



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

Vizualizace modelu ve virtuální realitě

Model visualization in virtual reality

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Samuel Lukačovič

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Hůlka

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Samuel Lukačovič**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Hůlka**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vizualizace modelu ve virtuální realitě

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta bude nejprve stručné zhodnocení dostupných engineů pro VR. Ve vhodně zvoleném prostředí pak vytvoří adekvátní model, který bude doplněn o aktivní a interaktivní prvky a otestuje ho na reálném VR headsetu.

Cíle bakalářské práce:

Stručná rešerše problematiky.

Vytvoření adekvátního VR modelu s aktivními a interaktivními prvky.

Otestování funkčnosti na reálném zařízení.

Seznam doporučené literatury:

WANG, S., MAO, Z., ZENG, C., GONG, H., LI, S. and CHEN, B.: A new method of virtual reality based on Unity3D, 2010 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, 2010, pp. 1-5.

TRENHOLME, D., SMITH, S.P.: Computer game engines for developing first-person virtual environments, Virtual Reality (2008) 12: 181.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá pojmom virtuálna realita, jeho históriou, využitím a možným technologickým spracovaním. Následne sa zameria na typ softvéru nazývaný herný engine. Bližšie bude popísaná jeho funkcia, historický vývoj a rôzne typy herných enginov. Praktická časť práce je zameraná na tvorbu tréningovej simulácie vo virtuálnej realite. Pri jej tvorbe sú využívané charakteristické funkcie vybraného herného enginu, vďaka ktorým je vhodný pre tvorbu tohto typu aplikácií.

ABSTRACT

This thesis is dedicated to a term called virtual reality, its history, applications and possible technological adaptations. Subsequently the focus is going to shift towards a type of software called game engine. The function, historical development and various kinds of game engines are going to be closely described. Practical part of the thesis is going to be focused on making of training simulation in virtual reality. During development the unique features of the chosen game engine, thanks to which this game engine is suitable for creating such applications, are going to be used.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Virtuálna realita, 3D modely, Oculus Quest, SimLab Composer, Tréningová simulácia, Stereoskopické zobrazovanie

KEYWORDS

Virtual reality, 3D models, Oculus Quest, SimLab Composer, Training simulation, Stereoscopic imaging

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

LUKAČOVIČ, Samuel. Vizualizace modelu ve virtuální realitě. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132974>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Tomáš Hůlka.

POĎAKOVANIE

V prvom rade by som sa chcel poďakovať spoločnosti PROXTON Engineering s.r.o. za poskytnutie technologického zázemia pre vypracovanie tejto práce. Veľká vďaka patrí spoločnosti SimLab Soft za technickú podporu a poskytnutie softvéru SimLab Composer. V neposlednom rade by som sa chcel poďakovať aj svojmu vedúcemu práce, Ing. Tomášovi Hůlkovi, za cenné rady pri vypracovaní tejto bakalárskej práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Tomáša Hůlky a s použitím literatúry uvedenej v zozname literatúry.

V Brne dňa 22. 5. 2021

.....

Samuel Lukačovič

OBSAH

1	ÚVOD.....	13
2	VIRTUÁLNA REALITA	15
2.1	Definícia virtuálnej reality	15
2.2	Využitie technológie VR	16
2.3	História VR.....	18
2.3.1	Sensorama.....	18
2.3.2	The Sword of Damocles	19
2.3.3	GROPE	19
2.3.4	VPL DataGlove	20
2.4	Technológie sprostredkovania obrazu vo VR	20
2.4.1	Náhlavný displej (HMD)	20
2.4.2	CAVE	21
2.5	Vstupné zariadenia	22
3	HERNÉ ENGINY	24
3.1	Definícia	24
3.2	História herných enginov.....	24
3.3	Typy herných enginov	25
3.3.1	Core Engine	25
3.3.2	Engine na všeobecné použitie.....	25
3.3.3	Engine so špecifickým zameraním	25
3.4	Prehľad herných enginov.....	26
3.4.1	Unity Engine.....	26
3.4.2	Unreal Engine	26
3.4.3	SimLab Composer	27
4	PRAKTICKÁ ČASŤ	28
4.1	Užívateľské rozhranie.....	28
4.2	Výber a tvorba modelov pre simuláciu.....	29
4.3	Importovanie modelov.....	30
4.4	Tvorba logiky tréningu	31
4.5	Animácie.....	32
4.6	Materiály.....	33
4.7	SimLab VR Viewer	33
4.7.1	Zobrazovanie VR obsahu	34
4.7.2	Pohyb vo VR	34
4.8	Tvorba vlastného tréningového prostredia	35
4.8.1	Tvorba assetov	35
4.8.2	Pracovný postup	36
4.8.3	Problémy spojené s tvorbou	38
5	ZÁVER	41
6	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	43
7	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	47
8	ZOZNAM PRÍLOH.....	49

1 ÚVOD

Koncept virtuální reality začal ako výskum vybranej skupiny profesorov na popredných univerzitách. Postupom času sa dostal tento koncept do povedomia širokej verejnosti a začal byť čoraz dostupnejší, čím sa vývoj tejto technológie rapídne zrýchlil. V dnešnej dobe si nachádza uplatnenie prakticky v každom odvetví ľudskej činnosti.

Práve jedným z využití s veľkým potenciálom je využitie tejto technológie v edukačnom procese. Či už sa jedná o výuku žiakov na školách alebo o školenie ľudí pri rekvalifikačných kurzoch, výučbové simulácie vo virtuálnej realite predstavujú interaktívnejšiu a v mnohých prípadoch aj efektívnejšiu, lacnejšiu a bezpečnejšiu formu vzdelávania. Práve tento fakt je hlavnou motiváciou pre tvorbu tejto práce.

V úvodnej časti práce bude popísaný samotný pojem virtuálna realita. Bližšie sa budeme venovať histórii a možnostiam využitia virtuálnej reality. Následne budú uvedené hlavné spôsoby premietania obrazu, používané pri zobrazovaní virtuálnych scén a ich výhody a nevýhody. Ďalej budú popísané najčastejšie používané vstupné zariadenia pre jednotlivé technológie premietania.

V nasledujúcej kapitole sa bude pojednávať o herných enginoch, ako neoddeliteľnou súčasťou tvorby nielen VR obsahu, ale prakticky všetkých typov hier a počítačom generovaných animácií. Herné enginy poskytujú vývojárom všetky potrebné pomôcky a nástroje potrebné k vytvoreniu simulácií, ktoré nielen že realisticky vyzerajú, ale aj realisticky znejú a dôveryhodne zobrazujú silové pôsobenia medzi jednotlivými objektami. Následne budú bližšie popísané najčastejšie používané herné enginy súčasnosti.

Praktická časť bude zameraná na tvorbu tréningovej simulácie vo virtuálnej realite, za pomoci programu SimLab Composer. Táto simulácia bude vytvorená tak, aby čo najlepšie využila nástroje vybraného enginu. V úvode kapitoly sa zameriame na vývojové prostredie a početné nástroje, ktorými SimLab Composer disponuje. Neskôr bude popísaný spôsob, akým je možné nami vytvorený obsah prezerat' a interagovat' s ním vo virtuálnej realite. V závere kapitoly bude detailne popísaný postup použitý pri tvorbe našej vlastnej simulácie, spolu so samotným pracovným postupom v rámci tréningového programu.

Výsledky tejto práce budú zhrnuté v záverečnej kapitole.

2 VIRTUÁLNA REALITA

Od začiatku 21. storočia bol koncept virtuálnej reality (VR) masívne popularizovaný. V poslednom desaťročí sa preto tento koncept presunul v povedomí verejnosti z prostej kuriozity viditeľnej iba na technologických a herných výstavách, až na bežný spôsob zábavy v mnohých domácnostiach. Podobný vývoj sa dá pozorovať aj v profesionálnej sfére, kde sa čím ďalej tým častejšie uvažuje o prípadnom prínose VR v rozličných odvetviach priemyslu.

2.1 Definícia virtuálnej reality

Z technologického hľadiska sa VR definuje ako typ technológie, ktorá je schopná poskytnúť užívateľovi senzorické zážitky podobné tým v reálnom svete, pomocou počítačom simulovaných vizuálnych, akustických a haptických vnemov [1]. Táto definícia je nanešťastie jednou z mnohých nejednoznačných definícií pre VR. Z tohoto dôvodu sa často pojem VR dáva do súvisu s pojmami teleprezencia alebo kyberpriestor.

Teleprezencia popisuje súbor technológií, ktoré poskytujú užívateľom pocit, že sa nachádzajú na inom reálnom mieste než na akom naozaj sú. Okrem toho môžu mať schopnosť taktiež ovplyvniť daný vzdialený priestor, teda napríklad hýbať objektmi, meniť svoju pozíciu alebo vytvárať zvuky [2]. Za typický príklad sa v dnešnej dobe dá považovať tzv. *FPV drone racing* (závody dronov z pohľadu prvej osoby). Pri tomto športe pretekári ovládajú drony vybavené kamerami, zatiaľ čo majú nasadený VR headset zobrazujúci priamy prenos z týchto kamier.

Termín kyberpriestor bol prvý raz použitý Williamom Gibsonom najprv v jeho krátkom príbehu z roku 1982 *Burning Chrome* a neskôr v sci-fi novele z roku 1984 *Neuromancer*, kde ho popísal ako [3]:

“Konsenzuálna halucinácia prežívaná denne miliardami legitímnych operátorov, v každom národe, deťmi, ktoré sa učia matematické koncepty... grafická reprezentácia dát abstrahovaných z pamäti každého počítača v ľudskom systéme. Nepredstaviteľná komplexnosť. Línia svetla rozprestierajúca sa v ne-priestore mysle, zhluky a konštelácie dát. Ako ustupujúce svetlá veľkomesta...”

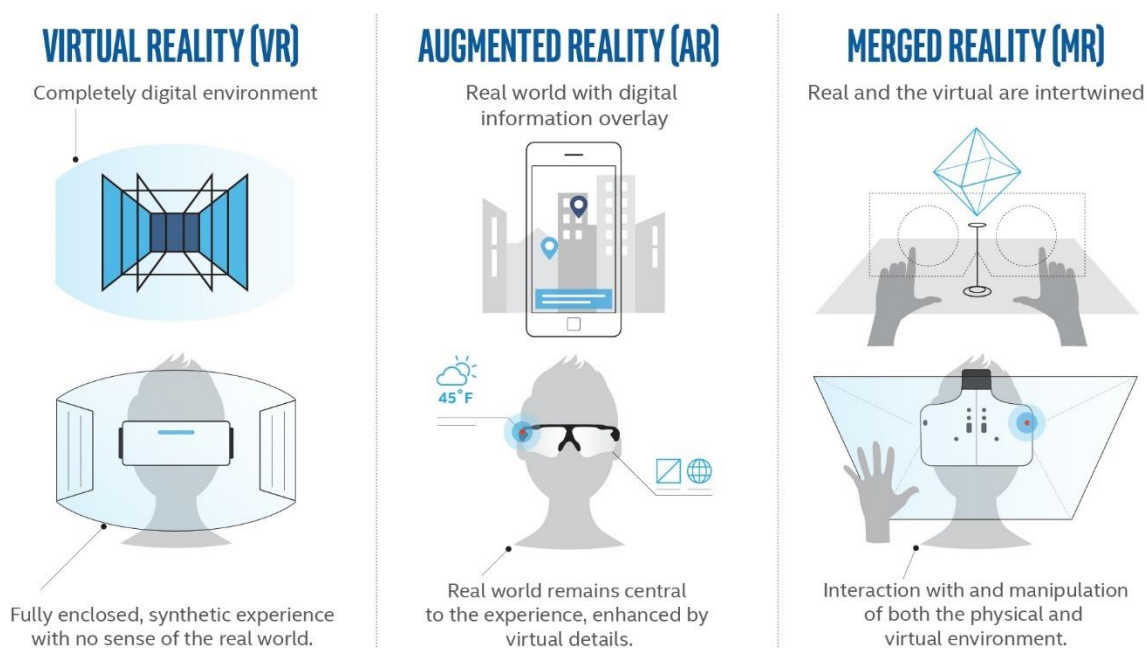
V neskorších rokoch Gibson tento pojem kritizoval slovami vyzývavý a bezvýznamný [4]. Napriek tomu sa v dnešnej dobe často používa na opis rôznych typov virtuálnych rozhraní, ktoré tvoria digitálnu realitu.

Za virtuálnu realitu je často mylne považovaná aj rozšírená realita (skr. AR z angl. *augmented reality*) a zmiešaná realita (skr. MR z angl. *mixed reality*) (obr.1) [5].

Rozšírená realita umožňuje rôznymi spôsobmi umiestňovať virtuálne objekty do reálneho prostredia. Tieto objekty sú viditeľné cez displej smartfónu, tabletu alebo cez špeciálne okuliare pre rozšírenú realitu. Jedná sa teda o zmes počítačom generovaných modelov a skutočného prostredia. Azda najznámejším príkladom takejto technológie je hra *Pokémon GO* určená pre smartfóny a tablety.

Zmiešaná realita alebo taktiež známa ako hybridná realita, je spojením reálneho a virtuálneho sveta za vzniku nových prostredí a vizualizácií. Kľúčovou charakteristikou zmiešanej reality je schopnosť syntetických a reálnych objektov spolu interagovať a navzájom sa v reálnom čase ovplyvňovať. V tomto spočíva taktiež aj hlavný dôvod rozlíšenia MR a AR.

AR, MR a VR sú si v mnohých aspektoch vývoja podobné. Preto sa často označujú spoločným pojmom XR.

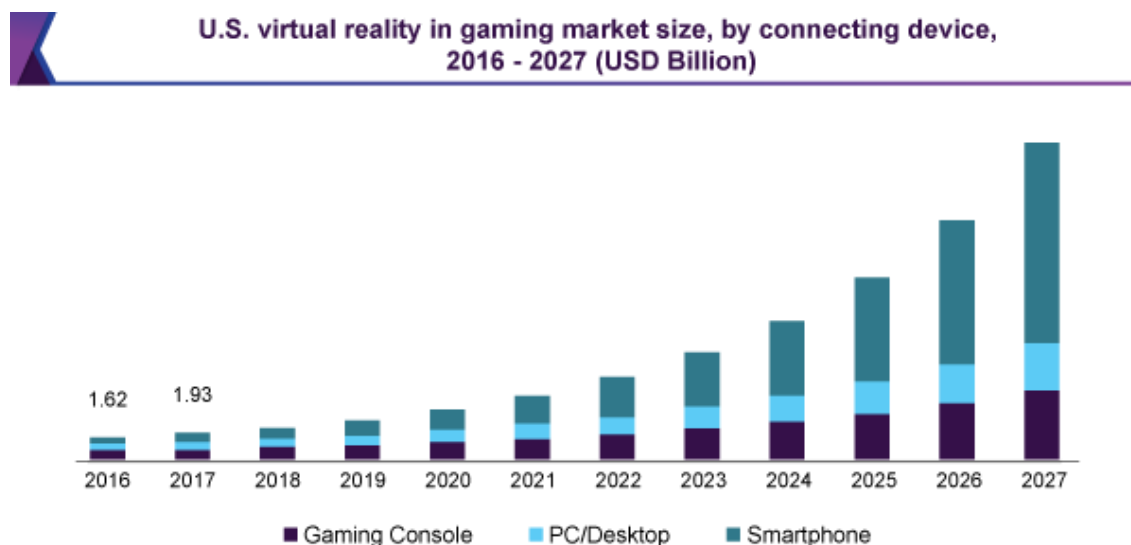


Obr.1: Rozdiely medzi VR, AR a MR [6]

2.2 Využitie technológie VR

VR je možné použiť na podporu skoro každej ľudskej aktivity. Vďaka svojej intuitívnosti ovládania a snahe čo najviac sa priblížiť reálnemu svetu ju dokáže ovládať prakticky každý bez predchádzajúcich skúseností s VR zariadeniami. Z toho dôvodu si VR nachádza čím ďalej tým väčšie uplatnenie v osobných ale aj profesionálnych oblastiach života.

Zrejme najčastejšie je VR používané pri sprostredkovaní obsahu v zábavnom priemysle, ako napríklad pri počítačových hrách alebo 3D kine. Samotný herný priemysel predstavuje enormný potenciál, o čom svedčia výsledky štúdie zaoberajúcej sa s veľkosťou a trendom rastu VR na hernom trhu.(obr.2).



Obr.2: Graf predpokladaného vývoja VR na hernom trhu v USA [7]

V niektorých prípadoch slúžia aj ako vhodný prostriedok pre socializáciu. Ideálnym príkladom je hra VRChat, ktorá umožňuje hráčom pripojiť sa do vyše 25 tisíc rôznych komunitou vytvorených virtuálnych miestností a komunikovať v nich s ostatnými hráčmi, pričom si každý dokáže zvoliť svoj vlastný model postavy [8].

S technológiou VR sa môžeme stretnúť aj v oblasti archeológie. Pomocou virtuálnych modelov je možné dosiahnuť realistickú rekonštrukciu historických miest alebo budov, čo umožňuje archeológom vizuálne sprístupniť výsledky svojho výskumu širokej verejnosti [9].

Už dlhé roky sa využívajú letecké simulátory (obr.3) k výcviku civilných ale aj vojenských pilotov lietadiel. Tento postup je jednoznačne cenovo výhodnejší a bezpečnejší než tréning na skutočných strojoch. Ďalšou výhodou je aj možnosť vystaviť pilotov kritickým situáciám, bez nutnosti podstúpenia akéhokoľvek rizika, čo môže pozitívne ovplyvniť ich rozhodovanie v podobných situáciách v reálnom svete [10].

Podobné využitie sa dá pozorovať nielen v pri výcviku pilotov, ale aj pri zaškoľovaní odbornej obsluhy. Pomocou simulácií vo VR je možné zaškoliť pracovníkov pre potreby každodennej obsluhy, no taktiež pre potreby menej frekventovaných situácií, ako sú napríklad nutnosť servisu alebo výmeny súčiastok. V tejto oblasti využitia sa často hovorí aj o tzv. virtuálnom manuáli. Virtuálny manuál je simulácia vo VR, ktorá slúži okrem výcviku aj na teoretické vzdelávanie. Pracovníci majú možnosť si ich budúce pracovné nástroje prezrieť zblízka, detailne si prezrieť ich jednotlivé súčiastky a zobrazíť si k nim detailné popisy. Týmto sa eliminujú riziká spojené s prípadnou neodbornou manipuláciou stroja, ktorá by mohla mať za následok jeho poškodenie alebo dokonca ohrozenie zdravia spolupracovníkov alebo zákazníkov. Takéto využitie VR technológie taktiež poskytuje aj finančné výhody pre firmy, čo potvrdzuje cenová analýza tréningového programu pre potreby očných operácií, kde zistili úsporu v porovnaní s tradičným tréningovým programom v priebehu 10 rokov až do výšky 100 000 dolárov [11].



Obr.3: Letecký simulátor pre obsluhu Boeingu 737 [10]

2.3 História VR

Nasledovná kapitola a jej podkapitoly boli vytvorené na základe [2].

Za prvý koncept plne interaktívnej a imerzívnej virtuálnej reality sa považuje myšlienka Ivana Sutherlanda z roku 1965: „...nech virtuálny svet v okne vyzerá reálne, znie reálne, je cítiť reálne a realisticky reaguje na užívateľove činy...“ Tento jeho koncept predstavoval definitívne riešenie problematiky VR – umelú konštrukciu sveta, ktorá obsahuje interaktívnu grafiku, haptickú spätnú väzbu, zvuk, vôňu a chuť.

2.3.1 Sensorama

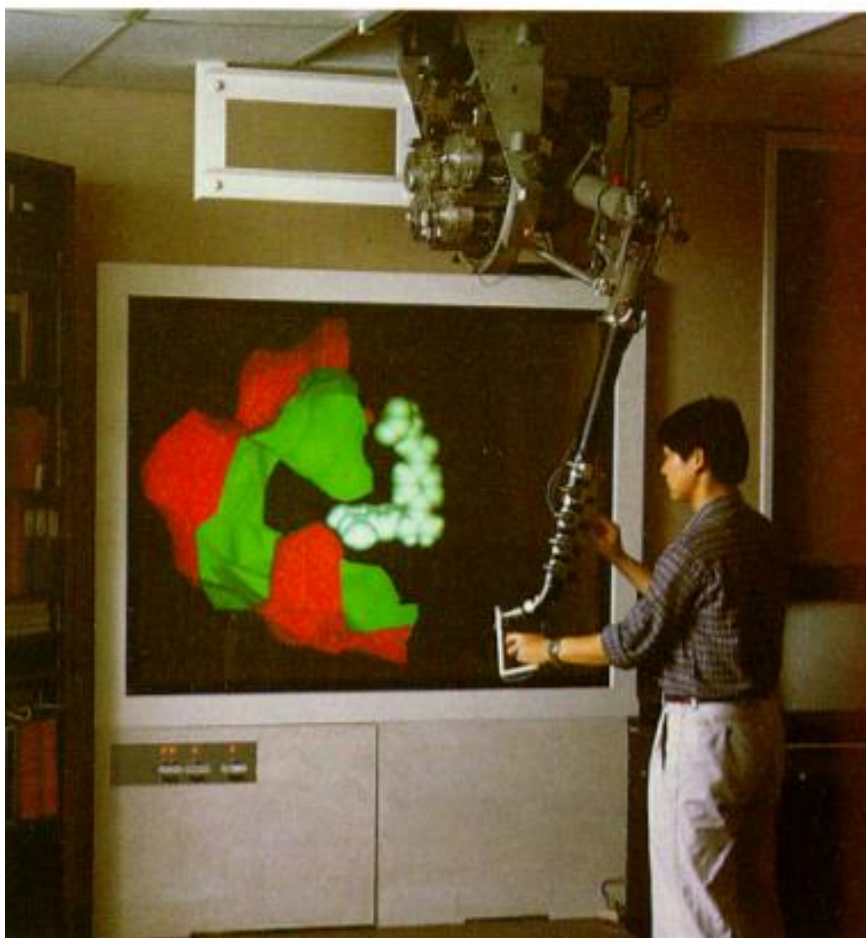
Síce myšlienka Ivana Sutherlanda vznikla v roku 1965, pokusy o vytvorenie technológie, ktorá je schopná sprostredkovať ilúziu virtuálneho prostredia, sa dali pozorovať aj na začiatku 60. rokov 20. storočia. Prvým takýmto zariadením bolo dielo Mortona Heiliga z rokov 1960-1962, pomenované *Sensorama*. Bol to prístroj, ktorý premietal vopred zaznamenaný farebný film a stereo zvuk, doplnený o vôňu, pocit vetra a vibrácie. Táto zmes podnetov mala užívateľovi navodiť ilúziu cesty bicyklom po New Yorku. *Sensorame* ale chýbala možnosť interakcie s premietaným prostredím (komunikovať s okoloidúcimi, meniť smer jazdy).

2.3.2 The Sword of Damocles

The Sword of Damocles (preklad z angl. Damoklov meč) predstavoval prvý systém virtuálnej reality zrealizovaný aj v podobe hardvéru nielen ako koncept. Tento systém bol skonštruovaný v roku 1968 Ivanom Sutherlandom v náväznosti na jeho koncept virtuálnej reality. Damoklov meč bol považovaný za jeden z prvých HMD (Head Mounted Display), čiže náhlavných displejov schopných sledovať pozíciu a orientáciu hlavy užívateľa, a podľa toho upravovať zobrazovaný obraz. Tento typ technológie mal pomerne značnú nevýhodu a to nadmernú hmotnosť. Preto bolo nutné toto náhlavné zariadenie zavesiť o strop.

2.3.3 GROPE

Projekt GROPE bol projekt realizovaný UNC (University of North Carolina) od roku 1967, ktorého cieľom bolo vyvinúť tzv. haptický displej určený na vizualizáciu molekúl a demonštráciu silových pôsobení medzi nimi pomocou haptickej spätnej väzby (obr.4). Podľa oficiálnej správy bolo pozorované dvojnásobné zlepšenie efektivity výukového procesu v porovnaní s čisto grafickým interaktívnym systémom [12].



Obr.4: Haptický systém GROPE-III [12]

2.3.4 VPL DataGlove

Firma VPL Research vyrábala od roku 1985 populárne zariadenie *DataGlove* (preklad z angl. dátová rukavica). Bolo to historicky prvé komerčne dostupné VR zariadenie. DataGlove bol prvotne vyvíjaný ako alternatívne vstupné zariadenie pre počítače, no neskôr si našlo využitie ako súčasť systémov virtuálnej reality. Obsahovalo zhluky optických vlákien, ktoré slúžili na sledovanie pohybu a orientácie ruky. Tieto dáta boli následne prenesené do počítača, aby sa pohyby ruky duplikovali aj vo virtuálnom priestore. DataGlove si našlo široké využitie v hernom priemysle, no aj v profesionálnej sfére, ako napríklad pri vývoji aplikácie Ames od NASA [13].

2.4 Technológie sprostredkovania obrazu vo VR

Síce sa súčasnosti pojem VR spája hlavne s tzv. HMD (Head Mounted Display), čiže s náhlavnými stereoskopickými displejmi, existuje mnoho rozličných spôsobov ako sprostredkovať predstavu virtuálnej reality užívateľom. Každý spôsob zobrazovania má svoju špecifickú oblasť využitia. V nasledujúcich podkapitolách si niektoré z nich priblížime z technologického hľadiska a popíšeme ich výhody a nevýhody oproti ostatným.

2.4.1 Náhlavný displej (HMD)

Technológia HMD je v dnešnej dobe najpoužívanější formou VR technológie, o čom svedčí aj fakt, že väčšina širokej verejnosti si pod slovom VR predstaví práve takéto zariadenie. Jedná sa o technológiu využívajúcu jeden alebo dva stereoskopické displeje (najčastejšie LCD alebo OLED) zabudované v náhlavnej súprave. Zvyčajne obsahujú tieto súpravy aj jednotky schopné merať veličiny spojené s pohybom a polohou, ako sú napríklad rýchlosť, zrýchlenie alebo natočenie, ktoré softvér dokáže následne pretransformovať na relevantné pohyby v rámci virtuálnej reality. Vzhľadom na malú vzdialenosť displejov od očí užívateľa sú požiadavky na rozlíšenie omnoho väčšie než u monitora určeného pre počítače. Preto sa na dosiahnutie plynulého a ostrého zobrazenia používa obnovovacia frekvencia min. 30 Hz a rozlíšenie približne 10-20 pixelov na 1° zorného poľa. Za svoj komerčný úspech vďaka hlavne nízkej cene, dostupnosti a malej veľkosti, čo ich robí ľahko prenosnými.

Oproti ostatným spomenutým zariadeniam si dokážu nájsť HMD uplatnenie prakticky v každej oblasti života. Poskytujú plne imerzívny zážitok a celkovo sú neporovnateľne lacnejšie. S tým je taktiež spojená aj ich dostupnosť na trhu. Existuje mnoho rozličných výrobcov, ktorí poskytujú zariadenia v rôznych cenových a výkonnostných kategóriách.

Za ich hlavný nedostatok sa považuje hlavne menší grafický výkon a zorné pole. Tieto faktory sú spojené s ich samotnou stavbou. Keďže procesor s grafickou kartou

a batériou bývajú obsiahnuté v samotnej náhlavnej súprave, z dôvodu zaručenia možnosti bezdrôtového užívania, sú požiadavky na ich hmotnosť a veľkosť pomerne dosť striktné. Z toho dôvodu sa používajú menšie a tým pádom aj menej výkonné čipy. Ako už bolo spomenuté taktiež hmotnosť hrá v tomto prípade významnú úlohu. Sice sa výrobcovia snažia vyrobiť svoje produkty čo najľahšie, ich hmotnosť je pri približne 500g stále znateľná, následkom čoho boli pri dlhodobom nosení zaznamenané pocity nepohodlia v oblasti krku [14].

2.4.2 CAVE

Cave Automatic Virtual Enviroment alebo v skratke CAVE je technológia predstavená v roku 1992, ako projekt Univerzity v Illinois [2]. Jedná sa o spôsob vyobrazenia VR za pomoci 3-6 stien, ktoré sú usporiadané do tvaru kocky alebo obdĺžnika. Na každú z nich je namierený projektor, ktorý alteruje pri vysokej obnovovacej frekvencii (min. 60Hz) medzi zobrazovaním obrazu pre ľavé a pravé oko, alebo 2 projektory, z nich každý vysiela inak polarizované svetlo.

Tieto dva spôsoby usporiadania sa líšia taktiež typom použitých stereoskopických okuliarov. Pri použití jedného projektoru na jednu stenu sú potrebné tzv. stmievacie okuliare (shutter glasses), ktoré sú zosynchronizované s projektormi tak, aby každé oko videlo jemu predurčený obraz. V druhom prípade sa používajú polarizované okuliare, ktoré ale nevyžadujú synchronizáciu.

Po miestnosti bývajú zvyčajne rozmistené senzory snímajúce polohu okuliarov a na základe týchto dát vysoko výkonné počítače generujú obrazy pre jednotlivé projektory, aby bola docielená vynikajúca predstava priestoru. Na vernom sprostredkovaní virtuálnej reality sa taktiež podieľa skupina precízne usporiadaných reproduktorov produkujúcich priestorový zvuk.

Využitie si CAVE nachádza hlavne na univerzitách ako učebná pomôcka a v strojníckom priemysle na dizajnové štúdie, analýzy ergonómie a rizík, no taktiež na marketingové účely.

V porovnaní s HMD vyniká CAVE svojou presnosťou zobrazenia, väčším zorným poľom a väčším pohodlím pri nosení okuliarov. Na rozdiel od HMD je obraz spracovávaný externými zariadeniami s mnohonásobne výkonnejšími grafickými kartami (Nvidia Quadro a pod.), čo sa samozrejme podpíše na kvalite a plynulosti [15].

No s množstvom hardvéru potrebného na funkciu systému CAVE sa pochopiteľne spájajú aj veľké cenovky. Všeobecne sa cena podobných systémov udáva v desiatkach tisíc dolárov [16]. Z toho dôvodu je dostupnosť tejto technológie obmedzená hlavne na veľké podniky a inštitúcie. Taktiež kvôli veľkému počtu komponentov je CAVE po prvotnom nastavení len ťažko prenosný.

2.5 Vstupné zariadenia

Okrem prezerania si virtuálneho prostredia je žiadúce taktiež s týmto svetom interagovať. Či už sa jedná o pohyb rúk a tela alebo o uchopenie objektu, bolo nutné vymyslieť spôsob, akým túto interakciu bude možné sprostredkovať. Pre tento účel sú používané vstupné zariadenia, ktoré snímajú akcie užívateľa a menia ich na odpovedajúce reakcie v rámci virtuálnej scény.

V prípade HMD, ako už bolo spomenuté, medzi vstupné zariadenia patria gyroskopické a akceleračné snímače vnútri náhlavného displeja, ktoré skúmajú smer a pohyb hlavy nositeľa. Avšak na uchopenie objektov a efektívnejší pohyb je nutné použiť aj iný typ technológie. Z toho dôvodu sa najčastejšie používajú ručné ovládače s páčkami, tlačidlami, joystickom a pohybovými senzormi (obr.5). Zväčša sú tieto ovládače v spojení s náhlavným displejom pomocou rádiových technológií, akými je napríklad Bluetooth.



Obr.5: Zariadenie Oculus Quest s ručnými ovládačmi [17]

Čo sa týka CAVE technológie poznáme viacero typov vstupných zariadení. Na snímanie pozície užívateľa sa používajú senzory umiestnené spravidla v rohoch miestnosti. Pre tento účel sa používajú rôzne typy snímačov od zvyčajných optických, cez magnetické až po ultrazvukové. Práve optické snímače určujú polohu pomocou sledovania guľových značiek pripevnených na stereoskopických okuliároch (obr.6). Na interakciu s objektmi sú podobne ako v prípade HMD používané ovládače, len vybavené podobnými značkami, ako na spomínaných okuliároch.



Obr.6: Stereoskopické okuliare a ovládač so značkami na snímanie pozície [18]

3 HERNÉ ENGINY

3.1 Definícia

Vo všeobecnosti je koncept herného enginu pomerne jednoduchý: je to sada nástrojov, ktorá existuje aby odbremenila vývojárov od bežných úloh spojených s rendrovaním, hernou fyzikou a vstupmi, aby sa mohli efektívnejšie zameriavať na detaily, ktoré robia ich hry unikátne [19].

Herné enginy často ponúkajú opakovane použiteľné komponenty, pomocou ktorých je možné priviesť hru k životu. Zobrazenie, načítanie, detekcia kolízií medzi objektami, fyzika, vstupy, grafické užívateľské rozhranie (z angl. GUI – Graphical User Interface) a dokonca aj časti hernej umelej inteligencie môžu byť komponentami tvoriacimi herný engine, no samotný obsah hry-špecifické modely a textúry, význam vstupov a kolízií objektov a spôsob akým objekty interagujú so svetom, sú komponenty vytvárané vývojármi, ktoré tvoria samotnú hru.

3.2 História herných enginov

V počiatkoch herného priemyslu boli všetky hry vyvíjané pomocou špeciálne navrhnutých rendrovacích enginov prispôbených na tú danú hru. Ako trh pre počítačové hry rástol, tak si mnoho spoločností začalo vyvíjať svoje súkromné herné enginy, ktoré ale mohli byť používané iba *in-house*, čiže v rámci firmy, ktorá ho vyvinula. Až po mnohých rokoch sa na verejnosti začali objavovať programy pripomínajúce dnešné herné enginy. Jedným z prvých príkladov je *Adventure Constuction Set* ,vydaný firmou Electronic Arts v roku 1984 [20].

Samotný pojem game engine sa začal používať až v 90. rokoch 20. storočia, hlavne v súvislosti s vznikom 3D FPS hier (First Person Shooter – strelačka z pohľadu prvej osoby), ako bola napríklad hra *Doom* od firmy id Software. Hra *Doom* mala pomerne dobre izolované hlavné softwarové komponenty od zdrojových súborov pre objekty a prostredie. Takéto rozdelenie viedlo k vzniku k tzv. móderskej komunity (preklad z angl. *mod community*), čiže komunity vývojárov, ktorí upravovaním už existujúcich hier nástrojmi poskytnutými pôvodnými vývojármi vytvárali nové modely, mapy, herné módy až úplne nové hry. Mnohé spoločnosti spozorovali potenciál v licencovaní svojich herných enginov ako vedľajší zdroj príjmov popri vývoji vlastných hier. A tak v nasledujúcich desaťročiach vzniklo mnoho rozličných herných enginov, ako napríklad CryEngine (2004), Source Engine(2005), Unity3D (2005) alebo Unreal Engine (2008). S niektorými z nich sa budeme detailnejšie zaoberať v ďalších kapitolách.

V dnešnej dobe si mnohé enginy našli uplatnenie nielen pri tvorbe hier, ale aj pri tvorbe počítačom generovaných obrazov (CGI) pri produkcii filmov, pri tvorbe architektonických vizualizácií alebo tréningových simulácií.

3.3 Typy herných enginev

Táto kapitola bola spracovaná podľa výskumu Marcusa Toftedahla a Henrika Engströma z univerzity v Skövde [21].

Herné enginey existujú v rôznych variantoch s líšiacim sa množstvom ponúkaných nástrojov a ich zameraním. V nasledujúcich podkapitolách si povieme niečo bližšie o 3 typoch enginev:

- Core Engine
- Engine na všeobecné použitie
- Engine so špecifickým zameraním

3.3.1 Core Engine

Tento pojem predstavuje herný engine bez akýchkoľvek nástrojov na podporu tvorby obsahu. Poskytuje iba základné vymoženosti nutné pre kompiláciu hry pre rozličné platformy, čím sa zaručí ich funkčnosť. Core Engine je vlastne základom každého herného engineu. Keďže sa stará o úlohy akými sú renderovanie, fyzika a umelá inteligencia, sú na Core Engine kladené veľké nároky na optimalizáciu dátových štruktúr a algoritmov. Príkladom tohto typu herného engineu je UnityCore alebo idTech.

3.3.2 Engine na všeobecné použitie

Ako už názov napovedá, jedná sa o herné enginey bez špecifického zamerania. Ich hlavnou výhodou je podpora veľkého počtu platforiem, od zvyčajných operačných systémov až po mobilné zariadenia. Tvorcom hier poskytujú základný balíček nástrojov pre tvorbu skriptov a logiky hry. Sem patria napríklad komponenty starajúce sa o tvorbu základných 3D objektov, pôsobenie gravitácie alebo o upravovanie a písanie skriptov. Do tejto kategórie spadá väčšina najznámejších herných enginev, akými sú napríklad Unity alebo Unreal Engine. Práve s nimi sa budeme zaoberať v budúcich kapitolách, keďže poskytujú podporu pre tvorbu obsahu vo virtuálnej realite a veľkú užívateľskú základňu.

3.3.3 Engine so špecifickým zameraním

Tento typ enginev nieje zväčša dostupný pre verejnosť, keďže sa jedná výhradne o *in-house* herné enginey. Väčšina z nich je vytvorených špecificky pre tvorbu jedného žánra hier. Z toho vyplýva, že sú veľmi dobre optimalizované na záťaž charakteristické pre daný typ hier. Tvorcom ponúkajú okrem tradičných aj špecializované nástroje, ktoré sú limitované iba na daný engine.

Aj dnes si mnohé veľké herné spoločnosti vytvárajú vlastné enginey, keďže to sa im finančne oplatí viac, než platiť licenčné poplatky za enginey od ostatných spoločností. Tým pádom vzniká pomerne veľké množstvo enginev so špecifickým zameraním, ktoré sa pravdepodobne nikdy nedostanú verejnosti do rúk.

3.4 Prehľad herných enginov

3.4.1 Unity Engine

Unity Engine [22], od spoločnosti Unity Technologies, sa v súčasnosti považuje za najuniverzálnejšie vývojové prostredie vďaka svojej schopnosti podporovať viac ako 20 rôznych platforiem. Medzi najznámejšie z nich patrí napríklad Android, Windows, iOS alebo Linux a z pohľadu vývoja XR obsahu poskytuje Unity natívnu podporu pre zariadenia Oculus, Playstation VR, Samsung a mnoho ďalších. Najdominantnejšiu pozíciu má Unity práve v oblasti tvorby mobilných hier, kde je vyše polovica nových hier vytvorená práve pomocou Unity Enginu. Preferovaným programovacím jazykom pre tvorbu skriptov v Unity je pre mnohých vývojárov C#, no podporované sú aj menej používané jazyky ako je tzv. UnityScript a Boo [23]. Vďaka rozsiahlej komunite (približne 1,5 milióna užívateľov mesačne [24]) Unity taktiež poskytuje možnosť nákupu a predaja rôznych zdrojov potrebných pri tvorbe scén, ako sú napríklad textúry, audio, materiály alebo 2D/3D modely, pomocou svojho portálu Unity Asset Store [25].

Cena licencie sa udáva v závislosti od finančného príjmu danej osoby/firmy. Základná verzia pre osobné využitie a pre študentov je poskytovaná zadarmo, no v prípade prekročenia ročného príjmu 100 000 dolárov spojeného s tvorbou obsahu v Unity sa jej tarifná cena pohybuje v rozmedzí od 400 do 1800 dolárov ročne.

3.4.2 Unreal Engine

Unreal Engine [26] od spoločnosti Epic Games je jedným z najpoužívanejších verejne dostupných herných enginov. Síce bol pôvodne vytvorený ako engine pre tvorbu FPS hier, postupným vylepšovaním a vývojom ho bolo možné úspešne použiť aj pri produkcii rozličných typov obsahu od 2D plošinových hier (z angl. *platformer game*) až po animované počítačom generované sekvencie v filmovom priemysle alebo architektúre [27].

Vďaka tomu, že je vytvorený za použitia programovacieho jazyku C++, podporuje mnohé platformy. Tvorba skriptov v Unreal Engine prebieha hlavne v C++, no je možnosť stiahnuť si rozšírenia umožňujúce programovanie v jazyku Python a JavaScript. Alternatívou k uvedeným programovacím jazykom je tzv. *Blueprint scripting*. Jedná sa o typ grafického programovania, pri ktorom sú spájané jednotlivé bloky reprezentujúce komponenty a objekty scény [28].

V dnešnej dobe je najaktuálnejšou verziou Unreal Enginu jeho štvrtá iterácia. Vydanie novej verzie je naplánované na 2. polrok 2021. Unreal Engine 5 sľubuje obrovský pokrok práve pri tvorbe realistických animácií a rendrov, pričom redukuje veľkosti jednotlivých súborov, čo býva stále častejším problémom herných vývojárov [29].

Finančná politika Epic Games je založená na tzv. *royalty* modeli. Unreal Engine je dostupný zadarmo, no Epic Games si účtuje 5% zo zisku nad milión dolárov. Toto pravidlo sa však nevzťahuje na vývojárov, ktorý sa rozhodnú svoj produkt predávať výhradne v Epic Game Store. Pre nich z používania Unreal Engine neplynú žiadne poplatky, no Epic Games získajú 12% z každého nákupu daného produktu [30].

3.4.3 SimLab Composer

Na rozdiel od vyššie spomenutých herných enginov, je SimLab Composer [31] od spoločnosti SimLab Soft prispôsobený tvorbe tréningových programov, simulácií a rendrov pre potreby strojnictva a architektúry. Vďaka tomu je tento engine vybavený schopnosťou importovať 3D modely v natívnych formátoch súborov mnohých známych CAD softvérov, ako sú napríklad Inventor, Solidworks, ale aj RhinoCeros alebo SketchUp. Taktiež umožňuje užívateľom vytvárať väzby medzi objektami (podobne ako v CAD programoch), čím sa docelia plynulé simulácie a animácie bez potreby tvorby komplikovaných skriptov. V prípade explicitnej potreby špecifického skriptu, je možnosť použiť programovacie jazyky Python alebo JavaScript na ich tvorbu .

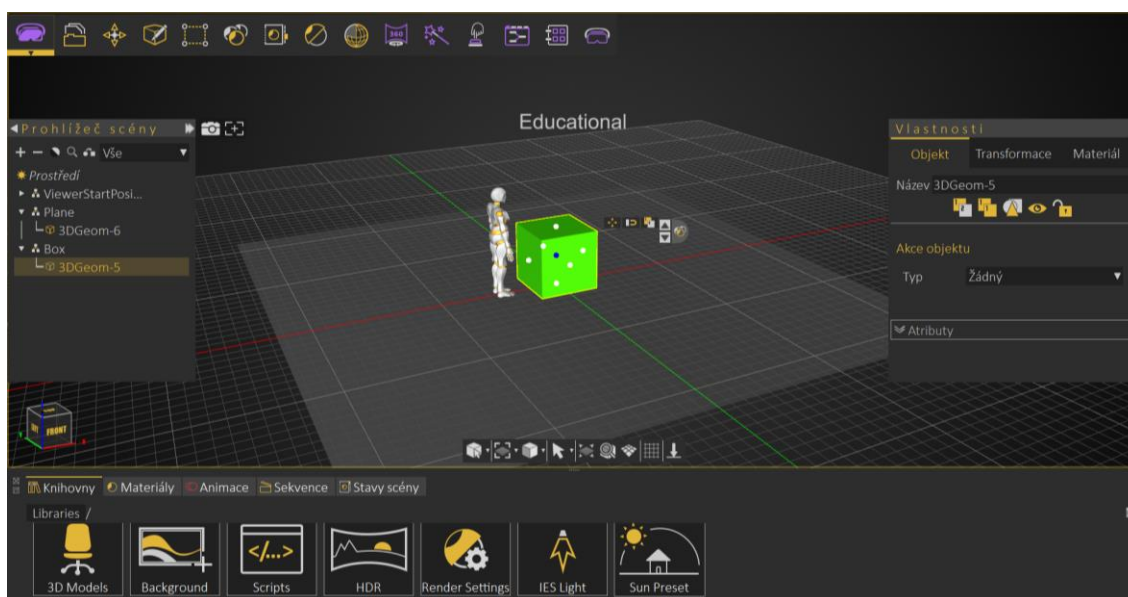
Z pohľadu ceny licencií sa hodnota verzie schopnej tvorby obsahu vo virtuálnej realite rovná 800 dolárov za permanentnú licenciu, no je možnosť získať študentskú verziu zadarmo po zaslaní elektronickej žiadosti.

4 PRAKTICKÁ ČASŤ

Praktická časť sa zaoberá tvorbou tréningového programu na výmenu poškodeného ložiska, ktoré je súčasťou kužeľovej prevodovky a popisu na to zvoleného herného engine. Za použitý herný engine bol zvolený SimLab Composer. Poskytuje totiž najvhodnejšie nástroje pre tvorbu tréningových aplikácií s možnosťou importovať modely v rôznych CAD formátoch. Ročná licencia bola poskytnutá bezplatne spoločnosťou SimLab Soft. Nasledovná kapitola sa bude zameriavať na vývojové prostredie a samotnú tvorbu tréningovej aplikácie. Práca vo VR bola vykonávaná pomocou zariadenia *Oculus Quest*, ktoré bolo poskytnuté spoločnosťou PROXTON Engineering s.r.o.

4.1 Uživatelské rozhranie

Užívateľské rozhranie v SimLab Composer sa primárne skladá z piatich hlavných častí ako je možné vidieť na obr.7.



Obr.7: Uživatelské rozhranie programu SimLab Composer

V ľavom hornom rohu sa nachádza **lišta nástrojov**. Prvé tlačidlo na lište umožňuje prepínať medzi vývojovými prostrediami. V tejto ponuke sa nachádzajú prostredia pre tvorbu pohybových simulácií, animácií, automatizácie a scén vo virtuálnej realite. Štyri ďalšie tlačidlá slúžia na import/export modelov, ich transláciu, rotáciu, či zmenu veľkosti, no taktiež aj zmenu geometrií objektov pomocou booleovských operácií alebo zmenu polohy pivota jednotlivých objektov. Zvyšné tlačidlá označené žltou farbou poskytujú možnosti spojené s grafickým zobrazením modelov ako napríklad voľba modelov a textúr, renderovanie a tzv. pečenie textúr (*texture baking*). Tlačidlá označené

fialovou farbou slúžia na prácu s aktívnymi a interaktívnymi prvkami simulácie, ako aj so samotnou logikou tréningového procesu. Posledné tlačidlo spúšťa vstavaný VR prehliadač, pomocou ktorého je možné spustiť simulácie taktiež na obrazovke počítača ako aj na VR headsete.

Na ľavej strane je umiestnený **prehliadač scény**, v ktorom sú zobrazované komponenty tvoriace scénu a ich vzájomná hierarchia. Pod tým sa rozumejú objekty, svetelné zdroje, zvuky, vizuálne efekty a kamery. Taktiež umožňuje tieto komponenty upravovať kopírovať alebo meniť ich hierarchické zoskupenie.

Na pravej strane sa po označení jedného alebo viacerých objektov zobrazí okno **vlastnosti**, obsahujúce relevantné informácie týkajúce sa pozície objektov a ich pivotov, ich veľkosti a materiálu. V menu „atribúty“ je taktiež možné meniť schopnosť užívateľov uchopiť dané objekty vo virtuálnej realite a ich akcie po interakciách s užívateľom.

V spodnej časti sa nachádza okno **zdrojov scény (assets)**. Obsah tohto okna je rozdelený na 5 kariet. Karta „knihovny“ obsahuje užitočné prefabrikáty, ku ktorým patria mimo iného aj 3D modely pracovných nástrojov (kladivo, skrutkovač, vrtáčka...), stolov alebo rovno celých pracovných scén. Podobne v karte „materiály“ sa nachádza celá paleta rozličných materiálov siahajúcich od kovov až po kvapaliny. Čo sa týka karty „animace“, tá poskytuje tvorcovi scény schopnosť vytvárať plynulé a komplexné animácie viacerých objektov naraz, ktoré je neskôr možné použiť pri tvorbe tréningového procesu. Karty „sekvence“ a „stavy scény“ slúžia na rýchly prístup k vytvoreným animáciám a zaznamenaným stavom scény. Pod pojmom stav scény sa rozumejú zachytené vlastnosti určitých objektov (materiál, translácia, stav kamery...), ktoré sa dajú jednoduchým prenesením na hlavné okno scény ihneď aplikovať na dané objekty.

Poslednou a zároveň najdôležitejšou súčasťou užívateľského rozhrania je **hlavné okno scény**. To poskytuje pohľad na aktuálny stav scény. V spodnej časti tohto okna sa nachádza lišta ovplyvňujúca výber zobrazovacích štýlov (axometria a perspektíva), veľkosť, počet a usporiadanie jednotlivých okien.

4.2 Výber a tvorba modelov pre simuláciu

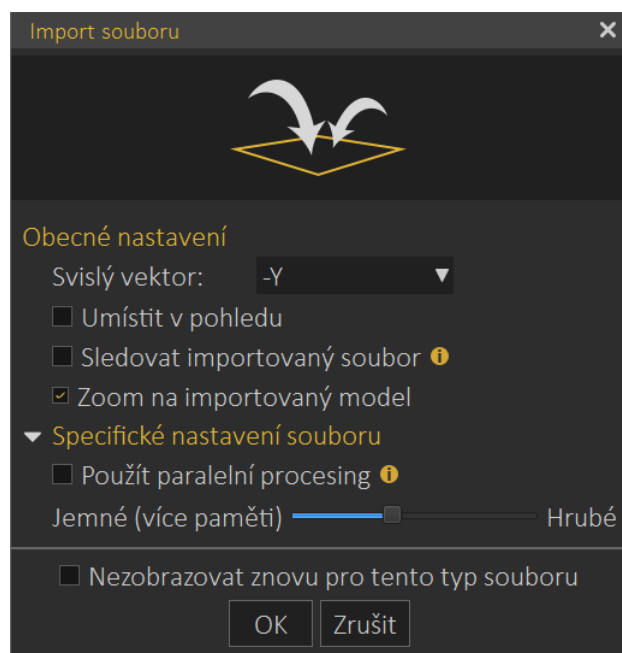
Vzhľadom na početnú komunitu tvorcov 3D modelov na internete a schopnosť vybraného enginu importovať drvivú väčšinu CAD formátov bolo jednoduché nájsť ideálne modely prostredia a vhodnej zostavy na tvorbu tréningovej aplikácie. Modely prostredia boli prevzaté zo stránok spoločnosti SimLab Soft, kde ich poskytujú vo svojich výučbových balíčkoch [32]. Vybrané prostredie sa skladá z pracovného stola s interaktívnou tabuľou a dostatočným osvetlením. Ďalšie modely stolov so zverákmi a odkladacími priestormi už len dotvárajú atmosféru dielne a zároveň výučbového prostredia. Modely pracovných nástrojov kladiva a kľúča boli priamo dostupné v knižnici programu. Sťahovák na ložiská [33] spolu s zostavou samotnej kužeľovej prevodovky [34] boli stiahnuté z portálu GrabCAD.com (obr.8). Zvyšné objekty boli tvorené pomocou základných priestorových tvarov a boolovských operácií medzi nimi.



Obr.8: Model kuželové převodovky

4.3 Importovanie modelov

Ako už bolo spomenuté, SimLab Composer podporuje veľké množstvo CAD formátov. V našom prípade bola väčšina modelov vo formáte .iam (Autodesk Inventor) a .STEP. Po zvolení požadovaného súboru sa otvorí okno na špecifikáciu nastavení importu (obr.9). Užívateľ má možnosť si zvoliť orientáciu, modelu ako aj jemnosť povrchu. SimLab Composer taktiež dokáže sledovať importovaný súbor. To znamená, že ak sa pôvodný CAD súbor aktualizuje, tak sa táto zmena prejaví aj na už importovanom modeli. Tým odpadá nutnosť ho reimportovať a vytvárať nové animácie pri každej zmene dizajnu, čo šetrí veľké množstvo času.



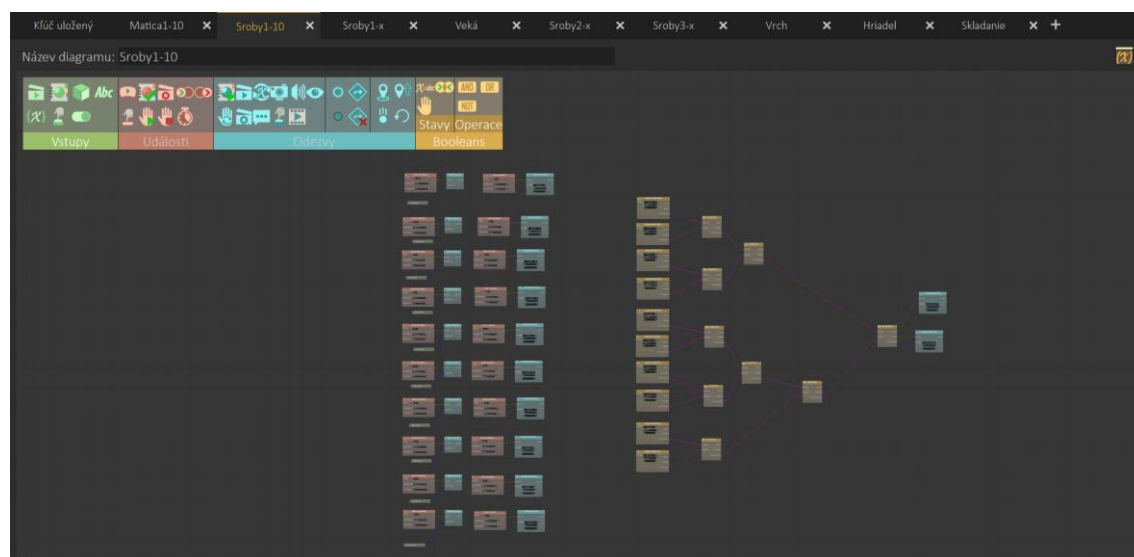
Obr.9: Nastavenia importu súboru formátu .STEP

4.4 Tvorba logiky tréningu

SimLab Composer ponúka užívateľom prostredie pre tvorbu tréningových aplikácií pomocou grafického programovania. Užívateľ v ňom vytvára komplexné algoritmy spájaním jednotlivých uzlov. Toto prostredie je možné vidieť na obr.10.

Pri tvorbe tréningového postupu sú používané uzly (*nodes*) štyroch typov. Tieto typy sú vymenované v ľavom hornom rohu na pracovnej lište. Uzly typu „vstupy“ reprezentujú všetky typy *assetov* a premenných. Spolu s uzlami typu „udalosti“ a „odozvy“ predstavujú základné stavebné bloky každej tréningovej aplikácie. Ako už názov napovedá, uzly typu „udalosti“ súvisia s významnými udalosťami počas chodu simulácie, ako sú napríklad kolízie či uchopenie objektov, no patrí medzi ne aj uzol pre nastavenie omeškania reakcie po tom, ako takáto udalosť nastane. Reakcie na udalosti sú obsiahnuté uzlami typu „odozvy“. SimLab ponúka mnoho typov reakcií simulácie, siahajúcich od translácie objektu a spustenia animácie so zvukom, cez zmeny premenných a viditeľnosti objektov, až po zmenu schopnosti užívateľa uchopiť jednotlivé objekty. V tejto časti sa taktiež nachádzajú možnosti zobrazenia ľubovoľnej správy a zvýraznenia objektu. Posledným typom uzlov sú uzly „boolovské“. Pomocou nich je možné porovnávať jednotlivé premenné, čoho výstupom sú boolovské hodnoty *True* a *False*. Tieto hodnoty môžeme neskôr podrobiť boolovskej konjunkcii (AND), disjunkcii (OR) a negácii (NOT). Výsledky takýchto operácií môžu slúžiť na aktiváciu/deaktiváciu snímania kolízií, alebo ako spúšťače jednotlivých reakcií.

Pri tvorbe tréningových simulácií je jednoduché zahltiť grafické programovacie prostredie veľkým množstvom uzlov a spojení. Z toho dôvodu existuje v SimLabe možnosť vytvoriť si neobmedzený počet oddelených diagramov. To prispieva k lepšej prehľadnosti algoritmu a k zjednodušeniu prípadného riešenia porúch.

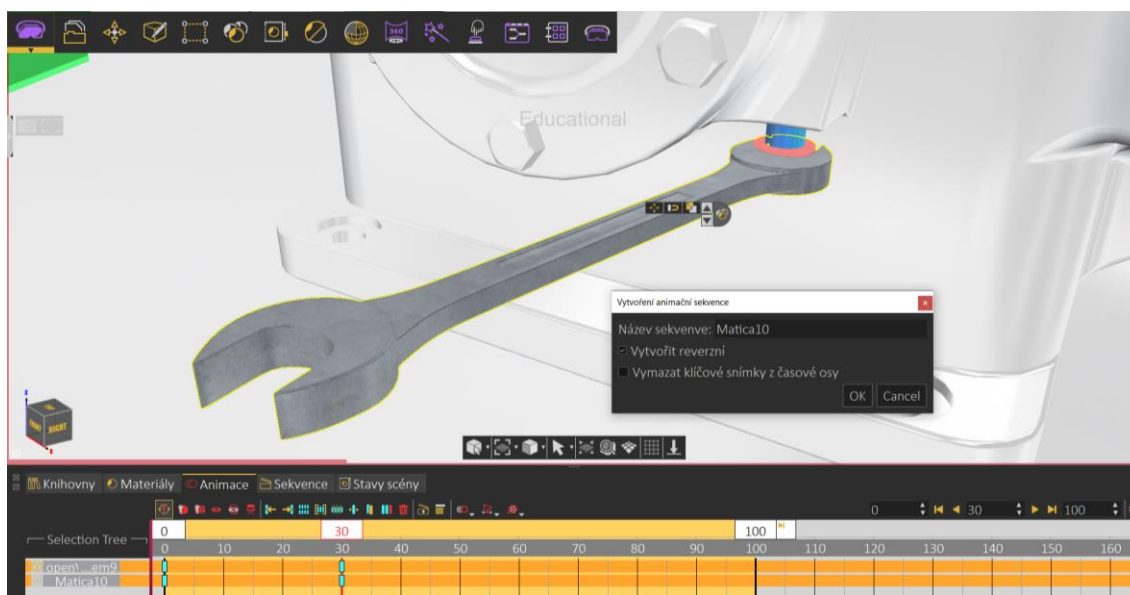


Obr.10: Grafické programovacie prostredie v SimLab Composer

4.5 Animácie

Animácie sú jedným z mnohých aktívnych prvkov virtuálnej reality. Ich zahrnutie v simulácii pracovného procesu ho značne približuje k skutočnej realite. Vytvárajú pocit vykonávania danej činnosti, ktorá má svoj špecifický postup a aj trvanie. Tento pocit je inštrumentálny pri výučbovom procese tréňovaných osôb.

SimLab Composer ponúka pomerne jednoduchý spôsob tvorby plynulých animácií pracovného procesu. Na začiatok je potrebné vybrať objekty, ktorými bude počas animácie hýbané a umiestniť ich do ich počiatočnej pozície. Následne si zvolíme v okne zdrojov scény na karte animácie, trvanie danej animácie prostredníctvom počtu snímkov (*frames*) a presunieme zvolené objekty do ich finálnej pozície. Na osi animácie sa objavili body reprezentujúce kľúčové snímky animácie. V pravom rohu na karte animácie sú tlačidlá, pomocou ktorých je možné vytvorenú animáciu prehrať a skontrolovať, či vyhovuje predstavám. V tomto okamihu stačí už len označiť v okne animácie všetky objekty, pre ktoré chceme animáciu uložiť a stlačiť tlačidlo „vytvoriť animačnú sekvenciu“. Následne sa otvorí okno, na ktorom sa dá animačnú sekvenciu pomenovať a zvoliť si, či sa vytvorí aj druhá – reverzná animačná sekvencia. V prípade zobrazenom na obr.11 je táto možnosť vítaná, keďže sa jedná o uvoľňovanie matice, ktorú neskôr bude nutné znovu pritiahnuť. Vytvorené animácie sa ukladajú do karty sekvencie, kde je možné si ich spustiť a upravovať.



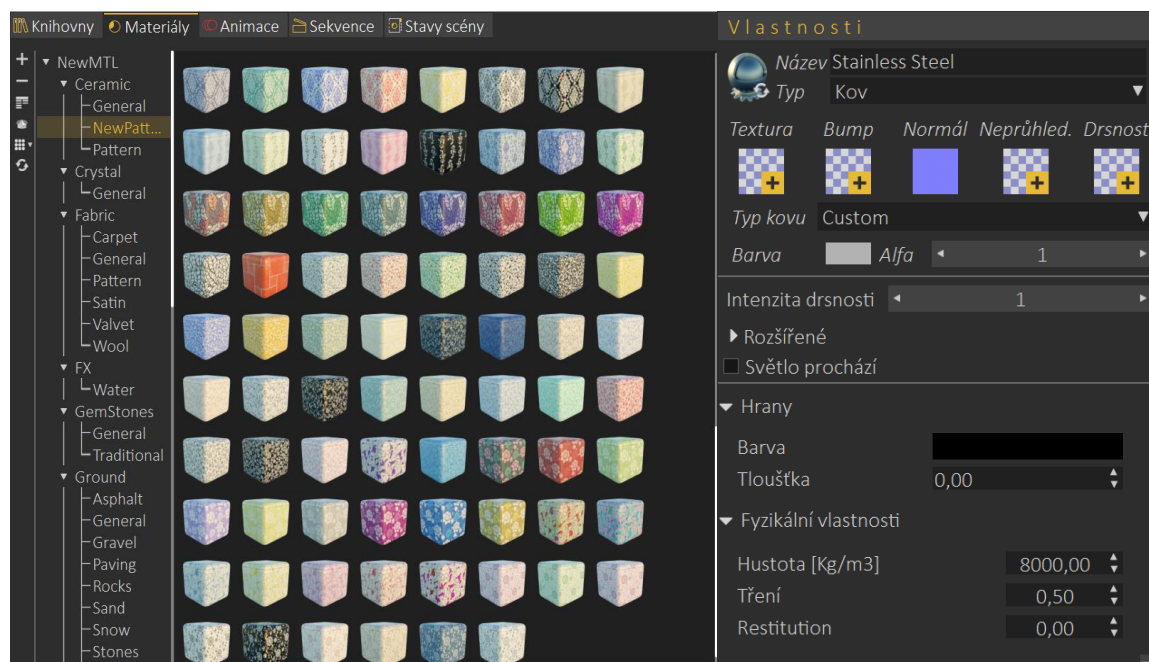
Obr.11: Tvorba animácie uvoľňovania matice kľúčom

4.6 Materiály

Výber materiálu pre objekty scény je zásadnou časťou vývoja obsahu vo VR. Pri tom sa nejedná len o vzhľad jednotlivých objektov, ale aj spôsob ich interakcie so zvyškom virtuálneho prostredia, v ktorom sú zasadené.

Knižnica SimLab Composeru už od vytvorenia základnej scény obasha stovky preddefinovaných materiálov, siahajúcich od rôznych typov kovov cez zdroje svetla až po kvapaliny (obr.12). Po kliknutí na určitý materiál sa otvorí okno vlastností, ktoré zobrazuje a umožňuje meniť špecifické informácie o farbe, textúre, priehľadnosti a fyzikálnych vlastnostiach.

Jednotlivé materiály je možné aplikovať jednoduchým prenesením ikony daného materiálu na žiadaný objekt alebo jeho reprezentáciu v okne prehliadača scény. Vzorkovanie a posunutie textúr použitých materiálov sa upravujú nezávisle pre každý objekt zvlášť.



Obr.12: Knižnica materiálov a okno zobrazujúce ich vlastnosti

4.7 SimLab VR Viewer

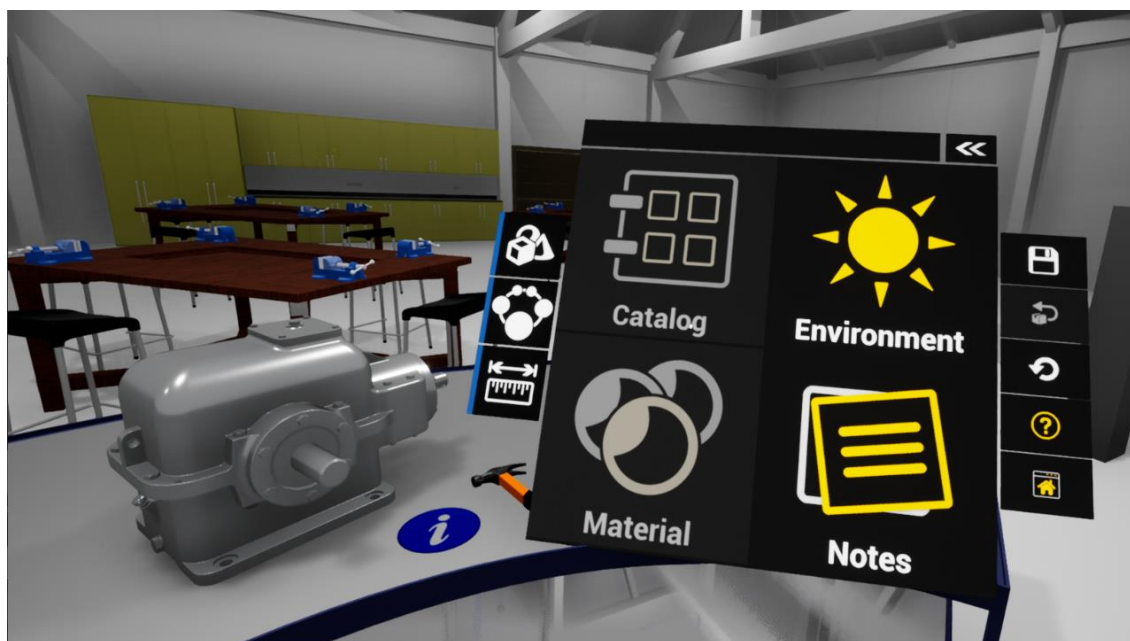
Na prezeranie VR obsahu vytvoreného v SimLab Composeru je nutné si nainštalovať aj pridružený program SimLab VR Viewer [35], ktorý je dostupný pre počítače, mobilné zariadenia a vybrané typy VR headsetov, ako sú Oculus Quest a Go, Pico VR alebo HTC Vive.

4.7.1 Zobrazovanie VR obsahu

Pri počítačovej verzii má užívateľ na výber, či chce prezerať zvolenú scénu na VR headsete pripojenom k počítaču alebo na obrazovke s ovládaním pomocou klávesnice a myši.

Prostredníctvom tohto programu je možné otvárať súbory formátu *.vrpackage*, ktorý je natívny pre SimLab Composer. VRPackage súbory obsahujú okrem samotnej scény aj katalógy materiálov a objektov. Z týchto katalógov je možné pri prezere scény preniesť jednotlivé materiály a aplikovať ich priamo na objekty v reálnom čase. To isté platí aj pre katalógy objektov, pomocou ktorých sa dajú vložiť do scény nové modely. Takto vložené objekty je možné ľubovoľne premiestňovať, rotovať a meniť ich veľkosť.

Užívateľ má taktiež schopnosť meniť podmienky osvetlenia a merať rozmery jednotlivých objektov a vzdialenosti medzi nimi (obr.13). Tieto funkcie sú vhodné najmä pre architektonické účely, keďže jednotky vzdialenosti sú udávané v metroch.



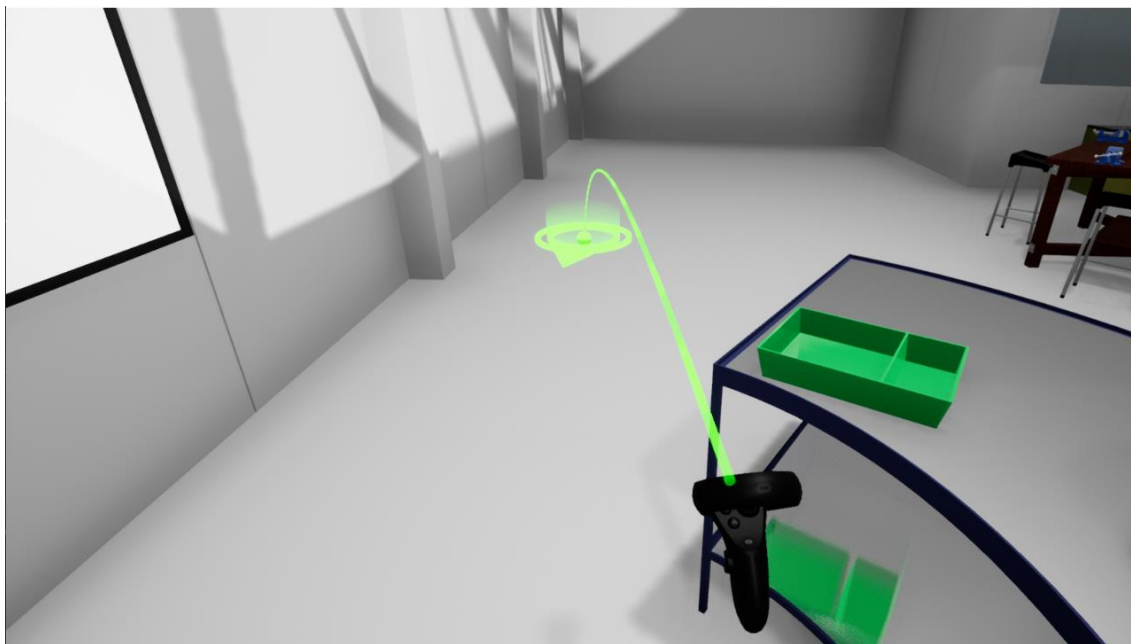
Obr.13: Menu scény v programe Simlab VR Viewer

4.7.2 Pohyb vo VR

Pohyb vo VR je riešený rozlične v závislosti na zariadení, na akom je scéna prezieraná. V prípade zobrazenia na počítači je pohyb realizovaný kontinuálne pomocou tradičnej kombinácie kláves WASD a myši. V dostupnom menu si môže užívateľ meniť rýchlosť a vybrať si jeden z troch režimov pohybu. Jedná sa o režim chôdze, lietania a tzv. mechanický mód. Počas režimu lietania nieje postava viazaná k zemi, čím je možné dosiahnuť aj ťažko dostupné miesta a priblížiť si detaily jednotlivých objektov. Mechanický mód slúži na detailné prezerať vybranej súčasti. Ak je pri aktivovanom mechanickom režime dvojklikom vybraný objekt, stane sa tento objekt stredobodom

scény. Kliknutím ľavého tlačidla myši a jej následným pohybom sa mení smer, ktorým je na objekt pozerané.

Pri používaní VR headsetu ponúka *SimLab VR Viewer* okrem pohybu v reálnom svete iba teleportáciu (obr.14). Užívateľ tento typ pohybu aktivuje posunutím *touchpadu* na ovládači dopredu, pri čom ho následne natočí smerom, akým chce byť po teleportácii nasmerovaný. Smerovanie pohľadu sa dá taktiež zmeniť posunutím *touchpadu* doprava alebo doľava, čo užívateľa pootočí v rámci simulácie o približne 30° vybraným smerom.



Obr.14: Vizualizácia miesta a orientácie pri teleportácii

4.8 Tvorba vlastného tréningového prostredia

4.8.1 Tvorba assetov

Po úspešnom naimportovaní potrebných modelov prostredia, náradia a samotného stroja boli tieto modely uložené na ich východzie pozície a zaznamenané ich údaje o translácii pomocou stavov scény.

Modely stiahnuté z internetu a vytvorené pomocou boolovských operácií nemali zadefinované po ich naimportovaní žiaden materiál. Preto bolo nutné zvoliť vhodné materiály a aplikovať ich, prípadne upraviť ich textúry. Na kužeľovú prevodovku bol použitý základný materiál pre oceľ, no bolo nutné zvýrazniť a poukázať na poškodenie jedného z dvoch ložísk. Z toho dôvodu sa použil materiál označujúci opotrebenú oceľ. Na druhú stranu na sťahovák ložísk bol aplikovaný žiarivo červený náter, vďaka čomu je len ťažko prehliadnuteľný. Na tesnenia bol aplikovaný materiál charakterizujúci gumu

K vytvoreniu realistickejšieho pracovného postupu bol do scény ako komponent kladiva vložený zdroj zvuku, ktorý prehráva zvukový efekt úderu kladiva o kovový predmet. Tento zvukový efekt bol prevzatý zo stránky *FresliyanStudios.com* [36].

Na sprostredkovanie systematického postupu pri rozoberaní, výmene a následnom skladaní prevodovky bolo nutné vytvoriť súbor animácií. Menovite sa jedná o animácie uvoľňovania skrutiek a matic krytov, vyťahovania starého a nasádzania nového ložiska. Pri maticiach a skrutkách boli vytvorené aj reverzné animácie, ktoré je možno použiť pri ich finálnom uťahovaní. Navyše boli zachytené translácie jednotlivých skrutiek a matic v ich povolenom stave, keďže budú tiež použité pri spätnom skladaní prevodovky.

Súčiastky, s ktorými sa počas demontáže a montáže manipuluje, by po istom čase zahltili priestor okolo užívateľa. Preto bolo potrebné týmto objektom vytvoriť miesto, kde ich bude možné odložiť pri práci. Model prostredia obsahoval pre tieto účely misku. Do nej boli teda uložené jednotlivé objekty a zachytili sa ich stavy scény. Väčšie objekty a pracovné nástroje dostali svoje miesto na pracovnom stole.

Užívateľ sa samozrejme nezaobíde bez inštrukcií. Z toho dôvodu boli do scény pridané priehľadné plochy, na ktorých sa zobrazujú inštrukcie a relevantné údaje. Toto okno je možné otvoriť interakciou s tlačidlom s textúrou piktogramu informácií. Navyše sa na zadnej stene scény nachádza tabuľa, na ktorej sa po interakcii s ňou prehrá video rozloženia kužeľovej prevodovky. Toto video bolo vytvorené pomocou programu Keyshot 9.0.

4.8.2 Pracovný postup

Po zasadení do scény sa užívateľ nachádza priamo pred dotýčnou prevodovkou. Po jeho pravici sa nachádzajú nástroje nutné na vykonávanie jednotlivých úkonov s tlačidlom informácií a po ľavici je možné pozorovať odkladací priestor pre matice a skrutky (obr.15).



Obr.15: Pohľad užívateľa po zasadení do scény

Ihneď po spustení sa objaví správa vítajúca užívateľa stručným popisom simulácie. Po jej prečítaní a zavretí sa objaví druhá, ktorá odporúča pred samotnou výmenou vypustiť mazivo, keďže môže byť znečistené kovovými čiastočkami

z poškodeného ložiska. Taktiež je užívateľ upozornený na to, že sa za ním nachádza tabuľa, na ktorej si môže pustiť video rozloženia prevodovky. Nasledujúca správa obsahuje prvé inštrukcie týkajúce sa rozoberania prevodovky.

Najprv je nutné povoliť značný počet skrutiek a matic, ktoré držia veká s tesneniami v spojení so základňou. Tohto je docielené uchopením kľúča a jeho následným kolíziami s danými objektmi. Po kolízii s jednotlivými skrutkami sa spustia korešpondujúce animácie ich uvoľňovania. Ukončením animácie sa stane daná skrutka alebo matica uchopiteľnou a po jej kontakte so stolom sa automaticky plynulo premiestni na svoje miesto určenia v odkladacom priestore. Vytiahnutím skrutiek zo základne sa taktiež stanú veká uchopiteľnými a pri kolízii so stolom sa uložia na svoje preddefinované miesto (obr.16).



Obr.16: Kužeľová prevodovka po demontáži viek

Po uvoľnení a uložení všetkých skrutiek, matic a viek sa zobrazí ďalšia správa s inštrukciami spojenými s vyňatím hriadeľa z prevodovky a následným uvoľnením poškodeného ložiska pomocou sťahováku ložísk (obr.17). Uložením hriadeľa na pracovný stôl sa jeho pohyb zablokuje. Následne pri kolízii sťahováku so starým ložiskom sa spustí animácia jeho uvoľňovania. Ukončením animácie sa povolí uchopenie poškodeného ložiska.

V momente jeho uloženia sa zobrazí ďalšia správa popisujúca inštaláciu nového ložiska. Pred samotnou inštaláciou je však užívateľovi odporúčané skontrolovať povrch hriadeľa pre potenciálne poškodenie alebo škrabance, ktoré musia byť prebrúsené jemným brúsny papierom. Taktiež sa musí presvedčiť, že ložisko je riadne namazané, aby bol zaručený jeho plynulý chod a dostatočná trvanlivosť. Po splnení týchto úkonov užívateľ nasadí nové ložisko na hriadeľ. Kolízia medzi hriadeľom a ložiskom spôsobí animovanú zmenu pozície ložiska a vypne jeho uchopiteľnosť. Podobný efekt bude mať kolízia montážneho puzdra s už nasadeným ložiskom, kedy sa toto puzdro uloží do priameho kontaktu s vnútorným krúžkom ložiska. Použitím kladiva sa spustí animácia posunu dotýčného ložiska na svoje určené miesto na hriadeli. Každý dotyk kladiva s montážnym puzdrom počas trvania animácie spustí charakteristický zvukový efekt.

Pri tomto procese má užívateľ podľa inštrukcií dbať na to, aby bol zaťažovaný iba vnútorný krúžok ložiska. Ak by tomu tak nebolo, mohlo by dôjsť k jeho poškodeniu.



Obr.17: Uloženie sťahováku ložísk na hriadelí

Po nasadení ložiska a uložení kladiva i montážneho puzdra na svoje pôvodné pozície sa stane hriadeľ uchopiteľným a zobrazí sa ďalšia správa obsahujúca informácie k pracovnému postupu. Popisuje výmenu maziva pre ozubenie a spätné uloženie hriadeľa naspäť do prevodovky. Predtým je ale nutné sa presvedčiť, či sú tesnenia vyňaté z prevodovky poškodené a prípadne ich vymeniť za nové. Odňaté veká je potrebné vrátiť späť a pripevniť. Dotykom viackrát o základňu sa tieto objekty automaticky uložia na ich miesto. To isté platí aj pre skrutky a matice, ktoré sa po kontakte so základňou uložia do dier, z ktorých boli vyňaté, no teraz ešte len v neutiahnutom stave. Utiahnuť ich je potrebné pomocou kľúča používaného pri demontáži. V inštrukciách sa odporúča ťahovať skrutky na vekách do hviezdy, aby bolo docielené rovnomerné spojenie a zaručená jednoduchosť ťahovania.

4.8.3 Problémy spojené s tvorbou

Jednou z častí tvorby programov je bez pochyby hľadanie potenciálnych chýb a ich riešenie. Pochopiteľne sa ani tento projekt nezaobišiel bez väčších či menších porúch. Pravdupovediac ich bolo viac než by sa dalo predpokladať. Závažnosťou siahali od miernych nepríjemností s pripojením VR headsetu, až po problémy, ktoré vážne poškodili

finálny produkt. Bolo by vhodné si práve ten najzávažnejší z nich priblížiť a vysvetliť, aké konzekvencie z neho vyplývajú, a aké možné riešenia by mohli nasledovať.

Postupným pridávaním funkcií do tréningového programu sa pochopiteľne stával viac a viac komplexnejším. Akonáhle bolo dosiahnuté štádium vývoja simulácie, kedy bolo treba už len vytvoriť časť programu zodpovednú za spätnú montáž, vyskytla sa pomerne nepríjemná chyba. Pravdepodobne pre veľký počet blokov začal byť SimLab Composer nesmierne nestabilný a ihneď sa vypol bez možnosti zálohovať zmeny vykonané od posledného uloženia. Tento problém pretrvával aj po reštartovaní samotného softvéru a aj počítača. Akonáhle bol prekročený istý limit blokov v editore sa celý program zrútil. Preto bolo rozhodnuté, že najlepší spôsob riešenia bude kontaktovať zákaznícku podporu firmy SimLab Soft.

Prvým potenciálnym dôvodom pre túto chybu mohla byť nadmerná veľkosť samotného súboru. Táto hypotéza sa však nepotvrdila, keďže súbor dosahoval veľkosti približne 250 MB, no údajný limit bol podľa podpory stanovený na 2 GB. Podozrenie teda padlo na chybu spôsobenú samotným programom. Z toho dôvodu bola podporou zaslaná beta verzia aktualizácie pre SimLab Composer 10.19. Táto porucha mala byť v novej verzii údajne opravená. Po spustení programu bolo zistené, že problém stále pretrváva aj po nainštalovaní aktualizácie. Z tohoto dôvodu bolo nutné začať s vývojom simulácie odznova. Druhá iterácia bola pre obavy z tejto poruchy vypracovaná o poznanie efektívnejšie s lepšou optimalizáciou programu. Táto chyba sa vyskytla znova, no tentokrát už bolo dosiahnuté štádium vývoja, pri ktorom je možné hovoriť o ucelenom programe s funkčnou logikou. Z tohoto dôvodu bolo nutné rozhodnúť, ktoré z vizuálnych efektov zlepšujúcich zážitok pri práci bude treba vynechať. Nakoniec bolo rozhodnuté, že pracovné postupy pre výmenu mazania a tesnení sa popíšu v sprievodných inštrukciách. Taktiež bolo upustené od zvýraznenia skrutiek, ktoré majú byť uvoľnené alebo pritiahnuté a od zamedzenia ťahovania skrutiek v inom slede, než je odporúčené v inštrukciách.

V prípade, že by bola táto porucha v budúcnosti odstránená, bolo by možné pridať spomenuté funkcie, čím by sa podstatne zvýšila odbornosť a celková hodnota vykonaného diela.

5 ZÁVER

Cieľom práce bolo zosumarizovať súčasné poznatky o virtuálnej realite a možnosti tvorby obsahu pre zariadenia, ktoré virtuálnu realitu sprostredkujú. Následne bolo našou úlohou vytvoriť adekvátnu scénu v zvolenom hernom engine, pomocou ktorej budú predstavené jeho vlastnosti a nástroje.

V úvode teoretickej časti bol definovaný pojem virtuálna realita a rozdiely medzi virtuálnou, rozšírenou a zmiešanou realitou. Bližšie popísaná bola história virtuálnej reality a možné technológie usporiadané priamo na jej zobrazovanie. Časť práce bola venovaná analýze možných využití tejto revolučnej technológie v rozličných súkromných a profesionálnych sférach.

V ďalšej časti sa zameranie presunulo na herné enginy. Stručne bola definovaná ich funkcia a boli popísané ich jednotlivé typy a historický vývoj. V závere teoretickej časti boli detailne popísané vybrané herné enginy.

Pre tvorbu scény vo virtuálnej realite bol zvolený herný engine SimLab Composer, keďže poskytoval najvhodnejšie nástroje pre vybraný typ scény. V úvode praktickej časti boli popísané práve tieto nástroje a práca s nimi. Následne bol predstavený softvér nutný k prehliadaniu výstupov vo virtuálnej realite a mimo nej. Taktiež boli spomenuté mnohé spôsoby pohybu v rámci prehliadača VR scény.

Za použitia 3D modelov a zvukových efektov získaných z voľne dostupných internetových stránok, bola vytvorená hodnoverná tréningová simulácia. Táto simulácia slúži na predstavenie procesu výmeny poškodeného ložiska v kužeľovej prevodovke, pričom efektným spôsobom demonštrovala výhody takéhoto výučbového procesu. Navyše bolo pomocou vytvoreného programu simulácie možné predviesť aktívne a interaktívne prvky scény. Za aktívne prvky scény sa dajú považovať animácie zakomponované v rámci scény. Naopak medzi interaktívne prvky sa radí schopnosť užívateľa svojimi vstupmi ovplyvňovať polohu jednotlivých objektov alebo spustiť videodokumentáciu po interakcii s tabuľou.

Výstup z praktickej časti bol poznamenaný chybami v rámci programu. Tieto chyby a ich prípadné riešenie bolo spomenuté vo finálnych kapitolách praktickej časti. Po ich korekcii by bolo možné nami vytvorenú scénu ďalej rozvíjať. Aspektami, ktoré by bolo vhodné v budúcnosti rozvíjať, sú hlavne vizuálne pomôcky, pomocou ktorých by bolo možné užívateľa naviesť na pokračovanie v správnom postupe.

Herné enginy a VR prechádzajú v posledných desaťročiach veľkými technologickými pokrokmi. Síce je virtuálna realita mnohými ešte stále považovaná za technológiu budúcnosti, jej praktické využitie je badateľné už aj dnes. Už dnes je jasné, že virtuálna realita predstavuje veľký potenciál v mnohých oblastiach ľudskej činnosti. Vďaka postupne klesajúcim cenám technológie VR sa tréningové programy stávajú čoraz viac výhodnejšími a čoskoro nahradia konvenčné spôsoby výučby vo všetkých odvetviach.

6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] M.-S. Yoh, „The reality of virtual reality,“ rev. *Proceedings Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, Berkeley, CA, USA, 2001.
- [2] M. G. Tomasz Mazuryk, *Virtual Reality - History, Applications, Technology and Future*, 1999.
- [3] W. Gibson, *Neuromancer*, New York: Ace Science Fiction Books, 1984.
- [4] M. Neale, Režisér, *No Maps for These Territories*. [Film]. Canada: Mark Neale, Chris Paine, Mark Pellington, 2000.
- [5] K. Irvine, „XR: VR, AR, MR—What's the Difference?,“ 31 Október 2017. [Online]. Available: <https://www.viget.com/articles/xr-vr-ar-mr-whats-the-difference/>. [Cit. 17 Február 2021].
- [6] J. State, „VR, AR or MR...What's the Difference & Why Should I Care?,“ 01 Máj 2017. [Online]. Available: <http://www.appliedart.com/blog/vr-ar-or-mr-what-s-the-difference-why-should-i-care>. [Cit. 04 Marec 2021].
- [7] Grand View Research, „Virtual Reality In Gaming Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component, By Device, By User (Commercial Space, Individual), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027,“ Jún 2020. [Online]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/virtual-reality-in-gaming-market>. [Cit. 18 Február 2021].
- [8] VRChat Inc., „VR Chat,“ 2021. [Online]. Available: <https://hello.vrchat.com/>. [Cit. 20 Február 2021].
- [9] D. S. Anderson, „Unreal Archaeology - How The Ancient World Is Being Recreated In Virtual Reality,“ 30 Apríl 2019. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/davidanderson/2019/04/30/unreal-archaeology-how-the-ancient-world-is-being-recreated-in-virtual-reality/>. [Cit. 25 Február 2021].
- [10] Wikimedia Foundation, „Wikipedia: the free encyclopedia,“ 2002-. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Flight_simulator. [Cit. 26 Február 2021].
- [11] E. A. B. Lowry, T. C. P. M. Porco a A. M. Naseri, „Cost analysis of virtual-reality phacoemulsification simulation in ophthalmology training programs,“ *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, pp. 1616-1617, Október 2013.
- [12] F. P. Brooks Jr., M. Ouh-Young, J. J. Batter a P. Jerome, „Project GROPE - Haptic Displays for Scientific Visualization,“ *Computer Graphics*, pp. 177-185, August 1990.
- [13] H. E. Lowood, „Virtual reality,“ 19 Nov 2020. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>. [Cit. 3 Apríl 2021].

- [14] E. J. van Lindert, J. A. Grotenhuis a T. Beems, „The use of a head-mounted display for,“ *Computer Aided Surgery*, pp. 251-256, 06 Január 2010.
- [15] Visbox, Inc., „CAVE vs HMD,“ 2020. [Online]. Available: <http://www.visbox.com/technology/cave-vs-hmd/>. [Cit. 07 Apríl 2021].
- [16] Arcane Technologies, „VR CAVE,“ 2021. [Online]. Available: <https://arcanetech.io/produit/vr-cave/>. [Cit. 07 Apríl 2021].
- [17] Facebook Technologies, LLC., „OCULUS,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.oculus.com/>. [Cit. 25 Február 2021].
- [18] Advanced Realtime Tracking, „FLYSTICK 3,“ [Online]. Available: <https://ar-tracking.com/en/product-program/flystick-3>. [Cit. 27 Apríl 2021].
- [19] D. TRENHOLME a S. SMITH, „Computer game engines for developing first-person virtual,“ *Virtual Reality*, %1. vyd.12, pp. 181-187, 2008.
- [20] Gamescrye, „What is a Game Engine?,“ 03 Október 2016. [Online]. Available: <https://gamescrye.com/blog/what-is-a-game-engine/>. [Cit. 08 Apríl 2021].
- [21] M. Toftedahl a H. Engström, „A Taxonomy of Game Engines and,“ 2019. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1352554/FULLTEXT01.pdf>. [Cit. 15 Apríl 2021].
- [22] Unity Technologies, „The leading platform for creating interactive, real-time content,“ 2021. [Online]. Available: <https://unity.com/>. [Cit. 15 Marec 2021].
- [23] G. Ivanov, „Introduction to Unity Scripting,“ 1 September 2016. [Online]. Available: <https://www.raywenderlich.com/980-introduction-to-unity-scripting>. [Cit. 15 Marec 2021].
- [24] S. Hollister, „Unity’s IPO filing shows how big a threat it poses to Epic and the Unreal Engine,“ 24 August 2020. [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2020/8/24/21399611/unity-ipo-game-engine-unreal-competitor-epic-app-store-revenue-profit>. [Cit. 15 Marec 2021].
- [25] Unity Technologies, „Unity Asset Store,“ 2021. [Online]. Available: <https://assetstore.unity.com/>. [Cit. 15 Marec 2021].
- [26] Epic Games, Inc., „Unreal Engine,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/>. [Cit. 15 Marec 2021].
- [27] S. WANG, Z. MAO, C. ZENG, H. GONG, S. LI a B. CHEN, „A new method of virtual reality based on Unity 3D,“ rev. *18th International Conference on Geoinformatics*, Beijing, 2010.
- [28] Epic Games, Inc., „Unreal Engine 4 Documentation,“ 2021. [Online]. Available: <https://docs.unrealengine.com/en-US/ProgrammingAndScripting/index.html>; [Cit. 15 Marec 2021].

- [29] Epic Games, Inc., „A first look at Unreal Engine 5,“ 15 Jún 2020. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/a-first-look-at-unreal-engine-5>. [Cit. 15 Marec 2021].
- [30] B. Lang, „Unreal Engine is Now Royalty-free for the First \$1 Million in Revenue,“ 14 Máj 2020. [Online]. Available: <https://www.roadtovr.com/unreal-engine-royalty-free-first-1-million-revenue/>. [Cit. 09 Apríl 2021].
- [31] Simulation Lab Software L.L.C. , „SimLab Composer 10,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.simlab-soft.com/index.html>. [Cit. 09 Apríl 2021].
- [32] Simulation Lab Software L.L.C., „Classroom model,“ 17 Február 2019. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=72NI85HXgiI>. [Cit. 18 Január 2021].
- [33] D. Babych, „Bevel gearbox,“ 20 Marec 2015. [Online]. Available: <https://grabcad.com/library/bevel-gearbox-2>. [Cit. 29 Január 2021].
- [34] M. Aljubairi, „Bearing puller,“ 16 November 2018. [Online]. Available: <https://grabcad.com/library/bearing-puller-33>. [Cit. 01 Marec 2021].
- [35] Simulation Lab Software L.L.C., „SimLab VR Viewer,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.simlab-soft.com/technologies/simlab-showroom.aspx>. [Cit. 19 Január 2021].
- [36] Fesliyan Studios Inc., „Hammer Hitting Metal Sound Effects,“ 30 Január 2019. [Online]. Available: <https://www.fesliyanstudios.com/royalty-free-sound-effects-download/hammer-hitting-metal-57>. [Cit. 17 Apríl 2021].

7 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

VR	virtuálna realita (z angl. Virtual Reality)
AR	rozšírená realita (z angl. Augmented Reality)
MR.....	zmiešaná realita (z angl. Mixed Reality)
XR.....	rozšírená realita (z angl. eXtended Reality)
OBR	obrázok
TZV	takzvaný
HMD	náhlavný displej (z angl. Head Mounted Display)
CAD	počítačom podporovaný dizajn (z angl. Computer Aided Design)
LCD	displej z tekutých kryštálov (z angl. Liquid Crystal Display)
OLED	organická svetlo emitujúca dióda (z angl. Organic Light-Emitting Diode)
CAVE	virtuálna jaskyňa (z angl. Cave Automatic Virtual Environment)
GUI	grafické užívateľské rozhranie (z angl. Graphical User Interface)
ANGL	anglický jazyk
FPS	strieľačka z pohľadu prvej osoby (z angl. First Person Shooter)
FPV.....	pohľad prvej osoby (z angl. First Person View)
UNC.....	Univerzita v Severnej Karolíne (z angl. University of North Carolina)
NASA.....	Národný úrad pre letectvo a vesmír (z angl. National Aeronautics and Space Administration)
CGI.....	počítačom generovaný obraz (z angl. Computer Generated Imagery)
2D.....	dvoj-dimenzionálny (z angl. 2 Dimensional)
3D.....	troj-dimenzionálny (z angl. 3 Dimensional)
S.R.O.....	spoločnosť s ručením obmedzeným

8 ZOZNAM PRÍLOH

Tréningová simulácia

*.vrpackage súbor

Elektronická verzia bakalárskej práce

*.pdf súbor