, popřípadě haptické rukavice a trackery. Dále by zde měla být televize na které se bude promítat to, co uvidí uživatel přímo v náhlavním displeji. Požadavkem není vytváření softwarového prostředí a modelů, jelikož si je společnost vytváří sama. Omezení z finančního hlediska není, jelikož po vytvoření návrhu dojde k předložení navrhnutého rozpočtu vedení společnosti CVŘ, s.r.o., které ho bude následovně schvalovat. Jediné, na co je potřeba brát ohled, jsou rozměry místnosti, které jsou pevně dané.

3.1 Dispoziční podmínky

V budově společnosti se nachází místnost o rozměrech 460x713 cm (viz Obr. 3.1, Obr. 3.2, Obr. 3.3, Obr. 3.4), ve které se v současné době nachází dvě pohovky, stoly, židle a skříně. Také je zde již zakoupený náhlavní systém *HTC Vive* spolu s ovladači a snímacími stanicemi umístěnými na stěnách (žlutá černě šrafovaná kolečka na obrázku) a stolní počítač. 3D modely horkých komor, fúzního reaktoru, či lopatky turbíny a celé budovy jsou již vytvořené pomocí CAD programu a aplikované v enginu *Godot* zaměstnanci centra (viz Obr. 3.5). Postupně vytváří další modely spolu s prostředím, které budou využívat k tréninku svých zaměstnanců.



Obr. 3.1 - Současná dispozice místnosti



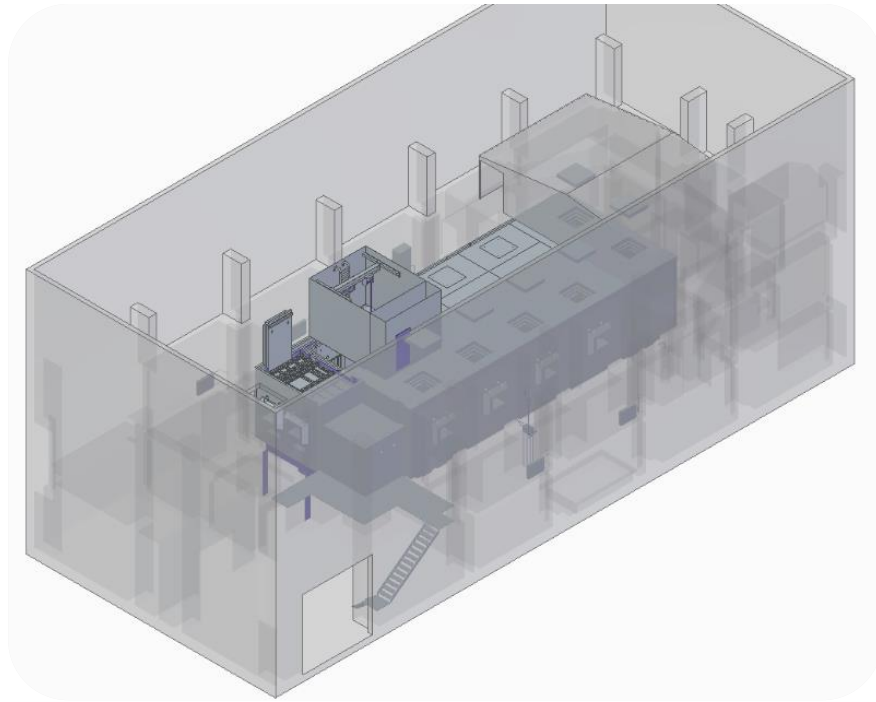
Obr. 3.2 - Místnost 1. pohled



Obr. 3.3 - Místnost 2. pohled



Obr. 3.4 - Místnost 3. pohled



Obr. 3.5 - 3D Model budovy

3.2 Činnosti prováděné ve VR

V prostorech jaderné elektrárny dochází k opakovaným činnostem a pracovním postupům, které je potřeba si nacvičit a tím urychlit čas jejich provedení. Díky tomu nestráví daný člověk v nebezpečném radioaktivním prostředí tak dlouhou dobu.

Tyto činnosti budou prováděné právě v simulovaných prostorech VR. Mezi ně patří údržba prostor a zařízení, které se zde nachází, jako například různé stroje, nástroje, náčiní a další vybavení, které se používáním opotřebovává. Dále zde probíhají různá měření a získávání dat, které se posléze vyhodnocují. Dále dochází k odebírání vzorků na různé pokusy.

V horkých komorách se pracuje s ionizujícím materiálem a dělají se na něm zkoušky. Do těchto prostor nemá člověk přístup, jelikož je zde zvýšená radioaktivita. Se vzorky se pracuje pouze pomocí manipulátorů a jejich rameny s nástroji. Pouze při výměně těchto nástrojů musí člověk vstoupit dovnitř. Proto si i tento proces budou moci nacvičit zaměstnanci ve VR a když přijdou do reálného prostředí budou přesně vědět co a jak udělat v co nejkratším čase. Předvedou tak nebezpečí absorbování velkého množství radioaktivity, jelikož zde nestráví tolik času, jako kdyby sem šli poprvé.

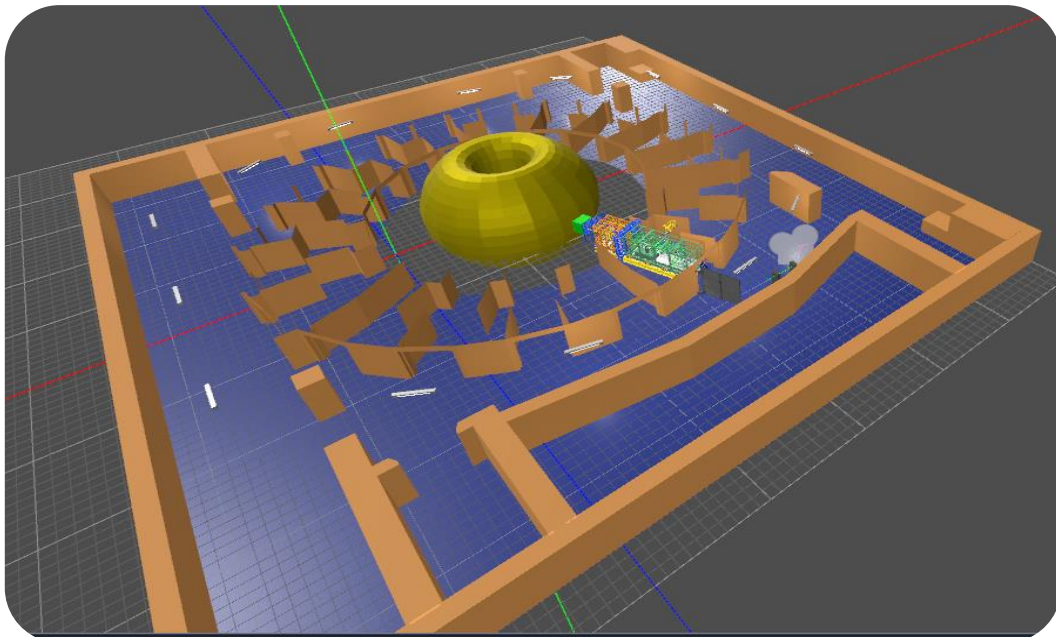
Pomocí 3D skeneru se naskenují části strojů jako například lopatka turbíny a jiné. Následně se vytvoří model a převede se do VR. Díky tomu může být zkoumán ze všech možných úhlů a přiblížen do maximální blízkosti, což umožní zkoumání povrchu a případných vzniklých vad.

V současné době je ve firmě využíván model fúzního reaktoru, ve kterém si může člověk nacvičit řezání potrubí ve VR a další činnosti, které budou postupným vytvářením prostředí zrealizovány.

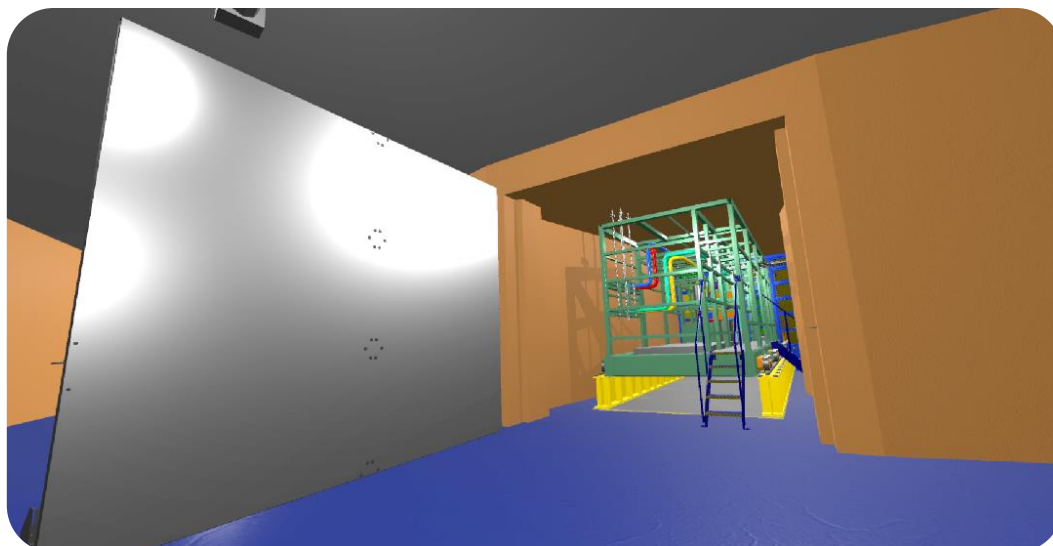
4 Výběr vhodného softwaru

Ve firmě v současné době vytváří zaměstnanci prostředí v enginu *Godot*, což je neplacená verze softwaru neobsahující žádné licenční poplatky, který slouží k vytváření 3D prostředí a modelů pro VR. Práce v tomto softwaru je intuitivní a orientace snadná, proto je to vhodný program pro začátečníky, kteří mohou využívat modely, zvuky a scény vytvořené v knihovně *OpenVR*. Jedná se o tzv. open source software, což znamená „otevřený zdroj“. Tento engine však neumožňuje tolik možností jako jiné, jelikož se jedná o poměrně mladý program, a tudíž i komunita developerů není tak široká. Proto je často možné, že při hledání řešení vzniklého problému se člověk nedohledá odpovědi. Další nevýhodou je malá podpora týmu z dané společnosti, protože nemají dostatek lidí, kteří by se zabývali nedostatky v softwaru a jejich odstraňováním. To má za příčinu, že uživatel čeká dlouho na odstranění chyb a aktualizaci enginu. [72]

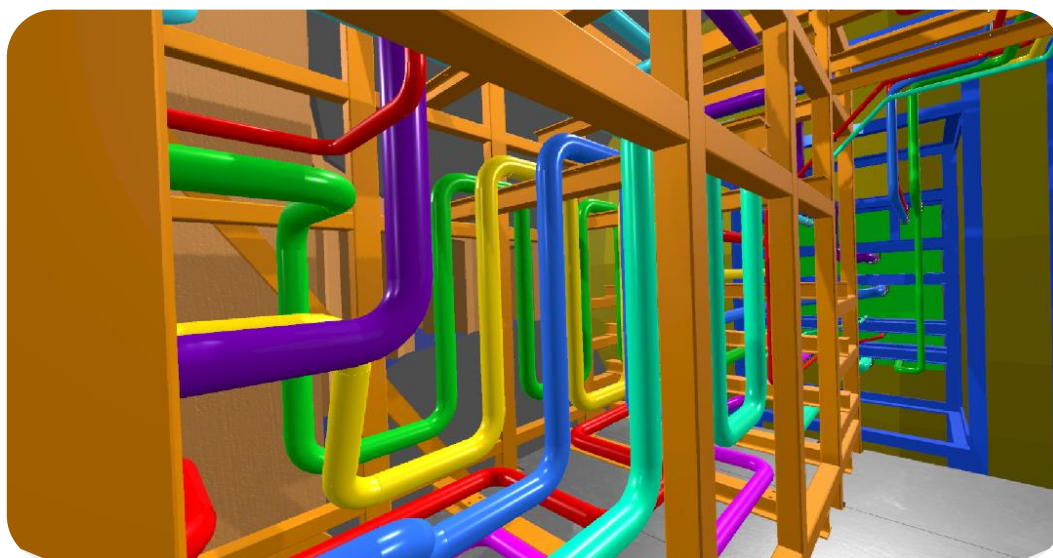
V daném softwaru jsou vytvářena těžko dostupná prostředí jaderné elektrárny, kde dochází ke kontaktu člověka s radioaktivním materiálem. V takto vytvořeném prostředí si mohou zaměstnanci firmy zkusit manipulaci s nástroji, které jsou v těchto prostorech, nacvičit si jednotlivé postupy prací, které se zde provádí a zkracovat tak čas, který stráví poté v prostředí reálném. Ve VR lze také zkoumat defekty povrchů a materiálů z maximální blízkosti. Uživatel si může nastavit, jak velký je oproti danému modelu a díky tomu se může například procházet po povrchu lopatky turbíny a vidět defekty zblízka. Na obrázcích lze vidět již vytvořené prostředí v enginu *Godot*, kde je model fúzního reaktoru, nebo například budova s horkými komorami (viz Obr. 4.1, Obr. 4.2, Obr. 4.3, Obr. 4.4, Obr. 4.5, Obr. 4.6, Obr. 4.7, Obr. 4.8).



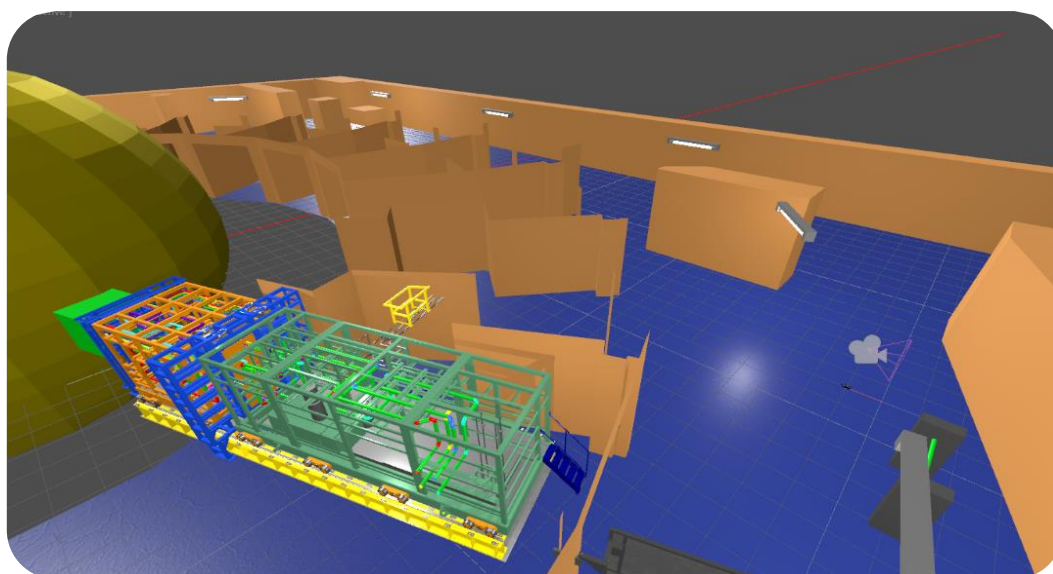
Obr. 4.1 - Fúzní reaktor v enginu Godot



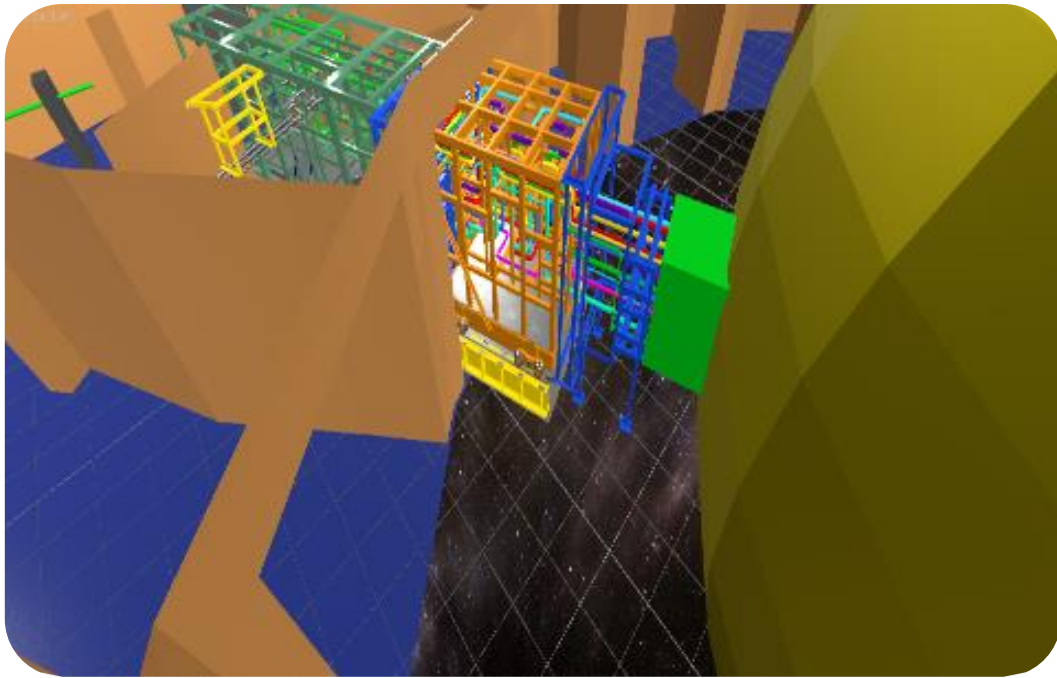
Obr. 4.2 - Pohled 1



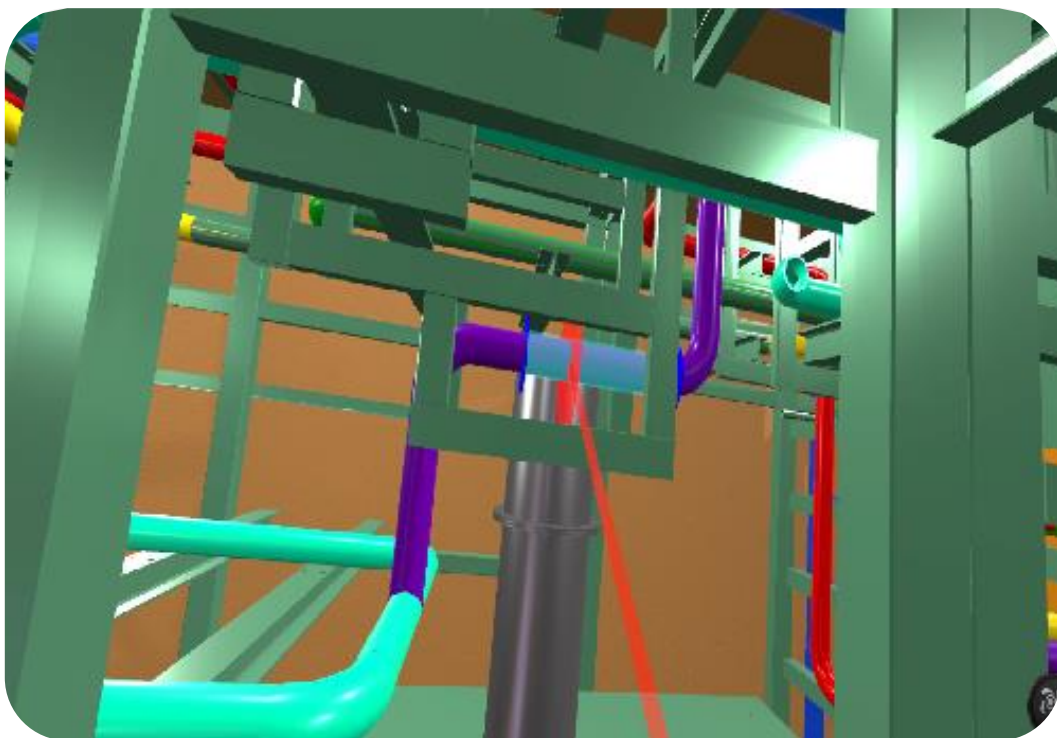
Obr. 4.3 - Pohled 2



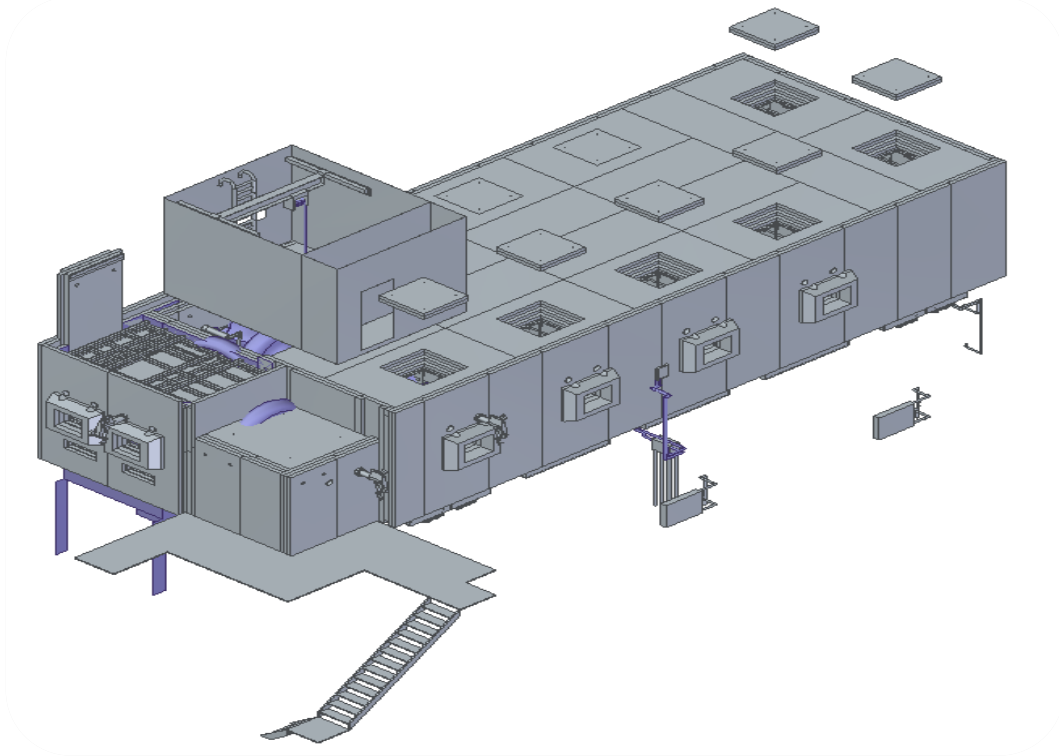
Obr. 4.4 - Pohled 3



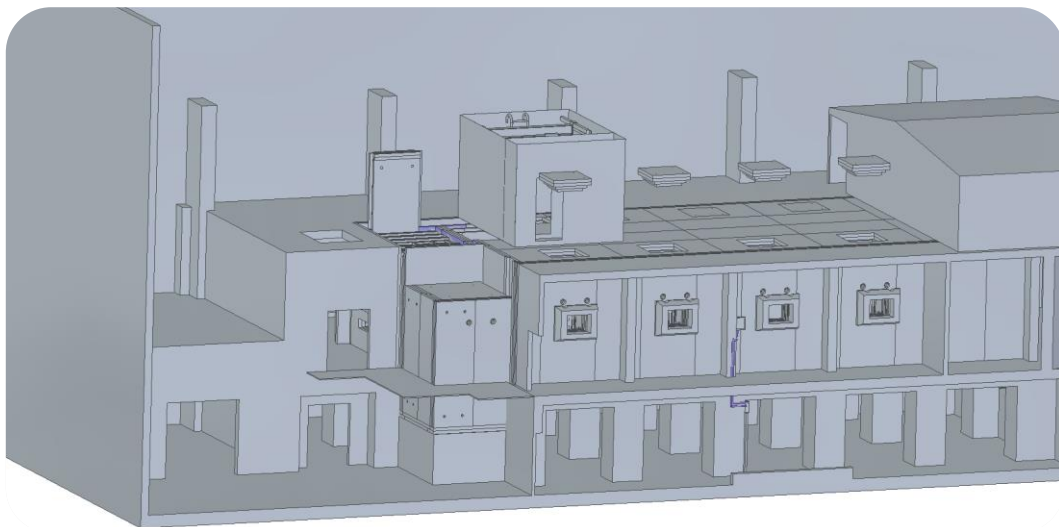
Obr. 4.5 - Pohled 4



Obr. 4.6 - Ukázka řezání potrubí ve 3D



Obr. 4.7 - Budova horké komory



Obr. 4.8 - Pohled zevnitř

Pro vytvoření 3D prostředí jaderné elektrárny je navrženo zakoupení licence enginu *Unity3D*, který nabízí širokou škálu možností vytváření virtuálního prostředí při využití knihovny, kterou zásobuje obrovská komunita programátorů a běžných uživatelů. Tento vyspělý program nabízí tři verze licencí, a to pro začátečníky zvaná *Unity Personal*, což je bezplatná verze. Dále *Unity PLUS* za měsíční poplatek \$25, což je v přepočtu 570,- a verzi *Unity PRO* určenou pro pokročilé programátory a profesionální týmy za \$125 neboli 2 850,- za měsíc. Členství přináší další výhody, a to přístup ke službám a podpoře přímo od reálných lidí, interakce s experty a inženýry pomocí online seminářů, které se konají dvakrát do měsíce a obsahují technické školení a prostor pro případné dotazy. Pomocí tohoto programu byla vytvořena polovina všech her na světě a v současné době ho využívá přes 500 000 společností z celého světa. [73]

Zakoupením nového enginu dojde ke zjednodušení programování a vytváření prostředí, jelikož obsahuje knihovny s nepřeberným množstvím již hotových modelů, které usnadní tvorbu. Spolu s tím je spojená podrobná dokumentace, ve které jsou uvedeny veškeré popisy, řada příkladů a videa ukazující postupy a tutoriály pro lepší pochopení, jak fungují vstupy a dané výstupy enginu. Další výhodou je stále rostoucí komunita vývojářů, která se podílí na tvorbě, inovaci a podpoře *Unity3D* a VR jako takové. [74]

Rozdíl mezi těmito dvěma enginy je již v uživatelském prostředí, kde se u *Unity3D* jedná o vyspělejší, propracovanější software, který je intuitivní a člověk se v něm orientuje rychleji, jelikož je vše správně a podrobně popsáno, na rozdíl od *Godot*. Z hlediska vytváření 2D prostředí je uživateli přívětivější *Godot* a je hodnocen v žebříčku oblíbenosti na 2. místě oproti *Unity3D*, které je na 10. místě vztaženo k roku 2018. S ohledem na 3D prostředí je lépe hodnoceno právě *Unity3D*, protože je tvorba modelů reálnější v tom slova smyslu, že se zde zobrazí lépe povrchy, stínování a celkový vzhled, který je blíže realitě, než v enginu *Godot*. Import modelů je velice snadný, stačí jen přetáhnout složku s 3D modelem vytvořeným v jakémkoliv CAD systému přímo do aplikace a ten se vzápětí ukáže v daném prostředí. Následně lze specifikovat povrch objektu pomocí samostatné složky zvané „Textura“. Přechod z *Godot* na *Unity3D* bude pro uživatele přínosem. [74]

Pro správnou volbu licence nabízí oficiální webové stránky *Unity3D* dotazník, ze kterého podle zadaných specifikací vyplyne, která ze tří licencí je vhodná pro daného uživatele. Základem pro rozhodování je výše příjmu společnosti za rok a zda se jedná o komerční použití. Dále je důležitý počet členů vývojářského týmu, zkušenost s daným programem a oblast jejich zájmu. Na základě těchto informací je vyhodnocena vhodná licence k zakoupení. [73]

V našem případě vplynulo, že je optimální koupit licenci *Unity PRO*, jelikož má společnost příjmy větší, než je \$100 000 za rok, zkušenost s daným programem není žádná, počet členů týmu odpovídá 2 až 10 členům. [73]

5 Varianty

Pro výběr nevhodnější varianty dojde k využití Saatyho rozhodovací metody, která využívá porovnání kritérií významných pro rozhodování. Mezi kritéria patří podstatné parametry jednotlivých zařízení. Dále dojde k vybrání televize, monitoru a dalšího příslušenství na základě požadavků od firmy.

5.1 Náhlavní display

Při výběru náhlavního systému jsou porovnány čtyři typy, a to *HTC Vive Pro*, *PlayStation VR*, *Oculus Rift* a *Pimax 4K PC VR*. Jejich parametry jsou vypsány v Tabulka 5.1. Tyto systémy jsou jedny z nejprodávanějších na trhu v současné době. Přestože má *PlayStation VR* velice dobré parametry a lepší celkové hodnocení uživatelů, nebude dále zohledňováno z toho důvodu, že není kompatibilní s PC, ale pouze s PS4. V úvahu také přicházela verze *Oculus Go*, která je přenosná a to znamená, že lze ukázat VR prostředí divákům v jakékoliv místnosti bez toho, aniž by se muselo zařízení kalibrovat, či používat počítač, jako je tomu například u *HTC Vive Pro*. Všechny informace vyhodnocuje systém sám, jelikož jsou data uložena v úložišti uvnitř náhlavního displeje, proto neobsahuje přípojný kabel. Při používání člověk může sedět, či stát a pohybuje se ve 3D prostředí pouze pomocí joysticku. Nevýhodou je, že diváci nemohou sledovat co se odehrává ve VR a také výdrž baterie je omezujícím činitelem, proto ani tento náhlavní systém nebude zařazen do rozhodovací metody.

	HTC Vive Pro	PlayStation VR	Oculus Rift	Pimax 4K PC VR
Cena HMD [Kč]	22 290	17 490	12 999	9 499
Rozsah [°]	360	360	360	360
Zorné pole [°]	110	100	110	110
Display	AMOLED	OLED	OLED	-
Úhlopříčka ["]	3,5	5,7	3,9	-
Rozlišení [px]	2880 x 1600	1920 X 1080	2160 x 1200	3840 x 2160
Obnovovací frekvence [Hz]	90	120	90	60
Sluchátka	Ano	Ne	Ano	Ano
Rozhraní	USB-C, Bluetooth, DP 1.2	HDMI, USB	HDMI, USB	HDMI, USB
Délka kabelu [m]	5	4,4	4	2,4
Kompatibilita	PC	PS4	PC, Xbox ONE	PC
Zvuk	3D Audio	3D Audio (po připojení sluchátek)	3D Audio	3D Audio
Mikrofon	Ano	Ano	Ne	Ne
Herní plocha [m]	5 x 5	3 x 1,9	2,6 x 1,5	2 x 1,5
Váha [g]	470	600	470	290

Tabulka 5.1 - Parametry HMD systémů

Pro určení vah jednotlivých kritérií byly zvoleny takové parametry, které jsou pro rozhodování nejdůležitější. Každému kritériu bylo přiděleno bodové ohodnocení od 0-100 podle toho, jak jsou důležité. Čím důležitější, tím větší počet bodů (viz Tabulka 5.2).

	Kritérium	HTC Vive Pro	Oculus Rift	Pimax 4K PC VR
Cena HMD [Kč]	K1	30	40	70
Rozlišení [px]	K2	70	50	80
Obnovovací frekvence [Hz]	K3	90	90	50
Úroveň standardizace	K4	100	80	30
Dostupné aplikace	K5	90	70	50
Délka kabelu [m]	K6	90	80	50
Herní plocha [m]	K8	90	50	50
Váha [g]	K9	60	60	80

Tabulka 5.2 - Bodové hodnocení kritérií

Následně dojde k určení váhy jednotlivých kritérií na základě Saatyho bodové stupnice. Preferované kritérium má hodnotu 1, 3, 5, nebo 7 a méně preferované hodnotu převrácenou (viz Tabulka 5.3).

		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K8	K9
Cena HMD [Kč]	K1	1	1/9	1/7	3	1/5	3	1/5	3
Rozlišení [px]	K2	9	1	7	9	7	9	7	9
Obn. Frekvence [Hz]	K3	7	1/7	1	7	7	9	5	3
Úroveň standardizace	K4	1/3	1/9	1/7	1	1/5	3	1/5	3
Dostupné aplikace	K5	5	1/7	1/7	5	1	3	1/5	3
Délka kabelu [m]	K6	1/3	1/9	1/9	1/3	1/3	1	1/5	5
Herní plocha [m]	K8	5	1/7	1/5	5	5	5	1	7
Váha [g]	K9	1/3	1/9	1/3	1/3	1/3	1/5	1/7	1

Tabulka 5.3 - Bodové ohodnocení kritérií

Pro každé kritérium se vypočte geometrický průměr. Posléze se průměry všech kritérií sečtou. Pro určení váhy jednotlivých kritérií se vydělí každý geometrický průměr součtem průměrů. Součet vah musí být roven 1 (viz Tabulka 5.4).

Geometrický průměr	Váha
0,2294	0,0431
3,0000	0,5640
0,3780	0,0711
0,2441	0,0459
0,2528	0,0475
0,2649	0,0498
0,6687	0,1257
0,2813	0,0529
5,3191	1

Tabulka 5.4 - Geometrický průměr a váha

Na základě znalosti vah jednotlivých kritérií dojde k procentuálnímu určení nejvýhodnější varianty náhlavního systému. Ta varianta, která má po vynásobení počtu bodů příslušnou váhou největší procentní podíl je varianta nejlepší (viz Tabulka 5.5).

	Váha	HTC Vive Pro	Oculus Rift	Pimax 4K PC VR
Cena HMD [Kč]	0,04	1,29	1,72	3,02
Rozlišení [px]	0,56	39,48	28,20	45,12
Obnovovací frekvence [Hz]	0,07	6,40	6,40	3,55
Úroveň standardizace	0,05	4,59	3,67	1,38
Dostupné aplikace	0,05	4,28	3,33	2,38
Délka kabelu [m]	0,05	4,48	3,98	2,49
Herní plocha [m]	0,13	11,32	6,29	6,29
Váha [g]	0,05	3,17	3,17	4,23
Σ	1	75 %	57 %	68 %

Tabulka 5.5 - Procentuální hodnocení variant

Z tabulky je vidět, že nejvhodnější variantou dle požadavků na dané parametry je *HTC Vive Pro*.

Pro toto zařízení existuje bezdrátový adaptér *HTC Wireless Adaptor* (viz Obr. 5.1), který se připevní na náhlavní systém a uživatel nemusí mít připojený kabel, který omezuje pohyb při používání. Výdrž baterie je 2,5 hodiny. Cena tohoto zařízení je 8 990,- plus upínací systém za 1 990,-. [75]



Obr. 5.1 - HTC Wireless Adaptor [76]

5.2 Příslušenství

Ve firmě je zakoupený HMD systém HTC Vive, který obsahuje ovladače a snímače neboli základové stanice, které jsou kompatibilní s novější verzí HTC Vive Pro, proto není potřeba je dokupovat. Ke zvážení přichází ovšem trackery (viz Obr. 5.2), které se připojí například na tenisovou pátku, hokejku, či končetiny hráče, a to se projeví ve 3D prostředí jako další snímáný bod. Výdrž baterie je až 6 hodin. Cena trackeru je 3 090,-. [77]



Obr. 5.2 - Tracker na HTC Vive Pro [78]

Další příslušenství, které by přicházelo v úvahu je haptická rukavice *Manus VR Gluv* (viz Obr. 5.3), která je kompatibilní s *HTC Vive Pro* a prohlubuje zážitek z VR. Rukavice je bezdrátová a musí k ní být připevněn *HTC Tracker*, aby byla vidět ve 3D prostředí. Jelikož ještě není rukavice dostupná, není známa ani její cena, proto byla zkontaktována společnost *Manus*, která nacenila rukavice se softwarem okolo 3 000 EUR v přepočtu 80 000,-. [79]



Obr. 5.3 - Manus VR Gluv [26]

Po konzultaci se zaměstnanci CVŘ, s.r.o. bylo dohodnuto, že rukavice nebude nyní zahrnuta do finálního návrhu, jelikož zatím nevidí její využití. Dalším důvodem je složitost jejího naprogramování.

Pro zobrazení toho, co se právě odehrává v náhlavním displeji uživatele, bude pořízena televize, která se umístí na stěnu, aby mohli diváci vše sledovat v přímém přenosu. Po konzultaci byla vybrána televize značky *Samsung*, typ UE55NU7093 s úhlopříčkou 55" za 10 990,- (viz Obr. 5.4). [80]



Obr. 5.4 - Televize Samsung [81]

5.3 Požadavky na PC

Při koupi *HTC Vive Pro* výrobce sám doporučuje parametry, jaké by měl mít počítač, na kterém bude uživatel spouštět VR. Vhodný procesor je Intel® Core™ i5-4590, AMD FX™ 8350, nebo jakýkoliv stejně výkonný, či o něco lepší. Co se týká grafické karty je vhodná NVIDIA® GeForce® GTX 1060, AMD Radeon™ RX480 a podobné. Paměť s minimálně 8 GB RAM a lepší, video výstup s DisplayPortem 1.2 a novější a alespoň jedním USB 3.0 portem. Operační systém Windows® 8.1, nebo za účelem dosažení nejlepších výsledků s duálními předními kamerami výrobce doporučuje Windows® 10. [82]

Firma již zakoupila nový počítač přímo pro VR, kde nyní používají *HTC Vive*, který splňuje všechny parametry potřebné pro spuštění *HTC Vive Pro*, proto není potřeba dokoupit cokoli k počítači zmíněno výše. Co se ale kupovat bude, je druhý monitor pro usnadnění práce na počítači. Byl vybrán polohovatelný monitor značky *Phillips*, typ 328P6VJEB s úhlopříčkou 32" (viz Obr. 5.5). Cena je 10 290,-. [83]



Obr. 5.5 - Monitor Philips [84]

5.4 Vybraný hardware

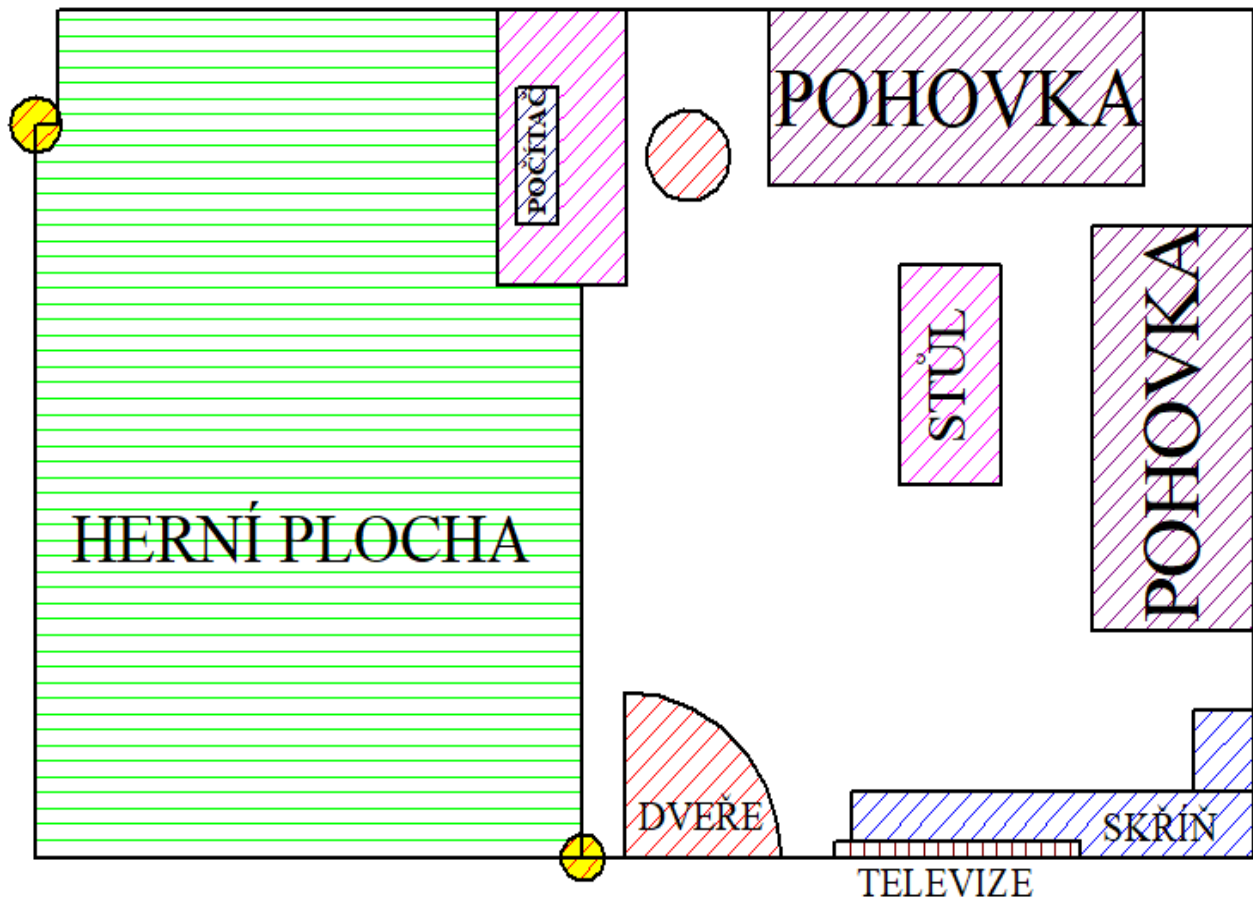
V Tabulka 5.6 je shrnutý seznam navrhovaného hardwaru spolu se softwarem, který by se měl koupit do laboratoře VR. Celková investice činí 91 840,-. Tyto ceny se vztahují ke dni 26.3.2019 získány z internetového obchodu www.alza.cz.

	Cena [Kč]
HTC Vive Pro	22 290
HTC Wireless Adaptor	8 990
Upínání Adaptoru	1 990
Tracker	3 090
Monitor	10 290
Televize	10 990
Unity 3D – Za měsíc	2 850
Za rok	34 200
Celkem	91 840

Tabulka 5.6 - Vybraný hardware + cena

6 Rozložení místnosti

Na základě vybraného hardwaru dojde k návrhu laboratoře, co se rozmístění jednotlivých komponent týká. V místnosti bude náhlavní systém spolu s ovladači a všemi potřebnými zařízeními, počítač spolu se dvěma monitory pro snazší programování 3D prostředí a stolem se židlí. Skříň, kde bude uloženo zařízení, když se nebude používat, dvě pohovky pro diváky spolu s konferenčním stolem a televizí umístěnou na stěně (viz Obr. 6.1). Návrh místnosti ve 3D byl vytvořen v programu *Sweet Home 3D* (viz Obr. 6.2, Obr. 6.3, Obr. 6.4, Obr. 6.5).



Obr. 6.1 - Návrh rozložení místnosti



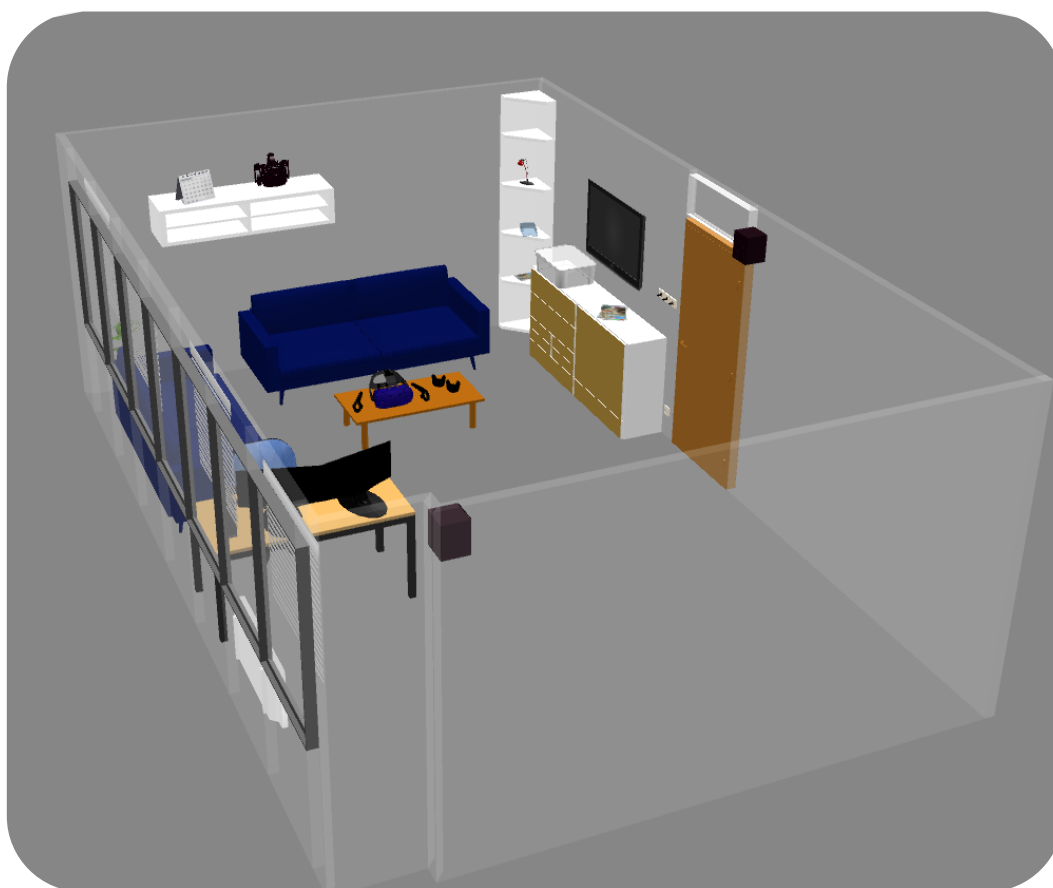
Obr. 6.2 - 3D návrh místnosti – pohled 1



Obr. 6.3 - 3D návrh místnosti - pohled 2



Obr. 6.4 - 3D návrh místnosti - pohled 3



Obr. 6.5 - 3D návrh místnosti - pohled 4

7 Zhodnocení přínosů laboratoře

Tato místnost je navržena tak, aby sloužila pro CVŘ, s.r.o. jako laboratoř, ve které bude používaná VR jako prostředek pro simulaci činností prováděných v prostředí se zdroji ionizujícího záření a dalších časově nebo prostředím náročných aplikací. Zaměstnanci zde budou sami vytvářet daná prostředí pomocí programu *Unity3D*, která budou následně promítána v náhlavním systému *HTC Vive Pro*. Člověk, který bude zrovna náhlavní systém používat, se bude moci pohybovat buďto fyzicky, či teleportem pomocí tlačítek na ovládacích zařízeních rovněž od *HTC*. Výhodou *HTC Wireless Adaptoru* je, že neobsahuje žádný přípojný kabel, a tudíž není pohyb po místnosti nijak omezen. Vše, co uživatel uvidí v náhlavním systému bude promítáno divákům v televizi, která je součástí laboratoře. Hlavním přínosem je umožnění ostrého provozu tréninků, které zrychlí pracovní postupy, které jsou prováděny v reálném prostředí elektrárny, protože si zde budou zaměstnanci opakovaně trénovat tyto činnosti. Dále dojde k vytvoření virtuálních prohlídek a zpřístupnění rizikových prostor, kam se člověk normálně nedostane a bude umožněno jejich bližší prozkoumání. Důležité je, že člověk nebude vystaven žádnému nebezpečí z ozáření, což byl základní důvod pro vznik této laboratoře.

Nevýhody

Mezi zásadní nevýhody spojené s VR je tzv. *cybersickness* (nevolnost z VR), která vzniká právě při jejím používání, nebo až po. Člověk je vtažen do virtuálního 3D prostředí, kdy nevnímá reálný svět kolem sebe, ale jen to, co se odehrává v náhlavním displeji. Díky danému stupni imerze, který HMD nabízí, dojde k oklamání lidských smyslů. To může způsobit u uživatele bolest hlavy, únavu očí, nevolnost, či mdloby. Tomu přispívá latence, barvy a osvětlení, které neodpovídají realitě. [85]

Vestibulární systém je zodpovědný za rovnováhu lidského těla a pohyb, pokud ale nedostane žádné vstupy, které vizuální systém naopak dostane, dojde k oklamání lidských smyslů a člověk má pocit, že se pohybuje. Může to vést k tomu, že začne padat na zem. Většinou se jedná o případ, kdy se uživatel ve virtuálním prostředí pohybuje, ale v reálném světě stojí na místě. Tento jev se nazývá *vekce*. [85]

Další nevýhodou může být doba vytváření daného prostředí v novém SW, kdy se v něm bude programátor teprve učit a objevovat jeho funkce. Při samotném vytváření se mohou vyskytnout překážky, které budou bránit vytvoření požadovaného prostředí.

Rozměry místnosti a její vybavení mohou být také omezujícím faktorem, jelikož může dojít k tomu, že během užívání VR může uživatel při pohybu narazit do stěn, či stolu, který se zde nachází.

Závěr

Na základě požadavku od společnosti Centrum výzkumu Řež, s.r.o. byla zhotovena tato bakalářská práce, která se věnuje návrhu vybavení laboratoře pro virtuální realitu. Společnost se zabývá aplikovaným výzkumem, vývojem a inovacemi v oblasti energetiky. Je dceřinou společností Ústavu jaderného výzkumu, a. s.

Požadavkem bylo navrhnout celkové uspořádání místnosti spolu se systémem pro VR, která bude sloužit pro trénink zaměstnanců společnosti, kteří přichází do kontaktu s vysoce radioaktivním materiálem. Tento materiál se nachází v uzavřených, izolovaných prostorech, kde je vytyčeno kontrolované pásmo, ve kterém mohou pracovat pouze radiační pracovníci. Tyto prostory jsou vytvořené pomocí enginu sloužící pro VR, kde se vkládají modely zařízení vytvořené ve 3D CAD systému, kterými jsou například horké komory. V těchto prostorech dochází k měření, údržbě strojů a nástrojů, nebo k odebrání vzorků na různé pokusy.

Nejprve došlo k podrobnému popisu VR jako takové, princip, její počátky a postupný vývoj až do současné doby a její využití. Důležité bylo zmínit jaký hardware se pro VR používá a jeho popis. Patří sem hlavně brýle a náhlavní displeje, snímače pohybu podporované různými trackovacími zařízeními a další příslušenství. Také byly představeny již existující zařízení. K tomu bezpochyby patří software ve kterém se vytváří prostředí VR podporován pluginy, které rozšiřují možnosti samotného enginu. Důležitá je také interakce hardwaru a softwaru a míra imerze, které lze dosáhnout při používání VR.

V další části došlo k popisu jaderné energetiky z toho důvodu, že je společnost centrem pro výzkum a vývoj v tomto odvětví. Došlo k popisu jednotlivých prostor jaderné elektrárny, a to převážně těch, které budou simulované právě ve VR a kde bude docházet k tréninku zaměstnanců společnosti. Mezi tato prostředí patří horké komory, fúzní reaktor, či kontrolovaná pásma. S tím je spojené nebezpečí, které tkví v materiálu zde uchovávaném, jelikož je vysoce radioaktivní a vyzařuje ionizující záření.

Po seznámení se s hlavními tématy práce došlo k sepsání požadavků od společnosti na samostatnou místnost z hlediska hardwaru a celkového vybavení. Ve specifikaci byl ukázán současný stav místnosti spolu s jejím dosavadním vybavením doprovázeno fotkami.

Při výběru samotné varianty byly porovnány 4 nejvíce používané zařízení pro VR v současnosti dostupné na trhu. Díky Saatyho rozhodovací metodě a parametrech jednotlivých HMD byla zvolena varianta *HTC Vive Pro*. Tento náhlavní systém umožňuje i bezdrátové použití ke kterému se musí dokoupit adaptér. Na základě toho byl vybrán kompatibilní software. Ve společnosti si přáli i další trackovací zařízení, druhý monitor pro snazší programování a orientaci při vytváření prostředí a televizi na které se bude promítat divákům to, co vidí uživatel v náhlavním systému. Na základě toho vznikl finální rozpočet projektu, který se předloží vedení společnosti ke schválení.

Na závěr byl vytvořen návrh rozložení místnosti, co se nábytku a ostatních komponent týká. Pro lepší představu je uveden jak náčrt v půdorysném pohledu, tak 3D zobrazení místnosti pomocí programu *Sweet Home 3D*. Došlo také k shrnutí a zhodnocení přínosů laboratoře pro centrum a případné nevýhody. Mezi hlavní přínosy patří nacvičení a zrychlení pracovních postupů, zpřístupnění těžko dostupných míst elektráren pomocí 3D modelů a hlavně zabránění nebezpečí z ozáření ionizujícím materiálem, který se ve VR nenachází.

8 Seznam použité literatury

- [1] Virtuální realita [online]. [cit. 2018-9-29]. Dostupné z: https://wikisofia.cz/wiki/Virtu%C3%A1ln%C3%AD_realita.
- [2] Virtual reality [online]. [cit. 2018-9-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality.
- [3] Avatar computing [online]. [cit. 2018-9-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Avatar_%28computing%29.
- [4] Avatar [online]. [cit. 2018-9-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Avatar>.
- [5] HOŘEJŠÍ, Petr a Tomáš GÖRNER. Virtuální realita v prostředí DP [e-book]. Plzeň, ZČU: ŽIVDIG, 2013..
- [6] M. LAVALLE, Steven. Virtual Reality. Cambridge University Press, 2017.
- [7] Aspen Movie Map [online]. [cit. 2018-10-1]. Dostupné z: <http://www.virtual-reality-in-tourism.com/overview-history/>.
- [8] The Cave [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment.
- [9] Datová rukavice [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16915852>.
- [10] Sega VR [online]. [cit. 2018-10-1]. Dostupné z: <http://www.groundpunch.com/feature/the-evolution-of-gaming-vr/>.
- [11] Virtual Boy [online]. [cit. 2018-10-1]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Boy.
- [12] Oculus Rift [online]. [cit. 2018-10-1]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift.
- [13] HTC Vive [online]. [cit. 2018-9-5]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/HTC_Vive.
- [14] HTC Vive s ovladači [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71oPa3WRXXL._SX466_.jpg.
- [15] PlayStation VR [online]. [cit. 2018-9-3]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/PlayStation_VR.
- [16] Hardware [online]. [cit. 2018-9-20]. Dostupné z: <https://www.arecenze.cz/bryle-pro-virtualni-realitu/>.
- [17] Brýle pro VR [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://samsungmagazine.eu/2018/04/09/recenze-vr-box-nejlevnejsi-zpusob-jak-vstoupit-do-sveta-virtualni-reality/gallery/28498,28497,28503,28498,28500,28502,28501,28499,28504/#scrollto600>.

- [18] Headset [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://www.virtualliving.io/wp-content/uploads/2017/10/VR-headset-iPhone.jpg>.
- [19] Magnetometr [online]. [cit. 2018-9-6]. Dostupné z: <https://mobilizujeme.cz/clanky/magnetometr-nova-technologie-pro-mobilni-telefony>.
- [20] Senzory [online]. [cit. 2018-9-23]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/techbox-vas-telefon-je-prospikovany-senzory-12496>.
- [21] OLED [online]. [cit. 2018-9-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/OLED>.
- [22] Google display [online]. [cit. 2018-9-24]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/circuitbreaker/2018/5/23/17383990/google-lg-vr-display-high-res-headsets>.
- [23] Virtuální rukavice [online]. [cit. 2018-9-24]. Dostupné z: <https://www.6dhub.cz/virtualni-realita/virtualni-realita/rukavice-pro-virtualni-realitu-umozni-nevidomym-poprve-videt'-krasy-umeni/>.
- [24] Gloveone [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Ruben_Garcia_Hernandez/publication/297760223/figure/fig6/AS:338521748459527@1457721282320/The-Leap-Motion-left-the-Myo-centre-and-the-Glove-One-right.png.
- [25] Exoskeletonová rukavice [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/dexmo-rukavice-diky-niz-ucitime-virtualni-realitu/42945/img/body-0.AA60.jpg>.
- [26] Otevřená rukavice [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://cdn2.digitalartsonline.co.uk/cmsdata/features/3657625/noitom-hi5-vr-glove-social.jpg>.
- [27] VR Gluv [online]. [cit. 2018-10-3]. Dostupné z: <https://vrgluev.com/>.
- [28] Gluv [online]. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/2wCEAAkGBxAO Dw8PDw8PDw4PDxAPDxAPDxANDRAQFRUWFhUVFRUYHSggGBolHRUVIT liJykrLi4uFx8zODMtNygtLisBCgoKDg0OFQ8QFi0dGB0tKy0tLSsrLS0tLS0tLS0tLS03LS0rLS0tKysrKy0rLS>.
- [29] HTC Controller [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://i1.wp.com/tekshanghai.com/wp-content/uploads/2018/02/HTC-Vive-Pict-2.png?resize=600%2C600&ssl=1>.
- [30] Move Motion Controller [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://www.progamingshop.sk/images/data/product/sony-playstation-move-twin-pack-356046.jpg>.
- [31] Oculus Touch [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://www.polygon.com/2016/8/22/12586212/oculus-touch-impressions>.
- [32] Zaměřovací ovladač [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://cdn.nay.sk/images/img-1100/1/881221.jpg>.

- [33] HTC Vive Tracker [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://image.internetcom.jp/upload/20170327/images/tracker1.jpg>.
- [34] Trackovací oblek [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: <https://cdn.alza.cz/ImgW.ashx?fd=f3&cd=TSsuit01>.
- [35] Virtuix Omni [online]. [cit. 2019-1-21]. Dostupné z: <https://www.virtuix.com/product/virtuix-omni/>.
- [36] Green Screen [online]. [cit. 2018-11-6]. Dostupné z: <https://software.intel.com/en-us/articles/sharing-vr-through-green-screen-mixed-reality-video>.
- [37] Google Cardboard [online]. [cit. 2019-2-2]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/google-cardboard-virtualni-realita/>.
- [38] VR Box [online]. [cit. 2019-2-2]. Dostupné z: <https://img2.hyperinzerce.cz/x-cz/inz/11977/11977537-vr-box-bryle-virtualni-realita-cardboard-ovladac-1.jpg>.
- [39] Samsung Gear VR [online]. [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: <data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAAD/2wCEAAkGBxITEhUTEbMVFRlXGBYFhUXFxcXFhYXFhcXFxcYFxcYHSggHRolGxcYITEhJSkrMC4uFyIzOD8sNygtLisBCgoKDg0OFw8QFy0dFw0tLS0tLS0rLS0tLS0tLS0rLS0tKy0rKy0rLTc>.
- [40] Nejprodávanejší VR systémy [online]. [cit. 2019-2-2]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/best-of/vr-ar/best-pc-vr-headset-tethered-vr/>.
- [41] Pimax 4K [online]. [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://li8.rightinthebox.com/images/384x384/201712/wcivlz1513826552203.jpg>.
- [42] Asus Windows Mixed Reality [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/31jZYugvllL._SX425_.jpg.
- [43] Oculus Go [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: https://techgearlab-mvnab3pwrvp3t0.stackpathdns.com/photos/15/27/274244_10632_L2.jpg.
- [44] Software [online]. [cit. 2018-11-14]. Dostupné z: <https://windowsreport.com/virtual-reality-software-pc/>.
- [45] Steam VR [online]. [cit. 2018-12-4]. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/about/>.
- [46] VRML [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/vrml-jazyk-pro-popis-virtualni-realit/>.
- [47] Unity3D [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://tvorbaher.cz/unity-je-profesionalni-engine-pro-tvorbu-her-na-vsech-platformach-stazeni/>.
- [48] Unreal Engine [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>.
- [49] Lumberyard [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/lumberyard/>.
- [50] Plugin [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/jargon/p/plugin.htm>.

- [51] MiddleVR [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z:
<https://www.middlevr.com/middlevr-for-unity/>.
- [52] GetReal3D [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z:
<https://www.mechdyne.com/software.aspx?name=getReal3D+for+Unity>.
- [53] Rendrování [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Renderov%C3%A1n%C3%AD>.
- [54] Motion Capture [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Motion_capture.
- [55] PMD Senzor [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z:
<https://automatizace.hw.cz/clanek/2006070301>.
- [56] VR Imerze [online]. [cit. 2018-11-14]. Dostupné z:
<https://www.realitytechnologies.com/virtual-reality/>.
- [57] Použití VR [online]. [cit. 2018-9-25]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Applications_of_VR.
- [58] Letecký simulátor [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS7IFFRu8KRHus_u41wG0ul4qmf2hhXtZb_b2B7SWvcij2cHQp5x1g.
- [59] VR v lékařství [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <https://m.systemonline.cz/it-pro-verejny-sektor-a-zdravotnictvi/virtualni-realita-nasla-vyuziti-i-ve-studiu-mediciny.htm>.
- [60] Galaxy Water Slide [online]. [cit. 2018-9-2]. Dostupné z: <https://www.therme-erding.de/en/wavepool-slides/galaxy-water-slide-world/virtual-reality-slides/>.
- [61] Posttraumatická stresová porucha [online]. [cit. 2018-9-25]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Posttraumatick%C3%A1_stresov%C3%A1_porucha.
- [62] VR Therapy [online]. [cit. 2018-9-25]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality_therapy.
- [63] Touching Masterpieces [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z:
<https://www.neurodigital.es/experience/touching-masterpieces/>.
- [64] Jaderná energetika [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z:
<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika.html>.
- [65] Nebezpečí JE [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z:
<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k34.htm>.
- [66] Jaderná elektrárna [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z:
https://theses.cz/id/0oy72i/downloadPraceContent_adipIdno_7298.
- [67] Fúzní reaktor [online]. [cit. 2019-2-2]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak>.
- [68] Horká komora [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z:
<https://docplayer.cz/16268234-Horka-komora-hlavni-vyhody-ucel-popis.html>.

- [69] Kontrolované pásmo [online]. [cit. 2018-12-2]. Dostupné z: https://www.bozpprofi.cz/33/kontrolovana-pasma-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ep_FUjZLTuw8Bzk81--3XC8/.
- [70] Radioaktivita [online]. [cit. 2018-12-1]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radioaktivita>.
- [71] Nemoci z ozáření [online]. [cit. 2018-12-1]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Akutn%C3%AD_radia%C4%8Dn%C3%AD_syndrom.
- [72] Godot Engine [online]. [cit. 2019-2-2]. Dostupné z: <https://godotengine.org/article/godot-3-vr-and-ar-support>.
- [73] Unity 3D Official [online]. [cit. 2019-2-9]. Dostupné z: https://store.unity.com/products/unity-pro?_ga=2.19515194.340953407.1549728178-89699491.1542205430.
- [74] Unity3D vs. Godot [online]. [cit. 2019-3-16]. Dostupné z: https://www.slant.co/versus/1047/1068/~unity_vs_godot.
- [75] HTC Wireless adaptor [online]. [cit. 2019-3-3]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/gaming/htc-wireless-adaptor-d5447607.htm>.
- [76] HTC Vive Pro Wireless adaptor [online]. [cit. 2019-3-18]. Dostupné z: https://pctuning.tyden.cz/ilustrace3/obermaier/htc_vive_pro_wireless/DmVS1i5V4AAgaJl.jpg.
- [77] Tracker [online]. [cit. 2019-3-3]. Dostupné z: <https://www.vive.com/us/VR-rebuff-reality-trackstrap-trackbelt/>.
- [78] Tracker strap [online]. [cit. 2019-4-13]. Dostupné z: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61C%2BSE2sEeL._SX569_.jpg.
- [79] Manus VR Gluv [online]. [cit. 2019-3-3]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/blog/getting-hands-on-with-vr-gloves/>.
- [80] Alza [online]. [cit. 2019-3-26]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/55-samsung-ue55nu7093-d5477568.htm>.
- [81] Televize Samsung [online]. [cit. 2019-4-10]. Dostupné z: <data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/2wCEAAkGBw0PDw8NDQ0NDQ0NDQ0ODQ0NDxANDw0NFREWFhURFRUYHSggGBonGxMVI TEhJSkrLjM6FyEzODMsNygtLisBCgoKDQ0NDg0NDi0ZFRkrNystKy0tLSsrKysr KysrKysrNysrKysrKys>.
- [82] HTC Vive Pro [online]. [cit. 2019-3-14]. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro-full-kit/>.
- [83] Alza - Monitor [online]. [cit. 2019-3-26]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/32-philips-328p6vjeb-d4426744.htm>.
- [84] Monitor PHILIPS [online]. [cit. 2019-4-9]. Dostupné z: <data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/2wCEAAkGBxIQEA8PDw0QDw8PEA8PDw8QDQ8PDxAPFREWFhYSFhUYHSggGBomGxUVITEh>

JSkLi4uFx8zODMtNygLisBCgoKDQ0NFQ4PFS0ZHxk3Mi03KystKy03KysrOCs
3Kys3Ny4rKysrKzc3K.

- [85] Cybersickness [online]. [cit. 2019-5-11]. Dostupné z:
<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201802091218.pdf>.