

VYSOKÁ ŠKOLA POLYTECHNICKÁ JIHLAVA

Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi

**VÝVOJ VR APLIKACE PRO PREZENTACI
PRŮMYSLOVÝCH 3D MODELŮ**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Petr Sebastián Novák

Vedoucí práce: Ing. Jan Jirsa

Jihlava 2026

Vysoká škola polytechnická Jihlava

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Petr Sebastián Novák
Studijní program:	Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi
Garant studijního programu:	doc. Ing. Radek Kolman, Ph.D.
Název práce:	Vývoj VR aplikace pro prezentaci průmyslových 3D modelů
Vedoucí práce:	Ing. Jan Jirsa
Cíl práce:	Cílem diplomové práce je vývoj SW řešení a obchodního modelu VR aplikace, která umožňuje zobrazování a interakci s 3D modely v prostředí brýlí Meta Quest 3. Aplikace bude umožňovat měnit velikost modelů, natáčet je, spouštět jejich animace a bude propojena s webovou administrací pro snadné nahrávání nových modelů přes API. V rámci práce bude vyvinuta aplikace pro správu a zobrazení 3D modelů ve VR prostředí, nástroj pro administraci a správu modelů, implementovány nástroje umělé inteligence pro automatickou kategorizaci a popis nahrávaných modelů, provedena analýza potenciálních trhů, zejména v oblasti výroby a průmyslu a navržen obchodní model, cenová politika a postup uvedení produktu na trh.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem, vývojem a implementací komplexního softwarového řešení pro vizualizaci 3D modelů pomocí virtuální reality (VR). Cílem práce je vytvořit funkční MVP prototyp, který pomůže s vizualizací vytvářených 3D modelů a tím zamezí případným chybám či nutnosti modifikací při výrobě produktu. Systém sestává ze tří částí: administračního rozhraní pro správu modelů a uživatelů, služby pro kategorizaci modelů využívající umělou inteligenci a klientské VR aplikace pro vizualizaci modelů. Metodicky je práce založena na využití kontejnerové architektury Docker, integraci jazykového modelu LLM pro analýzu 3D geometrie a nasazení herního Unity engine. Práce přináší funkční nástroj průmyslu 4.0, využitelný jak při návrhu modelů ve výrobních podnicích, tak při prezentacích budoucího řešení zákazníkům.

Klíčová slova

Virtuální realita; Průmysl 4.0; 3D vizualizace; Umělá inteligence; Obchodní model

Abstract

This diploma thesis deals with the design, development, and implementation of a comprehensive software solution for visualizing 3D models using virtual reality (VR). The aim of the thesis is to create a functional MVP prototype that assists with the visualization of created 3D models, thereby preventing potential errors or modifications during product manufacturing. The system consists of three parts: an administration interface for managing models and users, an artificial intelligence-based service for categorizing models, and a client VR application for model visualization. Methodologically, the work is based on the use of Docker container architecture, the integration of a large language model (LLM) for 3D geometry analysis, and the deployment of the Unity game engine. The thesis provides a functional Industry 4.0 tool, usable both during the design of models in manufacturing enterprises and for presentations of future solutions to customers.

Keywords

Virtual Reality; Industry 4.0; 3D Visualization; Artificial Intelligence; Business Model

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „AZ“).

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje **AZ**, zejména § 60 (školní dílo).

Podle § 47b zákona o vysokých školách souhlasím se zveřejněním své práce podle Směrnice pro vedení, vypracování a zveřejňování závěrečných prací na VŠPJ, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne 12.4.2026

.....

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych tímto vřele poděkoval panu vedoucímu a paní oponentce, kteří mi pomohli k úspěšnému vypracování této diplomové práce a díky jejich podnětům, připomínkám a profesionálnímu přístupu jsem byl schopen práci dokončit v potřebné kvalitě.

Také chci poděkovat mojí mamince, která mě vždy podporovala při studiu, i když to pro ni nebylo ekonomicky vůbec snadné. Dále všem přátelům a rodině, kteří měli pochopení pro hodiny strávené nad učivem a ve škole, místo abych trávil svůj čas s nimi.

Zároveň skládám poklonu všem kolegům, co se dálkově do studování pustili a školu úspěšně dokončili. Hledali každou volnou skulinku v přeplněném kalendáři, aby mohli studovat a splnit si tak svoje sny.

Nakonec řeknu, že jsem hrdý i sám na sebe za to, že jsem se ve svých 41 letech rozhoupal a rozhodl se školu dodělat, i když to nebylo vůbec lehké. Paměť mi už tolik neslouží a času je také daleko méně, než kolik ho bylo ve dvaceti.

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
Seznam zkratk	9
Úvod	10
Cíle práce	10
1 Koncept Průmyslu 4.0	11
1.1 Hlavní pilíře	11
1.2 Role XR v průmyslu 4.0	14
1.3 Umělá inteligence	18
2 Model Explorer 3D	22
2.1 Celkový koncept	22
2.2 Architektura systému a cloudová infrastruktura	22
2.3 Datový tok a komunikační rozhraní	27
2.4 Administrační rozhraní	27
2.5 AI kategorizace	32
2.6 Klientská VR aplikace	33
2.7 Hardwarové vybavení	41
2.8 Testování a výstupy	45
3 Analýza trhu a návrh obchodního modelu	46
3.1 Průzkum v oblasti výrobních podniků	46
3.2 Konkurence a existující řešení	48
3.3 Strategie uvedení produktu na trh	49
3.4 Cenová politika	51
3.5 Výsledný produkt	52
Závěr	54
Seznam použité literatury	55
Přílohy	57

Seznam obrázků

Obr. 1: Digital Twin	12
Obr. 2: RAMI 4.0	13
Obr. 3: Pokémon GO	15
Obr. 4: Brýle Ray-Ban Meta	15
Obr. 5: Headset HoloLens	16
Obr. 6: Celková architektura	24
Obr. 7: Administrační rozhraní dropletu DigitalOcean	27
Obr. 8: Administrační rozhraní Model Explorer 3D	28
Obr. 9: Portál Vuetify	30
Obr. 10: Visual Studio Code	31
Obr. 11: GitLab	32
Obr. 12: Kontextová nabídka VR aplikace Model Explorer 3D	34
Obr. 13: Výběr prostředí	35
Obr. 14: Passthrough vizualizace	35
Obr. 15: Výběr modelu	36
Obr. 16: Vizualizace modelu s animací	36
Obr. 17: Ovládání modelu	37
Obr. 18: Unity Editor	40
Obr. 19: Headset Meta Quest 3	42
Obr. 20: Výroba motorových vozidel na území ČR mezi roky 2004 a 2024	47
Obr. 21: Vývoj průmyslové produkce – bazický index (průměr roku 2021=100), stálé ceny	47

Seznam tabulek

Tab. 1: Srovnání konkurenčních řešení se systémem Model Explorer 3D

49

Seznam zkratek

AGI	Artificial General Intelligence
AI	Artificial Intelligence
ANI	Artificial Narrow Intelligence
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
CAD	Computer-Aided Design
DO	DigitalOcean
EGL	Embedded-System Graphics Library
HMI	Human-Machine Interface
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
MR	Mixed Reality
MVC	Model-View-Controller
MVP	Minimum Viable Product
OCR	Optical Character Recognition
OEE	Overall Equipment Effectiveness
RAMI	Reference Architectural Model Industrie
SaaS	Software as a Service
VR	Virtual Reality
XR	Extended Reality

Úvod

Téma *Vývoj VR aplikace pro prezentaci průmyslových 3D modelů* jsem si vybral, protože je mi velmi blízké a zároveň jde o téma aktuální, navazující na tento obor. Základem je virtuální realita, tedy technologie běžně využívaná v Průmyslu 4.0. A protože se VR věnuji již od roku 2021, kdy primárně vyvíjíme školící aplikace do výrobních podniků, rozhodl jsem nabytých zkušeností využít k vytvoření jednoduché VR aplikace, synchronizované s administračním rozhraním, kde si budou moci např. konstruktéři zobrazit 3D modely strojů a jejich součástí v životní velikosti, ještě před uvedením do produkce.

Cíle práce

1. Návrh funkčního prototypu systému pro vizualizaci průmyslových 3D modelů ve virtuální realitě
2. Vytvoření administračního cloudového rozhraní pro správu a ukládání modelů
3. Implementace umělé inteligence pro automatickou kategorizaci a popis modelů
4. Vývoj VR aplikace určené pro platformu Meta Quest 3, pro vizualizaci 3D modelů
5. Vytvoření obchodního modelu, strategie uvedení na trh, cenové politiky a výsledného produktu.

1 Koncept Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0, někdy označovaný jako čtvrtá průmyslová revoluce, je přístup, který kombinuje tradiční výrobní procesy s informačními a komunikačními technologiemi. Hlavním cílem je vytvořit inteligentní systémy, které budou plně čerpat z výhod těchto technologií napříč celým výrobním a zpracovatelským řetězcem a umožní tak držet krok s konkurencí. Zástupcem tohoto přístupu či řešení chcete-li, jsou například tzv. chytré továrny (Smart Factories). V těchto zařízeních spolu všechna oddělení i procesy komunikují v reálném čase, a to má za důsledek kvalitnější produkty, jednodušší správu a přehlednější toky napříč celým podnikem.

Pokud máme potřebná data a zároveň známe potřeby našich zákazníků, jsme schopni měřit, vyhodnocovat a vhodně optimalizovat firemní procesy.

Klíčové principy:

- **Individualizace výroby:** schopnost podniku vyrábět varianty produktů dle přání zákazníka, bez snížení efektivity výroby.
- **Dosažení vysoké flexibility:** schopnost přizpůsobit se a rychle reagovat na aktuální požadavky trhu.
- **Měřitelnost, vyhodnocování a optimalizace:** vytváření takových postupů a ekosystému, aby bylo možné procesy měřit, vyhodnocovat, optimalizovat.

Důsledky:

- zvýšení celkové i dílčí efektivity,
- zvýšení kvality vyráběných produktů,
- snížení nákladů,
- zvýšení konkurenceschopnosti,
- zkrácení dodacích lhůt.

1.1 Hlavní pilíře

Digitální dvojče (Digital Twin)

Pod tímto pojmem si můžeme představit digitální reprezentaci reálného předmětu, procesu nebo systému, včetně všech jeho parametrů a životního cyklu. Data jsou průběžně aktualizována, aby vždy odrážela aktuální stav reálného objektu. Díky tomuto přístupu je možné efektivně upravovat stávající předmět či proces bez výpadků ve výrobě či bez složité demontáže, měřit výstupy a výkon systému a provádět akce vedoucí ke zlepšení či optimalizaci. Z reálného zařízení sbíráme data a ty potom reflektujeme na digitální dvojče. Další nespornou výhodou je možnost si předmět zobrazit a dále s ním pracovat, modifikovat jej, či plánovat změny v uspořádání, například pomocí technologie virtuální reality.



Obr. 1: Digital Twin

Zdroj: IGNITIV, 2024

Internet věcí (IoT / IIoT)

Internet věcí a průmyslový internet věcí je nedílnou součástí průmyslu 4.0. Zahrnuje veškerá zařízení, která spolu komunikují prostřednictvím sítě a jsme schopni jim tak zadávat pokyny a získávat z nich data na oplátku. Příkladem takového zařízení pro domácnost je například chytrý vysavač či chytrý termostat, propojené Wi-Fi sítí a ovladatelné přes mobilní aplikaci. Příkladem v průmyslu jsou například senzory pro prediktivní údržbu, zařízení pro měření OEE. Vše je propojeno interní sítí a data je možné okamžitě vizualizovat jak v mobilní aplikaci, tak přímo na výrobní stanici. Na tomto příkladu je krásně vidět, jak moc je používání takových zařízení výhodné nejen v moderním průmyslu a jak moc je přístup odlišný od používání excelových tabulek, kdy bylo nejprve potřeba data vytěžit a následně zpracovat opožděně.

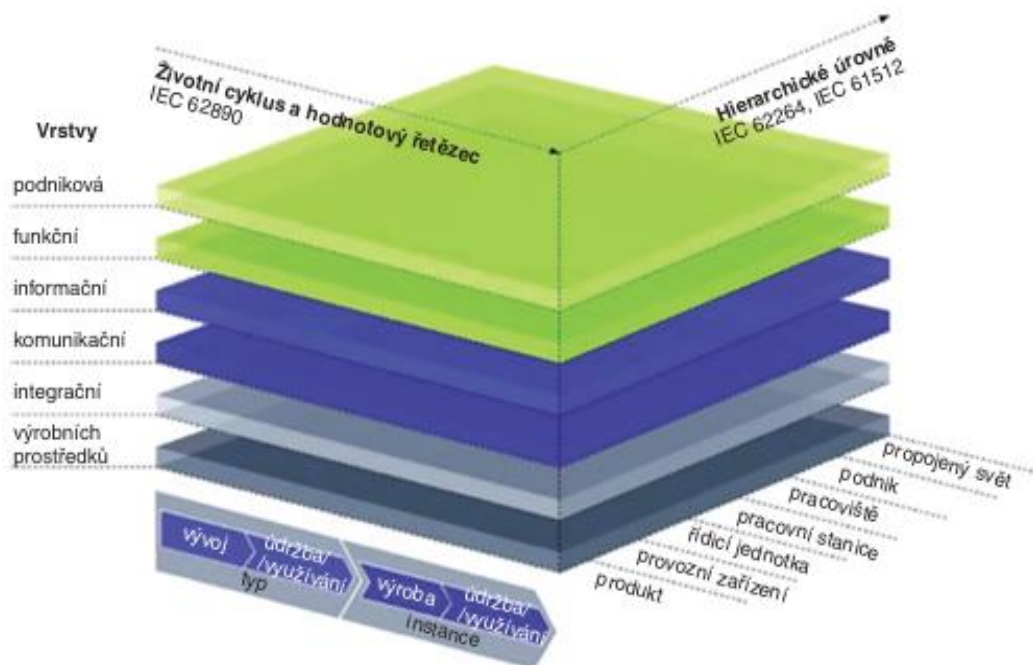
Správa a distribuce dat

V průmyslu 4.0 přecházíme od tradičního centrálního systému na daleko důmyslnější a pružnější systém distribuovaný. Veškerá komunikace je vedena po síti, data jsou ukládána v datových centrech či v cloudu a součásti systému tak spolu mohou v reálném čase komunikovat a předávat výsledky a výstupy, nad kterými je potom prováděna analýza a kontinuálně zlepšovat výkonnost systému, např. podle japonského principu Kaizen. Dokonce i samotný produkt je aktivní součástí této sítě. Strukturu pěkně popisuje model RAMI, kde jsou jednotlivé vrstvy odděleny a jako součást celku jsou využity i nástroje typu SaaS.

RAMI 4.0

Jedná se o standardizovaný referenční model vyvinutý německými oborovými organizacemi BITKOM, ZVEI a VDMA. Poskytuje hierarchickou a modulární strukturu pro návrh a integraci průmyslových procesů v průmyslu 4.0. Hlavním cílem je sjednotit komunikaci a organizaci dat, pro zajištění interoperability, flexibility a celkové efektivity systémů různých výrobců. Graf zahrnuje následující osy:

- **Vrstvy:** Tok informací mezi jednotlivými vrstvami podniku. Od fyzického vybavení až k podnikovému řízení.
- **Životní cyklus a hodnotový řetězec:** Vývoj produktu v čase, od vývoje po údržbu.
- **Hierarchické úrovně:** Napojení veškerého zařízení a vybavení do podnikové sítě.



Obr. 2: RAMI 4.0

Zdroj: SCHWEICHART, Karsten, 2016

Bezpečnost

V dnešní digitální době je třeba klást velký důraz na zabezpečení systémů před kybernetickými hrozbami. Je tedy nezbytné zavádět sofistikované, a především robustní bezpečnostní mechanismy, abychom nedošli k úhoně, ke ztrátě dat, či dokonce k poškození majetku. Hlavní opatření:

- správa uživatelských přístupů a politika hesel,
- více faktorová autentizace,
- šifrování dat,
- segmentace sítě a zabezpečený vzdálený přístup,
- firewall a skenovací stanice,
- zabezpečené komunikační protokoly,
- vhodná síťová architektura,
- ověřená a bezpečná zařízení IoT,
- školení zaměstnanců z hlediska bezpečnosti.

1.2 Role XR v průmyslu 4.0

Oblast XR, která zahrnuje rozšířenou, virtuální a smíšenou realitu, je logickým prvkem při vizualizaci získaných dat a interakci s virtuálními objekty. Zatímco v prvotních fázích digitalizace bylo možné tyto objekty zobrazovat pouze na klasických zařízeních HMI, jako jsou například běžné 2D obrazovky, tablety či mobilní zařízení, technologická inovace umožnila znovuoživit experimentální technologii z osmdesátých let minulého století, virtuální realitu. Ta se dalším vývojem rozrostla z prostého zobrazení modelů ve 3D na možnost interakce a přímé modifikace 3D objektu. Dostáváme do ruky interaktivní imerzivní prostředí, ve kterém se můžeme volně pohybovat a pracovat stejně, jako v reálném světě.

1.2.1 Princip fungování XR

VR – virtuální realita

Z technického hlediska je virtuální realita technologií, která uživatele plně izoluje od reálného světa a prezentuje mu předpřipravený 3D obsah, se kterým může uživatel provádět interakce a kde je zároveň možno aplikovat zákony fyziky. Zástupcem zařízení pro tuto technologii je například headset Meta Quest.

AR – rozšířená realita

Oproti VR je rozšířená realita (AR) technologií, kdy je do skutečného prostředí zasazen 3D obsah, jako vrstva nad reálným prostředím. Krásným příkladem je známá hra od společnosti Niantic, která vyšla v roce 2016, *Pokémon GO* (*Obrázek 3*). S využitím GPS a fotoaparátu mobilního telefonu může hráč lovit pokémony, kteří se mu v dané lokaci zobrazují v telefonu na reálném místě. Tato aplikace prolomila veškeré bariéry k této technologii a získala si po celém světě přes miliardu hráčů. Tím jasně ukázala, že dává perfektní smysl a bude jedním z pilířů budoucího fungování společnosti. Zástupcem zařízení pro tuto technologii jsou například brýle Ray-Ban Meta (*Obrázek 4*), nicméně lze ji používat i na běžně dostupných mobilních zařízeních.



Obr. 3: Pokémon GO

Zdroj: SENSOR TOWER, 2016



Obr. 4: Brýle Ray-Ban Meta

Zdroj: BLOOMBERG, 2024

MR – smíšená realita

Smíšená realita je kombinací virtuální a rozšířené reality. Virtuální předměty jsou pevně svázány s prostorem a reflektují fyzické překážky. Dochází tak k interakci mezi reálným a virtuálním světem. Zástupcem zařízení pro tuto technologii je například headset HoloLens (Obrázek 5).



Obr. 5: Headset HoloLens

Zdroj: THE VERGE, 2016

1.2.2 Výhody využití VR

Bezpečnost a odstranění rizik

Virtuální realita se velmi dobře uplatňuje například při školení zaměstnanců a dalšího personálu. Školící aplikace ve VR odstraní rizika, se kterými se setkáváme při standardních školeních, například ve výrobním procesu, a personál tak připraví na reálné situace a ovládání zařízení, a to bez poškození drahého vybavení, bez úrazu a bez snížení výrobní kapacity stroje.

Snížení nákladů na vývoj, zvýšení efektivity

Dalším velkým přínosem je možnost modelování a testování produktů, vybavení a zařízení bez fyzického zásahu či reverzního inženýrství. V CAD systémech je možné produkt navrhout a ve virtuální realitě jej otestovat či modifikovat až do požadovaného výsledku. A to vše ještě před samotným zahájením výroby. Tím je zjednodušeno i prototypování, které je efektivnější a méně nákladné než při konvenčním vývoji. Nicméně stále je potřeba zohlednit náklady na tvorbu 3D modelů. Vytvoření modelu zahrnuje geometrické modelování a následnou optimalizaci, kdy i méně detailní a nenáročný model vyžaduje jednotky až nižší desítky hodin práce. Z hlediska snížení nákladů a zvýšení efektivity při modelování, je třeba využívat moderní AI nástroje, jako například Meshy.ai, které jsou schopné vygenerovat několik variant požadovaného modelu v řádu minut a tím urychlit práci konstruktéra.

Snížení nákladů na distribuci

Představme si vzorovou situaci, kdy vyrábíme rozměrný stroj na štípání kamene na míru, pro zákazníka na druhé straně světa. Zákazník nám zadá prvotní požadavky, ale nemá zkušenosti s možným výsledným řešením. Konvenční postup nám říká, že je potřeba připravit beta verzi produktu, tu se zákazníkem testovat a ladit až k jeho plné spokojenosti. To obnáší nemalé náklady na dopravu. Pokud ale využijeme principu CAD to VR a testování iterací ve VR, zákazníkovi pošleme levný VR headset s možností Passthrough, zákazník si každou upravenou verzi prohlédne, vyzkouší pomocí animací, my tím získáme čas a uspoříme jak za dopravu, tak i za případné komplikace u vyrobeného stroje.

1.2.3 Hlavní oblasti využití

VR

- **Virtuální linka**

Testování a ladění linky ve virtuálním prostředí ještě před samotnou instalací.

- **Školení bezpečnosti BOZP**

Nácvik správného a bezpečného zacházení s vybavením a pracovištěm, nácvik reakce na krizové situace.

- **Školení výrobních operací a procesů**

Operátor a další personál si nacvičí provádění operací a procesů bez rizika poškození stroje, odstavení stroje či případných úrazů. Simulovat lze totiž úrazy i krizové situace, bezbolestně.

- **Design, prototypování, testování**

Designéři vytvoří model v systému CAD a ten si následně otestují ve VR, rychle a snadno.

- **Ergonomické studie**

Testování rozvržení pracoviště na zaměstnancích. Zaměstnanec si vyzkouší, zda jsou ovládací prvky v dosahu, zda je vybavení snadno ovladatelné a nejsou tam překážky.

AR

- **Logistika**

Skladník za pomoci AR brýlí vidí potřebné informace a navigaci, aniž by musel kontrolovat počítač, nebo jiné mobilní zařízení. Ovládání hlasem a gesty celý *use-case* ještě usnadňuje.

- **Kontrola kvality**

Hotový výrobek kvalitář porovná s modelem či výkresem v brýlích a zjistí tak nesrovnalosti či možné zmetky.

- **Monitoring v reálném čase**

Data z výroby jsou prezentována v reálném čase, kdekoliv se zodpovědná osoba pohybuje. Ta může ihned reagovat na vzniklou situaci, navrhnout řešení a zabránit tak prostojům a zmetkům. Jednoduchým gestem lze tyto informace vypnout.

- **Vzdálená podpora**

I méně kvalifikovaný pracovník může provádět opravy díky této technologii. V brýlích vidí seznam kroků s postupem, případně si může přehrát video či zvukový záznam, a navíc může komunikovat s oddělením podpory díky mikrofonu a reproduktoru, hned, na místě incidentu.

MR

- **Kolaborativní design**

Tým konstruktérů z různých částí světa se může podílet na vývoji produktu v reálném čase. Konstruktéři mohou s modelem přímo pracovat a upravovat jej.

- **Prediktivní údržba**

Díky datům ze senzorů víme, kterou součástku bude třeba brzy vyměnit. S využitím brýlí a digitálního dvojčete stroje, si může servisní technik stroj rozložit na díly a vyhledat poškozenou součástku včetně informací vedoucích k demontáži a montáži.

1.2.4 Budoucí vývoj

Vývoj technologií rodiny XR je velmi progresivní, a to nejen díky průmyslu 4.0, ale i široké veřejnosti, která se učí tyto technologie používat stále častěji. V kombinaci s umělou inteligencí a cloudovými systémy se dostáváme k řešení, které jednou pro vždy změní fungování celých odvětví.

1.3 Umělá inteligence

Umělá inteligence je definována jako schopnost strojů a systémů napodobovat inteligentní lidské chování. Učí se na základě obrovského množství historických dat a pracuje v rámci rozhodovacích vah, kdy aplikuje nejpravděpodobnější odpověď v závislosti na její váze. Rozlišujeme mezi ANI (Artificial Narrow Intelligence) a AGI (Artificial General Intelligence). Zatímco ANI používáme prakticky každý den a je zastoupena řadou pokročilých nástrojů typu ChatGPT, Gemini, Claude či Grok, na AGI stále čekáme.

1.3.1 Rozdíly mezi ANI a AGI

ANI

- úzce zaměřená na jednu činnost, například generování textu,
- je třeba trénink na specifických datech, potřebných ke splnění požadovaného úkolu,
- pokud se dostane mimo oblast znalostí, selže nebo halucinuje,
- je dostupná dnes už prakticky všude, stačí mobil a internet a zodpoví vám většinu dotazů,

- halucinuje, tedy občas vrací nejednoznačné a nesmyslné výsledky,
- nedokáže pochopit celkový koncept složitějšího problému, např. webové aplikace.

AGI

- expert v jakékoliv lidské činnosti,
- neučí se pouze na datech, ale zároveň z vlastní zkušenosti a nabytých znalostí jako člověk,
- dokáže se přizpůsobit a reagovat na změnu situace jako člověk,
- zatím je předmětem výzkumu, ale je optimisticky odhadováno, že první verze by mohla být k dispozici již do roku 2030.

1.3.2 Současné AI nástroje

Na trhu nalezneme širokou škálu AI nástrojů, které lze rozdělit podle jejich zaměření:

Velké jazykové modely (LLM)

Nástroje jako ChatGPT, Claude či Gemini vynikají v porozumění přirozenému jazyku a generování kódu. V kontextu vývoje dokážou analyzovat zdrojový kód, navrhovat strukturu databáze, vytvářet kód, nebo generovat různorodé formáty (např. JSON). V kontextu textového zpracování generovat pokročilé texty, validovat a ověřovat texty a zdroje, navrhovat jejich strukturu.

Generativní AI pro 3D grafiku

Nástroje typu Meshy.ai se zaměřují na převedení tzv. promptu (textového zadání) do 2D obrázků, videí a 3D modelů v rámci minut.

Specializované modely pro počítačové vidění

Tyto systémy se učí na velkém množství dat rozpoznávat defekty a využívají se například v průmyslu při prediktivní údržbě, nebo ve zdravotnictví při detekci chorob a poškození organismu.

1.3.3 Nedostatky a rizika

Halucinace

LLM modely pracují s pravděpodobnostmi a vahami, podle kterých určují nejpravděpodobnější výstup. V závislosti na datech a kontextu tedy mohou generovat nepravdivé výstupy či nelogická řešení.

Veřejně dostupná data a bezpečnost

Modely se učí na enormním množství zdrojových dat. Data jsou ukládána na serverech poskytovatele a jsou tak náchylná ke kybernetickým útokům a jejich zneužití. Je tedy potřeba data zabezpečit a služby, pokud možno, nepoužívat na bazálních datech společnosti. Při

komerčním nasazení je vhodné využívat tzv. Enterprise cloudová řešení (např. v rámci Google Cloud Platform), kde je smluvně garantováno, že odeslaná data (např. rendery CAD modelů) nebudou využita k trénování veřejných AI modelů.

1.3.4 Příklady využití umělé inteligence

Korekce a revize textu

Jazykové modely nalézají efektivní uplatnění nejen při generování textu, ale i při jeho revizi, hledání duplikátů či korekci chyb. V této diplomové práci byly využity nástroje Gemini Pro a NotebookLM k finální jazykové korektuře, stylistické optimalizaci autorského textu a k efektivní detekci a odstranění duplicitních částí.

Asistované programování

Vývoj s pomocí umělé inteligence je efektivní, eliminuje zdlouhavé psaní kódu ručně a detekuje případné chyby. Na tomto projektu byl tento přístup využit například při generování SQL databázových dotazů, revizi kódu, kontrole zabezpečení, k vytvoření migračních skriptů, jednodušších funkcí a k eliminaci nepotřebného zdrojového kódu.

Prediktivní údržba

AI modely analyzují data z vibrací, teploty a dalších parametrů a následně detekují anomálie, které není člověk schopen zaznamenat. Zároveň jsou bez zásahu člověka schopné zpracovat velké množství dat.

Kontrola kvality

Probíhá pomocí tzv. Computer Vision. Kamery s vysokým rozlišením snímají výrobky. AI model, vytrénovaný na velkém množství obrázků vyrobených kusů, ať už dobrých nebo zmetků, je následně schopen rozpoznat možné defekty.

Adaptivní plánování

Data z výroby, objednávek, skladových zásob a podobně, jsou k dispozici pokročilým AI modelům, které jsou schopné data analyzovat a optimalizovat výrobní plán.

Design a optimalizace modelů

Konstruktor zadá parametry do nástroje využívajícího umělou inteligenci a ta vygeneruje model podle tohoto zadání. Výhodou je velké množství rychle vygenerovaného obsahu. Kromě toho dokáže tento nástroj pomoci s úpravami, které by zabraly více času, nebo s optimalizací modelů. Toho se využívá například při odlehčování dílů v letectví.

Kategorizace dat

AI model projde databázi všech výrobků a jejich parametrů a ty následně zaškatulkuje do požadovaných kategorií. Tím usnadní vyhledávání a zároveň doplní údaje, které by jinak bylo třeba zadávat ručně.

2 Model Explorer 3D

Jádrem praktické části diplomové práce je návrh, implementace a integrace systému pro vizualizaci 3D modelů, zahrnující AI kategorizaci. Cílem bylo navrhnout vhodnou architekturu a infrastrukturu zahrnující jednotlivé kontejnery, datové toky a formát komunikace, zabezpečení a dostupnost systému koncovému uživateli.

2.1 Celkový koncept

Celý ekosystém Model Explorer 3D se skládá ze tří hlavních pilířů, které mezi sebou navzájem komunikují:

Administrace

Webová aplikace postavena na frameworku Laravel a Vue.js, sloužící pro správu uživatelů a modelů.

AI kategorizace

Služba postavena na jazyce Python, zajišťující kategorizaci modelů pomocí LLM Google Gemini API.

Klientská VR aplikace

Postavena na Unity engine, sloužící k vizualizaci 3D modelů koncovým uživatelům.

Hlavním vstupním bodem do systému je administrace, která běží na cloudovém serveru a řídí veškerou logiku a správu dat. Uživatel (např. konstruktér) se přihlásí do webového rozhraní a nahraje 3D model ve formátu .zip obsahující model ve formátu .gltf a složku s texturami, nebo přímo model ve formátu .gltf zahrnující textury.

V druhém kroku dochází k asynchronnímu zpracování dat pomocí služby Query worker, která zavolá službu AI kategorizace. Ta model extrahuje, analyzuje jeho geometrii a pomocí jazykového modelu LLM určí, o jakou průmyslovou součástku nebo objekt se jedná. Výsledek vrátí administračnímu rozhraní, které informace uloží do databáze.

Třetím krokem je načtení dostupných modelů v klientské VR aplikaci a vizualizace vybraného 3D modelu uživatelem v headsetu Meta Quest 3. VR aplikace se pomocí REST API připojí k end pointu administračního rozhraní, dostane odpověď se seznamem dostupných modelů ve formátu JSON, stáhne si vybraný 3D model do interního úložiště headsetu a ten následně vizualizuje uživateli přímo v headsetu.

2.2 Architektura systému a cloudová infrastruktura

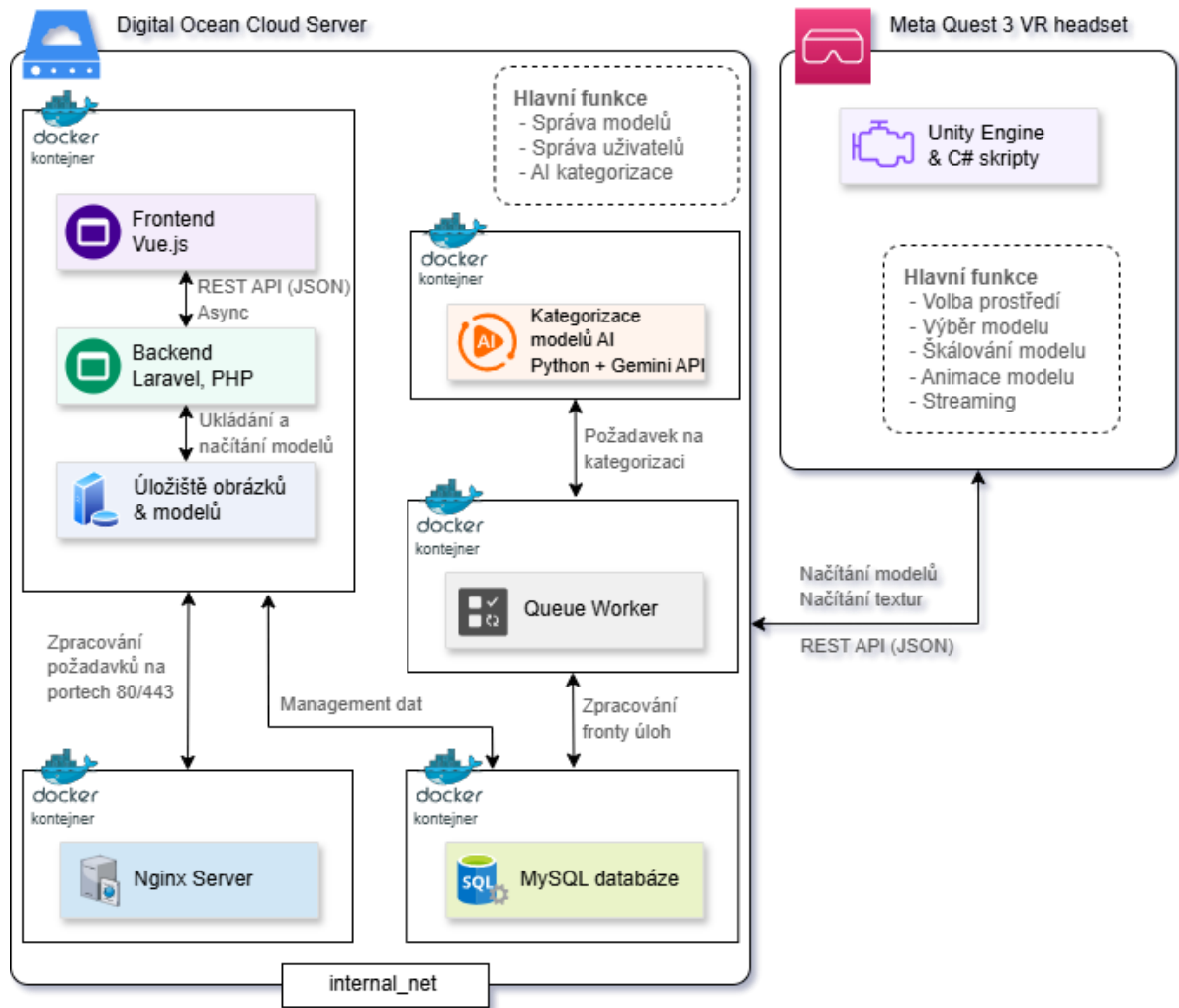
Architektura (Obrázek 6) je navržena tak, aby byla především dostatečně robustní a systém zároveň vysoce stabilní a snadno škálovatelný při narůstajícím počtu uživatelů. Z toho důvodu bylo vybráno cloudové řešení od zaběhnutého poskytovatele DigitalOcean. Ten je v porovnání s velkými hráči typu Amazon Web Services či Microsoft Azure poskytovatel, který

zajišťuje potřebnou konektivitu se zachováním dostupné ceny, v kombinaci s poměrně intuitivním nastavením a prvním spuštěním do provozu, perfektním řešením pro právě začínající startupy.

System je stavěný na nejmodernějších technologiích a platformách, využívajíc agilních metodik nejen v rámci vývoje a testování, ale prakticky v celém životním cyklu aplikace. Základem systému je cloud server od společnosti DigitalOcean. Hlavní částí serveru je tzv. droplet, na kterém je nainstalována distribuce Linux Ubuntu. Celý ekosystém uvnitř je řešen pomocí mikro servisní kontejnerové architektury, spravované nástrojem Docker Compose. Docker kontejnery¹ jsou spolu propojeny pomocí virtuální sítě *internal_net*, využívajíc principu Zero-Trust na síťové vrstvě. Aplikační kontejnery nemají namapované žádné porty do veřejné sítě (internet) a komunikují tak mezi sebou bezpečně. To eliminuje riziko přímého napadení či nežádoucího zásahu vně sítě.

Vstupním bodem z vnější sítě je reverzní proxy server Nginx, s otevřenými porty 80 (HTTP) a 443 (HTTPS). Server následně komunikuje interně s jednotlivými kontejnery. Tím je ochráněna databáze před přímými útoky zvenčí. Pro správu databáze je využit administrační nástroj phpMyAdmin, který je striktně vázán na localhost a je přístupný pouze přes zabezpečený SSH tunel.

¹ Docker kontejner je uzavřený celek, který obsahuje veškeré nastavení, vlastní PHP, vlastní aplikační server (Nginx, případně Apache), může obsahovat vlastní databázi, a prakticky jakékoliv potřebné nástroje. Velkým problémem často bývá rozdílné prostředí pro vývoj a pro produkci, kdy aplikace sice funguje bez problémů na vlastním počítači (tzv. localhost), ale po nasazení na produkci náhle fungovat přestává. Protože je ale Docker kontejner zapouzdřený systém, je možné jej s přesnou konfigurací zprovoznit jak na vývojovém, tak produkčním prostředí, čímž tento problém odpadá.



Obr. 6: Celková architektura

Zdroj: Vlastní zdroj

2.2.1 Specifikace kontejnerů

Na serveru se setkáme s pěti hlavními docker kontejnery: Nginx, MySQL, Administrace, Query worker a AI kategorizace.

Nginx

Alternativa ke známějšímu Apache HTTP Server. Kontejner, reverzní proxy, přijímá požadavky z internetu a ty předává na další docker kontejnery pomocí protokolu HTTP, v některých případech i FastCGI. V našem případě komunikuje s kontejnerem administrace, který mu zpátky vrací zpracované výsledky ve formě HTML kódu. Webová stránka je potom vrácena (prezentována) uživateli.

MySQL

Tento kontejner využívá MariaDB engine, tedy standardní a hojně rozšířený databázový framework na bázi relační databáze, oblíbený pro svoji variabilitu, jednoduchost ovládání,

dostupnost nástrojů pro práci s databází a licenci pro volné používání. Kontejner obsahuje databázi pro docker kontejner s administrací.

Administrace

Obsahuje framework Laravel pro zpracování backendu, stavěný na systému Symfony a běžící na PHP. Backend se stará o komunikaci s databází, tedy MySQL kontejnerem a ukládá a nahrává data. Data následně zpracuje a ve formátu JSON předá na frontend, který je stavěn na reaktivním javascriptovém frameworku Vue.js. Frontend se stará o vykreslení dat a volání backendu ohledně svých požadavků. Další částí kontejneru je úložiště, kde jsou skladovány soubory s modely a texturami. S tím komunikuje opět backend. Primárně jde však pouze o nahrávání souborů, editaci, mazání a aktualizaci dat v DB.

Query worker

Služba na pozadí, která asynchronně zpracovává požadavky uložené v databázi, v tabulce *jobs*. Nejprve načte data z databáze, ověří, zda je ve frontě další úkol, pokud ano pustí se do zpracování a z tabulky požadavek odstraní. Pokud dojde k chybě zpracování, výsledek uloží do tabulky *failed_jobs*.

AI kategorizace

Posledním kontejnerem je AI služba pro kategorizaci modelů. Komunikuje s administračním kontejnerem, kdy po uložení modelu dojde k iniciaci Query workeru, který si vyžádá kategorizaci a vytvoření popisku modelu od kontejneru AI kategorizace a výsledek vrátí na backend. Backend data uloží do databáze MySQL.

2.2.2 Cloud server

Nejprve se pojďme podívat na cloudové řešení v kontextu průmyslu 4.0. Je totiž nutno zmínit, že využití takového řešení je nejen moderním, žádaným a podporovaným přístupem, ale především konkurenční výhodou, jejíž hlavními výhodami je vysoká konektivita a datová integrace, kdy je možné v reálném čase propojit rozličná IoT zařízení, CRM a ERP systémy inteligentní továrny. Dostáváme do rukou server, který je možné poměrně snadno škálovat, tedy přizpůsobovat jeho výpočetní výkon a konektivitu a to pružně, rychle a bezpečně, přesně podle principů moderního průmyslu.

Použitá varianta na tomto projektu

Naše varianta, za 48 USD měsíčně ve střední konfiguraci popsané níže, je solidním základem pro MVP verzi produktu a zvládne odbavit nižší desítky zákazníků. Platíte za tzv. droplet, na kterém je nainstalována poslední stabilní verze distribuce Linux Ubuntu. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost instalace veškerých nástrojů, nutnost vlastního zabezpečení a potřeba správce, který bude dostupný a v požadované reakční době odbaví vzniklé nedostatky. Mezi ty lze bezesporu počítat vyčerpání zdrojů dedikovaného serveru v důsledky vysokého počtu přístupů či zpracování velkého množství dat, případně napadení serveru útokem zvenčí.

Konfigurace serveru

- **Operační paměť:** 8 GB RAM
- **Procesory:** 2 Intel CPUs
- **Pevný disk:** 160 GB NVMe SSD
- **Přenos dat:** 5 TB

Administrační rozhraní DigitalOcean

System rozhraní DigitalOcean (*Obrázek 7*) je přehledný a intuitivní, vhodný tak i pro menší aplikace, webové stránky či začínající Startupy. V administraci je možné například:

- **Sledovat grafy prostředků**

Například aktuální vytížení paměti RAM, procesoru, disku, sítě

- **Vytvářet zálohy (snapshot) aktuálního stavu serveru**

Ve chvíli, kdy nastane komplikace, například při instalaci komponent do Linuxu, je možné se vrátit ke kompletně funkční předchozí konfiguraci nahráním snapshotu. Vytvoření snapshotu je zpoplatněno, dle množství zabírajícího místa na disku.

- **Škálovat droplet**

Jednoduše, během několika minut. Vyberete si požadovanou konfiguraci, například dvojnásobnou velikost paměti RAM, zvolíte region, kde se bude váš droplet nacházet². Zadáte název a droplet je během několika minut naškálován (navýšen) se zachováním systému, který na něm máte zprovozněn.

- **Nastavovat DNS záznamy**

Jednoduše si nastavíte DNS záznamy, IP adresy a domény směřující na váš droplet.

²Pokud pracujete s mezinárodním systémem/aplikací, je vhodné uživatele z jednotlivých částí světa umístit na vlastní servery. Krásně nám situaci objasnil Mgr. Antonín Příbyl v předmětu Počítačové sítě, kde jsme se se dozvěděli o rychlosti a způsobu přenosu dat pomocí optických vláken a narazili na limity v rychlosti přenosu mezi kontinenty.

Graphs

Access

Power

Volumes

Resize

Networking

Backups

Snapshots

Kernel

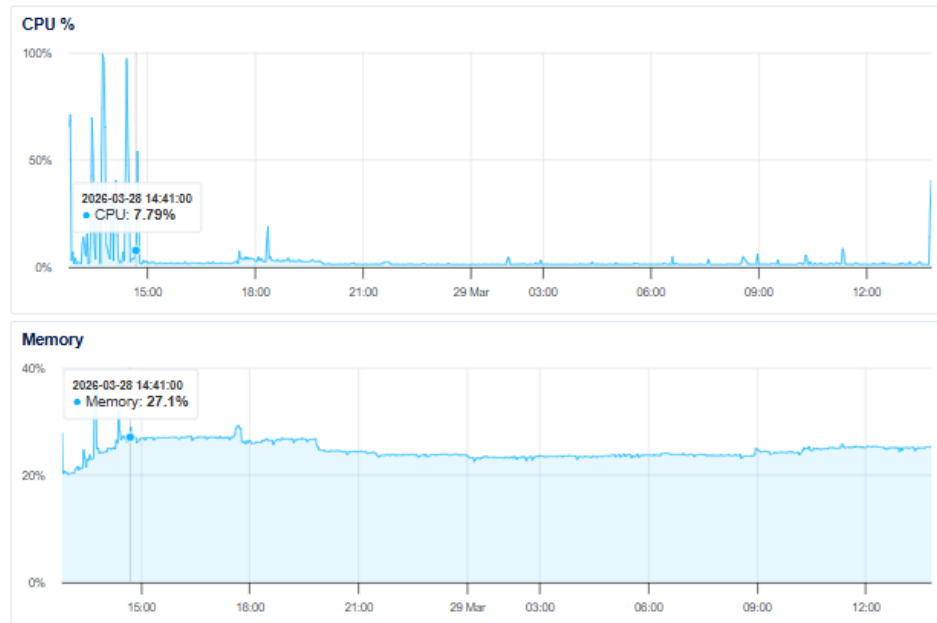
History

Destroy

Tags

Recovery

 Select period
 24 hours

 Learn 


Obr. 7: Administrační rozhraní dropletu DigitalOcean

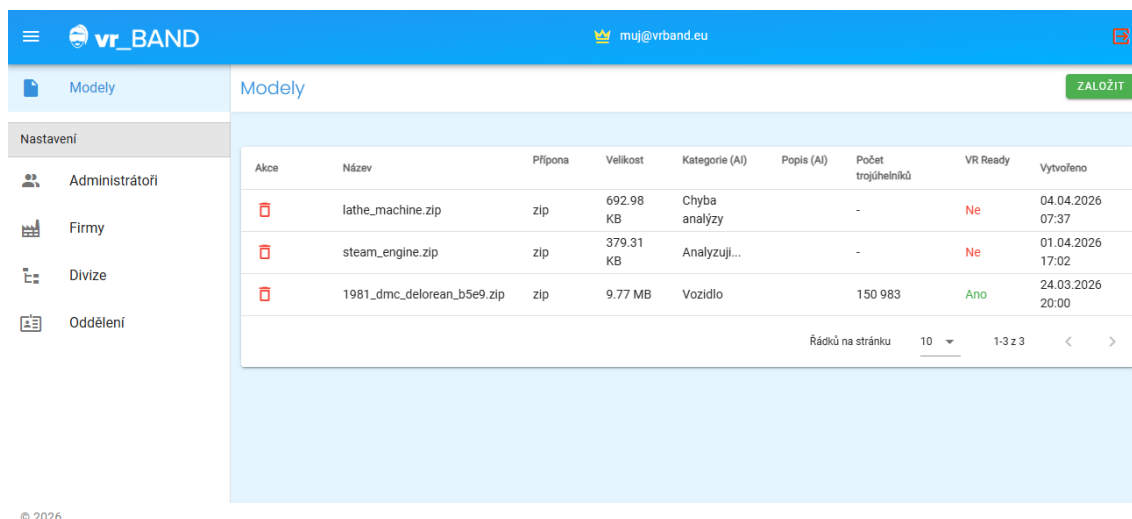
Zdroj: Vlastní zdroj

2.3 Datový tok a komunikační rozhraní

Datový model byl navržen s důrazem na minimální zátěž pro koncové zařízení, headset Meta Quest 3. Informace jsou uloženy v databázi a headset si stahuje jednotlivé modely až při jejich vizualizaci. Každý model je reprezentován hodnotami název, cesta k souboru, typ souboru, velikost souboru, kategorie, popis, počet trojúhelníků a vhodnost pro zobrazení ve VR (sloupeček VR ready). Komunikace mezi VR aplikací a Cloud serverem probíhá pomocí REST API v datovém formátu JSON. Klientská VR aplikace odešle POST požadavek na end point <https://modeexplorer.vrband.eu/api/getModels>, který vrátí seznam modelů a jejich URL adres. Po výběru modelu v brýlích, dochází ke stažení daného modelu do interního úložiště headsetu. Následně je možné s modelem pracovat. Díky tomuto přístupu není třeba instalovat novou verzi VR aplikace vždy, když je potřeba vizualizovat nový či upravený model.

2.4 Administrační rozhraní

Administrace (Obrázek 8) jako taková plní především funkci správy modelů, uživatelů a doplňujících informací. Pro každého uživatele tohoto řešení, bude vytvořena nezávislá instance s vlastní databází a vlastním prostorem na disku pro správu modelů a textur. Zdrojový kód naleznete v Příloha A1.



Obr. 8: Administrační rozhraní Model Explorer 3D
Zdroj: Vlastní zdroj

2.4.1 Sekce administrace

- **Modely:** slouží ke správě modelů. Modely lze zakládat a mazat.
- **Administrátoři:** správa uživatelů, kteří mají přístup do administrace
- **Firmy:** slouží pro založení společnosti uživatele
- **Divize:** slouží pro založení divize pro firmu
- **Oddělení:** slouží pro založení oddělení pro divizi

2.4.2 Technický popis

Administrace využívá architekturu SPA (Single Page Application), kdy je uživatelské rozhraní (frontend) plně odděleno od serverové logiky (backend). Obě části spolu potom komunikují přes Rest API, s využitím dat ve formátu JSON (tedy strukturovaný "textový" soubor). Aplikace je vyvíjena s důrazem na multijazyčnost, tedy namísto statického textu přímo v kódu, využíváme systému klíčů a hodnot, které čerpají z vybraného jazyka. Při případné změně jazyka, díky reaktivnímu chování frontendu, dojde i k přeložení stránek bez přenačtení.

Hlavním cílem bylo vytvořit administraci intuitivní, rychlou s co možná nejmenším množstvím zpracovávaných a přenášených dat.

2.4.3 Hlavní komponenty

Laravel Framework

Laravel je v současnosti jedním z nejpopulárnějších open-source frameworků jazyka PHP. Vychází ze Symfony a implementuje řadu moderních přístupů v programování. V našem případě byl použit jako backend administrace. Backend generuje HTML, kterým je následně manipulováno za pomoci Vue.js na frontendu, přistupuje k databázi, komunikuje s komponentou AI pro kategorizaci modelů a pracuje s úložištěm modelů a textur. Také se stará o bezpečnost celého systému. Systém pracuje na bázi MVC (Model-View-Controller), tedy

striktního oddělení dat, funkční logiky a výsledného zobrazení. Využívá Blade šablon, které plní pomocí PHP skriptů.

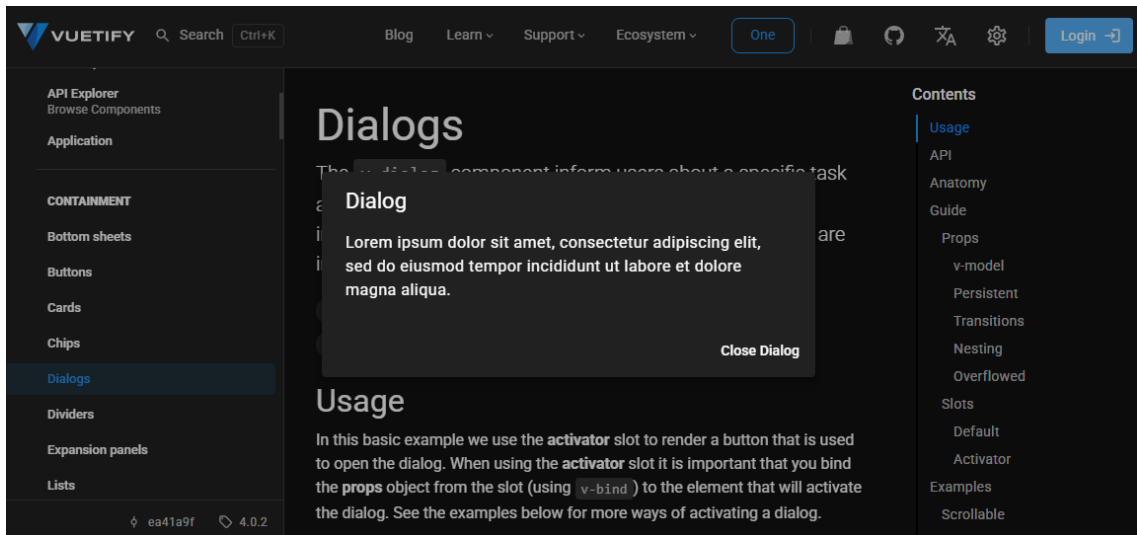
Vue.js

Framework na bázi Javascriptu, který se využívá pro práci s frontendem. Jde o přímou konkurenci rozšířenějších frameworků typu Angular či React. Oproti těmto komplexním řešením má ale Vue.js nespornou výhodu při vývoji. Díky snadno pochopitelné, intuitivní struktuře, kvalitní dokumentaci a progresivnímu způsobu vývoje je snadné zprovoznit první projekt v rekordně nízkém čase. Tím, že se jedná o knihovny Javascriptu, jde o takzvanou client-side architekturu. To v praxi znamená, že kód je zkompilován na serveru do minifikovaných souborů, které jsou následně zpracovány v prohlížeči uživatele. Výhodou této knihovny je i nativní podpora frameworku Laravel. Oproti klasickému řešení kombinace HTML a PHP má systém řadu výhod:

- není třeba opětovně načítat celý DOM (stránku) při přechodu na jinou,
- při změně na stránce Javascript provede volání na API serveru, dostane zpět data ve formátu JSON a ty přímo vykreslí v prohlížeči,
- volání jsou asynchronní, není třeba čekat na dokončení náročnějších operací, zpracování běží na pozadí, zatímco uživatel může se systémem dále pracovat,
- výpočetní výkon serveru není tolik zaneprázdněn zpracováním kódu celých stránek, stránky jsou připraveny jednou a o veškerou obsluhu se následně stará právě Javascript,
- menší množství dat přenesených po síti. Nejprve je přenesena celá stránka a následně už jenom potřebná data, například do tabulek.

Vuetify

Grafická nadstavba Vue.js. Jde o samostatný nástroj, nadstavbu, kterou je možné použít pro uživatelsky přívětivou vizualizaci frontendu. Pokud bychom nepoužili hotovou komponentu, je třeba využít vlastního stylování v kombinaci s nástroji typu Bootstrap či Tailwind, které zahrnují stylování běžně používaných komponent, ale nejsou napojeny na Vue.js. Vuetify (*Obrázek 9*) zahrnuje řadu grafických komponent a funkcí jako například animace, tabulky, formulářové prvky, záložky, ikonky, barvy, menu, a mnoho dalšího, včetně CSS stylů. Výhodou je snadné použití, přehledný manuál na stránkách vývojáře a kompatibilita s reaktivním frameworkem Vue.js.



Obr. 9: Portál Vuetify

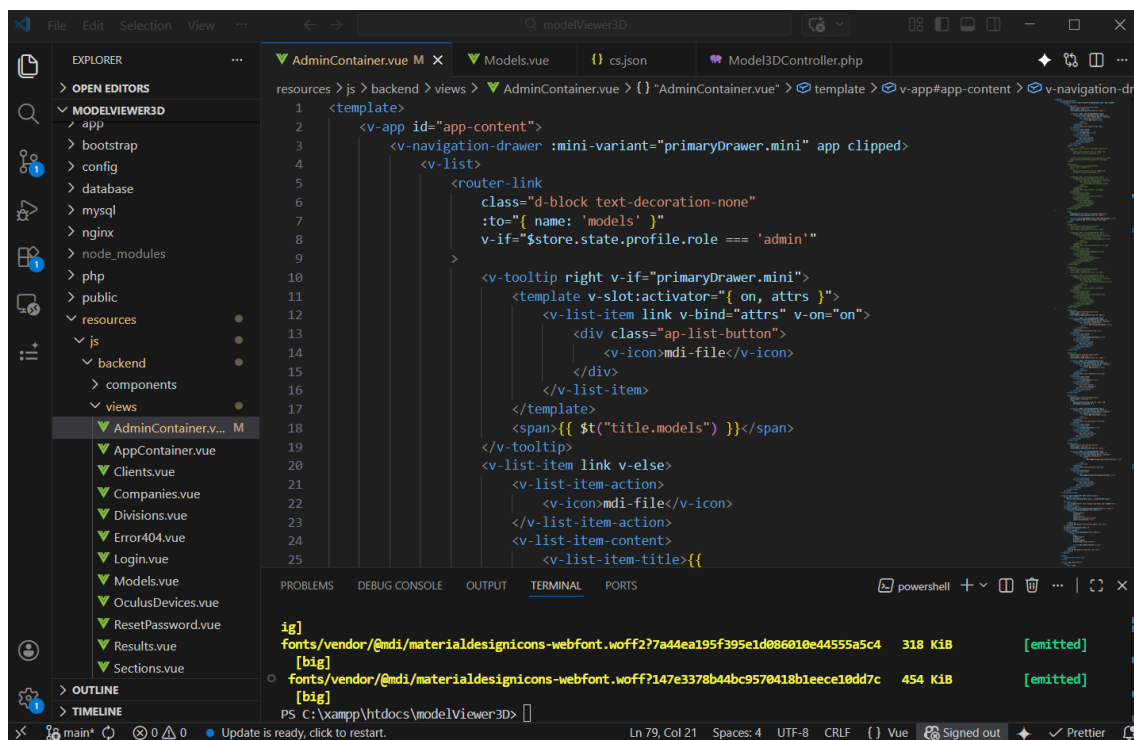
Zdroj: VUETIFY TEAM, 2026

2.4.4 Použité nástroje

- Laravel Framework - verze 7.30.7,
- PHP - verze 7.4.29,
- Vue.js - verze 2.7.16,
- Vuetify - verze 2.7.2.

2.4.5 Vývojové prostředí

Aplikace je vyvíjena za pomoci nástroje Visual Studio Code (*Obrázek 10*). Po instalaci několika pluginů pro formátování textu je to mocný nástroj, díky kterému je vývoj daleko snazší než při použití, byť sofistikovaného textového editoru. VS Code také obsahuje konzoli, díky které můžeme volat příkazy, například pro instalaci nástrojů, či kompilování souborů.

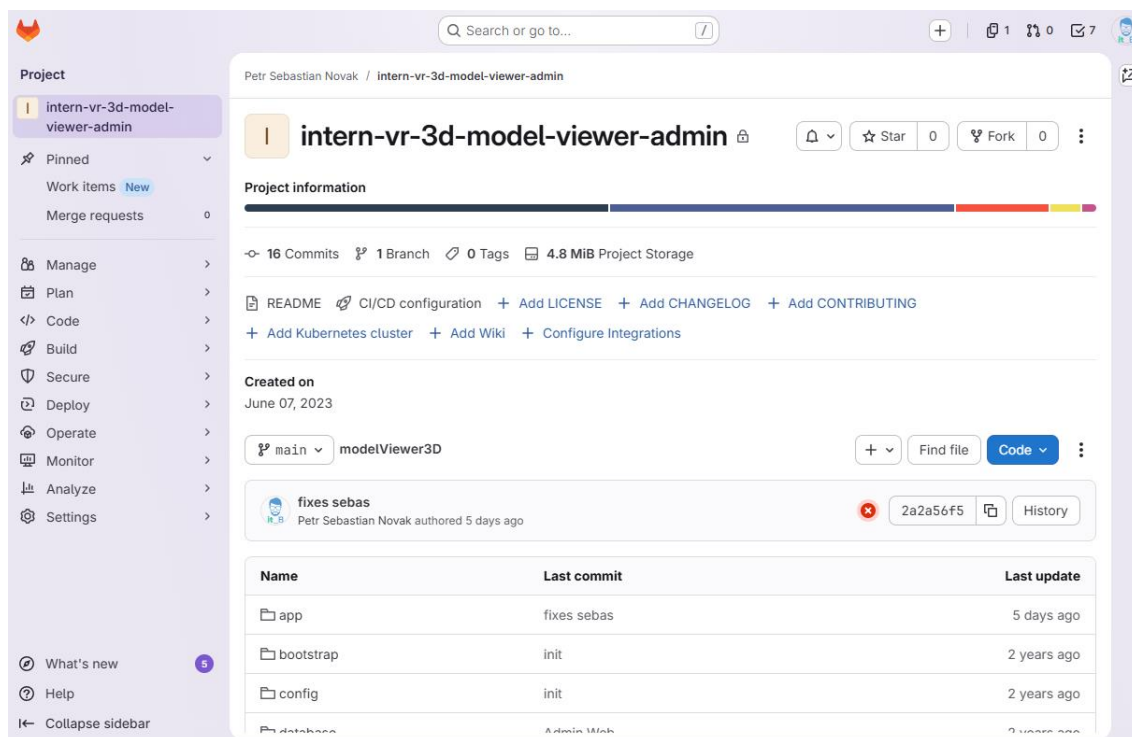


Obr. 10: Visual Studio Code

Zdroj: Vlastní zdroj

2.4.6 Verzování kódu

Pro verzování projektu je využito cloudové platformy GitLab (Obrázek 11). Verzování slouží k práci ve více programátorech na jednom projektu a k zálohování všech souborů dané verze. Programátor před začátkem práce stáhne z Gitlabu poslední verzi příkazem v konzoli, následně vyvíjí dle potřeby, a nakonec opět nahrává na verzovací systém, kde si novou verzi může stáhnout další programátor. Nahrávání souborů na produkční/testovací server je řešeno dvěma způsoby: nakopírováním změněných souborů přes SFTP klienta typu WinSCP či FileZilla, nebo přímo přes Gitlab pomocí tzv. pipeline a CI/CD continuous delivery. Druhý přístup je sofistikovanější, eliminuje možné chyby při nahrávání, ale je třeba nastavit skripty přímo na Gitlabu a na serveru. Nahrávání tímto způsobem také trvá déle (podle rozsahu projektu a velikosti nahrávaných dat), ale je plně automatické.



Obr. 11: GitLab

Zdroj: Vlastní zdroj

2.4.7 Postup vývoje

- instalace frameworku Laravel pomocí konzole ve Visual Studio Code,
- instalace PHP komponent pro Laravel,
- instalace Node.js komponent pro Vue.js,
- samotný vývoj,
- kompilace zdrojových kódů do minifikovaných CSS a JS skriptů, se kterými následně pracuje prohlížeč,
- nasazení PHP skriptů a zkompilovaných souborů na server,
- nasazení kódu na Gitlab přes konzoli.

2.5 AI kategorizace

Služba pro kategorizaci asynchronně zpracovává uživatelem nahrané modely přes administrační rozhraní. Zdrojový kód naleznete v Příloha A2.

2.5.1 Postup

Uložení a validace modelu (Laravel)

Uživatel, přes administrační rozhraní, nahraje 3D model do datového úložiště serveru. Backend soubor přijme, přizpůsobí název tak, aby bylo možné nahrávat více modelů se shodným názvem souboru (doplněním názvu o 4místný náhodný řetězec), uloží jej do složky a data zanesou do databáze.

Extrakce modelu (Query worker)

Informace o nově přidaném modelu je uložena do databáze a je volána asynchronní služba Query worker. Služba iniciuje extrakci modelu a další zpracování službou AI kategorizace. Jsou zde implementovány bezpečnostní algoritmy, které kontrolují dekompresní poměr a tím zajišťují ochranu před tzv. Zip Bomb útokem a validují cesty souborů pro zamezení tzv. Zip Slip útoku. Limit dekomprimovaných dat je aktuálně nastaven na 500 MB na model.

Analýza metadat (Python microservice)

Informace o rozbaleném modelu, jeho texturách, názvu a metadatech obdrží služba AI kategorizace. Python skript načte geometrické síť pomocí Python knihoven a spočítá množství trojúhelníků³ modelu a okraje bounding box⁴. Následně vyhodnotí, zda model splňuje limity pro plynulý běh ve standalone VR headsetu (s využitím výpočetního výkonu headsetu), tedy ideálně počet trojúhelníků nepřesahuje hodnotu 600 000 a nastaví příznak VR ready. Data jsou uložena do databáze a jsou k dispozici v administračním rozhraní ve správě modelů.

AI zpracování (Python microservice)

V tomto kroku je model předpřipraven (vycentrován, naškálován a nasvícen) a společně s názvem předán službě Google Gemini API, služba data vyhodnotí a vybere si jednu z předpřipravených průmyslových kategorií (např. elektromotor či CNC stroj). Předpřipravené kategorie slouží k tomu, aby nedocházelo k svévolnému pojmenovávání kategorie modelu a tím nevznikalo jejich velké množství.

2.6 Klientská VR aplikace

Klientská VR aplikace slouží k prohlížení a interakci s 3D modely ve virtuálním prostředí a Passthrough variantě (více informací naleznete v kapitole [Zásadní funkce VR](#)). Byla vyvinuta primárně pro headset Meta Quest 3. VR Aplikace komunikuje s administračním rozhraním umístěným na cloud serveru DigitalOcean, přes které jsou nahrávány 3D modely. Po spuštění aplikace se dostáváme do hlavní nabídky, ve které jsou vylistovány dostupné 3D modely. Výhodou tohoto řešení je, že není třeba rekompilovat a aktualizovat VR aplikaci při nahrání nového či smazání stávajícího 3D modelu. Zdrojový kód naleznete v *Příloha A3*.

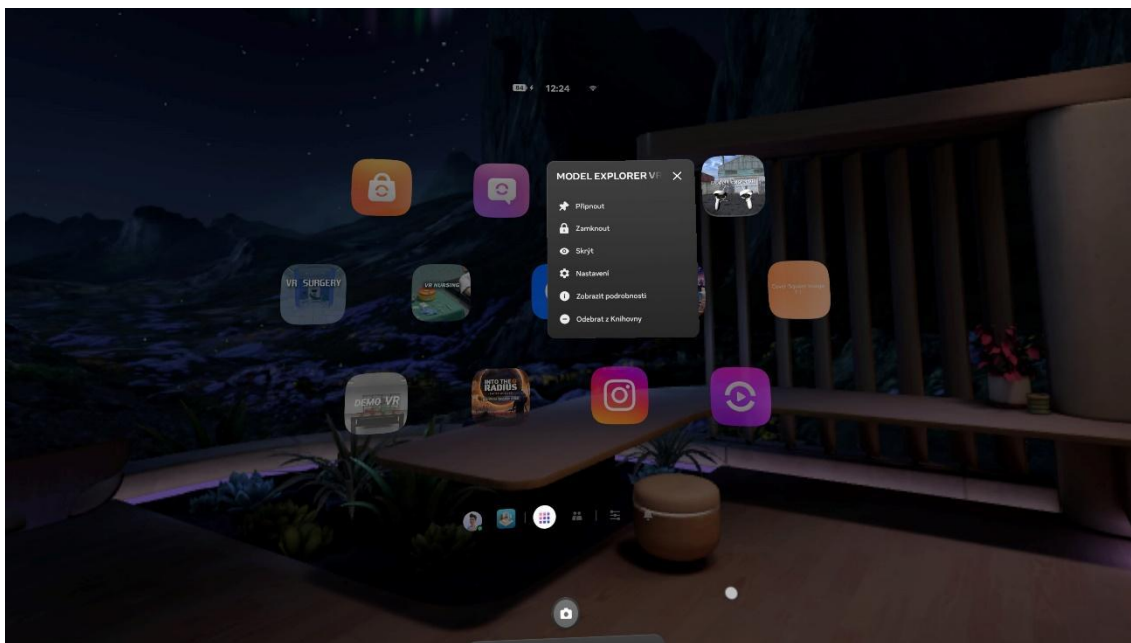
Hlavním cílem aplikace bylo poskytnout interaktivní zážitek při prohlížení 3D obsahu ve VR prostředí.

³ V kontextu 3D modelování konstruktéři nejčastěji pracují s tzv. polygony. Ty jsou hlavní stavební jednotkou při modelování ve 3D programech a určují složitost modelu a náročnost na vykreslení. Grafické karty pracují s trojúhelníky, kdy každý polygon rozdělí na dva trojúhelníky pro snazší výpočet a získání perfektní rovny plochy definované právě třemi body. Počet polygonů je roven počtu trojúhelníků / 2.

⁴ Nejmenší možný kvádr, do kterého se model vměstná. Díky tomu zjistíme velikost modelu, můžeme model správně vycentrovat či umístit na podlahu, snáze spočítáme kolize, aniž bychom museli počítat každý díl modelu zvlášť.

2.6.1 Instalace a aktualizace

Aplikace je spárována s verifikovaným e-mailem klienta, který používá pro přihlášení k účtu Meta. Pro instalaci je třeba přejít v headsetu do knihovny aplikací (*Obrázek 12*) a u položky Model Explorer 3D zvolit instalaci. Každá další aktualizace je provedena automaticky, případně ji může provést sám uživatel, stisknutím odkazu Aktualizovat v kontextové nabídce aplikace.



Obr. 12: Kontextová nabídka VR aplikace Model Explorer 3D

Zdroj: Vlastní zdroj

2.6.2 Ovládání aplikace

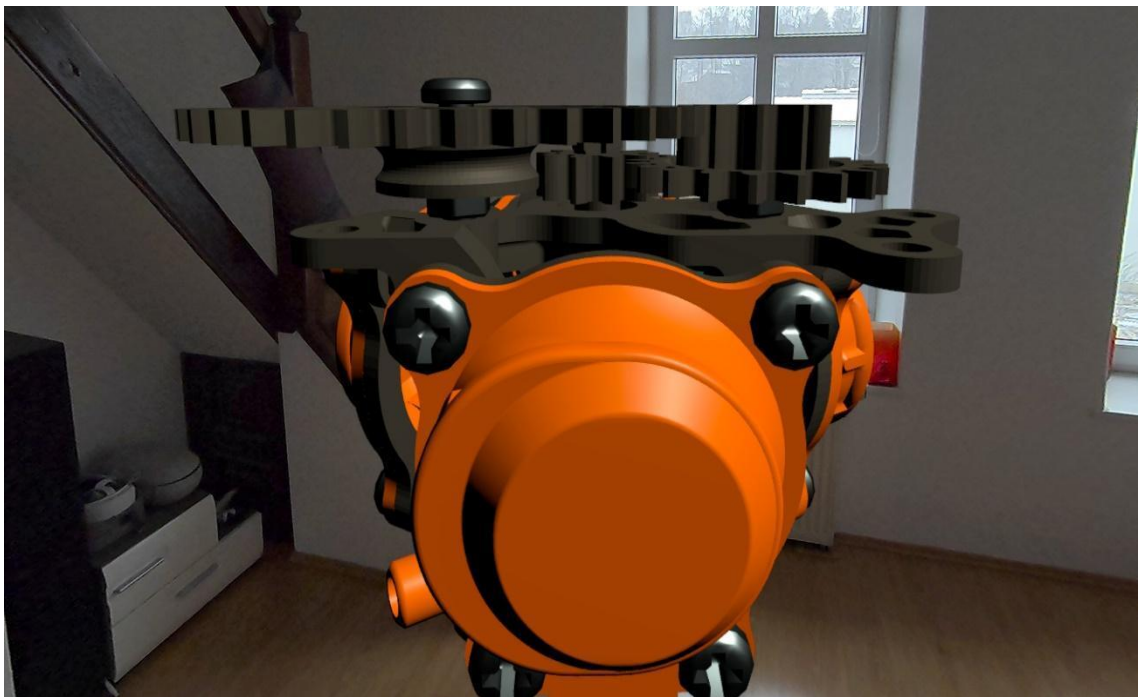
Spuštění aplikace a výběr prostředí

Nejprve spustíme aplikaci z hlavní nabídky (*Obrázek 12*). Dostáváme se na úvodní obrazovku aplikace (*Obrázek 13*), kde můžeme volit mezi prostředím exteriéru továrny, interiéru skladu, případně smíšenou realitou passthrough (*Obrázek 14*), pro vizualizaci modelu v reálném prostředí. Výchozím prostředím je Továrna. V dalším kroku je možné zvolit jazyk. Po výběru budou přeloženy veškeré texty v aplikaci do zvoleného jazyka. Na konci dialogu nalezneme tlačítko pro ukončení celé aplikace a návrat do knihovny Meta Quest.



Obr. 13: Výběr prostředí

Zdroj: Vlastní zdroj



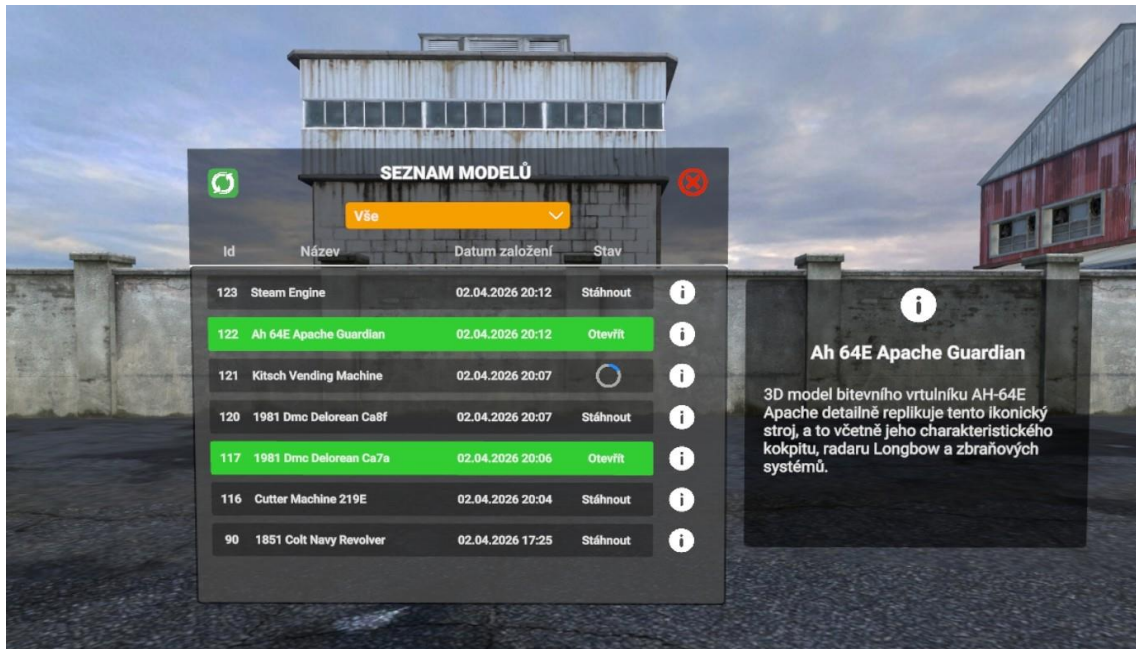
Obr. 14: Passthrough vizualizace

Zdroj: Vlastní zdroj

Výběr a vizualizace modelu

Po stisknutí tlačítka X je zobrazena nabídka dostupných modelů (Obrázek 15). Každý záznam obsahuje interní ID pro řešení případných komplikací s načítáním, název, datum

založení, stav a tlačítko pro zobrazení popisu generovaného pomocí služby AI kategorizace. Pokud je model připraven k prohlížení, stav je změněn na *Otevřít*. Stisknutím předního tlačítka ovladače model spustíme, je zobrazena načítací animace a po úplném načtení dat model vizualizován.



Obr. 15: Výběr modelu

Zdroj: Vlastní zdroj

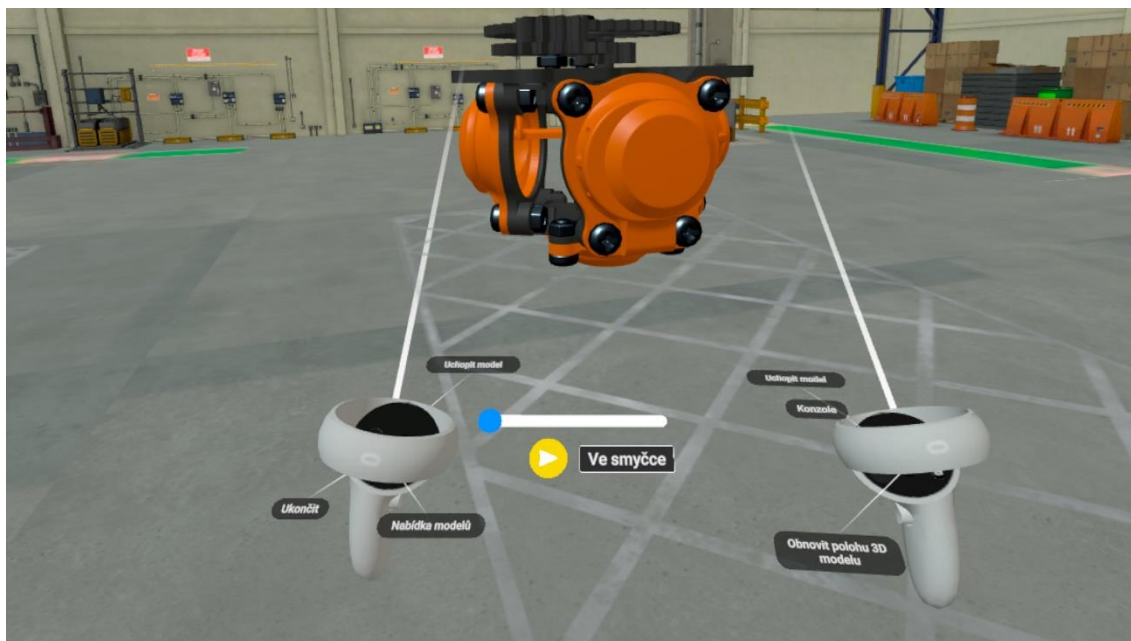


Obr. 16: Vizualizace modelu s animací

Zdroj: Vlastní zdroj

Funkce pro práci s modelem

Model je možné uchopit předními tlačítky, zvětšovat jej vzdalováním či zmenšovat přibližováním ovladačů. Je-li u modelu k dispozici animace (Obrázek 16), zobrazí se nám kontextový posuvník, tlačítko *Play* a tlačítko *Ve smyčce* (Obrázek 17). Posuvníkem je možné se libovolně přesunout v čase animace, tlačítko *Play* slouží pro automatické přehrání celé animace a tlačítko *Ve smyčce* umožní přehrávání opakovaně bez zastavení. Model má nastaveny kolize s podlahou, je tedy možné jej umístit přímo tam. Nemá však nastaveny kolize s uživatelem a ten jej tak může libovolně procházet.



Obr. 17: Ovládání modelu

Zdroj: Vlastní zdroj

2.6.3 Technický popis

Model Explorer 3D využívá architekturu klient-server, kde VR aplikace funguje jako klient a připojuje se k webovému serveru pro získání 3D modelů. Toto oddělení umožňuje na jedné straně interagovat s obsahem, zatímco samotná správa obsahu probíhá na serveru.

2.6.4 Hlavní komponenty

3D render Unity

Aplikace využívá 3D renderovací jádro integrované v engineu Unity k zobrazování 3D modelů, dále grafické rozhraní API Vulkan a režim renderování Forward v URP. Abychom předešli snížení výkonu a zároveň dosáhli požadované kvality grafického zpracování, je využito tzv. URP (Universal Render Pipeline). Jedná se o architekturu vykreslování, díky které dosáhneme stabilní snímkové frekvence. URP zároveň podporuje mobilní platformy, PC, Mac, virtuální realitu, WebGL a Linux.

XR Interaction Toolkit

Jde o oficiální balíček Unity, který obsahuje sadu komponent pro interakce v XR a je hojně využíván právě pro virtuální (VR), rozšířenou (AR) a smíšenou realitu (MR). Hlavními komponentami tohoto balíčku jsou Interactors (interaktory), Interactables (objekty k interakci), Interaction Manager (správce interakce) a Locomotion (pohyb). Tento balíček zajišťuje podporu pro Meta Quest, OpenXR, Windows Mixed Reality, Pico, SteamVR a další. Mezi základní interakce patří hover (přejetí či označení objektu), výběr a fyzický úchop (grab). V případě Model Explorer 3D byly tyto funkce použity pro manipulaci s 3D modely, které díky tomuto balíčku lze uchopit, zvětšit/zmenšit, rotovat nebo měnit jejich polohu.

TriLib 2 Model Loading Package

Slouží pro dynamické načítání 3D modelů za běhu aplikace bez nutnosti je předem importovat. Podporuje mnoho formátů 3D modelů, jako jsou FBX, OBJ, GLTF2, STL, PLY, 3MF, DAE a ZIP. Je kompatibilní s platformami jako Windows, Linux, Mac, Android, iOS a WebGL. Umožňuje import z lokálního souborového systému, webových URL nebo vlastních zdrojů. Systém událostí (event system) potom umožňuje monitorovat proces načítání.

HTTP komunikace

Klientský skript se připojuje přes REST API, které komunikuje s administrací prostřednictvím požadavků GET a POST.

2.6.5 Hlavní funkce

- **Transformace objektů:** Modely lze rotovat, zvětšovat/zmenšovat a měnit jejich polohu.
- **Animace:** Pokud 3D model obsahuje animace, aktivuje se menu, které umožňuje animaci spustit.
- **Osvětlení:** Pro prostředí je osvětlení statické (baked), zatímco pro 3D modely je využito dynamického osvětlení v reálném čase.
- **Vlastnosti materiálů:** Systém počítá s podporou pro textury, barvy a konfigurovatelné parametry materiálů.

2.6.6 Systém lokálního úložiště

Brýle počítají s lokálním úložištěm, a to o velikosti cca 110 GB. Zbytek je rezervován pro operační systém a Cache. Práce s úložištěm:

- **Dynamické načítání:** 3D modely jsou po stažení uloženy přímo v zařízení.
- **Čištění úložiště:** Abychom využili dostupné úložiště kompletně, modely, které jsou odstraněny z administrace, jsou zároveň odstraněny i z paměti VR headsetu.

2.6.7 Optimalizace a vhodnost modelu

Aplikace jako taková je funkční a umožňuje s 3D modely pracovat plynule a v reálném čase. Nicméně je vždy potřeba dbát na to, abychom ji příliš nezaměstnávali. VR headset má

pouze limitované výpočetní kapacity a je tedy třeba mít na paměti i správný přístup k optimalizaci, již během tvorby modelů. Pokud nebude optimalizace provedena, bude obtížné model zobrazit. V lepším případě bude aplikace tzv. lagovat (sekat se), v tom horším dojde k jejímu nežádoucímu pádu. Ideální počet snímků za sekundu je 72-90 FPS. Aplikace již počítá s optimalizovaným prostředím, ve kterém se uživatel nachází. To je řešené tak, aby aplikace běžela plynule. Optimalizace modelů:

- **Počet trojúhelníků (triangles):**

Vhodné rozmezí 300 000 – 600 000.

- **Limit počtu materiálů:**

Maximálně 10 unikátních materiálů.

- **Texturizace:**

Pro detaily materiálu je nejlepším řešením používat textury. Brýle nemusí přepočítávat každou hranu a plochu při každém pohybu, ale pouze zobrazí texturu detailu (většinou ve formě jednoduchých nenáročných obrázků).

- **Kolize:**

Omezit používání Mesh Collider (přesné kopie modelu), ale častěji pouze Primitive Colliders (tedy jednoduché tvary)

- **Zapékání světla:**

Dynamické světlo je vhodné používat jen v situacích, kdy je to nezbytně nutné. S výhodou tedy lze používat světlo zapečené do textur objektů (tzv. Lightmapy). Brýle potom nemusí přepočítávat světlo při každém pohybu, ale je staticky přítomno již v textuře.

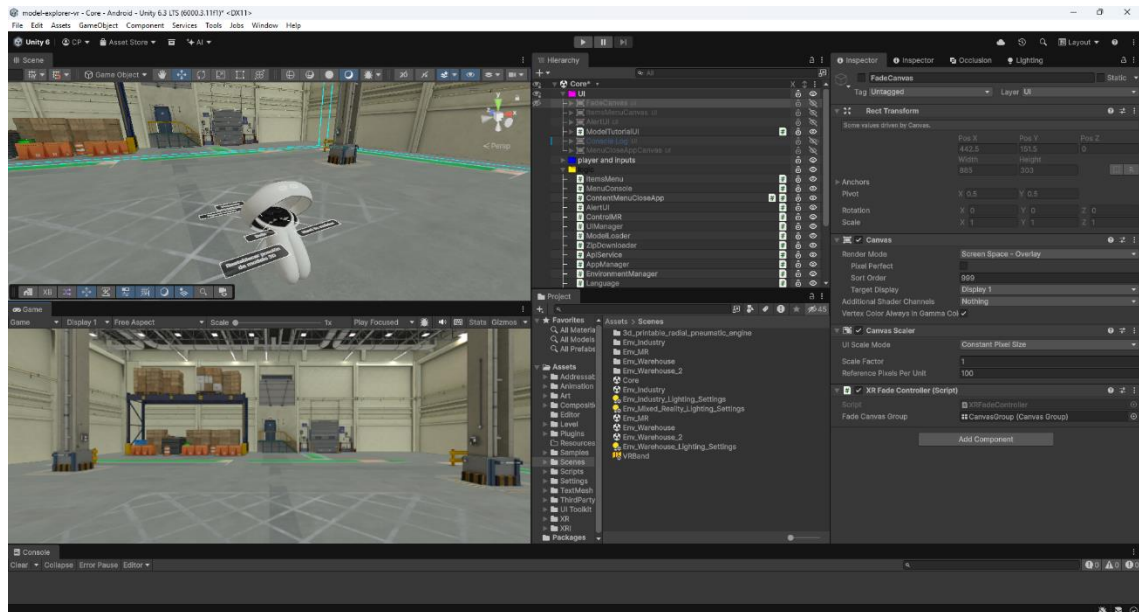
2.6.8 Použité nástroje

- Unity - verze 6000.3.7f1,
- Visual Studio - verze 18.3.0,
- Grafické API Vulkan - verze 1.2,
- Balíčky Unity (Unity Packages):
 - URP - verze 17.03,
 - Input System - verze 1.18.0,
 - Open XR Plugin - verze 4.5.2,
 - XR Interaction Toolkit - verze 3.3.1,
 - XR Plugin Management - verze 4.5.3,
 - TriLib Model Loading - verze 2.5.9,
- Blender - verze 3.8.

2.6.9 Vývojové prostředí

Aplikace je vyvíjena za pomoci nástroje Unity Editor (*Obrázek 18*). Ten je stavěn na přehledném grafickém rozhraní s panely jako Hierarchie objektů, Scéna či Inspektor. Integrovaná

konzole a okno přímého náhledu navíc umožňují okamžitou vizualizaci a testování aplikace v reálném čase.



Obr. 18: Unity Editor

Zdroj: Vlastní zdroj

2.6.10 Postup vývoje

- instalace Unity včetně modulu Android Build Support,
- instalace základních balíčků přes Unity Package Manager,
- propojení Unity s Visual Studio,
- import a optimalizace 3D modelů, nastavení materiálů a shaderů,
- samotný vývoj,
- testování v reálném čase z editoru,
- kompilace a vytvoření .apk souboru,
- nasazení kódu na Gitlab,
- nahrání finálního .apk souboru na platformu Meta Quest Developer Hub,
- založení testovacích účtů.

2.6.11 Vzorové příklady využití aplikace

- prezentace rozměrných či drahých produktů zákazníkovi,
- prezentace na konferencích,
- prezentace rozměrných strojů náročných na přepravu na veletrzích,
- prezentace nemovitostí doma či v kanceláři developera,
- HR prezentace vybavení společnosti,
- prezentace drahého vybavení laboratoří náchylného k poškození,
- technické školení a trénink.

2.6.12 Výhody řešení ve VR

- Eliminace poškození produktu,
- Zamezení zranění při manipulaci s nebezpečnými částmi produktů,
- Testování vhodnosti modelu pro použití v průmyslu 4.0, například u Digital Twins (optimalizace, počet trojúhelníků, osvětlení),
- Úspory dopravních nákladů a logistiky,
- Vizualizace před výrobou a implementace uživatelských potřeb,
- Intuitivní workflow od nahrání 3D modelu, přes kategorizaci, až po zobrazení.

2.7 Hardwarové vybavení

Hlavním hardwarovým vybavením potřebným pro chod tohoto systému je samozřejmě VR headset. Požadavkem bylo vybrat v konkurenčním prostředí takový kus, který bude odolný, snadno vyměnitelný, bude možné s ním pracovat nejen v návrhářském studiu či doma, ale i v průmyslovém prostředí hlučné výrobní haly. Dále by měl být dostatečně výkonný s intuitivním prostředím a možností spuštění vlastních aplikací. Z těchto důvodů jsem došel k závěru, že nejlepším řešením bude VR headset Meta Quest 3 (*Obrázek 19*), 128 GB paměťového úložiště. Díky podpoře smíšené a rozšířené reality, jej lze zároveň použít pro vizualizaci a interakci s Digitálním dvojčetem tzv. Digital Twin, pilířem průmyslu 4.0.

Kromě základních specifik, umí headset streamovat obsah z brýlí na externí obrazovku pomocí speciální webové stránky, případně přímo do aplikace Meta Horizon na mobilní telefon. Také je možné dokoupit tzv. Elite Strap, tedy prémiový hlavový popruh, který nahradí původní látkovou přezku pohodlnější variantou. Nejde ale jen o vyšší komfort a stabilnější konstrukci, Elite Strap nabízí i externí baterii, která vyváží váhu headsetu a zároveň nabídne další dvě hodiny používání navíc.

Přestože je tento headset takzvaně standalone zařízení a jeho používání tedy není omezeno nutností dalších komponent či zařízení, narážíme na určité technologické limity. Vzhledem k velikosti, není možné vměstnat vyšší výpočetní výkon, a především pak kvalitní grafickou kartu pro vykreslování nejnovějších her a aplikací náročných na výkon. Z toho důvodu Meta Quest 3 nabízí řešení ve formě streamování obrazu vytvořeného na počítači. Funguje to tak, že výkonný počítač zpracuje textury, modely, interakce, osvětlení a další obsah hry/aplikace a výsledný obraz pošle přímo do headsetu. Ten tak nepotřebuje vysokou výpočetní kapacitu a plynule zobrazí vytvořený obsah. Zároveň headset přijímá informace o pohybu uživatele, data ze senzorů a ovladačů.



Obr. 19: Headset Meta Quest 3

Zdroj: MIXED, 2023

2.7.1 Typy streamování

- **Quest Link**

Latence je 30–45 ms. Principem je připojení jednoho konektoru USB 3.0 kabelu do počítače a druhého pak do headsetu. Výhodou je, že nedochází k žádným výkyvům signálu, nevýhodou pak, že jsme omezeni délkou kabelu a zhoršenou ergonomií při manipulaci. Toto se v minulosti řešilo buď zavěšením kabelu ke stropu se speciálním navijákem, nebo nošením určeného speciálního počítače v popruzích na zádech (především u náročnějších multiplayer her v hernách při větším počtu hráčů v jednom prostoru).

- **Quest Air Link**

Latence je 40–60 ms, ale je velmi závislá na rušení okolím. Pro co možná nejkvalitnější přenos je potřeba použít router se standardem Wi-Fi 6/6E, při standardu Wi-Fi 5 je to totiž téměř nepoužitelné a aplikace takzvaně laguje (seká se). Principem je připojení konektoru síťového kabelu RJ-45 na jedné straně do počítače a na druhé do routeru. Jde o to, aby byla rychlost PC - router pokud možno co nejvyšší, a především bez výpadků. VR headset se následně pouze přihlásí k vytvořené Wi-Fi síti a komunikace probíhá vzduchem. Velkou výhodou oproti kabelovému řešení je, že uživatel není nijak omezen v pohybu. Nevýhodou pak, že je třeba mít stabilní signál a kvalitnější router i připojení.

2.7.2 Zásadní funkce VR

Hand tracking

Jedná se o pokročilou, nicméně prozatím “experimentální” funkci, která je dostupná k použití uživateli a slouží k ovládání headsetu za použití rukou, na místo běžných ovladačů

dodávaných s headsetem. Systém využívá kombinaci kamer a senzorů k mapování pohybu rukou, prstů a dlaní v reálném čase a tím umožňuje ovládání intuitivní a přirozené pro člověka. Proč tedy tvrdím že je to pouze funkce “experimentální”, když už ji řada aplikací a her využívá? Z vlastní zkušenosti bohužel vím, že hand tracking je vynikající nástroj, ale má bohužel svoje neduhy. Přesto, že se tato funkce vylepšuje stále k vyšší dokonalosti, problémy jsou nasnadě. Delší používání může akumulovat chybu a následně zcela znemožnit smysluplné využití. Protože se jedná pouze o algoritmus, který “odhaduje” jak je ruka natočena v závislosti na kamerách, výsledek vždy neodpovídá realitě. Zatímco člověk bez problémů pozná, či z vlastních životních zkušeností určí polohu ruky, pochopí nestandardní situace jako překřížení prstů či tělesné deformace, systém headsetu zatím tak sofistikovaný není. Až teprve s implementací pokročilejší AI, kde bude rozpoznávání fungovat stejně jako u člověka, dojde k rapidnímu zlepšení. Mezi další nestandardní podmínky patří:

- špatné světelné podmínky,
- omezené zorné pole,
- latence,
- absence hmatové odezvy.

Volný pohyb

Je snad nejdůležitější vlastností virtuální reality. Možnost procházet se ve virtuálním prostoru stejně jako v reálném světě. Senzory snímají pozici a vyhodnocují kde se uživatel nachází v reálném čase. Uživatelé potom headset vykresluje obraz reflektující jeho pohyb, natočení hlavy, používání ovladačů či hand tracking.

Imerze

Stav, kdy je uživatel natolik pohlčen virtuálním prostředím, že nevnímá reálný svět kolem něho. Jedná se o perfektní potlačení šumů reálného světa a pomáhá v soustředění při prováděném úkolu.

Prostorový zvuk

Zvuk, se kterým počítá zvolený headset, je vysoce kvalitní a reflektuje situace v aplikaci, natáčení hlavy, stejně jako v reálném životě. Tím jen umocňuje celkový zážitek.

Interaktivita v reálném čase

Seznam činností, které lze provádět a jejichž důsledkem je chování okolních předmětů podle zákonů fyziky, stejně jako v reálném prostředí.

Passthrough

Technologie, kdy pokročilé barevné kamery snímají okolní prostor a ten zobrazují v brýlích v kombinaci s 3D modelem na místo virtuálního prostředí. Prakticky se jedná o technologii rozšířené až smíšené reality. Tato technologie má prozatím určité technologické limity (latence, vizuální zkreslení), ale pro základní funkcionalitu lze bez problémů použít.

2.7.3 Technické parametry headsetu

- **Procesor:** Snapdragon XR2 Gen 2,
- **Operační paměť:** 8 GB RAM,
- **Diskový prostor:** 128 GB,
- **Rozlišení:** 2064 x 2208 px na oko (4K+ Infinite Display),
- **Senzory:** 2x barevná kamera (Passthrough), 1x hloubkový senzor,
- **Optika:** Pancake čočky,
- **Váha:** 515 g,
- **Výdrž baterie:** 2,5 h,
- **Doba do plného nabití baterie:** 2 hodiny,
- **Ovladače:** 6 stupňů volnosti (6DoF).

2.7.4 Komunikace s administrací & stěžejní funkce

Po spuštění VR brýlí a aplikace Model Explorer 3D zkontrolujeme připojení k Wi-Fi. Bez internetu by totiž nebylo možné stahovat nové modely z administrace do VR aplikace. Nyní si vybereme prostředí a model, který chceme vizualizovat. S modelem lze pracovat následujícím způsobem:

- **Zvětšování/zmenšování modelu:**

Tato funkce je perfektním pomocníkem v situacích, kdy chceme například pozorovat miniaturní součástky a zařízení, které bychom v originální velikosti běžně sledovat nemohli, či naopak součástky a stroje objemné, kde si díky zmenšení můžeme udělat lepší představu o celkové topologii.

- **Otáčení ve třech osách**

Perfektní pro detailní sledování modelu z libovolného úhlu a při libovolném natočení.

- **Animace modelu**

Pokud ji model obsahuje (animací je myšlen například pohyb pístů ve válci u spalovacího motoru) je uživateli vizualizováno reálné fungování modelu.

- **Reálný pohyb v prostoru vs pohyb ovladači**

Aplikace umožňuje nejen reálný pohyb kolem 3D modelu, ale i prostup modelem. Stěny modelu uživatele nezastaví, ale může jimi volně procházet a tím sledovat vnitřek modelu.

- **Passthrough**

Perfektní volba, pokud chcete například zobrazit 3D model stroje přímo v prostoru určení, pro představu, zda se stroj do daného prostoru vměstná, či jak tam bude vypadat a zda bude třeba jej natočit či modifikovat.

2.8 Testování a výstupy

Testování probíhalo v souladu s běžnými metodami testování při vývoji softwarových řešení. Cílem bylo ověřit funkčnost řešení a jeho možné limity.

2.8.1 Popis účastníků testování

- **Vývojový tým:** Vývojář zodpovědný za tvorbu systému, validaci výstupů a správného chodu administračního rozhraní, klientské VR aplikace i služeb na cloud serveru.
- **Koncoví uživatelé bez zkušenosti s VR:** Koncoví uživatelé s nulovou znalostí virtuální reality. Vhodní pro testování uživatelského rozhraní a intuitivní práce se systémem.

2.8.2 Testovací scénáře a metodika

- **Kompletní testování End-to-End:** Kompletní průchod systémem od přihlášení do administračního rozhraní, přes založení dalších uživatelů a nahrání modelů, až po výběr prostředí v klientské VR aplikaci, vizualizaci a práci s modelem.
- **Zátěžové testy:** Testování chování systému na datově rozměrnějších modelech, překračující limit 600 000 trojúhelníků, na modelech s nevhodnou strukturou či v nevhodném formátu.
- **Validace AI modelu:** Validace promptů a výstupů služby Google Gemini API s důrazem na přesnost popisu a vhodnou kategorizaci testovaného modelu.
- **Profilování výkonu ve VR:** Sledování výkonu VR klientské aplikace na headsetu Meta Quest 3 při vizualizaci různorodých 3D modelů. Měření případných výkyvů ve výkonu a stanovení limitů pro používání aplikace.

2.8.3 Výstupy

Výsledkem implementace je funkční MVP nástroj zahrnující administrační rozhraní pro správu modelů, modul pro AI kategorizaci a VR aplikaci pro jejich vizualizaci. Testování potvrdilo jeho použitelnost v reálných podmínkách při použití na předem optimalizovaných 3D modelech s výslednými parametry:

- **Rychlost zpracování:** Byla testována na modelech o průměrné velikosti 50 MB. Nahrání souboru na server a rozbalení trvá přibližně 2 minuty. Následné zpracování AI kategorizace je dokončeno do 5 minut od nahrání souboru. Administrační rozhraní je plně funkční díky asynchronnímu zpracování.
- **Testování rozpoznávání umělé inteligence:** Služba byla testována na vzorku 20 různých modelů s úspěšností rozpoznávání předpřipravené kategorie v 90 % případech.
- **Limity použitelnosti systému:** Aplikace je určena primárně pro vizualizaci optimalizovaných modelů. S tím je potřeba počítat již při jejich tvorbě. Vyplývá to z využití prostředků standalone headsetu, který má jasně dané limity. Aplikaci je do budoucna možné rozšířit i pro PC-VR segment, kde bude možné zobrazovat modely náročnější na vykreslování i modely se špatnou optimalizací díky využití výpočetního výkonu počítače a streamování vizualizace do headsetu.

3 Analýza trhu a návrh obchodního modelu

V této kapitole se zaměříme na analýzu tržního prostředí a strategického umístění vyvíjeného systému Model Explorer 3D. Cílem je transformovat funkční MVP prototyp do komerčně životaschopného, škálovatelného a udržitelného B2B řešení. Návrh obchodního modelu bere na zřetel cloudové zpracování systému a aktuální potřeby průmyslových podniků v kontextu Průmyslu 4.0 v České republice.

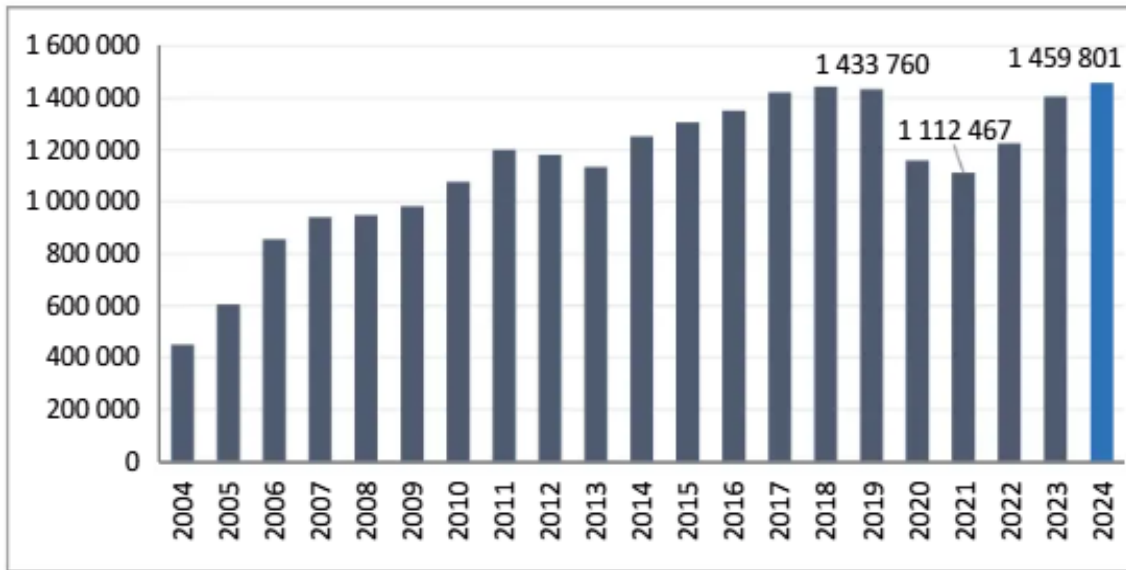
3.1 Průzkum v oblasti výrobních podniků

Česká republika historicky disponuje velmi silně rozvinutou průmyslovou strukturou, napojenou na mezinárodní sféru, tvořící tak jeden z pilířů ekonomiky státu. Přechod tohoto sektoru od tradičních výrobních metod k pokročilým konceptům průmyslu 4.0 je urychlován nedostatkem kvalifikovaného personálu a silným konkurenčním prostředím. Z hlediska komerčního potenciálu systému Model Explorer 3D jsou primárními cílovými segmenty podniky klasifikované v sekci NACE 28 (Výroba strojů a zařízení) a NACE 29 (Výroba motorových vozidel, přívěsů a návěsů).

3.1.1 Aktuální stav trhu

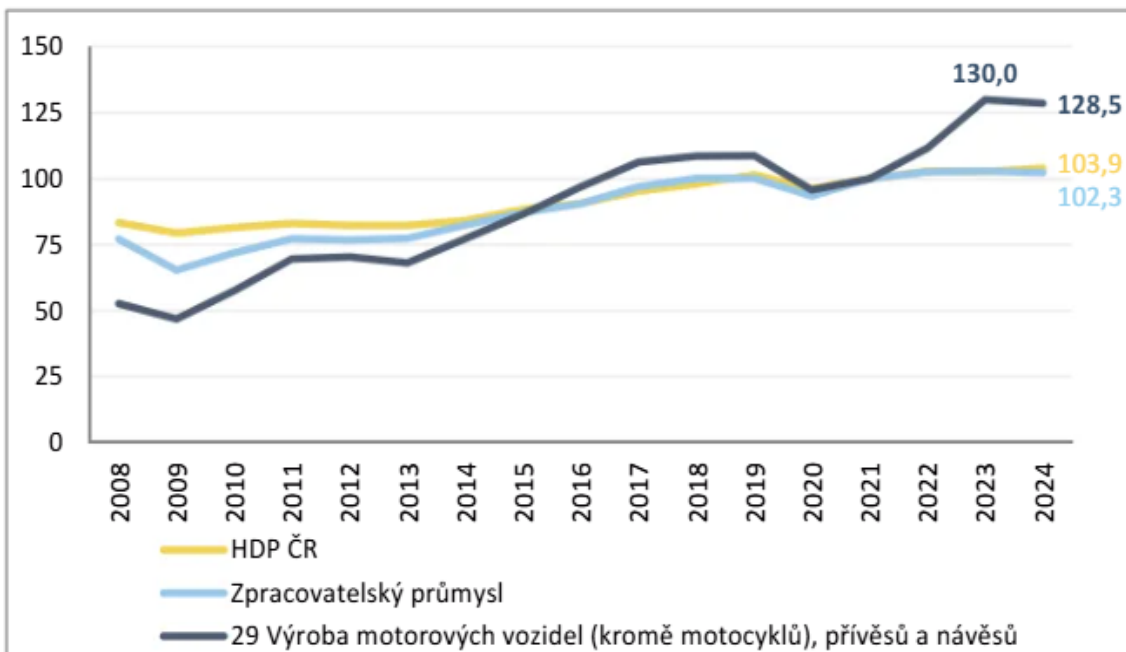
Podle oficiálních statistik Sdružení automobilového průmyslu AutoSAP za rok 2024 dosáhly tržby firem tohoto sektoru hodnoty 1 570 miliardy korun, což představuje meziroční nárůst o 2,6 %. Z hlediska množství vyrobených vozidel se dostáváme k 1 459 801 kusům (Obrázek 20), čímž se země v globálním měřítku řadí na druhé místo v počtu vyrobených vozů na obyvatele (Sdružení automobilového průmyslu, 2026). V takovém měřítku výroby představuje každá chyba ve fázi návrhu či prototypování ztráty v řádech milionů korun. Možnost vizualizace modelů před samotným zahájením výroby tak představuje značnou konkurenční výhodu.

Naopak segment všeobecného strojírenství se nachází v odlišné situaci. Jak vyplývá z dat Českého statistického úřadu (ČSÚ), průmyslová produkce v oblasti výroby strojů a zařízení zaznamenala v roce 2024 meziroční pokles o 10,2 %. Tržby klesly o 6,3 % a hodnota nových zakázek se snížila o 3,3 % (Šaroch a kol., 2025). Tento negativní vývoj vytváří silný tlak na inovaci, optimalizaci procesů a úspory nákladů. Prezentace rozměrných strojů zákazníkům na veletrzích, či v zahraničí si žádá vysoké logistické náklady. Využití systému Model Explorer 3D pomůže tyto náklady snížit.



Obr. 20: Výroba motorových vozidel na území ČR mezi roky 2004 a 2024

Zdroj: ŠAROCH a kol., 2025



Obr. 21: Vývoj průmyslové produkce – bazický index (průměr roku 2021=100), stálé ceny

Zdroj: ŠAROCH a kol., 2025

3.1.2 Motivace k inovacím

Z průzkumu Asociace malých a středních podniků a živnostníků ČR vyplývá, že více než polovina respondentů hodlá významně navyšovat investice do digitalizace a AI (AMSP ČR, 2020). Již nyní vyčleňuje nezanedbatelná část podniků na tyto aktivity 5-20 % z rozpočtu, protože implementace principů a nástrojů průmyslu 4.0 je brána jako strategická nutnost a je implementována do dlouhodobých firemních strategií. Hlavní důvody a motivace jsou:

- **Zajištění a udržení konkurenční výhody**

Příprava API pro integraci do zaběhlých systémů společností typu SolidWorks, Autodesk, Siemens, SAP umožní využít jejich prodejních kanálů a stávající klientely.

- **Budování provozní odolnosti**

Nestabilní geopolitická situace má často za následek přerušení dodavatelských řetězců. Digitální nástroje a virtuální realita umožňují online simulace bez potřeby fyzické kopie produktu v místě výrobce.

- **Nedostatek lidského kapitálu**

Český trh práce trpí nedostatkem kvalifikovaných inženýrů a operátorů. Podniky proto investují do digitálních technologií a automatizace z důvodu redukce závislosti na lidské práci a také pro celkové zefektivnění procesů.

3.2 Konkurence a existující řešení

3.2.1 Konkurenční platformy

Unity Industry

Nástroj vyvinutý společností Unity Technologies, známou především svými herními enginy. Jedná se o specializovaný balíček, který je cílen na korporace v segmentu automobilového průmyslu a strojírenství. Hlavním přínosem je schopnost převádět extrémně komplexní průmyslová data do interaktivního VR v reálném čase. Cena licence se odvíjí od ročního obrátu klienta, kdy hranice je nastavena na 1 milion USD. Balíček zahrnuje komplexní nabídku a pro implementaci je potřeba interního vývojového oddělení.

Sketchfab Premium

Sketchfab je známá platforma pro sdílení a komerční prezentaci 3D modelů. Modely nahrávané přes administrační rozhraní jsou optimalizovány do WebGL formátu, vhodného pro internetové prohlížeče a následně vizualizovány v režimu VR. Nejedná se však o nativní podporu headsetu, ale o VR v režimu webového prohlížeče. Maximální velikost nahrávaných souborů je 500 MB.

Autodesk Workshop XR

Tato platforma slouží jako propojený pracovní prostor, který je určen především pro celé týmy v oblasti stavebnictví a architektury. Platforma Autodesk Workshop XR slouží k vizualizaci sdílených 3D modelů a BIM dat. Podmínkou použití je platná licence Autodesk Construction Cloud.

Platforma	Uplatnění	Náklady/rok	Klíčové funkcionality	Slabé stránky
Unity Industry	Automotive	cca 45 700 Kč	Nativní import komplexních CAD dat	Extrémní křivka učení, nutnost vlastního vývojového týmu
Sketchfab Premium	3D design, eCommerce	cca 22 200 Kč	Multiplatformní dostupnost (WebGL), REST API podpora	Vizualizace ve webovém prohlížeči
Autodesk Workshop XR	Stavebnictví, Infrastruktura	cca 26 800 Kč	Přímá integrace s Autodesk Forma a cloudovými BIM službami	Závislost na předplatném celého ekosystému Autodesk
Model Explorer 3D	Malé a střední strojírenské podniky	18 000 Kč	AI kategorizace, minimální IT náročnost, orientace na standalone VR	Hardwarové omezení modelů na 600 000 trojúhelníků v případně standalone varianty. Integrace do ERP.

Tab. 1: Srovnání konkurenčních řešení se systémem Model Explorer 3D

3.2.2 Proč zvolit nástroj Model Explorer 3D

- **Nejnižší náklady:** S cenou nejlevnější licence 18 000 Kč za rok pro 5 uživatelů se jedná o nejdostupnější nástroj na trhu.
- **Integrace do ERP:** Díky nenáročné architektuře je možné vytvářet API rozhraní k propojení s interními systémy klienta, či vytvářet nadstavby a pluginy do běžně používaných ERP a SaaS aplikací.
- **Personalizace systému:** K dispozici je vývojový tým, připravený reagovat na požadavky změn funkcionalit administračního rozhraní i VR klientské aplikace.
- **Podpůrný tým:** K dispozici jsou designéři vhodní jak pro optimalizaci modelů, tak i 3D skenování objektů a vybavení klienta.

3.3 Strategie uvedení produktu na trh

Jak potvrzují data z roku 2024, pro 40 % menších a středních firem je hlavní překážkou inovací nedostatek financí (*Technický týdeník, 2019*). Z toho důvodu je třeba nabídnout takový obchodní model, který za dostupnou cenu nabídne kvalitní produkt a zároveň zajistí ekonomickou udržitelnost provozu. Celý proces získání zákazníka je nutné rozdělit na jednotlivé fáze.

3.3.1 Zkušební fáze a pilotní provoz

Vzhledem ke stadiu MVP prototypu je prvním krokem navázání spolupráce se strojírenským podnikem spadajícím do kategorie malých a středních podniků (do 250

zaměstnanců). Tomuto prvnímu potenciálnímu zákazníkovi bude nabídnuta možnost spolupráce při pilotním nasazením systému a zpracování případných požadavků. Jako motivaci získá 6 měsíců používání aplikace zdarma, následované tarifem dle výběru za poloviční cenu.

3.3.2 Partnerství s technologickými skupinami

Pro úspěšnou komercializaci systému je klíčové navázání strategických partnerství s osvědčenými technologickými subjekty. Hlavní skupiny jsou:

- **Tvůrci a dodavatelé CAD software a ERP:** Příprava API pro integraci do zaběhlých systémů společností typu SolidWorks, Autodesk, Siemens, SAP umožní využít jejich prodejních kanálů a stávající klientely.
- **Výrobci VR hardware:** Zapojení do specializovaných programů a výzev přímo od výrobců hardware (např. programy pro nezávislé vývojáře), či oficiální partnerství. Díky tomu získáme přístup k nejnovějším a experimentálním funkcím, případně slevy na hardwarové vybavení.
- **Poskytovatelé cloudové infrastruktury a AI:** Kooperace s poskytovateli jako je Google či DigitalOcean v programech pro začínající startupy zajistí kredity zdarma pro využívání jejich služeb a také přístup k nejnovějším verzím jazykových modelů Gemini.

3.3.3 Akviziční strategie a oslovování potenciálních klientů

V B2B segmentu nefunguje masový marketing, protože rozhodovací proces ve výrobních podnicích je zdoluhavý a závisí na celé řadě zodpovědných osob. Z toho důvodu bude strategie postavena na třech pilířích:

- **Případové studie:** Dle kapitoly 3.2.1, bude prvním krokem akvizice testovacího podniku. Z této spolupráce vznikne případová studie, díky které bude možno číselně vyjádřit reálné úspory podniku při návrhu modelu, logistice a marketingu prezentovaného produktu. Tato studie bude sloužit jako hlavní nástroj pro akvizici dalších klientů ze stejného segmentu.
- **Školení LinkedIn:** Vhodným propagačním kanálem je i profesní sociální síť LinkedIn. Nacházejí se zde zastupitelé společností, kteří rozhodují o strategických investicích jako například generální, provozní či finanční ředitelé. Lze je napřímo oslovit, případně upoutat pozornost školením, které přináší inovativní metody pro zefektivnění provozu, digitalizaci procesů a snížení nákladů.
- **Akvizice prostřednictvím partnerství:** Stěžejním kanálem budou strategická partnerství a jejich stávající klientela, kde je dlouhodobě budována jejich důvěra. Partneři získají nástroj, který zvýší použitelnost jejich software bez dalšího vývoje a provizi za každou prodanou licenci.
- **Přímý prodej na veletrzích a konferencích:** Bez přímé komunikace z potenciálními zákazníky se není možné obejít. Sebelepší produkt na trhu je neprodejný, pokud o něm cílová skupina nemá ponětí. Nejvhodnějším místem, kde prezentovat systém Model Explorer 3D, jsou místa s vysokou koncentrací cílové skupiny. Díky okamžité vizualizaci

modelu ve 3D a minimálním nárokům na prostor, je tento systém optimální pro malý stánek s virtuální realitou na odborném veletrhu či konferenci.

- **Oborové publikace a periodika:** Veřejný prostor, ve kterém se vzdělává cílová skupina jsou samozřejmě i oborová periodika jako například *MM Průmyslové spektrum* nebo *Technický týdeník*. Ať už v tištěné nebo v online podobě, nejvhodnější strategií zde je publikování PR článků, expertních rozhovorů a případových studií.

3.4 Cenová politika

Zvolená architektura systému, postaveného na bázi Docker kontejnerů, provozovaná na Cloudu, je ideální pro distribuci ve formě produktu SaaS. Díky oddělené kontejnerové struktuře, umožňuje vytvoření nezávislé instance pro každého zákazníka, včetně vlastního místa v úložišti a vlastní nezávislé databázi. Každá instance je zálohována na zrcadlový server, který chrání před ztrátou dat. Zabezpečený systém, s lokálně dostupnými kontejnery, je potom řešením pro případný únik dat klienta. Z hlediska cenové politiky je třeba zohlednit využívání prostředků cloud serveru. Dále je nutné započítat i variabilní náklady na volání služby Google Gemini API. Aktuální tarif zahrnuje bezplatné zpracování 1000 modelů měsíčně a následně 1,5 USD za každých dalších 1000 modelů. Navrhuji tedy aplikovat následující tarifní strukturu:

Tarif Basic

- **Cenová hladina:** 1 500 Kč (bez DPH) / měsíc.
- **Podmínky využití a platnost licence:** Minimální smluvní doba je stanovena na 1 rok. Následně lze licenci prodloužit na libovolně dlouhou dobu. Licenci je možné v průběhu upgradovat na vyšší tarify Profi, nebo Enterprise.
- **Technické parametry:** Alokováno cloudové úložiště o kapacitě 25 GB. Asynchronní AI kategorizace je omezena maximálně na 1 000 operací měsíčně.
- **Uživatelská politika:** Součástí je až 5 souběžných přístupů z klientské VR aplikace. Přístup do webové administrace není omezen počtem uživatelů, pouze celkovou kapacitou disku.
- **Cílová skupina:** Malá studia zabývající se průmyslovým designem.

Tarif Profi

- **Cenová hladina:** 2 900 Kč (bez DPH) / měsíc.
- **Podmínky využití a platnost licence:** Minimální smluvní doba je stanovena na 1 rok. Následně lze licenci prodloužit na libovolně dlouhou dobu. Licenci je možné v průběhu upgradovat na vyšší tarif Enterprise.
- **Technické parametry:** Alokováno cloudové úložiště o kapacitě 100 GB. Asynchronní AI kategorizace je omezena maximálně na 3 000 operací měsíčně.
- **Uživatelská politika:** Součástí je až 10 souběžných přístupů z klientské VR aplikace. Přístup do webové administrace není omezen počtem uživatelů, pouze celkovou kapacitou disku.

- **Hardware:** V ceně licence je k dispozici 1x headset Meta Quest 3 včetně náhlavního popruhu, doplňková baterie, 2x tužková baterie do ovladačů, 1x kufřík pro přenos headsetu.
- **Cílová skupina:** Malé a střední výrobní podniky.

Tarif Profi Single Pay

- **Cenová hladina:** 48 600 Kč (bez DPH) /placeno jednorázově na 3 roky dopředu. Za cenu tarifu Basic, navíc zlevněného o 10 %, klient obdrží parametry tarifu Profi.
- **Platnost licence:** 3 roky, lze prodloužit, nebo zvolit jiný tarif.
- **Technické parametry:** Vychází z tarifu Profi.
- **Uživatelská politika:** Vychází z tarifu Profi.
- **Hardware:** Není k dispozici.
- **Cílová skupina:** Malé a střední výrobní podniky.

Tarif Enterprise

- **Cenová hladina:** Kalkulováno individuálně, na základě přesných potřeb klienta.
- **Technické parametry:** Zahrnuje využití dedikovaných serverů, napojení na podnikové systémy typu SAP. Administraci obohacenou o tvorbu vlastních promptů pro zohlednění interního názvosloví podniku.
- **Cílová skupina:** Střední firmy a velké výrobní podniky.

Kromě hardwaru zahrnutého v ceně licence, je možné doobjednat další vybavení. Cena kompletní sady, tedy 1x headset Meta Quest 3 včetně náhlavního popruhu, doplňková baterie, 2x tužková baterie do ovladačů, kufřík pro přenos headsetu, je stanovena na 25 000 Kč. Součástí je instalace a nastavení operačního systému Meta, instalace VR klientské aplikace Model Explorer 3D a napojení na administrační rozhraní.

3.5 Výsledný produkt

Aby klient obdržel kompletní službu, je třeba kromě systému Model Explorer 3D nabídnout i doplňkové služby. Nabídka tedy sestává z:

3.5.1 Základní balíček

- **Příprava administračního rozhraní:** Zahrnuje vytvoření nové instance pro klienta, včetně založení izolované databáze a diskového prostoru, na vlastní subdoméně. Spuštění query workerů pro asynchronní zpracování modelů. Založení účtu pro přístup do databáze.
- **Založení administračních přístupů:** Vytvoření uživatelských účtů, pro přístup do administračního rozhraní.

- **Aktivace licencí:** Vytvoření a aktivace licence pro využívání služby Google Gemini API, aktivace licence pro využívání systému Model Explorer 3D.
- **Zaškolení práce se systémem:** Úvodní školení pro uživatele systému v sídle firmy, případně na jiné dohodnuté adrese. Uživatelé si vyzkouší práci s administrací, nahrání a zpracování modelu, správu uživatelských přístupů, ovládání VR klientské aplikace, vizualizaci modelu a streamování obrazovky z headsetu na obrazovku počítače.
- **Instalace hardwaru:** Zprovoznění headsetu Meta Quest 3, instalace náhlavníku a doplňkové baterie. Instalace operačního systému, nastavení uživatelského přístupu, instalace VR klientské aplikace Model Explorer 3D a její napojení na administrační rozhraní.
- **Průběžná aktualizace, zabezpečení a dodatečný vývoj:** Každá licence navíc zahrnuje průběžnou aktualizaci VR klientské aplikace, použitých komponent, modelu umělé inteligence a administračního rozhraní. Na vyžádání klienta je možné ponechat fixní verzi, pro předejití komplikacím jako např. nekompatibilita interních systémů s aktualizovanou verzí systému Model Explorer 3D.

3.5.2 Doplnkové služby

- **Technický support:** Možnost navýšení prostředků serveru, přenos dat z jednoho serveru na jiný. Zprovoznění služby na serverech jiných poskytovatelů (např. AWS, MS Azure, Google Cloud Platform) či lokálního serveru zákazníka.
- **Personalizace systému:** Zahrnuje jak modifikace administračního rozhraní, tak klientské VR aplikace na míru (např. import výrobní haly zákazníka, implementaci firemních barev či loga, implementace AI avatara).
- **API integrace:** Programátorské služby na míru, pro integraci systému Model Explorer 3D do interních systémů (např. SAP) a ERP zákazníka.
- **Tvorba a optimalizace 3D modelů:** Navýšení kapacit vývojářů při tvorbě a optimalizaci 3D modelů. Model vytvoříme a upravíme tak, aby byl vhodný pro vizualizaci ve VR headsetu.
- **3D Skenování objektů a fotogrammetrie:** Nabídka naskenování výrobních prostor podniku, nebo showroomu zákazníka a následná implementace do klientské VR aplikace. Lze využít i pro skenování 3D modelů, či jako podklad pro tvorbu textur modelu.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývala návrhem, vývojem a implementací systému pro vizualizaci průmyslových 3D modelů pomocí virtuální reality. Hlavním cílem bylo vytvořit funkční prototyp (MVP), který by umožnil výrobním podnikům vizualizaci modelů ještě před zahájením samotné výroby. Tohoto cíle bylo dosaženo vývojem systému Model Explorer 3D, sestávajícího ze tří částí: administračního rozhraní pro správu modelů a uživatelů, služby pro kategorizaci a popis modelu pomocí umělé inteligence a klientské VR aplikace běžící na headsetu Meta Quest 3.

V rámci testování prototypu bylo ověřeno, že navržená architektura funguje spolehlivě a eliminuje nutnost neustálých aktualizací klientské VR aplikace při nahrávání nových modelů. Stanovené hypotézy ohledně výkonnostních limitů potvrdily, že pro plynulý běh ve standalone režimu headsetu je nutné modely optimalizovat do hranice 600 000 trojúhelníků. Integrace jazykového modelu Google Gemini API, pro automatickou kategorizaci a analýzu geometrie modelů, prokázala v testovacích scénářích vysokou efektivitu s 90% úspěšností správného zařazení do předpřipravené průmyslové kategorie. Časová náročnost zpracování nahraného modelu (od nahrání do administrace po vizualizaci v headsetu) o velikosti 50 MB celkově nepřesáhla 5 minut.

Můj přínos spočívá v propojení cloudové infrastruktury, automatizace pomocí umělé inteligence a vizualizace ve VR do jednoho komerčně funkčního celku. V této práci byl také vytvořen obchodní model produktu typu SaaS, který je cílen především na malé a střední strojírenské výrobní podniky, s minimálními ročními náklady ve výši 18 000 Kč. Produkt je tedy konkurenceschopný a nabízí dostupnou alternativu k existujícím korporátním řešením.

I když je MVP verze prototypu plně funkční, vykazuje jisté technologické limity, kterým by bylo vhodné se věnovat při dalším vývoji. Do budoucna je tedy žádoucí zaměřit se na implementaci PC-VR varianty s využitím lokálního či cloudového výpočetního výkonu, pro vizualizaci komplexních či hůře optimalizovaných 3D modelů. Dalším směrem vývoje by mohla být širší API integrace do stávajících ERP systémů a přechod od vizualizace statických modelů k plnohodnotným interaktivním digitálním dvojčatům (Digital Twins) reflektujícími data v reálném čase.

Seznam použité literatury

BLOOMBERG. *Meta Explores Multibillion-Euro Stake in Ray-Ban Maker* [obrázek online]. 2024. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-07-18/meta-explores-multibillion-euro-stake-in-ray-ban-maker-ft-says>

DIGITALOCEAN. *DigitalOcean Product Documentation* [online]. 2026. Dostupné z: <https://docs.digitalocean.com/>

IGNITIV. *Digital Twin in Manufacturing: A Comprehensive Guide* [obrázek online]. 2024. Dostupné z: <https://www.ignitiv.com/digital-twins-manufacturing/>

LARAVEL TEAM. *Laravel Documentation* [online]. 2026 [cit. 2026-03-13]. Dostupné z: <https://laravel.com/docs>

META PLATFORMS. *Meta Quest Developer Documentation* [online]. 2026. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/>

MIXED. *Meta Quest 3 Review: The best XR Headset by far* [obrázek online]. Dostupné z: <https://mixed-news.com/en/meta-quest-3-review/>

PRŮZKUM SP ČR: *DIGITÁLNÍ TRANSFORMACE ZVYŠUJE ODOLNOST PODNIKŮ VŮČI KRIZÍM* [online]. AMSP ČR [cit. 2026-04-03]. Dostupné z: <https://www.amspace.cz/aktuality-a-multimedia/pruzkum-sp-cr-digitalni-transformace-zvysuje-odolnost-podniku-vuci-krizim>

PRŮZKUM SP ČR: *Polovina českých firem chce zvýšit investice do Průmyslu 4.0* [online]. Technický týdeník, 5. 10. 2019 [cit. 2026-04-03]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/poutaky/pruzkum-sp-cr-polovina-ceskych-firem-chce-zvysit-investice-do-prumyslu-4-0_48187.html

SCHWEICHART, Karsten. *Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)* [obrázek online]. 2016. Dostupné z: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichart-reference_architectural_model_industrie_4.0_rami_4.0.pdf

SDRUŽENÍ AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU. [online]. 2026. Dostupné z: <https://autosap.cz/aktualita/rekordni-vyroba-a-stabilni-rust-cesky-automobilovy-prumysl-motorem-ekonomiky-i-v-dalsich-letech/>

SENSOR TOWER. *Pokémon GO Passes \$160 Million Worldwide Revenue, Usage Remains Strong* [obrázek online]. 2016. Dostupné z: <https://sensortower.com/blog/pokemon-go-160-million-dollars-usage-still-strong>

ŠAROCH, Stanislav (ed.) a kol. *Světový, evropský a český automobilový průmysl a trh s automobily* [online]. 2025 [cit. 2026-03-31]. Dostupné z: <https://rozkotova.cld.bz/SAVS-AUTOMOTIVE-CZ-2025/55/>

THE VERGE. *Microsoft HoloLens: augmented reality headset hands-on* [obrázek online]. 2016. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2016/4/1/11334488/microsoft-hololens-video-augmented-reality-ar-headset-hands-on>

VUE.JS TEAM. *Vue.js: The Progressive JavaScript Framework* [online]. 2026. Dostupné z: <https://vuejs.org/guide/introduction.html>

VUETIFY TEAM. *Vuetify: Material Design Component Framework* [obrázek online]. 2026.

Dostupné z: <https://v2.vuetifyjs.com/>

ZBIROVSKÝ, Jan. *Studijní materiály a přednášky k předmětu Průmysl 4.0* [online]. 2024 [cit.

2026-03-31]. Dostupné z: <https://moodle.vspj.cz/course/view.php?id=203902>

Přílohy

Součástí diplomové práce jsou soubory se zdrojovým kódem dodané elektronicky ve formátu .zip do odevzdáárny.

Příloha A1 Zdrojový kód administračního rozhraní: admin.zip

Příloha A2 Zdrojový kód AI kategorizace: kategorizace.zip

Příloha A3 Zdrojový kód klientské VR aplikace: vrclient.zip

Při přípravě této práce jsem použil nástroje umělé inteligence Google Gemini a Google NotebookLM za účelem revize textů, hledání duplikátů, korekce chyb a při asistovaném programování. Po použití tohoto nástroje jsem provedl kontrolu obsahu a jsem si vědom, že za něj přejímám plnou odpovědnost.