

**UNIVERZITA PARDUBICE KATEDRA  
POLYGRAFIE A FOTOFYZIKY**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

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

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Veronika Kordiovská**

Osobní číslo: **C23240**

Studijní program: **N0531A130013 Polygrafie**

Téma práce: **Posouzení přínosů využití rozšířené reality při vzdělávání v oboru polygrafie**

Zadávající katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

## Zásady pro vypracování

1. S využitím odborné literatury i dalších dostupných informací představte technologii rozšířené reality a zpracujte přehled současných řešení pro její vytváření i využití při vzdělávání se zaměřením na polygrafii.
2. Analyzujte teoretické možnosti i existující příklady využití rozšířené reality při vzdělávání jak obecně, tak konkrétně ve vztahu k oboru polygrafie a jeho multidisciplinárnímu charakteru. Diskutujte výhody a nevýhody využití rozšířené reality ve srovnání s jinými možnostmi řešení.
3. Navrhněte, realizujte a otestujte aplikaci rozšířené reality pro vybraný účel. Výsledky vyhodnoťte.

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

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Markéta Držková, Ph.D.**  
Katedra polygrafie a fotofyziky  
Oponent diplomové práce: **Ing. Jiří Kysela, Ph.D.**  
Katedra informačních technologií  
Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2025**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2025**

L.S.

---

prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.  
děkan

---

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

V Pardubicích dne 19. února 2025

Prohlašuji: Práci s názvem Posouzení přínosů využití rozšířené reality při vzdělávání v oboru polygrafie jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byla jsem seznámena 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 9. května 2025

v.r. Veronika Kordiovská

Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí práce Ing. Markétě Držkové, Ph.D., za její odbornou pomoc a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této diplomové práce.

Dále bych ráda poděkovala doc. Ing. Markovi Bouškovi, Ph.D., za ochotu a čas věnovaný osobní konzultaci ohledně obsluhy přístroje, která byla klíčová pro pochopení jeho funkce a následné zpracování aplikace.

Nakonec bych chtěla poděkovat všem, co se účastnili testování aplikace.

## **ANOTACE:**

Práce se zabývá zhodnocením přínosů rozšířené reality (AR) ve vzdělávání se zaměřením na polygrafii. Představuje koncepty AR a příbuzných technologií, popisuje jejich hardwarové a softwarové nároky, metody implementace, techniky sledování objektů i způsoby interakce. Součástí je přehled potenciálních oblastí využití AR, detailní analýza aplikací ve školství a příklady z polygrafického průmyslu (Koenig & Bauer, Heidelberg) i českých vzdělávacích projektů (Digital Water Lab, ZŠ Ostrov).

Praktická část zahrnuje vývoj AR aplikace pro mobilní zařízení s operačním systémem Android, která krok za krokem provádí obsluhu infračerveného spektrometru Bruker Vertex 70v. Aplikace využívá platformu Unity 6 s rozšířením Vuforia, markerové sledování Multi Target a 3D/2D animace.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** rozšířená realita, polygrafie, vzdělávání, Unity, Vuforia, Android, infračervená spektroskopie

**TITLE:** Assessment of the benefits of using augmented reality in education in the field of graphic arts

## **ANNOTATION:**

This thesis evaluates the benefits of using augmented reality (AR) in education with a focus on the printing industry (graphic arts). It introduces the concepts of AR and related technologies, describing their hardware and software requirements, implementation methods, object-tracking techniques and interaction modalities. It also surveys potential application domains, analyses educational deployments and presents case studies from the printing sector (Koenig & Bauer, Heidelberg) as well as Czech educational initiatives (Digital Water Lab, Primary School in Ostrov).

The practical part includes the development of an AR application for Android mobile devices that guides users through the operation of a Bruker Vertex 70v infrared spectrometer. Built in Unity 6 with the Vuforia extension, the app employs Multi Target marker tracking and 3D/2D animations.

**KEYWORDS:** augmented reality, graphic arts, education, Unity, Vuforia, Android, infrared spectroscopy

# Obsah

ÚVOD.....	11
1. Představení technologie	11
1.1 Virtuální realita .....	11
1.2 Rozšířená realita.....	12
1.3 Příbuzné technologie a terminologie.....	12
2. Technologické nároky	13
2.1 Hardware .....	13
2.1.1 Zobrazovací zařízení a vstupní zařízení.....	13
2.1.2 Rozšiřující zařízení .....	13
2.1.4 Hlavní typy hardwarových prvků a zařízení.....	14
2.1.4 Zařízení určená pro AR a VR .....	15
2.1.6 AR brýle.....	16
2.1.7 VR headset.....	17
2.2 Software .....	17
2.3 Kalibrace .....	18
3. Metody implementace	18
3.1 Sledování a rozpoznávání objektů .....	19
3.1.1 Specifické technologie sledování a rozpoznávání .....	20
3.2 Způsoby interakce s rozšířenou realitou .....	20
4. Prezentace rozšířené reality	21
4.1 Vizualizace.....	21
4.2 Personalizace.....	22
5. Oblasti využití rozšířené reality	22
5.1 Využití rozšířené reality v pedagogice a vzdělávání.....	23
5.1.1 Analýzy využití rozšířené reality ve vzdělávání.....	23
5.1.2 Příklady využití AR ve vzdělávání .....	24
5.2 Možnosti využití rozšířené reality v polygrafii.....	26
5.2.1 Case study .....	26
6. Dostupné aplikace pro tvorbu rozšířené reality	28
6.2 Adobe Aero .....	28
6.3 ARCore .....	29
6.4 AR Foundation.....	29
6.5 Artivive .....	30
6.6 Augment.....	30

6.7	Mixed Reality Toolkit .....	30
6.8	Unity.....	31
6.9	Unreal Engine.....	31
6.10	Vuforia .....	32
6.11	Zappar .....	32
6.12	8th Wall.....	33
6.13	Porovnání .....	33
6.14	Další aplikace pro tvorbu rozšířené reality .....	35
7.	Návrh a realizace aplikace rozšířené reality pro obsluhu přístroje	37
7.1	Modely ve 3D	37
7.2	Software pro tvorbu aplikace	39
7.3	Tvorba obrázků pro sledování a jejich implementace v aplikaci	40
7.4	Tvorba aplikace	43
7.4.1	Hlavní menu .....	43
7.4.2	Přechod do scény rozšířené reality .....	43
7.4.3	Tlačítko Postup měření .....	44
7.4.4	Tlačítko Komponenty přístroje.....	49
7.5	Nastavení aplikace pro cílovou platformu	50
8.	Testování vytvořené aplikace rozšířené reality .....	51
8.1	Výsledky testování .....	51
9.	Závěr.....	55
10.	Použitá literatura	56

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1. Spektrum realit a zprostředkovaných zkušeností

Obrázek 2. Vnitřní schéma přístroje

Obrázek 3. Komponenty přístroje pro AR aplikaci (1 – prostor pro vzorek, 2 – detektor, 3 – elektronika, 4 – pohyblivé zrcadlo, 5 – pevné zrcadlo, 6 – zdroj, 7 – BMS, 8 – optická cesta, 9 – optický systém pro formování paprsku)

Obrázek 4. Model s nastavci a obrysem pro AR aplikaci (1– prostor pro vzorek, 2 – tlačítko pro vyjmutí nastavce, 3 – nastavec pro transmisní měření, 5 – kryt, 4 – nastavec s ATR, 6 – obrys přístroje krystalem)

Obrázek 5. Cílové obrázky vytvořené pomocí programu Adobe Photoshop

Obrázek 6. Hodnocení cílových obrázků vytvořené pomocí programu Adobe Photoshop v platformě Vuforia

Obrázek 7. Cílové obrázky vygenerované pomocí ChatGPT

Obrázek 8. Hodnocení cílových obrázků vygenerovaných pomocí ChatGPT

Obrázek 9. Multi target, kombinovaný cíl (v levé části 3D pohled, v pravé rozložená kostka)

Obrázek 10. Hodnocení pro kombinovaný cíl

Obrázek 11. Hlavní menu vytvořené AR aplikace

Obrázek 12. Nápis „Naskenujte obrázek pro AR“

Obrázek 13. Načtení postupu a modelu přístroje ve vytvořené AR aplikaci

Obrázek 14. Aktivované tlačítko 6 T ve vytvořené AR aplikaci

Obrázek 15. Načtený obrázek pro zobrazení animace programu OPUS ve vytvořené AR aplikaci

Obrázek 16. Ikona znázorňující možnost zobrazení animace v programu OPUS

Obrázek 17. Překrytí komponent přístroje ve vytvořené AR aplikaci

Obrázek 18. Zobrazení informací komponenty zdroje záření ve vytvořené AR aplikaci

Obrázek 19. Ikona vytvořené AR aplikace

Tabulka 1. Porovnání jednotlivých zařízení

Tabulka 2. Technické parametry jednotlivých zařízení

Tabulka 3. Základní porovnání jednotlivých aplikací

Tabulka 4.: Podporované funkce jednotlivých aplikací

Tabulka 5. Funkčnost tlačítek vytvořené AR aplikace

Tabulka 6. Odpovědi respondentů testujících vytvořenou AR aplikaci

# Úvod

Cílem této práce je navrhnout, realizovat a otestovat aplikaci rozšířené reality pro vzdělávání v oblasti polygrafie a vyhodnotit její přínosy. Zároveň se zaměřuje na analýzu možností využití této technologie v kontextu výuky technických oborů. Výběr tohoto tématu je motivován rostoucím významem rozšířené reality (AR) v moderním vzdělávání a snahou o zefektivnění výuky technických oborů.

Problematiku AR v rámci odborné literatury se již věnovali například knihy *Virtual and augmented reality (VR/AR): foundations and methods of extended realities (XR)* [1], *Springer Handbook of Augmented Reality* [2] nebo *Virtual reality* od Stevena M. Lavallo [3]. Přímo o využití AR ve vzdělávání psal již například Carlo H. Godoy Jr v článku *Developing an Augmented Reality-Based Game as a Supplementary tool for SHS-STEM Precalculus to Avoid Math Anxiety* [4]. Kvalifikační práce na téma AR psali již například Kristýna Pospíšilová [5], Markéta Ptáčková [6], Martin Seidl [7] a Adéla Bujárková [8]. Na Mendelově univerzitě v Brně je snaha o zapojení AR do výuky pomocí *Digital Water Lab* [9] a v polygrafii AR zavádějí do procesů například Koenig & Bauer [10] a Heidelberg [11].

V této práci bude nejprve představen koncept rozšířené reality, včetně její definice a technologického základu. Následně budou analyzovány možnosti jejího využití ve vzdělávání. V praktické části práce bude potom tvořena AR aplikace s návodem pro použití stroje pro měření pomocí infračervené spektrometrie.

## 1. Představení technologie

Rozšířená a virtuální realita (VR), jak je psáno v [1, 2], jsou technologie, které propojují skutečný svět s digitálním a integrují digitální prvky pomocí různých zařízení. Reálný svět je v AR obohacen o digitální prvky, zatímco VR vytváří plně simulované prostředí, které uživatele zcela izoluje od reality. Tyto technologie nacházejí využití v oblastech, jako je vzdělávání, zdravotnictví, průmysl, marketing nebo zábava.

### 1.1 Virtuální realita

VR umožňuje uživatelům ponořit se do digitálního prostředí, které může být realistické nebo zcela fiktivní. Pomocí VR headsetu, doplněných ovladači a pohybovými senzory, mohou uživatelé komunikovat s virtuálním prostředím. Mezi typické oblasti aplikace VR patří herní průmysl, simulace nebo tréninkové programy.

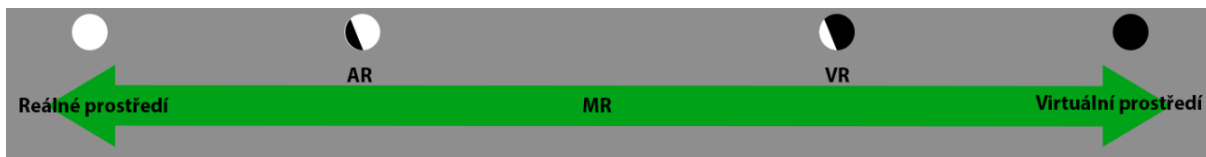
## 1.2 Rozšířená realita

AR je technologie, která přidává digitální informace, jako jsou obrázky, videa nebo 3D modely, do fyzického prostředí prostřednictvím zařízení s potřebným softwarem a hardwarem. Tato technologie se běžně používá prostřednictvím chytrých telefonů, tabletů, brýlí nebo specializovaných AR headsetů vybavených kamerami, senzory a displeji.

## 1.3 Příbuzné technologie a terminologie

Dle [2, kap. 1.2], AR a příbuzné technologie zahrnují mnoho pojmů, které se často překrývají a neustále vyvíjí v závislosti na technologickém pokroku. Tyto pojmy představují spektrum realit a zprostředkovaných zkušeností, znázorněno obrázkem 1, z nichž každá má specifické technologické, smyslové a interaktivní specifika. Termíny, které se používají jsou:

- Smíšená realita (MR) existuje mezi skutečným a virtuálním světem a spojuje prvky obou. Je jako kontinuum mezi skutečným a virtuálním světem.
- X-Reality (XR) je zastřešující termín pro technologie napříč spektrem reality a virtuality, včetně VR, AR a MR. XR, původně konceptualizovaný v 90. letech 20. století k popisu senzorického rozšíření pomocí zobrazování s vysokým dynamickým rozsahem, se nyní liší v definici a použití, zejména v nositelných a mobilních technologiích.
- Zprostředkovaná (mediovaná) realita zahrnuje záměrné i neúmyslné modifikace reality prostřednictvím technologie. Příklady zahrnují zařízení, jako jsou svářečské kukly, které přizpůsobují realitu tak, aby napomáhaly vnímání.
- Augmented Reality je hybridní koncept, kde rozšířená realita zahrnuje významné úpravy skutečného prostředí (např. HDR helmy, které filtrují světlo a zároveň přidávají virtuální obsah).
- Fenomenologická rozšířená realita (PAR) odhaluje skryté fyzikální jevy v reálném světě prostřednictvím augmentace, jako je vizualizace zvuku nebo elektromagnetických vln prostřednictvím specializovaných zařízení.
- Multimediová realita je množina zahrnující AR, VR, MR a zprostředkované reality. Integruje interaktivní multimédia a vytváří multisenzorické a multidimenzionální zážitky, často zahrnující syntetickou synestezii (např. vnímání zvuku jako barvy).
- Humanistická inteligence (HI) je smyčka zpětné vazby mezi lidmi a technologií, kde inteligence vzniká integrací lidských smyslů a fyzických možností se strojovými senzory a akčními členy.
- Vironment je koncept spojující lidské bytosti a prostředí (technologie integrovaná s lidmi), zdůrazňující vztah mezi uživateli, jejich okolím a nositelnými technologiemi.



Obrázek 1. Spektrum realit a zprostředkovaných zkušeností

Jak technologie postupuje, rozdíly mezi AR, MR a VR jsou stále méně významné, což vede k popularizaci termínu XR, který představuje jejich sjednocení [3].

## 2. Technologické nároky

Pro efektivní AR je nutné zajistit vhodné vybavení, které zajistí výpočetní výkon potřebný ke zpracování dat ze senzorů a kamer, a také software, který dokáže pracovat s AR obsahem [1]. V následujících částech jsou popsány potřebná zařízení pro spuštění AR.

### 2.1 Hardware

V knize [1, 2, 3] je uvedeno, že pro spuštění AR aplikací se nejčastěji používají chytré telefony a tablety. Jejich důležitým prvkem jsou kvalitní kamery, které slouží k přesnému snímání okolí, a výkonné procesory. Používají se také AR brýle a headsety. Ty poskytují uživatelům lepší ponoření do AR díky většímu zornému poli a pokročilým senzorům.

#### 2.1.1 Zobrazovací zařízení a vstupní zařízení

Základní charakteristiky a typy zobrazovacích zařízení uvádí [1], tyto zařízení jsou nezbytná pro AR technologie, protože zajišťují vizualizaci digitálního obsahu integrovaného do reálného prostředí. Mezi nejběžnější výstupní a zobrazovací zařízení patří telefony a tablety nebo pokročilá zařízení, jako jsou AR brýle a headsety,

Další skupinou hardwaru pro AR, kterou představuje [1], jsou vstupní zařízení, která umožňují interakci s prostředím a uživatelem. Sbírají informace o okolí a vstupy uživatele pro zobrazování a interakci s AR. Mezi nejběžnější vstupní technologie patří kamery.

#### 2.1.2 Rozšiřující zařízení

Pro rozšíření funkcionality AR aplikací jsou používána periferní zařízení, o nichž je psáno v [2], která zvyšují možnosti interakce a přidávají nové funkce. Tato zařízení mohou být jak vstupní, tak výstupní. Mezi funkce, které rozšiřují patří zpětná vazba pomocí vibrací nebo

tlaku, umožnění manipulace s digitálními objekty a interakce s digitálním prostorem, rozšířené snímání pohybu, zlepšení přesnosti prostorového mapování a také mohou sloužit jako doplňkové ovládací prvky nebo senzory pro sběr dat.

#### **2.1.4 Hlavní typy hardwarových prvků a zařízení**

Chytré telefony a tablety [1] jsou nejrozšířenější zařízení pro AR aplikace díky své široké dostupnosti, výkonným procesorům, kvalitním kamerám a snadnému přenosnému využití. Tato zařízení umožňují jednoduché zobrazování digitálních prvků v reálném prostředí. Využívají se nejen pro zábavní účely, ale také v oblastech, jako je vzdělávání, zdravotnictví nebo marketing. Například v oblasti vzdělávání mohou chytré telefony zprostředkovat interaktivní výuku prostřednictvím AR aplikací.

AR brýle, o kterých je psáno v [1], představují pokročilá zařízení, která nabízejí široké zorné pole a integraci AR obsahu přímo do zorného pole uživatele. Tyto brýle se často využívají v průmyslu pro údržbu a montážní procesy, a ve vzdělávání k simulaci složitých prostředí. Díky pokročilé technologii umožňují uživatelům přímou interakci s digitálním obsahem v reálném světě; tím posouvají hranice běžné AR zkušenosti.

Headsety, jak je psáno v [1] poskytují plné ponoření do AR nebo VR prostředí. Tato zařízení jsou ideální pro simulace, školení a hry, díky tomu nacházejí uplatnění v profesním i zábavním sektoru. Nabízejí přesné sledování pohybu, prostorovou interakci a kvalitní vizuální zážitek; to je dělá vhodnými pro pokročilé tréninky.

Podle [2], kamery pro snímání pohybu, sledují pohyby uživatele a jeho okolního prostředí; tím umožňují plynulou interakci s virtuálními prvky. Infračervené kamery pak zajišťují přesné mapování prostorových dat; to je nezbytné pro aplikace, jako je robotika nebo autonomní systémy.

V [12] je psáno, že LIDAR (Light Detection And Ranging) senzory umožňují mapování okolního prostředí pomocí laserové technologie. Tyto senzory zlepšují umístění a stabilitu digitálních objektů v AR prostředí, to je klíčové pro aplikace vyžadující precizní prostorové uspořádání, jako je interiérový design nebo architektura.

Dotykové ovladače umožňují manipulaci s objekty v AR/VR prostoru pomocí gest a pohybů a jsou především používány v herním průmyslu, ale nacházejí uplatnění i ve vzdělávacích simulacích a profesním tréninku, kde je potřeba přesná interakce s virtuálními modely [1].

Mikrofony [1] zajišťují hlasové ovládání AR aplikací nebo analýzu zvukového prostředí. Tímto způsobem umožňují intuitivnější interakci s uživatelem a přizpůsobení obsahu podle kontextu, například v hlasově ovládaných asistentech.

Haptická zařízení [13] přinášejí do AR interakci pomocí zpětné vazby v podobě vibrací nebo tlaku; například rukavice s haptickou technologií umožňují uživateli cítit digitální objekty [1].

Akcelerometry a gyroskopy, integrované do většiny chytrých zařízení, zajišťují přesné sledování pohybu a orientace; tyto senzory jsou klíčové pro stabilní zobrazení AR obsahu a našly široké uplatnění v mobilních aplikacích, hrách a průmyslových aplikacích [14].

Oční trackery sledují pohyby očí uživatele; to umožňuje intuitivní ovládání AR aplikací [15].

Chytré hodinky a náramky [16] slouží jako doplňkové ovládací prvky nebo senzory pro sběr biometrických dat. Mohou obohatit AR aplikace o personalizované funkce, například monitorování zdraví uživatele během sportovních aktivit nebo interakci s AR obsahem na základě uživatelské fyzické aktivity.

#### 2.1.4 Zařízení určená pro AR a VR

Pro spuštění AR lze využívat mnoho zařízení, z nichž každé nabízí funkce přizpůsobené konkrétním aplikacím. Níže je v abecedním řazení uveden přehled několika významných zařízení, která lze použít pro spuštění AR, a jejich porovnání (tabulka 1 a 2). Zařízení v této kapitole byla vybraná podle popularity dle stránky vr-compare.com [17, 18].

Tabulka 1. Porovnání jednotlivých zařízení [17, 18]

	Výrobce	Potřebné zařízení pro spuštění	Metody sledování				Zvuk		Kamery umožňující AR
			Body	Hand	Face	Eye	Mikrofon	Reproduktory	
AR brýle									
Asus AirVision M1	Asus	PC	x	x	x	x	✓	Integrované	
Magic Leap 2	Magic Leap	Samostatné	x	✓	x	✓	x	Integrované	
TCL RayNeo X2	TCL	Samostatné	x	x	x	x	✓	Integrované	
Viture Pro	Viture	Mobil	x	x	x	x	x	Integrované	
Xreal Air 2 Ultra	Xreal	Mobil	x	✓	x	x	✓	Integrované	
VR headset									
HP Reverb G2	HP	PC	x	x	x	x	✓	Stereofonní	Tracking
Meta Quest 3	Meta	Samostatné	✓	✓	x	x	✓	Integrované	Dedikované
Pico 4 Ultra	Pico	Samostatné	x	✓	x	x	✓	Integrované	Dedikované
Pimax Crystal Super	Pimax	PC	x	x	x	✓	✓	Integrované	Tracking

Tabulka 2. Technické parametry jednotlivých zařízení [17, 18]

	Orientační cena	Procesor	Frekvence	Rozlišení
<b>AR brýle</b>				
Asus AirVision M1	\$699	AMD Quad-core Zen2 x86 CPU Qualcomm Snapdragon XR2	72 Hz	1920 × 1080
Magic Leap 2	\$3299 s ovladači		1440 × 1760	
TCL RayNeo X2				
Viture Pro	\$459		120 Hz	1920 × 1080
Xreal Air 2 Ultra	\$699		120 Hz	1920 × 1080
<b>VR headset</b>				
HP Reverb G2	\$599 s ovladači	Qualcomm Snapdragon XR2 Gen 2	90 Hz	2160 × 2160
Meta Quest 3	\$499 s ovladači		120 Hz	2064 × 2208
Pico 4 Ultra			90 Hz	2160 × 2160
Pimax Crystal Super	\$1791 s ovladači		100 Hz	3840 × 3840

### 2.1.6 AR brýle

Asus AirVision M1 [19] je prvním AR headsetem Asus. Váží 87 g, nabízí rozlišení 1920 × 1080 a obnovovací frekvenci 72 Hz. Zařízení vyžaduje připojení k počítači. Obsahuje doprovodnou aplikaci pro vytváření více virtuálních obrazovek.

Magic Leap 2 [20] je druhým AR headsetem Magic Leap. Jedná se o samostatné zařízení s horizontálním zorným polem 44° a nevyžaduje externí zařízení, ale spoléhá se na externí výpočetní jednotku prodávanou s náhlavní soupravou. Zařízení obsahuje jeden ovladač. Je o polovinu menší a o 20 % lehčí než Magic Leap 1 a nabízí vylepšenou kvalitu barev, textu a obrazu.

TCL RayNeo X2 [21] je třetí náhlavní soupravou TCL pro AR. Jedná se o samostatné zařízení, které nevyžaduje PC ani externí zařízení. Náhlavní souprava je vybavena dvěma displeji pro binokulární AR obsah a je poháněna integrovaným čipsetem Snapdragon XR2, který umožňuje mapování a překlad textu a mluvené řeči v reálném čase. Prodává se bez ovladačů.

Viture Pro [22] je třetí náhlavní soupravou Viture pro AR. Váží 77 g a nabízí duální 1080p displeje s frekvencí 120 Hz, umožňuje nastavením krátkozrakosti. K použití vyžaduje telefonní připojení a prodává se bez ovladačů. Brýle mají hliníkovou konstrukci s titanovými panty pro zvýšenou odolnost.

Xreal Air 2 Ultra [23] je třetí náhlavní soupravou Xreal AR, která staví na původním Xreal 2 s pokročilými funkcemi, jako je integrované sledování rukou pomocí dvou kamer. Váží 80 g a poskytuje rozlišení 1920 × 1080 a obnovovací frekvenci 120 Hz, nevyžaduje žádné externí zařízení ani ovladače. Nabízí rozpoznávání gest rukou a schopnost vytvářet hloubkovou síť prostředí.

### 2.1.7 VR headset

HP Reverb G2 [24] vydaný v roce 2020, je VR headsetem od společnosti HP. K použití vyžaduje připojení k počítači a vyznačuje se vysokým rozlišením. Je dodáván se dvěma ovladači, přepracovanými tak, aby připomínaly ovladače Oculus. Jedná se o první náhlavní soupravu Windows Mixed Reality, která obsahuje čtyři sledovací kamery.

Meta Quest 3 [25] je druhým VR headsetem Meta a nástupcem Meta Quest 2, vydaný roku 2023. Jedná se o samostatné zařízení a vyznačuje se vysokým rozlišením a obnovovací frekvencí 120 Hz. Náhlavní souprava je dodávána se dvěma ovladači a obsahuje optiku pro štíhlejší profil. Lze jej také připojit k PC prostřednictvím USB kabelu pomocí funkce Oculus Link, nebo bezdrátově přes AirLink či Virtual Desktop. Tato možnost umožňuje uživatelům přístup k desktopové verzi Oculus.

Pico 4 Ultra [26], uvedený na trh v srpnu 2024, představuje již patnáctou generaci VR headsetů od společnosti Pico. Navržen jako samostatné zařízení, nevyžaduje připojení k počítači ani externí základnové stanice a nabízí kompaktní ovladače. Headset má rozlišení  $2160 \times 2160$  a integruje pokročilé průchozí kamery, které umožňují vysoce realistické zážitky v rozšířené realitě. Navíc poskytuje prostorové snímání videa.

Pimax Crystal Super [27], oznámený v dubnu 2024, je dvanáctým VR headsetem značky Pimax. Rozlišení zařízení je  $3840 \times 3840$ , obnovovací frekvencí 100 Hz a zorným polem  $120^\circ$ . Ovládání zajišťují dva ovladače, přičemž headset nepotřebuje externí základnové stanice. Unikátní vlastností tohoto modelu je vyměnitelný optický systém, který lze měnit jako modul. Oproti původní verzi Pimax Crystal postrádá samostatnou funkci, což vedlo ke snížení hmotnosti, ale zároveň vyžaduje neustálé připojení k PC.

## 2.2 Software

Software [2] pro tvorbu AR poskytují základní rámec pro vývoj AR aplikací. Tyto nástroje umožňují správu sledování objektů, mapování prostředí a vykreslování digitálního obsahu; tím zjednodušují proces tvorby a použití AR. Vývoj AR aplikací také probíhá v herních enginech (prostředky pro vývoj počítačových her), které nabízejí komplexní nástroje pro vytváření interaktivních a vysoce kvalitních AR zážitků. Klíčovou roli zde hraje také podpora rozhraní pro programování aplikací, která umožňuje integraci specifických funkcí, jako je Multi target tracking (viz. 3.1.1) nebo prostorový odhad hloubky. Konkrétní příklady systémů pro tvorbu AR jsou uvedeny v kapitole 6.

## 2.3 Kalibrace

Dle [1] je kalibrace AR zařízení klíčovým procesem, který zajišťuje přesné fungování AR. Cílem kalibrace je kombinovat digitální prvky s reálným prostředím tak, aby byly správně umístěny a pohybovaly se společně s pohledem a zařízením uživatele. Tento proces zahrnuje úpravu nastavení a korekci hardwarových i softwarových komponent, jako jsou kamery, senzory a displeje, aby byla zajištěna bezproblémová a přesná funkce pro co nejvíce přirozený zážitek.

Kalibrace zahrnuje několik kroků. Prvním krokem je kalibrace kamerového systému [2], která zajistí přesnou interpretaci obrazu reálného prostředí. To zahrnuje úpravu parametrů fotoaparátu, jako je ohnisková vzdálenost, zkreslení objektivu a perspektiva. Kalibrace kamery je nutná k tomu, aby AR zařízení přesně mapovalo a interpretovalo prostorové informace ze svého okolí.

Dalším krokem je kalibrace senzorů [28], které sledují pohyb a orientaci zařízení. Tato kalibrace je nezbytná pro to, aby AR zařízení správně sledovalo svou polohu v prostoru a schopnost stabilně umisťovat digitální objekty ve fyzickém prostředí. Proces zahrnuje testování a ladění odezvy těchto senzorů tak, aby zařízení mohlo správně reagovat na pohyb uživatele.

Kalibrace displejů [2], je důležitá zejména u AR brýlí a headsetů. Tento krok zahrnuje zarovnání polohy digitálních prvků se zorným polem uživatele. Zajišťuje, že předměty zůstanou ve správné poloze i při změně úhlu pohledu. Některá zařízení vyžadují individuální nastavení pro každého uživatele, která se využívá pro vnímání hloubky.

Dle [29] kalibrační proces může také zahrnuje ladění softwaru, kde se používají algoritmy pro rozpoznávání a sledování obrazu, detekci značek nebo sledování prostředí. Kalibrační software může zahrnovat manuální i automatizované postupy, jako je testování přesnosti polohy digitálních objektů pomocí referenčních bodů nebo vzorců.

## 3. Metody implementace

V současnosti existuje několik metod implementace AR technologie. Lze je rozdělit podle toho, jestli potřebují využívat speciální značky (markery). Hlavní charakteristiky obou skupin uvádí [2]:

- Rozšířená realita založená na značkách (marker-based AR) využívá obvykle tištěné obrázky nebo vzory, které slouží jako spouštěče pro překrytí digitálního obsahu nebo virtuálních prvků na tištěném materiálu. Tato technologie funguje prostřednictvím kompatibilních programů, které tyto značky rozpoznají a použijí jako referenční body. Výsledkem je, že uživatelé vidí obsah doplněný o další informace, animace nebo

interaktivní prvky. Tento přístup obohacuje zapojení uživatele tím, že poskytuje doplňkový obsah nad rámec reálného světa.

Rozšířená realita založená na značkách lze rozdělit na aktivní a pasivní. Aktivní značky mohou emitovat signály nebo obsahovat elektronické komponenty, které usnadňují jejich detekci a sledování. Pasivní značky jsou tištěné nebo statické obrázky bez elektronických prvků, které zařízení rozpoznává pomocí vizuální analýzy.

Značky byly široce používány v raných aplikacích AR a dodnes se používají kvůli jejich jednoduchosti, protože je lze snadno vytisknout a použít pro odhad pozice kamery s minimálním nastavením. Nyní jsou však považovány za rušivé a omezující, protože jejich účinnost závisí na viditelnosti značky a jejich přesnost se snižuje při pohledu z dálky nebo z mělkých úhlů.

- Druhá skupina AR systémů žádné specifické vizuální značky nevyžaduje (markerless AR). Místo toho používá alternativní metody, například rozpoznávání objektů a okolního prostředí. Díky tomu mohou uživatelé získávat přístup k digitálním rozšířením, jako jsou další informace, pouhým zaměřením kamery zařízení bez nutnosti přítomnosti předem definovaných markerů. Bezznačková AR tímto rozšiřuje možnosti integrace digitálního obsahu a nabízí intuitivnější a plynulejší uživatelský zážitek.

Podle [30] implementace AR založená na rozpoznávání objektů zahrnuje použití algoritmů počítačového vidění k identifikaci a sledování konkrétních objektů nebo vzorů v reálném světě a následnému překrytí digitálního obsahu na tyto objekty prostřednictvím kompatibilního zařízení.

Geolokační AR, jak je popsána v [31], je typ AR, který integruje digitální informace nebo virtuální prvky s reálným prostředím uživatele na základě jeho polohy. Tato technologie využívá GPS nebo podobné systémy sledování polohy k určení polohy a orientace uživatele. Díky těmto informacím mohou geolokační AR aplikace překrývat relevantní digitální obsah, například informace spojené s konkrétní lokalitou, směrové pokyny nebo zajímavá místa.

### **3.1 Sledování a rozpoznávání objektů**

Sledování a rozpoznávání objektů, o kterých je psáno v [2], jsou klíčové technologie, které umožňují integraci digitálního obsahu s fyzickým světem. Tyto metody umožňují AR aplikacím identifikovat objekty, obrázky nebo oblasti, i jejich polohu a orientaci, a reagovat na ně interaktivním způsobem. Rozpoznávání objektů zahrnuje analýzu dat z kamer nebo senzorů zařízení a propojení těchto dat s předem definovanými digitálními modely nebo vzory. Sledování pak umožňuje udržovat digitální obsah přesně zarovnaný s fyzickými objekty, i když se uživatel pohybuje.

### 3.1.1 Specifické technologie sledování a rozpoznávání

Často používané jsou technologie, které umožňují AR aplikacím rozpoznávat a sledovat statické obrázky, jako jsou plakáty, fotografie nebo učební materiály (image tracking), a zobrazit k nim navázaný interaktivní obsah, jako jsou animace, videa nebo 3D modely. Například Vuforia Image Targets [32] jsou využívány pro rozpoznávání a vylepšování tištěných médií, obalů produktů a marketingových materiálů, stejně jako pro hraní her a vizualizaci produktů.

Aplikace rozšířené reality vytvořené pomocí Vuforia Model Targets [33] využívají rozpoznávání zvolených 3D objektů. Na základě předem vytvořených 3D digitálních modelů může AR aplikace identifikovat objekt reálného světa a zobrazit na něm nebo kolem něj relevantní digitální obsah. To vyžaduje, aby uživatel umístil své zařízení pod určitým úhlem a vzdáleností vzhledem k objektu, aby bylo možné zahájit sledování.

V AR aplikacích je možné využívat i současné sledování více objektů v reálném čase (Multi target tracking). Vuforia Multi Target [33] umožňuje, že sada více obrazových cílů uspořádaných do definované geometrické struktury, lze sledovat a detekovat v 360°, což je užitečné pro marketing, balení a výukové aplikace.

Aplikace rozšířené reality mohou rozpoznávat a sledovat i reálné prostory, jako jsou místnosti nebo budovy. Platforma Vuforia umožňuje pracovat s prostředím pomocí Area Targets [34]. Tato technologie využívá mapování prostředí vytvořené pomocí 3D skenerů, například se senzory LiDAR. Po vytvoření digitální mapy lze obsah zobrazit v AR přesně na daných místech v prostoru. Area Targets jsou užitečné například při vytváření interaktivních prohlídek muzeí, navigačních systémů nebo výukových simulací, kde mohou studenti pracovat s AR obsahem v realistickém prostředí, konkrétní příklad lze nalézt v kap. 5.

Ground Plane [35] týká detekovaného vodorovného povrchu, jako je podlaha nebo stůl, kam lze umístit virtuální objekty a interagovat s nimi. Tato schopnost umožňuje aplikace, jako je vizualizace domácího nábytku, recenze návrhů a pohlcující herní zážitky. Technologie, jako je funkce Ground Plane společnosti Vuforia, umožňují vývojářům ukotvit digitální obsah na tyto povrchy a zlepšit tak integraci virtuálních prvků do prostředí reálného světa.

## 3.2 Způsoby interakce s rozšířenou realitou

Dle [1] pro interakce s AR jsou k dispozici různé metody, které uživatelům umožňují ovládat digitální obsah integrovaný do reálného světa a manipulovat s ním. Tyto metody se liší svou povahou a použitím.

Dotyk je jednou z nejběžnějších interakčních metod. Uživatelé mohou s AR objekty manipulovat prostřednictvím dotykových obrazovek, například je přesouvat, otáčet nebo

měnit jejich velikost. Tato metoda je intuitivní a široce dostupná díky rozšiřování dotykových zařízení.

Gesta a pohyby jsou pokročilejší formou interakce. Moderní AR systémy dokážou rozpoznat gesta rukou nebo pohyby těla; to umožňuje přirozenější a intuitivnější interakci s virtuálními objekty. Tato metoda je užitečná zejména v aplikacích, kde je vyžadováno ovládání bez dotyku používaného zobrazovacího zařízení, například pro headsety.

Hlasové příkazy jsou další metodou ovládání podporovanou některými AR aplikacemi. Tato technologie umožňuje uživatelům ovládat AR obsah pomocí slov a frází; to je užitečné zejména v situacích, kdy mají zaneprázdněné ruce.

Eye tracking je metoda interakce, která k ovládání AR obsahu využívá sledování očí. Uživatel může pohledem například vybrat objekt nebo zahájit akci; to zvyšuje efektivitu interakce.

Fyzické ovládací prvky, jako jsou speciální ovladače nebo rukavice, nabízejí přesnější kontrolu nad virtuálními objekty a poskytují zpětnou vazbu. Tyto prostředky se často používají v pokročilých AR aplikacích, jako jsou virtuální simulace nebo hry.

## **4. Prezentace rozšířené reality**

### **4.1 Vizualizace**

Vizualizace obecně označuje prezentaci informací nebo dat vizuální formou, která napomáhá pochopení, analýze a komunikaci [36]. Existuje několik forem vizualizace, například 2D grafika, 3D vizualizace nebo animace.

Pokročilá grafika zahrnuje použití vizuálně atraktivních prvků, jako jsou obrázky s vysokým rozlišením, detailní grafy nebo designové prvky, které umožňují efektivnější předání informací [36]. Infografiky jsou vizuální reprezentace dat, informací nebo znalostí, které kombinují text, obrázky a grafiku, aby předložily složité informace jasně, stručně a vizuálně přitažlivě [36]. Často se používají k usnadnění pochopení složitých konceptů, zvýraznění trendů nebo efektivnímu předání klíčových poznatků.

Vizualizace pomocí 3D [37] využívá k reprezentaci objektů trojrozměrné modely; to uživatelům umožňuje s nimi interagovat. Animace přidává těmto modelům pohyb a dynamiku, čímž zvyšuje zapojení uživatele a usnadňuje porozumění procesů.

To vše lze využít i ve formě AR, od statické 2D vizualizace až po dynamický a plně interaktivní prostorový obsah. V případě 3D vizualizace se využívá prostorové sledování a rozpoznávání gest k interakci více způsoby, např. manipulace v prostoru, škálování, otáčení a modifikace objektů.

## 4.2 Personalizace

Jak uvádí práce [38], personalizace znamená přizpůsobení produktů a služeb, aby odpovídaly potřebám, preferencím a charakteristikám jednotlivých uživatelů. V digitálních médiích a marketingu personalizace zahrnuje poskytování obsahu uživatelům na základě jejich zájmů, chování nebo demografických údajů. To může zahrnovat generovaný obsah webových stránek, personalizovaná doporučení produktů nebo sestavování zpravodajských kanálů na míru. To vyžaduje shromažďování údajů o uživateli za účelem vytvoření profilu, který zachycuje jeho preference a chování. Tyto informace se používají k poskytování personalizovaných zážitků a doporučení na základě historie a preferencí uživatele, a také k zacílení reklam dle zájmů, demografie nebo historie prohlížení jednotlivých uživatelů. Díky tomu se zvyšuje relevance a efektivita reklam.

Personalizace v AR umožňuje přizpůsobení obsahu uživatelům na základě jejich preferencí, chování nebo fyzických charakteristik. Například dynamická reklama v AR zobrazující produkty na základě uživatelských preferencí nebo historie nákupů nebo mohou přizpůsobit obsah podle úrovně znalostí studenta.

## 5. Oblasti využití rozšířené reality

Podle [39] AR nachází široké uplatnění v různých oblastech. V interaktivních časopisech a novinách mohou vydavatelé využít AR k obohacení obsahu. Čtenáři mohou skenovat tištěné obrázky nebo články pomocí telefonu či tabletu a odemknout další digitální obsah, jako jsou videa, animace nebo interaktivní infografiky, čímž se zážitek ze čtení stává víc interaktivní. Někteří vydavatelé zařadili AR technologii i do tištěných knih, aby vytvořili interaktivní a vzdělávací zážitky. Čtenáři mohou s AR zařízením skenovat stránky a přistupovat k doplňkovému digitálnímu obsahu, jako jsou například 3D modely, zvuk, kvízy a AR hry; to přispívá k lepšímu pochopení a zapamatování materiálu.

Dalším typem tiskovin, kterým se práce [39] zabývá, jsou reklamní materiály. Ty využívají AR pro zvýšení zájmu a zapojení potenciálního zákazníka. Firmy mohou díky AR vytvořit zapamatovatelné interakce se značkou. Po spuštění AR kompatibilním zařízením mohou zákazníci zažít interaktivní produktové demonstrace a virtuální vyzkoušení produktů nebo získat speciální nabídky.

Práce [39] se také zabývá využitím v oblasti umění a designu muzea a galerie začaly používat AR v tištěných výstavních katalogích a průvodcích, aby návštěvníkům poskytly další kontext, multimediální obsah a interaktivní zážitky. Skenováním tištěných obrazů nebo uměleckých děl AR zařízením mohou návštěvníci získat přístup k rozhovorům s umělci, zákulisním videím, interaktivním komentářům a 3D vizualizacím. To obohacuje jejich porozumění

a ocenění vystavených děl. Dále někteří umělci začali integrovat AR do svého umění; to znamená, že přes dílo po jeho naskenování je vidět digitální vrstva.

## **5.1 Využití rozšířené reality v pedagogice a vzdělávání**

Jako nástroj ve vzdělávání, AR nabízí potenciál zlepšit tradiční metody učení prostřednictvím pohlcujících, interaktivních a personalizovaných zážitků [40]. Díky dynamickému obsahu AR zapojuje studenty a činí abstraktní koncepty hmatatelnějšími a přístupnějšími. Například usnadňuje vizualizaci matematických úkonů; to zlepšuje porozumění a zapamatování učiva [41].

Studenti mohou aplikovat teoretické znalosti v simulovaných scénářích reálného světa, což je zvláště výhodné v technických oborech, jako je strojírenství, medicína a polygrafický průmysl, kde je praktická aplikace rozhodující [40]. Kromě toho AR přizpůsobuje vzdělávací obsah individuálním stylům a tempům učení; tím zvyšuje efektivitu výuky, zejména v různých třídách [4].

Také podporuje kolaborativní učení tím, že umožňuje studentům komunikovat mezi sebou a se vzdělávacím obsahem současně, a to i ze vzdálených míst; tato funkce se ukázala jako neocenitelná během globálních narušení, jako je pandemie COVID-19, což zdůrazňuje potřebu odolných a flexibilních nástrojů pro učení [41]. Navíc zlepšuje odborné a technické vzdělání simulací procesů a strojních operací, eliminací rizik a snížením nákladů, a tím zlepšuje bezpečnost a dostupnost pro studenty [40].

### **5.1.1 Analýzy využití rozšířené reality ve vzdělávání**

Podle analýzy [42] studium AR ve vysokoškolském vzdělávání zaznamenalo v posledních dvou desetiletích významný růst. Studie byla omezena, spoléháním se pouze na databázi Scopus a vyloučením neanglických publikací a publikací založených na knihách.

Zpočátku byl výzkum využití AR ve vysokoškolském vzdělávání omezený; první zmínka se objevila v databázi Scopus v roce 2002, reprezentovaná pouze jedním článkem. Do roku 2016 zůstával počet publikací na toto téma relativně nízký, nepřesahoval 25 ročně. Od roku 2016 došlo k výraznému nárůstu vědecké pozornosti a počet publikací zabývajících se AR ve vysokoškolském vzdělávání výrazně vzrostl.

Výstupem výzkumu je zjištění, že 53,2 % bylo publikováno v akademických časopisech a 46,8 % ve sbornících z konferencí. Lze vidět rostoucí akademický zájem o potenciál AR v rámci vysokoškolského vzdělávání, navzdory počátečnímu nedostatku průzkumu v prvních letech. Geograficky pochází většina příspěvků ze Spojených států, Španělska, Spojeného království, Německa, Malajsie a Číny.

Bibliometrická analýza 730 článků odhalila významné trendy v používání klíčových slov souvisejících s AR ve vysokoškolském vzdělávání. Klíčová slova byla rozdělena do tří významných tematických skupin. První skupina se zaměřila na technologické aspekty samotné AR, druhá na vzdělávací proces a jeho zainteresované strany a třetí na nástroje a technologie pro implementaci AR.

Analýza zdůraznila hodnotu AR jako transformačního nástroje ve vysokoškolském vzdělávání, schopného zlepšit zkušenosti s učením, zvýšit angažovanost a usnadnit komplexní řešení problémů. Zdůraznila schopnost AR vytvářet pohlcující vzdělávací prostředí, podporovat gamifikaci a distanční vzdělávání a nabízet interaktivní vzdělávací nástroje. Navzdory výhodám studie uznala problémy v implementaci AR, včetně technických, finančních a logistických překážek, a navrhla, aby akademické instituce dále zkoumaly její integraci.

Studie také identifikovala klíčové trendy, jako jsou převládající aplikace AR v inženýrském a lékařském vzdělávání, a zároveň zaznamenala rostoucí výzkum AR v širších vzdělávacích kontextech.

### **5.1.2 Příklady využití AR ve vzdělávání**

#### **Vizualizace technických komponent**

V práci [43] se píše o využití AR s aplikací Blippar v praktické přípravě budoucích strojních inženýrů. Ve výuce strojního inženýrství byla použita k interaktivní vizualizaci technických komponent, kde studenti mohou prostřednictvím AR prozkoumávat 3D modely strojních součástí, což usnadňuje pochopení jejich struktury a funkce. Dále umožňuje simulaci mechanických procesů; to studentům poskytuje praktické zkušenosti bez nutnosti fyzické přítomnosti v laboratoři. Navíc AR podporuje prostorovou představivost, díky níž mohou studenti lépe porozumět prostorovým vztahům mezi jednotlivými komponentami a jejich pohybům v rámci mechanismů.

#### **ChemApp**

Dalším příkladem využití AR ve vzdělávání je aplikace ChemApp [44], která byla vyvinuta za účelem zlepšení pochopení abstraktních chemických konceptů. Tato aplikace umožňuje studentům prozkoumávat chemické reakce a struktury molekul prostřednictvím interaktivních 3D modelů, což významně podporuje vizuální učení. Například studenti mohou sledovat dynamické procesy, jako je vznik molekulových vazeb, rozklad sloučenin nebo simulace reakcí v reálném čase, a tím si lépe osvojí složité principy chemie.

Aplikace ChemApp [44] se také zaměřuje na mikroúroveň chemických procesů, která je obvykle obtížně představitelná. Studenti mohou díky AR sledovat, jak molekuly interagují na

atomární úrovni, to má usnadnit pochopení mechanismů reakcí, jako je katalýza nebo tvorba iontových vazeb. Tato vizualizace by měla přispět k hlubšímu porozumění látky a poskytuje možnost experimentovat v bezpečném virtuálním prostředí, kde nehrozí riziko výbuchů nebo vystavení nebezpečným látkám.

### **Využití AR ve výuce chemie na základní škole**

Studie [5] uvádí, že při zavedení výuky chemie s využitím aplikací VividBooks obsahujících animace společně s prvky AR, žáci ocenili zábavnou formu výuky, srozumitelnost animací a lepší zapamatování učiva, zejména u témat souvisejících s mikrosvětlem. Na začátku někteří žáci vnímali animace jako zbytečné, zejména u pokusů, které bylo možné provést i reálně. Postupem času se jejich přístup změnil a animace začali více vnímat jako užitečné. Nejčastější výtkou bylo, že doprovodné texty byly příliš dlouhé a nesrozumitelné, přičemž by žáci preferovali jejich nahrazení mluveným komentářem. Asistenti pedagoga hodnotili využití animací pozitivně, přičemž zaznamenali větší soustředění a samostatnost žáků ve srovnání s běžnou výukou. Celkově studie zjistila, že pravidelné zařazování AR animací do výuky chemie podporuje aktivní učení, zvyšuje zapamatování a pomáhá žákům lépe pochopit abstraktní koncepty.

### **Škoda Auto – údržba a školení**

Společnost Škoda Auto [45] testuje používání brýlí HoloLens AR pro zlepšení údržby strojů, servisu a provozu výrobní linky. Tyto brýle promítají do zorného pole technika holografické obrázky manuálů, kontrolních seznamů údržby a technických dokumentů. Brýle pro AR také obsahují video tutoriály, to snižuje závislost na rozsáhlých příručkách. Integrované kamery a projektory překrývají virtuální obsah do reálného prostředí a poskytují intuitivní nástroj pro technické operace. Umožňují také spolupráci v reálném čase prostřednictvím videohovorů a umožňují technikům konzultovat na dálku s kolegy.

Dle [45] tato technologie zefektivňuje údržbu tím, že krok za krokem poskytuje pokyny dostupné prostřednictvím QR kódů na strojích. Tento hands-free přístup minimalizuje chyby, urychluje procesy a zvyšuje bezpečnost. Technici mohou komunikovat s holografickým rozhraním a označovat dokončené úkoly gesty rukou.

V lednu 2024 Škoda Auto [46] otevřela nové Centrum virtuálního vývoje v Mladé Boleslavi. Toto pracoviště využívá prvky virtuální a rozšířené reality k urychlení a zefektivnění vývoje nových vozů. Součástí centra jsou například sály pro vývoj externích ploch, studia pro práci s virtuální realitou v kombinaci s fyzickými prototypy vozů a prostory pro testování uživatelské zkušenosti v automobilech.

## 5.2 Možnosti využití rozšířené reality v polygrafii

Technologie AR nabízí možnosti pro vizualizaci a simulaci složitých procesů v polygrafii. Studenti mohou například pomocí AR sledovat virtuální simulaci fungování tiskového stroje, aniž by museli být fyzicky přítomni v tiskárně. Také umožňuje náhled finálních produktů v reálném prostředí; to se hodí zejména při navrhování obalů nebo marketingových materiálů.

Využitím AR v oblasti polygrafie se studenti mohou seznámit s praktickými aspekty oboru ještě před vstupem do reálného pracovního prostředí. Vzdělávání je obohaceno o praktický rozměr, který zvyšuje připravenost studentů na budoucí život.

### 5.2.1 Case study

#### **Koenig & Bauer**

Výrobce Koenig & Bauer integroval AR do svých řešení údržby prostřednictvím svého systému vzdálené podpory AR-DataGlass. Dle [10], tato technologie zvyšuje efektivitu odstraňování problémů a údržby, pomáhá minimalizovat prostoje tiskového stroje a zvyšuje produktivitu.

Při vzdálené podpoře s využitím AR-DataGlass mohou servisní specialisté přesně vidět, co technici na místě pozorují v reálném čase, což umožňuje pokyny krok za krokem a okamžité řešení problémů. Tento systém vzdálené údržby dokáže vyřešit více než 80 % servisních hovorů, aniž by vyžadoval osobní návštěvu servisního specialisty. Výsledkem je rychlejší diagnostika problémů, snížené provozní náklady a zvýšená doba provozuschopnosti flexografických strojů.

#### **Heidelberg**

Dle materiálů společnosti [47] z roku 2018 je Heidelberg průkopníkem v integraci digitální transformace do odborného vzdělávání. Společnost spustila Future Workshop, aby ponořila učně do nejmodernějších digitálních metod, včetně AR a VR. Učni používají AR nástroje k orientaci v údržbě a opravě. Iniciativa podporuje rozvoj kvalifikovaných, adaptabilních zaměstnanců vybavených pro dynamická, technologiemi řízená prostředí. Nejnovější zmínky o využití AR při tréninku jsou z roku 2020 [48].

Společnost Heidelberger [11] integruje AR také do své strategie digitální transformace využitím svého softwarového ekosystému COSIMA, TopicPilot, View2Connect a REFLEKT ONE. Prostřednictvím těchto nástrojů společnost Heidelberg vylepšuje průmyslovou dokumentaci, procesy údržby a správu náhradních dílů pomocí 3D pokynů a interaktivních příruček založených na AR. Integrace umožňuje servisním technikům přistupovat k postupům údržby v reálném čase. Propojením View2Connect s platformou REFLEKT ONE AR

společnost zlepšuje uživatelskou zkušenost tím, že poskytuje instrukce vylepšené AR, což umožňuje efektivnější servis strojů. Ve spolupráci s DOCUFY společnost Heidelberg pokračuje v rozšiřování svých možností AR a posiluje svou roli tím, že zajišťuje inteligentní, mobilní a perspektivní řešení průmyslové dokumentace a podpory.

### **Studie účinnosti výuky pomocí VR**

Příkladem využití virtuální reality (VR) ve vzdělávání v oboru polygrafie je aplikace vyvinutá pro výuku obsluhy elektrofotografických tiskových strojů, kterou představuje studie [49]. Tato aplikace kombinuje tradiční metody výuky s VR simulacemi, což umožňuje studentům získat praktické zkušenosti v bezpečném a kontrolovaném prostředí. Studenti mohou prostřednictvím VR interagovat s detailními 3D modely tiskových strojů, procvičovat specifické operace, jako je výměna toneru, nakládání papíru a výměna nabíjecích jednotek, a získávat okamžitou zpětnou vazbu o správnosti svých postupů.

Dle [49] výsledky experimentální výuky, která zahrnovala 24 studentů oboru digitální tisk, ukázaly, že kombinace VR a praktického tréninku zlepšila efektivitu učení v porovnání s tradičními metodami. Studenti, kteří se učili prostřednictvím VR, vykazovali vyšší úroveň zájmu, nižší míru stresu a lepší porozumění dané problematice. Dotazník zjistil, že více studentů ve skupině využívající VR hodnotilo výuku jako zajímavou a snadno pochopitelnou, a zároveň prokazovali nižší míru chyb v praktických úlohách.

## **5.3 Zavádění AR výuky ve školství**

### **Základní škola Ostrov a projekt rozšířené reality ve výuce**

Základní škola Ostrov Masarykova [50] je nositelem projektu Metoda AR ve výuce na základních školách, jehož cílem je propagace a integrace inovativních AR a VR technologií do vzdělávání. Projekt se zaměřuje na šíření příkladů dobré praxe a podporu pedagogů při efektivním využívání této technologie ve výuce. Škola v rámci projektu zapojuje rozšířenou realitu do výuky širokého spektra předmětů a sdílí své zkušenosti s dalšími pěti školami z okolí. Zapojeným pedagogům i školám je poskytována metodická a technická podpora, čímž se snaží zajistit efektivní a trvalé začlenění této výukové metody.

### **Digital Water Lab**

Na Mendelově univerzitě v Brně vzniká Digital Water Lab [9], digitální vodní laboratoř zaměřená na VR a AR ve výuce budoucích expertů ve vodním hospodářství. Projekt je výsledkem spolupráce Spatial Hub Provozně ekonomické fakulty a Ústavu aplikované a krajinné ekologie Agronomické fakulty, s plánovaným zapojením dalších fakult. Studenti

zde v rámci letních škol vyvíjejí aplikace, které univerzita využije ve výuce místo drahých externích řešení. Cílem projektu je připravit studenty na reálné pracovní prostředí a umožnit jim ověřovat teoretické znalosti pomocí AR a VR technologií.

## **GULAG XR**

GULAG XR [51] je vzdělávací projekt, který prostřednictvím VR a AR, komiksu a videí přibližuje studentům téma sovětských represí a táborů Gulagu. Program je určen pro žáky základních a středních škol a je dostupný zdarma v České republice, Německu, Polsku a na Slovensku. Vzdělávací obsah vychází z historických a archeologických výzkumů, přičemž žáci mohou interaktivně zkoumat prostředí Gulagu a získávat nové poznatky i badatelské dovednosti. Průvodcem je badatelský deník v podobě komiksu, který pomáhá pochopit totalitní režimy a demokratické hodnoty. Projekt byl představen v květnu 2023 a od října 2023 je volně dostupný online spolu s metodickými materiály pro pedagogy. Učitelé se mohou zúčastnit bezplatných workshopů v ČR, kde se naučí, jak program využít ve výuce.

## **6. Dostupné aplikace pro tvorbu rozšířené reality**

Výběr uvedených aplikací vycházel z kritérií, jako je dostupnost softwaru, snadnost přístupu k dokumentaci, možnosti využití a kompatibilita s běžně dostupnými zařízeními. Pro identifikaci nejpobulárnějších aplikací pro AR byl využit nástroj Google Trends, jenž umožňuje analyzovat frekvenci vyhledávání konkrétních výrazů v různých časových obdobích a regionech. Upřednostněny byly aplikace kompatibilní s operačními systémy Android a Windows a ty, které podporují AR technologie využívající značky.

### **6.2 Adobe Aero**

Adobe Aero [52] je platforma pro tvorbu a prohlížení AR obsahu, která umožňuje návrhářům a vývojářům navrhovat, sdílet a publikovat interaktivní prostředí bez programování. Uživatelé mohou kombinovat 2D a 3D prvky, zvuky a animace. Aero je k dispozici jako mobilní aplikace pro iOS a ve verzi beta pro počítače MacOS a Windows.

Platforma je propojena se službou Adobe Creative Cloud, která umožňuje snadný import souborů z aplikací jako Photoshop nebo Illustrator [53]. Uživatelé mohou sdílet své AR výtvoř prostřednictvím odkazů nebo QR kódů, což umožňuje jejich prohlížení na různých zařízeních bez nutnosti instalace speciální aplikace [54].

Adobe Aero byla využita ve spolupráci s organizacemi The Hydrous, k vytvoření AR zážitku nazvaného AR Reef [55]. Tento projekt přenáší uživatele do tropického korálového útesu, kde

mohou interaktivně objevovat jeho ekosystém. AR Reef získal ocenění, včetně Webby Award za nejlepší virtuální partnerský zážitek a dvou cen Anthem Awards v roce 2022.

### **6.3 ARCore**

ARCore [56] je vývojová platforma společnosti Google pro vytváření AR aplikací pro zařízení Android a iOS. Platforma používá technologie sledování pohybu, která umožňuje identifikovat pozici v prostoru, porozumění prostředí, které detekuje povrchy, a odhad světelných podmínek, díky kterému digitální obsah lépe zapadne do okolního prostředí. ARCore také poskytuje nástroje pro rozpoznávání objektů nebo odhad prostorové hloubky a nabízí vývojářům řadu možností pro vytváření interaktivních aplikací. Google také podporuje integraci ARCore s dalšími vývojovými nástroji.

Příkladem reálného využití ARCore, je aplikace AR Atom Visualizer [57], která umožňuje uživatelům prozkoumávat 3D modely atomů v rozšířené realitě. Uživatelé mohou vidět různé atomové struktury přímo ve svém prostředí, což má usnadnit pochopení chemických konceptů.

### **6.4 AR Foundation**

AR Foundation [58] je vývojová platforma vytvořená společností Unity Technologies, která umožňuje vývoj AR aplikací na různých zařízeních. Poskytuje nástroje a rozhraní pro práci s AR technologiemi, jako je rozpoznávání povrchu, detekce objektů sledování pohybu nebo interakce s virtuálními objekty v reálném prostředí. AR Foundation funguje jako most mezi herním enginem Unity a AR rozhraními jednotlivých zařízení a platform, jako je ARKit (Apple) nebo ARCore (Google), což umožňuje vývojářům vytvářet aplikace pro různé platformy.

Dle [58] vývojáři mají možnost do svých projektů integrovat prvky, jako je rozpoznávání gest, detekce obrazu nebo 3D mapování prostředí. Dalším důležitým rysem AR Foundation je podpora neustálých aktualizací a rozšiřování funkcí v souladu s vývojem AR technologií.

V studii [59] pomocí AR Foundation byla vyvinuta AR aplikace pro vylepšení experimentu s DNA pro vysokoškolské studenty. Tato mobilní aplikace poskytovala pohled na procesy, které jsou základem experimentu. Průzkum odhalil, že studenti tuto aplikaci převážně využívali po absolvování laboratorního cvičení, což naznačuje, že preferují použití takové technologie jako reflexního nástroje pro upevnění jejich laboratorních zkušeností.

## 6.5 Artivive

Artivive [60] je aplikace, která využívá AR k obohacení uměleckých zážitků a interakce s kulturními objekty. Prostřednictvím AR technologie umožňuje uživatelům vizualizovat díla v různých prostředích, například si představit, jak by obraz vypadal v konkrétní místnosti, nebo zprostředkovat skryté detaily, které nejsou viditelné pouhým okem. Tato aplikace nachází uplatnění zejména v galeriích, muzeích a při vzdělávání, kde přináší nový rozměr vnímání umění. Díky interaktivním prvkům Artivive přispívá k lepšímu pochopení kontextu jednotlivých děl a poskytuje způsob, jak propojit tradiční umění s digitálními technologiemi.

## 6.6 Augment

Augment [61] je AR platforma, která umožňuje vytvářet a zobrazovat 3D objekty v reálném prostředí prostřednictvím tabletů nebo telefonů. Platforma Augment je navržena pro usnadnění a tvorbu řešení pro různé oblasti, jako je výzkum a vývoj, elektronické obchodování nebo vzdělávání. Uživatelé mohou do knihovny nahrávat 2D a 3D objekty, které pak lze simulovat v plném rozsahu v prostředí uživatele. Integrace AR do elektronického obchodování umožňuje zákazníkům vyzkoušet si produkty před nákupem.

Augment také může podporovat vzdělávání poskytováním interaktivních 3D modelů. Tato platforma je převážně používána pro tvorbu reklamy.

## 6.7 Mixed Reality Toolkit

Mixed Reality Toolkit (MRTK) [62] je vývojová platforma od společnosti Microsoft navržená tak, aby usnadnila tvorbu aplikací smíšené reality. Primárně cílí na zařízení HoloLens a Windows Mixed Reality, ale podporuje také platformy jako Oculus nebo OpenXR, díky čemuž ji lze využít jako nástroj pro vývoj VR i AR aplikací. Dále poskytuje vývojářům hotové komponenty a moduly, jako jsou ovládací prvky pro interakci s virtuálním prostředím, rozpoznávání gest, správa zvuku nebo podpora hlasových příkazů. Platforma je také kompatibilní s herními enginy, jako je Unity nebo Unreal Engine, což umožňuje rychlejší prototypování i implementaci komplexních funkcí.

Platforma MRTK byla využita například při vývoji aplikace Periodic Table of the Elements [63], je to ukázková aplikace s otevřeným zdrojovým kódem vyvinutá laboratoří Microsoft Mixed Reality Design Labs. Zobrazuje chemické prvky a jejich vlastnosti ve 3D prostoru a umožňuje uživatelům interagovat s animovanými 3D modely, aby pochopili aspekty, jako jsou elektronové obaly a atomová jádra. Vývojáři mohou využít komponenty z tohoto projektu k vytvoření vlastních vzdělávacích zkušeností se smíšenou realitou.

## 6.8 Unity

Unity [64] je herní engine a vývojová platforma, která umožňuje vytvářet interaktivní 2D, 3D, VR a AR aplikace. Byla vyvinut společností Unity Technologies a je široce používán nejen pro vývoj her, ale také pro vytváření simulací, AR a VR aplikací, animací a dalších interaktivních digitálních zážitků. Unity poskytuje nástroje pro vytváření herních prostředí, animací, simulací, zvuku a dalších technických aspektů vývoje, díky čemuž je široce používán pro vytváření her a aplikací v různých odvětvích.

Unity [65] umožňuje vývojářům používat jediné vývojové prostředí pro širokou škálu platform, včetně Windows, macOS, Android, iOS, konzolí, webových prohlížečů a VR a AR zařízení. To se provádí pomocí grafického rozhraní Unity Editor, ve kterém mohou uživatelé navrhovat scény, objekty a aplikační logiku, aniž by museli psát kód pro každý jednotlivý systém.

V prostoru AR a VR je Unity jedním z hlavních vývojových nástrojů, protože poskytuje podporu pro AR a VR zařízení, jako jsou Oculus Rift, HTC Vive, HoloLens a další. S Unity je také spojena velká komunita a množství online výukových programů, což usnadňuje novým vývojářům začít. V oblasti AR se Unity často používá ve spojení s platformami jako Vuforia nebo AR Foundation.

## 6.9 Unreal Engine

Unreal Engine [66], vyvinutý společností Epic Games, se využívá nejen pro vývoj her, ale také pro tvorbu aplikací s AR. Díky své schopnosti vykreslovat realistickou grafiku a zpracovávat složité simulace je Unreal Engine ideální volbou pro AR projekty, které vyžadují vysokou úroveň vizuální kvality a interaktivitu. Podpora AR je integrovaná prostřednictvím rozhraní jako ARKit a ARCore, což umožňuje vývoj aplikací pro zařízení s iOS i Android. Další výhodou je podpora multiplatformního vývoje, jež umožňuje vytvářet aplikace, které fungují na různých typech operačních systémů (Windows, Linux, macOS). Vývojáři mohou snadno využívat Blueprints [67] – vizuální skriptovací systém, který zjednodušuje tvorbu AR interakcí i pro méně zkušené uživatele.

Unreal Engine poskytuje rozsáhlé knihovny materiálů, textur a 3D modelů, které pomáhají vytvořit v AR realistické prostředí [68]. Díky svému výkonnému renderovacímu jádru je schopen zpracovávat komplexní scénáře v reálném čase [66]. Unreal Engine tak poskytuje robustní platformu pro vývoj inovativních AR aplikací s vysokou úrovní detailu a interaktivity [69].

Unreal Engine byl například využit k vytvoření vzdělávací AR aplikace Il Divino: Michelangelova Sixtinská kapele ve VR, která umožňuje uživatelům prozkoumat strop Sixtinské kapele ve virtuálním prostředí [70].

## 6.10 Vuforia

Vuforia [71] je platforma, která poskytuje vývojářům nástroje pro vytváření interaktivních AR aplikací pro mobilní zařízení, chytré brýle a další AR platformy. Vuforia je známá svou flexibilitou, snadným používáním a širokou škálou funkcí, které umožňují pracovat s různými typy vizuálních dat. Mezi hlavní rysy platformy Vuforia patří schopnost rozpoznávat prvky a sledovat 2D obrázky k fyzickým objektům, jako jsou tištěné obrázky nebo obaly produktů.

Vuforia také podporuje 3D rozpoznávání a sledování objektů pro interakci s objekty reálného světa, jako jsou knihy nebo umění. Kromě toho se tato technologie používá pro mapování celých prostor pomocí funkce Area Targets, která zajišťuje umístění AR prvků v konkrétním prostředí, a pro sledování objektů na základě jejich 3D modelů pomocí funkce Model Targets. Více o možnostech je již uvedeno v kapitole 3.1.1.

Vuforia Engine [72] je jádrem celé platformy a poskytuje základní nástroje pro vývoj AR aplikací; zároveň podporuje integraci s nástroji jako Unity a nativními vývojovými platformami pro Android a iOS. Platforma rovněž podporuje jak značky, jako jsou QR kódy, tak pokročilé techniky sledování bez značek; to umožňuje vývojářům větší flexibilitu při navrhování AR aplikací. Další funkcí je sledování více objektů současně, zvyšující možnosti AR aplikací ve složitých scénářích. Jednou z hlavních výhod platformy Vuforia je její snadná integrace do aplikací vyvinutých v Unity, což zjednodušuje tvorbu AR aplikací s 3D obsahem. Další výhodou je vysoká přesnost sledování a aktivní podpora platformy. Na druhou stranu pro větší projekty nebo pokročilé funkce může být vyžadována rozšířená komerční licence a pro složitější implementace náročnější technické znalosti AR technologie. Vuforia je jedním z nejpoužívanějších nástrojů pro vývoj AR aplikací, díky své robustnosti a široké škále funkcí.

Pomocí této platformy byla vytvořena aplikace AR Solar System [72], ta umožňuje studentům prozkoumávat sluneční soustavu v rozšířené realitě. Uživatelé mohou interaktivně studovat planety, jejich oběžné dráhy a další vesmírné objekty přímo ve svém okolí, což usnadňuje pochopení vesmírných konceptů.

## 6.11 Zappar

Platforma Zappar mj. nabízí ZapWorks [73] Studio, které umožňuje vývojářům vytvářet interaktivní AR obsah pomocí sledování obrazu, obličeje a světa. Je známé svou uživatelskou přívětivostí, díky které je využíváno začátečníky i zkušenými uživateli.

## **6.12 8th Wall**

Platforma 8th Wall [74] se specializuje na technologie WebAR, které umožňují spouštět AR zážitky přímo ve webových prohlížečích bez stahování aplikací. Podporuje pokročilé funkce, jako je sledování pohybu, osvětlení a odhad povrchu a sledování ruky, to umožňuje vytvářet vysoce interaktivní a realistické zážitky v AR.

## **6.13 Porovnání**

Tabulka 2 poskytuje srovnávací přehled programů používaných k vytváření AR aplikací představených v kap. 6.1 až 6.12. Zdůrazňuje klíčové vlastnosti, jako je specializace, uživatelská přístupnost, cenové modely, podporované platformy, cílové skupiny uživatelů a integrace s jinými. Tabulka 3 a 4 obsahuje srovnání hlavních podporovaných funkcí jednotlivých AR aplikací.

Tabulka 3. Základní porovnání jednotlivých aplikací [49–71]

	Specializace	Úroveň potřebných znalostí	Potřeba kódování	Cena/licence	Podporované platformy	Integrace s jinými nástroji
<b>Adobe Aero</b>	vizuální AR design, bez kódování	začátečníci	není	předplatné	iOS, macOS, Windows	Adobe Creative Cloud
<b>ARCore</b>	AR framework od Google	středně pokročilí	vyžaduje	zdarma	Android	Unity, Unreal Engine
<b>AR Foundation</b>	platforma pro tvorbu AR aplikací	pokročilí	vyžaduje	zdarma	iOS, Android	Unity
<b>Artivive</b>	AR pro umění a vizuální efekty	začátečníci	není	předplatné	iOS, Android	Adobe Photoshop, Illustrator
<b>Augment</b>	AR pro marketing a prodej, vizualizace produktů	začátečníci	není	předplatné	iOS, Android, WebAR	CAD software
<b>Mixed Reality Toolkit</b>	vývoj AR/VR aplikací pro Microsoft HoloLens	středně pokročilí	vyžaduje	zdarma	Windows, HoloLens	Unity, Unreal Engine
<b>Unity</b>	herní engine s podporou AR	pokročilí	vyžaduje	zdarma + předplatné	Multiplatformní	AR Foundation, Vuforia, MRTK
<b>Unreal Engine</b>	herní engine s pokročilými AR funkcemi	středně pokročilí	částečná	zdarma + předplatné	Multiplatformní	ARCore, ARKit, Vuforia
<b>Vuforia</b>	AR platforma pro podnikové a průmyslové aplikace	středně pokročilí	vyžaduje	licence	iOS, Android, Windows, HoloLens	Unity, Unreal Engine, CAD nástroje
<b>Zappar Studio</b>	WebAR a marker-based AR, interaktivní AR aplikace	začátečníci až středně pokročilí	částečná	předplatné	iOS, Android, WebAR	Unity, Sketchfab, CAD
<b>8th Wall</b>	WebAR platforma bez nutnosti aplikace	středně pokročilí	částečná	předplatné	iOS, Android, WebAR	Unity, CAD nástroje, 3D knihovny

Tabulka 4.: Podporované funkce jednotlivých aplikací [49–71]

	Podpora AR funkcí			
	Se značkami	Bez značek	GPS	WebAR
<b>Adobe Aero</b>		✓		
<b>AR Core</b>	✓	✓	✓	
<b>AR Foundation</b>	✓	✓		
<b>Artivive</b>	✓			
<b>Augment</b>	✓	✓	✓	✓
<b>MRTK</b>	✓	✓		
<b>Unity</b>	✓	✓	✓	
<b>Unreal Engine</b>	✓	✓	✓	
<b>Vuforia</b>	✓	✓		
<b>Zappar Studio</b>	✓	✓		✓
<b>8th Wall</b>	✓	✓		✓

## 6.14 Další aplikace pro tvorbu rozšířené reality

Blippar [75] je platforma pro AR, která umožňuje vytváření interaktivního obsahu a poskytuje nástroje pro rozpoznávání objektů a vizuální analýzu. Tato platforma podporuje pouze starší verze operačního systému Android (do verze Android 10).

Spark [76] byla vývojová platforma společnosti Meta určená pro tvorbu interaktivního obsahu pro AR, především pro sociální sítě, jako je Instagram a Facebook. Nabízela uživatelsky příjemné prostředí s možností vytvářet efekty bez nutnosti hlubokých znalostí programování, ale zároveň poskytovala nástroje pro pokročilé uživatele. Tato platforma ukončila své služby 14. ledna 2025.

Wikitude [77] byl AR software, který vývojářům nabízel nástroje pro geolokaci, rozpoznávání obrazu a AR na základě markerů i bez nich. Poskytování tohoto softwaru a s ním spojených služeb bylo ukončeno 21. září 2024.

Aplikace pro přístroje Apple jsou tvořeny pro operační systém visionOS, to je systém společnosti Apple pro smíšenou realitu pro jejich zařízení, který umožňuje 3D zážitky se sledováním očí, gesty a hlasovým ovládním [78].

ARKit je framework od společnosti Apple, který umožňuje vývojářům vytvářet pokročilé AR aplikace pro zařízení s operačním systémem iOS, využívající technologie jako sledování pohybu, detekci ploch a odhadování osvětlení [79].

Reality Composer je nástroj od společnosti Apple pro snadné vytváření 3D a AR scén, určený pro zařízení s iOS a iPadOS, který umožňuje intuitivní návrh bez pokročilých znalostí programování [80].

RealityKit [80] je 3D simulační a renderovací rámec určený pro vytváření aplikací rozšířené reality AR pro iOS, iPadOS, macOS a visionOS, využívající ARKit k bezproblémové integraci virtuálních objektů do reálného světa. Umožňuje vývojářům vytvářet pohlcující AR zážitky importováním modelů, animací a prostorového zvuku, úpravou scén za běhu a synchronizací obsahu mezi zařízeními pro skupinové zážitky.

## 7. Návrh a realizace aplikace rozšířené reality pro obsluhu přístroje

Tato část práce popisuje návrh a implementaci mobilní aplikace AR, jež slouží k podpoře obsluhy infračerveného spektrometru Bruker Vertex 70v. Aplikace poskytuje interaktivní návod k měření, vizualizaci vnitřních komponent přístroje a doplňkovou informační vrstvu. Vývoj byl zacílen na platformu Android.

Finální verze aplikace je přiložena formou elektronické přílohy.

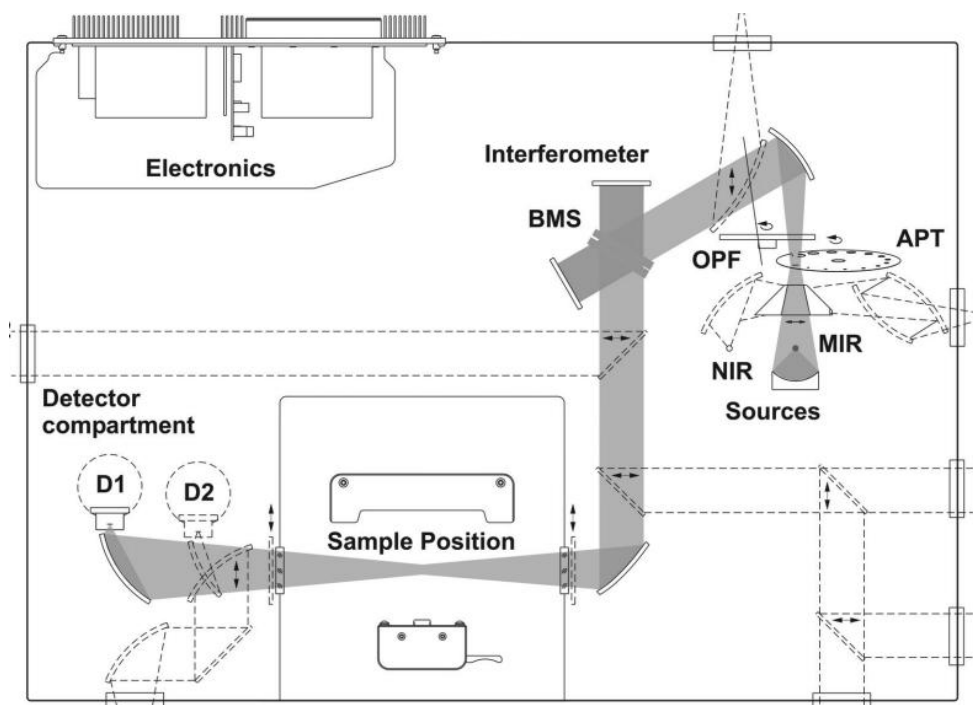
Pro tvorbu aplikace byla zvolena technika infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) spektroskopie a přístroj Vertex 70v, protože tvoří ideální modelový příklad pro demonstraci přínosů rozšířené reality v polygrafickém vzdělávání: přístroj svým robustním vzhledem a množstvím ovládacích částí působí na začátečníky odrazujícím dojmem, ačkoli jeho každodenní obsluha je ve skutečnosti poměrně přímočará; díky AR lze však tento rozpor překlenout, protože interaktivní vrstvy umožní postupně vizualizovat činnosti a funkce v jednotlivých krocích, zároveň tato aplikace může najít využití i pro studenty jiných oborů, kteří stejný přístroj nebo obecně FTIR spektroskopii používají.

### 7.1 Modely ve 3D

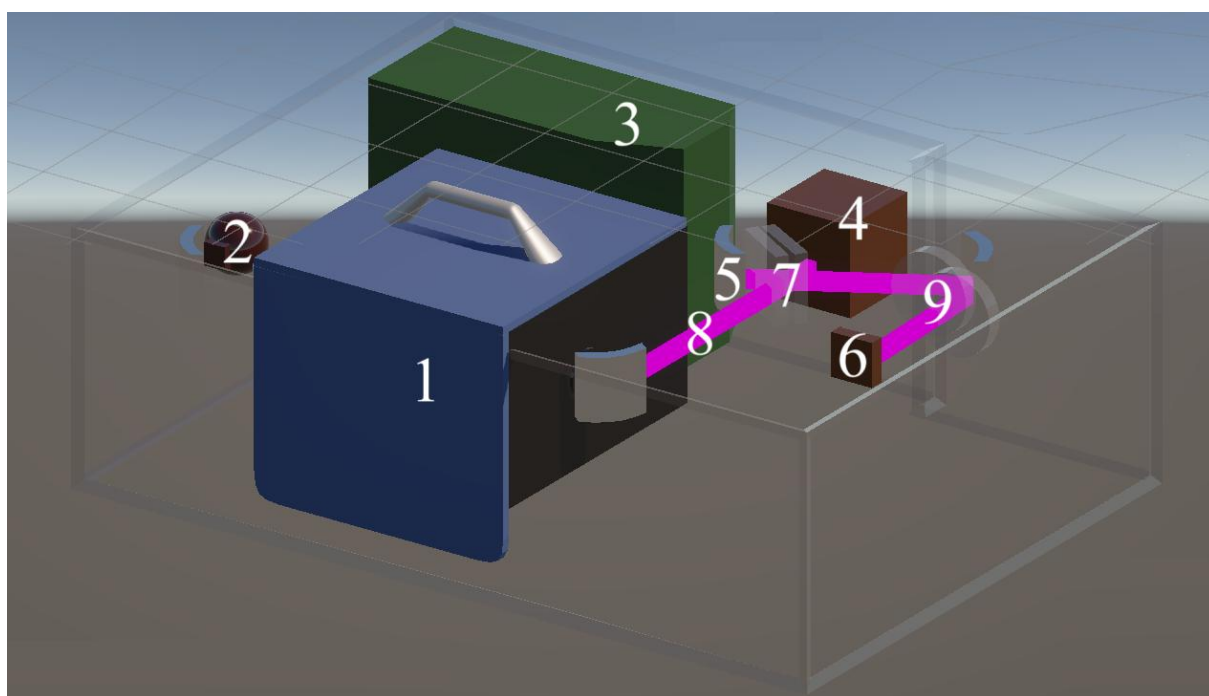
Jako podklady pro tvorbu 3D modelů přístroje byla využita schémata uvedená v dokumentaci přístroje [81]. Na základě schématu optické cesty (obrázek 2) byl vytvořen zjednodušený 3D model vnitřních komponent spektrometru (obrázek 3).

BMS rozděljuje přicházející paprsek na dvě části. Jedna část se odráží zpět od pevného zrcadla. Druhá část míří na pohyblivé zrcadlo uvnitř interferometru. Optický systém pro formování paprsku se skládá z APT a OPF. APT (Aperture Wheel, clonové kolečko) nastavuje velikost a tvar paprsku, což umožňuje optimalizaci pro různé experimenty. OPF (Optical Path Folding, skládání optické dráhy) je soustava zrcadel, která směřuje paprsek do interferometru. Záření MIR (Mid-Infrared, střední infračervené záření) se často používá k identifikaci organických sloučenin a funkčních skupin. Záření NIR (Near-Infrared, blízké infračervené záření) je vhodné pro kvantitativní analýzu a detekci změn v molekulární struktuře. D1 a D2 jsou detektory přístroje. Mohou být specializované pro různé infračervené spektrální oblasti.

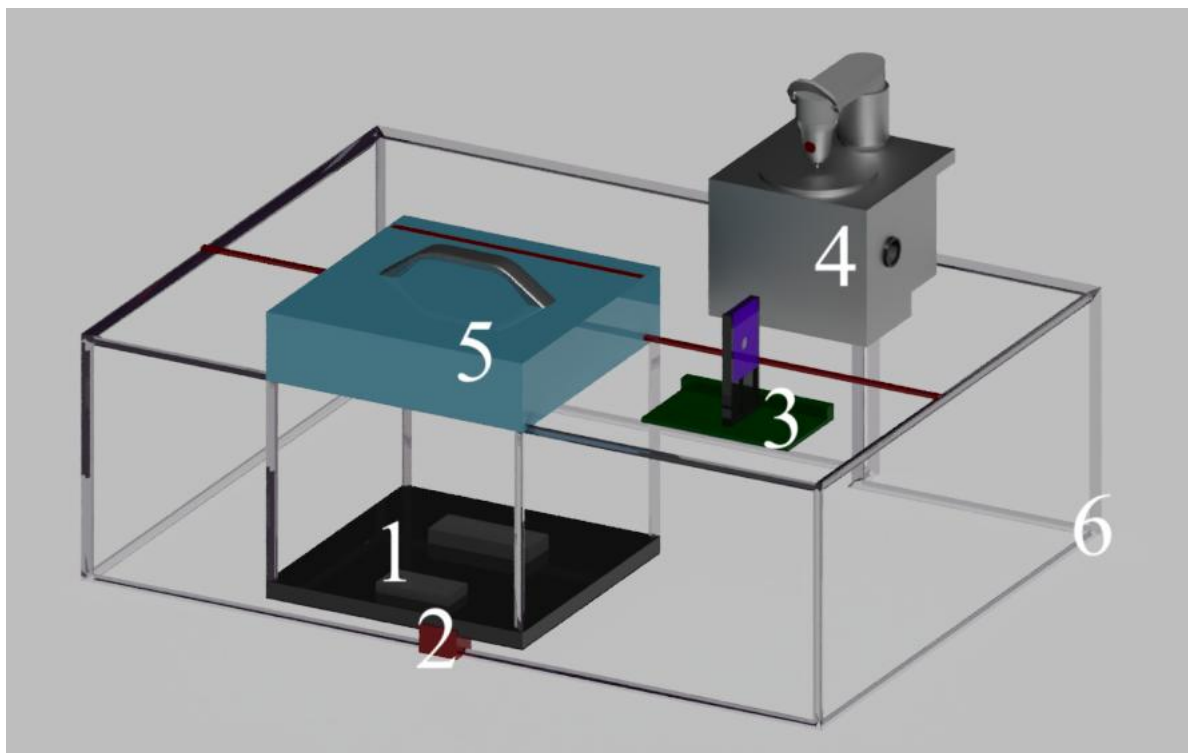
Model přístroje s výměnnými nastavci (obrázek 4) byl vytvořen podle konstrukčních schémat.



Obrázek 2. Vnitřní schéma přístroje (BMS – Beamsplitter, D1 a D2 – detektory, NIR – Near-Infrared, MIR – Mid-Infrared, APT – Aperture Wheel) [81], popis optické cesty v češtině viz text



Obrázek 3. Komponenty přístroje pro AR aplikaci (1 – prostor pro vzorek, 2 – detektor, 3 – elektronika, 4 – pohyblivé zrcadlo, 5 – pevné zrcadlo, 6 – zdroj, 7 – BMS, 8 – optická cesta, 9 – optický systém pro formování paprsku)



Obrázek 4. Model s nastavci a obrysem pro AR aplikaci (1– prostor pro vzorek, 2 – tlačítko pro vyjmutí nástavce, 3 – nástavec pro transmisní měření, 5 –kryt, 4 – nástavec s ATR, 6 –obrys přístroje krystalem)

## 7.2 Software pro tvorbu aplikace

Vývoj probíhal v prostředí Unity 6 (6000.0.28f1) s použitím šablony Universal 3D Core. Funkcionalita AR byla zajištěna integrací balíčku Vuforia; „Build Profile“ (profil sestavení) byl nastaven pro cílovou platformu Android.

Po vytvoření projektu byla jako první nastavena základní struktura scén, kdy vznikly dvě oddělené scény (jedna pro hlavní menu, druhá pro AR). V rozhraní Unity byly jednotlivé části aplikace navrhovány modulárně, aby bylo možné snadno oddělit funkčnost jednotlivých objektů pro přepínání scén, sledování obrázků a zobrazování 3D objektů.

Postup práce při vývoji spočíval v cyklickém procesu návrhu, skriptování, testování a úprav. Po každém naprogramování funkce následoval test chování v „Game view“ (herní pohled) v režimu „Play“ (hrát). V Unity byly aktivně využívány nástroje jako „Scene view“ (pohled na scénu) pro rozmisťování objektů, „Inspector“ pro úpravu komponent, „Animator“ pro tvorbu animací a „Canvas“ (plátno) systém pro tvorbu uživatelské rozhraní (UI) prvků.

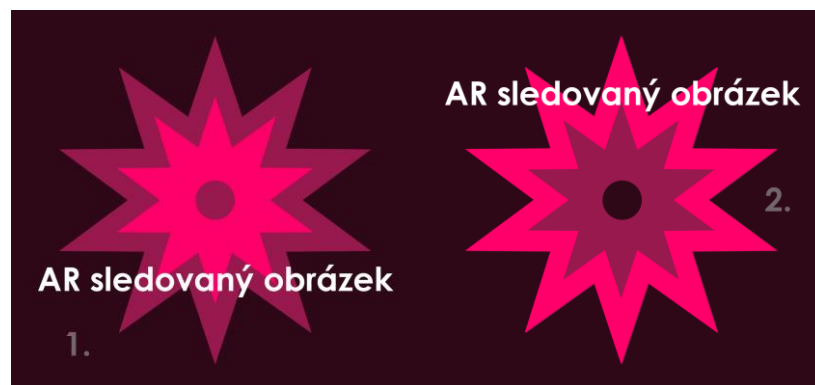
Při vývoji bylo třeba řešit různé problémy, například nepřesnosti v pozici AR objektů nebo nemožnost přiřazení textur k UI prvkům. Řešení problémů je blíže popsáno v následujících kapitolách.

### 7.3 Tvorba obrázků pro sledování a jejich implementace v aplikaci



Platforma Vuforia poskytuje online správu používaných prvků a převod obrázků na Image target, cílový obrázek.

Pro první zkoušku byly vytvořeny dva motivy s hvězdami a textem (obrázek 5) o velikosti 20 cm na 20 cm. Tyto obrázky byly tvořeny v programu Adobe Photoshop a v platformě Vuforia dosáhly hodnocení 4 z 5 pro správné AR sledování (obrázek 6).

Při zkoušení jednoho z těchto cílových obrázků se při používání aplikace jako problematická ukázala jeho velikost, z důvodu toho, že sledovaný cílový obrázek musí vždy být aspoň z části viditelný, což s touto velikostí značně omezovala rozsah, v němž se zařízení s aplikací mohlo pohybovat.



Obrázek 5. cílové obrázky vytvořené pomocí programu Adobe Photoshop

Image	Target Name	Type	Rating
	arimigatarget	Image	★★★★☆
	arimigatarget2	Image	★★★★☆

Obrázek 6. Hodnocení cílových obrázků vytvořené pomocí programu Adobe Photoshop v platformě Vuforia

Při druhé zkoušce bylo použito několik obrázků o velikosti 5 cm na 5 cm vygenerovaných s pomocí AI (obrázek 7). Pro generování obrázků byla využita prompt „Generate an abstract image suitable for mobile image tracking.“ (Vygeneruj abstraktní obrázek vhodný pro sledování obrazu na mobilním zařízení), tato prompt byla zaslaná pětkrát, pokaždé s jiným výsledkem. Využití AI bylo ChatGPT. Platforma Vuforia tyto obrázky hodnotila jako 5 z 5 z ohledu vhodnosti pro využití jako cílový obrázek (obrázek 8). U těchto cílových obrázků byl také problém s jejich velikostí, ale v tomto případě z důvodu rozlišení fotoaparátu zařízení.

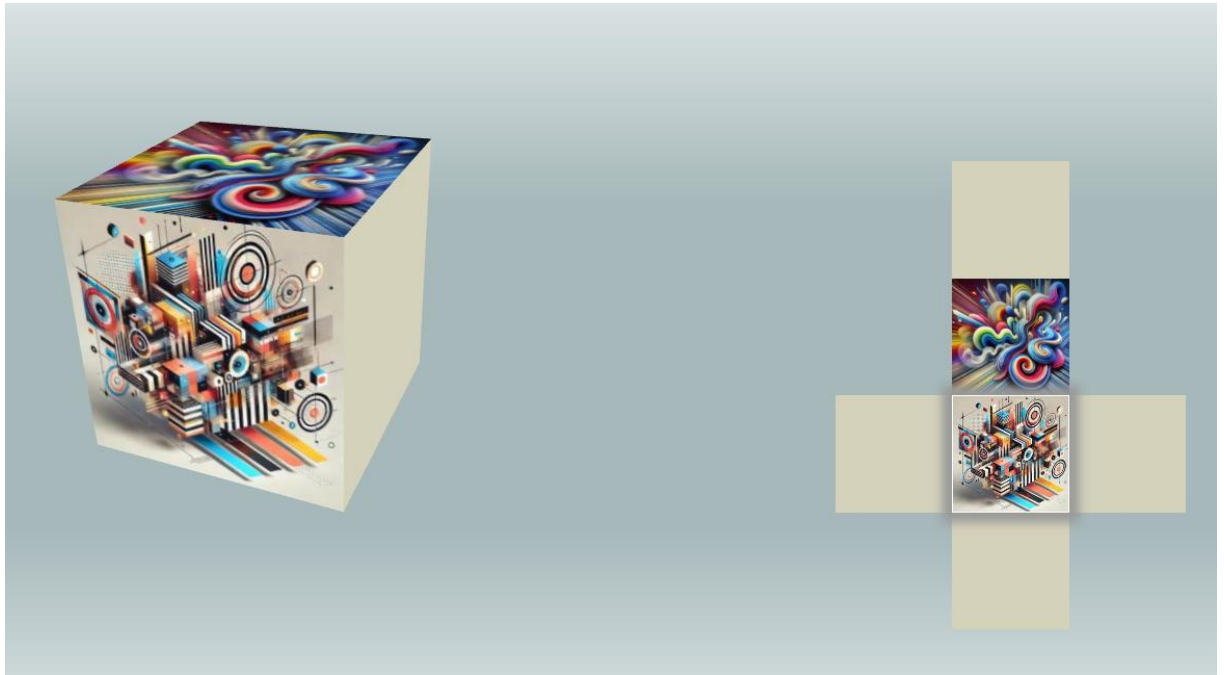


Obrázek 7. Cílové obrázky vygenerované pomocí ChatGPT

Image	Target Name	Type	Rating ⓘ
	5	Image	★★★★★
	3	Image	★★★★★
	4	Image	★★★★★
	2	Image	★★★★★
	1	Image	★★★★★

Obrázek 8. Hodnocení cílových obrázků vygenerovaných pomocí ChatGPT

Pro finální aplikaci byly použity tyto obrázky s úpravou velikosti na 10 cm na 10 cm. Obrázky byly tisknuty na matný papír, z důvodu eliminace rušivého efektu lesku. Místo cílového bražku byl využit Multi target, kombinovaný cíl (obrázek 9). Pro kombinovaný cíl byly použity pouze dva obrázky, zbylé strany byly vyplněny jednobarevným obrázkem, protože tyto strany není možné sledovat s použitým umístěním kombinovaného cíle na stroji. Jeho umístění bylo zvoleno pro dobré zobrazení obsahu aplikace. Kombinované cíle nejsou platformou Vuforia hodnoceny (obrázek 10).



Obrázek 9. Multi target, kombinovaný cíl (v levé části 3D pohled, v pravé rozložená kostka)

Image	Target Name	Type	Rating ⓘ
	2	Image	★★★★★
	Multi	Multi	N/A

Obrázek 10. Hodnocení pro kombinovaný cíl

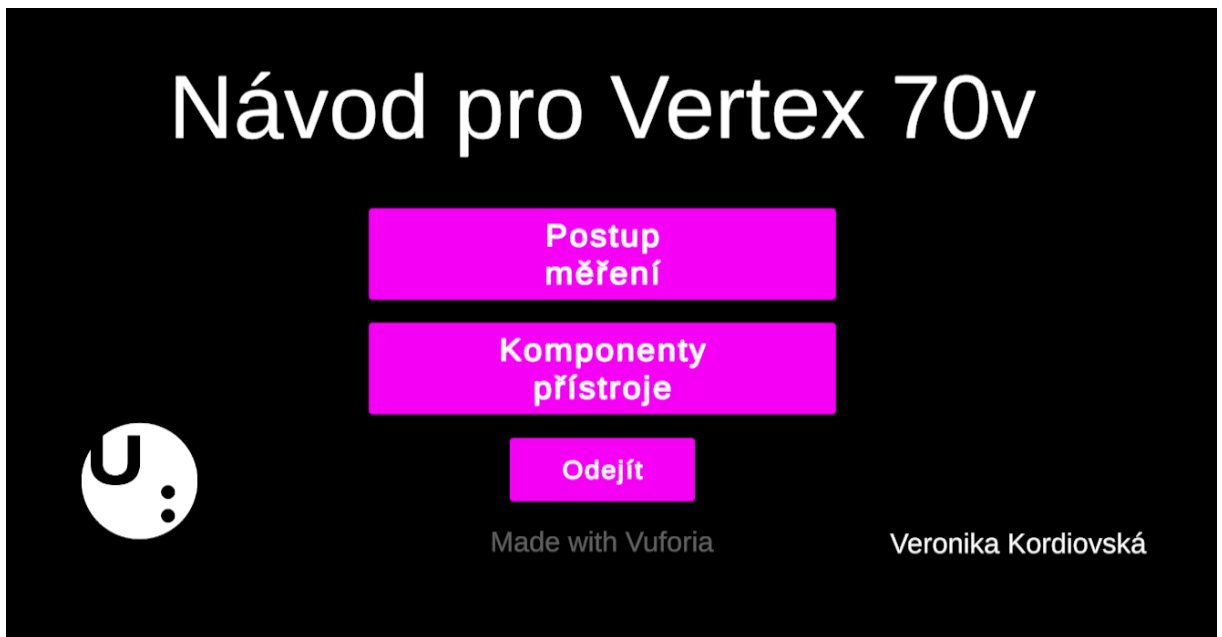
Po testování sledování objektů bylo nastaveno „Tracked“ místo původního „Tracked and Extended Tracked“ z důvodu přesnějšího sledování. Vuforia [82] označuje režim „Tracked“ stav, kdy je cílový objekt aktivně detekován kamerou a je přesně sledován. Režim „Tracked and Extended Tracked“ umožňuje, aby virtuální objekty zůstaly na svém místě i poté, co cíl zmizí z dohledu kamery, využívaje informace o pohybu zařízení a vizuální detaily okolí.

Jedním z problémů při sledování obrazu je jeho přesné umístění. Obraz vygenerovaný aplikací se nezobrazuje přesně na místě sledovaného obrazu. Jako řešení bylo vyzkoušeno několik možností: změna umístění vůči sledovanému obrázku ve scéně, lokální změna umístění a korelace „child“ a „parent“ vazeb pomocí skriptů [83]. Žádná metoda nebyla účinná. Dále bylo pozorováno, že čím déle byl obrázek sledován, tím větší rozdíl byl v umístění promítané 3D a 2D grafiky a originálním umístěním obrazu.

## 7.4 Tvorba aplikace


### 7.4.1 Hlavní menu

Pro aplikaci byla vytvořena tři tlačítka v hlavním menu (obrázek 11): tlačítko pro spuštění návodu s postupem měření, tlačítko pro zobrazení vnitřního uspořádání přístroje a tlačítko na vypnutí aplikace. Obě hlavní tlačítka vedou do jedné AR scény a pouze určují, které objekty se ve scéně zobrazí.



Obrázek 11. Hlavní menu vytvořené AR aplikace





### 7.4.2 Přechod do scény rozšířené reality

Po stisknutí jednoho z obou velkých tlačítek se zapne kamera zařízení a načte se AR scéna. Tato scéna načte AR kameru a kombinovaný cíl sledování, dále zobrazí tlačítko zpět do hlavního menu  a nápis „Naskenujte obrázek pro AR“ (obrázek 12), který po naskenování obrázku zmizí.



Obrázek 12. Nápis „Naskenujte obrázek pro AR“

### 7.4.3 Tlačítko Postup měření

Při stisknutí tohoto tlačítka se při načtení AR scény aktivuje model přístroje a jeho nástavců, tlačítko  s doplňujícími informacemi a tlačítka postupu s kroky 1–9. Viditelné při načtení scény jsou pouze tlačítko , zpět a informace o potřebě načtení obrázku AR. Tlačítko  po stisknutí poskytuje dodatečné informace k aktuální zobrazené části postupu. Pokud není zobrazená žádná část postupu, tlačítko  zobrazí informace popisující funkce aplikace.

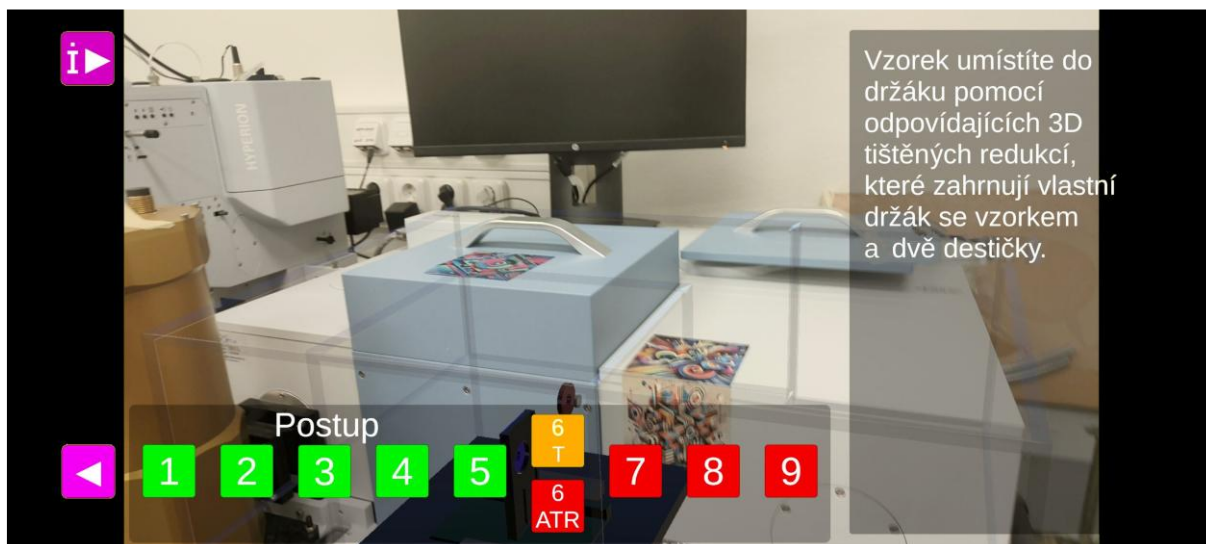
Tlačítka postupu a model přístroje se zobrazí po naskenování obrázku, což lze vidět na obrázku 13.



Obrázek 13. Načtení postupu a modelu přístroje ve vytvořené AR aplikaci

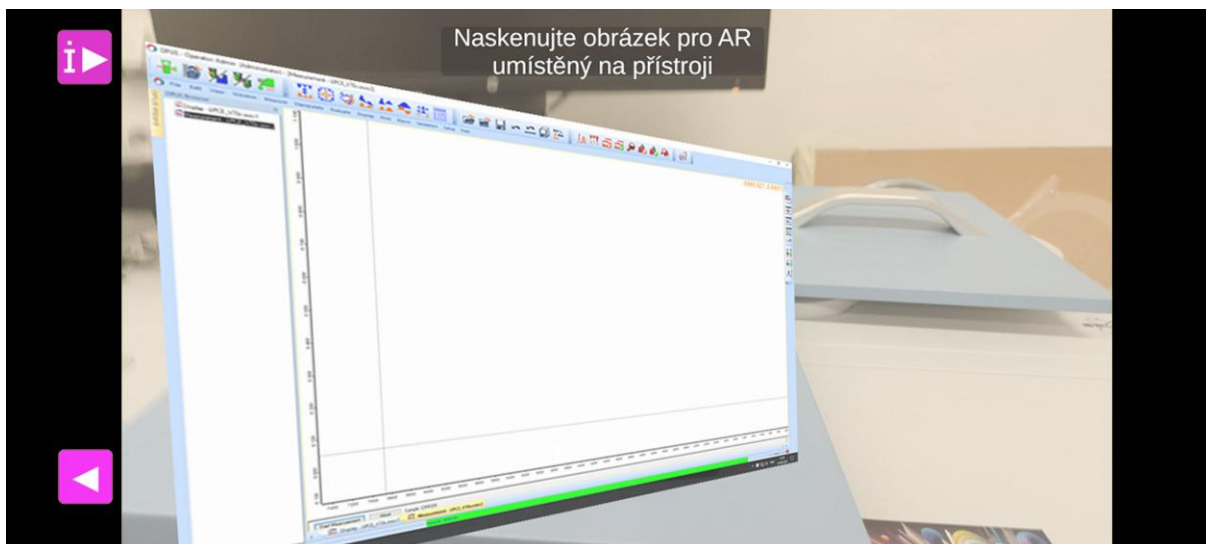
Díky obrysu přístroje lze aplikaci použít i bez přístroje, takže může být využita jako příprava před prací s přístrojem. Jediné, co je potřeba pro její využití, je telefon s Androidem, výtisk AR sledovaných obrázků a plocha, na které se bude obsah zobrazovat.

Při stisknutí tlačítek postupu se zobrazí odpovídající část postupu, což zahrnuje 3D animace, obrázky a text popisující tuto část postupu. Tato tlačítka při spuštění scény mají červenou barvu, která se při zobrazení dané části postupu změní na oranžovou a při přejítí na další část se změní na zelenou znázorňující, že tato část postupu již byla zobrazena. Tlačítka jsou umístěna na plátně, které se generuje jako vrstva překrývající pohled na 3D scénu (Screen space – Overlay); stejným způsobem je řešen textový popis daného kroku. Zobrazení části postupu je vyobrazeno na obrázku 14.

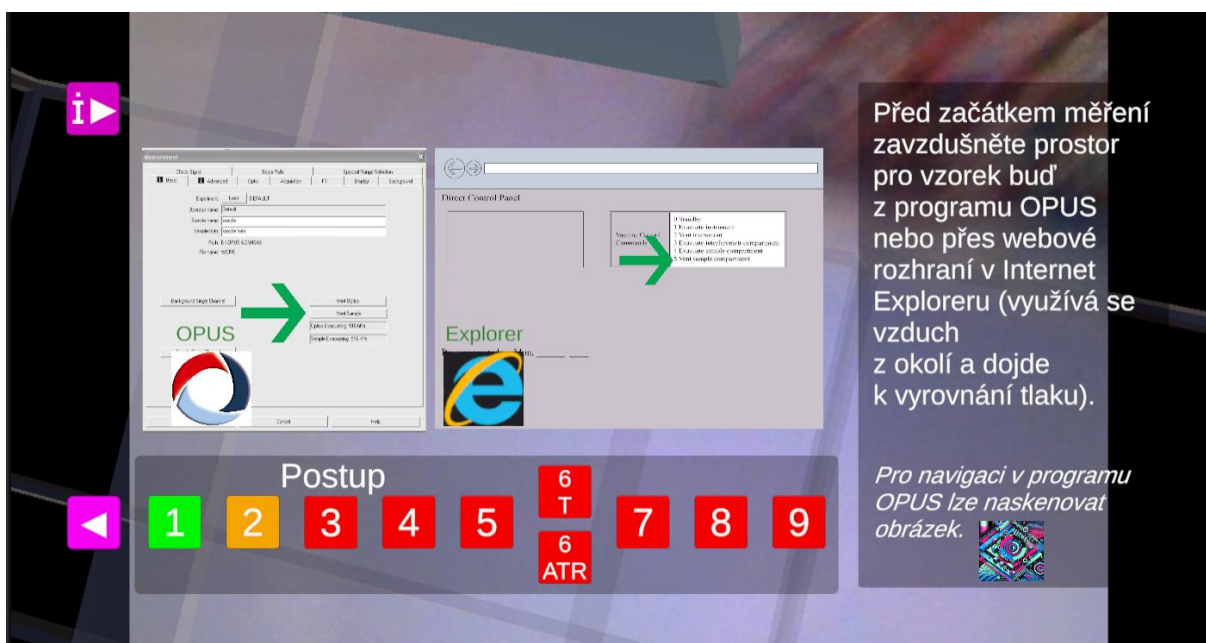


Obrázek 14. Aktivované tlačítko 6 T ve vytvořené AR aplikaci

Při stisknutí tlačítka kroku popisujícího práci s programem OPUS lze načíst druhý obrázek, který zobrazí 2D animaci ovládání programu na místě obrázku (obrázek 15). Aby bylo možné zobrazit animace na místě obrázku, je plátno, na kterém byly tvořeny, nastaveno tak, aby se generovalo na „World space“ (umístění ve světě). Při sledování tohoto obrázku se nezobrazují tlačítka postupu, ta se zobrazí teprve po znovunačtení kombinovaného cíle. Každá část postupu, která zobrazí dodatečnou animaci pro program OPUS, je označena ikonou sledovaného obrázku (obrázek 16).



Obrázek 15. Načtený obrázek pro zobrazení animace programu OPUS ve vytvořené AR aplikaci



Obrázek 16. Ikona znázorňující možnost zobrazení animace v programu OPUS

Části postupu jsou seskupeny dle toho, kde se určitá část postupu nachází. Šestý krok postupu, popisující umístění vzorku do nástavce, je rozdělen na dvě části, jedna pro nástavec s ATR krystalem, druhá pro nástavec pro transmisní měření. Text postupu je podložen poloprůhledným pozadím pro jeho lepší čitelnost, ale také aby bylo možné stále vidět záběr snímáný kamerou.

Obrázky zobrazené v postupu jsou načteny jako textura, protože je nebylo možné přiřadit k UI objektu. Image UI objekt v Unity je grafický prvek uživatelského rozhraní, který zobrazuje 2D obrázek na obrazovce a slouží například jako ikona, pozadí nebo tlačítko. Jako řešení tohoto problému bylo doporučeno například zkontrolovat správnost importu a změnit typ souboru z PNG na JPG. Dále byl doporučen test pomocí skriptu, zdali lze obrázky

připojovat k objektům; tento test vyšel negativní. Při zkoušce v novém projektu přiřazování obrázků fungovalo, pravděpodobným důvodem tedy bylo poškození projektu. Scény, použité položky a rozšíření byly převedeny do nového projektu a přiřazování objektů již zůstalo funkční a může být standardně využíváno.

Pro 3D animace byly v programu Unity přidány popisky pro větší srozumitelnost. Animace pro program OPUS jsou ukončeny textem, který navádí uživatele zpět k načtení kombinovaného cíle.

Tabulka 5 zobrazují funkčnost jednotlivých tlačítek.

Tabulka 5. Funkčnost tlačítek vytvořené AR aplikace – první část

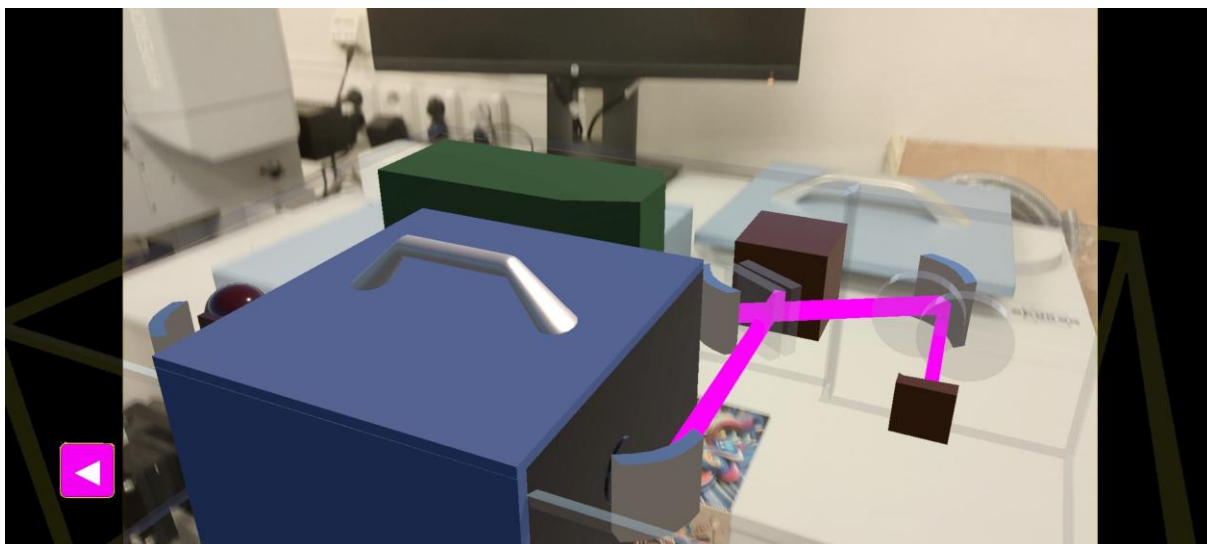
Tlačítko	Krok	Obrázky	Animace	Druh animace	Dodatečné informace
1	Pro evakuaci zapněte vakuovou vývěvu (zelené tlačítko na ovládacím panelu), která se nachází pod stolem s přístrojem.  Pro ovládání přístroje zapněte počítač.	✓	×	×	Přístroj je trvale zapnut a jeho vnitřní části musí být evakuovány, aby nedošlo k poškození součástí citlivých na vlhkost. Prostor pro vkládání vzorků je od vnitřních částí přístroje oddělen okénky z halogenidu KBr, které by rovněž mohly při styku s vlhkostí hydrolyzovat a poškodit se. Proto se vždy po měření evakuuje i tento prostor.
2	Před začátkem měření zavzdušněte prostor pro vzorek buď z programu OPUS nebo přes webové rozhraní v Internet Exploreru (využívá se vzduch z okolí a dojde k vyrovnání tlaku).	✓	Ovládání programu OPUS	2D	Pro nastavení přístroje a parametrů měření se využívá programu OPUS. Pro další ovládání a diagnostiku přístroje lze využít přístup přes webové rozhraní (otevře se Internet Explorer). Po měření se zde zapíná režim „Stand By“.
3	Vyberte nástavec, kterým budete měřit a odpovídající kryt.	×	×	×	Pomocí nástavce s ATR krystalem se měří kapaliny, fólie i prášky. Používá se vysoký kryt. Pomocí nástavce pro transmisní měření se měří buď přímo samotný vzorek, nebo je možné měřit vzorek v KBr tabletě. Pro tento nástavec je určen nízký kryt.
4	Pro výměnu nástavce stiskněte tlačítko v dolní části přístroje. Toto tlačítko uvolní zámek, aby bylo možné nástavec snadno vyjmout či nasadit. Vyberte kryt podle výšky vybraného nástavce. Kryt musí být nasazen tak, aby čára na krytu navazovala na čáru na přístroji. Pokud se kryt špatně nasadí, prostor pro vzorek se nepodaří evakuovat.	×	Výměna nástavců	3D	Přístroj podporuje různé typy nástavců, každý nástavec má piny pro připojení a komunikaci s přístrojem.  Přístroj má dva kryty, které se používají podle výšky použitého nástavce (vysoký/nízký).
5	Klikněte na tlačítko „Measurement“, čímž se otevře okno nastavení měření. V kolonce „Experiment“ se vybere přednastavení měření (podle nástavce i typu vzorku). Nejprve se evakuuje a změří pozadí (background) bez vzorku. Po dokončení měření pozadí se přihrádka na vzorky znovu zavzdušní.	×	Měření pozadí v aplikaci OPUS	2D	Měří se pod vakuem, aby vzduch neabsorboval IR záření. Lze měřit i na vzduchu, ale je třeba pak softwarově eliminovat vliv prostředí (hlavně vlhkosti). Operátor by měl znát spektrum nosiče (pokud je nějaký nosič použit), aby bylo možné eliminovat jeho vliv. Rozsah měření se nastavuje podle očekávaných pásů vzorku (lze najít v tabulkách). Rozlišení: obvykle 2 nebo 4 cm <sup>-1</sup> (pod 1 cm <sup>-1</sup> nelze nastavit). Nastavení štěrbin (slit): většinou kolem 6–8 mm, pro změnu rozlišení. Počet skenů (background a vzorek) se volí podle požadované přesnosti (více skenů = lepší poměr signál/šum).

Tabulka 5. Funkčnost tlačítek vytvořené AR aplikace – druhá část

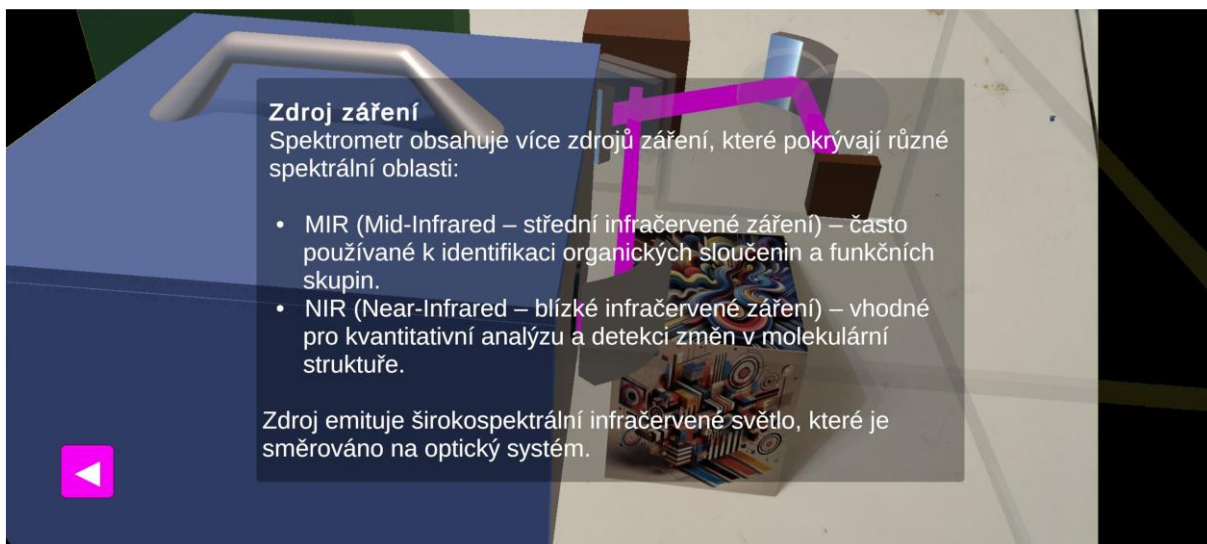
Tlačítko	Krok	Obrázky	Animace	Druh animace	Dodatečné informace
6 ATR	Vložte vzorek do nástavce. Otočte hlavici nástavce do pozice pro měření a pomocí páčky přitlačte vzorek k ATR krystalu. Při správném přitlačení vzorku se zobrazí červená tečka indikující kontakt se vzorkem. Pro nastavení přítlaku otočte ovladačem přítlaku. Při nastavování přítlaku (ovladačem/otočením) je třeba dbát na to, aby se krystal nepoškodil nadměrným tlakem, ale zároveň aby byl kontakt dostatečný.	×	Vložení vzorku na ATR krystal	3D	V případě prášků se na krystal nasype malé množství vzorku (~5 mg). Jemnější prášky poskytují lepší výsledky, ale při větším množství prášku může být v důsledku evakuace volný prášek rozptýlen do prostoru, proto je třeba použít jen množství potřebné pro zakrytí krystalu.
6 T	Vzorek umístíte do držáku pomocí odpovídajících 3D tištěných redukcí, které zahrnují vlastní držák vzorku a dvě destičky.	×	Vložení KBr tablety	3D	Tablety se lisují ze směsi vzorku a KBr, typicky s obsahem vzorku 1–2 % hm. Na vzorku je obvykle vidět stopa laseru (místo dopadu záření), což umožňuje vizuální kontrolu správného umístění vzorku.
7	Před měřením se prostor pro vzorek znovu evakuuje. Pro spuštění měření vzorku v programu OPUS klikněte na „Sample Single Channel“ a poté na „Start Measurement“. Proběhne měření vzorku se zvolenými parametry.	✓	Měření vzorku v aplikaci OPUS	2D	Kontrola signálu: před samotným měřením vzorku se doporučuje zkontrolovat intenzitu v záložce „Check signal“.
8	Uložení dat se provádí pomocí „Save file as“. Po ukončení měření zavdušněte místo pro vzorek a vyjměte vzorek.	✓	Ukládání souboru v aplikaci OPUS	2D	V programu lze nastavit korekci základní linie (baseline). Při měření externích vzorků se nejčastěji odevzdávají data nekorigovaná, ale je možné data softwarově upravit.
9	Po měření opět proveďte evakuaci prostoru pro vzorek, aby uvnitř nezůstala vlhkost a vzduch. Nakonec vypněte vakuovou vývěvu.	✓	Evakuace přístroje po měření	2D	Přístroj je každé 2 roky kontrolován servisním technikem. Diagnostika je dostupná přes webové rozhraní v prohlížeči Internet Explorer, kde se zobrazuje i stav přístroje a upozornění na potřebu servisu.

#### 7.4.4 Tlačítko Komponenty přístroje

Při stisknutí tohoto tlačítka se, po zachycení obrázků, zobrazí AR překrytí, které ukáže umístění jednotlivých komponentů v přístroji, jak je zobrazeno na obrázku 17. Při stisknutí jednotlivých objektů se zobrazí informace, co který objekt má v přístroji za funkci (obrázek 18). Tyto informace jsou umístěny na plátně, které je nastaveno jako vrstva překrývající pohled na 3D scénu.



Obrázek 17. Překrytí komponent přístroje ve vytvořené AR aplikaci



Obrázek 18. Zobrazení informací komponenty zdroje záření ve vytvořené AR aplikaci

## 7.5 Nastavení aplikace pro cílovou platformu

Při sestavení aplikace byla aplikace nazvána „Ovládání přístroje Vertex 70v“ a byla přiřazena ikona zobrazená na obrázku 19.

Při prvním testování bylo zobrazení aplikace nastaveno na „landscape“ (na šířku). Z důvodu horší viditelnosti animací a obtížnosti držení zařízení v poloze na šířku, bylo toto nastavení změněno na „auto rotate“ (automatické otáčení) pro pohodlnější užívání aplikace a lepší zobrazení určitých částí obsahu.



Obrázek 19. Ikona vytvořené AR aplikace

## 8. Testování vytvořené aplikace rozšířené reality

Pro testování aplikace byli zvoleni respondenti podle toho, jak dobře jsou seznámeni s přístrojem Vertex 70v a technikou FTIR. První skupina uživatelů nemá zkušenost s měřením na přístroji pro měření pomocí FTIR, druhá skupina má zkušenosti s měřením pomocí FTIR na jiném přístroji a třetí skupina má zkušenosti s měřením na tomto přístroji. Všichni respondenti, kteří se podíleli na testování aplikace, mají znalosti chemie, jednalo se zejména o vyučující, absolventy a studenty z Katedry polygrafie a fotofyziky.

K porovnání posloužila multimediální aplikace „Návod pro FTIR přístroj Avatar“ [84], která byla vytvořena jako semestrální práce v rámci předmětu Multimediální aplikace na Univerzitě Pardubice. Tato aplikace pomocí textu, obrázků, videí a 2D i 3D animací představuje ovládání spektrofotometru FTIR typu Avatar a jeho jednotlivé komponenty. Je navržena jako výukový nástroj bez využití rozšířené reality.

Cílem testování bylo ověřit srozumitelnost, intuitivnost a přínos AR ve výukové aplikaci k přístroji. Byly využity polostrukturované rozhovory po řízeném průchodu aplikací. Otázky se zaměřovaly na obtížnost ovládání, cílovou skupinu, přínos AR, kvalitu animací a popisků, spolehlivost sledování, srozumitelnost postupu, celkový dojem, návrhy na vylepšení a porovnání aplikací. Pro testování byl využit telefon OnePlus Nord 3 s verzí Androidu 14.

### 8.1. Výsledky testování

Odpovědi účastníků testujících AR aplikaci na jednotlivé otázky jsou souhrnně uvedeny v tabulce 6.

Všichni testovaní se shodli, že ovládání nové aplikace je „jednoduché“ až „bezproblémové“. Největší přínos viděli v navigaci krok za krokem a možnosti rychle se zorientovat v rozložení přístroje. Jedinou opakovanou výtkou byl malý displej zobrazovacího zařízení.

Za nejvhodnější cílovou skupinu považovali respondenti začínající studenty a pracovníky laboratoří, kteří měří pouze občas nebo se se zařízením teprve seznamují. Aplikace se podle nich hodí jak k rychlému zopakování po delší pauze, tak k teoretické přípravě před samotným měřením. Při výuce by navíc mohla sloužit širokému spektru uživatelů od bakalářských studentů až po doktorandy; v budoucnu by ocenili i anglickou verzi aplikace.

Rozšířená realita byla vnímána převážně pozitivně: usnadňuje první kontakt s přístrojem a zvyšuje míru zapojení i pozornost uživatele. Některým respondentům však přišla málo efektivní a pomalá, z důvodu nutnosti naskenování cílového obrázku. Výhody AR spočívají především v interaktivitě a názornosti, zatímco hlavní nevýhoda je omezení technickými limity zobrazovacího zařízení.

Celkový dojem z aplikace byl u většiny respondentů dobrý; respondenti ji označili za přínosnou a lehce ovladatelnou. Mezi návrhy na zlepšení byly odpovědi, které se převážně netýkaly AR. Jediný návrh na zlepšení týkající se AR mluvil o přidání 3D modelu přístroje pro využití aplikace mimo laboratoř.

Do porovnání aplikace s AR a bez AR se rozhodli zapojit pouze čtyři účastníci testování. Ti hodnotili, že AR verze vyniká při praktické práci přímo u zařízení, zejména díky navigaci v reálném prostoru. Motivuje a udržuje pozornost, což je cenné ve výukovém kontextu. Verze bez AR je rychlejší na přípravu, zejména, když uživatel nemá přístroj fyzicky k dispozici, nebo potřebuje pouze zopakovat postup.

Tabulka 6. Odpovědi uživatelů testujících vytvořenou AR aplikaci – první část

Profil účastníků testování aplikace	Respondent	1	2	3	4	5	6	7
		Vyučující Katedry polygrafie a fotofyziky	Student magisterského studijního oboru Polygrafie	Laborantka Katedry polygrafie a fotofyziky	Laborantka Katedry polygrafie a fotofyziky	Technický pracovník Katedry polygrafie a fotofyziky	Vyučující Katedry polygrafie a fotofyziky	Studentka bakalářského studijního oboru Bioinformatika
	Zkušenost s FTIR přístrojem	Bruker Vertex 70v	Jiný přístroj	Ne	Ne	Ne	Jiný přístroj	Ne
Otázky	Obtížnost ovládní aplikace	Bez problémů	Jednoduché, přehledné	Lehce ovladatelná	Jednoduché	Za jedna	Bodové hodnocení 7 z 10. Bez rad i během chvilky by bylo možné se zorientovat v ovládní.	Jednoduché
	Pro koho a v jakém případě si myslíte, že by aplikace byla nejužitečnější?	Od studentů základního studia po doktorandy. Pro zopakování při nárazovém měření, které se opakuje např. jednou za půl roku. Byla by i použitelná pro přípravu před prací s přístrojem.	Pro studenty i pro pracovníky co nemají zkušenost s přístrojem.	Pro každého uživatele, i osoba bez předchozí instruktáže by zvládla obsloužit přístroj.	Pro studenty i učitele	Pro studenty i zaměstnance katedry pro seznámení s přístrojem.	Pro začátečníky, pro lidi bez zkušenosti. Po vysvětlení přístroje, může být člověk zahlcený informacemi, tak pro zopakování. Pro začínající studenty, kteří by měřili např. bakalářskou práci. Pro rychlejší orientaci i pro zaměstnance katedry.	Jako učební materiál pro studenty, jako příprava na práci s přístrojem.
	Myslíte si, že zakomponování AR do návodu má přínos?	Ano	Určitě	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano

Tabulka 6. Odpovědi uživatelů testujících vytvořenou AR aplikaci – druhá část

	Respondent	1	2	3	4	5	6	7
Otázky	V čem vidíte výhody aplikace s AR?	AR	Animace v AR a zjednodušení prvního kontaktu s přístrojem. Je to přehledné.	To, že je aplikace v češtině, umožňuje rychlou orientaci. Ve 3D je rychle vidět, kde se co nachází.	Šipky, které ukazují kde, co je.	Můžu se podívat kam mám kliknout, nemusí se hledat kde co je.	Nedá se vypíchnout jedna oblast.	AR je interaktivní a udrží pozornost.
	V čem vidíte nevýhody aplikace?	Problémem může být velikost zobrazovacích o zařízení.	Nevýhoda může být závislost na kvalitě fotoaparátu.	Problém je velikost zobrazení	Malý displej	Jednoduší by bylo nemuset skenovat objekt. Malé zobrazení	Nedostatečně podrobné popisy kroků.	Nenapadají žádné
	Byly animace a popisy v aplikaci dostatečně srozumitelné?	Bez problémů	Ano	Byly	Byly	Myslím, že ano.	Popisy srozumitelné, 7 z 10.	Ano
	Fungovalo sledování obrázků (tracking) spolehlivě?	Ano	V rámci možností	Při používání ano	Ano	Animace se chvěla	Ano	Ano
	Co byste na aplikaci změnilí nebo vylepšili?	Jiná barevnost.	Nic nenapadá, aplikace je jednoduchá a přehledná.	Nic nenapadá, fakt jednoduché přehledné	Nic nenapadá	Chtělo by vylepšit o možnost načtení 3D modelu stroje mimo místo stroje.	Bylo by vhodné přidat podrobnější popis kroků.	Bylo by dobré, aby byla možnost promítnout přístroj, když je aplikace požívána mimo laboratoř.
	Jak byste ohodnotili celkový dojem z aplikace?	Při hodnocení známkou na dvojku, sem tam drobné mouchy.	Dobrá, přínosná, lehká manipulace.	Jednička, aplikace vypadá, že může mít velký přínos.	Jednička, velký přínos.	Při známkování jako ve škole za dva.	7 z 10	Neočekávala jsem, že by aplikace s AR mohla být takto využitá, překvapila mě.

## 9. Závěr

Cílem práce bylo představit technologii rozšířené reality, analyzovat její využití ve vzdělávání se zaměřením na polygrafii a navrhnout vlastní funkční aplikaci. Tato aplikace měla demonstrovat praktický přínos AR řešení pro výuku a zaučování v odborném prostředí.

Rešeršní část ukázala, že rozšířená realita se v posledních několika letech posouvá od demonstračních projektů k reálnému využití, a to i v polygrafickém průmyslu. Mezi výhodami byly ve zdrojích zmiňovány interaktivita, upoutání pozornosti i potenciál personalizace. Zároveň byla identifikována hlavní překážka, kterou jsou vyšší hardwarové nároky. V polygrafii, kde je třeba bezpečně procvičit manipulační úkony a pochopit komplexní tiskové procesy, však rozšířená realita nabízí mimořádnou přidanou hodnotu.

Vyvinutá aplikace rozšířené reality demonstruje, že i relativně jednoduché řešení může podstatně zlepšit zaučení obsluhy přístroje. Při testování aplikace na telefonu uživatelé hodnotili ovládání jako jednoduché a doporučovali aplikaci především studentům a pracovníkům, kteří s přístrojem pracují jen příležitostně. Rozšířená realita nejvíce pomohla při první orientaci u přístroje; nejčastěji zmiňovaným limitem byla malá velikost obrazovky mobilního zařízení. To je možné vyřešit použitím zařízení jako je tablet nebo headset.

Přínosem práce je tedy jak komplexní syntéza aktuálních poznatků o rozšířené realitě v polygrafickém vzdělávání, tak ověřený koncept aplikace, který lze rozšířit na další laboratorní přístroje. Budoucí vývoj by se měl zaměřit na verzi v angličtině, zprovoznění aplikace pro headsety pro komfortnější ovládání a na rozšíření obsahu o možnost vyzkoušet si vzorovou úlohu ve virtuálním prostředí.

Celkově práce potvrzuje, že rozšířená realita může být účinným a perspektivním doplňkem výuky v technických oborech, za předpokladu kvalitního zpracování.

## 10. Použitá literatura

- [1] DOERNER, Ralf; BROLL, Wolfgang; GRIMM, Paul a JUNG, Bernhard (ed.). Virtual and augmented reality (VR/AR): foundations and methods of extended realities (XR). Cham, Switzerland: Springer Nature. 2022. ISBN 978 3 030 79061 5.
- [2] Nee, Andrew Yeh Ching; Ong, Soh Khim. Springer Handbook of Augmented Reality 2023. [online]. Springer Nature. [cit. 2025-2-4]. Dostupné na: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpSHAR0003/toc>.
- [3] LAVALLE, Steven M. VIRTUAL REALITY [online]. [cit. 2025-2-6]. Cambridge University Press. 2023. ISBN 978-1107198937. Dostupné na: <https://lavalle.pl/vr/>.
- [4] GODOY JR, Carlo H. Developing an Augmented Reality-Based Game as a Supplementary tool for SHS-STEM Precalculus to Avoid Math Anxiety [online]. [cit. 2025-02-02]. Manila, Philippines: Technological University of the Philippines, 2021. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/2109.09336>.
- [5] POSPÍŠILOVÁ, Kristýna. Využití smíšené reality ve výuce chemie na základní škole. Praha, 2023. Diplomová práce. Univerzita Karlova.
- [6] PTÁČKOVÁ, Markéta. Rozšíření funkce tištěných produktů s využitím digitálních technologií. Online, diplomová práce. Univerzita Pardubice, 2014-06-19T10:16:37Z. [cit. 2025-05-06]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10195/56172>.
- [7] SEIDL, Martin. Návrh a vývoj mobilní webové aplikace využívající rozšířené reality. Online, bakalářská práce. Univerzita Pardubice, 2024-10-13T16:25:40Z. [cit. 2025-05-06]. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10195/84362>.
- [8] BUJÁRKOVÁ, Adéla. Uplatnění virtuálních technologií v prostředí chemického průmyslu. Online, diplomová práce. Univerzita Pardubice, 2023-08-15T08:02:12Z. [cit. 2025-05-07]. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10195/81920>.
- [9] MENDELU. 2023. Digital Water Lab: na nové formě výuky budoucnosti spolupracují dvě fakulty MENDELU [online]. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.businessinfo.cz/clanky/digital-water-lab-na-nove-forme-vyuky-budoucnosti-spolupracuji-dve-fakulty-mendelu>.
- [10] KOENIG & BAUER AG. Remote maintenance for your printing press [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.koenig-bauer.com/en/service/digital-webfed/service/agreement-concepts-maintenance-packages/koenig-bauer-remote-maintenance/>.

- [11] HEIDELBERG IR. Heidelberg and DOCUFY develop mobile, AR-enabled integrated solutions for intelligent and constantly updated content [online]. 2018. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: [https://www.heidelberg.com/global/en/about\\_heidelberg/press\\_relations/press\\_release/press\\_release\\_details/press\\_release\\_144768.jsp](https://www.heidelberg.com/global/en/about_heidelberg/press_relations/press_release/press_release_details/press_release_144768.jsp).
- [12] Gupta, Surabhi & Lohani, Bharat. Augmented reality system using lidar point cloud data for displaying dimensional information of objects on mobile phones. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014. II-5. 10.5194/isprsannals-II-5-153-2014.
- [13] o je to Haptická odezva? [online]. 2008. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://it-slovník.cz/pojem/hapticka-odezva>.
- [14] GOODRICH, Ryan. Accelerometer vs. Gyroscope: What's the Difference? [online]. 2018. [cit. 2025-01-11]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/40103-accelerometer-vs-gyroscope.html>.
- [15] PAVEL, Ugwitz. Využití eye-trackingu ve virtuální realitě. Brno. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. 2020.
- [16] KING, J. a R. SCHNEIDER. On the Peripherals of Peripherals: Exploring a Holistic Augmented Reality Product System. In: HCI International 2020 – Posters. HCII 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1225. [online]. 2020. [cit. 2025-01-11]. Springer. ISBN 978-3-030-50728-2.
- [17] BROWN, Rory. Xreal Air 2 Ultra vs Asus AirVision M1 vs Viture Pro vs TCL RayNeo X2 vs Magic Leap 2 (Comparison). VRcompare. [Online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: [https://vr-compare.com/compare?h1=LUX-f7dXc&h2=yBcFHRYN0&h3=\\_iTfLZMZ&h4=xo3cio\\_3V&h5=mt3AEYJu5](https://vr-compare.com/compare?h1=LUX-f7dXc&h2=yBcFHRYN0&h3=_iTfLZMZ&h4=xo3cio_3V&h5=mt3AEYJu5).
- [18] BROWN, Rory. Meta Quest 3 vs Pimax Crystal Super vs Oculus Quest 2 vs HP Reverb G2 vs Pico 4 Ultra (Comparison). VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: [https://vr-compare.com/compare?h1=0q3goALzg&h2=F206d3eAD&h3=pDTZ02PkT&h4=HdfjN\\_0UIPY&h5=W8bStYZ3H](https://vr-compare.com/compare?h1=0q3goALzg&h2=F206d3eAD&h3=pDTZ02PkT&h4=HdfjN_0UIPY&h5=W8bStYZ3H).
- [19] BROWN, Rory. Asus AirVision M1. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/asusairvisionm1>.
- [20] BROWN, Rory. Magic Leap 2. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/magicleap2>.
- [21] BROWN, Rory. TCL RayNeo X2 VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/tclrayneox2>.

- [22] BROWN, Rory. Viture Pro. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/viturepro>.
- [23] BROWN, Rory. Xreal Air 2 Ultra. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/xrealair2ultra>.
- [24] BROWN, Rory. HP Reverb G2. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/hpreverb2>.
- [25] BROWN, Rory. Meta Quest 3. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/metaquest3>.
- [26] BROWN, Rory. Pico 4 Ultra. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/pico4ultra>.
- [27] BROWN, Rory. Pimax Crystal Super. VRcompare. [online]. 2020. [cit. 2025-01-29]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/headset/pimaxcrystalsuper>.
- [28] BEHNAM, Sana a Raluca BUDIU. Augmented-Reality Calibration in Mobile Apps: 10 Guidelines. Nielsen Norman Group [online]. 2022. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.nngroup.com/articles/ar-calibration/>.
- [29] TRILITEDEV. Software-Defined Displays: The Secret Sauce for AR Smart Glasses. [online]. 2024. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.trilite-tech.com/software-defined-displays-the-secret-sauce-for-ar-smart-glasses/>.
- [30] GEERLINGS-BATT, Jade, Carley TILLET, Ashu GUPTA a Zhonghua SUN. Enhanced Visualisation of Normal Anatomy with Potential Use of Augmented Reality Superimposed on Three-Dimensional Printed Models. *Micromachines*. 2022. DOI:10.3390/mi13101701.
- [31] MINSTER, Gautier, Guillaume MOREAU a Hideo SAITO. Geolocation for Printed Maps Using Line Segment-Based SIFT-like Feature Matching. *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Workshops*. [online]. 2015. [cit. 2024-04-10]. IEEE, 88–93. ISBN 978-1-4673-8471-1. DOI:10.1109/ISMARW.2015.24
- [32] VUFORIA. Image targets. Vuforia [online]. [cit. 2025-01-31]. Dostupné z: <https://developer.vuforia.com/library/objects/image-targets>.
- [33] VUFORIA. Detect and track multiple targets simultaneously. Vuforia [online]. [cit. 2025-01-31]. Dostupné z: <https://developer.vuforia.com/library/objects/detect-and-track-multiple-targets-simultaneously>.
- [34] VUFORIA. Area targets. Vuforia [online]. [cit. 2025-01-31]. Dostupné z: <https://developer.vuforia.com/library/environments/area-targets>.

- [35] VUFORIA. Ground Plane [online]. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://developer.vuforia.com/library/environments/ground-plane>.
- [36] LANKOW Jason, Josh RITCHIE, a Ross CROOKS. Infographics: The Power of Visual Storytelling. Wiley. 2012. ISBN 978-1-118-31404-3.
- [37] BEANE, Andy. 3D Animation Essentials. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons. 2012. ISBN 978-1-118-14748-1.
- [38] CHANDRA, Shobhana, Sanjeev VERMA, Weng Marc LIM, Satish KUMAR a Naveen DONTU. Personalization in personalized marketing: Trends and ways forward. Psychology & Marketing. [online]. 2022. [cit. 2024-01-11]. ISSN 0742-6046. DOI:10.1002/Mar. 21670.
- [39] MARGARITOPOULOS, Merkos, a Elissavet GEORGIADOU. The application of augmented reality in print media. Journal of Print and Media Technology Research. 2023. ISSN: 2414-6250.
- [40] LAMPROPOULOS, Georgios, Konstantinos DIAMANTARAS, Euclid KERAMOPOULOS a Konstantinos EVANGELIDIS. Augmented Reality and Virtual Reality in Education: Public Perspectives, Sentiments, Attitudes, and Discourses. Educ. Sci. [online]. 2022, 12, 798. [cit. 2025-02-02]. DOI: 10.3390/educsci12110798 Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2227-7102/12/11/798>.
- [41] PERIFANO, Maria, Anastasios A. ECONOMIDES a Stavros A. NIKOU. Teachers' Views on Integrating Augmented Reality in Education: Needs, Opportunities, Challenges and Recommendations [online]. Future Internet, 2023. [cit. 2025-02-02]. DOI: 10.3390/fi15010020.
- [42] KOKKINIDIS, Konstantinos-Iraklis a Maria-Theodora FOLINA. Augmented reality as an educational tool in higher education: a literature survey. In: International research journal of Science, Technology, Education, and Management [online]. Department of Applied Informatics, University of Macedonia, Greece, 2024, Kapitola 4. [cit. 2025-02-02]. ISSN 2799-0648. Dostupné z: [https://irjstem.com/wp-content/uploads/2024/08/IRJSTEM\\_V4N2\\_2024\\_P01.pdf](https://irjstem.com/wp-content/uploads/2024/08/IRJSTEM_V4N2_2024_P01.pdf).
- [43] STRIUK, Andrii, Maryna RASSOVYTSKA a Svitlana SHOKALIUK. Using Blippar Augmented Reality Browser in the Practical Training of Mechanical Engineers [online]. Gagarina Ave., Kryvyi Rih, 50086 Ukraine, 2018. [cit. 2025-02-02]. DOI: 10.48550/arXiv.1807.00279. Kryvyi Rih National University. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/326145362\\_Using\\_Blippar\\_Augmented\\_Reality\\_Browser\\_in\\_the\\_Practical\\_Training\\_of\\_Mechanical\\_Engineers](https://www.researchgate.net/publication/326145362_Using_Blippar_Augmented_Reality_Browser_in_the_Practical_Training_of_Mechanical_Engineers).
- [44] DR. ANGELA PUI-LING TONG, FACULTY OF SCIENCE. HKU ChemApp: Supporting Student-Centred E-Learning & Promoting Peer Learning Atmosphere for Undergraduates in Chemistry [online]. 2022. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.cetl.hku.hk/3rdtlfestival22/wp-content/uploads/2022/11/Tong.pdf>.

- [45] ŠKODA AUTO. ŠKODA AUTO testuje brýle rozšířené reality pro údržbu strojů a technická školení [online]. 2021. [cit. 2025-02-01]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/skoda-auto-testuje-bryle-rozsirene-reality-pro-udrzbu-stroju-a-technicka-skoleni/>.
- [46] ŠKODA AUTO. Ve virtuálním centru si můžete sáhnout na neexistující auto [online]. 2024. [cit. 2025-02-01]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-svet-cs/ve-virtualnim-centru-si-muzete-sahnout-na-neexistujici-auto>.
- [47] HEIDELBERG IR. Web to pack: new digital business model successfully established by Heidelberg customer [online]. 2018. [cit. 2025-02-16]. Dostupné z: [https://www.heidelberg.com/za/media/local\\_media/newsletter\\_1/heidelberg\\_newsbrief/newsbrief\\_2018/18\\_11-12\\_simply\\_smart.pdf](https://www.heidelberg.com/za/media/local_media/newsletter_1/heidelberg_newsbrief/newsbrief_2018/18_11-12_simply_smart.pdf).
- [48] HEIDELBERG IR. 2020 training year gets underway at Heidelberg – digitization continues to gain momentum [online]. 2020. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: [https://www.heidelberg.com/global/en/about\\_heidelberg/press\\_relations/press\\_release/press\\_release\\_details/press\\_release\\_144768.jsp](https://www.heidelberg.com/global/en/about_heidelberg/press_relations/press_release/press_release_details/press_release_144768.jsp).
- [49] ZHANG, Chuan, Enyin FANG, Shengwei YANG a Pengfei CHENG. Application of Virtual Reality Technology in Practical Teaching of Printing Machines. In: Proceedings of the 3rd International Conference on internet, Education and Information Technology. Springer, 2023, s. 591-598. DOI: 10.2991/978-94-6463-230-9\_71.
- [50] ZÁKLADNÍ ŠKOLA OSTROV. Metoda rozšířené reality ve výuce na základních školách [online]. 2018. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.lzsostrov.cz/projekty/metoda-rozsirene-reality-ve-vyuce-na-zakladnich-skolach/>.
- [51] GULAG.CZ. GULAG XR – vzdělávání s virtuální a rozšířenou realitou [online]. 2023. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://gulag.cz/cs/projekty/gulag-xr-vzdelavani-s-virtualni-a-rozsirenou-reality>.
- [52] ADOBE. What is Adobe Aero [online]. 2023. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://helpx.adobe.com/aero/using/what-is-adobe-aero.html>.
- [53] ADOBE FOR EDUCATION. 3D Design with Aero & Dimension | Adobe in the Classroom Video Bytes [online]. 2020. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.youtube.com/watch?v=FDf9B1oZo4s>.
- [54] ADOBE. Share your AR creations [online]. 2023. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://helpx.adobe.com/aero/using/share-ar-creations.html>.
- [55] THEHYDRO.US. AR REEF [online]. 2024. [cit. 2024-12-27]. Dostupné na: <https://thehydro.us/arreef>.

- [56] GOOGLE. Overview of ARCore and supported development environments [online]. 2024. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://helpx.adobe.com/aero/using/share-ar-creations.html>.
- [57] SIGNAL GARDEN RESEARCH. 2017. AR Atom Visualizer for ARCore [online]. 7. 2. 2024 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.signalgarden.atomvisualizer&hl=cs>.
- [58] UNITY TECHNOLOGIES. AR Foundation [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@6.0/manual/index.html>.
- [59] MICHAEL Ovens, Megan Ellyard, Jacob Hawkins, a Dino Spagnoli. 2020. Developing an Augmented Reality Application in an Undergraduate DNA Precipitation Experiment to Link Macroscopic and Submicroscopic Levels of Chemistry [online]. In: American Chemical Society and Division of Chemical Education, s. 3882 - 3886 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: [https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.jchemed.0c00481?ref=article\\_openPDF](https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.jchemed.0c00481?ref=article_openPDF).
- [60] ARTIVIVE. About Artivive [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.artivive.com/about>.
- [61] AUGMENT. Augment [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.augment.com>.
- [62] MICROSOFT. Mixed Reality Toolkit 3 [online]. 2022. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://learn.microsoft.com/cs-cz/windows/mixed-reality/mrkt-unity/mrkt3-overview/>.
- [63] MICROSOFT. Periodic Table of the Elements [online]. 2022. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/unity/periodic-table-of-the-elements>.
- [64] UNITY TECHNOLOGIES. Unity Engine [online]. 2024. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://unity.com/products/unity-engine>
- [65] WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. (2016). Unity (herní engine) [online]. 10.11.2024 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: [https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Unity\\_\(herní\\_engine\)&action=history](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Unity_(herní_engine)&action=history)
- [66] WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. 2004. Unreal Engine [online]. 30.1.2025 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal\\_Engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine)
- [67] EPIC GAMES. Blueprints Visual Scripting [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine>
- [68] VLADIMÍR NEPOR. Postup zpracování aplikace v Unreal Engine [online]. 2021. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.vrapps.cz/blog/zpracovani-vr-aplikace-v-unreal-engine>

- [69] EPIC GAMES, INC. Unreal Engine for extended reality (XR) [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.unrealengine.com/en-US/xr>
- [70] IL DIVINO Michelangelo's Sistine Ceiling in VR: About THE EXPERIENCE [online]. 2019. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://sistinevr.com>
- [71] VUFORIA. Vuforia Engine Overview [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://developer.vuforia.com/library/getting-started/vuforia-features>
- [72] ARTHUR ARZUMANYAN. 2018. AR Solar System [online]. 3. 7. 2020 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ar.solar&hl=cs>
- [73] ZAPPAR. World Leading XR Solutions [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.zappar.com>
- [74] AIRCADA, INC. 8th Wall vs Zappar – Which Has a Wider Reach? [online]. 2024. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://aircada.com/blog/8th-wall-vs-zappar>
- [75] BLIPPAR. 2011. Blippar - The Augmented Realit [online]. 26.6.2019 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.blippar.ar.android&hl=cs>
- [76] META. a Meta Spark Update [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://spark.meta.com/blog/meta-spark-announcement/>
- [77] WIKITUDE. Wikitude Product and Services End-of-Life [online]. 2024. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://www.wikitude.com>
- [78] WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. 2023. VisionOS [online]. 28.1.2025 [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://en.wikipedia.org/wiki/VisionOS>
- [79] APPLE INC. More to explore with ARKit 6 [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>
- [80] APPLE INC. Augmented Reality [online]. 2025. [cit. 2025-2-6]. Dostupné na: <https://developer.apple.com/augmented-reality/tools/>
- [81] PLANK, Rudolf. 2016. *VERTEX 70v: User Manual*. 3rd edice. BRUKER OPTIK.
- [82] VUFORIA. *Enabling/Disabling Extended Tracking* [online]. 2025. [cit. 2025-5-4]. Dostupné na: <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/vumarks/vumarks-unity/?h=extend#enablingdisabling-extended-tracking>
- [83] ALBERTKARUNA. Object is not coming on top/center of the Vuforia marker in Hololens, How to solve it? Stack Overflow [online]. 2019. [cit. 2025-5-4]. Dostupné na: <https://stackoverflow.com/questions/57798101/object-is-not-coming-on-top-center-of-the-vuforia-marker-in-hololens-how-to-sol>.

[84] KORDIOVSKÁ, Veronika a Veronika HOLEŇOVÁ. Návod pro FTIR přístroj Avatar. Pardubice. Semestrální práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemickotechnologická, Katedra polygrafie a fotofyziky. 2025.

PŘÍLOHA A *Aplikace*  
PŘÍLOHA B *Projekt aplikace*