

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Jan Chryczyk

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Současné možnosti herních enginů pro imerzivní učení
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Chryczyk**
Osobní číslo: **C22126**
Studijní program: **B0531A130014 Polygrafie**
Téma práce: **Současné možnosti herních enginů pro imerzivní učení**
Téma práce anglicky: **Current possibilities of game engines for immersive learning**
Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Zásady pro vypracování

- Literární rešerše zaměřená na možnosti využití AR a VR pro učení a výcvik.
- Rešerše zaměřená na relevantní herní engíny jako nástroje pro vytváření imerzivního prostředí pro výuku, jejich historii a vývoj.
- Popis nástrojů a základních prvků scény pro AR/VR.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Halenkovič, Ph.D.**
Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2025**

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Tomáš Syrový, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 19. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Současné možnosti herních enginů pro imerzivní učení jsem vypracoval samostatně. Při zpracování jsem využil nástroj umělé inteligence (NotebookLM) k rychlejší orientaci v nahraných zdrojových dokumentech a k sestavení přehledů obsahu těchto zdrojů. Všechny informace z těchto přehledů byly ověřeny a zpracovány do souvislého textu mnou samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Jan Chryczyk

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mě během zpracování bakalářské práce podporovali. Především děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Tomáši Halenkovičovi, Ph.D. za cenné rady, trpělivost, odborné vedení a vstřícnost během celého procesu. Dále děkuji své rodině a blízkým za trvalou podporu, trpělivost a motivaci, bez které by nebylo možné práci úspěšně dokončit.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá současnými možnostmi využití herních enginů při tvorbě interaktivních prostředí pro virtuální (VR) a rozšířenou realitu (AR). Práce analyzuje klíčové vlastnosti těchto enginů, jejich programovací jazyky, grafické možnosti a specifické funkce pro vývoj VR/AR aplikací. Zkoumá rovněž výhody a omezení těchto technologií a jejich potenciál pro vzdělávání a trénink, zejména v oblasti polygrafie. Závěrečná část práce se zaměřuje na design a konstrukci interaktivního virtuálního prostředí. Práce zdůrazňuje rostoucí význam herních enginů v moderních interaktivních technologiích a jejich přínos pro efektivní vzdělávací a tréninkové procesy.

KLÍČOVÁ SLOVA

herní enginy, virtuální realita, rozšířená realita, interaktivní prostředí, imerzivní učení, vzdělávání, trénink, polygrafie

TITLE

Current possibilities of game engines for immersive learning

ANNOTATION

The bachelor thesis focuses on the current possibilities of using game engines in the creation of interactive environments for virtual reality (VR) and augmented reality (AR). The work analyses the key characteristics of these engines, their programming languages, graphical capabilities, and specific features for developing VR/AR applications. It also examines the advantages and limitations of these technologies and their potential for education and training, particularly in the field of printing. The final section of the thesis concentrates on the design and construction of an interactive virtual environment. The work highlights the growing importance of game engines in modern interactive technologies and their contribution to effective educational and training processes.

KEYWORDS

game engines, virtual reality, augmented reality, interactive environments, immersive learning, education, training, graphic arts

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ	10
ÚVOD	11
1 Imerzivní učení	12
1.1 Co je imerzivní učení?	12
1.2 VR a AR jako nástroje pro moderní vzdělávání	13
1.3 Výhody a nevýhody s VR/AR pro výuku a trénink	16
2 Herní enginy	18
2.1 Základní vlastnosti a funkce herních enginů	18
2.2 Historie vývoje herních enginů	20
3 Přehled vybraných herních enginů	23
3.1 Godot Engine	23
3.1.1 Historie a přehled funkcí	23
3.1.2 Programovací jazyky a GUI	26
3.1.3 Výhody a omezení	27
3.2 Unity	28
3.2.1 Historie a přehled funkcí	29
3.2.2 Programovací jazyky a GUI	30
3.2.3 Výhody a omezení	31
3.3 Unreal Engine	32
3.3.1 Historie a přehled funkcí	32
3.3.2 Programovací jazyky a GUI	35
3.3.3 Výhody a omezení	37
4 Využití herních enginů pro VR a AR	38
4.1 Specifické funkce enginů pro VR/AR	39
4.1.1 Simulační systémy a fyzika	39
4.1.2 Interaktivita a animace	40
4.2 Nástroje a integrace	41
4.2.1 Godot Engine	41
4.2.2 Unity Engine	43
4.2.3 Unreal Engine	44

5	Design a konstrukce imerzivního prostředí	47
5.1	Imerzivní scéna	49
5.1.1	Klíčové prvky prostředí (modely, textury, světla)	49
5.1.2	Uživatelská interakce ve VR/AR	51
5.2	Praktické kroky tvorby imerzivní scény	52
5.2.1	Workflow v Unity pro VR	52
5.2.2	Srovnání s postupy v Godot Engine a Unreal Engine	57
5.3	Příklady úspěšných výukových VR/AR projektů	59
5.4	Potencionální využití VR/AR pro výuku a trénink v polygrafii	62
	ZÁVĚR	73
	POUŽITÁ LITERATURA	74

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Plynový detektor [12].....	14
Obrázek 2: Plynová maska [12].....	14
Obrázek 3: Vizuální schéma výroby železa (a), výroby oceli (b), válcování oceli za tepla (c) a válcování oceli za studena (d) [13].....	15
Obrázek 4: Trénink s VR headsety [15]	16
Obrázek 5: Ukázka virtuálního prostředí [15]	16
Obrázek 6: Knihovna zdrojů (AssetLib) od Godot Engine	25
Obrázek 7: Uživatelské rozhraní Godot Engine (verze 4.1.1).....	27
Obrázek 8: Uživatelské rozhraní Unity (verze 6.1)	31
Obrázek 9: Uživatelské rozhraní Unreal Editor (verze 5.5.4)	36
Obrázek 10: Šablony Unity Hub (verze 3.13.0)	44
Obrázek 11: Šablony Unreal Engine (verze 5.5.4)	46
Obrázek 12: Vzorová imerzivní scéna šablon pro VR v Unity (verze 6.1).....	53
Obrázek 13: Nastavení pro vstupní zařízení v Unity (verze 6.1).....	53
Obrázek 14: Možnosti pro interakční objekty v Unity (verze 6.1).....	54
Obrázek 15: Nastavení objektu se zvukovou odezvou podle interakce v Unity (verze 6.1)	54
Obrázek 16: Nastavení objektu měnícího barvu podle interakce v Unity (verze 6.1).....	55
Obrázek 17: Nastavení teleportace v Unity (verze 6.1).....	55
Obrázek 18: Nastavení teleportační kotvy v Unity (verze 6.1)	56
Obrázek 19: Prostorové uživatelské rozhraní Spatial UI v Unity (verze 6.1)	56
Obrázek 20: Volba cílové platformy v Unity (verze 6.1).....	57
Obrázek 21: Sheetfed Simulator – Ofsetový tiskový stroj a centrální konzole [64]	64
Obrázek 22: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci Quantity, Printing speed [64]...65	
Obrázek 23: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci Print Functions [64].....	65
Obrázek 24: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci Ink, Dampening [64].....	66
Obrázek 25: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci Measured Values [64].....	66
Obrázek 26: Sheetfed Simulator – Kopírovací pult s náhledem [64].....	67
Obrázek 27: Sheetfed Simulator – Kopírovací pult ve funkci Lupa [64].....	68
Obrázek 28: Sheetfed Simulator – Nastavení nakladače a spuštění stroje [64].....	68
Obrázek 29: Sheetfed Simulator – Kontrola a změna nastavení tiskové jednotky [64]	69
Obrázek 30: Sheetfed Simulator – Vykladač stroje [64]	69
Obrázek 31: Heatset Simulator – Kotoučový ofsetový stroj [65].....	70
Obrázek 32: Flexo Simulator (Common Impression) – Flexotiskový stroj [66].....	71
Obrázek 33: Gravure Simulator – Hlubotiskový stroj [67]	72

ÚVOD

Rychlý vývoj informačních a komunikačních technologií v posledních desetiletích zásadním způsobem přetvořil přístupy ke vzdělávání. Tradiční metody výuky, založené převážně na přednáškách a pasivním přijímání informací, jsou postupně nahrazovány inovativními přístupy, které kladou důraz na aktivní zapojení studentů a interaktivní prostředí. Mezi tyto moderní přístupy patří zejména imerzivní učení, které využívá pokročilé technologie, jako jsou virtuální realita (VR) a rozšířená realita (AR). Tyto technologie umožňují vytvářet realistická a imerzivní učební prostředí, která podporují hlubší porozumění učivu, zvyšují motivaci studentů a umožňují simulaci situací, které by byly v reálném prostředí příliš nákladné, nebezpečné nebo logisticky náročné. Herní enginy, jako jsou Unity, Unreal Engine či Godot Engine, se v tomto kontextu staly klíčovými nástroji, díky nimž lze efektivně vytvářet a přizpůsobovat tyto pokročilé vzdělávací aplikace.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na analýzu současných možností herních enginů pro imerzivní učení s důrazem na jejich využití ve virtuální a rozšířené realitě. Cílem práce je prozkoumat, jak tyto technologie mohou obohatit vzdělávací procesy, zejména v oblasti polygrafie, a identifikovat jejich přínosy, omezení a potenciální aplikace. Práce zahrnuje literární rešerši zaměřenou na využití VR a AR ve vzdělávání, zkoumá historii a vývoj herních enginů a analyzuje jejich klíčové funkce, které umožňují tvorbu interaktivních a imerzivních prostředí. Dále se věnuje specifickým nástrojům a prvkům scény pro VR/AR aplikace a jejich praktickému využití.

Význam imerzivního učení narůstá nejen v akademickém prostředí, ale i v průmyslových odvětvích, kde firmy stále častěji implementují VR a AR technologie pro školení zaměstnanců a simulaci reálných pracovních situací. Úspěšné projekty ukazují, jak lze tyto technologie využít k efektivnímu tréninku bez rizika poškození zařízení a s výraznou úsporou nákladů. Tato práce si klade za cíl nejen zmapovat stávající možnosti herních enginů, ale také přispět k diskuzi o jejich budoucím vývoji a integraci do vzdělávacích systémů. Prostřednictvím analýzy konkrétních příkladů a hodnocení technických a pedagogických aspektů chce tato práce zdůraznit potenciál těchto technologií pro transformaci moderního vzdělávání a přispět k rozvoji inovativních přístupů ve vzdělávací praxi.

1 Imerzivní učení

V posledních desetiletích došlo k zásadním změnám v tom, jak se učíme a jakým způsobem jsou nám informace předávány. Online videa se stala klíčovou součástí vzdělávacích procesů, umožňují studentům vizualizovat, zapamatovat si a lépe porozumět probíraným tématům a zároveň často představují nákladově efektivnější alternativu k tradičním výukovým metodám. Výzkumy z posledních let ukazují značný potenciál interaktivních videí pro podporu procesu učení [1; 2]. Instruktaž prostřednictvím videa je vnímána jako srovnatelně realistická s výukou tváří v tvář, přičemž navíc nabízí větší flexibilitu a dostupnost.

V posledních letech roste obliba 360° videí, a to i v oblasti vzdělávání, kde přispívají k vytvoření pohlcujících učebních zážitků. Výzkumy opakovaně potvrzují, že ponoření do učebního prostředí vede k efektivnějšímu osvojování znalostí. Zážitky z 360° videí lze umocnit využitím VR headsetů, které studentům umožňují plně se ponořit do vzdělávacího obsahu. Výhody virtuální reality ve výuce byly rozpoznány a intenzivně zkoumány již poměrně brzy [3]. VR umožňuje studentům zkoumat prostředí a procesy, které jsou za běžných podmínek neviditelné, příliš nákladné, složité na reprodukci nebo dokonce zcela neproveditelné v tradičním vzdělávacím prostředí. Vzhledem k tomu, že technologie VR se v posledních letech staly dostupnějšími a přenosnějšími, roste jejich atraktivita pro využití ve třídách, školících centrech i při samostatném studiu doma. Díky virtuální realitě lze navrhnout zcela nové výukové scénáře, které pomáhají studentům lépe pochopit složité jevy a procesy. Tyto scénáře mohou být buď plně simulované a animované, nebo mohou využívat reálný videoobsah (360° videa), které studentům umožní opakovaně sledovat reálné procesy a události [4].

1.1 Co je imerzivní učení?

Imerzivní učení představuje inovativní přístup ke vzdělávání, který se především zaměřuje na aktivní zapojení studentů do procesu učení prostřednictvím realistických a interaktivních zkušeností [5; 6; 7; 8]. Tento koncept se opírá o myšlenku, že učení je více efektivnější, pokud je spojeno s osobními prožitky a aktivním přístupem [5]. Odklání se tak od tradičního výkladového stylu formou přednášek, který velmi často vede k pasivnímu přístupu a ke ztrátě pozornosti studentů [6]. Imerzivní učení má potenciál transformovat tradiční vzdělávací metody a přinášet revoluční způsoby, jak získávat a aplikovat nabyté znalosti [7]. Dbá na to, aby průběh učení byl více dynamický a interaktivní, a tak lépe odpovídal potřebám moderního světa [5]. Jedním z cílů je aktivně zapojit studenty ve smyslu prozkoumávání a experimentování [8]. Imerzivní prostředí poskytuje studentům jedinečnou příležitost

k intenzivnějšímu ponoření se do studovaného obsahu, interakci s komplexními koncepty a aktivnímu objevování virtuálního světa [7]. Imerzivní technologie, jako jsou virtuální realita, rozšířená realita a smíšená realita (MR), umožňují studentům prožívat učení prostřednictvím praktických zkušeností. Tyto technologie poskytují možnost interakce mezi fyzickými a virtuálními objekty, což podporuje lepší porozumění a uchování znalostí [6; 7; 8]. Studenti mohou ve 3D virtuálních učebnách nejen interagovat s obsahem, ale i spolupracovat s ostatními účastníky, čímž se rozvíjejí nejen kognitivní, ale i sociální a emocionální aspekty učení. Důležitým faktorem je také možnost personalizace výuky, kdy si studenti mohou přizpůsobit své učební prostředí a tempo podle vlastních potřeb a preferencí. Kromě klasických vzdělávacích institucí se imerzivní učení stále více využívá i v oblasti firemního vzdělávání a profesního rozvoje. Firmy implementují VR a AR technologie k tréninku zaměstnanců, simulaci krizových situací nebo nácviku specifických dovedností, například v medicíně nebo průmyslové výrobě [8].

1.2 VR a AR jako nástroje pro moderní vzdělávání

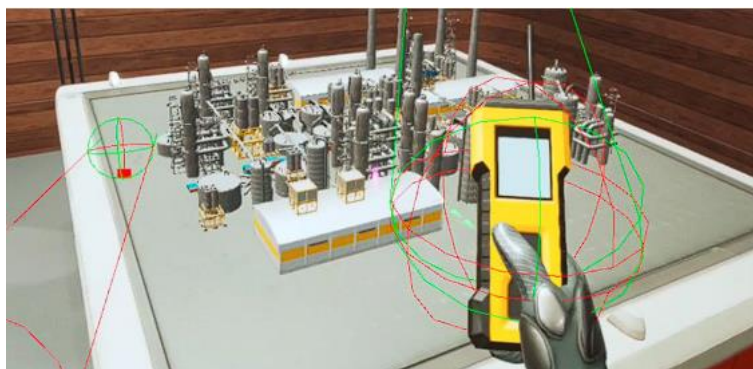
Virtuální realita a rozšířená realita se stávají stále důležitějšími nástroji pro moderní vzdělávání díky své schopnosti vytvářet imerzivní a interaktivní učební prostředí. Transformují jej tím, že nabízejí responsivní a pohlcující výukové zážitky. VR nabízí plně simulované prostředí, zatímco AR překrývá digitální informace s reálným světem, což otevírá nové možnosti pro studenty i vyučující [9; 10; 11].

VR simuluje reálný svět nebo zcela fiktivní scénáře. Tato technologie umožňuje interaktivní učení, studenti se tak mohou ponořit do různých témat a jsou schopni prozkoumávat složité koncepty v realistických 3D simulacích. Simulace reálných situací ve VR dává studentům možnost účastnit se virtuálních výletů, experimentovat v laboratořích nebo se učit v prostředích, která by byla jinak nedostupná. Je jim umožněno například provádět chirurgické operace nebo si trénovat obsluhu průmyslových strojů, což je pro výuku bezpečné a efektivní. Vyučující mohou využívat VR ke tvorbě výukových materiálů a zlepšení svých pedagogických dovedností v realistických podmínkách [9; 10].

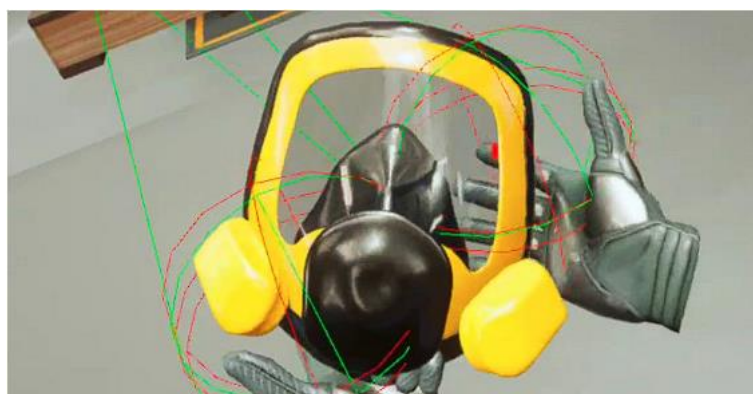
Rozšířená realita obohacuje skutečný svět o digitální prvky, kvůli čemuž je možné interagovat s 3D objekty. Studenti mohou vidět a manipulovat s 3D modely přímo v učebně, a tím dokážou zlepšovat jejich porozumění pro složitá témata. Dále lze AR použít k vytváření interaktivních učebních materiálů. Učitelé tak mohou obohatit tradiční výuku o multimediální prvky, jako jsou videa, zvuky a texty, což zvyšuje interaktivitu a zapojení studentů. Flexibilita

učení v AR umožňuje studentům učit se v různých prostředích a situacích, což je zvláště užitečné v době pandemie, kdy je fyzická přítomnost ve škole omezená [9]. AR může podporovat týmovou práci, kdy studenti spolupracují na projektech v reálném čase, přičemž každý může vidět a manipulovat s digitálními objekty [10].

V praxi se využívá již několik simulátorů. Příkladem je projekt SAMP AI pro rafinérii IPLOM v italské Busalle, který se používá pro bezpečnostní trénink. Tato VR simulace, vyvinutá pomocí Unreal Engine a využívající headsety Meta Quest 2 a 3, věrně kopíruje prostředí rafinérie. Operátoři mohou trénovat nouzové protokoly a manipulaci se zařízením, například reakce na únik sirovodíku, zcela bez rizika. Simulace zahrnuje interaktivní nástroje jako virtuální plynové detektory (viz Obrázek 1) a plynové masky (viz Obrázek 2), které si uživatelé osvojují ovládat. Detailní 3D mapa rafinérie umožňuje nácvik navigace a evakuačních cest. Interaktivní funkce, jako je *Blueprint GrabType* pro realistickou manipulaci s virtuálním vybavením a *Blueprint Remote Pulling* pro ovládání na dálku, zvyšují efektivitu tréninku. Důležitou součástí je i úvodní VR kurz, který seznamuje začátečníky s rozhraním a interakcemi. Celkově projekt představuje škálovatelný a adaptabilní model pro zdokonalení průmyslového tréninku, minimalizaci fyzických rizik a nákladů [12].

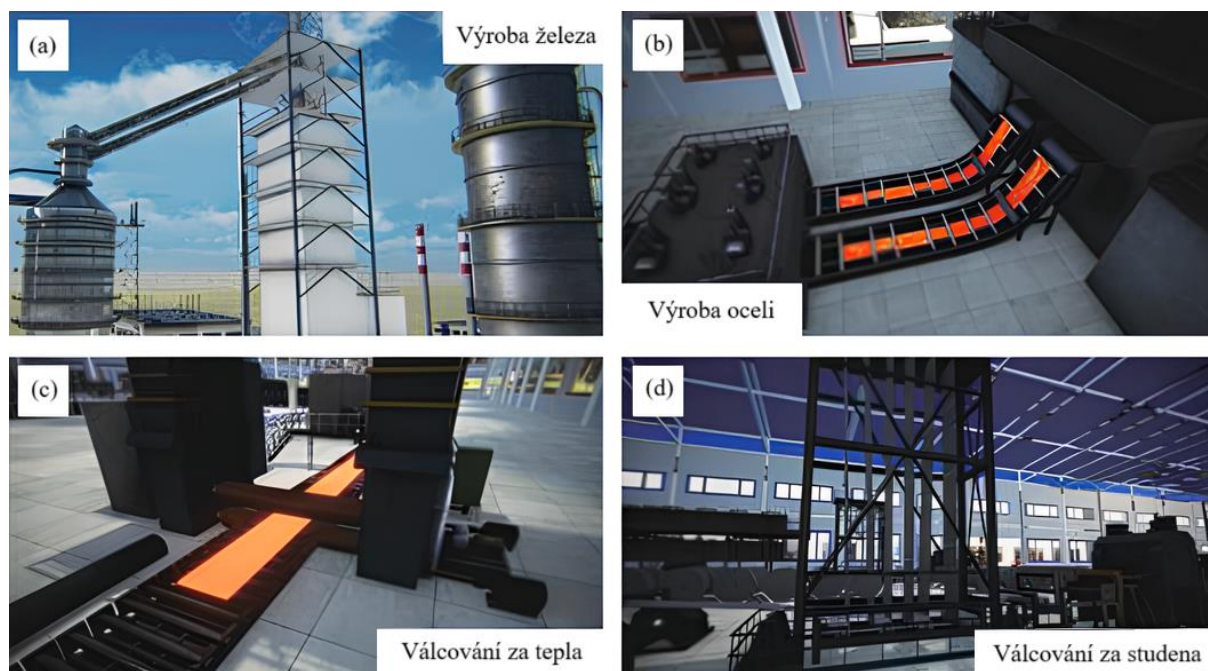


Obrázek 1: Plynový detektor [12]



Obrázek 2: Plynová maska [12]

Dále byla například vyvinuta vizuální a simulační platforma pro celý proces ocelářského hutního závodu. Patří zde vizuální modelování logistiky skladu surovin a vizuální simulační model řízení zásob v celém hutním procesu, který zahrnuje výrobu železa, výrobu oceli, válcování oceli za tepla a za studena (viz Obrázek 3). Tato platforma je postavena na Unity3D a je kompatibilní s běžným VR hardwarem [13].



Obrázek 3: Vizuální schéma výroby železa (a), výroby oceli (b), válcování oceli za tepla (c) a válcování oceli za studena (d) [13]

Mezi další oblasti se řadí trénink záchranných složek. XVR Simulation vyvíjí výcvikový software primárně určený pro bezpečnostní a záchranné složky, který se zaměřuje na výcvik velení. Hlavním přínosem platformy XVR je možnost vytvářet jakékoli scénáře a provádět společný výcvik v kontrolovatelném prostředí, což umožňuje detailní simulaci různých situací. Software podporuje rozvoj velitelských schopností, včetně rozmísťování zdrojů, posuzování situací a rozhodování v neočekávaných podmínkách. Mezi uživatele platformy XVR patří organizace z celého světa, například Národní požární akademie Jižní Koreji, Policejní akademie Rhineland-Palatinate nebo Safety Region Drenthe (Bezpečnostní oblast – veřejný orgán v Nizozemsku, jehož úkolem je usnadňovat regionální spolupráci při řešení krizí, katastrof a narušení veřejného pořádku). Trénink probíhá s využitím VR headsetů (viz Obrázek 4) a ve virtuálním prostředí (viz Obrázek 5). Software je využíván pro širokou škálu specializovaných cvičení, například simulace hromadných palivových havárií, přípravu na incidenty v tunelech nebo výcvik vyšetřování místa činu. Pro efektivní osvojení práce s platformou a rychlé získání

expertízy je uživatelům k dispozici také XVR Academy, která učí, jak s platformou efektivně pracovat [14].



Obrázek 4: Trénink s VR headsety [15]



Obrázek 5: Ukázka virtuálního prostředí [15]

1.3 Výhody a nevýhody s VR/AR pro výuku a trénink

VR a AR přináší několik klíčových benefitů. Díky interaktivní a vizuální povaze těchto technologií se u studentů zvyšuje zájem o učivo. Dále je zde výhoda personalizovaného učení, kdy studenti mohou pracovat vlastním tempem a přizpůsobit si zážitky podle svých

potřeb. Dalším přínosem je možnost simulace situací, které by byly v reálném světě příliš nebezpečné, drahé nebo logisticky složité. Například hasiči mohou trénovat zásahy při požárech ve VR prostředí, které věrně napodobuje extrémní podmínky, aniž by byli vystaveni skutečnému ohrožení. AR zase umožňuje zobrazit digitální návody a pracovní instrukce přímo v reálném prostředí, což usnadňuje školení zaměstnanců v průmyslových odvětvích. [10]. Obě technologie přinášejí řadu pozitiv, jako je zvýšení motivace studentů, zlepšení porozumění a možnost učení se prostřednictvím zážitků [9].

Nicméně existují také některé nevýhody a výzvy. Implementace VR a AR technologií může být finančně náročná, zahrnuje náklady na hardware, software a školení učitelů, studentů a zaměstnanců. Dále mohou uživatelé čelit technickým problémům, jako jsou problémy s kompatibilitou, nízkou vizuální kvalitou nebo s technickými poruchami, které mohou narušit vzdělávací proces. Ne všichni studenti mají přístup k potřebnému vybavení, jako jsou VR headsety nebo mobilní zařízení pro AR, a to může vést k nerovnostem ve vzdělávání. Patří zde i určitá zdravotní rizika, jelikož dlouhodobé používání VR může způsobit fyzické nepohodlí. Jedná se především o kinetózu (motion sickness). Tato specifická forma kinetózy, specificky pro VR označovaná jako cybersickness, je vyvolána pobytem v simulovaném prostředí, kdy uživatel vnímá pohyb vizuálně, ale jeho tělo zůstává fyzicky nehybné. Z tohoto důvodu se ve vývoji vzdělávacích aplikací věnuje velká pozornost optimalizaci snímkové frekvence (FPS – Frames per Second), omezení umělého pohybu kamery, přidání fixních referenčních bodů v zorném poli a volitelnému teleportování místo chůze. Problém může nastat i s nedostatkem obsahu. I když se nabídka vzdělávacích aplikací pro VR a AR rozšiřuje, stále existuje nedostatek kvalitního a relevantního obsahu pro různé předměty a úrovně vzdělávání [10].

2 Herní enginy

Herní enginy jsou softwarové platformy, které usnadňují vývoj her tím, že poskytují předpřipravené šablony a zdroje, které lze znovu použít. Tyto nástroje minimalizují potřebu hlubokých znalostí programování a umožňují vývojářům vytvářet hry, které mohou být následně exportovány pro různé platformy, včetně mobilních zařízení, s minimálními úpravami původní verze [16; 17]. Vývojáři se tak mohou více zaměřit na kreativní aspekty tvorby her. Herní enginy se liší v nabízených funkcích a pracovních postupech. Některé jsou natolik výkonné a flexibilní, že umožňují vývoj jakéhokoli typu hry, zatímco jiné jsou jednodušší a orientují se na specifické uživatelské skupiny nebo herní mechaniky [18]. Herní enginy se staly klíčovými nástroji v oblasti vývoje her, zejména s rostoucím zájmem o výukové hry a mobilní aplikace [16]. Ve vzdělávání představuje učení založené na herních mechanikách významný motivační faktor, neboť hry často přitahují zájem díky svým pravidlům, systému odměn a hernímu prostředí. Výhoda výukových her spočívá především v jejich schopnosti vyvážit zábavu, interaktivitu a opakovatelnost, typickou pro běžné hry, s výukovými cíli zaměřenými na konkrétní vzdělávací obsah. Gamifikace představuje využití herních mechanismů a principů designu herních zážitků k digitálnímu zapojení a motivaci lidí k dosažení jejich cílů. Díky gamifikaci lze nejen podpořit myšlení, které vede studenty k objevování nových možností a překonávání strachu z neúspěchu, ale také jim nabídnout příjemné zážitky spojené s učením. Gamifikace vzdělávání je pedagogický přístup, který motivuje studenty k učení prostřednictvím prvků herního designu a herních mechanik ve vzdělávacím prostředí. Dnes je považována za klíčový prvek inovací ve vzdělávání, a proto je důležité pochopit, jak efektivně navrhovat a využívat výukové hry jako součást organizačního vzdělávání [19].

2.1 Základní vlastnosti a funkce herních enginů

Herní enginy fungují jako komplexní softwarové nástroje, které poskytují různé funkce potřebné pro vývoj videoher. Mezi hlavní komponenty herního enginu patří:

- Rendering engine – Engine pro vykreslování, zajišťuje zobrazení 2D nebo 3D grafiky.
- Input handling – Spravuje vstupy z klávesnice, myši a jiného hardwaru.
- Game loop – Interní rutina, která přepočítává herní události v každém snímku.
- Physics engine – Odpovídá za detekci kolizí a reakce na ně.
- Audio module – Spravuje zvukové efekty a hudbu.
- Scene graph – Řídí grafické prvky a jejich vztahy na obrazovce.

- Animation – Umožňuje animaci 2D spritů nebo 3D modelů.
- Memory management – Zajišťuje efektivní využití paměti.
- Scripting – Umožňuje programování herních mechanik a logiky.
- Artificial Intelligence Module – Moduly, které umožňují definovat chování postav, které nejsou ovládány hráči (NPC).
- Network module – Klíčové pro multiplayerové hry (hry pro více hráčů).

Tyto funkce umožňují vývojářům soustředit se na kreativní aspekty hry, zatímco engine se stará o technické detaily [17; 18].

Mimo tyto základní vlastnosti a funkce si vývojáři především vybírají ty herní enginey, které jim nejlépe sedí, a proto jednotlivé enginey mezi sebou porovnávají. Mezi nejvíce porovnávané vlastnosti a funkce patří:

- Multi-platformita – Herní enginey podporují různé platformy, což umožňuje vývoj her pro PC, herní konzole a mobilní zařízení.
- Licence – Typy licencí určují, jak mohou být herní enginey používány.
- Programovací jazyky – Herní enginey podporují různé programovací jazyky, nejčastěji C# a C++.
- Vývojářské nástroje – Herní enginey přicházejí s různými nástroji a editory pro vývoj, které usnadňují práci vývojářům.
- Dokumentace – Kvalita a detailnost technické dokumentace jsou klíčové pro usnadnění učení a používání engineu. Dobrá dokumentace zahrnuje návody, příklady a komunitní podporu.
- Snadné učení – Uživatelská přívětivost pro začátečníky, dostupnost oficiálních kurzů a tutoriálů, a podpora komunity jsou důležité pro rychlé osvojení si engineu.
- Víceúčelovost – Herní enginey umožňují vytváření různých herních žánrů, což z nich činí univerzální nástroje pro vývoj her.
- Umělá inteligence – Moduly pro umělou inteligenci podporují návrh a implementaci chování postav, které nejsou ovládány hráči.
- Fyzikální enginey – Poskytují funkce jako detekce kolizí a simulace fyzikálních jevů, jako je gravitace a vítr.
- Video – Herní enginey umožňují návrh filmových sekvencí, což zvyšuje vizuální atraktivitu her.

- Síťové moduly – Tyto moduly podporují více hráčů, kteří mohou hrát současně, což je klíčové pro online hry.
- Skripty – Možnost psaní vlastních herních logických prvků pomocí programovacích jazyků nebo grafických systémů integrovaných do enginu.
- Zvuk – Herní enginy umožňují míchání a správu zvukových efektů, což přispívá k celkovému hernímu zážitku.
- Design úrovní – Nástroje pro návrh herních prostředí a krajiny, které usnadňují vytváření různých herních úrovní.
- Grafické efekty – Kvalita vykreslené grafiky a podpora pokročilých grafických technik jsou důležité pro vizuální atraktivitu her.
- Modelování – Moduly a editory pro modelování trojrozměrných objektů, které umožňují vývojářům vytvářet realistické herní prvky.
- Textury – Nástroje pro návrh textur a materiálů, které se aplikují na 3D objekty.
- Knihovny a zásuvné moduly – Možnost rozšíření funkcionality vývojových nástrojů pomocí externích knihoven a pluginů (zásuvných modelů).
- Stores/Markets – Platformy, které umožňují nákup a prodej hotových herních prvků a knihoven kompatibilních s daným enginem.
- Animace – Nástroje pro návrh počítačové animace pomocí interních nástrojů enginu.
- Uživatelská rozhraní – Možnost návrhu pokročilých uživatelských rozhraní, která zlepšují interakci hráčů s hrou.
- Výkon – Srovnání výkonu různých enginů, které může ovlivnit celkovou kvalitu a plynulost herního zážitku.

Tyto vlastnosti ukazují, jak komplexní a variabilní mohou být herní enginy, což umožňuje vývojářům vytvářet široké spektrum herních zážitků [17].

2.2 Historie vývoje herních enginů

Vývoj herních enginů sahá až do 80. let 20. století, kdy se objevily první „konstrukční sady“ (construction kits) a obdobný software určený pro tvorbu her [18]. Až do počátku 90. let 20. století se pojem „herní engine“ prakticky neobjevoval. V té době se hry vyvíjely individuálně pro konkrétní hardwarové platformy, bez zřetelného oddělení základního programového základu od kreativních složek. Významný zlom nastal v roce 1993 s vydáním hry DOOM od společnosti id Software, která nejenže přinesla zásadní herní inovaci, ale zároveň zavedla označení „DOOM engine“. Tisková zpráva id Software před vydáním avizovala, že

jejich novinka posune dosavadní hranice počítačových her, poukazovala na významné inovace v oblasti technologie, hratelnosti, distribuce a tvorby obsahu a zároveň představila termín „DOOM engine“. Engine byl postaven na konceptu „otevřené hry“ a stal se základem pro nové směřování herního vývoje. Vedoucí programátor John Carmack se výrazně zasloužil o vznik nové metodiky práce, spočívající v oddělení základní funkčnosti engine od kreativního obsahu, jako jsou herní světy, grafika a pravidla. Tento přístup umožnil hráčům upravovat herní obsah, například mapy a textury, bez nutnosti měnit samotný engine [20].

Další klíčový milník představuje Unreal Engine 1, jehož vývoj započal v roce 1995 pod vedením Tima Sweeneého, zakladatele společnosti Epic Games. Cílem bylo vytvořit engine, který by překonal tehdejší technologická omezení a umožnil tvorbu vizuálně atraktivních a poutavých herních zážitků. Sweeney se inspiroval technologiemi Johna Carmacka, zejména engine pro hry Doom a Quake. Unreal Engine 1 debutoval v roce 1998 spolu se hrou Unreal, která spojovala prvky středověkého a futuristického světa a demonstrovala flexibilitu nového nástroje. Již první verze nabízela pokročilé technologie, jako byla podpora softwarového i hardwarového renderování, detekce kolizí, barevná světla či filtrování textur. Engine se rychle prosadil jako multiplatformní řešení pro systémy Windows, Mac a Linux a s titulem Unreal Tournament expandoval i na konzole PlayStation 2 a Dreamcast. V roce 2000 přibyly další inovace, například skeletální animace, podpora detailnější grafiky a komplexní systém pro tvorbu rozsáhlých terénů. Kombinace pokročilých technologií a intuitivních vývojových nástrojů, jako byly Unreal Ed a skriptovací jazyk Unreal Script, přispěla k jeho komerčnímu úspěchu. Unreal Engine 1 se stal jedním z prvních široce licencovaných herních engineů a položil základy moderní 3D grafiky [21].

V roce 2004 představila společnost Valve Source Engine, který navázal na předchozí GoldSrc a představoval výrazný pokrok v oblasti 3D herních technologií. Source nabízel pokročilou fyziku, umělou inteligenci a grafické zpracování, přičemž byl optimalizován i pro méně výkonný hardware. Hry jako Half-Life 2 získaly za grafickou kvalitu řadu ocenění. Source se stal nástrojem nejen pro interní vývoj Valve, ale i pro široké spektrum nezávislých vývojářů a modderů, vzniklo na něm přes sto komerčních her. Engine měl několik vývojových větví, z nichž každá přinášela nové grafické funkce. I po roce 2015, kdy Valve přešlo na Source 2, zůstává Source populární, zejména díky jeho otevřenosti a pravidelným aktualizacím [22].

Crytek představil CryEngine v roce 2002 jako technologické demo pro společnost NVIDIA. Plnohodnotný engine byl využit poprvé v roce 2004 ve hře FarCry. CryEngine se

zaměřoval na žánr FPS (First Person Shooter – střílečka z pohledu první osoby) a v roce 2016 byl rozšířen o další možnosti s příchodem verze CryEngine V. Engine se proslavil díky špičkové grafice a systému Flow Graph, který umožňuje řídit herní logiku pomocí grafických schémat. Nabízí rovněž Environment Editor, Designer Tool pro 3D modelování, AI Territories & Waves pro řízení chování NPC a další specializované nástroje včetně TrackView pro filmové sekvence a Audio Controls Editor. Mezi pokročilé technologie patří voxelové globální osvětlení, generování přírodních scénérií, post-processing efekty a sofistikované animace. Přestože nabízí špičkovou vizuální kvalitu, bývá považován za náročný na zvládnutí kvůli slabší dokumentaci, nižšímu počtu návodů a menší komunitě. CryEngine se nehodí pro 2D vývoj a chybí mu integrovaný editor UI, přičemž síťový modul je méně populární než u konkurence. Je však zdarma do ročního příjmu 5 000 USD a vhodný především pro graficky náročné FPS tituly [17].

Unity, vyvinutý v roce 2005 společností Unity Technologies, se stal zásadním nástrojem pro vývoj 2D a 3D her napříč platformami. Cílem zakladatelů Davida Helgasona, Joachima Anteho a Nicholase Francise bylo zpřístupnit profesionální nástroje co nejširšímu okruhu vývojářů. Díky snadnému použití, rychlému prototypování a podpoře různých platform si Unity rychle získalo oblibu mezi nezávislými vývojáři i většími studií. Významným faktorem byl vznik komunity a rozsáhlého katalogu Unity Asset Store. Engine obsahuje integrované vývojové prostředí, podporuje různé programovací jazyky a prošel řadou vývojových fází. Mezi klíčové momenty patří podpora Windows a webových prohlížečů (od verze 1.1), DirectX (od verze 2.0), sjednocený editor (od verze 3.0) a podpora pro 2D vývoj (od verze 4.3). Zavedení bezplatné verze Unity Free v roce 2009 zásadně rozšířilo dostupnost tohoto enginu. Díky multiplatformnosti, aktivní komunitě a pravidelným aktualizacím patří Unity dodnes k nejpoužívanějším herním enginům [23].

Herní enginy se v současnosti uplatňují v různých žánrech a výrazně urychlují a zefektivňují vývoj her, což představuje významnou výhodu v rychle se měnícím herním průmyslu [18].

3 Přehled vybraných herních enginů

V této kapitole se zaměříme na přehled tří vybraných herních enginů využívaných při tvorbě imerzivního prostředí ve VR/AR – Godot Engine, Unity a Unreal Engine. Výběr herních enginů pro tuto práci byl založen na jejich technických přednostech a vhodnosti pro vývoj aplikací virtuální a rozšířené reality. Tyto enginy, z nichž některé byly původně navrženy nebo optimalizovány pro žánr FPS, nabízejí klíčové vlastnosti pro tvorbu pohlcujících interaktivních prostředí. Unreal Engine, původně vyvinutý pro hru Unreal, vyniká v renderování vysoce kvalitních 3D prostředí a zpracování perspektivy první osoby, což je ideální pro VR díky potřebě plynulého zobrazení a nízké latence. Unity, díky své flexibilitě a podpoře široké škály zařízení pro XR (Extended Reality – souhrnný termín pro VR, AR a smíšenou realitu), usnadňuje implementaci interaktivních prvků, které jsou v FPS hrách běžné a snadno přenositelné do VR/AR. Godot Engine, i když méně zaměřený na FPS, poskytuje lehký a přístupný framework, vhodný pro vzdělávací projekty a menší VR/AR aplikace. FPS zaměření těchto enginů zajišťuje robustní zpracování uživatelské perspektivy, interaktivity a optimalizace výkonu, což je klíčové pro zabránění nevolnosti ve VR a vytvoření realistických prostředí pro vzdělávací a tréninkové účely. Dalším faktorem výběru byla bezplatná licence (s určitými specifikacemi).

3.1 Godot Engine

Godot Engine představuje softwarový framework určený pro tvorbu her. Na jeho vývoji začali pracovat vývojáři Juan Linietsky a Ariel Manzur již v roce 2001. Podle Ariela Manzura byl klíčovým momentem pro směřování projektu rok 2007, kdy se na trhu objevily iPhone a Playstation 3, což představovalo hardwarovou revoluci, se kterou jejich původní návrh nepočítal, a proto se rozhodli zkušenosti přenést do nového projektu, kterým se stal právě Godot. Název Godot je inspirován divadelní hrou Samuela Becketta „Čekání na Godota“ a podle Juana Linietského vystihuje neustálý cyklus vylepšování enginu. Během vývoje enginu jeho tvůrci zároveň vyvíjeli hry, což jim umožnilo získat dobrou představu o potřebných funkcích pro efektivní práci. Do roku 2014 byl engine pod licencí poskytován menším herním studiím, ale následně se autoři rozhodli projekt Godot otevřít jako open source pod licencí MIT a zveřejnili jeho zdrojový kód na platformě GitHub [24].

3.1.1 Historie a přehled funkcí

První stabilní verze spatřila světlo světa v prosinci roku 2014. Jednou z klíčových funkcí Godot Engine je podpora cross-platform exportu, umožňující vývoj her pro PC, mobilní

zařízení i webové platformy. Engine usnadňuje vývoj jak 2D, tak 3D her. Důležitým aspektem je také získání podpory od velkých technologických společností, což naznačuje jeho rostoucí význam. Microsoft přispěl na implementaci jazyka C#, Epic Games udělil grant na podporu open source 3D grafického ekosystému a Meta's Reality Labs poskytlo finanční prostředky na vývoj v oblasti rozšířené reality. Lze jej charakterizovat jako univerzální herní engine, podobně jako Unity. Jeho popularita v sektoru nezávislých vývojářů neustále roste a komunitní průzkumy naznačují, že je převážně využíván pro vývoj 2D her.

Godot Engine je navržen s oddělenými 2D a 3D renderovacími enginy, což usnadňuje vývoj interaktivních prostředí pro virtuální realitu a rozšířenou realitu. Klíčové pro programování jsou uzly (nodes – stavební bloky pro organizaci objektů a funkcí), scény (scenes – samostatné části herního světa, např. prostředí nebo postava) a strom scén (scene tree – hierarchická struktura propojených uzlů), které umožňují efektivní správu a interakci prvků v VR/AR aplikacích. Systém signálů (mechanismus pro komunikaci mezi uzly) zajišťuje dynamickou interaktivitu, například reakce na pohyb uživatele ve VR.

V oblasti renderování Godot podporuje API (Application Programming Interface – programové rozhraní), a to moderní API Vulkan (rozhraní pro vysokovýkonné 3D grafiky), které zajišťuje plynulé zobrazení s nízkou latencí, což je nezbytné pro prevenci nevolnosti ve VR. Nabízí renderovací metodu Forward+ (technika pro efektivní zpracování světla a stínů), optimalizovanou pro VR/AR zařízení. Globální osvětlení je implementováno pomocí Voxel GI (voxelové globální osvětlení – metoda pro realistické odrazy světla v reálném čase), což zvyšuje vizuální kvalitu prostředí. Post-processing efekty (dodatečné úpravy obrazu, např. korekce barev nebo rozmazání) a antialiasing (vyhlazování hran, např. TAA – Temporal Anti-Aliasing) dále vylepšují vizuální zážitek.

Pro VR/AR jsou klíčové 3D fyzikální nástroje (simulace pohybu a kolizí objektů), které podporují různé typy těles (např. statická pro prostředí, dynamická pro pohyblivé objekty). K optimalizaci výkonu přispívají funkce jako Mesh LOD (Level of Detail – zjednodušení 3D modelů v dále pro vyšší výkon) a occlusion culling (skrytí objektů mimo zorné pole kamery), které zajišťují plynulý chod na VR/AR zařízeních s omezeným výkonem.

Godot podporuje animace prostřednictvím uzlu AnimationPlayer (nástroj pro přehrávání animací), který umožňuje klíčování vlastností (nastavení pohybu nebo změn objektů v čase) a inverzní kinematiku (IK – technika pro realistický pohyb postav). Audio systém nabízí

3D zvuk (prostorový zvuk pro pohlcující zážitek) a podporu audio streamů (přehrávání zvuků synchronizovaných s herním děním), což je důležité pro imerzivní VR/AR prostředí.

Pro správu assetů (herních prostředků, např. 3D modely nebo texturey) Godot umožňuje import formátů jako glTF 2.0 (doporučený formát pro 3D scény), což usnadňuje integraci VR/AR obsahu. Díky open-source licenci (volně dostupný zdrojový kód) je Godot ideální pro vzdělávací projekty. Nabízí vlastní knihovnu zdrojů (viz Obrázek 6).



Obrázek 6: Knihovna zdrojů (AssetLib) od Godot Engine

Godot Engine umožňuje distribuci herních dat pro virtuální realitu a rozšířenou realitu pomocí formátu PCK (speciální formát optimalizovaný pro rychlé načítání herních dat), který zajišťuje efektivní přenos prostředků pro XR aplikace. Data lze také zabalit do ZIP archivu nebo integrovat do spustitelného souboru (jediný soubor obsahující celou aplikaci), což usnadňuje nasazení na XR zařízeních, například VR headsetech. Podpora dodatečných PCK souborů umožňuje snadnou integraci modifikací nebo rozšíření (DLC – downloadable content, dodatečný obsah ke stažení), což zjednodušuje aktualizace VR/AR prostředí. Pro XR Godot nabízí podporu OpenXR (standardní rozhraní pro komunikaci s VR/AR zařízeními), které zajišťuje kompatibilitu s širokou škálou zařízení. Engine podporuje hand tracking (sledování pohybu rukou uživatele bez ovladačů) a body tracking (sledování pohybu těla pro realističtější interakci), což je klíčové pro pohlcující VR/AR zážitky. Dále poskytuje nástroje pro locomotion (mechaniky pohybu uživatele v XR prostředí, například teleportace nebo plynulé chůze), které zlepšují navigaci a uživatelský komfort ve virtuálních prostředích [25].

3.1.2 Programovací jazyky a GUI

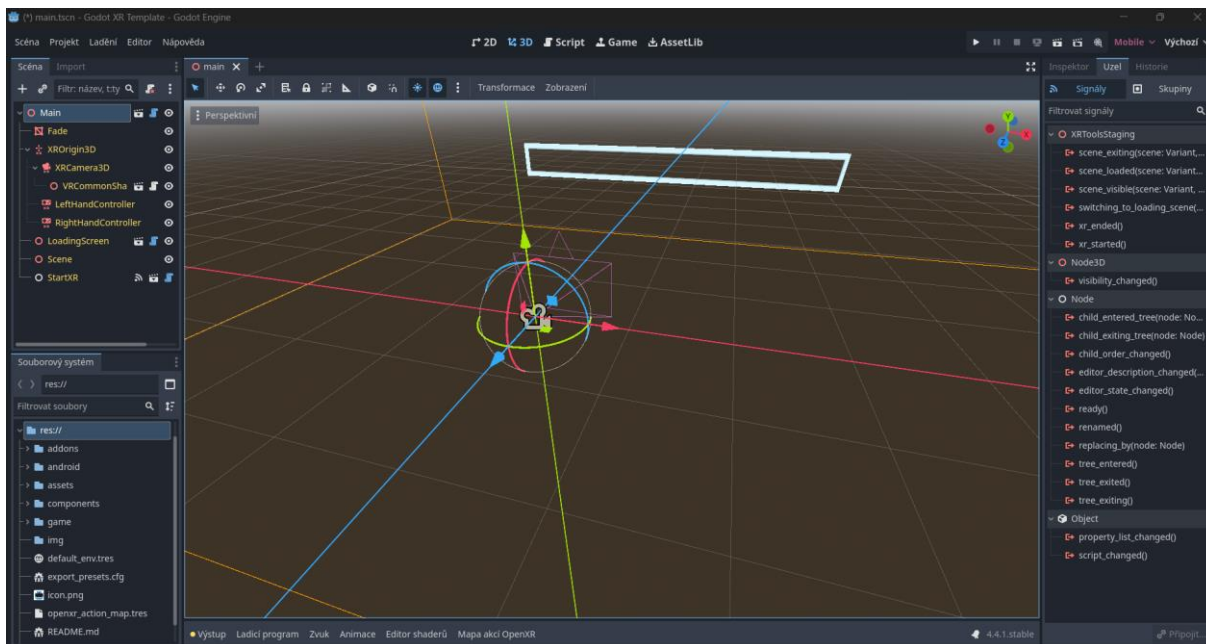
Godot Engine podporuje vývoj interaktivních aplikací pro virtuální realitu a rozšířenou realitu, označované jako XR, prostřednictvím skriptovacích jazyků GDScript, C# (.NET – platforma pro vývoj aplikací) a dalších jazyků přes mechanismus GDExtension (rozhraní pro propojení enginu s externími programovacími jazyky). Tyto jazyky umožňují vytvářet dynamickou logiku a interakce potřebné pro pohlcující XR prostředí.

GDScript, navržený speciálně pro Godot, má jednoduchou syntaxi inspirovanou Pythonem (programovací jazyk s čitelnou a stručnou strukturou), což usnadňuje rychlé psaní kódu pro ovládání XR funkcí, například pohybu uživatele nebo interakcí s objekty. Je integrován přímo do editoru Godot s vestavěným editorem skriptů a debuggerem (nástroj pro ladění kódu), díky čemuž je ideální pro rychlé prototypování XR aplikací, zejména pro začátečníky.

Pro složitější XR projekty, které vyžadují vyšší výkon nebo integraci s pokročilými knihovnamy, je vhodný C#. C# funguje na Windows, Linux a macOS, s experimentální podporou pro Android a iOS od verze Godot 4.2. Vyžaduje samostatnou distribuci enginu (verzi s podporou .NET), což může zvýšit velikost souborů, ale umožňuje využití externích vývojových prostředí (IDE – integrovaná prostředí pro psaní kódu, např. Visual Studio), což usnadňuje vývoj náročných XR funkcí, jako je podpora OpenXR (standardní rozhraní pro komunikaci s VR/AR zařízeními). GDExtension rozšiřuje možnosti použitím jazyků jako C++ pro vysoce výkonné části XR aplikací, například pro optimalizaci renderování nebo složitých výpočtů. Umožňuje propojení s nativními knihovnamy, což je užitečné pro integraci specifických XR technologií.

Godot podporuje cross-language scripting (kombinaci různých jazyků v jednom projektu), díky čemuž lze kombinovat GDScript pro jednoduché interakce, C# pro robustní logiku a GDExtension pro výkonově náročné úlohy. Tato flexibilita umožňuje vývojářům efektivně vytvářet pohlcující XR prostředí přizpůsobená potřebám konkrétního projektu.

Systém uživatelského rozhraní (GUI) v Godot Engine (viz Obrázek 7) je založen na řídicích uzlech (Control nodes). Engine poskytuje různé stavební bloky UI, jako jsou nastavení velikosti kotev a kontejnery pro uspořádání prvků. Umožňuje vytváření vlastních GUI prvků a disponuje galerií vestavěných řídicích uzlů. Vzhled UI lze přizpůsobit pomocí systému skinů a témat, s podporou editoru témat. Godot podporuje práci s různými typy fontů a pokročilé textové funkce pro řídicí uzly [25].



Obrázek 7: Uživatelské rozhraní Godot Engine (verze 4.1.1)

3.1.3 Výhody a omezení

Godot Engine vyniká svou modulární architekturou, která odděluje zpracování 2D a 3D grafiky. Podporuje více skriptovacích jazyků, zejména GDScript, a umožňuje rozšíření přes GDExtension, díky čemuž lze psát výkonnostní kód v C/C++ a integrovat další jazyky. Graficky využívá moderní rozhraní jako Vulkan a OpenGL (grafická API), nabízí pokročilé globální osvětlení, reflexní sondy (pro realistické odrazy světla), post-processing efekty a antialiasing. Obsahuje systémy pro 2D/3D částice, volumetrickou mlhu (mlhu s prostorovým efektem), a optimalizační techniky. Pro vývoj her poskytuje nástroje jako TileMaps (pro 2D mapy) a CSG/GridMaps (pro 3D prostředí). Fyzikální systémy zvládají 2D i 3D simulace, animační systém podporuje klíčování (keyframe animace) a inverzní kinematiku (pro realistické pohyby). Audio systém zahrnuje 2D/3D zvuk, synchronizaci a Text-to-speech. Správa vstupu je konfigurovatelná a podporuje různá zařízení. Navigační systémy pro 2D/3D a síťová komunikace usnadňují vývoj multiplayerových her. Engine klade důraz na internacionalizaci (přizpůsobení různým jazykům) a lokalizaci (překlady a typografii). Uživatelské rozhraní je flexibilní díky řídicím uzlům. Import a export podporují mnoho formátů, umožňují automatizaci a cílení na různé platformy, včetně podpory pro DLC. Godot nabízí příkazový řádek, integraci s CI systémy (kontinuální integrace) a podporu XR. Implementovaný v C++, je vhodný i pro neherní aplikace a funguje jako knihovna. Ekosystém zahrnuje Asset Library a komunitní platformy.

Mezi omezení patří zejména export na web, který nepodporuje C#, což omezuje vývojáře preferující tento jazyk. Funkce jako ukládání dat, běh na pozadí, režim celé obrazovky, zachytávání vstupu, zvuku, síťové komunikace či přístup ke schránce jsou na webu omezené. Komprese textur postrádá některé formáty na macOS, mobilních a webových platformách, což může komplikovat optimalizaci. Audio systém nepodporuje MIDI výstup (formát pro hudební data). Při rozšiřování enginu v C++ jsou omezení v použití moderních funkcí, jako STL (Standard Template Library), klíčové slovo auto nebo try-catch bloky, což může ztížit vývoj pro pokročilé programátory [25; 26].

3.2 Unity

Unity lze popsat jako přední platformu určenou pro vytváření a rozvoj her a interaktivních zážitků. Tato platforma umožňuje tvorbu obsahu pro širokou škálu hlavních platform, včetně mobilních zařízení, PC, konzolí a oblasti rozšířené reality. Jádrem podnikání společnosti je přesvědčení, „že svět se stává lepším místem s větším počtem tvůrců, přičemž technologie Unity má potenciál měnit svět“. Produkty platformy poskytují tvůrcům nástroje, které překračují pouhou zábavu a umožňují vytvářet inovativní zážitky v reálném čase ve 3D (RT3D) a optimalizovat procesy napříč rozmanitými průmyslovými odvětvími. Engine je výsledkem práce globálního týmu, přičemž Unity působí ve více než 45 lokalitách po celém světě. Společnost se řídí deklarovanými hodnotami, které ovlivňují její činnost a vzájemné chování. Mezi tyto hodnoty patří prioritní zaměření na uživatele, víra v to, že nejlepší nápady vítězí skrze diskuze a vzájemné učení, pocit sounáležitosti vyjádřený postojem "Unity", který podporuje vlastnictví, otevřenost, upřímnost, vzájemný respekt a odhodlání, což implikuje činění ambiciózních kroků, poučení se z neúspěchů a snahu o překonávání limitů. Realizace těchto hodnot se projevuje empatií, která je nezbytná pro pochopení perspektiv druhých, respektem jako uznáním důstojnosti každého jednotlivce, a zajišťováním příležitostí prostřednictvím rovného zacházení bez umělých překážek. Měřitelný dopad Unity na trh je značný, což dokládají následující statistiky. K prosinci 2024 využívalo engine více než 1,2 milionu měsíčně aktivních uživatelů s platnou licencí. Mobilní hry vytvořené pomocí Unity dosáhly průměrně 3 miliard stažení měsíčně za rok 2024. Podíl Unity je výrazný zejména na mobilním trhu, kde bylo více než 70 % z tisíce nejvýznamnějších mobilních her (definovaných podle měsíčních aktivních uživatelů na Google Play a iOS App Store v lednu 2025) vytvořeno s použitím tohoto enginu. Na platformě Steam bylo v lednu 2025 minimálně 28 % z top 1000 PC her vytvořeno v Unity. V oblasti virtuální reality pak více než 70 % nejprodávanějších VR her na Meta Store (k únoru 2025) pocházelo z Unity. Kromě toho reklamní síť Unity Ads

a ironSource společně obsloužily více než 68 miliard zobrazení reklam měsíčně během roku 2024. Komunita tvůrců, kteří používají Unity, je celosvětová a aktivně vytváří a sdílí své projekty [27].

3.2.1 Historie a přehled funkcí

Unity Engine vznikl v roce 2004, když David Helgason, Joachim Ante a Nicholas Francis založili v Dánsku společnost (původně Over the Edge Entertainment, později Unity Technologies) s cílem vytvořit cenově dostupný, snadno použitelný a multiplatformní herní engine. Během beta fáze vyvinuli hru Gooball (vydána 2005 Ambrosia Software), která poskytla zpětnou vazbu pro vylepšení uživatelského rozhraní, odstranění chyb a zdokonalení enginu. Verze 1.0 byla uvedena v červnu 2005 na konferenci Apple WWDC pro Mac OS X a zaměřila se na kvalitní dokumentaci a uživatelskou podporu. Unity si získalo oblibu mezi nezávislými vývojáři díky podpoře mobilních platforem (iOS, Android) a bezplatným licencím pro osobní a vzdělávací účely.

Verze 2.0 (2007) přinesla síťovou komunikaci, nástroj pro tvorbu terénů, dynamické stíny, přehrávání videa a podporu Windows a webových prohlížečů. Verze 3.0 (2010) rozšířila grafické možnosti pro PC a konzole, zavedla Beast Lightmap (nástroj pro globální osvětlení), odložené renderování (deferred rendering, efektivní vykreslování světel), editor stromů, UV mapování (mapování textur na 3D modely) a zvukové filtry. Verze 4.0 (2012) představila Mecanim (systém pro komplexní animace postav), podporu Linuxu, Adobe Flash, konzolí (PS3, Xbox 360, Wii U) a Unity Asset Store (tržiště pro modely, textury, skripty). Verze 5.0 (2015) zavedla fyzikálně založené renderování (PBR – realistické zobrazení materiálů), globální osvětlení (GI – realistické svícení), HDR (vysoký dynamický rozsah), real-time odrazy, podporu WebGL (webové vykreslování) a VR/AR zařízení (např. Oculus Rift, Google Cardboard). Unity Services usnadnily vývoj a monetizaci her.

Verze 2017 a 2018 přinesly Timeline (nástroj pro filmové sekvence), Cinemachine (pokročilou kontrolu kamer), Post-processing Stack (vizuální efekty) a nástroje jako Scriptable Render Pipeline (SRP – přizpůsobitelné renderování), Shader Graph (Shader – počítačový program sloužící k řízení jednotlivých částí programovatelného grafického řetězce grafické karty), Lightweight Render Pipeline (LWRP – předem připravený skriptovatelný renderovací cesty) a High Definition Render Pipeline (HDRP – optimalizované renderovací cesty), Entity Component System (ECS – datově orientovaný systém), Job System a Burst Compiler (optimalizace výkonu), ProBuilder (tvůrce 3D modelů) a AR Foundation (podpora rozšířené

reality). Verze 2019 a 2020 se zaměřily na stabilitu a výkon, přidaly Incremental Garbage Collection (IGC – efektivní správa paměti), DOTS NetCode (síťová komunikace pro multiplayer) a vylepšený Input System (správa vstupů) a UI Toolkit (tvorba uživatelských rozhraní).

Unity 6 (2025, nahrazuje Unity 2023 LTS) klade důraz na stabilitu, výkon a kreativitu. Zahrnuje zrychlený rendering díky GPU Resident Drawer (zpracování statických objektů na grafickém procesoru), GPU Occlusion Culling (vypínání nevykreslovaných objektů), Spatial Temporal Post-Processing (STP – upscaling obrazu s antialiasingem) a Split Graphics Jobs, což je vícevláknové zpracování pro DirectX12, snižuje latenci CPU (Centrální procesová jednotka) až o 40 %. Multiplayer je zjednodušen díky Multiplayer Center (centrální rozbočovač nástrojů), Multiplayer Widgets (UI prvky pro lobby/chat) a Distributed Authority (správa klientů v multiplayeru). Vylepšení zahrnují Adaptive Probe Volumes (APV – automatizované osvětlení), modernizovaný VFX Graph (vizuální efekty), Volumetric Fog (realistická mlha) a podporu realistické vody, vlasů a kůže v HDRP. Unity Sentis integruje AI modely pro interaktivní hrátelnost. Profiler Highlights a Memory Profiler usnadňují optimalizaci, zatímco vylepšený UI Toolkit zrychluje tvorbu rozhraní. Unity 6 podporuje mobilní web, konzole a nabízí výukové zdroje pro osvojení nových funkcí [28].

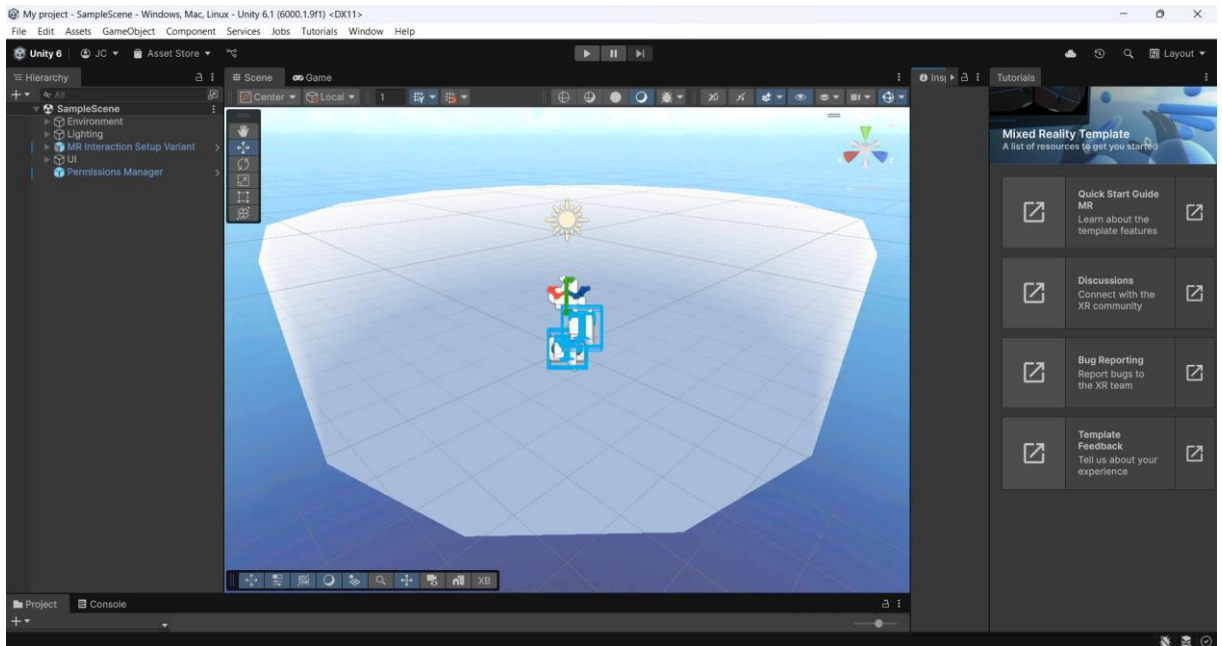
3.2.2 Programovací jazyky a GUI

Skriptování v Unity využívá především jazyk C#. Ačkoli je C# hlavní volbou, lze použít i jiné .NET jazyky, pokud generují kompatibilní DLL (dynamicky linkovaná knihovna, sdílený kód pro aplikace). Skripty umožňují přizpůsobovat nástroje editoru přes Editor API (rozhraní pro rozšíření editoru Unity) a definovat běhovou funkcionalitu, jako je grafika, fyzika, chování postav či reakce na vstupy uživatele, pomocí Engine API (rozhraní pro ovládání herních funkcí). Téměř vše v Unity lze skripty ovládat.

C# skripty jsou v projektu považovány za assety a ukládají se do složky Assets. Vývojáři mohou vytvářet vlastní typy a logiku v C#, pokud jsou kompatibilní s aktuálním .NET profilem (specifická verze .NET určená Unity). Skripty získávají dodatečné funkce děděním z vestavěných typů Unity. Například děděním z UnityEngine.Object lze skript přiřadit do polí v Inspectoru (okno pro úpravu vlastností objektů). Děděním z MonoBehaviour se skript připojí k GameObject (herní objekt) jako komponenta, která řídí jeho chování v dané scéně.

Skriptovací prostředí zahrnuje lokální vývojové prostředí (editor kódu, správa verzí, operační systém) a C# prostředí poskytované Unity, které závisí na verzi .NET (určuje dostupné

knihovny). Skripty procházejí kompilací (převod do spustitelné formy pro cílovou platformu), přičemž Unity kód automaticky rekompiluje a znovu načítá při změnách, což ovlivňuje výkon, ale umožňuje rychlé testování změn. GUI v Unity (viz Obrázek 8) jsou implementovaná v modulu UnityEngine.IMGUIModule. K tvorbě interaktivních prvků slouží statické metody, jako jsou tlačítka (Button), textové popisky (Label) nebo pole pro textový vstup (TextField) [29].



Obrázek 8: Uživatelské rozhraní Unity (verze 6.1)

3.2.3 Výhody a omezení

Mezi hlavní výhody Unity Engine patří podpora více než 25 platform. Pro začátečníky je atraktivní díky intuitivnímu rozhraní a použití jazyka C#. Vývoj usnadňuje Unity Asset Store, které zrychluje tvorbu her. Engine je zdarma pro projekty s ročním výnosem do 100 000 USD, což je výhodné pro nezávislé vývojáře. Kromě her nachází uplatnění v kinematografii, architektuře, strojírenství, stavebnictví, automobilovém průmyslu či armádě.

Přístup ke zdrojovému kódu je omezen na režim pouze pro čtení a vyžaduje předplatné Unity Enterprise (prémiová verze pro velké týmy). Ve srovnání se specializovanými engine může Unity zaostávat ve výkonu. Pokročilé multiplayerové funkce (síťová komunikace pro hry více hráčů) nejsou integrovány a vyžadují dodatečné frameworky (softwarové knihovny). V oblasti špičkové 3D grafiky je překonáván například Unreal Enginem. C# je méně vhodný pro složité projekty, spíše se hodí pro jednodušší desktopové aplikace. Unity 6 se zaměřuje na zlepšení renderování a optimalizaci výkonu, aby tato omezení zmírnilo [38].

3.3 Unreal Engine

Unreal engine vyvinula společnost Epic Games, která byla založena v roce 1991 Timem Sweeneyem. Stala se významným hráčem na poli interaktivní zábavy a zároveň jako poskytovatel špičkové technologie pro 3D zobrazení. Tato americká firma se sídlem v Cary v Severní Karolíně dnes operuje prostřednictvím desítek poboček po celém světě. Epic Games si vybudovala rozsáhlý digitální ekosystém, který slouží jak vývojářům, tak i samotným tvůrcům k budování, distribuci a provozování her a dalšího obsahu. Tento ekosystém zahrnuje několik klíčových pilířů. Kromě populární hry Fortnite je to zejména Unreal Engine, dále obchod Epic Games Store a online služby Epic Online Services. S více než 800 miliony účty a přes 6 miliardami přátelských spojení napříč tituly jako Fortnite, Fall Guys a Rocket League, se Epic Games může pochlubit obrovskou uživatelskou základnou. Fortnite samotný představuje dynamický ekosystém sociálních zábavních zážitků, zahrnující interně vyvinuté hry jako Fortnite Battle Royale, LEGO® Fortnite, Rocket Racing a Fortnite Festival, stejně jako nespočet zážitků vytvořených přímo komunitou [33].

3.3.1 Historie a přehled funkcí

Počátky Unreal Engine se datují do roku 1995, kdy Tim Sweeney, začal ve své garáži pracovat na třírozměrném enginu. Jeho hlavním cílem bylo vytvořit špičkovou 3D technologii, která by překonala konkurenci, zejména engine id Software, jež v té době dominovalo žánru 3D stříleček se hrami jako DOOM a Quake. Klíčovým a průkopnickým rozhodnutím bylo zachování programovacího jazyka UnrealScript a editoru map UnrealEd. Toto pojetí, kde engine a editor tvoří nerozlučný celek, navazovalo na úspěch Sweeneyho dřívější hry ZZT, která získala popularitu díky snadné modifikaci a umožnění tvorby obsahu uživateli. Po letech intenzivního vývoje byla hra Unreal a s ní i engine uvedeny na trh 22. května 1998. Zaznamenala okamžitý úspěch, sklidila chválu kritiků, dosáhla značných prodejů a vybudovala si loajální komunitu, která naplno využívala UnrealScript k rozšiřování hry přes internet. Engine se stal natolik silným a uznávaným, že jej začali licencovat další vývojáři, čímž Epic získal významný dodatečný příjem.

První verze Unreal Engine, jež debutovala s hrou Unreal v roce 1998, se stala reálnou ukázkou pokročilých 3D grafických možností své doby. Byla od počátku navržena s důrazem na rozšiřitelnost a modifikovatelnost prostřednictvím UnrealScript a UnrealEd. Toto pojetí se ukázalo jako vizionářské, neboť umožnilo vznik bohaté komunity modderů. Na základech tohoto enginu vznikl také velmi úspěšný kompetitivní online multiplayerový titul Unreal Tournament, vydaný koncem roku 1999. Tato hra dokonce předčila v prodeji i Quake 3 od

id Software. Již tato první generace enginu podporovala koncept „emergentní hrátelnosti“, kde interakce systémů a nepředvídatelné chování hráčů vedly k unikátním zážitkům, jakým byl například teleporter a translocator v Unreal Tournament [34].

V roce 2002 se hernímu světu poprvé představila druhá generace, Unreal Engine 2, jehož debut se uskutečnil s bezplatnou multiplayerovou střílečkou America's Army. Tento titul, vyvinutý v rámci osmiletého partnerství mezi americkou armádou a herním průmyslem, měl za cíl informovat, vzdělávat a rekrutovat potenciální vojáky. Navíc představoval vůbec první rozsáhlé využití herní technologie americkou armádou pro náborové účely. Vývojáři provedli celou řadu významných vylepšení samotného enginu, která umožnila zavedení nových funkcí. Oproti svému předchůdci se tento engine pyšnil až stonásobně vyšší úrovní detailů. Mezi nově přidané klíčové funkce patřil například nástroj pro filmovou editaci, propracované systémy částic a skeletální animační systém. Pozornost si zasloužila i výrazně vylepšená umělá inteligence nepřátel, kteří již nestáli jen nehybně a nestříleli, ale dokázali spolupracovat v týmu či ustupovat, pokud byli přemoženi. Zásadním průlomem v implementaci herních prvků bylo úspěšné zavedení hrátelnosti založené na vozidlech, což se poprvé podařilo s titulem Unreal Tournament 2004. Zajímavostí je, že společnost Psyonix dokonce modifikovala základní kód pro plně funkční vozidla, což zaujalo Epic Games natolik, že je najali. Unreal Engine 2 poháněl širokou škálu známých her, včetně Spiderman 2, Star Wars: Republic Commando, BioShock 1 a 2, a mnoho titulů ze série Tom Clancy's Splinter Cell. Během této éry se navíc ukázalo, že Unreal Engine nachází uplatnění nejen ve světě her, ale také při tvorbě filmů a seriálů, kde například umožňuje filmařům používat LED video stěny místo zelených pláten pro realističtější scény a osvětlení [35].

Unreal Engine 3, vydaný v listopadu roku 2006, představoval skutečný posun kupředu v oblasti herního průmyslu. Třetí generace Unreal Engine vycházela ze svých předchůdců, avšak přinesla zásadní vylepšení. Mezi klíčové novinky patřily pokročilé grafické možnosti, integrovaný fyzikální systém a propracovaný zvukový systém. Nástroje pro vývojáře byly dramaticky výkonnější. Klíčovou změnou bylo, že výpočty probíhaly na úrovni pixelů namísto vrcholů, což vedlo k podstatně kvalitnější grafice. Vylepšeno bylo rovněž renderování a přidána podpora pro vysoký dynamický rozsah. V roce 2010 se engine stal dostupným i pro mobilní platformy iOS a Android. Během let vývojáři engine neustále aktualizovali a doplňovali o další funkce, jakými byly například vylepšená zničitelná prostředí, rozsáhlé simulace davů, stereoskopické 3D a dynamika měkkých těl. Popularita tohoto enginu výrazně rostla. To vyústilo v četné licenční dohody s giganty, jako jsou Atari, Activision, Capcom, Disney,

Ubisoft či Electronic Arts. Celkem bylo s využitím Unreal Engine 3 vyvinuto přibližně tři sta her. Důležité je si uvědomit, že Unreal Engine nebyl a není využíván pouze pro zábavní účely. Během éry Unreal Engine 3 se například začalo projevovat jeho využití pro zkoumání nových designů automobilů a budov, a dokonce i pro simulaci farmaceutických molekul léčiv [35].

Unreal Engine 4 byl oficiálně představen 19. března 2014. Tato verze enginu přinesla převratné inovace. Klíčovou novinkou bylo globální osvětlení v reálném čase, využívající technologii voxelového trasování kužele pro realističtější nasvícení trojrozměrných scén. Důležitou změnou se stal též systém vizuálního skriptování Blueprint, který umělcům a designérům umožnil snadno vytvářet interaktivní herní prvky bez nutnosti psaní kódu. Společnost Epic Games aktivně podporovala šíření enginu a poskytovala bezplatné kopie vzdělávacím institucím. V roce 2015 spustila program Unreal Dev Grants, s grantem pěti milionů dolarů určených na financování tvůrčích projektů. Významným technickým krokem bylo také odstranění skriptovacího jazyka UnrealScript a jeho nahrazení C++, což přineslo maximální výkon a lepší možnosti ladění. Unreal Engine 4 si získal obrovskou popularitu. Překonal svého předchůdce, Unreal Engine 3, v počtu vyvinutých her s více než čtyřmi stovkami titulů. Tomu napomohla podpora mnoha platforem. V roce 2017 se s ním masivně rozvinul žánr Battle Royale. Hry jako PUBG Battlegrounds, nejhranější videohra všech dob k březnu 2021, i Fortnite od samotných Epic Games, který za méně než rok přilákal přes 125 milionů hráčů a vygeneroval miliardové příjmy, svědčí o síle tohoto enginu. V září 2014 byl navíc spuštěn Unreal Engine Marketplace, digitální obchod pro tvůrce obsahu a vývojáře [35].

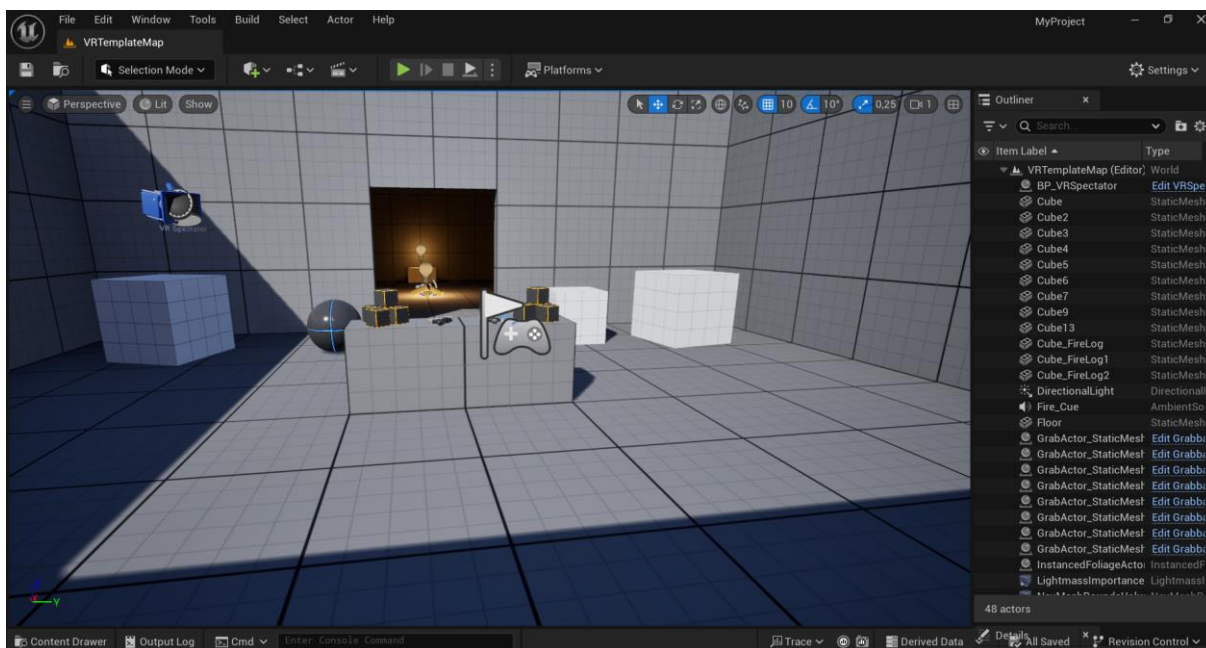
Unreal Engine 5 je pátou generací enginu a představuje nejotevřenější a nejpokročilejší nástroj pro tvorbu 3D obsahu v reálném čase. Jeho využití zdaleka přesahuje tradiční herní průmysl, nalézá své místo ve filmové a televizní produkci, architektuře, automobilovém sektoru, vysílání, živých událostech a simulacích. Engine je primárně navržen s cílem umožnit tvorbu rozsáhlých a pohlcujících světů, jeho nástroje dovolují vytvářet expanzivní prostředí, která se dají prozkoumávat a jsou koncipována tak, aby se mohla rozšiřovat. Klíčový důraz je kladen na výrazný posun ve vizuální věrnosti. Díky inovativním funkcím jako Nanite a Lumen přináší engine generační skok v grafické kvalitě, umožňující vytváření plně dynamických světů a přináší neuvěřitelně realistické a vtahující interaktivní zážitky. Podstatné je, že Unreal Engine 5 obsahuje všechny potřebné nástroje pro tvorbu obsahu v reálném čase přímo v základním balení, a to bez jakýchkoli skrytých poplatků či dodatečných nákladů. Revoluční technologie Nanite, virtuální systém mikropolygonové geometrie, ve spojení s Virtual Shadow Maps, umožňuje budovat světy s masivním množstvím geometrických detailů. Uživatelé mohou

přímo importovat a používat modely s miliony polygonů a engine si přitom dokáže udržet plynulou snímkovou frekvenci, dokonce i 60 snímků za sekundu, aniž by došlo ke zdatelné ztrátě vizuální věrnosti. Nanite a Virtual Shadow Maps inteligentně streamují a zpracovávají pouze ty detaily, které jsou aktuálně viditelné, čímž do značné míry odstraňují dříve omezující limity týkající se počtu polygonů a vykreslování. Dalším pilířem vizuální kvality je Lumen, plně dynamické řešení pro globální osvětlení a odrazy, které zajišťuje, že se nepřímé osvětlení okamžitě přizpůsobuje jakýmkoli změnám v přímém světle nebo geometrii scény. S Lumenem tvůrci nemusí složitě připravovat UV mapy pro osvětlení, čekat na jeho vypočítání nebo ručně umisťovat sondy pro odrazy – co vidíte v editoru, to získáte na cílové platformě. Pro řešení náročných požadavků na výkon engine zahrnuje systém Temporal Super Resolution (TSR), vestavěný a platformově nezávislý systém pro upsampling, který umožňuje enginu renderovat scénu v nižším rozlišení, avšak s výstupní pixelovou věrností blízkou výsledku renderovanému v plném rozlišení. Správu rozsáhlých otevřených světů zjednodušuje systém World Partition, který automaticky rozděluje svět na mřížku a zajišťuje streamování pouze nezbytných částí. Tento systém rovněž usnadňuje týmovou práci díky funkci One File Per Actor a umožňuje vytvářet různé varianty stejného světa pomocí vrstev (Data Layers). Unreal Engine 5 disponuje integrovanými nástroji pro animaci a modelování, které jsou přátelské k umělcům a umožňují rychlejší a přesnější iteraci s omezenou potřebou přenášet data do externích aplikací. Zvukovou dimenzi posouvá systém MetaSounds pro procedurální návrh zvuku, který dává kompletní kontrolu nad generováním grafu digitálního zpracování signálu zvukových zdrojů. Systém je plně programovatelný a přináší výhody jako dynamické datově řízené assety či možnost mapování herních parametrů na přehrávání zvuku [36].

3.3.2 Programovací jazyky a GUI

Hlavním pilířem programování v Unreal Engine je využití jazyka C++. Přístup k programování v C++ zde v mnohém kopíruje standardní postupy známé z čistého C++, což zahrnuje definování tříd (Classes), funkcí (Functions) a proměnných (Variables) s použitím obvyklé syntaxe. Každá takováto třída pak slouží jako šablona pro nový objekt nebo herce (Actor), přičemž celá struktura může být dále obohacena pomocí systému reflexe (Reflection System) enginu. Tento systém hraje klíčovou roli v tom, jak engine interně pracuje s kódem. Neméně podstatným nástrojem, zejména pro designéry a ty, kdo preferují vizuální přístup, je Blueprints Visual Scripting. Jedná se o vizuální skriptovací prostředí přímo v editoru Unreal. Umožňuje tvůrcům vytvářet vlastní třídy, definovat funkce a proměnné vizuální cestou, propojováním různých uzlů. Je důležité si uvědomit, že třídy vytvořené v C++ často slouží jako

základní stavební kameny (base) pro třídy v Blueprints. To programátorům dává možnost připravit fundamentální herní logiku, která je následně detailně rozpracována a iterována designéry právě pomocí Blueprints. Pro rozšíření funkčnosti editoru a automatizaci úkolů v rámci produkčního řetězce, například pro správu assetů nebo při práci s nástroji jako je Movie Render Queue, se v Unreal Engine uplatňuje skriptovací jazyk Python. Jeho využití je však striktně omezeno na nástroje v editoru a není možné jej použít pro logiku, která běží za běhu programu (runtime). Python tedy primárně slouží k usnadnění a automatizaci práce vývojářů. Organizace kódu v rozsáhlých projektech je řešena pomocí konceptu modulů (Modules). Tyto moduly v podstatě fungují jako samostatné jednotky kódu, které zapouzdřují specifické nástroje editoru, funkce pro běh programu, knihovny nebo jinou funkcionalitu. Každý projekt a plugin má standardně svůj hlavní modul, avšak pro lepší strukturování kódu lze definovat i moduly další. Nastavení vývojového prostředí a kompilace zdrojového kódu engine jsou popsány v samostatných průvodcích. Dále je součástí engine i vlastní framework pro tvorbu uživatelských rozhraní nazvaný Slate UI Programming. Jde o na platformě nezávislý systém, který využívá deklarativní syntaxi. Umožňuje efektivní a iterativní tvorbu a styling uživatelských rozhraní jak pro samotný editor (viz Obrázek 9), tak pro rozhraní přímo ve hře. Kromě těchto základních programovacích a skriptovacích nástrojů engine nabízí i mechanismy pro integraci s online službami různých platform (Playstation Network, Xbox Live, Epic Online Services, Steam) prostřednictvím takzvaných Online Subsystems and Services, což usnadňuje vývoj pro více platform současně [37].



Obrázek 9: Uživatelské rozhraní Unreal Editor (verze 5.5.4)

3.3.3 Výhody a omezení

Tento engine, původně vyvinutý pro FPS žánr, se stal technologickým standardem pro tvorbu AAA her (hry s vysokým rozpočtem a masivní reklamní kampaní, u nichž se očekává vysoká kvalita) s nejmodernější grafikou. Jeho klíčovou předností je nepochybně podpora grafiky s vysokým rozlišením, zahrnující pokročilou fyziku, osvětlení a vizuální efekty nové generace. Unreal Engine je psán v jazyce C++, který zajišťuje vysokou přenositelnost a pokrývá klíčové herní platformy. Ačkoli se lze zpočátku seznámit s enginem pomocí vizuálního skriptovacího systému Blueprint s uzlovým rozhraním, plný potenciál Unreal Engine lze využít až při znalosti a aktivním využívání C++. Engine vyniká výkonem při práci s objemnými daty a složitými prostředím. Nabízí rovněž pokročilý soubor nástrojů pro multiplayer, umělou inteligenci a nejnovější VR projekty.

Na druhé straně má i Unreal Engine svá specifická omezení, která se nehodí pro všechny projekty. Jeho rozhraní bývá považováno za poměrně složité a pro začátečníky je obtížné v něm pracovat. Přestože je k použití zdarma, pokud produkt vyvine více než 1 milion USD, je nutné odvádět 5% licenční poplatky. Pro využití plného potenciálu enginu jsou vyžadovány poměrně vysoké hardwarové nároky. Jazyk C++ je komplexnější než C# a více se hodí pro rozsáhlé projekty náročné na hardware. V oblasti 2D podpory je oproti Unity omezenější. Jak bylo zmíněno dříve, použití tak robustního enginu pro jednoduché mobilní hry by bylo naprosto nevhodné, což ilustruje jeho určení pro jiný typ projektů [38].

4 Využití herních enginů pro VR a AR

V současné době jsme svědky dynamického rozvoje a rostoucí poptávky po imerzivních technologiích, mezi něž patří zejména virtuální a rozšířená realita. Lidé mají přirozenou tendenci efektivněji vnímat a zpracovávat informace prostřednictvím vizualizace a praktických zážitků. Právě zde se ukazuje význam konceptu gamifikace, která, obzvláště u mladších generací, hraje podstatnou roli. Hry efektivně propojují uživatele s moderními technologiemi a motivují je k řešení komplexních úloh, čímž si zdokonalují své intelektuální schopnosti. Uživatelé se mohou plně ponořit do simulovaných scénářů a získat tak cenné zkušenosti pro řešení reálných problémů, ať už ve vzdělávání, zdravotnictví či komunikaci.

Vytvoření těchto sofistikovaných, interaktivních zážitků však vyžaduje specializované nástroje. Základními stavebními kameny při vývoji takových aplikací, včetně těch pro VR a AR, jsou především herní engine a sada pro vývoj softwaru (SDK). Je důležité zdůraznit, že se nejedná o totožné pojmy. Herní engine představuje ucelený rámec specificky navržený pro tvorbu videoher, poskytuje nezbytné knihovny a balíčky pro celý proces vývoje. Každý moderní herní engine zpravidla obsahuje renderovací engine (vizuální stránka), fyzikální engine (simulace chování objektů) a matematický engine (složitější výpočty). Tyto části spolu vzájemně komunikují. Na druhé straně SDK slouží jako základ pro vývoj aplikací pro konkrétní platformy a je široce využíván v rámci herních enginů. Obsahuje detailní informace o dostupných knihovnách, nástrojích pro testování a ladění a specifikace týkající se senzorů a ovladačů používaných v daném SDK. Součástí je i podrobná dokumentace. V oblasti rozšířené reality přinášejí AR SDK klíčové funkce nezbytné pro fungování AR aplikací, jako je AR renderování, sledování reálného prostředí a rozpoznávání obsahu. Lze je tak metaforicky přirovnat k „mozku“ AR aplikace pro identifikaci, „oku“ pro sledování a „představivosti“ pro renderování v reálném světě. Pro virtuální realitu zase VR SDK poskytují nástroje nezbytné k návrhu, sestavování a experimentování s VR zážitky. VR herní engine dále developerům nabízí framework pro budování plně pohlcujících 3D dobrodružství a umožňuje modifikovat 3D postavy a prostředí. Podobně AR herní engine dává vývojářům základ pro vytváření AR videí a umožňuje manipulovat s 3D postavami tak, aby mohly interaktivně působit s reálným světem. Lze tedy konstatovat, že herní enginy a SDK představují nepostradatelné nástroje ve vývoji moderních her a imerzivních aplikací. Nabízejí vývojářům interaktivní rozhraní s bohatými možnostmi animací a manipulace s objekty a postavami. Jejich využití šetří čas a úsilí vývojářů, neboť jim umožňuje soustředit se primárně na tvorbu samotného produktu pro klienta, místo toho aby museli od základu psát kód pro základní herní moduly [39].

4.1 Specifické funkce enginů pro VR/AR

Moderní herní enginy poskytují uživatelům nástroje k rychlému a snadnému budování realistických trojrozměrných prostředí. Významným pokrokem je zjednodušená implementace kompatibility s virtuální realitou. Pro prostředí připravená pro VR dovolují prožívat digitální prostor z ego centrické, stereoskopické perspektivy, čímž výrazně překonávají míru ponoření, jakou nabízí „klasické“ vnímání 3D prostředí na obrazovce [40]. Herní enginy se staly platformami pro vývoj obsahu pro virtuální realitu a rozšířenou realitu, společně označované jako rozšířená realita. Použití VR headsetů, jako je například Oculus Quest 2, výrazně zvyšuje vizuální ponoření uživatele a pocit přítomnosti ve virtuálním světě. Vývojová prostředí v herních enginech poskytují řadu funkcí určených specificky pro práci s VR hardwarem. Patří sem například podpora pro různé VR platformy jako Oculus a OpenXR. Dále enginy nabízejí VR šablony projektů a pluginy pro integraci specifických zařízení jako je Oculus Quest 2 [41].

4.1.1 Simulační systémy a fyzika

Kromě pouhé vizualizace prostorových informací zavádějí herní enginy do popředí mnohočetné možnosti simulace. Tyto moderní enginy aplikují komplexní fyzikální modely, jež umožňují realistické napodobení dynamických jevů, jako je šíření zvuku v 3D prostoru, osvětlení scény, gravitační síly či kolize mezi objekty. Realistická simulace se opírá o vlastnosti objektů, jako jsou jejich tvary, rychlost a hmotnost. Tyto schopnosti činí herní enginy mimořádně vhodnými pro vývoj rozmanitých geografických vizualizačních a simulačních scénářů, stejně jako pro design prostorového výzkumu [40].

Vytváření věrohodných virtuálních prostředí vyžaduje robustní simulační systémy a propracovanou fyziku. Herní enginy umožňují modelovat chování objektů a prostředí tak, aby co nejvíce připomínalo realitu, včetně simulace pohybu, kolizí a reakcí objektů na uživatelské interakce. Kromě vizuálního ponoření se vývojáři VR snaží zapojit i další smysly uživatele, například prostřednictvím prostorového zvuku (Ambisonics) nebo haptické zpětné vazby. Implementace fyzikálních vlastností, jako je setrvačnost, je klíčová pro realistické interakce s virtuálními objekty. Způsob aplikace fyzikální setrvačnosti se mezi Unity a Unreal Engine liší. V Unity lze setrvačnost implementovat vlastním skriptem nebo využít skripty poskytované balíčkem Oculus Integration, které dokážou vypočítat pohyb ruky a přenést sílu na objekt při puštění. Unreal Engine naopak aplikuje fyzikální setrvačnost standardně v rámci struktury virtuálního prostředí [41].

4.1.2 Interaktivita a animace

Pro vytváření interaktivních a vizuálně poutavých VR/AR zážitků jsou možnosti engine pro práci s animacemi a grafikou klíčové. Herní enginey poskytují rozhraní, které umožňuje práci s širokým spektrem animací pro objekty a postavy. Renderovací engine umožňuje vytvářet vizuální prvky scény. Modelovací softwary pomáhají při vytváření animací nebo aplikaci efektů na objekty. Díky těmto nástrojům a funkcím mohou vývojáři formulovat a manipulovat s 3D postavami tak, aby interagovaly s reálným prostředím v rozšířené realitě. Mohou vytvářet a upravovat pohlcující 3D zážitky jak ve VR, tak v AR. Engine tak umožňuje tvorbu a editaci 3D postav pro plně pohlcující dobrodružství [39].

Jedním z klíčových rysů, jimiž se herní enginey odlišují od tradičních vizualizačních metod, je vysoká míra interaktivity. Uživatelé, často reprezentovaní avatarem, mohou virtuální prostředí vnímat z dynamické ego centrické perspektivy a s ním přirozeně interagovat. Možné typy interakcí zahrnují manipulaci s objekty (zvedání, přemísťování, přidávání/odstraňování) a spouštění vizuálních nebo zvukových akcí prostřednictvím vstupu z klávesnice, myši, ovladače nebo pohybů avatara. Game engine technologie se ukázaly jako prospěšné například pro urbanisty a architekty, neboť umožňují rychlé prototypování návrhů budov a prostorových uspořádání a porovnávání budoucích scénářů z pohlcující ego centrické perspektivy. Kromě interaktivity nabízejí herní enginey také možnosti animace, jež oživuje statická 3D zobrazení a dodává prostředí dynamiku, čímž se zážitek ještě více přibližuje realitě. Tato kombinace simulace, fyziky, interaktivity a animace vytváří bohatá a pohlcující virtuální prostředí [40].

Interakce uživatele s virtuálním prostředím je základem pohlcujícího zážitku. Herní enginey poskytují různé mechanismy pro detekci uživatelských vstupů a jejich převod na akce ve virtuálním světě. Primárním způsobem interakce ve VR je často použití dedikovaných ovladačů, které uživatel drží v rukou. Například v Unity se vstupy z ovladače zpracovávají pomocí třídy `OVRInput` v C# skriptech a balíček `Oculus Integration` nabízí funkce pro uchopení objektů (`OVRGrabber`, `OVRGrabbable`).

Kromě ovladačů je stále populárnější přímá interakce pomocí sledování rukou uživatele. `Oculus Quest 2` podporuje sledování skutečných rukou a předává jejich polohu a orientaci do virtuálního prostředí. Enginey následně tyto informace využívají k vykreslení a pohybu virtuálních rukou. Klíčovou informací pro realistické interakce na bázi rukou jsou data o pozici kloubů prstů a ruky. Unity Engine s balíčkem `Oculus Integration` například poskytuje prefabrikát virtuální ruky (`OVRHandPrefab`) [41].

4.2 Nástroje a integrace

Efektivní vývoj pro virtuální a rozšířenou realitu závisí nejen na výběru vhodného enginu, ale také na dostupnosti nástrojů, pluginů a možnostech integrace s cílovými zařízeními. Různé enginy poskytují různé úrovně podpory pro VR/AR hardware a vývojářské nástroje, které usnadňují tvorbu, testování a distribuci aplikací. V oblasti vývoje imerzivních technologií je zásadní pochopit, jak herní enginy umožňují efektivní připojení a ovládání různých VR/AR zařízení, především pak headsetů a ovladačů, které slouží k zobrazení virtuální či rozšířené reality. V této části budou představeny klíčové komponenty potřebné pro vývoj v oblasti imerzivních technologií, včetně podpory různých headsetů a ovladačů, a následně i dostupných rozšíření a pluginů.

Podpora a interakce s těmito zařízeními jsou zprostředkovány především prostřednictvím SDK, které jsou nedílnou součástí téměř každého herního enginu. SDK totiž nejenže poskytují potřebný rámec pro vývoj aplikací a obsahují detailní informace o všech knihovnách a nástrojích, ale také o senzorech a ovladačích, které jsou v SDK využívány. Právě tyto informace umožňují herním enginům efektivně komunikovat s fyzickým hardwarem, zpracovávat data ze senzorů a interpretovat vstupy z ovladačů, a tím převádět fyzické akce uživatele do virtuálního prostředí [39].

4.2.1 Godot Engine

Godot Engine se vyznačuje modulárním systémem rozšířené reality, který do značné míry efektivně sjednocuje specifika různých XR platform. Jeho centrálním prvkem je XRServer, působící jako hlavní rozhraní pro interakci s XR systémem. Každá podporovaná XR platforma je v Godot Engine realizována jako XRInterface (rozhraní pro rozšířenou realitu), přičemž tato rozhraní se registrují u XRServeru. Godot Engine pokrývá široké spektrum podporovaných zařízení. Mezi podporované headsets patří řada Meta Quest, PICO 4 a zařízení HTC Focus a XR Elite. Pro aplikace rozšířené reality jsou podporovány headsets s funkcí passthrough, která umožňuje zobrazovat reálný svět jako pozadí. Specifickým případem je Magic Leap 2, optické AR zařízení běžící na hardwaru AMD, které vyžaduje mobilní renderovací systém Vulkan. Godot navíc rozšiřuje své možnosti o podporu periférií, jako je například pozičně sledovatelný stylus Logitech MX Ink, určený pro použití s Meta Quest.

Pro optimální zážitek je klíčová kompatibilita s renderovacími systémy Godot Engine. Pro projekty virtuální reality na stolních počítačích se v současnosti doporučuje Mobile renderer, zatímco pro headsets je nejvhodnější Compatibility renderer. Poslední z trojice

renderovací systémů Forward+ sice projekty XR spustí, ale není ještě ideálně optimalizován. Došlo i k vylepšení podpory OpenGL, což má přímý dopad na tvorbu XR zážitků. Pro připojení a komunikaci s XR zařízeními Godot silně sází na otevřené standardy. OpenXR je nový průmyslový standard, který umožňuje různým XR platformám prezentovat se prostřednictvím standardizovaného API.

Možnosti vstupu a interakce v XR aplikacích jsou rozmanité. Základ tvoří uzly XRController3D (3D ovladač pro rozšířenou realitu), které představují ovladače používané hráčem, obvykle dva pro každou ruku. Tyto uzly poskytují přístup k různým stavům ovladačů a vysílají signály při stisknutí tlačítek, přičemž jejich pozice je automaticky aktualizována XR systémem. Kromě ovladačů je v Godot Engine dlouho podporován hand tracking, nyní s vylepšenou podporou napříč platformami, včetně OpenXR a WebXR. Pro zařízení Meta byly implementovány další funkce pro hand tracking, jako je přístup k modelům rukou (hand meshes), kolizním tvarům rukou a jednoduché rozpoznávání gest. Godot také podporuje face tracking (sledování obličeje) pomocí standardu Unified Expressions (jednotné výrazy), přičemž data jsou získávána z několika zařízení. Dále je integrován body tracking s využitím Godot engine modulu Humanoid Skeleton (humanoidní kostra) jako základu. Pro zobrazování 2D obsahu v XR jsou k dispozici kompoziční vrstvy (composition layers), standardní funkce v OpenXR, které umožňují vývojářům přidávat plovoucí "panely" s ostrým 2D obsahem, ideální pro herní menu nebo HUD (Head-Up Displays – průhledové displeje). Specifická rozšíření Meta navíc umožňují další doostření nebo supersampling (vyhlazování). Mezi zajímavé novinky patří Scene Discovery (objevování scény) a Spatial Anchors (prostorové kotvy). Meta Scene Discovery umožňuje headsetu Quest skenovat reálné prostředí a poskytovat hře informace, což umožňuje umisťovat virtuální objekty na reálné povrchy. Prostorové kotvy pak zajišťují trvalé umístění těchto virtuálních objektů na daném místě.

Integrace XR zařízení přináší i několik technických omezení a výzev. Původní implementace OpenXR v Godot Engine 3 a rané verzi Godot Engine 4 se spoléhala na prediktivní algoritmy pro polohování sledovaných entit, avšak v Godot Engine 4.3 byla logika načasování snímků (frame timing logic) přepracována, aby správně komunikovala s OpenXR a získávala data o pozicích s predikovaným polohováním pro aktuální snímek. Klíčovou výzvou je také příprava na renderování na samostatném vlákne (separate thread), což je nezbytné pro zajištění stabilního počtu snímků za sekundu (framerate), zejména na samostatných zařízeních. Důležitou změnou byla standardizace passthrough, která dříve působila potíže vývojářům cílících na více zařízení kvůli různým implementacím headsetů.

Dále je třeba si uvědomit, že mnoho post-procesních efektů (post-process effects) ještě nebylo aktualizováno pro podporu stereoskopického vykreslování, a jejich použití může mít nepříznivé dopady. Klíčové je také vypnutí V-sync (vertikální synchronizace) při použití OpenXR, protože headsety často vyžadují obnovovací frekvenci 90 Hz nebo vyšší, a OpenXR provádí vlastní synchronizaci [42; 43].

4.2.2 Unity Engine

Unity nabízí širokou podporu zařízení pro XR. Mezi podporovaná zařízení patří iOS s Apple ARKit, Android s Google ARCore, Apple Vision Pro, Meta Quest, Valve SteamVR, Microsoft HoloLens a PlayStation VR a VR2.

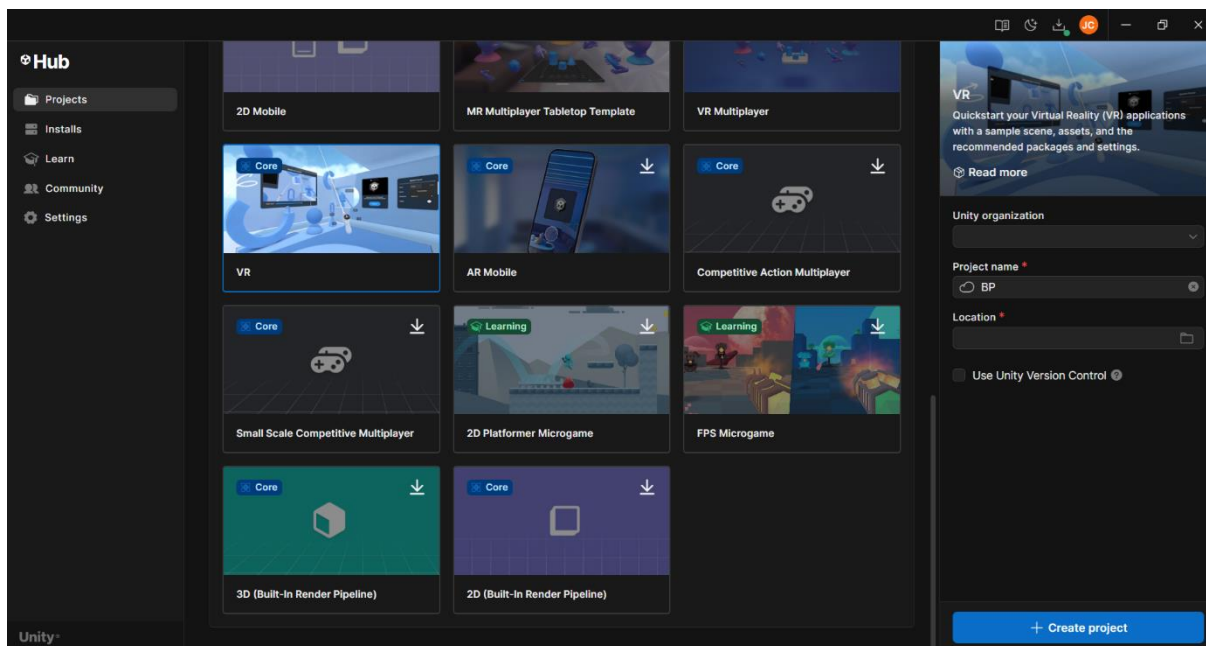
Kompatibilita s herním enginem Unity je zajištěna pomocí zásuvných modulů poskytovatelů XR, které umožňují podporu konkrétních XR platforem přímo v projektu. Tyto moduly se spravují v systému správy zásuvných modulů XR (XR Plug-in Management). Pro multiplatformní AR aplikace je klíčový balíček AR Foundation, který umožňuje vývojářům vytvářet obsah a nasadit jej na různé AR platformy díky využití jejich nativních SDK. Apple Vision Pro využívá specifickou architekturu Unity PolySpatial, která rozděluje aplikaci na simulační řadič (logika) a prezentační zobrazení (renderování, vstup/výstup), přičemž prezentace je na visionOS zajišťována systémem Apple RealityKit.

Pokud jde o standardy a rozhraní pro připojení (API, SDK), Unity se spoléhá na nativní AR SDK pro jednotlivé platformy, které jsou integrovány přes AR Foundation. Důležitým prvkem je také OpenXR, otevřený standard pro přístup k XR zařízením, k němuž se mnoho výrobců hardwaru postupně přiklání. Pro zpracování uživatelského vstupu a sledovacích dat z XR zařízení je nezbytný balíček Input System.

Unity nabízí bohaté možnosti vstupu a interakce. Kromě tradičních ovladačů je podporováno prostorové sledování ovladačů, body tracking a hand tracking, včetně pohybu prstů. Balíček XR Interaction Toolkit poskytuje komponenty pro interakce jako výběr nebo uchopení objektů, a také konfigurovatelný systém pohybu. Pro AR aplikace tento toolkit zahrnuje i systém gest (AR gesture system) pro manipulaci s virtuálními objekty. Hand tracking je podporován balíčkem XR Hands, který poskytuje standardní datový model rukou a API pro přístup k těmto datům.

Podpora napříč platformami a build systémy jsou v Unity silné díky jeho modulární architektuře a systému správy zásuvných modulů XR. AR Foundation umožňuje vytvářet multiplatformní AR aplikace. Unity navíc poskytuje předpřipravené šablony (templates) pro

AR, VR a MR projekty v Unity Hub (viz Obrázek 10), které automaticky konfiguruji nastavení a instalují potřebné balíčky, což usnadňuje rychlý start.



Obrázek 10: Šablony Unity Hub (verze 3.13.0)

Pro testování a simulaci bez fyzického zařízení Unity nabízí zásuvný modul Mock HMD, který simuluje VR headset přímo v režimu přehrávání v editoru. U AR vývoje se 3D obsah typicky vytváří jako prefab a přidává se do scény až za běhu, což naznačuje, že většina aplikační logiky může být testována nezávisle na fyzickém zařízení.

Při integraci zařízení se vývojáři setkávají s několika technickými omezeními a výzvami. Jedním z hlavních faktorů je variabilita schopností jednotlivých zařízení a rozdíly ve funkcích mezi OpenXR a proprietárními SDK. Pro správnou funkčnost je klíčové udržovat shodné verze balíčků AR Foundation, ARCore a ARKit. Podpora starších modelů zařízení bývá postupně ukončována, což vyžaduje specifické kroky pro zachování zpětné kompatibility. V oblasti VR je pak zásadní výzvou uživatelský komfort a prevence kinetózy, což vyžaduje udržování vysoké snímkové frekvence a nabídku různých možností pohybu. Přístup k některým pokročilým funkcím, jako jsou PolySpatial visionOS balíčky pro Apple Vision Pro, je navíc vázán na specifické úrovně předplatného Unity (Pro, Enterprise, Industry) [44; 45; 46].

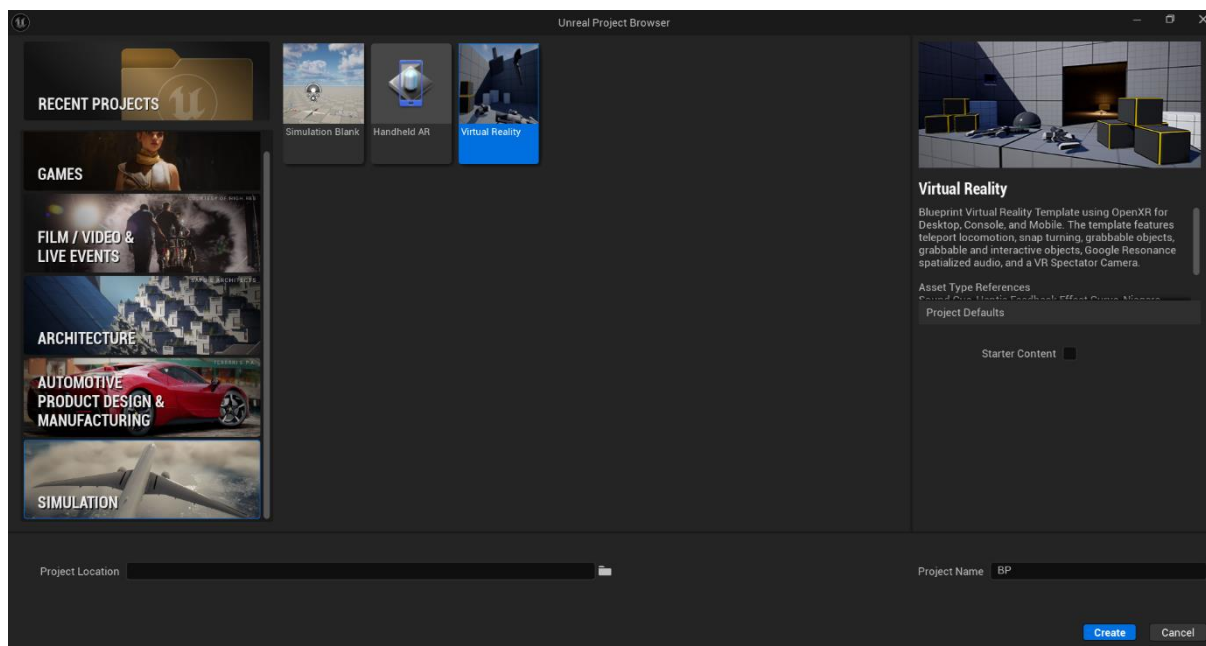
4.2.3 Unreal Engine

Unreal Engine podporuje rozsáhlou paletu XR zařízení, zahrnující jak kapesní řešení, tak headsety. Pro kapesní rozšířenou realitu jsou plně kompatibilní zařízení se systémem Android a iOS. Tyto systémy umožňují mnoho AR funkcí, například detekci rovin, okluzi

objektů či osob a sledování obličeje. V oblasti headsetů pro virtuální realitu je podpora ještě rozsáhlejší. K nim náleží VR systémy jako HTC Vive Pro, Valve Index, a populární Meta Quest, a to včetně propojení s PC. Dále jsou podporovány konzolové systémy PSVR a PSVR2, a nejnověji i mobilní headset Apple Vision Pro. OpenXR jako otevřený standard rozšiřuje tuto kompatibilitu na jakýkoli systém, který implementuje jeho API, a to primárně pro headset zařízení. Klíčovým rozhraním pro head-mounted zařízení je OpenXR, otevřený a bezlicenční standard, na jehož vývoji se podílí i Epic Games. OpenXR umožňuje vývoj aplikací, které fungují na různých zařízeních s příslušnými runtime implementacemi, zejména na platformách Windows a Android. Projekty v Unreal Engine mohou využívat i specifické pluginy pro Oculus, SteamVR a Windows Mixed Reality, přičemž systém automaticky vybere ten s nejvyšší prioritou. Obvykle je to Oculus, následovaný OpenXR. Pro kapesní AR zařízení se pak místo OpenXR používají platformy ARCore od Google a ARKit od Apple, které Unreal Engine plně podporuje prostřednictvím jednotného frameworku. Funkcionalitu OpenXR lze dále rozšiřovat pomocí specializovaných pluginů, například pro sledování rukou či očí, což umožňuje přidávat nové možnosti bez nutnosti čekat na nové verze enginu.

Možnosti uživatelského vstupu a interakce jsou v XR projektech rozmanité. Uživatelé mohou interagovat prostřednictvím pohybových ovladačů, reprezentovaných komponentou Motion Controller, které umožňují interakci s virtuálním prostředím, například při zvedání a pouštění objektů. Důležitou součástí je také sledování rukou, které je na některých platformách, jako je Oculus Quest, dostupné přes specifický Oculus VR plugin. I sledování očí je podporovanou formou vstupu, a existují pro něj OpenXR rozšíření. Pro prezentaci informací a tvorbu interaktivních prvků jsou nezbytné 3D uživatelské rozhraní (UI), které musí být navrženo pro efektivní interakci ve virtuálním prostředí. Je rovněž možné připevnit položky, jako například HUD, přímo k head-mounted displeji, aby neustále sledovaly pohyb hlavy uživatele. Pro uživatelský komfort je doporučeno vizualizovat definované hranice hrací plochy.

Křížová platformní podpora je v Unreal Engine navržena pro maximální flexibilitu. Pro vývoj AR aplikací pro přenosné herní konzole (handheld) a mobilní zařízení je k dispozici jednotný framework, který minimalizuje potřebu platformně specifických úprav a umožňuje cílit na Android i iOS zařízení. OpenXR pak sjednocuje vývoj pro headsety napříč různými systémy. Rychlý start umožňují předpřipravené šablony v Unreal Engine (viz Obrázek 11), například pro kapesní AR či virtuální realitu.



Obrázek 11: Šablony Unreal Engine (verze 5.5.4)

Technická omezení a výzvy při integraci zařízení vyžadují pozornost vývojářů. Zásadním omezením je, že OpenXR momentálně nepodporuje kapesní AR zařízení. Pro ně jsou vyžadovány platformy ARCore a ARKit. Navíc hand tracking na Oculus Quest vyžaduje specifický Oculus VR plugin a není kompatibilní s OpenXR projekty. Některá zařízení, jako HTC Vive, mají v Unreal Engine pouze omezenou podporu. Podpora funkcí specifických pro dodavatele, poskytovaných skrze OpenXR Vendor Extensions, leží na bedrech samotných dodavatelů zařízení, přičemž Epic Games negarantuje podporu pro externě validované platformy. Proto jsou doporučeny osvědčené postupy pro XR vývoj, které pokrývají optimalizaci obsahu, omezení platformem a zajištění uživatelského komfortu. Tyto postupy pomáhají zmírnit výzvy spojené s integrací a zajišťují hladký chod aplikace [46; 47; 48; 48].

5 Design a konstrukce imerzivního prostředí

Úspěšný design a konstrukce virtuálního imerzivního prostředí (VIE) je komplexní proces, který vyžaduje nejen hluboké porozumění principu počítačové grafiky a práci s nástroji jako Unity nebo Unreal Engine, ale také velké programovací dovednosti pro vývoj interaktivního obsahu. Nástroje a technologie pro tvorbu obsahu tvoří základ každého imerzivního prostředí. Vedle herních enginů se nepostradatelnými stávají rovněž nástroje pro 3D modelování a animaci, jako jsou Blender a Maya. Nezbytné je i efektivní využití 3D zvuku, který musí být prostorově přesný, aby doplňoval vizuální zážitek a prohluboval imerzi. Zásadní je také znalost hardwaru pro virtuální a rozšířenou realitu [49].

Imerzivní virtuální výukové prostředí (IVLE) představuje specifický typ virtuálního prostoru, který je především určen pro vzdělávací procesy. Ačkoliv je účinnost učení ve VR, zejména pro praktické dovednosti a nebezpečné situace, dobře zdokumentována, stále existuje výrazná poptávka po standardizovaných postupech pro návrh a vývoj těchto prostředí. Současná literatura se totiž potýká s nedostatkem ucelených, teoreticky podložených rámců pro design IVLE, což komplikuje smysluplnou integraci stávajících teorií a přístupů napříč různými obory. Nedostatek takových standardů vede k řadě problémů. V reakci na tuto potřebu byl vyvinut a popsán ucelený pětikrokový rámec pro návrh imerzivních virtuálních výukových prostředí, který je založen na procesech z reálného světa a určen pro Edu-Metaverse. Tento rámec, který se opírá o metodologii Design Science Research Method (DSRM), je koncipován tak, aby umožnil standardizovaný vývoj IVLE a obsahuje těchto pět fází:

1. Identifikace problému – V této úvodní fázi tým návrhářů definuje komplexní problémy, které má IVLE řešit. To zahrnuje jak identifikaci holistických problémů prostřednictvím strukturované rešerše literatury, tak i jejich detailní rozlišení na subproblémy pomocí skupinových rozhovorů se zúčastněnými stranami. Příkladem mohou být výzvy spojené s demografickými změnami, ztrátou zkušenostního know-how nebo nutností rychlého zaškolení nových zaměstnanců.

2. Definice cílů – Tým stanoví potenciální celkové výukové cíle, které jsou postupně sladěny s praktickými požadavky. Pro komplexní analýzu reálného prostředí se doporučuje fyzická inspekce na místě, hloubkové rozhovory a analýza videí z první osoby. Klíčová je zde efektivní komunikace a dosažení společného porozumění mezi všemi zúčastněnými stranami.

3. Didaktické základy – Tato fáze se soustředí na vývoj didaktických základů IVLE prostřednictvím kategorizace znalostí a tvorby koncepčního plánu. Zde se definují znalostní

pole, výukové jednotky a objekty, a formulují se konkrétní výukové cíle, které se opírají o taxonomii lidského poznání. Je důležité efektivně kombinovat různá výuková média a rozhodovat o úrovni komplexity 3D prvků, od jednoduchých vizuálních modelů až po velmi komplexní interaktivní objekty, které simulují reálné protějšky. Zásadní je také systematická správa dat a aktivní začlenění perspektiv zúčastněných stran, což sice může generovat mnoho nápadů, ale vyžaduje řízení ze strany vedoucí osoby pro jejich syntézu a moderaci.

4. První návrh a prototyp – V tomto kroku jsou didaktické kategorie převedeny do prototypu IVLE. Vytváří se takzvaná learning journey (výuková cesta), která propojuje výukové cíle s konkrétními 3D prvky a dělí prostředí na logické výukové oblasti. Pro vizualizaci se používají storyboardy, které poskytují první přehled o prostorovém uspořádání. Při implementaci je nutné zohlednit zvolené směrnice pro design virtuálních výukových prostředí, jejichž výběr je ovlivněn zamýšleným účelem IVLE a technickými možnostmi platformy. Klíčová je zde tvůrčí práce návrhářů a jejich didaktické kompetence.

5. Postupný proces testování a další vývoj – Závěrečná fáze se zaměřuje na vylepšování prototypu na základě výsledků hodnocení. Testování by mělo brát v úvahu specifika VR a využívat dotazníky pro hodnocení externí validity (např. znalostní testy) a interní validity (např. motivace a spokojenost uživatelů). Pro získání hlubších kvalitativních poznatků se doporučuje metoda „thinking-aloud“, při které uživatelé verbalizují své myšlenky a problémy během interakce s prostředím. Důležité je nepřetržité zapojení uživatelů a stanovení jasných hodnotících kritérií.

Návrh IVLE je hluboce zakotven v několika teoretických konceptech. Virtuální realita jako technologie ovlivňuje imerzi uživatele, tedy jak intenzivně vnímá simulované prostředí na technologické úrovni, a subjektivní pocit přítomnosti v něm. Při interakci je klíčová teorie kognitivní zátěže, která zdůrazňuje omezené kognitivní schopnosti člověka pro zpracování informací v daném čase. Designéři by se měli řídit konkrétními směrnicemi pro design virtuálních výukových prostředí, které pokrývají aspekty jako přirozené zapojení, kompatibilita s uživatelskými úkoly, realistická zpětná vazba, podpora navigace a signalizační principy pro zdůraznění učiva. Neméně důležité je porozumění lidskému poznání. To zahrnuje rozlišení mezi faktickými znalostmi (co víme), konceptuálními znalostmi (jaké jsou souvislosti a principy), procedurálními znalostmi (jak něco udělat), kauzálními znalostmi (proč se něco děje) a relačními znalostmi (s čím to souvisí), které slouží jako základ pro formulaci učebních cílů. Tento rámec přináší významné přínosy jak pro teorii, tak pro praxi. Teoreticky přispívá

k definici dosud hypotetického konstruktu Edu-Metaverse a představuje vůbec první interdisciplinárně založený rámec pro IVLE, který integruje poznatky z kognitivní psychologie, znalostního managementu a pedagogiky. Prakticky pak umožňuje širokému spektru zájemců, od začátečníků (např. manažerů vzdělávání v malých a středních podnicích) po zkušené architektky řešení, efektivně navrhovat a vyvíjet vlastní IVLE. Poskytuje konkrétní metodologie, artefakty a doporučení, která zjednodušují proces tvorby a pomáhají překonávat běžné výzvy.

Představený rámec, ačkoliv je robustní, má svá omezení, která naznačují směr budoucího výzkumu. Vzhledem k počáteční fázi vývoje Metaverza se jeho současný design primárně zaměřuje na učení a předávání znalostí [50].

5.1 Imerzivní scéna

Imerzivní scéna by v základu měla obsahovat trojrozměrné virtuální prostředí, které buď simuluje skutečný prostor, nebo vytváří úplně nový svět. Klíčové je, aby se dalo s interaktivními prvky, jako jsou objekty, nástroje a postavy, vzájemně interagovat a manipulovat s nimi. Pro dosažení realističtějšího a poutavějšího zážitku je nezbytná zpětná vazba prostřednictvím zvuku, haptické odezvy a vizuálních efektů. V neposlední řadě je důležité renderování a aktualizace v reálném čase, aby uživatel vnímal změny v prostředí a mohl interagovat s ostatními uživateli bez zpoždění [49].

5.1.1 Klíčové prvky prostředí (modely, textury, světla)

Jádro každého VR systému spočívá v jeho schopnosti nahradit skutečné smyslové vjemy počítačově generovanými daty, vycházejícími z matematického popisu trojrozměrné scény. To je realizováno pomocí 3D modelů, které představují objekty a prostředí ve virtuálním světě. Tyto modely jsou základem pro zobrazení čehokoli, od drátěných struktur raných systémů po složité simulace anatomie pro medicínské účely, molekulárních komplexů pro návrh léků nebo dokonce celých galaxií pro astronomickou vizualizaci. Například monumentální socha Davida od Michelangela vyžadovala pro svou digitální reprezentaci dvě miliardy polygonů. Právě díky těmto modelům se účastník ocitá v alternativním, životní velikosti odpovídajícím prostředí, které se mu zdá být jeho skutečným okolím, a to i přes vědomí, že se tam fyzicky nenachází.

Realismus těchto 3D modelů je dále umocněn aplikací textur a materiálů. Systém VR dodává vizuální podněty, které jsou vykresleny s odpovídající perspektivou vzhledem k pozici každého oka ve trojrozměrné virtuální scéně. I relativně zjednodušené nebo nekvalitní vykreslování může být efektivní, protože mozek je schopen „doplnit“ detaily na základě svých

předchozích zkušeností a očekávání, což vede k pocitu realismu. To umožňuje věrohodné zobrazení jak reálných objektů, tak i zcela imaginárních.

Důležitou složkou imerzivního zážitku je zvuk, zejména prostorový zvuk (spatial audio). Zatímco vizuální systém je obvykle dominantní, komplexní VR systémy mohou zahrnovat i speciální zvukové efekty. Přidání zvukových vjemů zvyšuje efektivitu smyslové substituce. Příkladem může být veslovací simulátor v CAVE systému, který byl vylepšen o zvukové schopnosti, nebo simulátor virtuálního stolního tenisu, kde zvuk dopadu míče na stůl a zvuk pátky hraje kritickou roli pro vnímání dovedností. Realistické zvukové stopy významně přispívají k celkové autenticitě zážitku.

Uživatelská interakce je dalším klíčovým prvkem, který odlišuje VR od jiných médií, neboť uživatel ve virtuálním světě spíše participuje, než jen pasivně sleduje. Účastníci by měli mít možnost ovlivňovat virtuální svět, což se často děje pomocí 3D sledovaných rukavic nebo ručních zařízení. Pokročilé systémy využívají i rozpoznávání gest pro manipulaci s virtuálními objekty. Technologie jako Kinect nebo Leap Motion umožňují přímou a přirozenou interakci s virtuálním prostředím bez fyzického kontaktu. Virtuální realita dokáže navodit iluzi vlastnictví virtuálního těla, což je podpořeno sladěním skutečných a virtuálních pohybů rukou nebo celého těla. Tato schopnost interakce je nezbytná například při řešení morálních dilemat, kde účastníci mohou aktivně provést rozhodnutí s důsledky ve virtuálním světě [51].

Prostorové uživatelské rozhraní, neboli Spatial UI, představuje zásadní inovaci v designu digitálních rozhraní, překračující hranice tradičních dvourozměrných obrazovek k pohlcujícím třírozměrným prostředím. Využívá plný potenciál trojrozměrného prostoru pro zkvalitnění uživatelské interakce, což se projevuje v přirozenější manipulaci s digitálními objekty, jako by existovaly v reálném světě. Důraz je kladen na klíčové principy, jako je vnímání hloubky, pohyb a vzájemné prostorové vztahy mezi prvky. Díky tomu se uživatelé mohou ve virtuálním prostředí pohybovat intuitivně a s vyšší efektivitou. Designéři při tvorbě Spatial UI musí pečlivě zohledňovat fyzické prostředí uživatele i jeho přirozené chování, aby zajistili kontextovou relevanci a intuitivní umístění digitálních prvků. Správná implementace Spatial UI navíc významně přispívá k lepší přístupnosti a inkluzivitě pro široké spektrum uživatelů s rozmanitými potřebami [52].

Navigace a pohyb ve VR jsou klíčové pro pocit přítomnosti a učení se prostorové orientaci. Systémy pro sledování hlavy a těla zajišťují, že vizuální a sluchové vjemy jsou neustále aktualizovány podle pohybu a orientace účastníka, což vytváří iluzi přítomnosti

v alternativním prostředí. Existuje řada navigačních metod, od použití joysticku až po „chůzi na místě“ (walking-in-place) nebo dokonce skutečnou chůzi v rozsáhlých sledovaných oblastech. Výzkumy ukazují, že skutečná chůze ve virtuálním prostředí vede k lepšímu rozvoji kognitivních map a efektivnějšímu přenosu znalostí do reálného světa, což podtrhuje význam přirozených senzomotorických dovedností pro vnímání. I pro lidi s omezenou pohyblivostí může VR nabídnout svobodu pohybu a interakce, například skrze myšlenkové ovládání s využitím rozhraní mozek-počítač (BCI). Virtuální cestování je pak logickým rozšířením této možnosti, umožňující navštěvovat vzdálená místa nebo historické lokality bez nutnosti fyzického přesunu.

Posledním zkoumaným prvkem je fyzika a kolizní systém, které určují, jak se objekty ve virtuálním světě chovají a vzájemně na sebe působí. Počítačové modely ve VR popisují geometrii, materiálové vlastnosti, osvětlení a také dynamiku objektů ve scéně. Virtuální realita umožňuje simulovat fyzikální zákony s podporou výpočetního výkonu, nebo je naopak porušovat, čímž otevírá prostor pro zážitky, které by v realitě byly nemožné. Přestože uživatel není ve VR fyzicky zraněn, virtuální nůž může vyvolat stres a úzkost. V kolektivních virtuálních prostředích se účastníci učí respektovat avatary ostatních, například se vyhýbat kolizím a omlouvat se, pokud k nim dojde. V oblasti chirurgického tréninku jsou haptická zařízení nezbytná pro simulaci sil a odporů tkání, což napodobuje reálné fyzické interakce. Tyto systémy demonstrují, že ačkoliv dokonalá haptická odezva, která by simulovala jakýkoli dotyk či pád, ještě neexistuje, základy pro realistickou fyzickou interakci a kolize jsou ve VR přítomné a klíčové pro uvěřitelnost zážitku [51].

5.1.2 Uživatelská interakce ve VR/AR

Uživatelská interakce ve VR/AR je naprosto stěžejní pro zajištění pozitivního uživatelského zážitku. Oblast interakce člověka s počítačem (HCI) ve virtuální realitě je širokým mezioborovým pojmem, jež propojuje informatiku, psychologii, design, informační management, sociologii i inženýrství. Uživatelé v ní obousměrně vnímají a reagují na virtuální rozhraní. Designové prvky a celková použitelnost interakčního rozhraní mají přímý vliv na uživatelskou mentalitu a schopnost rozhodování. Uživatelské potřeby a zkušenosti slouží jako zásadní kritéria pro samotný design. Účinnost interakce ve VR je ovlivněna mnoha faktory, což vyžaduje precizní vymezení podmínek jak při návrhu, tak při hodnocení interakčních rozhraní.

Mezi základní otázky výzkumu designu VR interakce patří interakční rozhraní, interakční technologie, interakční zařízení a analýza úkolů. VR interakční rozhraní se obecně

dělí na vícedotyková rozhraní, hmatová uživatelská rozhraní (TUI), trojrozměrná (3D) uživatelská rozhraní, vícekanálová uživatelská rozhraní a smíšená uživatelská rozhraní.

Úkoly ve VR interakci se typicky rozdělují do tří kategorií. Úkoly výběru a manipulace se zaměřují například na výběr či otáčení virtuálních objektů. Navigační úkoly zahrnují pohyb a orientaci ve virtuálním prostoru. Ovládání systému pak představuje změnu stavů systému či interakčních režimů. Celkový zážitek z VR interakce je komplexně ovlivněn použitou technologií, konkrétními zařízeními a typem vykonávaného úkolu.

Směrnice pro VR vzdělávací aplikace zdůrazňují jasné zobrazení informací v menu, pozice uživatele, pokroku v učení a operační zpětné vazby, s důrazem na přizpůsobení, odolnost vůči chybám, konzistenci a přirozenost. Napodobení realistických rozhraní může zvýšit pocit přítomnosti a ponoření a snížit kognitivní zátěž, ale nadměrné a irelevantní informace mohou paradoxně vést k rozptýlení a zmatku. Design VR interakčního rozhraní proto musí najít rovnováhu mezi realismem a použitelností, funkčností, stabilitou a flexibilitou [53].

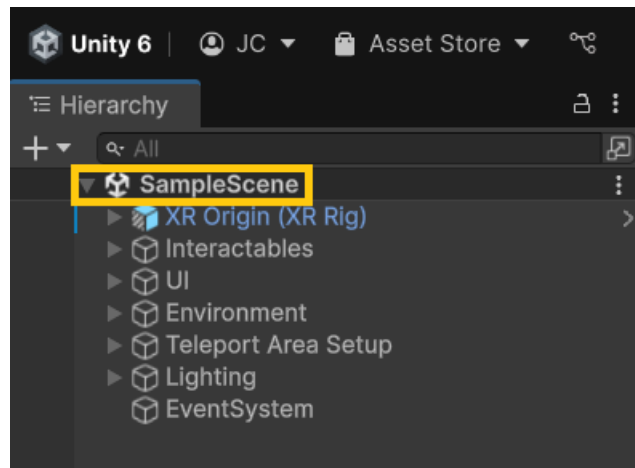
5.2 Praktické kroky tvorby imerzivní scény

Vytváření imerzivních scén ve VR a AR závisí nejen na estetice, ale také na zvládnutí konkrétního technického postupu, který umožní, aby se uživatel cítil součástí digitálního světa. Každý herní engine nabízí vlastní nástroje a workflow (pracovní postupy). Cílem této části práce je popsat typické workflow při konstrukci VR/AR scény a ilustrovat je na vybraných herních enginech.

5.2.1 Workflow v Unity pro VR

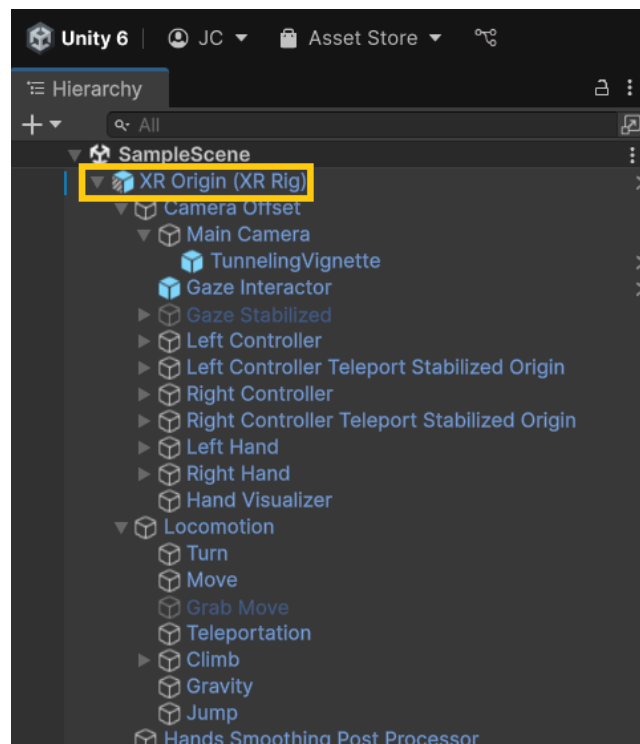
Celý proces začíná v Unity Hubu, kde si v menu zvolíme *New project* (nový projekt) a následně si vybereme v *Templates* (šablony) tu pro VR. Zvolená šablona slouží jako vynikající výchozí bod pro jakoukoli vývojovou snahu v oblasti virtuální reality. Tato šablona automaticky nastavuje potřebná projektová nastavení, předinstaluje klíčové balíčky a navíc obsahuje řadu předkonfigurovaných příkladových aktiv, jež názorně demonstrují, jak připravit projekt pro VR vývoj. Mezi základní komponenty, které tato šablona využívá, patří XR Interaction Toolkit, komplexní systém interakcí založený na komponentách, který usnadňuje tvorbu zážitků v rozšířené realitě a převádí Unity vstupní události na 3D a uživatelské interakce. Druhou podstatnou součástí je OpenXR, balíček navržený pro širokou kompatibilitu s různými hardwarovými platformami.

Pro zahájení práce je ve šabloně k dispozici vzorová scéna pojmenovaná *SampleScene* (viz Obrázek 12). Tato scéna je již přednastavena s takzvanými *GameObjects*, které efektivně spravují sledování ovladačů a hlavy, umožňují pohyb a interakci s prostorovým uživatelským rozhraním i virtuálními objekty.



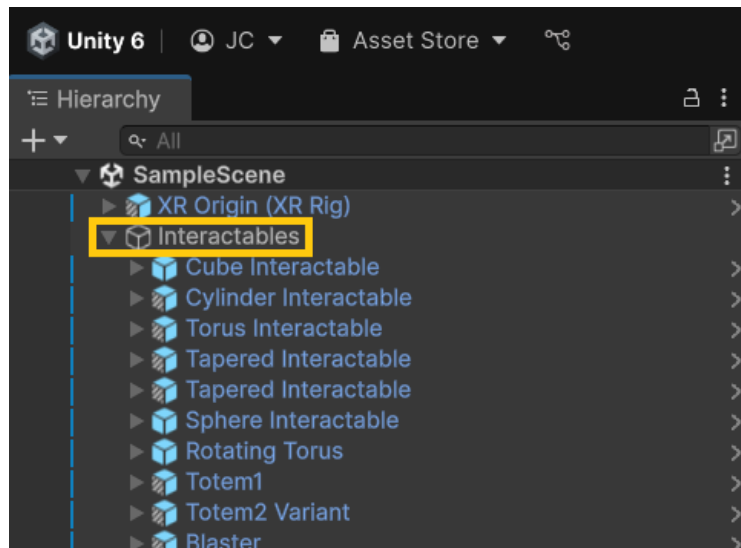
Obrázek 12: Vzorová imerzivní scéna šablony pro VR v Unity (verze 6.1)

V rámci hierarchie této vzorové scény nalezneme několik klíčových prvků. Především je to *XR Origin* (viz Obrázek 13), nastavená pro podporu rukou i ovladačů. Existuje i varianta *XR Origin* určená pouze pro ovladače, která se nachází v *Assets/VRTemplateAssets/Prefabs/Setup* pod názvem *Complete XR Origin Set Up Variant*.



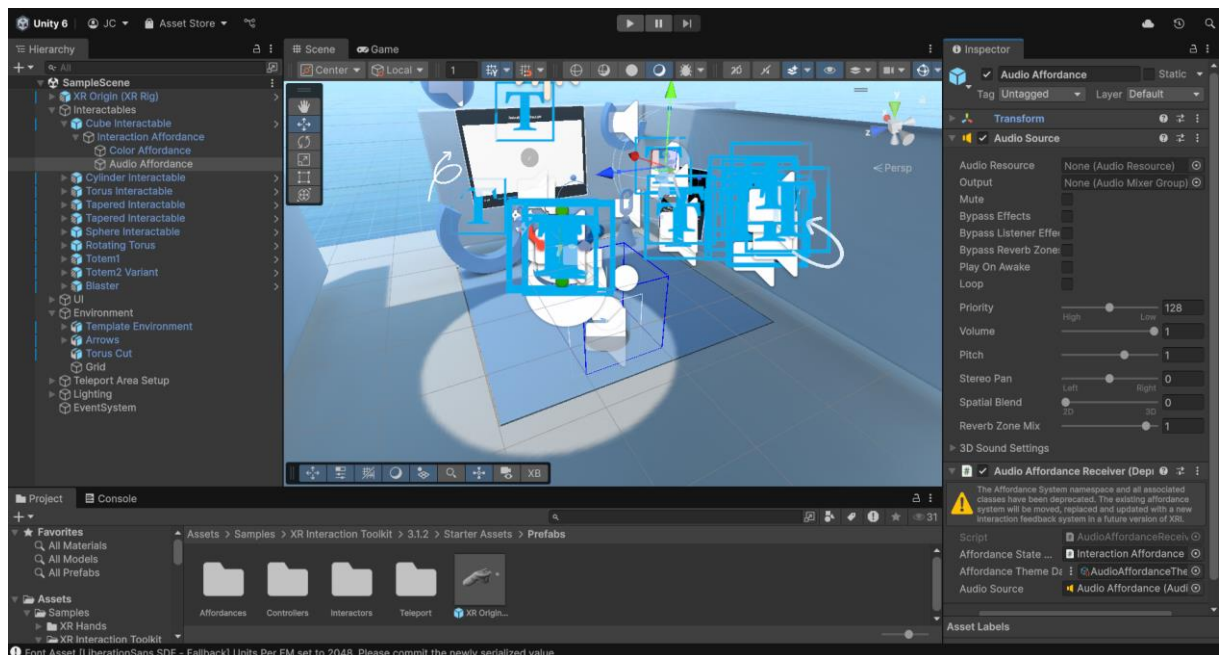
Obrázek 13: Nastavení pro vstupní zařízení v Unity (verze 6.1)

Dále jsou ve scéně různé interakční objekty, nazývané *Interactables* (viz Obrázek 14), se kterými může uživatel interagovat. Příkladem je *Grab Interactable*, který umožňuje uživateli uchopit objekt pomocí přímého nebo paprskového interaktoru. Tyto uchopitelné objekty vyžadují komponenty *Rigidbody* a *Collider* pro definování interakční oblasti.

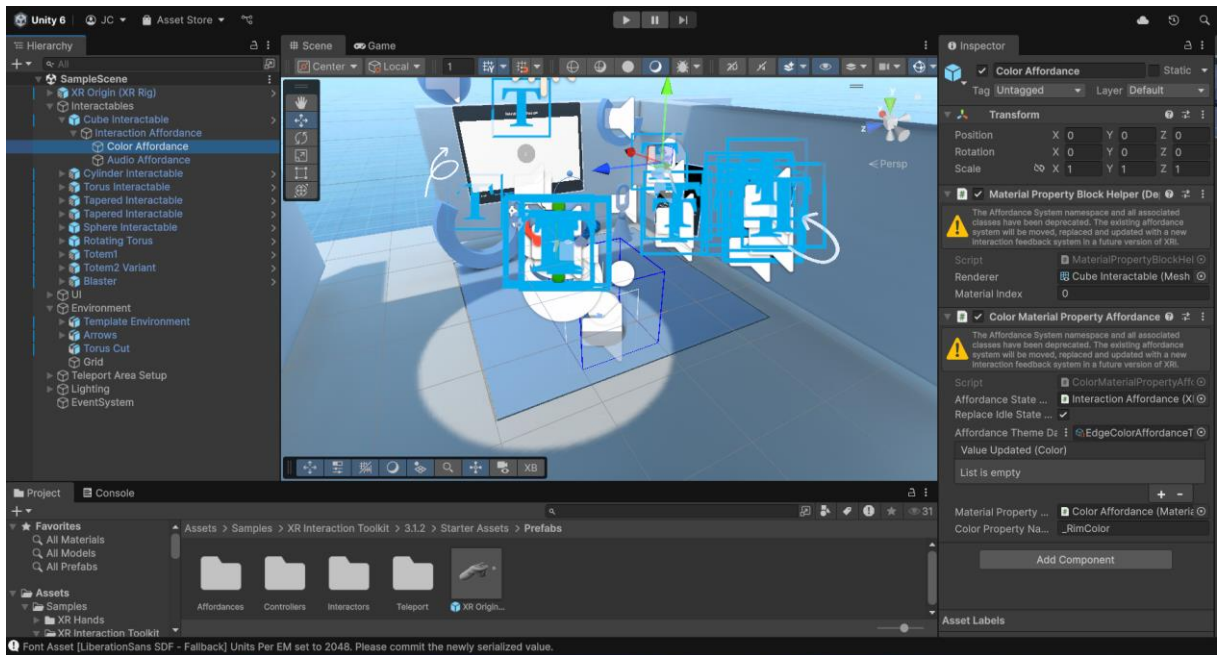


Obrázek 14: Možnosti pro interakční objekty v Unity (verze 6.1)

Pro zpětnou vazbu uživateli je integrován systém *Affordance*, který poskytuje vizuální i sluchové podněty. V rámci vzorové scény jsou již přednastaveny *Audio Affordance Receiver* (viz Obrázek 15) a *Color Affordance Receiver* (viz Obrázek 16).



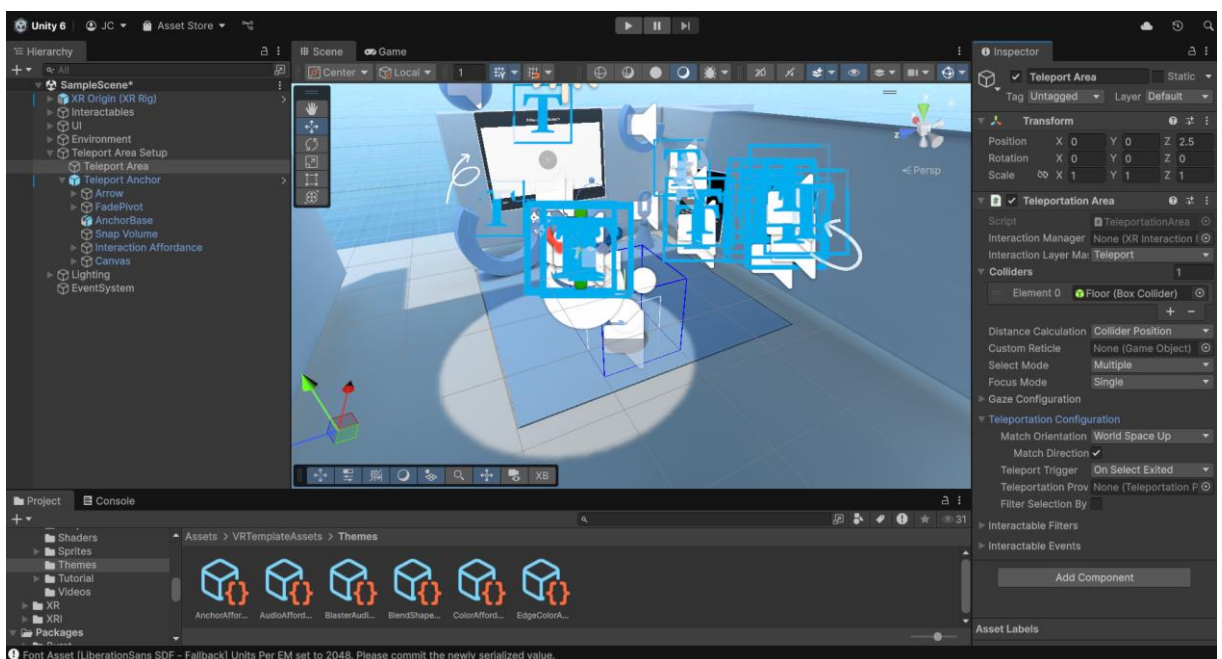
Obrázek 15: Nastavení objektu se zvukovou odezvou podle interakce v Unity (verze 6.1)



Obrázek 16: Nastavení objektu měnícího barvu podle interakce v Unity (verze 6.1)

Color Affordance Receiver aplikuje barvy z *Affordance Theme Datum* na vlastnost barvy materiálu, což umožňuje definovat různé barvy pro odlišné stavy interakce. Podobně Audio Affordance Receiver přehrává zvukové klipy uložené v *Affordance Theme Datum*.

Pro pohyb uživatele ve scéně bez nepříjemných pocitů (viz kapitola 1.3) je implementována teleportace. *Teleportation Areas* (viz Obrázek 17) označují konkrétní místa, na které se uživatel může přesunout, a jsou konfigurovány se specifickými collidery ze scény.



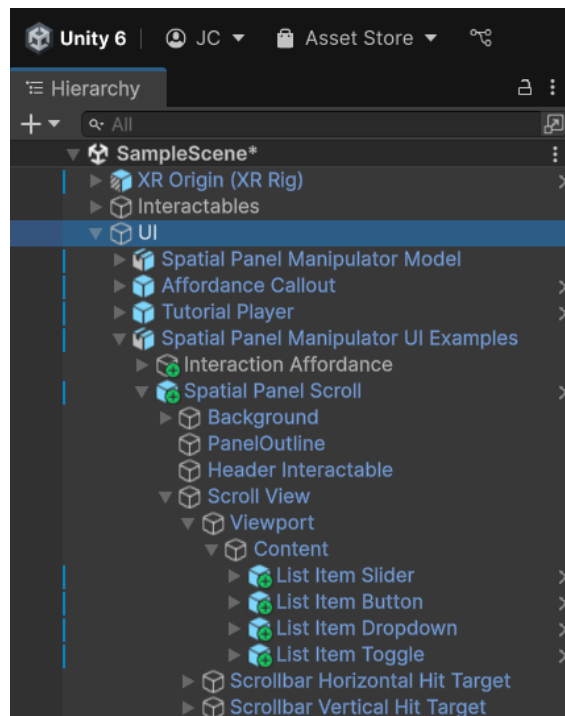
Obrázek 17: Nastavení teleportace v Unity (verze 6.1)

Naopak *Teleport Anchors* (viz Obrázek 18) omezují uživatelský pohled z hlediska pozice a rotace během teleportace. Jedna taková kotva je již ve scéně přednastavena.



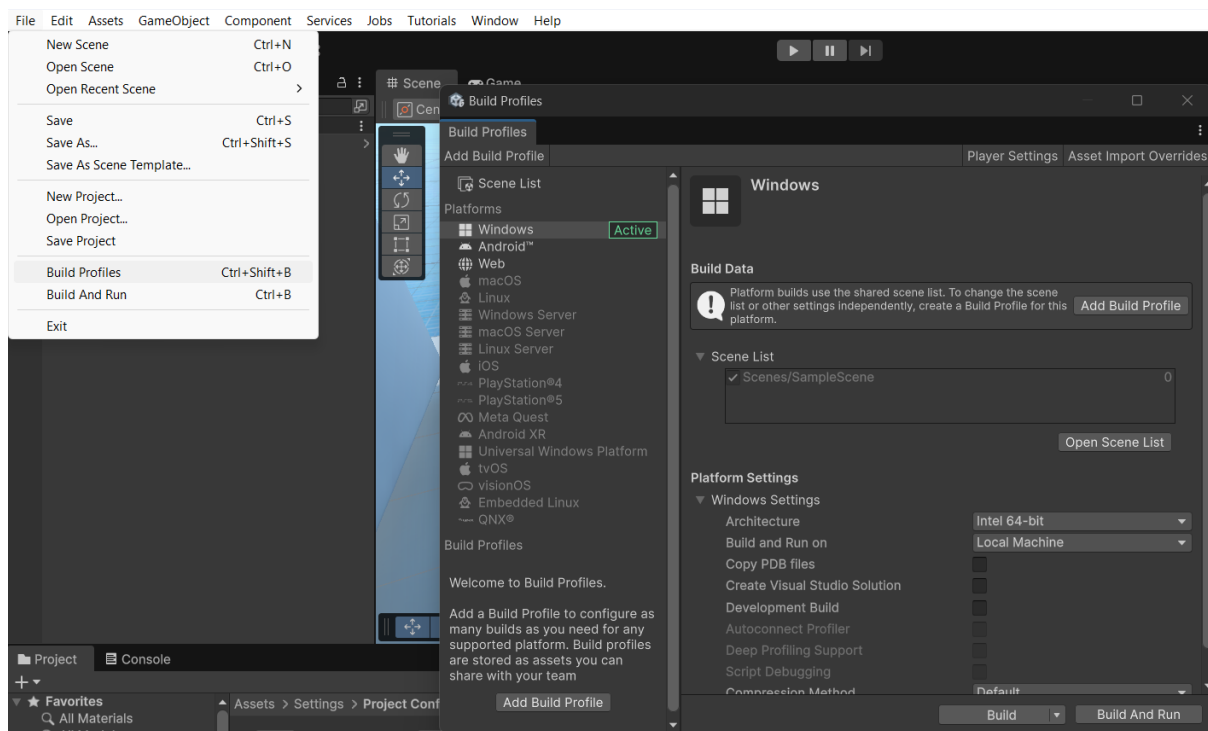
Obrázek 18: Nastavení teleportační kotvy v Unity (verze 6.1)

Vzorová scéna rovněž obsahuje různé příklady prostorového uživatelského rozhraní Spatial UI (viz Obrázek 19) v prostoru světa, které umožňují blízké i vzdálené interakce s prvky UI, jako jsou posuvníky, rozbalovací menu, přepínače a tlačítka.



Obrázek 19: Prostorové uživatelské rozhraní Spatial UI v Unity (verze 6.1)

Konfigurace projektu je komplexní a zahrnuje řadu přednastavených konfigurací pro grafiku a renderování, které se přizpůsobují různým platformám. Jednoduchou volbou cílové platformy ve *File/Build Profiles* (viz Obrázek 20). Při výběru cílové platformy v Build Profiles se automaticky předkonfigurují skupiny funkcí OpenXR a interakční profily.



Obrázek 20: Volba cílové platformy v Unity (verze 6.1)

5.2.2 Srovnání s postupy v Godot Engine a Unreal Engine

Vývoj VR her v Unity, Godot Engine a Unreal Engine se liší v přístupu k nastavení prostředí, ovládání hráče, návrhu UI a optimalizaci, přestože kroky k dosažení cíle jsou koncepčně podobné. Zaměříme se na detailnější srovnání workflow v každém z těchto enginů.

Nastavení VR vývojového prostředí a projektu

V Godot Engine je nastavení VR inicializováno skriptem v hlavní herní scéně, obvykle ve funkci `_ready()`. Zde se vyhledá a inicializuje VR rozhraní, například OpenVR, pomocí `ARVRServer.find_interface()`. Důležité je také nastavit *Viewport* na AR/VR mód (`get_viewport().arvr = true`), vypnout HDR (`get_viewport().hdr = false`) a V-Sync (`OS.vsync_enabled = false`), a nastavit cílovou FPS na 90 (`Engine.target_fps = 90`), což je standard pro většinu VR headsetů. Klíčovým aspektem v Godot Engine je správné měřítko aktiv, kde 1 jednotka typicky odpovídá 1 metru, což je zásadní pro přirozený pocit ve VR. Pro VR je nutné použít OpenVR addon, který je k dispozici v *Asset Library*. ARVROrigin je

centrální uzel pro VR svět, pod který se řadí kamera hráče (ARVRCamera) a uzly kontrolerů (ARVRController).

V Unreal Engine je nejdříve potřeba v nastavení *Edit/Plugins* povolit a restartovat specifické VR pluginy, jako jsou OculusVR, SteamVR nebo OpenXR. Je nezbytné, aby byl VR headset připojen a rozpoznán příslušnými nástroji. Při vytváření nového projektu se doporučuje zvolit šablonu *Blueprint/Virtual Reality* nebo *Blank Project* pro plnou kontrolu.

Konfigurace a ovládání hráče (pohyb a interakce)

V Godot Engine je pohyb a interakce hráče spravována skripty připojenými k uzlům ARVRController. Teleportace se realizuje pomocí *teleport_raycast*, který detekuje kolize se *StaticBody* s normálou směřující nahoru. Pozice teleportu je vizualizována pomocí *teleport_mesh* a po uvolnění tlačítka se ARVROrigin přesune na cílovou pozici, upravenou o offset kamery. Hladký pohyb se ovládá vstupy z joysticku nebo touchpadu kontroleru, s implementací mrtvé zóny (*CONTROLLER_DEADZONE*) pro zamezení nechtěného pohybu. Pohyb se vypočítává na základě dopředných a pravých vektorů VR kamery, s vynulovanou osou Y, aby se zabránilo létání. Pro interakci s objekty se používají specifická tlačítka.

V Unreal Engine se konfigurace ovládání VR hráče provádí v *Blueprints*, konkrétně v *MotionControllerPawn* pro pohyb a sledování rukou a ve *VRPlayerPawn* pro definování akcí hráče. Mezi základní VR interakce, které je třeba implementovat, patří teleportace a plynulý pohyb, sledování rukou a vstupy z kontrolerů, a interakce s objekty, jako je uchopení, házení a zvedání předmětů. Plynulý pohyb využívá joystick pro přirozený pohyb. Teleportace (point-and-click) pomáhá vyhnout se pohybové nevolnosti a vyžaduje přidání *NavMeshBoundsVolume* do úrovně a připojení *Teleport Arc Component* k VR kontroleru v *MotionControllerPawn Blueprint*. Pro interakci s objekty, jako je uchopení a pohyb, se v *Blueprints* používají *Physics Handles*.

Návrh prostředí a uživatelské rozhraní

V Godot Engine se pro zobrazení 3D UI na mesh objektech využívají Viewport uzly. Aktualizace UI pro herní prvky, například pro zobrazení zbývajících počtu sfér, se provádí pomocí skriptu *Base_Control.gd*, který komunikuje s hlavní herní scénou a aktualizuje uzly.

V Unreal Engine lze importovat 3D aktiva pomocí *Quixel Megascans* pro fotorealistické modely, nebo importovat vlastní 3D modely ve formátu FBX (z Blenderu, Mayi nebo 3ds Max).

Pro realistická prostředí se doporučuje používat *Dynamic Lighting* a upravovat *Post Processing Effects* pro vylepšení realismu a vnímání hloubky.

Optimalizace výkonu a export

V Godot Engine je pro snížení pohybové nevolnosti využíván vizuální efekt vignety, který se aktivuje pouze během pohybu hráče. Je klíčové, aby se fyzika prováděla na stejné frekvenci snímků jako displej (např. 90 FPS) pro hladší zážitek ve VR. Větší oblast *Sleep_Area* na kontrolerech detekuje uzly *RigidBody* a "budí" je, když se ruce přiblíží, aby se předešlo problémům s fyzikou. Pro restartování hry lze použít funkci *get_tree().change_scene()*. Godot obecně podporuje export na různé platformy.

V Unreal Engine je optimalizace výkonu pro VR kritická, protože vyžaduje vysoké snímkové frekvence (minimálně 90 FPS) pro pohodlný zážitek. To zahrnuje snížení počtu polygonů a optimalizaci meshů (modely pod 100 000 polygonů, použití Level of Detail (LOD)). Dále se doporučuje optimalizovat osvětlení a efekty, například používat *Baked Lighting* místo *Dynamic Lights* a omezit *Post-Processing Effects* jako *motion blur* a *depth of field*. Mezi další optimalizační vylepšení patří použití *Forward Rendering* místo *Deferred Rendering*, úprava *Texture Streaming* a nastavení *Fixed Foveated Rendering* (FFR) pro optimalizaci Oculus Questu. Pro balení a nasazení VR hry je důležité vždy testovat v *VR Preview Mode* přímo v Unreal Engine. Následně se hra balí a deployuje přes *File/Package Project/Select Platform* (Windows, Android, PSVR) a nastavení VR Renderingu v *Project Settings*. Hru pak lze publikovat na platformách jako SteamVR, Oculus Store nebo PlayStation VR Marketplace, nebo distribuovat jako APK pro samostatné VR headsety, jako je Oculus Quest [54; 55].

Celkově vzato, zatímco Unity a Unreal Engine poskytují robustní a často předkonfigurované nástroje pro VR vývoj, Godot nabízí odlehčenější a flexibilnější přístup, který vyžaduje více ručního skriptování pro základní VR funkce. Všechny tři enginy umožňují vývoj pohlcujících VR zážitků, s různou mírou komplexity a optimalizačních možností.

5.3 Příklady úspěšných výukových VR/AR projektů

Projekt Mindflight7

Projekt Mindflight7, který vytvořila australská společnost s klíčovými spoluzakladateli Kajalou Palou, Yuanem Liangem, Yangem Liu a Chrisem Gillardem, se prioritně zaměřuje na revoluci ve vzdělávání a týmové práci. Fungování projektu spočívá ve využití pohlcujících XR technologií a virtuální reality, jež studenty ponořují do digitálních prostředí, čímž jim umožňují

propojit obsah předmětu s přímým zážitkem a činí výuku atraktivnější, dostupnější a efektivnější pro všechny. Společnost Mindflight7 se přitom staví do role důvěryhodného spojení mezi studenty a technologiemi, poskytuje komplexní podporu při zavádění VR. Mezi hlavní přínosy patří obrovský dopad na studenty i učitele a výrazné zvýšení studentské angažovanosti. Projekt je považován za mimořádně úspěšný, neboť se etabloval jako největší a nejrychleji rostoucí VR vzdělávací společnost v Austrálii, která již poskytla kariérní programy více než 60 000 studentům ve stovkách škol [56].

Projekt Labster

Společnost Labster vytvořila stejnojmenný projekt Labster, zahrnující také simulátor UbiSim, jehož cílem je přetvořit vzdělávání. Nástroj nachází využití především v přírodních vědách (STEM) a ošetrovatelství, napříč všemi stupni vzdělávání. Funguje na principu imerzivních výukových zážitků s pomocí virtuální a rozšířené reality, což studentům umožňuje opakovaně a bezpečně procvičovat reálné situace. Mezi hlavní přínosy se řadí zvýšená aktivita studentů, lepší akademické výsledky a posílená sebedůvěra. Projekt je považován za velice úspěšný. Dokládají to prestižní ocenění, například „TIME Best Invention of 2024“ pro UbiSim a zařazení Labsteru mezi přední EdTech společnosti roku 2024 [56].

Projekt Google Expeditions

Projekt Google Expeditions vyvinula společnost Google společně s pedagogy a různými partnery pro tvorbu obsahu. Tato virtuální platforma je primárně určena pro školství, funguje jako inovativní výukový nástroj pro třídy. Učitelé díky ní mohou žáky vést na atraktivní virtuální expedice, třeba na Mars nebo k Čínské zdi. Systém funguje tak, že se aplikace stáhne do zařízení kompatibilních s Google Cardboard a následně učitel provází celou třídu po různých místech na světě. Hlavním cílem je studentům snadno zprostředkovat zcela nové, pohlcující zážitky, což zvyšuje jejich zapojení a přispívá k lepšímu pochopení učiva. K uskutečnění těchto zážitků se využívá zejména technologie Google Cardboard [57].

Projekt Verizon & STRIVR

Projekt simulace ozbrojeného přepadení ve virtuální realitě byl vytvořen ve spolupráci telekomunikační společnosti Verizon a platformy Strivr. Je primárně určen pro maloobchodní sektor, konkrétně pro zvyšování bezpečnosti a připravenosti zaměstnanců v prodejnách. Využívá se zde živé 360° video s najatými herci, natočené v reálném prostředí Verizon obchodu. Účastníci jsou tak plně pohlceni do realistických scénářů, které simulují různé situace

přepadení. Po dokončení školení se 97 % z více než 22 000 zaměstnanců cítilo jistěji a lépe připraveno na nebezpečné situace. Tento přístup výrazně zvýšil angažovanost. Projekt je považován za velmi úspěšný díky své schopnosti poskytnout reálnou zkušenost a budovat důvěru v krizových situacích [58].

Projekt Portico

Projekt Portico představuje systém pro správu výuky určený speciálně pro virtuální realitu. Jeho posláním je umožnit firmám a vzdělávacím institucím efektivně zavádět pohlcující učení s přehlednou strukturou, snadným použitím a měřitelnými výsledky. Tento inovativní systém mění pasivní metody výuky na praktický VR trénink, jenž působí skutečně a buduje reálnou sebedůvěru i schopnosti. Portico vzniklo s cílem odstranit bariéry a naplno odemknout potenciál VR, neboť sjednocuje technologii, obsah i data pro jednodušší přístup a správu. Studentům poskytuje intuitivní prostředí pro jejich růst, zatímco pedagogům zajišťuje jasný přehled a jistotu při vedení vzdělávání [59].

Projekt od Vodafone & VirtualSpeech

Projekt „Vodafone Pavilion ve VR“, vytvořený společností VirtualSpeech, je zaměřen na rozvoj prezentačních dovedností zaměstnanců globální telekomunikační firmy Vodafone. Jedná se o aplikaci v podnikovém prostředí, kde si uživatelé v realisticky replikovaném virtuálním pavilonu Vodafone procvičují své projevy. Mohou si nahrát vlastní poznámky a slidy, přičemž ihned obdrží automatizovanou zpětnou vazbu. Mezi hlavní přínosy patří výrazně zvýšená sebedůvěra a angažovanost uživatelů. Úspěšnost projektu potvrzuje fakt, že 93 % zaměstnanců by toto řešení doporučilo a 91 % by si přálo více VR školení [60].

Projekt od Intel & HTC Vive

Projekt společnosti Intel, vyvinutý s podporou VIVE Enterprise, se zaměřuje na virtuální kurz rekvalifikace v oblasti elektrické bezpečnosti. Tato inovativní iniciativa je přímo uplatnitelná v průmyslovém školení, kde slouží k minimalizaci nebezpečných pracovních úrazů. Virtuální prostředí poskytuje účinné a škálovatelné řešení pro recertifikaci zaměstnanců. Aplikace VIVE Enterprise umožnila firmě optimalizovat procesy, které dříve generovaly významné finanční ztráty, překračující milion dolarů v důsledku incidentů. Konkrétním přínosem je odhadovaná 300% návratnost investic v průběhu pěti let. Projekt se jeví jako mimořádně úspěšný, neboť výrazně snižuje rizika a prokazatelně šetří náklady [61].

5.4 Potencionální využití VR/AR pro výuku a trénink v polygrafii

Polygrafie, jako technologický náročný a prakticky orientovaný obor, se dlouhodobě potýká s nutností efektivního tréninku obsluhy tiskařských strojů, předtiskové přípravy a kontroly kvality výstupu. Tradiční výukové metody bývají často nákladné, časově náročné a závislé na fyzické přítomnosti zařízení. V tomto kontextu se virtuální realita a rozšířená realita ukazují jako inovativní nástroje, které mohou výrazně zefektivnit výuku, zvýšit bezpečnost a umožnit nácvik praktických scénářů bez rizika poškození vybavení. Zaměříme se tedy na potencionální využití VR/AR v praxi.

Simulace obsluhy tiskařských strojů

Studenti by si mohli osvojit ovládání ofsetových nebo flexotiskových strojů bez nutnosti jejich reálné dostupnosti. Například VR výukové prostředí může zobrazit procesy jako zakládání papíru, nastavování barevníků nebo výměny tiskové formy, čímž student získá představu o postupech i bezpečnostních zásadách.

Údržba a seřízení

Pomocí VR brýlí nebo mobilního zařízení lze zobrazit 3D instrukce a interaktivní schémata přímo nad reálným strojem. To usnadňuje seřízení zařízení a slouží jako výukový nástroj pro technickou podporu.

Simulace dokončovacích operací

Falcování, výsek, laminace nebo lepení by se procvičovaly v VR/AR scénářích, které by věrně kopírovaly průběh reálného výrobního procesu.

Výuka správy barev a ICC profilů

Díky VR je možnost vizualizovat rozdíly v barevném podání při použití různých typů papírů, tiskových technik a nastavení profilů. Student tak může lépe porozumět principům míchaní barev a jejich využitím v praxi.

Design a prototypování obalů

Vizualizace obalového designu přímo v prostoru AR by přispěla k větší představivosti studentů. Mohli by testovat funkčnost skládání a po vytvoření designu například vyzkoušet nosnost s využitím fyzikální schopnosti enginů. Navíc by se mohl design i schválení výrobku obejít bez výroby fyzických vzorků.

V polygrafii je již snaha o implementování výuky ve VR a důkazem je projekt STRIPE VR (Simulated Training In Print Education), vyvinutý na Sonoco Institute of Packaging Design and Graphics při Clemson University. Představuje klíčovou iniciativu v oblasti vzdělávání. Cílem tohoto pokročilého virtuálního systému je čelit dlouhodobému úbytku kvalifikovaných pracovníků v tiskařském průmyslu, zejména pak ve flexografii. Tento problém, sdílený většinou výrobních sektorů, vedl k výraznému poklesu zaměstnanosti, dosahujícímu pětadvaceti procent za poslední dekádu. Autoři projektu, Bobby Congdon a Nate Newsome, přinášejí do jeho vývoje hluboké znalosti oboru i technologie virtuální reality.

Systém STRIPE VR funguje jako plně animovaná simulace úzkopásmového flexografického stroje, kde uživatel může měnit různé parametry, například tlak desky na substrát, a okamžitě pozorovat dopad těchto úprav na tištěný materiál. Dále umožňuje detailně prozkoumat vnitřní mechanismy stroje, včetně rozložení tiskové jednotky a zobrazení vzájemné interakce jednotlivých komponent, jako jsou sterač a aniloxový válec. Pro hlubší porozumění může simulátor dokonce virtuálně odstranit boční ocelové kryty, aby odhalil cestu materiálu a sušicího zařízení. Ovládací prvky jsou koncipovány tak, aby učily základní principy zvyšování či snižování tlaku, nikoli specifické knoflíky či tlačítka konkrétního stroje. Studenti mohou rovněž provádět virtuální měření výtisků a porovnávat je s cílovými hodnotami. Platforma také umožňuje tvorbu a testování scénářů pro řešení problémů, například simulaci situace s chybným pH inkoustu, a poskytuje zpětnou vazbu o efektivitě zásahu na základě spotřeby materiálu.

Mezi hlavní přínosy tohoto virtuálního řešení patří výrazné zkrácení doby potřebné pro zaškolení nových operátorů, což dříve vyžadovalo týdny mimo produkční prostředí. Díky VR lze trénovat v bezpečném a kontrolovaném prostředí, bez rizika zranění nebo poškození drahého vybavení, a navíc bez nákladného zastavení reálné výroby, což přináší významné úspory nákladů na substráty, inkousty a desky. Tréninkové scénáře mohou být standardizovány napříč různými zařízeními, což zajišťuje konzistentní úroveň znalostí. Systém rovněž posiluje bezpečnostní postupy a eliminuje obavy spojené s obsluhou zařízení amatéry.

Předvedení konceptu na veletrhu PRINT 18 se setkalo s velmi pozitivním ohlasem, což potvrdilo jedinečný potenciál VR pro vizualizaci komplexních zařízení. Podpora od Flexographic Technical Association (FTA), prvního sponzora projektu, dále posiluje jeho postavení a potenciál pro široké uplatnění. Sonoco Institute navíc aktivně hledá další průmyslové partnery, aby mohl aplikaci bezplatně distribuovat do vzdělávacích programů [62].

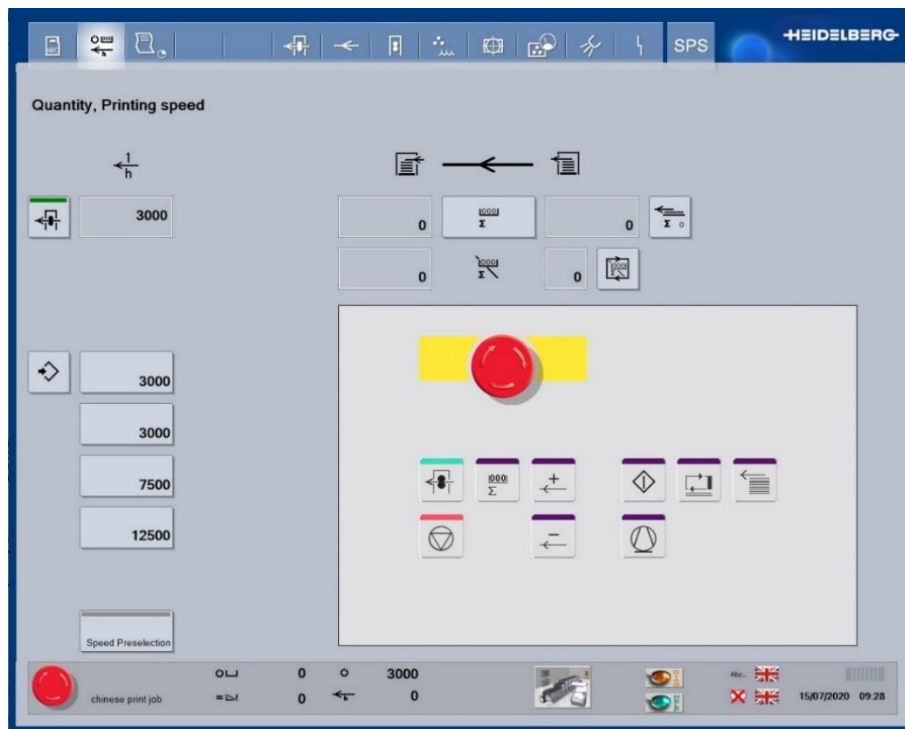
Dalším velkým projektem, v rámci polygrafie, jsou simulátory Sinapse Print Simulators. Nabízí pokročilé virtuální systémy, které přinášejí praktickou výuku do digitálního prostředí, umožňující komplexní trénink [63]. Nejedná se sice simulátory ve VR/AR, ale převedení těchto typů simulátorů právě do VR/AR by představovalo velký přínos v oblasti tréninku v polygrafii. Uživatel by nemusel pouze „klikat“ na interaktivní části stroje a měnit určité hodnoty, ale také by mohl například prostředí kolem stroje, nasazovat tiskové formy, ručně seřadit nakladač/vykladač, doplňovat barvy do barevníků nebo kontrolovat výtisky pomocí denzitometru.

Sheetfed Simulator (viz Obrázek 21) poskytuje přístup k archovému ofsetovému tiskařskému stroji, který je schopen tisknout až 6 barev a lak v jediném průchodu. Centrální konzole (The Central Console) je řídicí systém s osmi obrazovkami, z nichž každá ovládá odlišné funkce simulátoru [64].



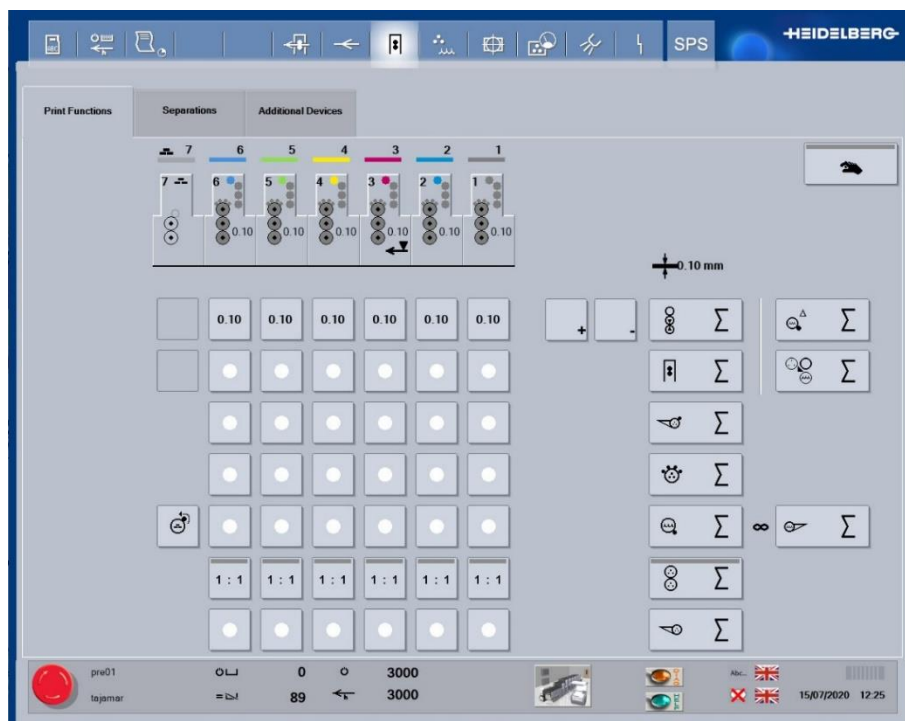
Obrázek 21: Sheetfed Simulator – Ofsetový tiskový stroj a centrální konzole [64]

Na úvodní obrazovce *Start panel* lze přejít do sekce *Quantity*, *Printing speed* (viz Obrázek 22), kde se dá nastavit i spustit tiskový stroj.



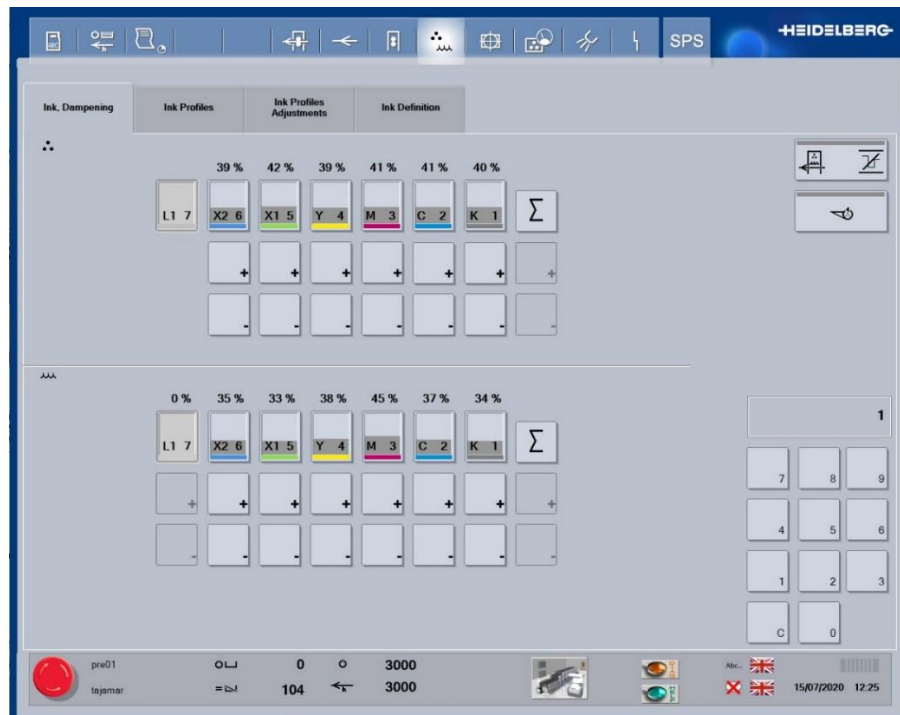
Obrázek 22: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci *Quantity, Printing speed* [64]

Na obrazovce v sekci *Print Functions* (viz Obrázek 23) lze zkontrolovat konfiguraci tiskového stroje, zda je tisková jednotka zapnutá nebo vypnutá.



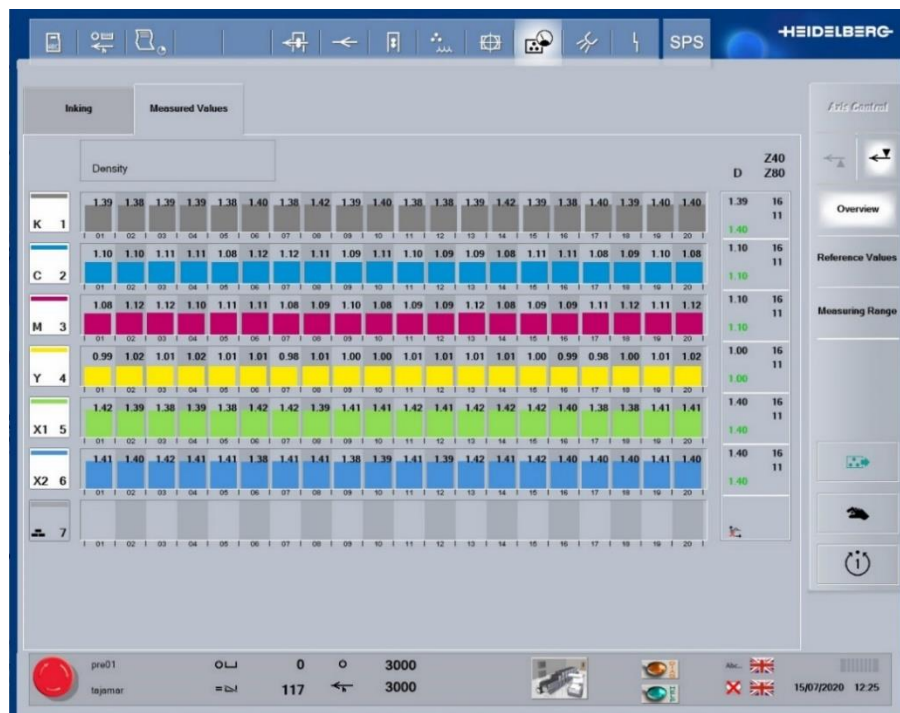
Obrázek 23: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci *Print Functions* [64]

Pro každou tiskovou jednotku lze upravovat množství barvy a vody v sekci *Ink, Dampening* (viz Obrázek 24).



Obrázek 24: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci *Ink, Dampening* [64]

Regulace barvy se provádí v sekci *Measured Values* (viz Obrázek 25). Zobrazuje denzitu pro jednotlivé zóny a barvy s měřenými hodnotami a referenčními hodnotami.



Obrázek 25: Sheetfed Simulator – Centrální konzole v sekci *Measured Values* [64]

Kopírovací pult (viz Obrázek 26) je klíčovou součástí simulátoru, který nejen zobrazuje aktuálně vytištěný arch, ale umožňuje jeho zobrazení ve větším měřítku, zobrazení obou stran listu papíru, přímé porovnání vytištěné kopie s barevnou OK kopií, které musí odpovídat, a také umožňuje použití pěti základních nástrojů pro zobrazení a měření detailů tisku.



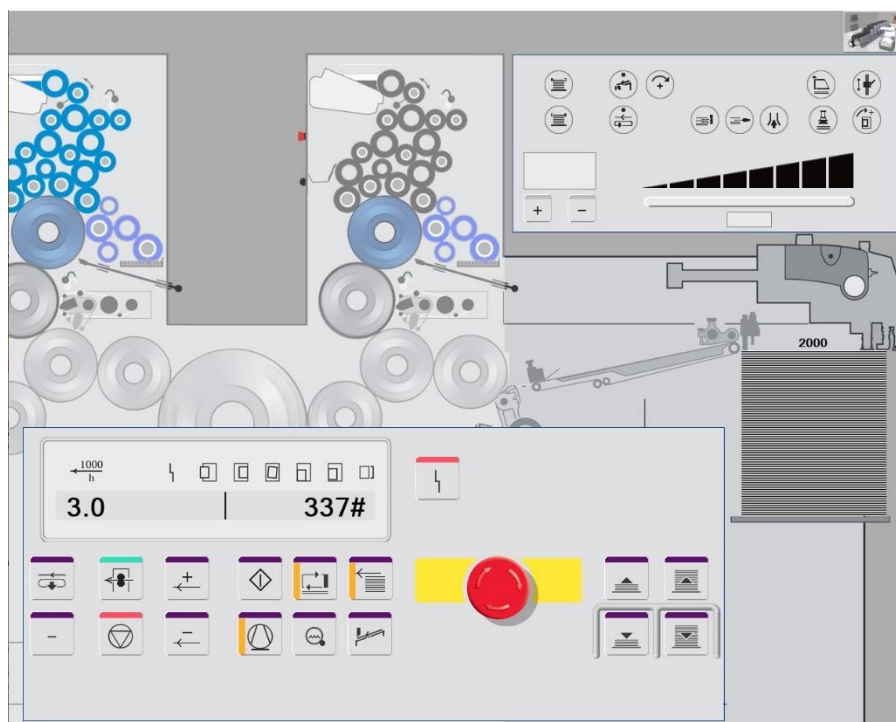
Obrázek 26: Sheetfed Simulator – Kopírovací pult s náhledem [64]

Soutisk je klíčovým parametrem ve všech formách tisku a jedním z nejzákladnějších typů tiskových vad. Tisk se spoléhá na dokonalý soutisk k vytvoření obrázků a barev, a proto by měly být vytištěny ve správné vzájemné poloze, aby byl obraz jasný a ostrý s věrnou reprodukcí barev. K ověření slouží v simulátoru několik funkcí, jednou z nich je například lupa (viz Obrázek 27).



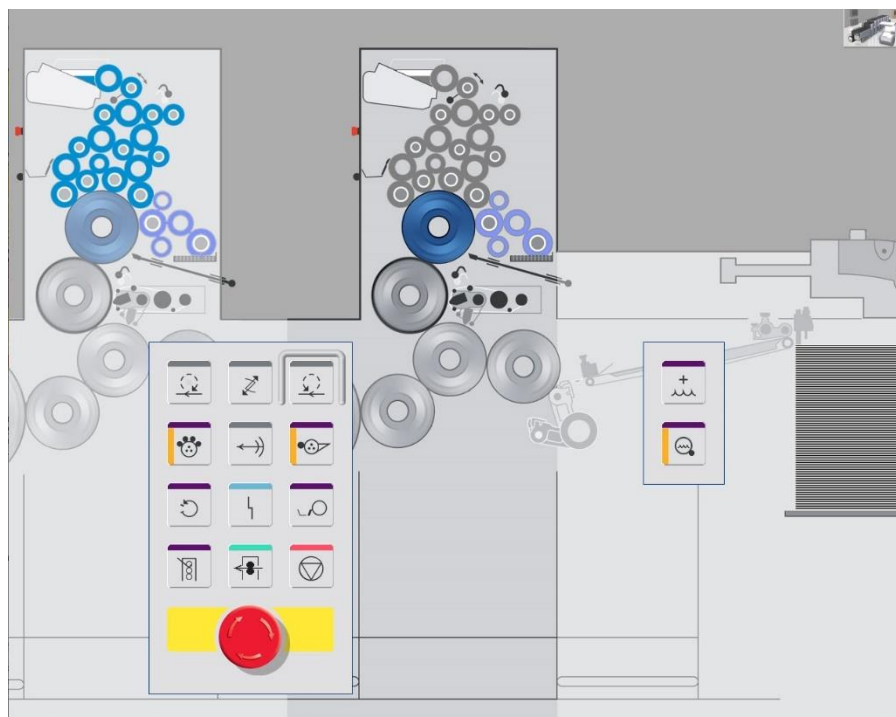
Obrázek 27: Sheetfed Simulator – Kopírovací pult ve funkci Lupa [64]

Přímo na stroji můžeme nastavit nakladač a spustit tisk (viz Obrázek 28). Pro spuštění tisku musíme postupovat dle daného postupu. Dvojitým stisknutím tlačítka *ON* zrychlíme otáčky na přednastavenou rychlost, poté spustíme nakladač a kompresor. Po stisknutí tlačítka *Paper Run* začne nakladač podávat papír do stroje k tisku.



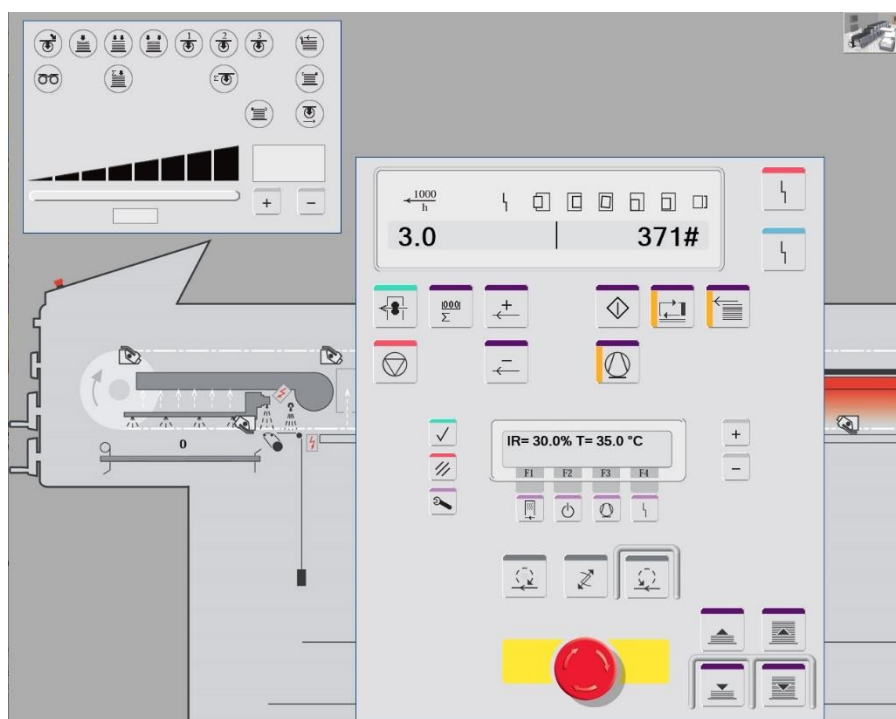
Obrázek 28: Sheetfed Simulator – Nastavení nakladače a spuštění stroje [64]

Dále na stroji můžeme na schématu tiskové jednotky (viz Obrázek 29) na dvou ovládacích panelech kontrolovat a měnit nastavení. V horní části vidíme používanou barvu.



Obrázek 29: Sheetfed Simulator – Kontrola a změna nastavení tiskové jednotky [64]

V neposlední řadě se na konci stroje nastavují parametry vykladače (viz Obrázek 30).



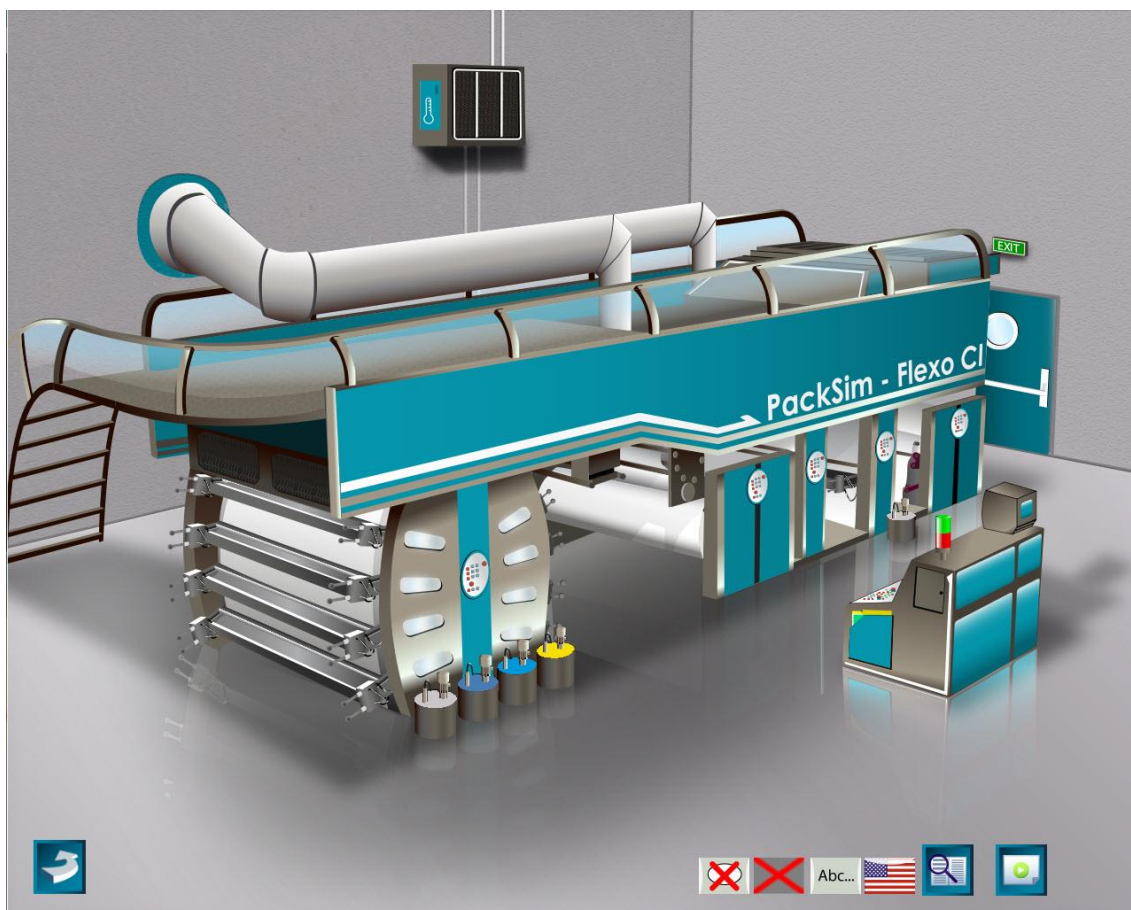
Obrázek 30: Sheetfed Simulator – Vykladač stroje [64]

Heatset Simulator (viz Obrázek 31) umožňuje přístup ke kotoučovému ofsetovému tiskařskému stroji, který je schopen tisknout až 4 barvami oboustranně a produkovat 16 složených stránek. Jeho ovládání probíhá prostřednictvím centrální konzole s několika obrazovkami, z nichž každá řídí odlišné funkce simulátoru. Z úvodní obrazovky *Start Panel* lze spustit tisk a přejít na kopírovací pult pro získání nového výtisku. Kopírovací pult je zde také stěžejním místem a celkově je ovládání podobné tomu v simulátoru Sheetfed. Navíc je u tohoto simulátoru nastavování sušícího tunelu a nastavování připojené jednotky pro skládání [65].



Obrázek 31: Heatset Simulator – Kotoučový ofsetový stroj [65]

Flexo Simulator (viz Obrázek 32) jsou dostupné v několika variantách, jako jsou Common impression, In-line a Corrugated board. Typ Common impression je vybaven centrální konzolí s osmi obrazovkami, varianta In-line se ovládá prostřednictvím šesti obrazovek, a typ Corrugated board využívá osm obrazovek na centrální konzoli. Stejně jako u ostatních simulátorů se tisk spouští z úvodní obrazovky *Start Panel*, odkud se také přechází na kopírovací pult. V simulátoru je zahrnuta i nádrž pro barvu, kde se úpravy objemu barev projevují s určitou latencí, což vyžaduje čas na změny a s ohledem na osvědčené postupy se doporučují menší úpravy [66].



Obrázek 32: Flexo Simulator (Common Impression) – Flexotiskový stroj [66]

Gravure Simulator (viz Obrázek 33) poskytuje přístup k tiskařskému stroji, který je schopen tisknout až 8 barev v konfiguraci z role na roli nebo s řezacím a bigovacím zařízením. Centrální konzole je řídicí systém se sedmi obrazovkami, z nichž každá ovládá odlišné funkce simulátoru. Spuštění tisku se provádí z úvodní obrazovky *Drive Panel*, a pro prohlížení výtisků se přechází na kopírovací pult, kde je k dispozici *WebViewer*. *WebViewer* je klíčovou součástí simulátoru, která nejen zobrazuje aktuální tištěný obraz, ale umožňuje jej prohlížet ve větším měřítku, prohlížet obě strany tisku a přímo porovnávat výtisk s barevnou OK kopií. Navíc nabízí pět základních nástrojů pro prohlížení a měření tiskových detailů. Panel funkce tisku slouží jako rychlý referenční bod pro kontrolu stavu stroje, zobrazuje teplotu sušičky, průtok vzduchu, úroveň LEL (Lower Explosive Limit – dolní mez výbušnosti), výstupní teploty pásu, viskozitu a napětí pásu pro každou jednotku [67].



Obrázek 33: Gravure Simulator – Hlubotiskový stroj [67]

Tiskové simulátory Sinapse jsou vyvinuty s primárním cílem poskytovat lepší, rychlejší a nákladově efektivnější trénink. Jednou z klíčových výhod je jejich nákladová efektivita, neboť používání reálných tiskových strojů pro školení může celosvětově generovat roční náklady v řádu desítek tisíc dolarů pro průmyslové i vzdělávací programy. V tomto kontextu představují simulátory Sinapse a jejich cloudové školicí prostředí úsporné řešení. Dále se zaměřují na to, aby se učení stalo dostupným, zábavným a efektivním. Společnost Sinapse Print Simulators se pyšní nejvyšší kvalitou simulátorů na světě, což je výsledkem práce týmu složeného z inženýrů v oblasti umělé inteligence, specialistů na tiskařské technologie, programátorů a projektových manažerů. Tento tým vyvinul pokročilé metody pro úspěšné modelování komplexních tiskových procesů a pro umožnění interaktivní spolupráce operátorů s těmito procesy, což vede k dosažení světově nejvyšší kvality simulátorů tiskových strojů.

Mezi klíčové vlastnosti těchto virtuálních tiskových simulátorů patří jejich komplexní rozsah a věrná simulace reálných tiskových procesů, poskytující detailní vhled do správy a obsluhy tiskových strojů [63].

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo prokázat, že herní enginy, jako jsou Unity, Unreal Engine a Godot, představují výkonné nástroje pro tvorbu imerzivních vzdělávacích prostředí založených na virtuální a rozšířené realitě. Jejich schopnost simulovat realistická prostředí, podporovat interaktivitu a přizpůsobit se různým platformám umožňuje vytvářet efektivní výukové scénáře, které zvyšují zapojení a motivaci studentů. Zkoumání historie a funkcí těchto enginů ukázalo jejich flexibilitu a přizpůsobivost, díky čemuž se staly klíčovými nástroji nejen v herním průmyslu, ale i ve vzdělávání.

V oblasti polygrafie mají VR/AR aplikace značný potenciál, zejména při výuce složitých procesů, jako je správa barev, tiskové technologie nebo design obalů. Příklady, jako je projekt STRIPE VR, demonstrují, jak lze tyto technologie využít k tréninku bez rizika poškození zařízení a s výraznou úsporou nákladů. Přesto přetrvávají výzvy, jako jsou vysoké pořizovací náklady, technické problémy či nedostatek kvalitního vzdělávacího obsahu, které je třeba řešit pro širší implementaci.

Výsledky této práce naznačují, že budoucnost imerzivního učení spočívá v dalším vývoji herních enginů a jejich integraci s novými technologiemi. Pro maximalizaci jejich potenciálu je nezbytná spolupráce mezi pedagogy, vývojáři a průmyslovými partnery, aby byly vytvořeny dostupné a efektivní vzdělávací nástroje. Tato práce tak přispívá k diskuzi o budoucnosti vzdělávání a zdůrazňuje význam inovací v oblasti VR/AR pro transformaci výukových procesů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] POQUET, Oleksandra, Lisa LIM, Negin MIRRIABI a Shane DAWSON. Video and learning. *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge* [online]. New York, NY, USA: ACM, 2018, 2018-03-07, 151-160 [cit. 2025-06-30]. ISBN 9781450364003. Dostupné z: doi:10.1145/3170358.3170376
- [2] NOETEL, Michael, Shantell GRIFFITH, Oscar DELANEY, Taren SANDERS, Philip PARKER, Borja DEL POZO CRUZ a Chris LONSDALE. Video Improves Learning in Higher Education: A Systematic Review. *Review of Educational Research* [online]. 2021, **91**(2), 204-236 [cit. 2025-06-30]. ISSN 0034-6543. Dostupné z: doi:10.3102/0034654321990713
- [3] *VR in the Schools* [online]. 1995 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: https://www.hitl.washington.edu/projects/knowledge_base/virtual-worlds/VR-in-Schools/
- [4] SORKINE-HORNUNG, Alexander, MAGNOR, Marcus, ed. *Real VR – Immersive Digital Reality* [online]. Springer Cham, 2020 [cit. 2025-03-22]. ISBN 978-3-030-41816-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-41816-8
- [5] MYSTAKIDIS, Stylianos a Vangelis LYMPOURIDIS. Immersive Learning. *Encyclopedia* [online]. 2023, **3**(2), 396-405 [cit. 2025-02-25]. ISSN 2673-8392. Dostupné z: doi:10.3390/encyclopedia3020026
- [6] WU, C. H., Y. M. TANG, Y. P. TSANG a K. Y. CHAU. Immersive Learning Design for Technology Education: A Soft Systems Methodology. *Frontiers in Psychology* [online]. 2021, 2021-12-17, **12** [cit. 2025-02-25]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2021.745295
- [7] PIRKER, Johanna, Isabel LESJAK, Johannes KOPF, Alexander KAINZ a Amir DINI. Immersive Learning in Real VR. *Real VR – Immersive Digital Reality* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020, 2020-03-03, 321-336 [cit. 2025-02-27]. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-030-41815-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-41816-8_14
- [8] MYSTAKIDIS, Stylianos, Eleni BERKI a Juri-Petri VALTANEN. Deep and Meaningful E-Learning with Social Virtual Reality Environments in Higher Education: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences* [online]. 2021, **11**(5) [cit. 2025-02-25]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11052412
- [9] FITRIA, Tira Nur. Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Technology in Education: Media of Teaching and Learning: A Review. *International Journal of Computer and Information System (IJCIS)* [online]. 2023, 2023-01-09, **4**(1), 14-25 [cit. 2025-02-25]. ISSN 2745-9659. Dostupné z: doi:10.29040/ijcis.v4i1.102

- [10] MUÑOZ-SAAVEDRA, Luis, Lourdes MIRÓ-AMARANTE a Manuel DOMÍNGUEZ-MORALES. Augmented and Virtual Reality Evolution and Future Tendency. *Applied Sciences* [online]. 2020, **10**(1) [cit. 2025-02-25]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app10010322
- [11] ALGERAFI, Mohammed A. M., Yueliang ZHOU, Mohamed OUBIBI a Tommy Tanu WIJAYA. Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education. *Electronics* [online]. 2023, **12**(18) [cit. 2025-02-25]. ISSN 2079-9292. Dostupné z: doi:10.3390/electronics12183953
- [12] VERCELLI, Gianni, Saverio IACONO, Luca MARTINI, Michele ZARDETTO a Daniele ZOLEZZI. *From Risk to Readiness: VR-Based Safety Training for Industrial Hazards* [online]. 2024, 18. 12. 2024 [cit. 2025-07-14]. Dostupné z: doi:10.48550/arXiv.2412.13725
- [13] XU, Te, Guang SONG, Yang YANG, Pei-xin GE a Li-xin TANG. Visualization and simulation of steel metallurgy processes. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* [online]. Springer Science and Business Media, 2021, **28**(8), 1387-1396 [cit. 2025-06-30]. ISSN 1674-4799. Dostupné z: doi:10.1007/s12613-021-2283-5
- [14] In: *XVR Simulation B.V.* [online]. c2025 [cit. 2025-07-14]. Dostupné z: <https://www.xvrsim.com/en/>
- [15] *Testimonial Veiligheidsregio Drenthe - Virtual Reality for firefighters* [online]. 2020 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=NTSV6ERTy1c&t=166s&ab_channel=XVRSIMULATION
- [16] CHRISTOPOULOU, Eleftheria a Stelios XINOGALOS. Overview and Comparative Analysis of Game Engines for Desktop and Mobile Devices. *International Journal of Serious Games* [online]. 2017, 2017-12-22, **4**(4) [cit. 2025-03-24]. ISSN 2384-8766. Dostupné z: doi:10.17083/ijsg.v4i4.194
- [17] BARCZAK, Andrzej a Hubert WOŹNIAK. Comparative Study on Game Engines. *Studia Informatica* [online]. 2020, 2020-12-22, (23), 5-24 [cit. 2025-03-24]. ISSN 1731-2264. Dostupné z: doi:10.34739/si.2019.23.01
- [18] ANDRADE, A. Game engines: a survey. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning* [online]. 2015, 2015-11-05, **2**(6), 10.4108/eai.5-11-2015.150615 [cit. 2025-03-24]. ISSN 2034-8800. Dostupné z: doi:10.4108/eai.5-11-2015.150615
- [19] MARIN-VEGA, Humberto, Giner ALOR-HERNÁNDEZ, Ramon ZATARAIN-CABADA, Maria Lucia BARRON-ESTRADA a Jorge Luis GARCÍA-ALCARAZ. A Brief Review of Game Engines for Educational and Serious Games Development. *Journal of Information Technology Research* [online]. 2017, **10**(4), 1-22 [cit. 2025-03-22]. ISSN 1938-7857. Dostupné z: doi:10.4018/JITR.2017100101

- [20] *Game Engines and Game History* [online]. 2014 [cit. 2025-03-29]. ISSN 1916-985X. Dostupné z: <https://www.kinephanos.ca/2014/game-engines-and-game-history/>
- [21] SALAMA, Ramiz a Mohamed ELSAYED. A live comparison between Unity and Unreal game engines. *Global Journal of Information Technology: Emerging Technologies* [online]. 2021, 2021-04-30, **11**(1), 01-07 [cit. 2025-03-29]. ISSN 2301-2617. Dostupné z: doi:10.18844/gjit.v11i1.5288
- [22] Source. In: *Valve Developer Community* [online]. c2005-2025 [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://developer.valvesoftware.com/wiki/Source>
- [23] HAAS, John. *A History of the Unity Game Engine* [online]. Worcester, 2014 [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: https://digital.wpi.edu/concern/student_works/tx31qh96p?locale=en. Interactive Qualifying Project. Worcester Polytechnic Institute.
- [24] PEK, Pavel. *Porovnání a analýza populárních herních engineů Unity a Godot* [online]. Praha, 2021 [cit. 2025-04-19]. Dostupné z: <https://vskp.vse.cz/83333>. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.
- [25] List of features. In: *Godot engine* [online]. c2007-2025 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: https://docs.godotengine.org/en/stable/about/list_of_features.html#list-of-features
- [26] Complying with licenses. In: *Godot engine* [online]. c2007-2025 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: https://docs.godotengine.org/en/stable/about/complying_with_licenses.html
- [27] Welcome to Unity. In: *Unity Technologies* [online]. c2024 [cit. 2025-04-26]. Dostupné z: <https://unity.com/our-company>
- [28] BEST, Martin. Unity 6 is here: See what's new. In: *Unity Technologies* [online]. c2024 [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://unity.com/blog/unity-6-features-announcement>
- [29] Introduction to scripting. In: *Unity Technologies* [online]. c2024 [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/6000.0/Documentation/Manual/intro-to-scripting.html>
- [33] About Epic Games. In: *Epic Games* [online]. c2025 [cit. 2025-05-05]. Dostupné z: <https://www.epicgames.com/site/en-US/about>
- [34] Better with age: A history of Epic Games. In: *Polygon* [online]. c2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: <https://www.polygon.com/2012/10/1/3438196/better-with-age-a-history-of-epic-games>
- [35] AGARWAL, Aniruddh. Unreal Engine and its Evolution. In: *Extern Labs* [online]. 2012 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: <https://externlabs.com/blogs/unreal-engine-and-its-evolution/>

- [36] 16 Best Games Made With Unreal Engine 5. In: *TheGamer* [online]. c2025 [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://www.thegamer.com/unreal-engine-5-best-games/>
- [37] Programming and Scripting. In: *Epic Games* [online]. c2025 [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/unreal-engine-programming-and-scripting>
- [38] MOZOLEVSKA, Victoria. Unity vs Unreal Engine: Pros and Cons. In: *Kevuru Games* [online]. 16 Mar 2023 [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://kevrugames.com/blog/unity-vs-unreal-engine-pros-and-cons/>
- [39] ANGRA, Sheena, Bhanu SHARMA a Avinash SHARMA. Analysis of Virtual Reality and Augmented Reality SDK's and Game Engines: A Comparison. *2022 International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)* [online]. IEEE, 2022, 2022-10-13, 1681-1684 [cit. 2025-05-10]. ISBN 978-1-6654-8232-5. Dostupné z: doi:10.1109/ICECAA55415.2022.9936111
- [40] KEIL, Julian, Dennis EDLER, Thomas SCHMITT a Frank DICKMANN. Creating Immersive Virtual Environments Based on Open Geospatial Data and Game Engines. *KN - Journal of Cartography and Geographic Information* [online]. 2021, **71**(1), 53-65 [cit. 2025-05-11]. ISSN 2524-4957. Dostupné z: doi:10.1007/s42489-020-00069-6
- [41] CHO, Yunsik a Jinmo KIM. A Study on the Comparison of the Virtual Reality Development Environment in Unity and Unreal Engine 4. *Journal of the Korea Computer Graphics Society* [online]. 2022, 2022-12-01, **28**(5), 1-11 [cit. 2025-05-11]. ISSN 1975-7883. Dostupné z: doi:10.15701/kcgs.2022.28.5.1
- [42] Setting up XR. In: *Godot engine* [online]. c2007-2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/xr/setting_up_xr.html
- [43] OLIJ, Bastiaan. Godot XR update - October 2024. In: *Godot engine* [online]. c2007-2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: <https://godotengine.org/article/godot-xr-update-oct-2024/>
- [44] VR and MR development in Unity. In: *Unity Technologies* [online]. c2005-2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/6000.2/Documentation/Manual/VROverview.html>
- [45] AR development in Unity. In: *Unity Technologies* [online]. c2005-2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/6000.2/Documentation/Manual/AROverview.html>
- [46] XR packages. In: *Unity Technologies* [online]. c2005-2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/6000.2/Documentation/Manual/xr-support-packages.html>
- [47] XR Development. In: *Epic Games* [online]. c2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/developing-for-xr-experiences-in-unreal-engine?application_version=5.4

- [48] Developing for Handheld Augmented Reality Experiences. In: *Epic Games* [online]. c2025 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/developing-for-handheld-augmented-reality-experiences-in-unreal-engine?application_version=5.4
- [49] SAFADEL, Parviz. Designing Immersive Learning Experiences: An Introduction to Instructional Design for Virtual Immersive Environments. In: *EdTech Books* [online]. 2024 [cit. 2025-06-28]. Dostupné z: https://edtechbooks.org/designing_immersive_Learning_experience
- [50] TEICHMANN, Malte Rolf. How to Design Immersive Virtual Learning Environments Based on Real-World Processes for the Edu-Metaverse—A Design Process Framework. In: *IEEE Transactions on Learning Technologies* [online]. 2025, s. 100-118 [cit. 2025-06-28]. ISSN 1939-1382. Dostupné z: [doi:10.1109/TLT.2025.3525949](https://doi.org/10.1109/TLT.2025.3525949)
- [51] SLATER, Mel a Maria V. SANCHEZ-VIVES. Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI* [online]. 2016, 2016-12-19, **3**(74), 1-38 [cit. 2025-06-29]. ISSN 2296-9144. Dostupné z: [doi:10.3389/frobt.2016.00074](https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074)
- [52] Spatial Ui Best Practices. In: *FasterCapital* [online]. c2024 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: https://fastercapital.com/term/spatial-ui-best-practices.html?utm_source=chatgpt.com
- [53] CHEN, Meng-Xi, Huicong HU, Ruiqi YAO, Longhu QIU a Dongxu LI. A Survey on the Design of Virtual Reality Interaction Interfaces. *Sensors* [online]. 2024, **24**(19), 1-14 [cit. 2025-06-29]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: [doi:10.3390/s24196204](https://doi.org/10.3390/s24196204)
- [54] VR starter tutorial. In: *Godot Engine* [online]. c2007-2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: https://docs.godotengine.org/en/3.1/tutorials/vr/vr_starter_tutorial.html
- [55] How to Make a VR Game with Unreal Engine: A Comprehensive Guide. In: *SDLC Corp* [online]. c2024 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://sdllcorp.com/post/how-to-create-a-voxel-game-in-unreal-engine-a-beginners-guide-2/>
- [56] About Mindflight7. In: *Mindflight7* [online]. c2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://www.mindflight7.com.au/about>
- [56] About Labster. In: *Labster* [online]. c2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://www.labster.com/about-us>
- [57] Google Expeditions. In: *VirtuARealities* [online]. c2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://sites.google.com/view/virtuarealities/vr-resources/google-expeditions>
- [58] Verizon. In: *Strivr Labs* [online]. c2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://www.strivr.com/customers/verizon>
- [59] About us - PorticoXR. In: *PorticoXR* [online]. c2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://porticoxr.com/about-us/>

- [60] Vodafone Pavilion VR Training. In: *Program-ace* [online]. c1992-2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://program-ace.com/success-stories/vodafone-pavilion/>
- [61] Case Study: Intel Enhances Training With VR, Sees 5-Year ROI of 300%. In: *HTC VIVE* [online]. c2011-2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://blog.vive.com/us/vive-vr-case-study-intel-training-roi/>
- [62] Addressing Recruitment and Training Challenges with Virtual Reality. In: *Flexographic Technical Association* [online]. c2025 [cit. 2025-06-29]. Dostupné z: <https://www.flexography.org/industry-news/recruitment-training-challenges-virtual-reality-flexography/>
- [63] Sinapse Print Simulators. In: *Sinapse Print Simulators* [online]. c2025 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: <https://cloud.sinapseprint.com/en/home>
- [64] Sheetfed Simulators. In: *Sinapse Print Simulators* [online]. c2025 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: <https://cloud.sinapseprint.com/en/product/product-sheetfed>
- [65] Heatset Simulators. In: *Sinapse Print Simulators* [online]. c2025 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: <https://cloud.sinapseprint.com/en/product/product-heatset>
- [66] Flexo Simulator. In: *Sinapse Print Simulators* [online]. c2025 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: <https://cloud.sinapseprint.com/en/product/product-flexo>
- [67] Gravure Simulator. In: *Sinapse Print Simulators* [online]. c2025 [cit. 2025-06-30]. Dostupné z: <https://cloud.sinapseprint.com/en/product/product-gravure>