

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Vývoj aplikace virtuální reality pro výuku
strojních principů CNC strojů

Sezimovo Ústí, 2026

Autor: Angelika Kiss



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Angelika Kiss**
Obor studia: **26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy**
Název práce: **Vývoj aplikace virtuální reality pro výuku strojních principů CNC strojů**
Anglický název práce: **Development of a virtual reality application for teaching the machine principles of CNC machines**

Zásady pro vypracování:

1. Prozkoumejte a analyzujte různé metody a technologie dostupné na naší škole pro provoz virtuální reality (VR).
2. Vypracujte koncept aplikace virtuální reality, která bude sloužit jako výuková pomůcka pro výuku strojních principů a jejich funkcí pro CNC stroje.
3. Vytvořte aplikaci virtuální reality zaměřenou na CNC stroj nacházející se na naší škole na základě získaných poznatků.
4. Proveďte testování navržené aplikace a ověřte její funkčnost a efektivitu.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

Doporučená literatura:

- [1] ŠTULPA, MILOSLAV. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN – Technická literatura, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [2] ŠEDIVÝ, ONDŘEJ. *Virtuální realita, rozšířená realita a simulace ve výuce odborných předmětů a odborného výcviku*. Online. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Celoškolská pracoviště (studium mimo fakulty), 2025. Dostupné z: <https://theses.cz/id/mkrvta/>.

Vedoucí práce: **Mgr. Ludmila Jůzová, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí**
Odborný konzultant práce: **Daniel Krž, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí**
Oponent práce: **Ing. Luboš Řičica, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí**

Datum zadání absolventské práce: **1. 9. 2025**

Datum odevzdání absolventské práce: **15. 5. 2026**



Mgr. Ludmila Jůzová
(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 1. 9. 2025



doc. PhDr. Mgr. Lenka Hrušková, Ph.D.
(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracovala samostatně a uvedla jsem veškeré použité informační zdroje, veškerý použitý software a dodržela jsem Metodiku užití „umělé inteligence“, která je součástí metodiky tvorby absolventské práce.

Prohlašuji, že jsem v průběhu příprav a psaní této práce nepoužila nástroje „umělé inteligence“.

Stvrzuji, že jsem si vědoma, že za obsah této práce plně zodpovídám.

V Sezimově Ústí dne 15.5.2026

Alis
podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí své absolventské práce, paní Mgr. Ludmile Jůzové, za vedení této práce a cenné připomínky při jejím zpracování. Rovněž bych chtěla poděkovat odbornému konzultantovi panu Danielu Kržovi za jeho čas a konzultace týkající se tvorby v softwaru Unreal Engine. Dále chci poděkovat panu Ing. Jiřímu Roubalovi, Ph.D., za poskytnutí šablony pro tuto práci v typografickém systému L^AT_EX a užitečné podněty k formální úpravě práce, panu Mgr. Jakubu Macillisovi za technické informace o VR headsetech ve vlastnictví VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí a také vedení školy společně s celým učitelským sborem. V neposlední řadě chci poděkovat svým blízkým za jejich trpělivost, pochopení a neustálou podporu během celého studia.

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá vývojem aplikace virtuální reality, která slouží jako výuková pomůcka pro vysvětlení strojních principů CNC obráběcích strojů. V teoretické části jsou vysvětleny základy virtuální reality a strojní principy, na kterých je postavena tato absolventská práce. Dále je provedena analýza možností virtuální reality na škole VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí. Praktická část podrobně popisuje postup tvorby samotné aplikace. Závěr práce je věnován uživatelskému testování, ověření funkce aplikace a zhodnocení jejího přínosu pro zefektivnění výuky odborných předmětů.

Klíčová slova: virtuální realita; simulace; CNC obráběcí stroje; 3D modelování; Unreal Engine.

Annotation

This thesis focuses on the development of a virtual reality application designed to serve as a teaching aid for explaining the mechanical principles of CNC machine tools. The theoretical section explains the fundamentals of virtual reality and the mechanical principles upon which this thesis is based. It also analyzes the potential for virtual reality at the school VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí. The practical section describes in detail the process of creating the application itself. The conclusion of the thesis is devoted to user testing, verification of the application's functionality, and an evaluation of its contribution to making the teaching of technical subjects more effective.

Keywords: virtual reality; simulation; CNC machine tools; 3D modeling; Unreal Engine.

Obsah

Seznam použitých zkratk	ix
Seznam obrázků	x
Seznam tabulek	xii
1 Úvod	1
2 Virtuální realita	3
2.1 Rozdělení virtuální reality	3
3 CNC obráběcí stroje	6
3.1 Souřadný systém stroje	6
3.2 Vztažné body stroje	7
4 Analýza VR technologií	9
4.1 Meta Quest 2	9
4.2 HTC Vive Pro	10
4.3 HTC Vive Focus 3	10
4.4 Srovnání herních engineů Unity a Unreal Engine	10
5 Vývoj aplikace virtuální reality	12
5.1 Optimalizace 3D modelu pro VR	13
5.2 Implementace výukových prvků do modelu	15
5.3 Tvorba aplikace v Unreal Engine	18
5.3.1 Import připravených podkladů	18
5.3.2 Tvorba virtuální scény	18
5.3.3 Zavedení ovládacích prvků a interaktivity	20
5.3.4 Finální export aplikace pro HTC Vive Focus 3	33

6	Testování a ověření funkčnosti	34
6.1	Testování aplikace v počítači	35
6.2	Testování aplikace ve VR	36
7	Závěr	37
	Literatura	40
A	Obsah přiloženého CD/DVD	I
B	Použitý software	II
C	Vizuální skriptování (Blueprints)	III
D	Časový plán absolventské práce	VII

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
2D	dvourozměrný
3D	trojrozměrný
3DoF	tři stupně volnosti (z angl. <i>3 Degrees of Freedom</i>)
6DoF	šest stupňů volnosti (z angl. <i>6 Degrees of Freedom</i>)
CGI	počítačem generovaný obraz (z angl. <i>Computer Generated Imagery</i>)
CNC	číslicově řízený stroj (z angl. <i>Computer Numerical Control</i>)
HUD	průhledový display (z angl. <i>Head-Up Display</i>)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LCD	displej z tekutých krystalů (z angl. <i>Liquid Crystal Display</i>)
LED	světelná dioda (z angl. <i>Light-Emitting Diode</i>)
VR	virtuální realita (z angl. <i>Virtual Reality</i>)

Seznam obrázků

2.1	Ukázka mobilní virtuální reality Google Cardboard	4
2.2	Ukázka Standalone VR modelu Oculus Quest 2 od Meta	5
3.1	Ukázka definice kartézského souřadnicového systému	7
3.2	Grafické značení vztažných bodů a jejich poloha	8
5.1	Ukázka šestiosého Robodrillu Fanuc v odborných dílnách	13
5.2	Originální 3D model obráběcího centra značky Fanuc v Blenderu	13
5.3	Srovnání originálního modelu s optimalizovaným modelem	14
5.4	Srovnání modelů v editačním modu v prostředí Blender	15
5.5	Vytvořený 3D model souřadnicového systému v Blenderu	16
5.6	Ukázka vytvořených textur vztažných bodů v Inkscape	16
5.7	Umístění vztažných bodů v 3D modelu obráběcího centra	17
5.8	Ukázka optimalizovaného modelu s materiálem v Blenderu	17
5.9	Ukázka hierarchie materiálů v Unreal Engine	19
5.10	Blueprint ovládání pohybu kamery pomocí počítačové myši	20
5.11	Blueprint ovládání pohybu uživatele pomocí počítačové klávesy W	21
5.12	Blueprint propojení klávesy Escape	22
5.13	Hierarchie komponentů v Blueprintu obráběcího centra	22
5.14	Viewport Blueprintu CNC obráběcího centra Robodrill	23
5.15	Blueprint ovládání pohybu pracovního stolu CNC stroje	25
5.16	Blueprint ovládání pohybu vřeteníku CNC stroje	25
5.17	Blueprint funkce Reset komponent do výchozí polohy	26
5.18	Hierarchie Blueprintu postavy	26
5.19	Nastavení hlavního materiálu záře os	27
5.20	Nastavení materiálu šipky osy X	28
5.21	Blueprint změny intenzity záření <code>UpdateGlow</code>	28
5.22	Blueprint aplikace efektu záře na šipku v kladné ose X	29

5.23	Blueprint provedení kótovací čáry v ose X	30
5.24	Blueprint provedení číselného rozměru kóty v ose X	30
5.25	Kótování vzájemné vzdálenosti vztažných bodů (v cm)	31
5.26	Blueprint zvukové odezvy interakce se stolem	31
5.27	Blueprint zvukové odezvy interakce s vřeteníkem	32
5.28	Finální virtuální scéna	32
C.1	Blueprint kinematiky ovládání pohybu uživatele pomocí kláves	IV
C.2	Blueprint kinematiky ovládání pohybu komponentů v osách pomocí kláves	V
C.3	Blueprint dynamických materiálových instancí	VI

Seznam tabulek

5.1	Tabulka konfigurace VR ovladačů s počítačovými klávesami	24
6.1	Tabulka ovládání pohybu postavy v počítači	35
6.2	Tabulka ovládání komponent stroje v počítači	35

Kapitola 1

Úvod

Strojírenský průmysl se vyvíjí závratnou rychlostí a neustále přináší inovativní řešení nejen v oblasti automatizace a digitalizace. Pro udržení kroku s dobou je proto nutné se nepřetržitě vzdělávat a používat nejnovější technologie. Tyto technologie je nezbytné implementovat napříč všemi odvětvími. Je tedy potřebné, aby vzdělávací instituce aktivně začleňovaly technické novinky do výuky. Jako bývalá studentka oboru Strojírenství jsem absolvovala hodiny výuky o CNC strojích, jež jsou charakteristické svým ovládáním pomocí počítače prostřednictvím NC kódů. Strojní principy těchto numericky ovládaných strojů byly vysvětlovány na všeobecných kreslených schématech, což bylo pro mnoho žáků náročné na pochopení kvůli aplikaci plošných 2D výkresů na reálný trojrozměrný stroj pomocí prostorové představivosti. Na internetu lze sice najít grafická schémata a různé simulace na téma CNC stroje, avšak tyto materiály mnohdy neodpovídají dostupnému vybavení v odborných dílnách, což je pro spoustu žáků matoucí, neboť mají problém si v praxi představit jednotlivé imaginární vztažné body potřebné k programování těchto strojů.

Tato osobní zkušenost mě přivedla k myšlence vytvořit interaktivní aplikaci ve virtuální realitě (VR), kde by žáci strojírenských oborů měli možnost prohlédnout si virtuální verzi obráběcího centra Robodrill značky Fanuc nacházejícího se v odborných dílnách na škole VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí a pochopit orientaci jednotlivých os a polohu důležitých vztažných bodů předtím, než začnou pracovat se skutečným zařízením. Eliminovalo by se tím riziko poškození nákladného vybavení v důsledku nepochopení strojírenské technologie. Interaktivní vizualizace názorně představí princip CNC strojů v porovnání s obtížně představitelnými grafickými schématy. Ačkoliv je tato problematika již částečně řešena pomocí univerzálních simulátorů, spousta žáků má potíže s uplatněním získaných znalostí v praxi na reálném stroji. Proto prostřednictvím této práce vznikne

naučná aplikace virtuální reality s interaktivními prvky, která se zabývá vizuální projekcí konkrétního obráběcího centra za účelem poskytnutí kvalitnější formy vzdělání.

Cílem této práce je analyzovat dostupné technologie pro provoz virtuální reality na naší škole a na základě těchto poznatků navrhnout a vytvořit koncept aplikace virtuální reality, jež bude sloužit jako výuková pomůcka k výuce strojních principů a jejich funkcí pro CNC stroje. Dále je cílem této práce provést testování navržené aplikace a ověřit její funkčnost.

Struktura této práce je následující. Kapitola 2 se zabývá základy virtuální reality. V kapitole 3 je stručně popsán souřadný systém CNC stroje a jeho vztažné body, jejichž pochopení bylo podnětem k sepsání této práce. Analýze dostupných technologií virtuální reality na VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí je věnována kapitola 4. V kapitole 5 je detailně zdokumentován samotný proces vývoje interaktivní výukové aplikace. Předposlední kapitola 6 popisuje průběh a hodnotí výsledky proběhlého uživatelského testování. V závěru jsou shrnuty celkové dosažené výsledky v rámci této práce.

Kapitola 2

Virtuální realita

Virtuální realita, zkráceně VR, je 3D vizuální reprezentace uměle vytvořeného světa patřící mezi aktuální moderní technologie. Má za cíl projekci obrazu věrného skutečnosti nebo fiktivních světů. Obraz virtuální reality lze vytvořit na základě fotografií nebo filmů skutečných míst, nebo může být kompletně vygenerován počítačem (CGI) (ADOBE, n.d.). Virtuální realita má v současné době uplatnění napříč všemi obory – v herním průmyslu, vzdělávání, medicíně, technickém průmyslu a dalších odvětvích. Slouží například k vizualizaci míst, jež nejsou volně přístupná, nebo jako bezpečné cvičné výukové simulátory.

Následující podkapitola se zabývá stručnou charakteristikou různých typů virtuální reality z hlediska formy provedení a technologických principů funkce. Jsou zde uvedeny vlastnosti jednotlivých kategorií VR včetně jejich výhod a nevýhod.

2.1 Rozdělení virtuální reality

Abychom mohli používat virtuální realitu, je nezbytné disponovat specifickým vybavením vhodným k jejímu promítání. Rozlišuje se několik způsobů formy hardwarového provedení virtuální reality v závislosti požadavků na výkonnost. V této podkapitole je popsán princip funkce pro tři základní možná provedení:

- **Mobilní VR:** Virtuální realita tvořená mobilním zařízením je nejdostupnější a nejjednodušší z pohledu konstrukčního provedení. Skládá se z plastové nebo kartonové krabice opatřené dvěma čočkami. Do této konstrukce je vložen chytrý mobilní telefon, který zde plní funkci obrazovky (DIGIDOUPE, n.d.). Ačkoliv je výhodou mobilní VR její nízká cena, pro náročnější uživatele mohou být překážkou její

omezené grafické možnosti a rychlé přehřívání zařízení způsobující samovolné vypnutí systému. Dále disponuje třemi stupni volnosti 3DoF, tudíž se uživatel může ve virtuální scéně pouze rozhlížet. Jelikož u mobilní VR převažovaly spíše nevýhody, postupem času se od tohoto řešení upustilo a byly vyvinuty důmyslnější verze, u kterých byly již řešeny výše zmíněné nedostatky. Na obr. 2.1 je představen jeden z nejznámějších modelů mobilního VR – Google Cardboard.



Obrázek 2.1: Ukázka mobilní virtuální reality Google Cardboard – převzato z (GOOGLE, 2014)

- **Samostatná VR (Standalone):** Jak již vyplývá z názvu, tento typ virtuální reality funguje samostatně bez nutnosti propojení s externím zařízením. V současné době je nejrozšířenějším používaným typem VR. Tvoří ji tzv. headset, což je náhlavní souprava podobající se brýlím. Má v sobě integrovaný výpočetní hardware, díky čemuž může fungovat zcela samostatně nezávisle na počítači. V prostoru se orientuje pomocí zabudovaných kamer (technologie *inside-out tracking*), které snímají okolí a zajišťují plynulý pohyb v prostoru na rozdíl od mobilní VR. Tento pohyb je umožněn z důvodu aplikování technologie se šesti stupni volnosti 6DoF (QUALCOMM, 2017). Interakci s virtuálním prostředím navíc zajišťují dva ovladače – pro každou ruku jeden. Mezi nevýhody Standalone VR patří omezená výdrž baterie a vyšší hmotnost headsetu. Na následující stránce na obr. 2.2 je možné vidět Standalone VR model Oculus Quest 2 od společnosti Meta.



Obrázek 2.2: Ukázka Standalone VR modelu Oculus Quest 2 od Meta – převzato z (META, 2020)

- **PC a konzolová VR:** Jedná se o formu VR, která funguje na základě propojení náhlavní soupravy (headsetu) s výkonným počítačem nebo herní konzolí. Headset zde plní funkci zobrazovacího zařízení. Zpravidla bývá propojen pomocí kabelu nebo bezdrátově. Vzhledově se velice podobá samostatné VR až na propojení s externím zařízením. Pohyb v prostoru je řešen prostřednictvím integrovaných kamer v headsetu nebo externích senzorů pohybu ve formě stanic rozmístěných po místnosti. Vyznačuje se vyšším rozlišením, plynulejším pohybem a nejrozvinutějšími grafickými efekty. Nevýhodami tohoto typu VR jsou jejich vysoká pořizovací cena a nutnost počítače nebo konzole kompatibilní s VR (INAIR, 2025). Mezi nejznámější představitele patří VR headsety společností HTC a Valve.

Kapitola 3

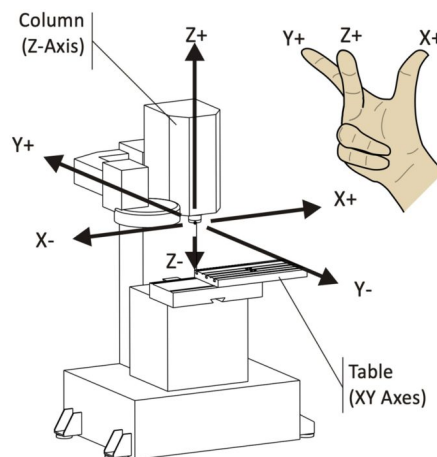
CNC obráběcí stroje

Číslicově řízené stroje, zkráceně CNC, jsou ovládány řídicím systémem stroje pomocí vytvořeného programu (ŠTULPA, M., 2015). Využívají se především pro svou automatizaci sériové výroby – obsluha obráběcího centra nahraje do systému program a poté pouze dohlíží na chod výroby a případně doplňuje materiál. CNC stroje mají spoustu dalších možností využití jako například při výrobě tvarově složitých součástí, které jsou náročné na zpracování manuálně.

Následující kapitola je věnována stručnému vysvětlení strojních principů potřebných k pochopení funkcí CNC obráběcích strojů, jež byly námětem k sepsání této absolventské práce. První část kapitoly je zaměřena na technologii souřadného systému stroje a orientaci v prostoru. V druhé části jsou charakterizovány základní vztažné body obráběcích strojů použité ve vytvořené naučné aplikaci.

3.1 Souřadný systém stroje

Pohyby CNC obráběcího stroje jsou řízeny pomocí souřadného (souřadnicového) systému daného mezinárodní normou ISO. Jedná se konkrétně o tzv. kartézský souřadnicový systém, který se vyznačuje pravotočivostí, pravými úhly a základními osami X , Y a Z . Tyto osy lze definovat pomocí pravidla pravé ruky, kde prsty pravé ruky zastupují jednotlivé osy – palec pravé ruky představuje osu X , ukazováček osu Y a prostředníček osu Z . Na následující stránce je tento princip názorně ukázán na obr. 3.1, kde jsou vidět znázorněné jednotlivé osy obráběcího centra. Souřadný systém stroje je v praxi využíván při tvorbě programů, kde je potřebný pro řízení stroje a nástrojů (ŠTULPA, M., 2015).



Obrázek 3.1: Ukázka definice kartézského souřadnicového systému – převzato z (AUTODESK, 2026)

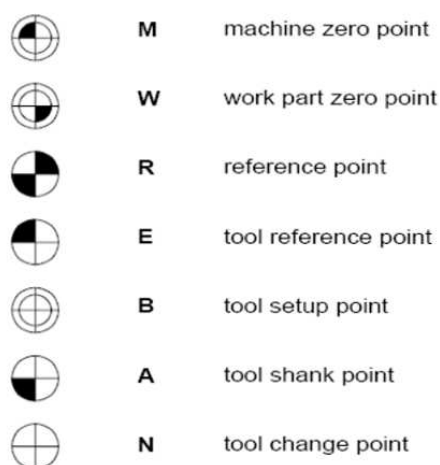
3.2 Vztažné body stroje

V souřadnicovém systému jsou určeny specifické body, kterým se říká vztažné body. S ohledem na ně se programuje dráha nástroje a vymezuje přesná poloha nástroje, materiálu a vřetene. Abychom mohli správně seřídít a obsluhovat CNC obráběcí centra, je nutné znát několik základních bodů. Níže jsou popsány základní vztažné body, jejichž pochopení bylo jedním z podnětů k vytvoření naučné VR aplikace v rámci této absolventské práce.

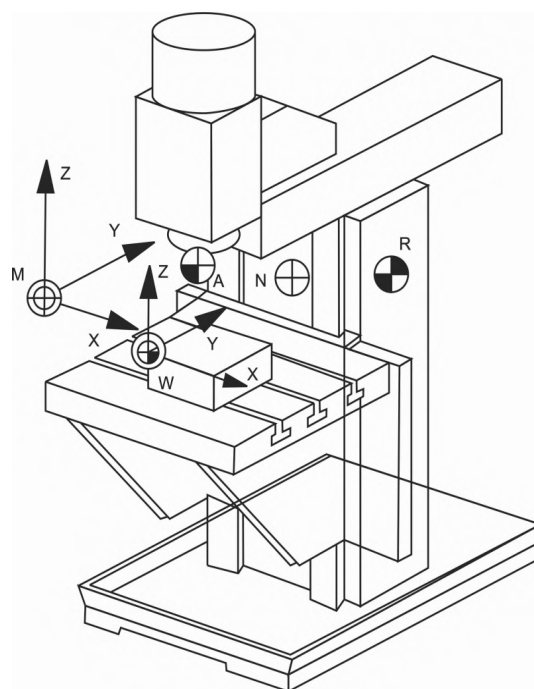
- **Nulový bod stroje M :** Jedná se o bod stanovený výrobcem a nelze ho měnit. Je to stěžejní bod, ke kterému se vztahují zbývající vztažné body.
- **Nulový bod obrobku W :** Tento bod bývá volen programátorem do nejvýhodnější pozice dle kótování. Musí být umístěn v pracovním prostoru stroje.
- **Referenční bod R :** Je to další bod stanovený výrobcem. V praxi slouží jako výchozí kalibrační bod, do něhož se pohyblivé prvky stroje přesunou, když je nutné najít a potvrdit přesnou polohu stroje. Děje se tak například po zapnutí CNC zařízení.
- **Nulový bod nástroje T :** Bod, který představuje teoretickou špičku nástroje. Pomocí něho se nástroj pohybuje po naprogramované dráze. U frézek bývá obvykle

umístěn na špičce řezného nástroje v jeho ose.

Veškeré informace o CNC obráběcích strojích jsou podrobně a srozumitelně vysvětleny v publikaci *CNC – Programování obráběcích strojů* (ŠTULPA, M., 2015), odkud jsem při psaní této práce čerpal. Níže na obr. 3.2 je možné vidět vlevo ukázkou grafického značení základních vztažných bodů a jejich samotné umístění na frézce.



(a) značení vztažných bodů CNC strojů – převzato z (TAREQ AL SAWAFTA, 2026)



(b) ukázka umístění vztažných bodů na CNC frézce – převzato z (TECHK, 2019)

Obrázek 3.2: Grafické značení vztažných bodů a jejich poloha

Kapitola 4

Analýza VR technologií

Tato kapitola se zabývá analýzou dostupných technologií pro provoz virtuální reality na VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí. Jsou zde popsány vlastnosti jednotlivých headsetů vlastněných školou, následuje srovnání vývojových prostředí pro tvorbu samotné výukové VR aplikace a zhodnocení, jaká náhlavní souprava je nejvhodnější pro projekci vytvořené naučné VR aplikace pro pochopení strojních principů CNC strojů, jejíž vytvoření je předmětem této absolventské práce.

4.1 Meta Quest 2

Meta Quest 2, dříve známý jako Oculus Quest, je VR headset vyvinutý společností Meta běžící na upraveném operačním systému Android. Lze ho používat samostatně nebo připojit k počítači prostřednictvím USB nebo bezdrátově pomocí funkce Air Link. Headset je tvořen LCD displejem s rozlišením 1832×1920 na každé oko s obnovovací frekvencí až 120 Hz. Sledování pohybu a pozice ovladačů jsou řešeny čtyřmi integrovanými kamerami, jež dokážou rozpoznat skryté LED diody umístěné v ovladačích (META, 2026). Instalace vlastní uživatelské VR aplikace je podmíněna vytvořeným vývojářským účtem, aktivovaným vývojářským režimem v samotném headsetu a užitím specializovaného programu k nahrání aplikace do náhlavní soupravy např. SideQuest.

4.2 HTC Vive Pro

Headset HTC Vive Pro je nutné mít připojený k počítači drátově nebo pomocí specializovaného bezdrátového adaptéru. Ke sledování pozice soupravy s ovladači slouží externí základny, které vymezují hrací plochu v místnosti. Momentálně je tento způsob sledování pohybu považován za nejpřesnější. Ve srovnání s Meta Quest 2 má znatelně živější barvy s věrným vykreslováním skutečné černé barvy. Navíc má vlastní integrovaná sluchátka s certifikací Hi-Res (HTC CORPORATION, 2026b). Pro spuštění vlastní aplikace je nutné mít nainstalovaný a spuštěný software Steam VR určený k přenosu obrazu do headsetu.

4.3 HTC Vive Focus 3

HTC Vive Focus 3 lze používat samostatně i prostřednictvím počítače. Je prezentován jako headset určený především pro profesionální a firemní využití. Vyznačuje se vlastnostmi podobnými headsetu Meta Quest 2, mezi něž patří např. způsob sledování pohybu. Charakteristická je pro něj možnost dlouhodobého používání díky rychle vyměnitelné baterii (HTC CORPORATION, 2026a). Spuštění vlastní aplikace je umožněno vložením microSD karty obsahující aplikaci ve formátu .apk do VR brýlí.

4.4 Srovnání herních engineů Unity a Unreal Engine

V současné době se pro tvorbu aplikací a her ve virtuální realitě používají především dva známé herní enginey – Unity a Unreal Engine. Každý z nich disponuje odlišným přístupem ke způsobu programování, a tudíž jsou vhodné k různým účelům. Níže je uvedena jejich stručná charakteristika a následné vyhodnocení, které technologické řešení je nejvhodnější pro tuto absolventskou práci.

- **Unity:** Tento engine, vyvíjený společností Unity Technologies, je považován za jednodušší nástroj pro vývoj. Programování probíhá primárně v jazyce C#. Mezi jeho výhody patří rozsáhlý obchod s hotovými 3D modely a dalšími doplňky zvaný Asset Store a nižší nároky na výpočetní hardware. Jeho nevýhodou je nutnost rozsáhlých úprav osvětlení a materiálů pro dosažení realistické grafiky.

- **Unreal Engine:** V enginu od společnosti Epic Games probíhá komplexnější programování na bázi programovacího jazyka C++ nebo pomocí vizuálního systému Blueprintů. Již v základu nabízí kvalitní grafické zpracování bez nutnosti obsáhlých úprav na rozdíl od Unity. Kvůli tomu ovšem klade vyšší nároky na výpočetní hardware počítače.

Na základě výše provedené analýzy byl Unreal Engine zvolen pro vývoj naučné VR aplikace v rámci této absolventské práce. Hlavním důvodem pro výběr byla jeho podpora programování pomocí vizuálního skriptování Blueprints. Tento systém umožňuje tvorbu bez hlubokých znalostí programovacího jazyka C++. Dále hrálo roli realistické grafické zobrazení, jež je podstatné pro detailní projekty jako výuka strojních principů CNC strojů, aby mohly být zachovány všechny jejich nezbytné prvky a aby se vizualizace přiblížila co nejvíce skutečnosti.

Co se týče dostupného technického vybavení pro provoz VR ve vlastnictví školy, jako nejvhodnější pro headsety k projekci této virtuální aplikace se jeví Meta Quest 2 a zejména HTC Vive Focus 3, jelikož disponují možností bezdrátového fungování. Tato skutečnost je velice důležitá vzhledem k bezpečnosti a volnosti pohybu uživatelů v prostoru odborných dílen. Dalším důvodem je dlouhá výdrž baterie headsetu a snadná forma spuštění vlastní vytvořené aplikace.

Kapitola 5

Vývoj aplikace virtuální reality

V této kapitole je detailně zdokumentován průběh vývoje interaktivní aplikace virtuální reality. Každá podkapitola se věnuje jednotlivé fázi procesu vývoje VR aplikace, počínaje funkční optimalizací a retopologií 3D modelu CNC obráběcího centra Fanuc v podkapitole 5.1. Následně je v podkapitole 5.2 popsána implementace výukových prvků nezbytných pro pochopení strojních principů numericky ovládaných strojů. Závěrečná podkapitola 5.3 je zaměřena na tvorbu interaktivní aplikace v Unreal Engine zahrnující popis importu připravených podkladů, tvorbu virtuální scény, ovládacích prvků a finální export VR aplikace.

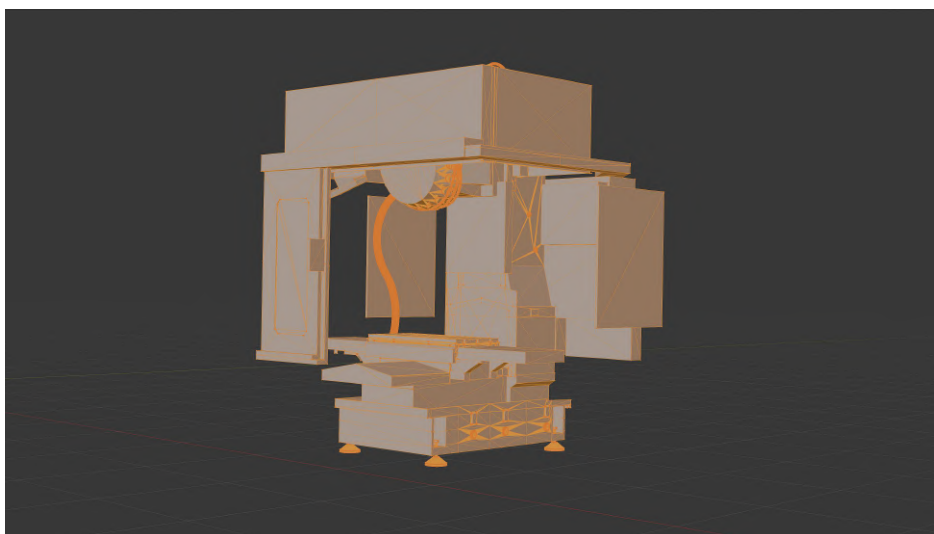
Tato aplikace virtuální reality pro výuku strojních principů CNC obráběcích strojů spočívá ve vytvoření VR, kde by žáci strojírenských oborů měli možnost prohlédnout si virtuální verzi obráběcího centra Robodrill značky Fanuc nacházejícího se v odborných dílnách na VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí. Aby byla zachována co největší věrnost fyzickému CNC stroji, vycházelo se ze 3D modelu dostupného na oficiálních stránkách výrobce (FANUC, n.d.). Na fotografii na následující stránce je možné si prohlédnout ukázkou šestiosého Robodrillu Fanuc v odborných dílnách na škole VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí.



Obrázek 5.1: Ukázka šestiosého Robodrillu Fanuc v odborných dílnách

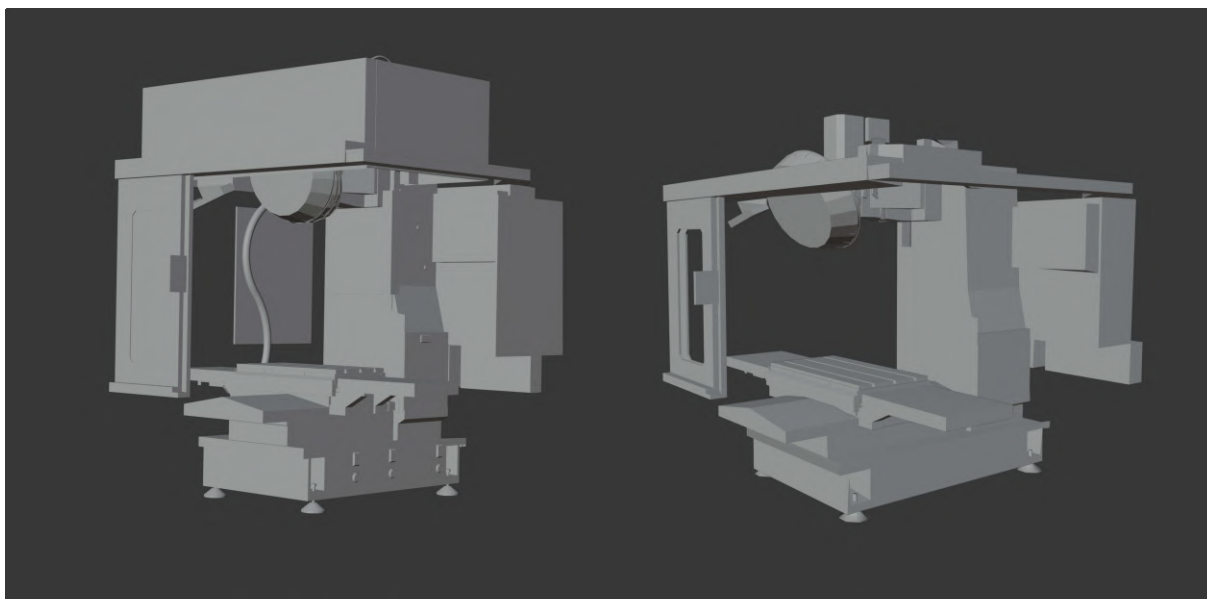
5.1 Optimalizace 3D modelu pro VR

Vzhledem k tomu, že byl získaný model příliš datově náročný, a tudíž by se zasekával obraz ve VR brýlích, bylo nutné provést funkční optimalizaci 3D modelu obráběcího centra. Původní model lze vidět na obr. 5.2 v prostředí bezplatného 3D modelovacího softwaru Blender.



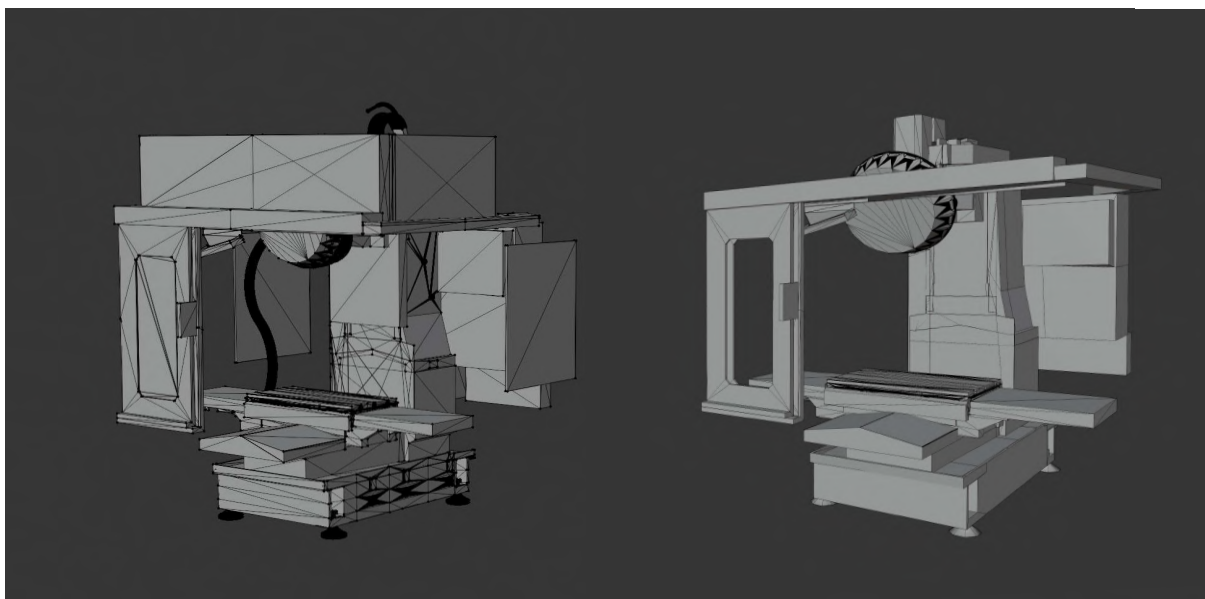
Obrázek 5.2: Originální model obráběcího centra Robodrill v Blenderu

Optimalizace 3D modelu funguje na principu zjednodušení modelu – krycí plechy a další estetické prvky, jež nejsou zásadní pro pochopení funkce stroje, byly odstraněny. Cílem optimalizace bylo odstranit nadbytečné detaily a zároveň zachovat celkový tvar včetně proporcí modelu stroje. Na obr. 5.3 je možné vidět srovnání původního 3D modelu obráběcího centra Robodrill značky Fanuc s optimalizovaným modelem pro naučnou aplikaci ve VR v prostředí softwaru Blender, kde probíhala tato optimalizace modelu CNC stroje.



Obrázek 5.3: Srovnání originálního modelu s optimalizovaným modelem – vlevo originální model, vpravo model po optimalizaci

Dále byla aplikována retopologie sítě na celý model, která spočívala v redukci počtu polygonů a trojúhelníků v síti. Každý 3D model se skládá z bodů zvaných vertexy, které jsou spojeny hranami a tvoří plochy, kterým se říká polygony. Počet polygonů původního modelu byl v rámci tohoto manuálního procesu zredukován z 1 000 000 polygonů na 50 000 polygonů, což je dvacetinásobné zmenšení. Výsledný stav je znázorněn na obr. 5.4 na následující stránce, kde je názorně vidět, jak síť polygonů není tak zahuštěná jako na začátku ve srovnání s originálním modelem od výrobce. Provedení těchto kroků bylo nezbytné pro zajištění plynulého chodu výukové aplikace ve virtuální realitě. Bez provedení optimalizace 3D modelu hrozilo riziko vzniku chyb ve vykreslování textury, osvětlení a zpomalení samotné aplikace v Unreal Engine zapříčiněné nadměrnými datovými výpočty.

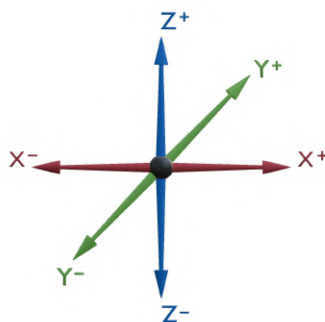


Obrázek 5.4: Srovnání modelů v editačním modu v prostředí Blender – vlevo originální model, vpravo model po optimalizaci

5.2 Implementace výukových prvků do modelu

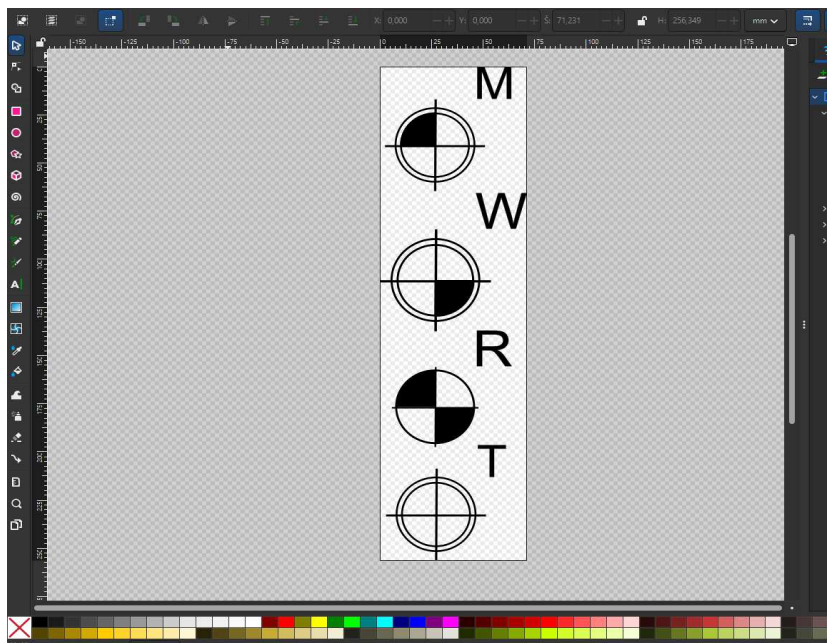
Následující krok spočíval v implementaci výukových prvků do modelu v prostředí Blender. Souřadnicový systém stroje byl vytvořen pomocí manuálně vymodelovaných šipek s popisky os X , Y a Z . Tyto prvky jsou spojeny v jednom bodě a tvoří skupinu objektů představující kartézský souřadný systém, jehož princip je stručně vysvětlen v podkapitole 3.1. Jednotlivé osy mají přiděleny charakteristické barvy používané ve strojírenských softwarech pro snazší orientaci uživatele: osa X je značena červenou, osa Y zelenou a osa Z modrou barvou. Finální verzi souřadného systému stroje lze vidět na obr. 5.5 na následující stránce. Vytvořený model souřadnicového systému stroje později poslouží jako interaktivní ovládací prvek výukové aplikace ve virtuální realitě.

Dále bylo potřebné do modelu vložit základní vztažné body zmíněné v podkapitole 3.2. Jednalo se konkrétně o nulový bod stroje M , nulový bod obrobku W , referenční bod R a nulový bod nástroje T . Tyto body byly v prostředí Blender vytvořeny jako samostatné objekty typu `plane` (plochy), na které byla aplikována obrázková textura.

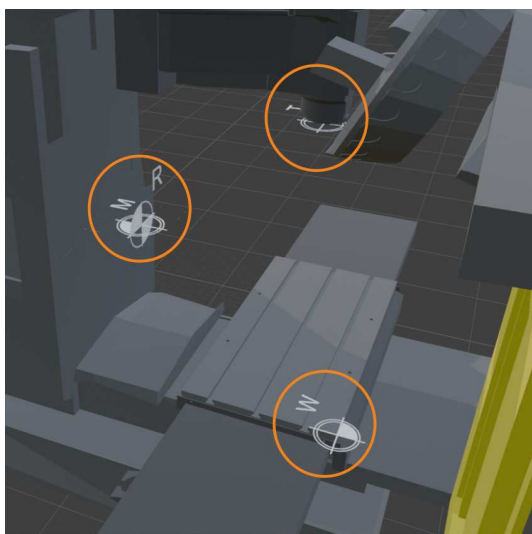


Obrázek 5.5: Vytvořený 3D model souřadnicového systému v Blenderu

Textury jednotlivých vztažných bodů byly navrženy v bezplatném editoru vektorové grafiky Inkscape. Aby byly vidět pouze samotné značky vztažných bodů a pozadí zůstalo transparentní, soubory s texturami byly uloženy ve formátu `.png` s alpha kanálem. Na obr. 5.6 jsou ukázány vytvořené grafické značky v prostředí softwaru Inkscape. Přesné rozmístění těchto vztažných bodů v pracovním prostoru je detailně znázorněno na obr. 5.7 na následující stránce.

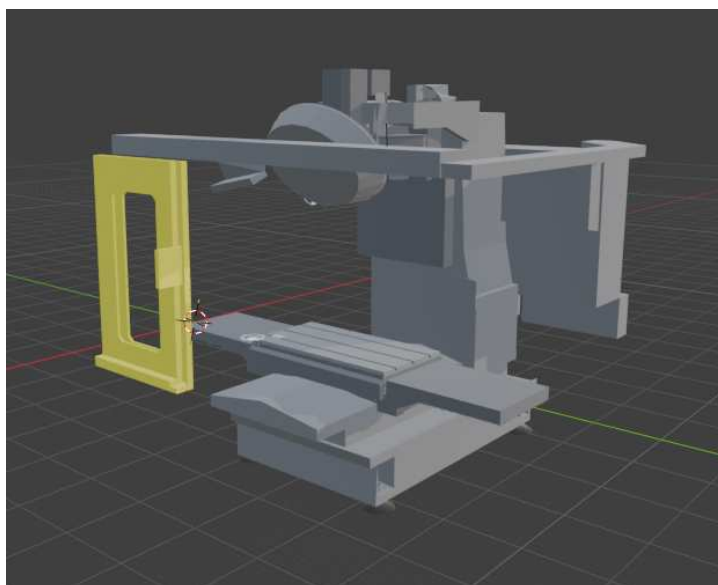


Obrázek 5.6: Ukázka vytvořených textur vztažných bodů v Inkscape



Obrázek 5.7: Umístění vztažných bodů v optimalizovaném 3D modelu obráběcího centra Robodrill v Blenderu

Posledním krokem před přípravou modelu CNC obráběcího centra k exportu bylo přiřazení základních materiálů ke každému 3D objektu. Dané prvky stroje jsou tvořeny zjednodušenými materiály odpovídající přibližným barvám Robodrillu značky Fanuc, jak lze vidět na obr. 5.8.



Obrázek 5.8: Ukázka optimalizovaného modelu s materiálem v Blenderu

5.3 Tvorba aplikace v Unreal Engine

Tato podkapitola obsahuje popis stěžejní části vývoje interaktivní aplikace pro výuku strojních principů CNC obráběcích strojů v prostředí herního engine zvoleného na základě analýzy v podkapitole 4.4 – Unreal Engine. V podkapitole 5.3.1 je zachycen proces přípravy podkladů projektu k importu a popis samotného importu 3D modelů. Následující podkapitola 5.3.2 přibližuje tvorbu virtuální scény v Unreal Engine včetně konfigurace materiálů. Na ni navazuje podkapitola 5.3.3 věnovaná integraci interaktivního ovládání prvků pomocí systému vizuálního skriptování Blueprint. Celý proces vývoje naučné aplikace ve virtuální realitě je uzavřen podkapitolou 5.3.4, která se zabývá finálním exportem vytvořené VR aplikace pro headset HTC Vive Focus 3.

5.3.1 Import připravených podkladů

Než mohlo dojít k samotnému exportu podkladových materiálů z prostředí Blender, bylo potřebné ujistit se, zda je celá soustava vytvořených 3D modelů ve správném měřítku 1:1 vzhledem k tomu, že každý z těchto softwarů má nastavené jiné jednotky jako primární – v 3D modeláři Blender jsou obvykle používány metry, kdežto v herním engine Unreal Engine jsou základní jednotkou centimetry. Toto se muselo zohlednit při exportu, aby byla zachována skutečná velikost modelu CNC obráběcího centra Robodrill značky Fanuc. Dalším klíčovým parametrem bylo manuální umístění pivot pointů (středů otáčení) do geometrie modelů kvůli zajištění přesnosti později aplikované logiky kinematiky pohybu. U vymodelovaných vztažných bodů byly pivot pointy přesunuty do průsečíků grafických značek pro usnadnění procesu odečtů souřadnic.

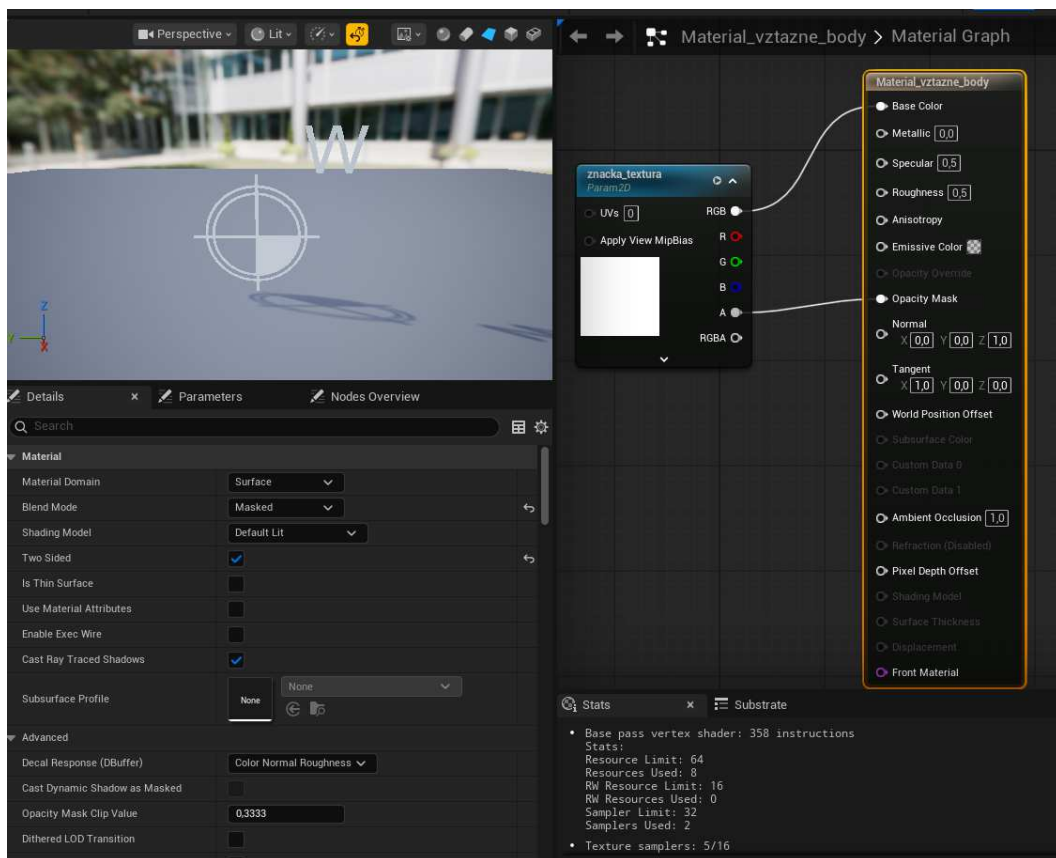
Nakonec byl celý soubor obsahující 3D modely CNC stroje, dílčích vztažných bodů a soustavy modelů tvořící souřadný systém stroje exportován do formátu **.fbx** se zaškrtnutým políčkem **Apply Transform** pro aplikování transformací. Proces exportu, importu a jejich specifikací je blíže popsán na oficiálních stránkách Epic Games (EPIC GAMES, n.d.c), kde jsou dostupné tutoriály pro vývojáře.

5.3.2 Tvorba virtuální scény

Po úspěšné přípravě podkladů k práci byl v prostředí Unreal Engine založen nový projekt s využitím šablony **VR Template**, kam byl vytvořený soubor ve formátu **.fbx** importován prostřednictvím okna **Content Drawer**. Následně byla scéna vyčištěna

od vložených výchozích prvků, jež nebyly potřebné pro funkci této VR aplikace, aby projekt nenabyl zbytečně velkých rozměrů a neměl zpomalený chod aplikace.

Zásadní bylo nastavení materiálu pro vztažné body M , W , R a T . Jelikož Unreal Engine pracuje jiným způsobem s průhlednými objekty než modelář Blender, bylo nutné nakonfigurovat materiál vztažných bodů tak, aby bylo zachováno jejich průhledné pozadí. Tohoto vizuálního řešení bylo docíleno s pomocí hierarchie materiálů. Nejprve byl vytvořen nový materiál a s ním **Material Instance** pro jednotlivé vztažné body M , W , R a T . Hierarchie funguje na principu dědění vlastností objektu, respektive materiálu označeného jako **Parent** (Rodič) (EPIC GAMES, n.d.d). Využívá se toho kvůli usnadnění práce a úspory času, když je potřeba mít několik objektů se stejnými vlastnostmi, jako je tomu v případě vztažných bodů v tomto projektu. Níže na obr. 5.9 je ukázka řešení hlavního materiálu vztažných bodů, které je podrobně vysvětleno v následujícím odstavci.



Obrázek 5.9: Ukázka hierarchie materiálů v Unreal Engine

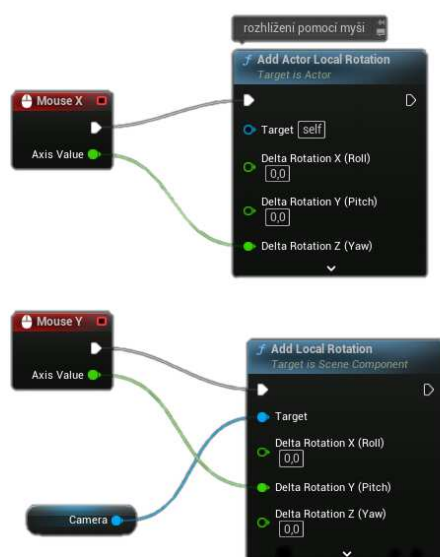
V hlavním **Parent** materiálu byl nastaven režim **Masked** a zaškrtnut parametr **Two Sided**. Pomocí režimu **Masked** byla aplikována maska založená na alfa kanálu importované

obrázkové textury, která způsobila zprůhlednění pozadí grafické značky vztažného bodu kvůli jejímu maskování. Parametr materiálu **Two Sided** napomáhá vidět grafické značky všech použitých vztažných bodů z obou stran.

Vzhledem k tomu, že každý bod má jinou značku, musel se v jednotlivých instancích zvolit jiný parametr obrázkové textury, a tím pádem byly definovány odlišné textury pro body *M*, *W*, *R* a *T*. Tímto způsobem vznikly objekty se stejnými vlastnostmi, ale odlišnými grafickými značkami. V případě nutnosti změn všech objektů lze tyto úpravy provést globálně editací **Parent** materiálu, kde se změna projeví na všech přidružených materiálech, což usnadňuje práci a zrychluje proces vývoje, poněvadž není nutné aplikovat změny na každý model zvlášť.

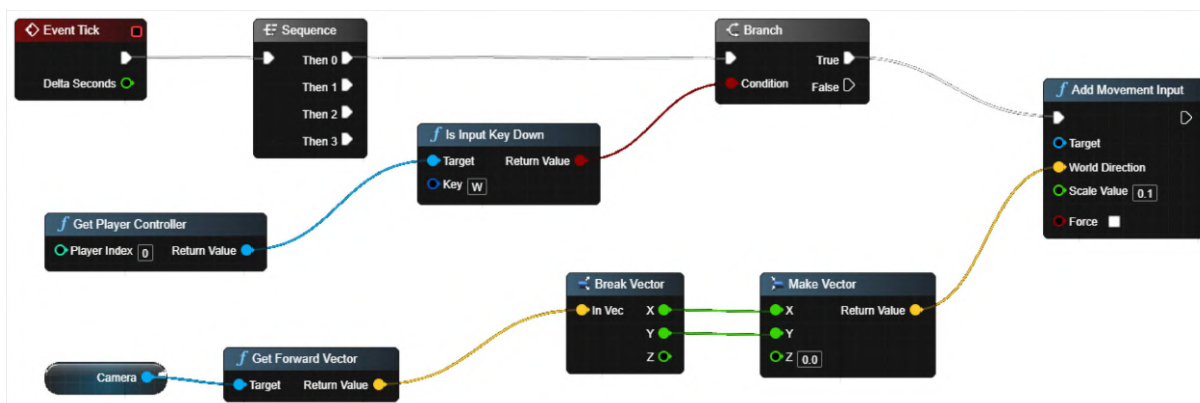
5.3.3 Zavedení ovládacích prvků a interaktivity

Prvním krokem bylo zprovoznění pohybu uživatele v prostředí virtuální scény. Je-li se jedná o pohyb uživatele v prostoru, musely být tyto operace naprogramovány v Blueprintu **BP_XRPawn**, kde anglické slovo *pawn* představuje pěšáka neboli panáčka. Tento Blueprint byl již v šabloně zahrnutý ve výchozím stavu bez programovací logiky. Na obr. 5.10 je zachycená naprogramovaná logika vizuálního skriptování Blueprintu, která slouží k ovládání pohledu kamery v aplikaci pomocí počítačové myši.



Obrázek 5.10: Blueprint ovládání pohybu kamery pomocí počítačové myši

Aby se uživatel mohl pohybovat i v samotném virtuálním prostředí aplikace a mohl si obhlédnout centrum prohlédnout z větší blízkosti, bylo v Blueprintu panáčka naprogramováno mapování počítačových kláves W, A, S a D se směry dopředu, doleva, dozadu a doprava. Vybrané počítačové klávesy jsou standardně používány k pohybu postav ve hrách a při navigaci ve virtuálních prostorech, a tudíž by žákům nemělo činit potíže zapamatovat si, jaké klávesy slouží k pohybu postavy v konkrétním směru. Na níže uvedeném obrázku je znázorněno skriptové zapojení pro klávesu W. Kompletní řešení kinematiky ovládání pohybu uživatele pomocí počítačových kláves lze vidět na obr. C.1 v příloze C. Pohyb je rozdělen na dvě větve – na přímý pohyb (klávesa W dopředu a klávesa S dozadu) a na postranní (klávesa D doprava a klávesa A doleva). Každá dvojice sdílí nastavení směru definované vektorem – pro přímý směr uzel **Get Forward Vector** a pro postranní směr uzel **Get Right Vector**. Celá soustava je propojena pomocí uzlu **Sequence** jednotlivými exekučními linkami.



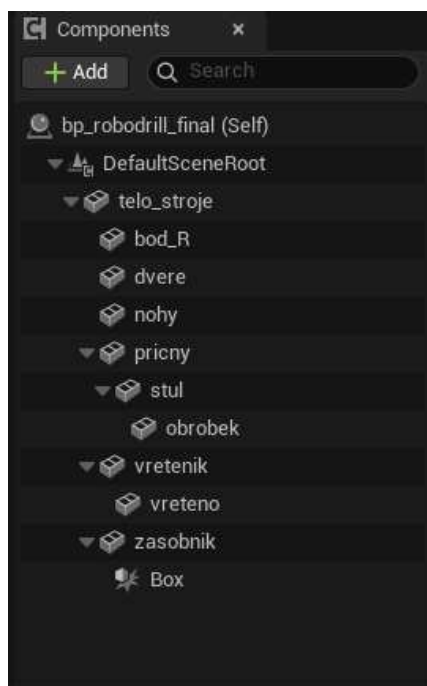
Obrázek 5.11: Blueprint ovládání pohybu uživatele pomocí klávesy W

Kromě logiky pohybu panáčka byla pro ukončení počítačové verze této výukové aplikace speciálně naprogramována klávesa Escape, aby uživatel mohl kdykoliv chod aplikace ukončit. Provedení této akce je možné vidět na obr. 5.12 na následující stránce. Uzel funkce **Quit Game** spouští zavření běžícího okna aplikace v počítači. Nakonec byl do Blueprintu panáčka vložen objekt **Capsule Collision**, který slouží jako fyzický obal postavy potřebný k detekci kolizí s ostatními objekty.



Obrázek 5.12: Blueprint propojení klávesy Escape

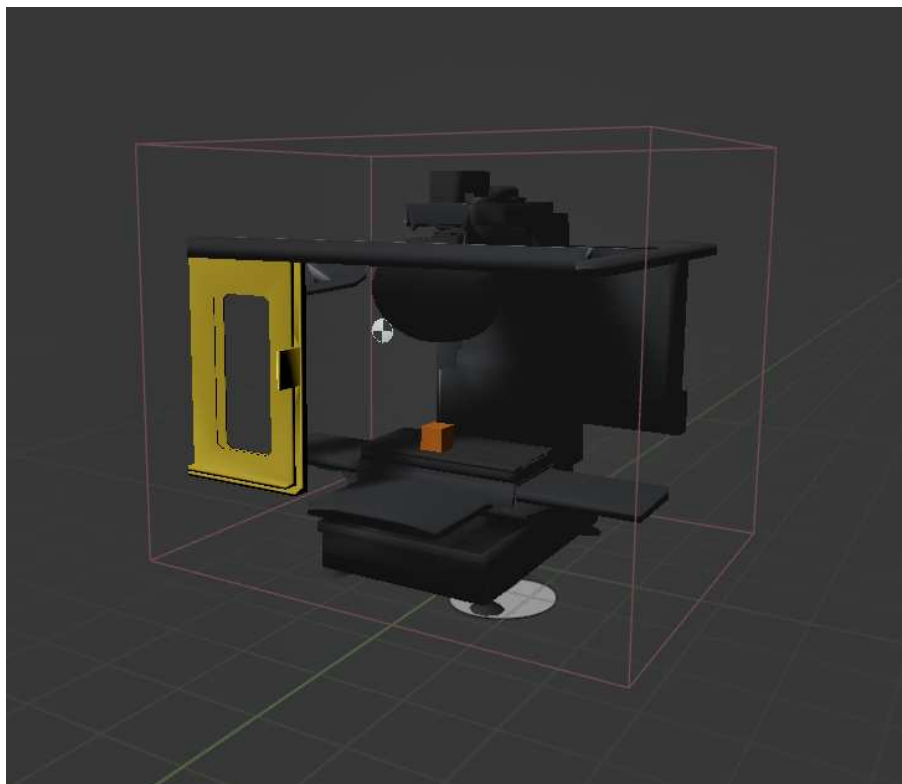
Dále byl vytvořen nový Blueprint typu **Actor**, který byl pojmenován **BP_Robodrill**. Do toho Blueprintu byla vložena skupina importovaných 3D modelů tvořících CNC obráběcí centrum převzatých z okna **Content Drawer** společně s příslušnými vztažnými body. Následně byla uspořádána hierarchie vložených modelů v sekci **Components**, jak lze vidět na obrázku níže.



Obrázek 5.13: Hierarchie komponentů v Blueprintu obráběcího centra

Aby se předešlo procházení uživatele pevnými částmi stroje, byla do této sekce vložena komponenta **Box Collision**, která vymezuje neprůchozí prostor Robodrillu. U zbývajících statických objektů v základní scéně, jako jsou zdi a podlaha, u nichž není žádoucí, aby byly

průchozí, byla nastavena blokáce kolize výběrem parametru **BlockAll** u **Collision Presets** v detailech komponenty. Celkový pohled na sestavenou scénu v Blueprintu stroje je zdokumentován na následujícím obrázku.



Obrázek 5.14: Viewport Blueprintu CNC obráběcího centra Robodrill

Dalším krokem bylo definování pokynů k ovládání stroje. Nejprve byly vytvořeny proměnné **Input Action** pro kladné i záporné směry os X , Y a Z . Navíc byla přidána proměnná pro reset komponent stroje do výchozí polohy. Je nutné upozornit, že tyto proměnné nejsou určeny přímo k fyzickému posunu komponent, ale ke komunikaci s uživatelským rozhraním HUD, jehož účel a popis tvorby budou rozebrány později. Následně proběhla tvorba propojení fyzických tlačítek na VR ovladačích s počítačovými klávesami. Toto řešení zajistilo, že výuková aplikace vytvořená v rámci této absolventské práce bude plně ovladatelná jak na počítači, tak i ve vybraných VR headsetech. Samotná konfigurace se uskutečnila prostřednictvím tabulky v systému **Input Mapping Context**. Aby zařízení zaregistrovalo tyto pokyny, musela být vytvořena mapa nahrána do Blueprintu postavy (EPIC GAMES, n.d.b).

V tabulce 5.1 na další stránce jsou znázorněny proměnné s odpovídajícími počítačovými klávesami a VR ovladači. Ovladače byly zvoleny tak, aby byly kompatibilní se všemi

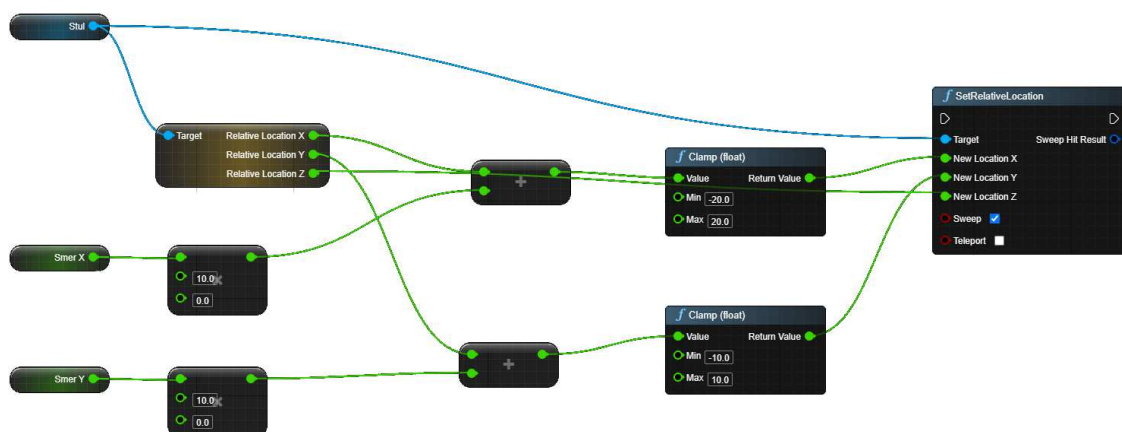
dostupnými headsety na VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí. Jak je patrné z tabulky, konfigurace vstupů pro headsety Meta Quest 2 a HTC Vive Focus 3 byla sjednocena do společného sloupce. Je tomu tak s ohledem na to, že jejich ovladače disponují téměř shodným rozložením prvků.

Tabulka 5.1: Tabulka konfigurace VR ovladačů s počítačovými klávesami

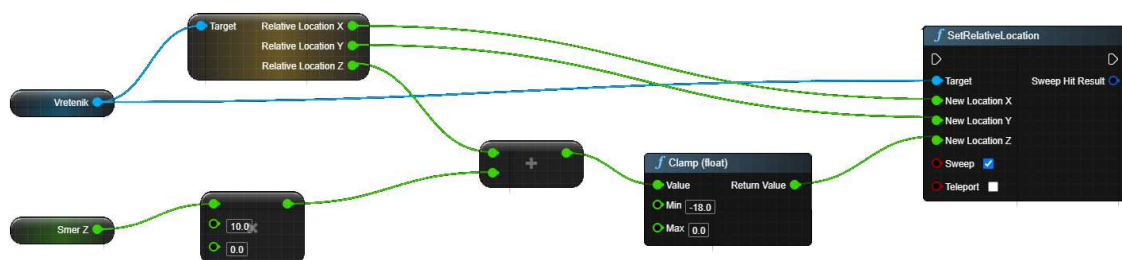
Proměnná	Klávesa (PC)	Meta Quest 2 / HTC Vive Focus 3	HTC Vive Pro
ia_x_plus	Right	Oculus (R) Trigger	Vive (R) Trigger
ia_x_minus	Left	Oculus (L) Trigger	Vive (L) Trigger
ia_y_plus	Up	Oculus (R) A Press	Vive (R) Trackpad Up
ia_y_minus	Down	Oculus (R) B Press	Vive (R) Trackpad Down
ia_z_plus	Page Up	Oculus (L) X Press	Vive (L) Trackpad Up
ia_z_minus	Page Down	Oculus (L) Y Press	Vive (L) Trackpad Down
ia_reset	Num 0	Oculus (R) Grip	Vive (R) Grip

Do Blueprintu Robodrillu byly vloženy tři vytvořené proměnné typu `Float` – `smer_x`, `smer_y` a `smer_z`. Každá z těchto proměnných představuje směr pohybu pohyblivých komponent obráběcího centra v příslušných osách. V tomto případě jsou funkčními pohyblivými částmi pracovní stůl a vřeteník, ve kterém je uloženo vřeteno, jež vykonává s nástrojem hlavní pracovní pohyb. Nově vytvořené proměnné byly použity při samotném programování ovládání komponent stroje zdokumentovaném na následující stránce.

Programování pohybu stroje bylo rozděleno na dvě logické větve, z nichž každá řídí pohyb komponent v jejich charakteristických osách. Do vstupního parametru **Target** u uzlů `Get Relative Location` i `Set Relative Location` jsou vždy zapojeny konkrétní objekty (komponenty stroje), s nimiž se má v dané větvi pohybovat. Uzel `Get Relative Location` slouží k identifikaci výchozích souřadnic objektu, kdežto uzel `Set Relative Location` vyhodnocuje jeho nové souřadnice. Samotný uzel `Clamp` zde plní funkci limitace osy, což znamená, že udává maximum a minimum dané osy. Vzhledem k tomu, že se pracovní stůl obráběcího centra pohybuje v osách *X* a *Y*, muselo být ovládání obou os řešeno dohromady, na rozdíl od vřeteníku, které koná pouze svislý pohyb nahoru a dolů v ose *Z*. Provedení zapojení Blueprintu pro ovládání pracovního stolu CNC stroje je znázorněno na obr. 5.15 a zapojení ovládání vřeteníku na obr. 5.16. Kompletní Blueprint ovládání pohybu komponent se nachází na obr. C.2 v příloze C. Jednotlivé části byly opět propojeny pomocí uzlu `Sequence`.



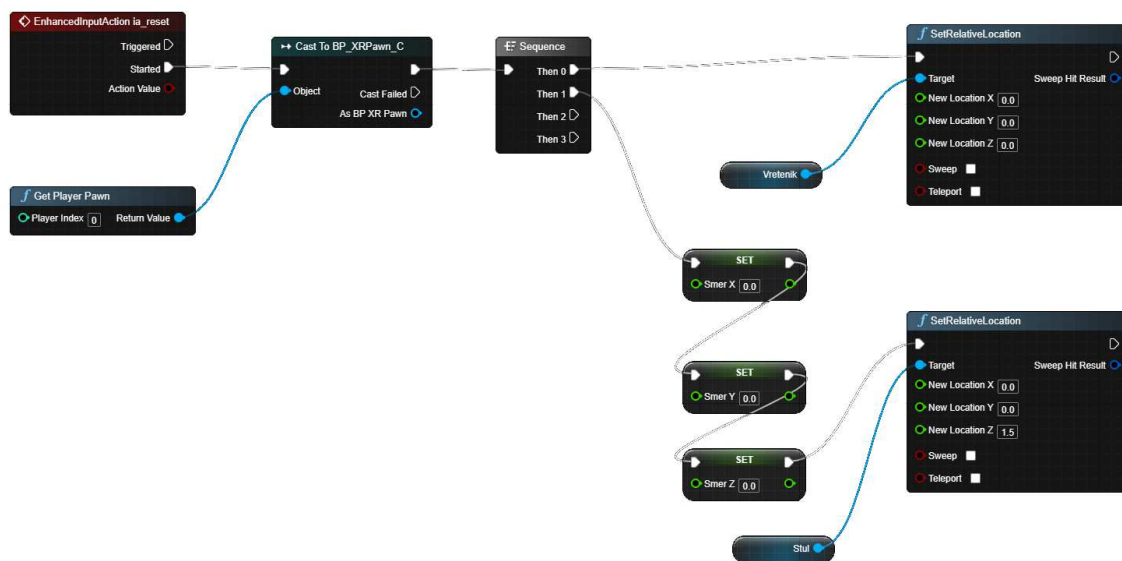
Obrázek 5.15: Blueprint ovládání pohybu pracovního stolu CNC stroje



Obrázek 5.16: Blueprint ovládání pohybu vřeteníku CNC stroje

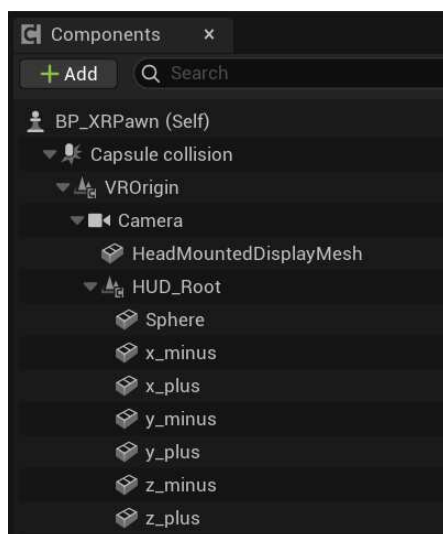
Jelikož by po manipulaci v průběhu výuky byly komponenty zanechány v náhodné poloze, byla v Blueprintu stroje naprogramována funkce Reset. Účelem této funkce je návrat komponent stroje do výchozí polohy, aby byl zajištěn plynulý chod aplikace a uživatelsky přívětivý zážitek. Spuštění funkce Reset bylo již řešeno pomocí uzlu **Enhanced Input Action** zmíněného ve spojitosti s konfigurací řízení pohybu komponent stroje pomocí počítačových kláves a VR ovladačů. Blíže bude uzel **Enhanced Input Action** popsán v následující sekci zabývající se uživatelským rozhraním HUD.

Na obr. 5.17 lze vidět, jak z uzlu **Sequence** vedou dvě paralelní exekuční linky – jedna linka resetuje do výchozí polohy vřeteník zatímco druhá linka má na starosti polohu stolu. Provedení nastavení resetu polohy pracovního stolu je komplikovanější kvůli nutnosti aplikace funkce na více než jednu osu. Z toho důvodu bylo nutné pojmout řešení nastavení kinematiky návratu komponent do výchozí polohy individuálním způsobem.



Obrázek 5.17: Blueprint funkce Reset komponent do výchozí polohy

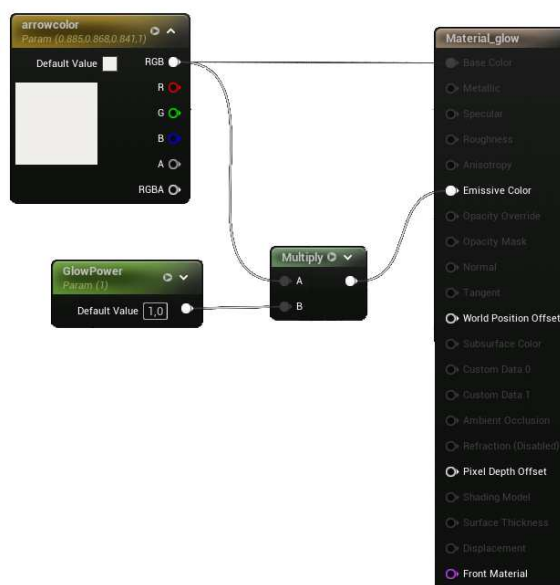
Dále byly jednotlivé 3D modely tvořící souřadný systém stroje, jehož funkce je popsána v podkapitole 3.1, vloženy do Blueprintu postavy. V sekci **Components** byla do Blueprintu přidána komponenta **Scene Component**, která se pojmenovala **HUD_Root**. Pod tuto komponentu byly přesunuty všechny objekty, z nichž se skládá vytvořený souřadný systém stroje, kvůli snadné manipulaci při změně polohy HUD. Výsledný výřez z hierarchie objektů postavy je zdokumentovaná níže.



Obrázek 5.18: Hierarchie Blueprintu postavy

V tomto stavu před sebou uživatel viděl scénu s CNC obráběcím centrem Robodrill a uživatelské rozhraní tvořené souřadným systémem stroje, podle kterého věděl, v jaké ose se pohybuje danými částmi stroje. Aby však vytvořená výuková pomůcka byla pro uživatele intuitivnější a přehlednější, byl navržen integrovaný systém HUD, kde se jednotlivé části souřadného systému rozsvěčují v závislosti na tom, jaký úkon je momentálně aktivní. Celý proces tvorby funkce rozsvícení prvků uživatelského rozhraní se skládal z několika na sebe navazujících kroků v materiálovém editoru a v systému Blueprintů.

Prvním krokem byla tvorba hlavního materiálu souřadného systému stroje nadřazeného ostatním materiálům šipek os v okně **Content Drawer**. Do Parent materiálu byl vložen uzel **Scalar Parameter**, který byl pojmenován **GlowPower** (v překladu síla záře) a jeho výchozí hodnota byla nastavena na 1.0. Pro dosažení barevné odlišnosti os souřadného systému byl vložen do materiálu uzel **Vector Parameter** pojmenovaný **arrowcolor** (barva šipky). Tyto dvě proměnné byly mezi sebou vynásobeny a výsledná hodnota byla zapojena do vstupu **Emissive Color**, jak je možné vidět na obrázku níže.

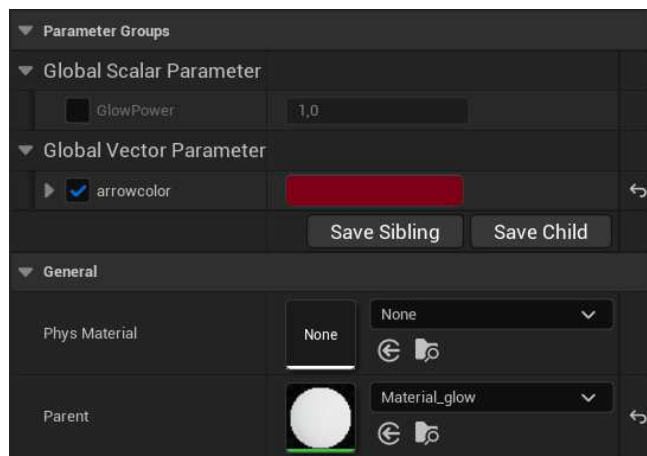


Obrázek 5.19: Nastavení hlavního materiálu záře šipek os

Jelikož má každá osa svou charakteristickou barvu, musely být vytvořeny tři samostatné materiálové instance pro dílčí osy *X*, *Y* a *Z*. Jako hlavní materiál byl těmto instancím přiřazen dříve vytvořený hlavní materiál. Protože souřadný systém stroje bude aplikován jako HUD ve výukové aplikaci, byl u všech objektů, které ho tvoří, vybrán stínovací model **Unlit**. Tento režim nereflektuje okolní světlo, a tudíž simuluje 2D grafiku,

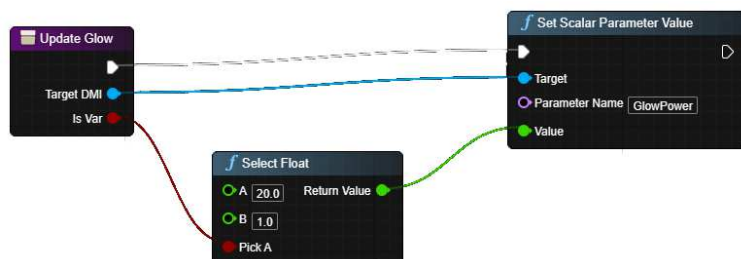
která je běžně používaná u uživatelských rozhraní kvůli lepší čitelnosti a přehlednosti.

V nastavení konkrétní materiálové instance (např. pro osu X viz obr. 5.20) se následně aktivoval parametr **arrowcolor** a byl zvolen preferovaný barevný odstín šipky. Vytvořením oddělených materiálových instancí bylo zaručeno, že si každá osa zachová svou vlastní charakteristickou barvu a nedojde k jejímu nežádoucímu sdílení mezi ostatními objekty.



Obrázek 5.20: Nastavení materiálu šipky osy X

Vzhledem k tomu, že je potřeba ovládat záři každé šipky (osy) za běhu aplikace, musel se aplikovat systém tvorby dynamických materiálových instancí v Blueprintu postavy. Tento proces je detailně zdokumentován na obr. C.3 v příloze C. Pomocí uzlů **Create Dynamic Material Instance** byly zhotoveny dynamické materiály jednotlivých objektů HUD, jež se následně uložily do proměnných vytvořených pro dílčí části os a středovou kouli. Pro přehlednost byly proměnné pojmenovány zkratkou DMI jako *Dynamic Material Instance* s přidáním doplnění označení podle typu objektu – k názvům os byla přidána jejich polarita a koule uprostřed byla pojmenována jako reset. Poslední uzly **Set Vector Parameter Value** určují barvu konkrétního dynamického materiálu.

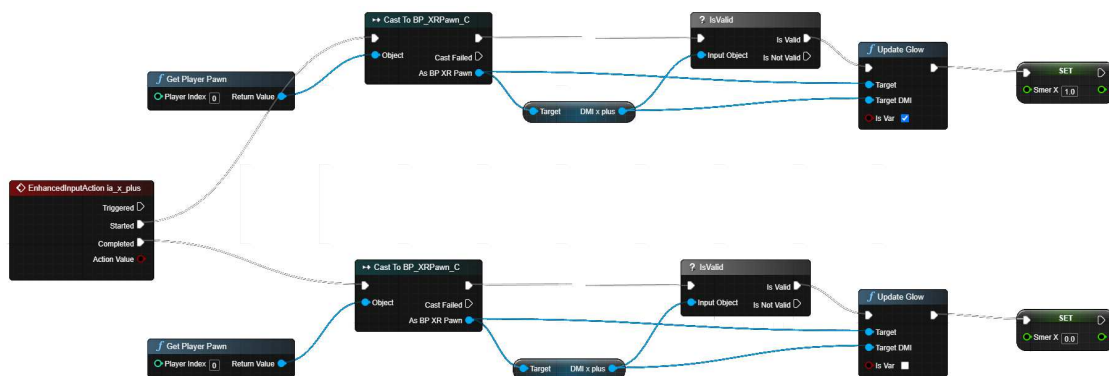


Obrázek 5.21: Blueprint změny intenzity záření UpdateGlow

K řízení intenzity záře se použila funkce `UpdateGlow` vytvořená v Blueprintu postavy, jejíž provedení je znázorněno na obr. 5.21 na předchozí stránce. Funkce `UpdateGlow` slouží primárně jako přepínač síly záře. V uzlu `Select Float` jsou dva stavy – zapnuto a vypnuto, které se mění na základě vnějších podnětů, jako je např. aktivace kladné osy X .

Pro zajištění rozsvícení vždy jednoho konkrétního objektu odpovídajícího prováděnému úkonu bylo potřebné naprogramovat odděleně každou vstupní akci `Input Action`. Jak již bylo zmíněno, všechny směry os a funkce reset mají definované své vlastní proměnné. Nyní se v minulosti vytvořené vstupy `Input Action` použily k aktivaci funkce `UpdateGlow`.

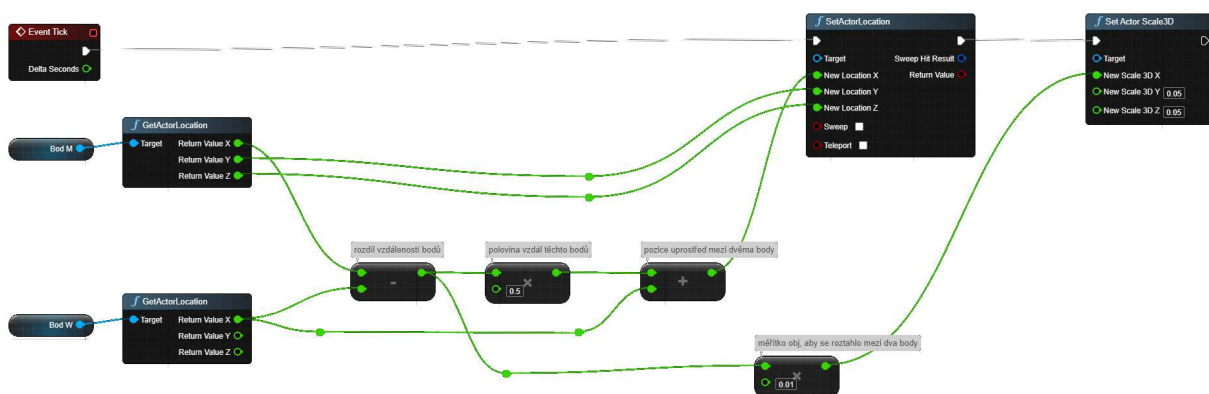
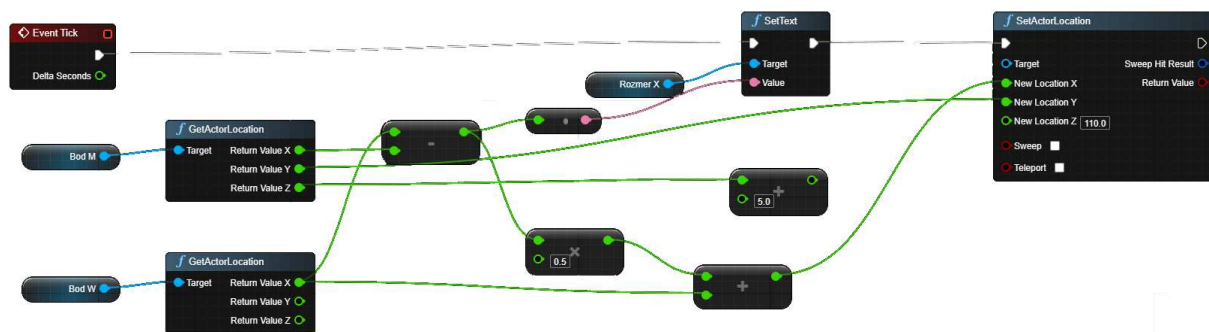
Kvůli tomu, že se umístění této funkce lišilo od umístění kinematiky ovládání komponent stroje, musela být řešena komunikace Blueprintu postavy s Blueprintem stroje. Řešení vnitřní komunikace mezi Blueprinty byla provedeno s pomocí metody `Casting` (EPIC GAMES, n.d.a). Do Blueprintu stroje byl za uzel `Enhanced Input Action` vložen uzel `Get Player Pawn` společně s uzlem `Cast to BP_XRPawn`, čímž byla vyvolána funkce `UpdateGlow` umístěná v Blueprintu postavy. Na obr. 5.22 jsou vidět dvě větve vedoucí z uzlu `Enhanced Input Action`, jež kompletují celou operaci. Jedna větev má na starosti aktivaci úkonu, zatímco druhá větev slouží k deaktivaci.



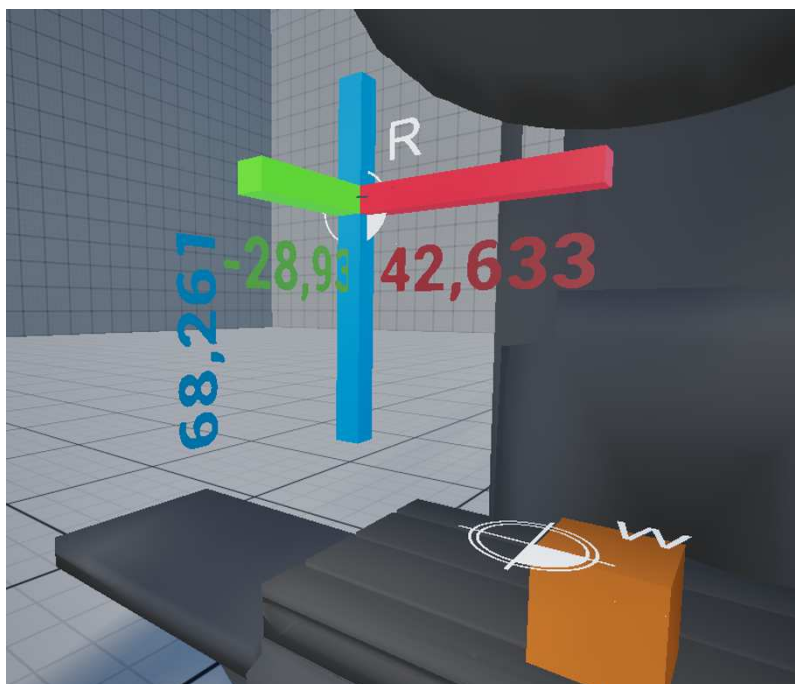
Obrázek 5.22: Blueprint aplikace efektu záře na šipku v kladné ose X

Dalším krokem bylo naprogramování systému kótování vzdálenosti vztažných bodů mezi sebou. Než bylo možné přistoupit k samotnému programování, bylo nezbytné vytvořit soustavu Blueprintů v okně **Content Drawer**. Jednalo se konkrétně o Blueprinty kótovacích čar a následně Blueprinty pro textové zobrazení číselných rozměrů v jednotlivých osách. Kromě toho bylo ještě zapotřebí mít odděleně Blueprinty pro vztažné body M , W a T . Celý tento kótovací systém se skládal z devíti samostatných Blueprintů. Dále byly do Blueprintů kótovacích čar a číselných rozměrů vloženy proměnné typu `Actor` pojmenované podle vztažných bodů vztahujících se k daným osám. Na ně byly navázány

v sekci **Default** vytvořené Blueprinty vztažných bodů kvůli referencím prvků. Kótovací čára funguje na principu odečtení rozdílu vzdálenosti polohy bodů, násobením polovinou vzdálenosti těchto bodů a nakonec jejím umístěním mezi vztažnými body. Tento princip je zdokumentovaný na obrázcích níže pro kótovací čáru v ose X a pro odpovídající číselný rozměr. U Blueprintu kótovací čáry osy X jsou navíc poznámky, kde jsou přiřazeny výše popsané operace jednotlivým uzlům Blueprintu.

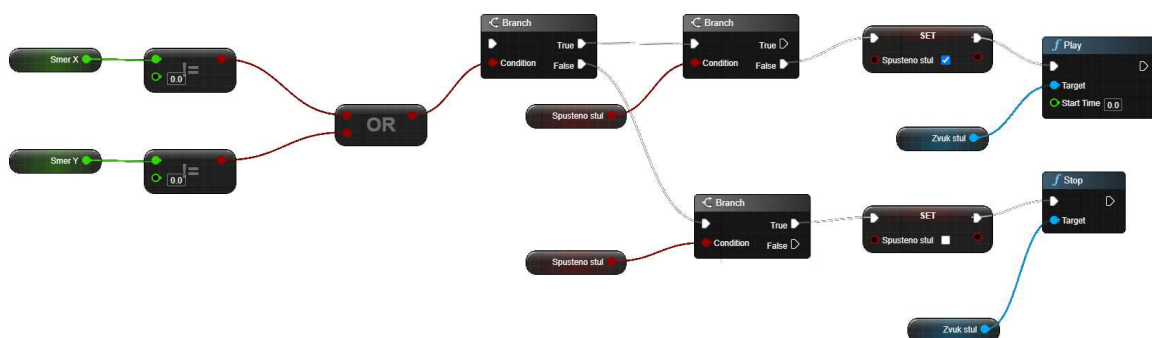
Obrázek 5.23: Blueprint provedení kótovací čáry v ose X Obrázek 5.24: Blueprint provedení číselného rozměru kóty v ose X

Vizualizace kótování vzdálenosti vztažných bodů byla řešena vložením modelu krychle zastupující kótovací čáru, která se natahuje nebo smršťuje v závislosti na vzdálenosti bodů, a vložením objektu **Text Render** představující číselný rozměr kóty, jež uživateli sdělí, jaká je mezi nimi vzdálenost. Na následující stránce je vidět na obr. 5.25 grafický výstup naprogramovaného kótování objektů.



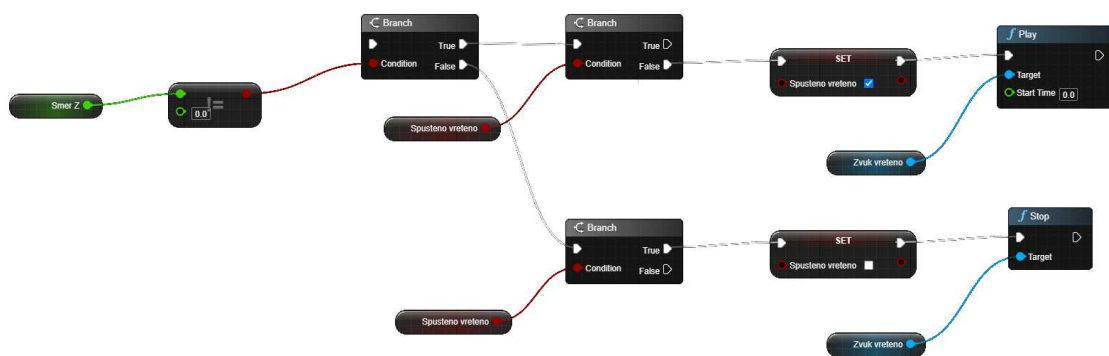
Obrázek 5.25: Kótování vzájemné vzdálenosti vztažných bodů (v cm)

Předposlední fází vývoje výukové aplikace bylo přidání zvukové odezvy při manipulaci s komponenty obráběcího centra kvůli maximální interakci s uživatelem. Z toho důvodu byla do Blueprintu stroje přidána logika pro aktivaci zvukového efektu. Jelikož bylo cílem, aby cinknutí potvrzující spuštění proběhlo pouze na začátku operace, musely být vytvořeny dvě exekuční větve zvlášť pro interakci s pracovním stolem obráběcího centra a pro interakci s vřeteníkem, jak lze vidět na obrázku obr. 5.26 níže v případě akustiky stolu. Provedení zapojení zvukové odezvy vřeteníku se nachází na obr. 5.27 na následující stránce.



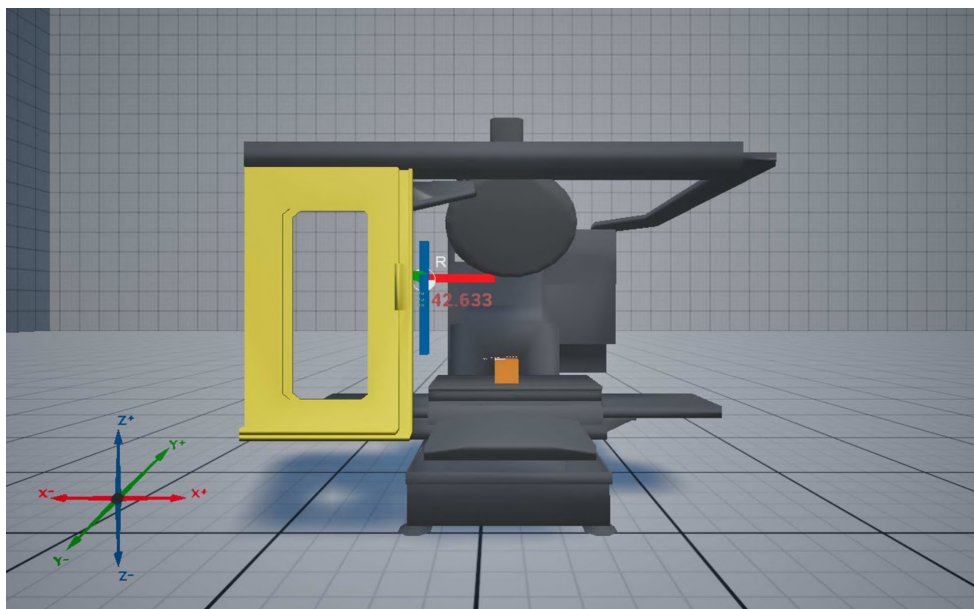
Obrázek 5.26: Blueprint zvukové odezvy interakce se stolem

Zvuk byl aktivován pomocí uzlu **Play** a deaktivován uzlem **Stop**. Celá logika zvukové odezvy byla propojena s ovládáním komponent stroje prostřednictvím uzlu **Sequence**. V případě funkce **Reset** stačilo přidat uzel **Play Sound** a vybrat libovolnou zvukovou stopu z knihovny Unreal Engine.



Obrázek 5.27: Blueprint zvukové odezvy interakce s vřeteníkem

Níže na obrázku je viditelná kompletní finální kompozice scény, kterou uživatel uvidí po spuštění vytvořené výukové aplikace. V levém spodním rohu je krásně vidět vytvořený souřadný systém stroje plnící funkci uživatelského rozhraní HUD.



Obrázek 5.28: Finální virtuální scéna

5.3.4 Finální export aplikace pro HTC Vive Focus 3

Poslední fází vývoje výukové aplikace, která je předmětem této absolventské práce, byl export finální verze vytvořené výukové pomůcky k vysvětlení strojních principů CNC obráběcích strojů. Nejprve byl nainstalován bezplatný vývojářský software Android Studio, který je potřebný k zabalení projektu (tzv. *packaging*) kvůli nástrojům Android SDK a NDK. V nastavení projektu **Project Settings** byly definovány přístupové cesty k výše zmíněným nástrojům a byly nastaveny parametry potřebné ke konfiguraci platformy Android, v rámci které probíhal export projektu sestaveného v Unreal Engine do formátu **.apk**. Tento soubor je poté možné nahrát do paměti vybraného headsetu HTC Vive Focus 3. Samotný princip postupu *packaging* projektu vytvořeném v Unreal Engine je popsán na webových stránkách zaměřených na produkty Vive (VIVE DEVELOPERS, n.d.).

Podobným způsobem byla vygenerovaná i počítačová verze vytvořené aplikace, s tím rozdílem, že u této verze aplikace musela být zvolena platforma Windows. Prvotní export aplikace trval dvě a půl hodiny, což bylo o poznání více v porovnání s exportem VR verze, která trvala pouze hodinu. Proces *packaging* s exportem projektu se nedařil dlouhou dobu, a proto došlo k nečekanému zdržení v této fázi tvorby projektu. Nejprve se projekt kompiloval pro virtuální realitu. Na počátku průběhu balení docházelo k chybám, které znemožňovaly provést *packaging*. Mezi hlavní příčiny patřil nestabilní internetové připojení, nekompatibilní verze Android SDK a NDK s použitou verzí Unreal Engine, zastaralá verze softwaru Visual Studio (Unreal Engine vyžaduje její přítomnost kvůli exportu) a umístění v synchronizované složce cloudového úložiště OneDrive, jež téměř zapříčinila ztrátu celého vytvořeného projektu.

Aby se podařilo zprovoznit funkční aplikaci ve virtuální realitě, vyžádalo si to třináct verzí. Tyto chyby byly zjištěné pouze ve VR, jelikož náhled aplikace v počítači neodpovídá zobrazení přes VR brýle. V rámci oprav bylo upravené celkové měřítko scény, protože neodpovídalo skutečnosti. Dále došlo k úpravě hierarchie uživatelského rozhraní HUD, jež bylo původně podřazené pod levým ovladačem, což způsobilo zrcadlení a deformaci souřadného systému stroje. Kromě toho byla upravena jeho poloha, aby bylo eliminováno zkreslení pohledu přes dvě čočky VR brýlí, které zužují zorné pole, a tudíž byl HUD špatně viditelný.

U exportu aplikace pro počítač stačilo pouze šest verzí, vzhledem k tomu, že všechny zásadní překážky byly již vyřešeny během exportu a opravy VR verze aplikace. Zde se pouze řešilo umístění uživatelského rozhraní HUD.

Kapitola 6

Testování a ověření funkčnosti

Původním plánem bylo provést analýzu výsledků dvou skupin žáků strojírenských oborů. První skupina se měla učit strojírenskou teorii tradičním způsobem pomocí plošných 2D schémat a druhá skupina by měla k dispozici vytvořenou VR aplikaci. Poté měli být žáci podrobeni znalostnímu testu z oblasti strojních principů obsažených v této absolventské práci. Na základě získaných poznatků měla být provedena analýza přínosu zhotovené výukové aplikace ve virtuální realitě. Po odborné konzultaci se zadavatelem projektu a vedoucí práce však bylo od toho plošného krátkodobého testování upuštěno vzhledem k tomu, že krátkodobé uživatelské testování by nevedlo k dostatečně průkazným výsledkům analýzy. Aby výsledky byly jednoznačné a objektivní, muselo by testování probíhat v horizontu minimálně dvou let. Z toho důvodu bylo rozhodnuto, že testování proběhne formou ověření technické funkčnosti vytvořené aplikace virtuální reality.

Tato kapitola je věnována popisu výsledků proběhlého testování a ověření naučné aplikace virtuální reality pro výuku strojních principů CNC strojů, která byla vytvořena v rámci této absolventské práce. Podkapitola 6.1 se zabývá výsledky testování interaktivní vizualizace v počítači, kde je kladen důraz na pohyb a orientaci v prostředí výukové aplikace, kolize s objekty, ovládání os X , Y a Z . V podkapitole 6.2 jsou shrnuty dosažené výsledky testování vytvořené aplikace v prostředí VR pomocí headsetu. Je zde zaměřena pozornost na prostorové vnímání objektů a uživatelské ovládání os X , Y a Z .

6.1 Testování aplikace v počítači

Počítačová verze aplikace se shoduje s náhledem virtuální scény na počítači v průběhu tvorby projektu. Aplikace je po načtení ihned ovladatelná. Pohyb v prostoru plynule funguje pomocí intuitivního rozložení ovládání pohybu postavy. Počítačová myš slouží k naklánění kamery a počítačové klávesy k samotnému pohybu uživatele ve virtuální scéně. Vazby mezi počítačovými klávesami a směry pohybu jsou znázorněny v tabulce 6.1.

Tabulka 6.1: Tabulka ovládání pohybu postavy v počítači

Počítačová klávesa	Směr pohybu uživatele
W	Dopředu
A	Doleva
S	Dozadu
D	Doprava

Stroj je díky vloženému koliznímu boxu neprůchozí, a tak nehrozí, že by se uživatel mohl ocitnout uvnitř obráběcího centra. Co se týče ovládání komponent stroje, vše je v naprostém pořádku. Interaktivní pohyb objektů a jejich zvuková odezva se uskuteční i při minimálním stisknutí počítačové klávesy. Dokud je počítačová klávesa stisknutá, komponenta se pohybuje do té doby, než dosáhne svého limitu, přičemž je možné zároveň řídit pohyb stolu i vřeteníku. Na níže uvedené tabulce 6.2 jsou vidět počítačové klávesy určené k interakci s obráběcím centrem. Uživatelské rozhraní HUD kopíruje prováděné operace a rozsvěcuje odpovídající prvky souřadného systému. Systém kótování zde také funguje bez výhrad.

Tabulka 6.2: Tabulka ovládání komponent stroje v počítači

Počítačová klávesa	Osa a směr pohybu	Ovládaná komponenta
Right	Kladný směr osy X	Pracovní stůl
Left	Záporný směr osy X	Pracovní stůl
Up	Kladný směr osy Y	Pracovní stůl
Down	Záporný směr osy Y	Pracovní stůl
Page Up	Kladný směr osy Z	Vřeteník
Page Down	Záporný směr osy Z	Vřeteník
Num 0	Výchozí stav	Všechny komponenty

6.2 Testování aplikace ve VR

Vyexportovaná aplikace pro virtuální realitu byla otestována ve vypůjčeném headsetu Meta Quest 2. Jelikož je výsledný soubor ve formátu `.apk`, bylo nutné aplikaci nahrát do headsetu manuálně. K tomu byla použita mobilní aplikace Meta s aktivovaným vývojářským režimem. Následně byla aplikace nahrána prostřednictvím programu SideQuest do náhlavní soupravy.

Měřítko virtuální scény odpovídalo skutečnému CNC obráběcímu centru Robodrill po uplatnění úprav, jak bylo zmíněno v podkapitole 5.3.4. Pohyb v prostoru byl řešen fyzickým pohybem uživatele, což mělo za následek neúspěšnou detekci kolize uživatele se 3D modelem stroje, jelikož aplikace nedokáže zaregistrovat přítomnost fyzické schránky uživatele a z toho důvodu se obráběcí centru stává pro uživatele průchozí. Interaktivní ovládání komponent v osách X , Y a Z funguje přesně podle mapování provedeném v konfigurační tabulce 5.1 v podkapitole 5.3.3. Souřadný systém stroje je umístěn uprostřed v dolní části zobrazení virtuální scény, odkud ho lze ostře a přehledně vidět, a aktivně se rozsvěcuje v závislosti na prováděných úkonech. Doprovází ho nastavené zvukové odezvy. Celá kótovací soustava funguje stejně jako v počítačové verzi aplikace.

Kapitola 7

Závěr

Cílem této absolventské práce bylo navrhnout a vytvořit koncept aplikace virtuální reality, jež bude sloužit jako výuková pomůcka k výuce strojních principů a funkcí CNC obráběcích strojů. Návrh aplikace byl zpracován na základě požadavků pana Daniela Krže, učitele praktické výuky CNC strojů na škole VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí.

V teoretické části práce byly analyzovány dostupné technologie pro provoz virtuální reality VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí. Na základě provedené analýzy byly vyhodnoceny náhlavní soupravy Meta Quest 2 a HTC Vive Focus 3 jako optimální hardware pro účely výuky kvůli jejich bezdrátovému provedení, jež zajistí bezpečný pohyb žáků v prostoru. Pro vývoj aplikace byl zvolen software Unreal Engine, který má možnost programování pomocí vizuálního skriptování Blueprints.

Praktická část práce se skládala ze samotné tvorby výukové pomůcky a jejího následného popisu. Převzatý model šestiosého obráběcího centra Robodrill značky Fanuc byl podroben funkční optimalizaci a retopologii sítě. Tyto kroky byly potřebné kvůli zaručení plynulého chodu aplikace ve virtuální realitě. Aby měl výukový model i naučnou funkci, byly do něj implementovány zásadní prvky, jako jsou vztažné body a kartézský souřadný systém stroje, jež je klíčový pro pochopení chodu číslicově řízených strojů.

V prostředí Unreal Engine byla sestavena virtuální scéna a obohacena o naprogramovanou kinematiku pohybu dílčích komponent obráběcího centra společně s uživatelsky přívětivým interaktivním rozhraním, kde se v závislosti na tom, v jaké ose se pohybuje pracovní stůl nebo vřeteník, rozsvítí příslušný prvek vytvořené soustavy modelů tvořících souřadný systém stroje. Navíc se při aktivaci operace spustí krátká zvuková odezva sloužící jako potvrzení o prováděné operaci. Unikátním prvkem výukové aplikace je systém 3D kótování vzdáleností mezi jednotlivými vztažnými body.

Mezi nejnáročnější fáze vývoje této aplikace patřila zejména tvorba logiky kótování

vzdáleností bodů a export celé vytvořené aplikace ve virtuální realitě, jelikož zde došlo k nejvíce komplikacím a technickým problémům.

Navzdory všem překážkám v průběhu vývoje se podařilo výukovou aplikaci úspěšně dokončit a exportovat ve dvou provedeních – do počítačové verze a verze určené pro virtuální realitu. Následně proběhlo otestování jejich funkce, během něhož byly zhodnoceny dílčí aspekty funkčnosti obou verzí. Do budoucna by se mohla v aplikaci pro virtuální realitu dořešit absence kolizí u modelu CNC obráběcího centra a doplnit úvodní obrazovka po spuštění u obou verzí. Jedná se však pouze o estetické detaily, které nijak nenarušují funkčnost vytvořené aplikace. Výsledným výstupem této absolventské práce je plně funkční aplikace s možností spuštění na počítači i prostřednictvím headsetu ve VR, která splňuje všechny stanovené cíle.

Literatura

- ADOBE (n.d.), Objasnění principů virtuální reality [online]. [cit. 2025-11-23], [⟨https://www.adobe.com/cz/products/substance3d/discover/what-is-vr.html⟩](https://www.adobe.com/cz/products/substance3d/discover/what-is-vr.html).
- AUTODESK (2026), CNC Milling Coordinate System Made Easy [online]. [cit. 2026-01-08], [⟨https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/⟩](https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/).
- DIGIDOUPE (n.d.), Virtuální realita (VR) [online]. [cit. 2025-11-24], [⟨https://www.digidoupe.upol.cz/index.php/digiseznam/⟩](https://www.digidoupe.upol.cz/index.php/digiseznam/).
- EPIC GAMES (n.d.a), Casting Quick Start Guide in Unreal Engine [online]. [cit. 2026-03-27], [⟨https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/⟩](https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/).
- EPIC GAMES (n.d.b), Enhanced Input in Unreal Engine [online]. [cit. 2026-03-19], [⟨https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/⟩](https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/).
- EPIC GAMES (n.d.c), FBX Static Mesh Pipeline [online]. [cit. 2026-02-24], [⟨https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/⟩](https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/).
- EPIC GAMES (n.d.d), Instanced Materials in Unreal Engine [online]. [cit. 2026-03-06], [⟨https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/⟩](https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/).
- FANUC (n.d.), ROBODRILL α -D21LB5 Plus [online]. [cit. 2026-01-12], [⟨https://www.fanuc.eu/cz-cs/produkt/robodrill/robodrill-a-d21lib5-plus⟩](https://www.fanuc.eu/cz-cs/produkt/robodrill/robodrill-a-d21lib5-plus).
- GOOGLE (2014), Google Cardboard with Smartphone [online]. [cit. 2025-11-24], [⟨https://arvr.google.com/cardboard/⟩](https://arvr.google.com/cardboard/).
- HTC CORPORATION (2026a), VIVE Focus 3 [online]. [cit. 2026-01-12], [⟨https://www.vive.com/us/product/vive-focus3/overview/⟩](https://www.vive.com/us/product/vive-focus3/overview/).
- HTC CORPORATION (2026b), VIVE pro 2 Headset [online]. [cit. 2026-01-12], [⟨https://www.vive.com/us/product/vive-pro2/overview/⟩](https://www.vive.com/us/product/vive-pro2/overview/).

- INAIR (2025), Best Virtual Reality Hardware -a Deep Dive into the Ultimate Immersive Experience [online]. [cit. 2025-11-26], [⟨https://inairspace.com⟩](https://inairspace.com).
- META (2020), Introducing Oculus Quest 2, the Next Generation of All-in-One VR [online]. [cit. 2025-11-24], [⟨https://about.fb.com/news/2020/09/⟩](https://about.fb.com/news/2020/09/).
- META (2026), Meta Quest 2 is no longer available. [online]. [cit. 2026-01-12], [⟨https://www.meta.com/quest/products/quest-2/tech-specs/⟩](https://www.meta.com/quest/products/quest-2/tech-specs/).
- QUALCOMM (2017), Advancing inside-out motion tracking for immersive mobile VR [online]. [cit. 2025-11-24], [⟨https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/08/⟩](https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/08/).
- TAREQ AL SAWAFTA (2026), Milling calculations, coordinates and program preparing. [cit. 2026-01-08], [⟨http://stdubai.pbworks.com/⟩](http://stdubai.pbworks.com/).
- TECHK (2019), Industry News – Reference points ona CNC machine [online]. [cit. 2026-01-08], [⟨https://techk.vn/tin-tuc/tin-chuyen-nganh/⟩](https://techk.vn/tin-tuc/tin-chuyen-nganh/).
- VIVE DEVELOPERS (n.d.), Packaging an OpenXR project in Unreal 4.26 and 4.27 [online]. [cit. 2026-07-24], [⟨https://developer.vive.com/resources/openxr/⟩](https://developer.vive.com/resources/openxr/).
- ŠTULPA, M. (2015), *CNC – Programování obráběcích strojů*, Praha: Grada Publishing. 1. vydání. ISBN 978-80-247-5269-3.

Příloha A

Obsah přiloženého CD/DVD

K této práci je přiloženo CD/DVD s následující adresářovou strukturou.

- Absolventská práce v ~~TeX~~2e: veškeré zdrojové soubory tvořící absolventskou práci napsanou v typografickém systému L^AT_EX2e
- Aplikace: originální soubor projektu vytvořeného v Unreal Engine ve formátu .unproject
- Exportovana_PC_aplikace: exportovaná aplikace pro počítač ve formátu .exe
- Exportovana_VR_aplikace: exportovaná aplikace pro VR headset ve formátu .apk
- 3D_modely: složka obsahující podkladové materiály pro tvorbu virtuální scény
 - Modely_v_Blender: zdrojové soubory originálního i optimalizovaného CNC stroje a souřadnicového systému stroje ve formátu .blend
 - Textury_vztaznych_bodu: vytvořené grafické značky vztažných bodů s průhledným pozadím ve formátu .png
 - FBX_export: modely exportované do formátu .fbx pro import do Unreal Engine
- Blueprints: schémata vizuálního skriptování naprogramovaná v Unreal Engine
- Kiss_AP_2025_2026.pdf – absolventská práce ve formátu PDF

Příloha B

Použitý software

Android Studio $\langle$ <https://developer.android.com/> $\rangle$

Blender $\langle$ <https://www.blender.org/> $\rangle$

Inkscape $\langle$ <https://inkscape.org/> $\rangle$

L^AT_EX 2_ε $\langle$ <http://www.miktex.org/> $\rangle$

SideQuest $\langle$ <https://sidequestvr.com/> $\rangle$

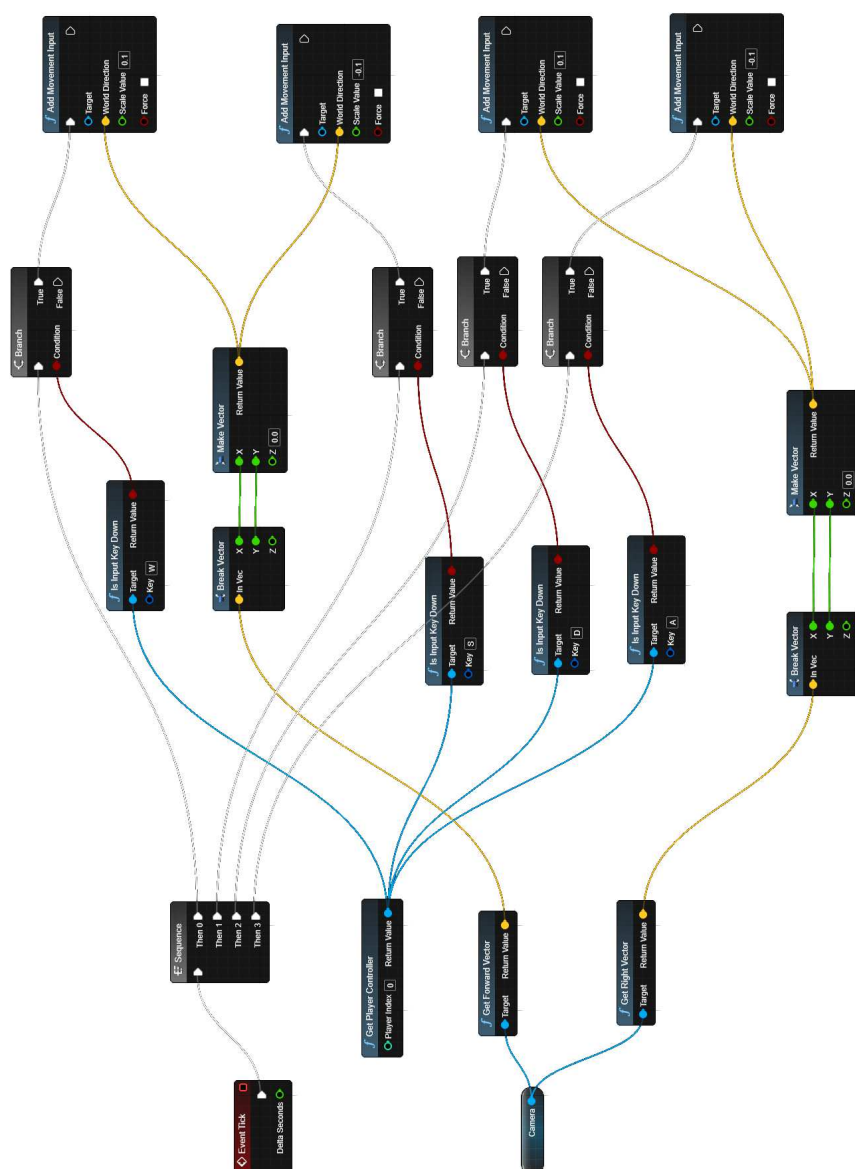
Unreal Engine $\langle$ <https://www.unrealengine.com/en-US> $\rangle$

WinEdt 11.2 $\langle$ <http://www.winedt.com/> $\rangle$

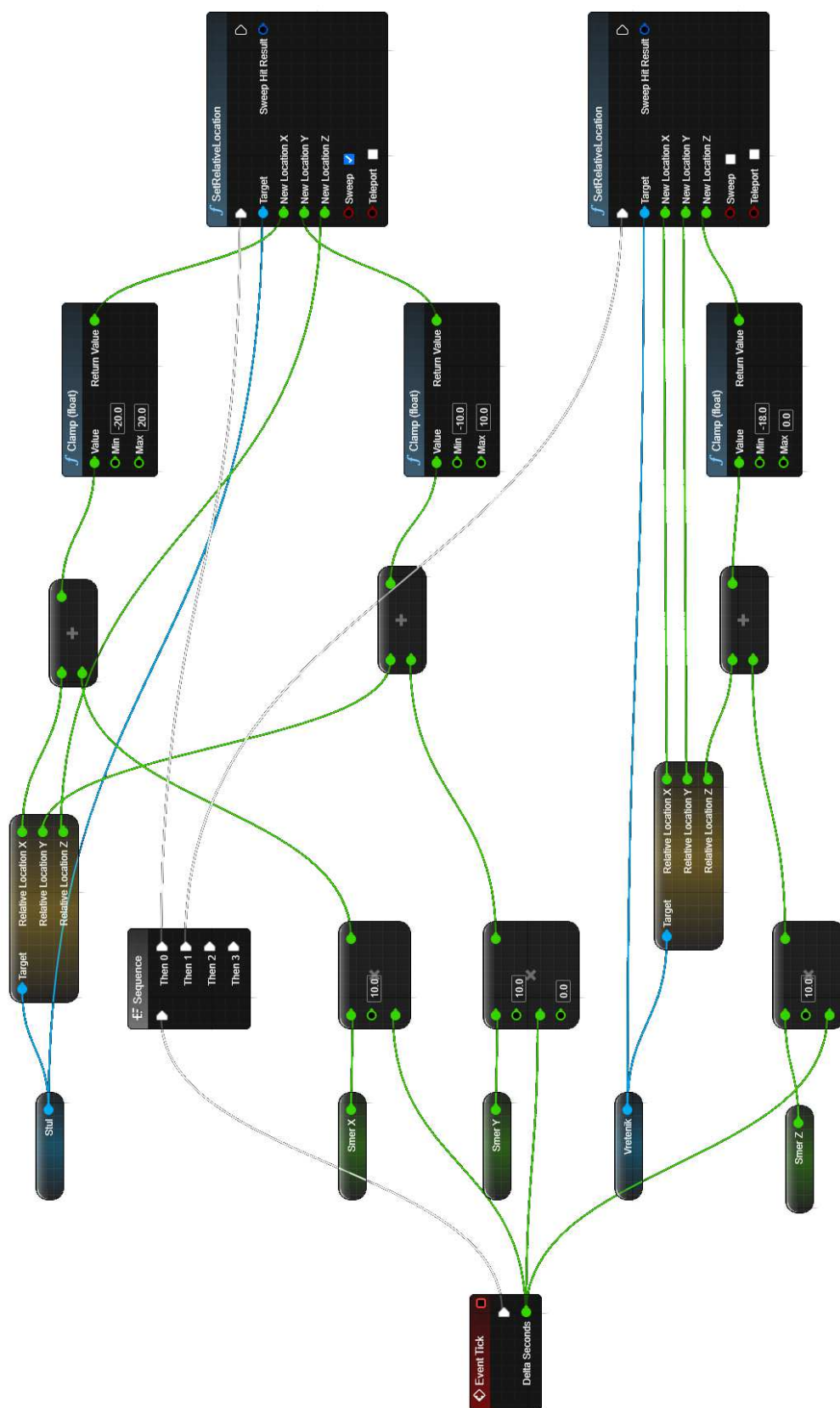
Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný, nebo jeho licenci toho času vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autorka toho času studovala a vytvořila tuto práci.

Příloha C

Vizuální skriptování (Blueprints)



Obrázek C.1: Blueprint kinematiky ovládní pohybu uživatele pomocí kláves



Obrázek C.2: Blueprint kinematiky ovládání pohybu komponentů v osách pomocí kláves



Obrázek C.3: Blueprint dynamických materiálových instancí

Příloha D

Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
Rešerše	2 týdny	15.07.2025	13.07.2025
Stažení a analýza modelu obráběcího centra	0,5 týdne	21.07.2025	16.07.2025
Testování enginu	2 týdny	31.07.2025	26.08.2025
Konzultace zadání a cílů s vedoucím	1 týden	31.08.2025	06.09.2025
AP: kapitola Úvod	2 týdny	07.09.2025	03.09.2025
Modelování 3D modelů	4 týdny	10.12.2025	14.01.2026
Tvorba scény (vizuální řešení)	2 týdny	10.01.2026	04.02.2026
Tvorba virtuální scény a ovládacích prvků	6 týdny	10.02.2026	28.04.2026
Testování	0,5 týdne	20.02.2026	04.08.2026
Vyhodnocení zpětné vazby a úpravy	0,5 týdne	28.02.2026	24.06.2026
AP: kompletní text	2 týdny	15.03.2026	27.06.2026
Konzultace, úpravy finální verze, exporty	2 týdny	25.04.2026	13.08.2026