

Univerzita Jana Evangelisty Purkyně
v Ústí nad Labem
Přírodovědecká fakulta



Prototyp aplikace pro zobrazení digitálních
dvojčat stavebních projektů v rozšířené realitě

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Radek Šmejkal

Vedoucí práce: Ing. Mgr. Pavel Beránek

Studijní program: Aplikovaná informatika

Studijní obor: Aplikovaná informatika

ÚSTÍ NAD LABEM 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiloženém seznamu literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem 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 Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

V Ústí nad Labem dne 29. listopadu 2025

Podpis:

Děkuji vedoucímu práce Ing. Mgr. Pavlovi Beránkovi za neocenitelné rady a pomoc při tvorbě bakalářské práce.

Dále děkuji své rodině a nejbližším přátelům za podporu během studia a psání závěrečné práce.

PROTOTYP APLIKACE PRO ZOBRAZENÍ DIGITÁLNÍCH DVOJČAT STAVEBNÍCH PROJEKTŮ V ROZŠÍŘENÉ REALITĚ

Abstrakt:

Abstract práce uvádí základní téma práce a především její výstupy. Rozsah abstraktu by měl být alespoň osmdesát slov (abstrakty a klíčová slova se však musí vejít na stránku).

Klíčová slova: tři až pět klíčových slov resp. termínů, která usnadní případné vyhledávání závěrečné práce, v pořadí od obecnějších ke konkrétnějším

PROTOTYPE OF AN APPLICATION FOR DISPLAYING DIGITAL TWINS OF CONSTRUCTION PROJECTS IN AUGMENTED REALITY

Abstract:

The abstract states the main topic of the thesis and mainly its outcomes. The length of the abstract should be at least eighty words (however, abstracts and keywords must fit on a page)

Keywords: three to five key words or terms to facilitate a possible search of the thesis, in order from more general to more specific

Obsah

Seznam obrázků	11
Seznam ukázek kódu	13
1. Úvod	15
2. Teoretická část	17
2.1. Digitální dvojčata a územní plánování	17
2.2. Rozšířená realita	18
2.3. Přehled existujících řešení	21
3. Praktická část	25
3.1. Metodika práce	25
3.2. Návrh systému	27
3.3. Vybraný technologický zásobník	31
3.4. Implementace systému	32
4. Diskuse a výsledky	35
5. Závěr	37
Seznam použitých zdrojů	39
A. Externí přílohy	41

Seznam obrázků

2.1.	Spektrum imerzivních technologií [4]	18
2.2.	Ukázka markeru v praxi. [5]	19
2.3.	Ukázka aplikace bez markerů <i>IKEA Place</i> [6]	20
2.4.	Ukázka interaktivního pískoviště IQLANDIA [7]	20
2.5.	Překlad pomocí aplikace <i>Google Lens</i> [8]	21
2.6.	Ukázka zobrazení stavebního projektu v aplikaci Trimble Connect AR. [9]	22
2.7.	Ukázka zobrazení stavebního projektu v aplikaci Dalux BIM Viewer. [10]	23
2.8.	Ukázka pokládání modelu v aplikaci Augment. [11]	24
3.1.	Sekvenční diagram systému	28
3.2.	Návrh mobilního rozhraní - Figma prototyp všech čtyř hlavních obrazovek	30

Seznam ukázek kódu

1. Úvod

2. Teoretická část

2.1. Digitální dvojčata a územní plánování

V dnešní době, kdy města čelí významným výzvám jako je rychlý populační růst, omezené zdroje, klimatické změny a tlak na udržitelný rozvoj, je nezbytné využívat pokročilé nástroje pro územní plánování. Tradiční přístupy často nedostačují k řešení složitých a dynamických problémů moderních měst. V tomto kontextu se stále více prosazují technologie jako Internet věcí (IoT), umělá inteligence (AI) a imerzivní technologie jako například virtuální a rozšířená realita. [1]

Digitální dvojče

Digitální dvojče představuje procesy a metody popisující a modelující vlastnosti, chování, vznik a fungování fyzických objektů prostřednictvím digitálních technologií. Model digitálního dvojčete plně odpovídá svému fyzickému protějšku v reálném světě a je schopen v reálném čase simulovat jeho chování a výkon. Digitální dvojče tak tvoří dynamický a přesný digitální obraz fyzického objektu, který je průběžně aktualizován na základě dat z reálného prostředí. Tento model může umožňovat nejen monitorování, ale i predikci jeho chování a optimalizaci provozu. Digitální dvojče se tak nemusí omezovat pouze na popis geometrie a funkcí, ale může zahrnovat i celý životní cyklus fyzického objektu, včetně výstavby, údržby a provozu.[2]

Využití digitálních dvojčat v územním plánování

Digitální dvojčata umožňují simulaci různých urbanistických scénářů a předpovídání dopadů plánovaných rozhodnutí, což vede k optimalizaci využití zdrojů, zvýšení udržitelnosti a zlepšení kvality života obyvatel. Tato technologie podporuje datově podložené rozhodování a umožňuje testování inovativních řešení v bezpečném virtuálním prostředí, čímž minimalizuje náklady a rizika reálných experimentů. Díky tomu se digitální dvojčata stávají klíčovým nástrojem moderního územního plánování a správy měst.[1]

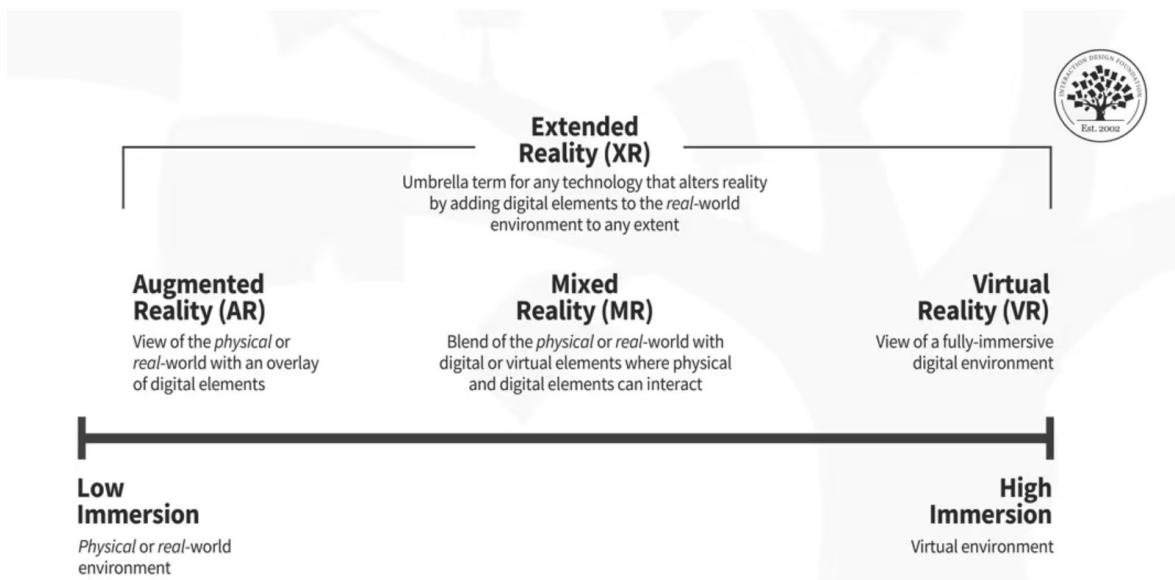
2.2. Rozšířená realita

Rozšířená realita (*Augmented Reality*) je technologie, která v reálném čase spojuje fyzický svět s digitálními prvky, a to ve formě 2D i 3D objektů, které jsou přirozeně začleněné do reálného prostředí. Umožňuje uživatelům interagovat s těmito digitálními objekty pomocí několika metod ovládání, jako jsou například pohyb zařízení, dotykové ovládání nebo hlasové příkazy. [3]

V českém jazyce se běžně používá termín „rozšířená realita“ jako překlad anglického *Augmented Reality* (AR). Tento překlad však není zcela přesný. Pojem *augmented* doslova znamená „posílený“ či „rozšířený o něco navíc“, a vhodnějším překladem by tak mohl být například „posílená realita“. Nicméně, v češtině se již ustálil výraz „rozšířená realita“, a tak jej budu užívat v rámci této práce. [4]

Zároveň je třeba rozlišovat pojem *Extended Reality* (XR), který označuje zastřešující termín pro technologie jako virtuální realita (*Virtual Reality*, VR), smíšená realita (*Mixed Reality*, MR) a právě rozšířená realita (*Augmented Reality*, AR). XR tedy pokrývá celé spektrum imerzivních technologií od posílené a smíšené reality po čisté virtuální. [4]

Spektrum na následujícím obrázku přehledně ukazuje přechod mezi jednotlivými technologiemi.



Obrázek 2.1.: Spektrum imerzivních technologií [4]

Klíčové aspekty

Pro správné fungování rozšířené reality jsou zásadní tyto klíčové aspekty: Jedním z nich je snímání reality, při kterém kamery a senzory zachycují reálné prostředí a detekují klíčové body a plochy v prostoru. Tento proces umožňuje správné zobrazení a interakci digitálních objektů s fyzickým světem, čímž se vytváří dojem jejich skutečné přítomnosti v daném prostředí. Dalším důležitým prvkem je pozicování, které zajišťuje přesné určení polohy zařízení v prostoru. Rozšířená realita

využívá různé senzory, jako jsou GPS, akcelerometry či gyroskopy, díky nimž dokáže určit orientaci a pohyb zařízení. Tato kombinace senzorických údajů je klíčová pro správné umístění a zobrazení digitálních prvků v reálném světě. Poslední zásadní složkou je vykreslování, které umožňuje realistické zobrazení digitálních objektů v souladu s perspektivou a měřítkem okolního prostředí. Díky tomu se digitální objekty zobrazují v přesné poloze a působí dojmem, že jsou přirozenou součástí reality. [3]

Typy rozšířené reality

Rozšířená realita pomocí markerů (marker-based)

Tento přístup je také často nazýván rozpoznáváním obrázků, protože využívá markery umístěné v reálném světě jako referenční body pro určení polohy a orientace zařízení. Kamery a senzory v zařízení detekují marker, který slouží k identifikaci a zobrazení specifického digitálního objektu přímo na pozici markeru. Tato metoda je jednoduchá a efektivní pro aplikace, které vyžadují interakci s konkrétními objekty v reálném světě. [3]

Markerem může být prakticky jakýkoliv grafický prvek, který je jednoznačně rozpoznatelný a odlišný od okolí. Například speciální symbol, logo, QR kód nebo běžný obrázek s dostatečně výraznými rysy.[5]

Jako příklad slouží tento obrázek, kde markerem je H na přistávací ploše a proto se logo položí přesně na pozici markeru.

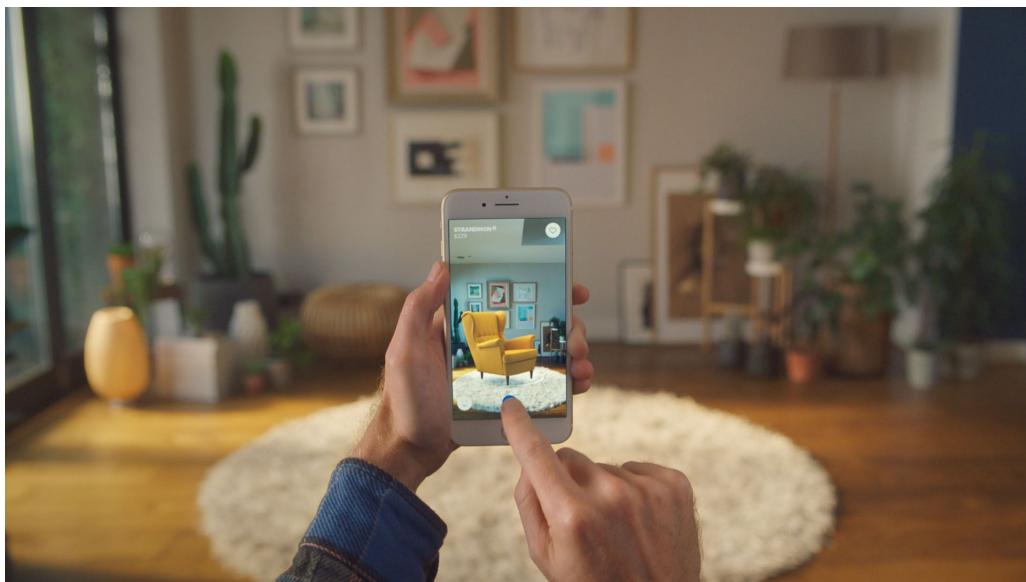


Obrázek 2.2.: Ukázka markeru v praxi. [5]

Rozšířená realita bez markerů (markerless)

Aplikace bez markerů využívá senzory, jako jsou GPS, akcelerometry a gyroskopy pro určení polohy a orientace zařízení v prostoru bez použití vizuálních markerů. Tento přístup je běžně používán v aplikacích, které závisí na geolokaci (například navigace a mapování) a umožňuje uživatelům interagovat s virtuálními objekty na základě jejich skutečné polohy v reálném světě. [3]

Příkladem již existující markerless aplikace je *IKEA Place*, která umožňuje uživatelům vizualizovat nábytek přímo v jejich domácnosti pomocí rozšířené reality. [6]

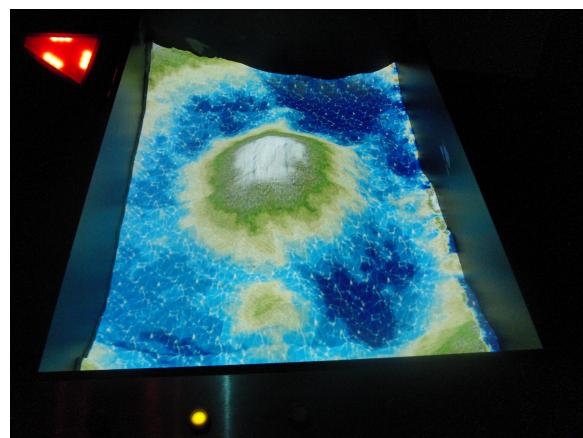


Obrázek 2.3.: Ukázka aplikace bez markerů *IKEA Place* [6]

Rozšířená realita na základě projekce

Tento přístup využívá projekci světla na povrchy v reálném světě k interakci s digitálními prvky. Senzory detekují změny v projekci a umožňují uživatelům reagovat na změny, což vytváří interaktivní zážitky. Tento typ pozicování je mnohem náročnější na výpočetní výkon, protože vyžaduje analýzu změn v projekcích a jejich korelací s pohybem uživatele. [3]

Reálným příkladem rozšířené reality na základě projekce je interaktivní pískoviště. Poskytuje uživatelům možnost modelovat vlastní krajinu z píska a pozorovat, jak v ní probíhají různé přírodní procesy. [7]



Obrázek 2.4.: Ukázka interaktivního pískoviště IQLANDIA [7]

Rozšířená realita pomocí překrytí

Tento přístup umožňuje úplné nebo částečné překrytí reálného objektu digitálními informacemi. U tohoto typu je klíčové rozpoznání objektů, protože aplikace musí správně identifikovat, kde se objekt nachází, aby ho mohla správně překrýt. [3]

Příkladem překrytí je *Google Lens*, již existující aplikace která poskytuje nástroje pro počítání příkladů, překlad textů a identifikaci předmětů prostřednictvím rozšířené reality. Pro lepší představu je obraz z kamery zpracován a následně dochází k překrytí reálného textu v cizím jazyce jeho překladem. [8]



Obrázek 2.5.: Překlad pomocí aplikace *Google Lens* [8]

2.3. Přehled existujících řešení

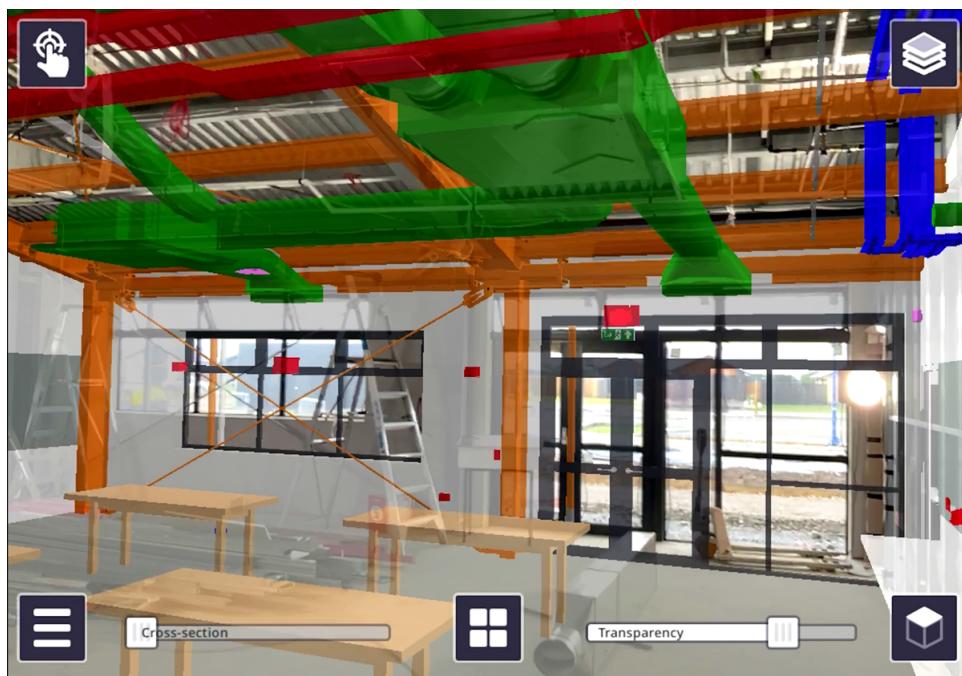
S rychlým rozvojem technologií rozšířené reality (AR) roste i počet aplikací, které umožňují zobrazovat digitální modely staveb přímo v reálném prostředí uživatele. Existují však nejen aplikace určené pro prezentaci hotových či plánovaných stavebních projektů, ale také sofistikovaná řešení, která stavitele používají přímo na staveništi. Tyto aplikace slouží například k vizualizaci rozvodů kanalizace, elektroinstalací a vody. To přispívá k efektivnější koordinaci a kontrole stavebních prací.

Trimble Connect AR

Trimble Connect AR je pokročilá aplikace využívající rozšířenou realitu pro vizualizaci stavebních projektů přímo na staveništi. Tato platforma umožňuje uživatelům zobrazovat 3D modely staveb v reálném prostředí přes mobilní zařízení nebo AR brýle. Na rozdíl od jednoduchých AR vizualizací se Trimble Connect AR zaměřuje na podporu profesionálů ve stavebnictví.[9]

Mezi hlavní funkce aplikace patří možnost přesného umístění digitálního modelu na skutečné místo výstavby, synchronizace s cloudovým repozitářem projektové dokumentace a spolupráce více uživatelů v reálném čase. Díky integraci s BIM (Building Information Modeling) umožňuje také zobrazovat detailní informace o konstrukčních prvcích, stavebních materiálech a dalších parametrech přímo v AR prostředí.[9]

Tato aplikace je ukázkou moderního využití rozšířené reality v praxi, která přesahuje pouhou vizualizaci a přináší přidanou hodnotu při řízení stavebních projektů. I když je funkčně mnohem pokročilejší než prototyp vyvýjený v rámci této práce, slouží jako inspirace a důkaz potenciálu AR v oblasti digitálních dvojčat staveb.[9]



Obrázek 2.6.: Ukázka zobrazení stavebního projektu v aplikaci Trimble Connect AR. [9]

Dalux BIM Viewer

Dalux AR je uživatelsky přívětivá aplikace, která využívá rozšířenou realitu pro snadnou vizualizaci stavebních projektů přímo na staveništi či v kanceláři. Na rozdíl od pokročilých a komplexních platform, jako je Trimble Connect AR, se Dalux zaměřuje na nižší cenu, jednoduchost, a rychlosť použití, což jej činí ideálním nástrojem pro menší stavební projekty nebo pro rychlou kontrolu a prezentaci návrhů.[10]

Mezi hlavní přednosti Dalux BIM Viewer patří intuitivní uživatelské rozhraní, které nevyžaduje rozsáhlé školení, a rychlé nasazení bez potřeby složitého nastavování. Aplikace umožňuje přímé zobrazení 3D modelů na staveništi s možností základní interakce, jako je změna měřítka nebo rotace modelu. [10]



Obrázek 2.7.: Ukázka zobrazení stavebního projektu v aplikaci Dalux BIM Viewer. [10]

Augment

Dalším zajímavým řešením je aplikace Augment, která se zaměřuje na jednoduchou vizualizaci 3D modelů podobně jako prototyp vyvýjený v rámci této práce. Na rozdíl od sofistikovaných nástrojů umožňuje snadno a rychle zobrazit modely bez složitého nastavování. Aplikace pouze snímá povrch podlahy a na něj položí uživatelem vybraný 3D model.[11]

Uživatelé mohou libovolně upravovat velikost, přesouvat a otáčet objekty. Tento přístup však

snižuje přesnost vztahu mezi digitálním dvojčetem a fyzickým prostředím, a proto není ideální pro přesnou vizualizaci stavebních projektů. Spíše se hodí na zobrazení produktů pro lepší představu například při nakupování na e-shopu. [11]



Obrázek 2.8.: Ukázka pokládání modelu v aplikaci Augment. [11]

Shrnutí

Analýza existujících řešení ukázala, že technologie pro vizualizaci stavebních projektů v rozšířené realitě jsou již dostupné, avšak většina z nich je zaměřena na profesionální použití, je technicky složitá, nebo finančně náročná. Současná komerční řešení se často orientují na komplexní projektové řízení, simulace stavebního procesu nebo interní firemní komunikaci.

Z vypracovaného přehledu tedy vyplývá, že na trhu chybí jednoduchá, dostupná a uživatelsky přívětivá aplikace, která by umožnila široké veřejnosti nahlížet na plánované projekty formou digitálních dvojčat v rozšířené realitě a zároveň poskytovat zpětnou vazbu. Tato skutečnost potvrzuje relevanci a praktický význam této práce.

3. Praktická část

3.1. Metodika práce

Práce na vývoji prototypu aplikace byla rozdělena do několika etap, které na sebe navazovaly. Cílem bylo postupovat systematicky, od úvodní analýzy a rešerše až po návrh, implementaci a testování aplikace. Při plánování metodického postupu byl zvolen vodopádový model s prvky iterativního přístupu. Vodopádový model je pro akademické práce vhodný kvůli pevnému zadání, které je potřeba nadefinovat před začátkem práce a prvky iterativního modelu jsou zase vhodné při jednotlivých fázích vývoje.

V první fázi byla provedena analýza zadání a dostupných technologií. Tato etapa zahrnovala rešerší týkající se rozšířené reality, digitálních dvojčat a mobilních aplikací, s důrazem na využití v oblasti stavebnictví a územního plánování. Součástí této analýzy bylo také prostudování existujících řešení a výběr vhodného přístupu k návrhu vlastní aplikace.

Na základě zjištěných poznatků následovala fáze specifikace požadavků, ve které byly stanoveny hlavní funkce, které má aplikace splňovat. Důraz byl kladen na využití rozšířené reality pro zobrazení 3D modelů stavebních projektů, přístup k těmto modelům prostřednictvím mapy nebo QR kódu a možnost zpětné vazby ze strany uživatele.

Následovala fáze návrhu systému, kde byl na základě definovaných požadavků vytvořen návrh architektury celé aplikace. Tento návrh zahrnoval návrh klientské i serverové části.

Po dokončení návrhu byla zahájena fáze implementace systému. Vývoj probíhal postupně, přičemž průběžné konzultace s vedoucím práce a zpětná vazba hrály klíčovou roli při ladění funkcionality. Součástí procesu implementace byl také jednoduchý CI proces, který při každém zapsání změn do repozitáře automaticky spouštěl linter, instaloval závislosti a kontroloval, zda je projekt sestavitelný.

Závěrečnou část metodiky tvořilo manuální testování, během kterého byly ověřeny všechny klíčové funkcionality aplikace, jako jsou rozšířená realita, načítání 3D modelů, komunikace se serverem a mapová navigace.

a

3.2. Návrh systému

Architektura systému

Systém využívá architekturu klient-server a skládá se tedy ze dvou hlavních částí: klientské části a serverové části (API a databáze). Klientská část zajišťuje interakci s uživatelem, vizualizaci digitálních dvojčat v rozšířené realitě, práci s mapovým rozhraním a komunikaci se serverem. Serverová část přijímá požadavky klientů, poskytuje data digitálních dvojčat, přijímá a ukládá zpětnou vazbu uživatelů a spravuje modely.

Modulární návrh umožňuje samostatný rozvoj jednotlivých částí systému a zajišťuje efektivní přenos dat mezi klientem a serverem. Hlavní tok dat začíná na klientské straně výběrem digitálního dvojčete, například prostřednictvím mapového rozhraní nebo QR kódu. Následně klient odešle požadavek na server, model a jeho metadata jsou staženy a následně zobrazeny v prostředí rozšířené reality. Po prohlédnutí modelu může uživatel odeslat zpětnou vazbu na server. Oddělení klientské a serverové logiky podporuje budoucí rozšiřitelnost a škálovatelnost systému.

Sekvenční diagram systému

Sekvenční diagram znázorňuje hlavní procesy, které probíhají při používání aplikace. Jedná se o samotné zapnutí aplikace, zobrazení mapy, výběr projektu, vizualizaci a hodnocení projektu. Na diagramu vystupují čtyři klíčové komponenty, kterými jsou uživatel, mobilní aplikace, serverová část spolu s databází a externí služba Google Maps API.

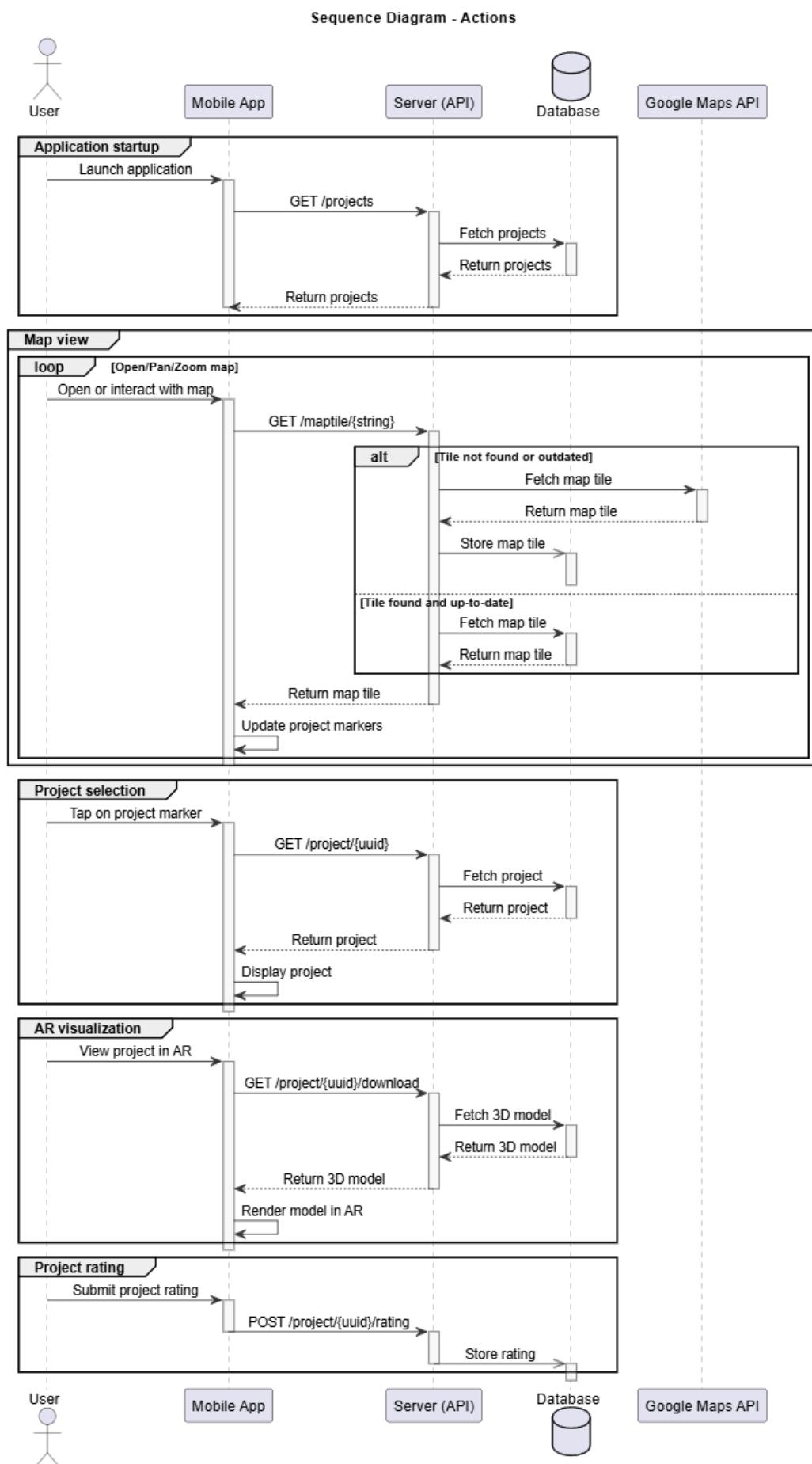
Po spuštění aplikace odešle mobilní zařízení požadavek na sever a vyžádá si seznam dostupných projektů. Server tato data načte z databáze a vrátí je zpět klientovi, aby bylo možné pokračovat na mapovou obrazovku.

V části věnované mapovému zobrazení dochází k opakování načítání mapových dlaždic podle toho, jak uživatel s mapou interaguje (pohyb, přibližování a oddalování). Mobilní aplikace nejprve ověří dostupnost dlaždice na serveru. Pokud požadovaná dlaždice není dostupná, nebo není aktuální, server ji nejprve stáhne z Google Maps API, uloží do databáze a následně odešle klientovi. V opačném případě je načtena přímo z databáze. Klient poté aktualizuje pozice projektových markerů na mapě.

Při výběru konkrétního projektu odešle aplikace dotaz na server a získá detailní informace o projektu. Po jejich načtení z databáze se uživateli zobrazí náhledová obrazovka, která umožňuje přejít do režimu rozšířené reality.

V okamžiku, kdy uživatel požádá o zobrazení digitálního dvojčete v AR, aplikace si od serveru vyžádá 3D model příslušného projektu. Server jej získá z databáze, odešle zpět klientovi a mobilní aplikace model následně vizualizuje v AR.

Poslední část diagramu popisuje odeslání uživatelské zpětné vazby. Po vyplnění hodnocení odešle aplikace data na server, který uloží hodnocení do databáze.



Obrázek 3.1.: Sekvenční diagram systému

Klientská část (mobilní aplikace)

Klientská část mobilní aplikace slouží jako hlavní prostředí, ve kterém uživatel pracuje s digitálními dvojčaty. Umožňuje vyhledávat dostupné projekty pomocí interaktivní mapy nebo je rychle načíst prostřednictvím QR kódu. Po výběru je 3D model načten ze serveru a zobrazen v rozšířené realitě, přičemž není nutné používat fyzické markery. Model lze volně prohlížet z různých úhlů, což uživateli poskytuje lepší prostorovou představu o jeho podobě i fungování. Veškerá data jsou získávána dynamicky ze serveru, aby byla zajištěna aktuálnost jednotlivých projektů, a po prohlédnutí může uživatel odeslat zpětnou vazbu prostřednictvím jednoduchého formuláře.

Návrh uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní je koncipováno jako přehledné a intuitivní. Obsahuje hlavní AR obrazovku s digitálním dvojčetem, mapové rozhraní pro výběr projektů, informační panel s detailem projektu a formulář pro zpětnou vazbu. Navigace v jednotlivých obrazovkách je řešena spodním navaigačním panelem. Ostatní ovládací prvky jsou ukotveny k okrajům obrazovky tak, aby byla zajištěna alespoň minimální forma responzivity rozhraní.

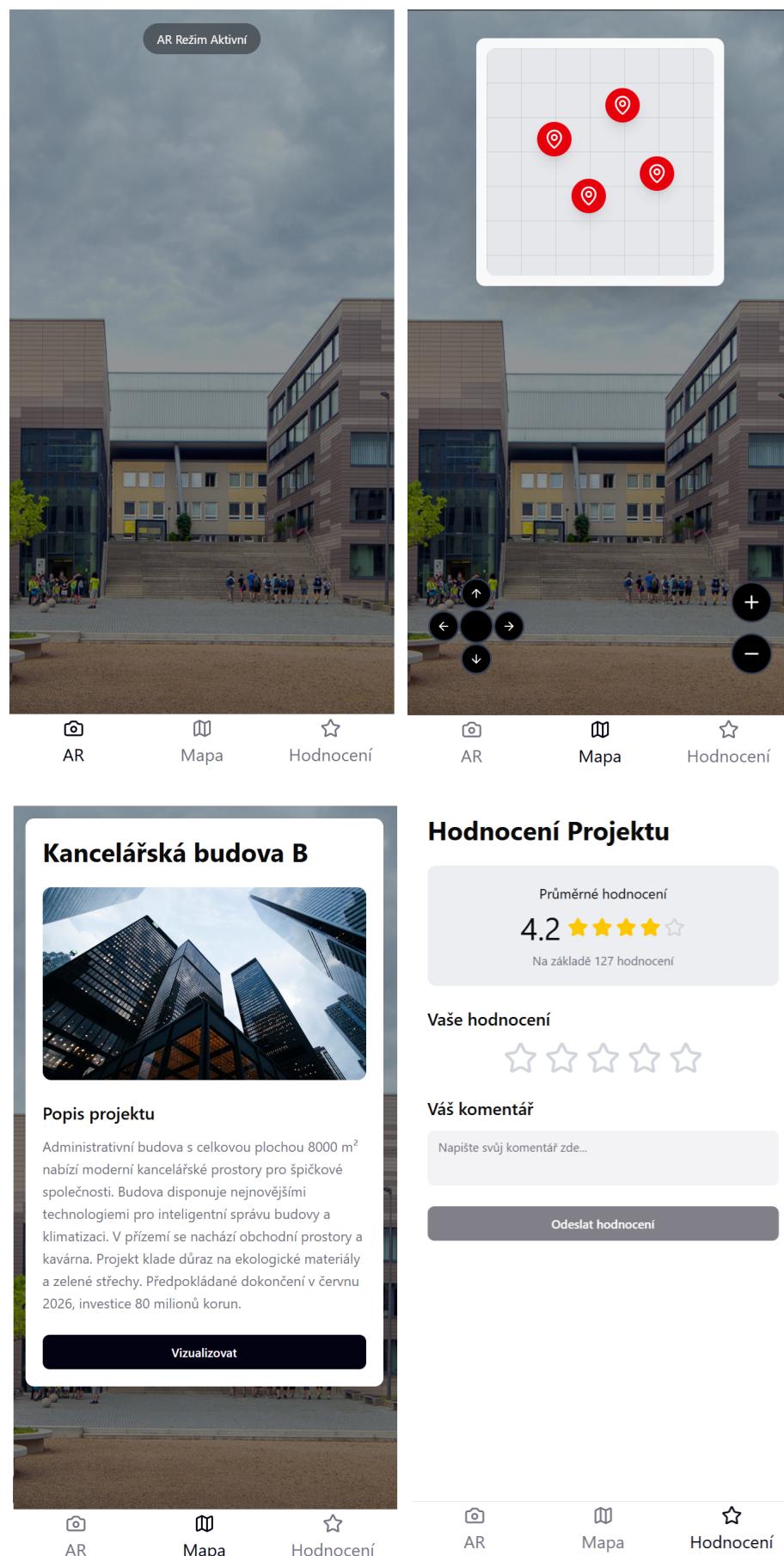
Návrh uživatelského rozhraní zahrnuje čtyři klíčové obrazovky, které společně pokrývají celý proces práce s digitálním dvojčetem. První z nich je AR režim, který umožňuje zobrazit 3D model přímo v reálném prostředí. Uživatel si může model zobrazit přímo v reálném prostředí před sebou. Tento pohled je navržen s důrazem na minimální množství ovládacích prvků, aby nerušil vizuální dojem a umožnil maximální prostor pro samotnou vizualizaci.

Druhá obrazovka přestavuje mapový systém, který slouží jako hlavní způsob výběru dostupných digitálních dvojčat. Uživatel zde může přibližovat či oddalovat mapu, vybírat projekty podle jejich polohy.

Třetí obrazovka poskytuje náhled projektu, tedy stránku s důležitými informacemi o vybraném digitálním dvojčeti. Zobrazuje název projektu, ilustrační obrázek a stručný popis, který uživateli pomáhá pochopit kontext před vstupem do rozšířené reality. Tato obrazovka slouží jako logický mezíkrok mezi mapou a samotným AR režimem.

Poslední obrazovkou je hodnocení projektu, které umožňuje uživateli poskytnout zpětnou vazbu. Kombinuje textové pole pro komentář a hvězdičkové hodnocení. Tato část rozhraní podporuje jednoduché a rychlé vyplnění tak, aby zpětná vazba nebyla pro uživatele zbytečnou zátěží.

Napříč všemi obrazovkami byla věnována pozornost také volbě velikosti písma. Nadpis a klíčové informace využívají větší, výraznější typografii, zatímco doprovodné texty a sekundární prvky pracují s menší velikostí písma. Teto přístup zajišťuje zřetelné hierarchické členení informací, dobrou čitelnost a jednotný vizuální styl napříč celou aplikací.



Obrázek 3.2.: Návrh mobilního rozhraní - Figma prototyp všech čtyř hlavních obrazovek

Serverová část a správa dat

Server přijímá požadavky od klientů, zpracovává je a poskytuje data digitálních dvojčat včetně 3D modelů a doprovodných informací. Kromě poskytování dat server přijímá a ukládá zpětnou vazbu uživatelů a zajišťuje konzistenci informací v databázi. Oddělení logiky klienta a serveru podporuje rozšiřitelnost systému. Komunikace probíhá prostřednictvím definovaného API, které zajišťuje efektivní přenos dat.

Komunikační protokoly a datové formáty

Data mezi klientem a serverem jsou přenášena prostřednictvím zabezpečeného protokolu vhodného pro přenos textových i binárních dat. Formát dat umožňuje snadnou serializaci a deserializaci, což usnadňuje jejich zpracování na obou stranách systému. 3D modely včetně textur jsou přenášeny ve formátu optimalizovaném pro mobilní zobrazovací prostředí.

3.3. Vybraný technologický zásobník

Pro vývoj aplikace jsem zvolil technologický zásobník, který kombinuje nástroj pro tvorbu AR aplikací, spolehlivý serverový backend a dokumentově orientovanou databázi. Jednotlivé technologie jsem vybral primárně kvůli dostupnosti kvalitní dokumentace a podpoře funkcionalit, které tato práce vyžaduje.

Klientská část

Základ klientské časti tvoří herní engine Unity, který je v současnosti jedním z nejpoužívanějších nástrojů pro vývoj AR a VR aplikací. Hlavní výhodou Unity je jeho multiplatformnost, podpora velkého množství XR zařízení a stabilní ekosystém knihoven.

K implementaci logiky aplikace byl využit jazyk C#, který Unity nativně podporuje. C# nabízí jasnou syntaxi, doubrou práci s objekty a bohaté množství knihoven.

Serverová část

Pro serverovou část aplikace byl zvolen programovací jazyk Python v kombinaci s frameworkem Flask. Flask představuje minimalistický a snadno rozšiřitelný framework, který umožňuje rychlou tvorbu REST API i jednoduchou správu jednotlivých endpointů. Díky nízké režii je vhodný pro projekty, které vyžadují lehkou, přehlednou a snadno udržovatelnou serverovou logiku.

Pro zajištění přenositelnosti a konzistentního prostředí je server provozován pomocí kontejnerizační technologie Docker. Kontejnery umožňují izolovat běhové prostředí, usnadňují nasazení a umožňují jednotnou konfiguraci nezávislou na cílovém zařízení.

Datová vrstva je řešena dokumentově orientovanou databází MongoDB. Tento typ databáze umožňuje ukládat nestrukturovaná či částečně strukturovaná data. Výhodou MongoDB je také jednoduchá integrace s Pythonem a možnost dynamicky přizpůsobovat datový model podle potřeb aplikace.

3.4. Implementace systému

Implementace probíhala podle předem navržené architektury a metodiky, přičemž jsem se snažil o co největší modularitu a přehlednost kódu. Samotná implementace probíhala v několika etapách, při kterých jsem zajišťoval jednotlivé funkcionality.

Integrace rozšířené reality

Pro zajištění správné interakce s 3D objekty v rozšířené realitě jsem použil XR Interaction Toolkit, což je knihovna poskytující třídy pro vytváření aplikací s imerzivními technologiemi, které zajišťují interakce se vstupy v reálném čase.

Po vložení balíčku XR Interaction Toolkit jsem vytvořil XR rig, což je třída, která se automaticky stará o správu kamery a pohyb zařízení. XR rig také zajišťuje, že všechny vstupy, jako jsou pohyby kamery nebo interakce s objekty, jsou správně přeneseny do 3D prostoru aplikace. Tento prvek významně zjednodušil práci s kamerou a senzory, což je zásadní pro plynulé fungování aplikace.

Import modelu a správné pozicování

Další krok představovalo zajištění správného formátu pro načítání 3D modelů v reálném čase. Unity nativně podporuje několik formátů souborů pro 3D modely, ale pro tuto aplikaci jsem potřeboval formát, který bude dostatečně flexibilní a zároveň umožní rychlé načítání a renderování modelů i texturami. Po prozkoumání několika možností jsem se rozhodl pro formát GLTF, protože vyhovuje všem požadavkům.

Po úspěšném načtení modelu bylo nutné zajistit jeho správné umístění v reálném prostoru. Rozhodl jsem se pro manuální přepočítání pozice tak, aby se model objevil přímo v záběru kamery. Zde hraje roli pozice kamery, směr pohledu a vzdálenost modelu. Výsledný výpočet tedy určoval, kde se model ve 3D prostoru nachází vzhledem k uživatelskému pohledu. Model byl umístěn přímo v této pozici a orientován podle směru kamery tak, aby vypadal přirozeně, jako by byl součástí reálného prostředí.

Mapový systém

Po vyhodnocení dostupných balíčků pro integraci mapového podkladu do Unity jsem zjistil, že žádné z bezplatných řešení nesplňuje požadavky projektu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl

vytvořit mapový systém vlastní implementací. Pro generování mapových dlaždic bylo využito rozhraní Google Maps Static API, které na základě zeměpisné šířky, zeměpisné délky a úrovně přiblžení poskytuje statický obraz odpovídající mapové oblasti.

Získaná dlaždice byla následně převedena na texturu a integrována do prostředí Unity. Následným krokem byla vizualizace jednotlivých projektů ve formě bodů umístěných na mapě. Tato část se ukázala jako náročnější, než bylo původně očekáváno, protože bylo nutné převést geografické souřadnice na pozice v lokálním souřadném systému Unity.

Ačkoli existují standardní vzorce pro převod zeměpisné šířky a délky do 2D projekce, nelze je přímo aplikovat na výpočet pozice v prostředí Unity. Unity nepoužívá geografickou projekci, ale lokální kartézský souřadný systém. Bylo tedy nezbytné vytvořit vlastní transformační vztah, který umožňuje přepočítávat pozice bodů tak, aby se správně zobrazovaly na mapě.

Pro odvození tohoto vztahu jsem vybral několik referenčních bodů se známými geografickými souřadnicemi, na jejichž základě byl stanoven transformační koeficient C . Ten následně umožnil vypočítat relativní posun objektů v rámci mapové dlaždice. Rovnice pro výpočet souřadnice X vychází z rozdílu mezi zeměpisnou šírkou objektu $\text{Lat}_{\text{objekt}}$ a středem dlaždice $\text{Lat}_{\text{dlaždice}}$, normalizovaného pomocí koeficientu C a dále škálovaného podle rozdílu mezi aktuální úrovní přiblžení Z a základní úrovně přiblžení Z_0

$$X = \frac{\text{Lat}_{\text{objekt}} - \text{Lat}_{\text{dlaždice}}}{C} \times 2^{Z-Z_0}$$

Analogicky je určena i souřadnice Y . Obě vypočtené hodnoty určují konkrétné umístění vizualizovaných projektů na mapě a zajišťují korektní zobrazení při všech úrovních přiblžení v prostředí Unity.

4. Diskuse a výsledky

5. Závěr

Seznam použitých zdrojů

1. MARIN, G. G. *Digital Twin: An Emerging Tool for Urban Planning and Design* [online]. 2023. [cit. 2025-03-15]. ISSN 2069-6469. Dostupné z: <https://uac.incd.ro/Art/v15n1a1.pdf>.
2. WANG, Z. Digital Twin Technology. In: *Industry 4.0 - Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing* [online]. IntechOpen, 2020 [cit. 2025-03-15]. Dostupné z DOI: [10.5772/intechopen.80974](https://doi.org/10.5772/intechopen.80974).
3. FABIO, Arena; COLLOTTA, Mario; PAU, Giovanni; TERMINE, Francesco. An Overview of Augmented Reality. *Computers* [online]. 2022 [cit. 2024-12-17]. Dostupné z DOI: [10.3390/computers11020028](https://doi.org/10.3390/computers11020028).
4. TREMOSA, Laia. *Beyond AR vs. VR: What is the Difference between AR vs. MR vs. VR vs. XR?* [online]. 2025. [cit. 2025-02-05]. Dostupné z: <https://www.interaction-design.org/literature/article/beyond-ar-vs-vr-what-is-the-difference-between-ar-vs-mr-vs-vr-vs-xr>.
5. SHARAPOV, Dmytro. *Marker-Based Augmented Reality - It-Jim* [online]. c2024. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.it-jim.com/blog/augmented-reality-tracking-with-different-markers>.
6. IKEA. *Launch of new IKEA Place app – IKEA Global* [online]. 2017. [cit. 2024-12-27]. Dostupné z: <https://www.ikea.com/global/en/newsroom/innovation/ikea-launches-ikea-place-a-new-app-that-allows-people-to-virtually-place-furniture-in-their-home-170912/>.
7. IQLANDIA. *Geo - expozice / iQLANDIA.CZ* [online]. c2024. [cit. 2024-12-28]. Dostupné z: <https://iqlandia.cz/iqlandia/expozice/geo>.
8. GOOGLE. *Google Lens – vyhledávejte, co vidíte* [online]. [cit. 2024-12-28]. Dostupné z: <https://lens.google/intl/cs/>.
9. TRIMBLE. *Trimble Connect AR / Trimble FTG* [online]. [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://fieldtech.trimble.com/en/product/trimble-connect-ar>.
10. DALUX. *Nejrychlejší bezplatný prohlížeč BIM na světě* [online]. [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://www.dalux.com/cs/produkty/bim-viewer/>.
11. AUGMENT. *AR Viewer / Augment* [online]. [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.augment.com/blocks/ar-viewer/>.

A. Externí přílohy

Externí přílohy této bakalářské práce jsou umístěny na adrese:

https://github.com/Jiri-Fiser/thesis_ki_ujep.

Na úložišti GitHub mohou být uloženy tyto externí přílohy:

- **zdrojové kódy**
- **doplňkové texty** (například jak instalovat aplikaci, manuály aplikace)
- **schémata** (především, pokud se nevejdou na stranu A4 a jejich vytisknutí je tak problematické)
- **screenshoty** (v textu práce lze použít jen omezený počet snímků obrazovky, které navíc nemusí být při černobílém tisku příliš přehledné)
- **videa** (například ovládání aplikace)

V každém případě by to však měli být pouze materiály, které jste vytvořili sami. Materiály jiných autorů uvádějte v seznamu použité literatury (včetně případných odkazů na jejich originální umístění).

V této kapitole stačí uvést pouze základní strukturu úložiště (co se kde nalézá a jakou má funkci) například v podobě tabulky.

ki-thesis.pdf	text práce v PDF
ki-thesis.tex	zdrojový kód práce v L ^A T _E Xu
kitheses.cls	definice třídy dokumentů (rozšířená třída scrbook)
thesis.bib	bibliografická databáze (exportována z citace.com)
LOGO_PRF_CZ_RGB_standard.jpg	logo fakulty s českým textem
LOGO_PRF_EM_RGB_standard.jpg	logo fakulty s anglickým textem

Všechny tyto soubory jsou potřeba pro překlad dokumentu (logo stačí jedno v příslušné jazykové verzi).