

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informatiky a kvantitativních metod

Rozšířená realita v turismu
Bakalářská práce

Autor: Vladimír Tichý
Studijní obor: Informační management

Vedoucí práce: doc. Mgr. Tomáš Kozel, Ph.D.

Hradec Králové

Srpen 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 9.8.2016

.....

Vladimír Tichý

Poděkování:

Rád bych poděkoval doc. Mgr. Tomáši Kozlovi, Ph.D., za věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Anotace

Cílem teoretické části práce je popsat koncept rozšířené reality, představit její historii a konkrétní využití. Hlavním cílem praktické části je vyvinout aplikaci pro Android využívající rozšířenou realitu pro účely turistiky. Aplikace pracuje se senzory zařízení a vykreslování rozšířené reality je realizováno pomocí OpenGL ES. Uživatel může zobrazit v prostředí rozšířené reality libovolnou trasu předem zadanou pomocí mapy. Aplikace tak uživateli ulehčuje orientaci v neznámém prostředí, kdy jsou informace ze zcela virtuální mapy propojeny s reálným světem. Devizou aplikace je využití dat o nadmořské výšce, což ji činí vhodnou pro využití při horské turistice. Aplikace není geograficky omezená a dá se využít v rámci celého světa.

Annotation

Title: Augmented Reality in Tourism

The theoretical part is to introduce the concept of augmented reality, its history and real-world applications. The main goal of the practical part is to develop an Android application that uses augmented reality for tourism purposes. Majority of the application development utilized working with device sensors while rendering of the augmented reality was performed using OpenGL ES. The user can see any route entered on the map in the augmented reality mode. The application makes it easier for the user to navigate in an unknown environment by connecting information from the completely virtual map to the real world. The application's advantage is utilizing elevation data which makes it suitable for hiking purposes. The application is usable worldwide.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Rozšířená realita.....	2
2.1 Definice.....	2
2.2 Milgramovo kontinuum.....	3
2.3 Historie.....	4
2.4 Využití.....	7
2.4.1 Armáda.....	7
2.4.2 Vzdělávání.....	7
2.4.3 Medicína.....	8
2.4.4 Průmysl.....	8
2.4.5 Umění.....	9
2.4.6 Herní průmysl.....	9
2.4.7 Překladatelství.....	9
2.4.8 Turismus.....	10
3 Vývoj aplikace.....	11
3.1 Požadavky.....	11
3.1.1 Non-funkční požadavky.....	11
3.1.2 Funkční požadavky.....	12
3.2 Konkurenční aplikace.....	13
3.2.1 My Augmented Reality.....	13
3.2.2 Augmented Reality Map.....	13
3.3 Data o nadmořské výšce.....	14
3.3.1 Online data.....	14
3.3.2 Offline data.....	15

3.3.3	Komprese dat.....	16
3.3.4	Čtení dat.....	17
3.4	Vykreslování AR.....	19
3.4.1	DroidAR.....	19
3.4.2	Vlastní vykreslovací mechanismus.....	19
3.5	Uživatelské prostředí.....	22
3.5.1	Layout aplikace.....	22
3.5.2	Mapa.....	22
4	Výsledky.....	24
4.1	Práce s aplikací.....	24
4.1.1	Záložka „Přehled“	24
4.1.2	Záložka „Mapa“	25
4.1.3	Zobrazení rozšířené reality.....	25
4.1.4	Nastavení aplikace.....	26
4.2	Splnění požadavků.....	27
4.2.1	Splnění non-funkčních požadavků.....	27
4.2.2	Splnění funkčních požadavků.....	28
4.3	Publikování na Google Play.....	29
4.3.1	Vyhledávání aplikace v obchodě Google Play.....	29
4.4	Testování aplikace.....	30
4.4.1	Test zobrazení bodů.....	30
4.4.2	Test zobrazení cesty.....	32
4.5	Možnosti vylepšení.....	34
5	Závěr.....	35
6	Seznam použité literatury.....	36

Seznam obrázků

Obr. 1 – Milgramovo kontinuum.....	3
Obr. 2 – náhlavní obrazovka s miniaturními CRT monitory; ultrazvukový snímač pohybu hlavy.....	4
Obr. 3 – tisknutelný 2D marker.....	5
Obr. 4 – okomentovaná grafická karta.....	5
Obr. 5 – Vyhledávání výrazu „Augmented reality“	6
Obr. 6 – Rozšířená realita při léčení fobií.....	8
Obr. 7 – Instantní překlad aplikace Google Translate.....	10
Obr. 8 – Funkce Monocle v aplikaci Yelp.....	10
Obr. 9 – Aplikace My Augmented Reality.....	14
Obr. 10 – Aplikace Augmented Reality Map.....	14
Obr. 11 – Práce s daty ve formátu GeoTiff v programu QGIS.....	16
Obr. 12 – Porovnání mapových podkladů Google a Mapy.cz.....	23
Obr. 13 – OpenStreetMap.....	23
Obr. 14– Záložka „Přehled“	24
Obr. 15– Záložka „Mapa“	24
Obr. 16 – Test zobrazení bodů č. 1.....	30
Obr. 17 – Test zobrazení bodů č. 2.....	31
Obr. 18 – Test zobrazení bodů č. 3.....	32
Obr. 19 – Test zobrazení cesty č. 1.....	32
Obr. 20 – Test zobrazení cesty č. 2.....	33
Obr. 21 – Test zobrazení cesty č. 3.....	33

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Non-funkční požadavky.....	11
Tabulka 2 – Doba odezvy na dotaz (v ms).....	18
Tabulka 3 – Nastavení aplikace.....	26
Tabulka 4 – Splnění non-funkčních požadavků.....	27
Tabulka 5 – Splnění funkčních požadavků.....	28
Tabulka 6 – Pořadí při vyhledávání na Google Play.....	29

1 Úvod

V současné době většina z lidí žije dva životy. Jeden z nich je prožíván v reálném světě, zatímco ten druhý je veden ve virtuálním prostoru sociálních sítí, online služeb, médií apod. Rozšířená realita je způsobem, jak tyto dva světy propojit. Základní myšlenkou rozšířené reality je obohatit reálný svět o virtuální prvky.

Přestože je samotný koncept rozšířené reality široké veřejnosti prozatím neznámý, už nyní nalézá využití v mnoha oblastech, jako je například využití v zábavě, medicíně, umění, armádě, vzdělávání a dokonce i ve sportu. Věřím, že do budoucna bude tempo rozvoje tohoto odvětví ještě zrychlovat a rozšířená realita bude nacházet uplatnění v ještě více oblastech našich životů.

Autorův zájem o rozšířenou realitu byl vyvolán rozmachem chytrých mobilních telefonů, které mají všechny předpoklady pro to, aby pomohly rozšířit rozšířenou realitu mezi širokou veřejnost. Pomocí využití vestavěného fotoaparátu a senzorů se stávají ideálními zařízeními pro implementaci rozšířené reality založené na poloze uživatele, respektive zařízení.

V teoretické části této práce je nejprve představen koncept rozšířené reality, který je následně konfrontován s dalšími technologiemi z oblasti hybridní reality. Dále je stručně nastíněna historie rozšířené reality. Důležitou částí práce je také představení reálného konkrétního využití rozšířené reality v mnoha oblastech lidského života, a především pak pro případy turismu.

Cílem praktické části práce je vytvoření užitečné mobilní aplikace využívající konceptu rozšířené reality pro účely turistiky. Prvotním impulsem pro vývoj takové aplikace byla osobní zkušenost při zdolávání hor. Protože pod horou není zpravidla zcela jasné, kudy se bude cesta ubírat, bylo by zajímavé mít možnost vidět průběh cesty k dosažení vrcholu skrze aplikaci v mobilním telefonu. Aplikace bude umožňovat uživateli zadat na mapě libovolnou cestu, která bude poté vykreslena do pohledu skrze mobilní fotoaparát.

2 Rozšířená realita

Augmented reality, česky rozšířená realita (Zandl, 2009), je nástrojem pro obohacení skutečného světa o další vjemové informace. Přestože tento koncept je poměrně starý (viz kapitola 2.3 Historie), největší rozmach zažil s rozšířením chytrých telefonů, které mají fotoaparát, potřebné senzory a dostatečný výpočetní výkon na vykreslování dodatečných vizuálních informací do obrazu v reálném čase.

Nezasvěcenému člověku se princip rozšířené reality nejlépe vysvětlí na příkladu. Pomocí rozšířené reality je možné například doplnit nicneřikající obraz budovy viděné skrz fotoaparát mobilního telefonu zobrazením faktů o ní dostupné. Ať už se jedná o číslo popisné, podniky v ní sídlící, v případě historické budovy pak i zajímavé poznatky a podobně. Možnosti rozšířené reality ale samozřejmě zdaleka nekončí jen u zajímavého způsobu předávání informací.

2.1 Definice

V publikaci Handbook of Augmented Reality (Furht, 2011, s. 3) je rozšířená realita definována takto:

„Rozšířená realita je přímý či nepřímý obraz fyzického prostředí reálného světa, který byl vylepšen/rozšířen přidáním virtuálních počítačem vytvořených informací, v reálném čase.“ (překlad vlastní)¹

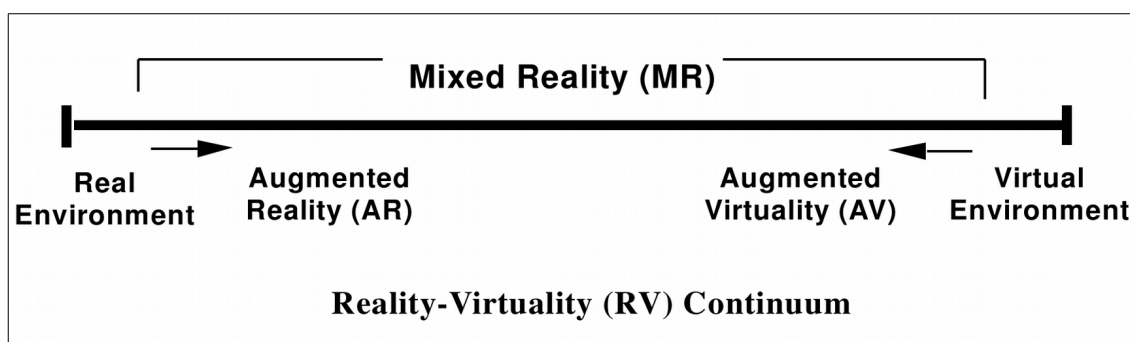
Pro vysvětlení pojmu „přímý a nepřímý obraz“ se dále uvádí, že rozšířená realita neslouží pouze ke zjednodušení života uživatele přidáváním virtuálních informací do jeho nejbližšího okolí (přímý obraz), ale může přidávat virtuální informace i do jakéhokoli jiného prostředí reálného světa, například v podobě živého video přenosu (nepřímý obraz).

1 „We define Augmented Reality (AR) as a real-time direct or indirect view of a physical real-world environment that has been enhanced/augmented by adding virtual computer-generated information to it.“

Tato definice je poměrně přesná, protože zachycuje veškeré varianty rozšířené reality a nezaměřuje se pouze na konkrétní, například vizuální, oblast. Na druhou stranu však pod ni spadají i případy triviální rozšířené reality, kdy je například v hledáčku fotoaparátu zobrazeno datum, stav baterie a podobně, a je otázkou, zda se i v těchto situacích dá mluvit o rozšířené realitě. Přesto se jeví uvedená definice pro potřeby této práce dostatečná.

2.2 Milgramovo kontinuum

Pro plné pochopení rozšířené reality je užitečné znát vztah rozšířené reality s ostatními blízkými pojmy. Reality-Virtuality Continuum, též zvané Milgramovo kontinuum, dává do souvislosti různé formy smíšené reality (Milgram a další, 1994, s. 283).



Obr. 1 – Milgramovo kontinuum
Zdroj: Milgram a další, 1994, s. 283

Na opačných koncích kontinua se nachází zcela reálné a zcela virtuální prostředí. Zatímco reálné prostředí je řízeno fyzikálními zákony, virtuální od nich může být oproštěno (Milgram a další, 1994, s. 283). Cokoliv, co se nalézá mezi těmito extrémy, se nazývá smíšenou realitou. Od středu kontinua doleva se nalézá rozšířená realita, která staví na reálném prostředí obohacené o virtuální prvky. Od středu doprava se pak nalézá rozšířená virtualita, která se dá chápat jako jakýsi opak rozšířené reality – do zcela virtuálního prostředí dynamicky začleňuje reálné prvky.

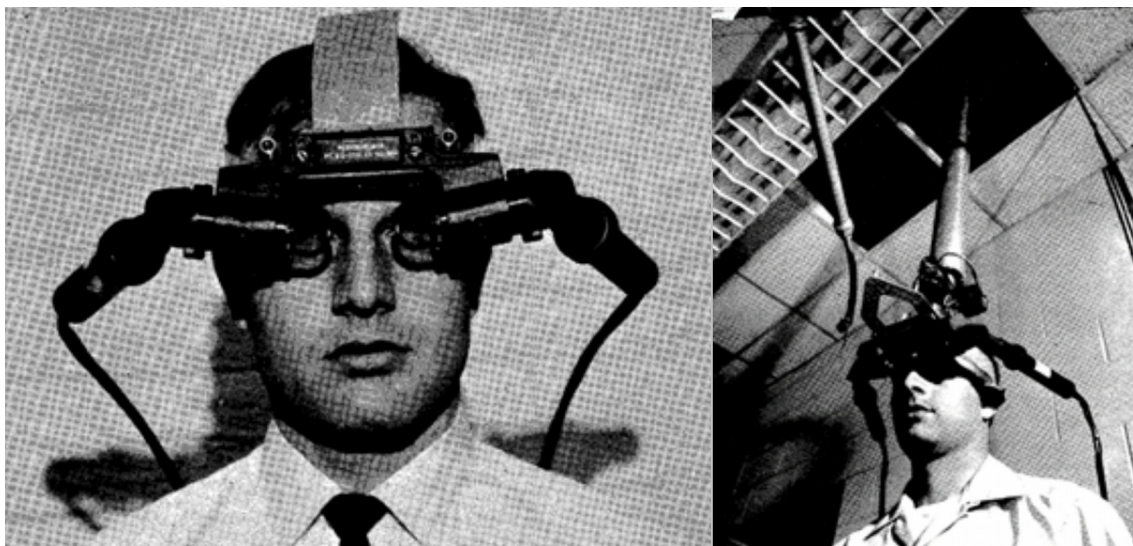
Jako příklad rozšířené virtuality lze uvést virtuální prostředí, kde uživatel vidí vlastní ruce (Milgram a další, 1994, s. 285). V roce 1994 byly ruce ve virtuální realitě pouhou teorií, dnes se ale stávají skutečností (Nimble Sense: Your hands in

virtual reality, 2014). Jednodušším příkladem může být zobrazení vlastního obličeje snímaného webkamerou ve hře Second Life (Prisco, 2010), nebo hraní hry na mobilním telefonu, u které se pohyb ve hře ovládá nakláněním telefonu (snímáno gyroskopem). Čistě virtuální prostředí je v tomto případě ovlivňováno externím podnětem z reálného světa.

2.3 Historie

Již v roce 1901 předpověděl L. Frank Baum, autor série románů ze země Oz, brýle využívající rozšířenou realitu v románu „The Master Key: An Electrical Fairy Tale“ (Grover, 2014). V románu obdrží mladý chlapec od démona elektronické brýle, které chlapci zobrazí na čelech ostatních lidí písmeno prozrazující jejich charakter.

V roce 1968 sestrojil Ivan E. Sutherland náhlavní obrazovku s průhlednými displeji. Pohyb hlavy byl snímán ve všech směrech. Jednalo se o první systém jak rozšířený, tak i virtuální reality, kvůli omezenému výpočetnímu výkonu ale bylo možné v reálném čase vykreslovat pouze velmi jednoduché drátové modely (Arth a další, 2015, s. 2).



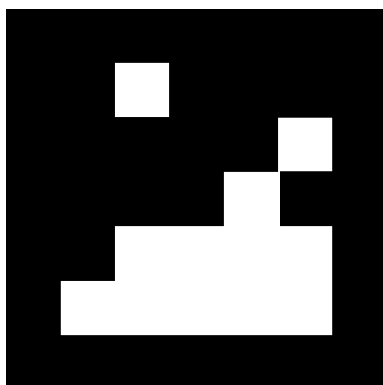
Obr. 2 – náhlavní obrazovka s miniaturními CRT monitory; ultrazvukový snímač pohybu hlavy

Zdroj: Sutherland, 1968, s. 759

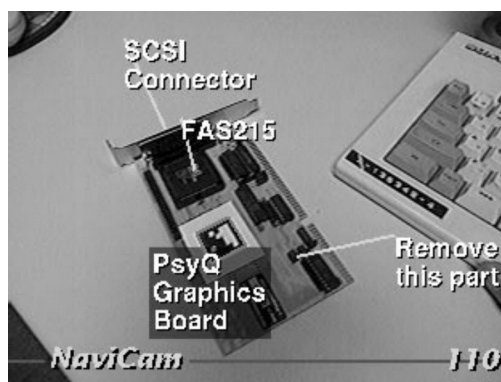
Termín rozšířená realita vymyslel v roce 1992 Tom Caudell, výzkumný pracovník společnosti Boeing. Navrhl brýle pro manuálně pracující, které dokáží uživateli názorně ukázat například, kde vyvrtat díru, jak hluboko a podobně. Caudell dále

zmiňuje, že zatímco u plné virtuální reality je třeba, aby počítač generoval každý pixel, který uživatel vidí, u rozšířené tomu tak není, a je možné si vystačit zobrazením a animováním jednoduchých drátových modelů, návrhových šablon a textu. Na druhou stranu uvádí, že některé hardwarové požadavky jsou u rozšířené reality naopak přísnější než u virtuální, především ty týkající se snímání fyzického světa (Caudell, 1992).

V roce 1996 představil Jun Rekimoto systém maticových markerů pro rozšířenou realitu (Arth a další, 2015, s. 6). Jedná se o 2D čtvercové čárové kódy, které mohou označovat až 2^{16} různých objektů a slouží také jako orientační bod pro systémy rozšířené reality. Na markerech lze následně zobrazit odpovídající 3D překryvnou vrstvu (Rekimoto, 1998).



Obr. 3 – tisknutelný 2D marker
Zdroj: Rekimoro, 1998, s. 1



Obr. 4 – okomentovaná grafická karta
Zdroj: Rekimoro, 1998, s. 5

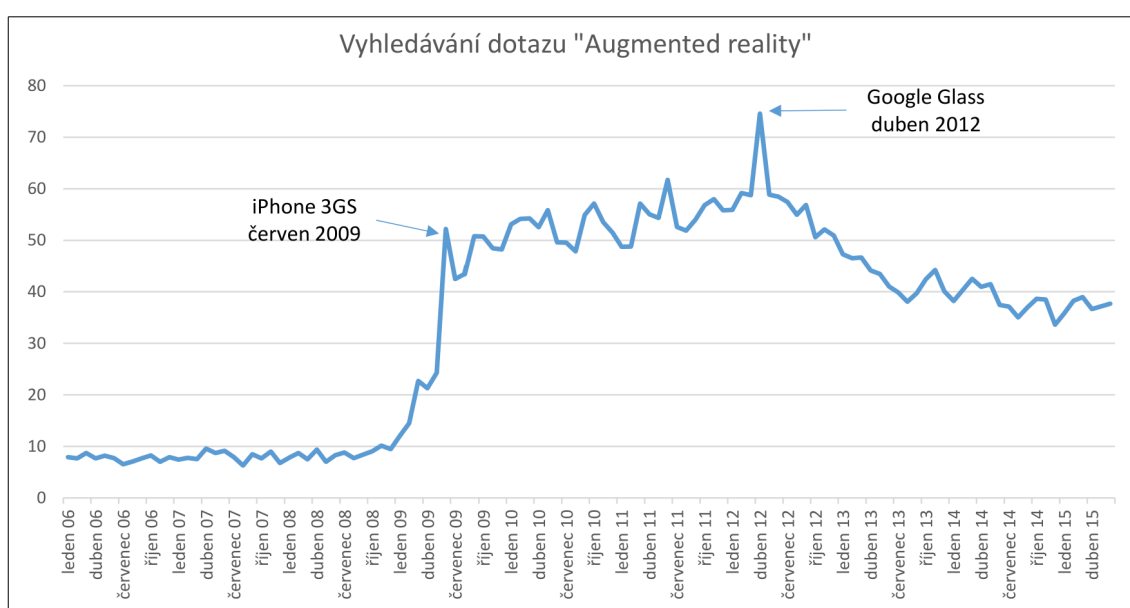
Roku 1999 Hirokazu Kato a Mark Billinghurst vypustili do světa opensource knihovnu ARToolKit, která je dodnes velmi populární (Arth a další, 2015, s. 8). Tato knihovna řeší dva zásadní problémy rozšířené reality, a to sledování markerů v reálném čase a zobrazení překryvné 3D vrstvy (ARToolKit Documentation, 2015).

Möhring a kol. (2004) představili první systém rozšířené reality na mobilním telefonu. Využívá 3D markerů a překryvný objekt ve tvaru automobilu Volkswagen Beetle se na telefonu Nokia vykresloval dynamicky s průměrnou frekvencí 4-5 snímků za vteřinu.

Zajímavým momentem pro rozšířenou realitu bylo uvedení prvního Android telefonu T-Mobile G1 v září 2008 a iPhoneu 3GS v červnu 2009. Oba totiž

obsahovaly magnetometr – digitální kompas (GSMarena.com, 2015). Díky výstupům z GPS a magnetometru bylo možné určit, kde se uživatel nachází a na jakou světovou stranu telefonem míří. To umožnilo vytváření „location-based“ aplikací (aplikací založených na poloze uživatele) s rozšířenou realitou. Po rozšířené realitě založené na markerech se tak objevila zcela nová oblast.

Lze se domnívat, že právě tento moment vyústil ve značný nárůst zájmu o rozšířenou realitu, který dokazuje prudká pozitivní změna v počtu hledání výrazu „Augmented reality“ na Googlu (obr. 5).



Obr. 5 – Vyhledávání výrazu „Augmented reality“
Zdroj: vlastní zpracování; Zdroj dat: Google Trends, 2015

První představení brýlí Google Glass pro rozšířenou realitu v dubnu 2012 (Project Glass: One day..., 2012) mělo za následek další, tentokrát ale chvilkové, zvýšení zájmu o rozšířenou realitu.

Do popředí vývoje v oblasti rozšířené reality se od roku 2007, kdy Georg Klein a David Murray (2007) vydali článek „Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces“, dostává přístup SLAM – Simultaneous Localization And Mapping. SLAM algoritmy umožňují provozovat systémy rozšířené reality v neznámém prostředí bez využití markerů.

Právě tento přístup využívají brýle Microsoft HoloLens. Microsoft představil svoji vizi brýlí pro rozšířenou realitu v dubnu 2015 (Microsoft HoloLens – Transform your world with holograms, 2015).

2.4 Využití

Rozšířená realita nalézá využití v mnoha odvětvích. Tato kapitola popisuje některé zajímavé konkrétní způsoby reálného využití rozšířené reality.

2.4.1 Armáda

Prvním konkrétním využitím rozšířené reality pro účely armády byl projekt „Super Cockpit“ pro stíhací piloty. Tento projekt byl předchůdcem moderních průhledových displejů, které se používají dodnes. Do zorného pole pilota tak mohou být vykreslovány letové informace, informace o cíli apod. (Furht, 2011, s. 676)

Vzhledem k použití hardwarových senzorů je velkou výhodou tohoto řešení nezávislost na reálné viditelnosti. Pilot tak může operovat i v případě, že je jeho vidění omezeno špatnou viditelností (mlha, tma,..), případně konstrukcí letadla. (Furht, 2011, s. 676)

Toto řešení je sofistikovanější než využití klasického palubního displeje. Při využití klasického palubního displeje je úkolem samotného pilota spojit poskytnutá data s reálným světem, což není jednoduché, a v průběhu procesu musí pilot mnohokrát odvrátit zrak od reálného prostředí. (Furht, 2011, s. 677)

2.4.2 Vzdělávání

Rozšířená realita ve vzdělávání je užitečným nástrojem pro ozvláštnění studia. Podle výsledků studie na středoškolských studentech výtvarného umění v Madridu v roce 2010 bylo prokázáno, že využití rozšířené reality má pozitivní efekt na motivaci studentů (Di Serio a další, 2013). Za pomoci rozšířené reality byla výtvarná díla doplněna o relevantní textové informace, audio a video nahrávky a 3D modely.

2.4.3 Medicína

V medicíně nachází rozšířená realita uplatnění například při endoskopii (Scopis Augmented Reality: Path guidance to craniopharyngioma, 2012). Aplikace rozšířené reality napomáhá navádění a orientaci při výkonu pomocí přímé vizualizace cíle.

Rozšířené reality se v lékařství využívá také pro rehabilitační a asistenční účely. (Furht, 2010, s. 603-630)

Experiment španělské Jaume I University prokázal, že rozšířená realita je užitečná při léčení fobií. Bylo dokázáno, že je schopna vyvolat úzkost na úrovni dostatečné pro expoziční terapii. Experiment byl proveden na šesti ženách s fobií ze švábů. Před zahájením terapie nebyla žádná z nich schopna kontaktu se švábem. Po ukončení terapie všechny ženy splnily úkol spočívající v otevření krabice se šváby a ponecháním ruky v krabici po několik sekund. (Botella et al., 2010)



Obr. 6 – Rozšířená realita při léčení fobií
Zdroj: Botella et al., 2010, s. 405

2.4.4 Průmysl

Široká škála využití se pro rozšířenou realitu nabízí v průmyslu. Společnosti SAP a Vuzix společně představily v roce 2013 celopodnikové řešení využívající chytrých brýlí (SAP & Vuzix Bring you Augmented Reality Solutions for the Enterprise, 2013). Propagační video zachycuje práci skladníka, přičemž mu chytré

brýle předávají pokyny k práci, pomáhají s navigací ve skladu a urychlují skenování čárových kódů.

Užitečným pomocníkem je rozšířená realita i při konstrukčních pracích. Propagační video společnosti Index AR Solutions zobrazuje využití při stavbě lodních konstrukcí (Applied Industrial Augmented Reality, 2015). Pracovníci využívají tablet k promítnutí konstrukčních plánů na reálný obraz.

2.4.5 Umění

Rozšířená realita dokáže rozpohybovat sochy, zdem dodá ruce a místnost zaplní pohádkovými bytostmi. To představil v rámci své expozice v mexické Galerii Merída v dubnu 2014 umělec Jouse Abraham. (Mufson, 2015)

2.4.6 Herní průmysl

Společnost Niantic Labs, interní startup Googlu, vydala v roce 2013 mobilní hru Ingress. Jedná se o první masivně multiplayerovou online hru využívající rozšířené reality. Hra je dostupná pro platformy Android a iOS. Hráči si při registraci zvolí jméno agenta a frakci, ke které budou patřit. Následně se agenti pohybují v reálném světě a hledají takzvané portály. Virtuální portály se vyskytují na reálných pozicích budov a monumentů. Cílem hry je portály pro svoji frakci obsazovat a svazovat do polí. (Albao, 2014)

Hra RoboRaid od Microsoftu pro jeho platformu Hololens je střílečka z pohledu první osoby. Hra využívá prostředí místnosti a nepřátelští roboti se tak probíjejí skrze zdi. Úkolem hráče je roboty zneškodnit pomocí zbraní, které se ovládají skrze gesta ruky. (Microsoft HoloLens: RoboRaid, 2016).

2.4.7 Překladačství

Aplikace Google Translate pro iOS a Android od společnosti Google obsahuje funkci World Lens, která využívá rozšířené reality. V reálném čase překládá rozpoznaný text v pohledu skrze fotoaparát (viz Obr. 7). Instantní překlad je momentálně dostupný pro 28 jazyků.

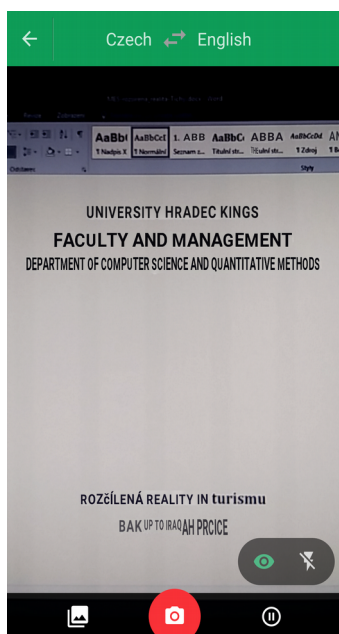
2.4.8 Turismus

Rozšířená realita může zpříjemnit a obohatit cestování mnohými způsoby. Kromě zmíněného okamžitého překladu (2.4.7 Překladatelství) je možné rozšířenou realitu využít i při výběru hotelového pokoje či restaurace a absolvovat virtuální prohlídku (Christina, 2016).

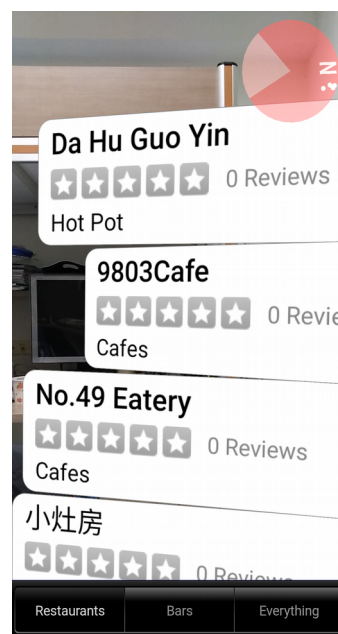
Zajímavým praktickým využitím při cestování je možnost navigace v neznámém prostředí. Aplikace pro to využívají rozšířenou realitu založenou na poloze uživatele. Taková aplikace dokáže zobrazit překryvnou vrstvu na pozici objektu reálného světa s dodatečnými informacemi o bodu zájmu.

Jednou z nejpopulárnějších aplikací pro prohlížení bodů zájmu v rozšířené realitě je klient pro sociální síť recenzentů Yelp. Součástí aplikace pro platformy iOS a Android je funkce Monocle, která zobrazí podniky v okolí a počet hvězdiček udělených recenzenty.

Podobnou funkcionalitou disponuje i aplikace World Around Me, taktéž dostupná pro iOS a Android. Ta rozřazuje body zájmů do 31 kategorií. Verze zdarma zobrazuje ve spodní části displeje reklamu. Pro odstranění reklamy je třeba zakoupit placenou verzi.



Obr. 7 – Instantní překlad aplikace Google Translate
Zdroj: vlastní zpracování



Obr. 8 – Funkce Monocle v aplikaci Yelp
Zdroj: vlastní zpracování

3 Vývoj aplikace

Cílem této bakalářské práce je vyvinout aplikaci využívající rozšířenou realitu pro účely turismu. Aplikace bude sloužit aktivním turistům, kteří chtějí zobrazit zvolenou trasu v rozšířené realitě.

3.1 Požadavky

Požadavky na aplikaci se dělí na non-funkční a funkční. Non-funkční požadavky jsou takové, které kladou omezení na design a provedení. Funkční požadavky popisují funkcionalitu požadovanou uživatelem.

3.1.1 Non-funkční požadavky

Non-funkční požadavky na aplikaci jsou pro přehlednost uvedeny v následující tabulce.

Požadavek	Vysvětlení
Podpora systému Android	Android je nejrozšířenější mobilní operační systém. Jeho podpora jako první platformy je logickým krokem.
Podpora zařízení s gyroskopickým senzorem	Pro vykreslování přesné rozšířené reality je potřeba využít gyroskopický senzor.
Hardwarově akcelerované vykreslování rozšířené reality	Pro plynulé vykreslování virtuálních objektů do obrazu fotoaparátu bude využita hardwarová akcelerace.
Uživatelské prostředí řídicí se Android Design Guidelines	Uživatelské prostředí se bude řídit Android Design Guidelines pro zajištění sjednoceného UX v rámci systému Android.
Režim offline	Aplikace bude umět pracovat plně v režimu offline, což je pro outdoor použití klíčová vlastnost.

Tabulka 1 – Non-funkční požadavky

Výběr systému Android je důležitý také z toho důvodu, že existuje mnoho materiálu a dokonce i hotové frameworky pro implementaci rozšířené reality.

Aplikace bude podporovat pouze telefony s gyroskopem, přestože lze k implementaci rozšířené reality využít pouze magnetometr. Výsledek je ale trhaný a nepřesný.

3.1.2 Funkční požadavky

Funkční požadavky na aplikaci jsou popsány v podobě uživatelských cílů:

- 1) Aplikace bude obsahovat terénní mapu s vrstevnicemi.
- 2) Uživatel si bude moci na mapě zvolit body trasy.
- 3) Uživatel bude moci body trasy mazat a přesouvat.
- 4) Aplikace u každého bodu zobrazí přesnou nadmořskou výšku.
- 5) Aplikace zobrazí délku trasy a graf průběhu trasy.
- 6) Uživatel bude mít na výběr, zdali chce vykreslovat kompletní trasu nebo jen body.
- 7) Po přepnutí do módu rozšířené reality bude moci uživatel doladit vlastní polohu a směr pohledu.
- 8) Aplikace bude mít kromě češtiny i anglickou jazykovou mutaci a uživatel mezi nimi bude moci přepínat bez změny systémového jazyka.
- 9) Nastavení aplikace bude perzistentní.

Ad 7): Tento bod je důležitý z důvodu, že se uživatel nutně nemusí nacházet na úrovni zemského povrchu. Může být v budově, na rozhledně atd. Případně tak lze korigovat i nepřesnost senzorů.

3.2 Konkurenční aplikace

Pro nalezení alespoň nějakých konkurenčních aplikací musela být množina požadavků podstatně zredukována. Nutné podmínky jsou následující:

- 1) Podpora systému Android v poslední aktuální verzi 6.0
- 2) Přítomnost na Google Play Store
- 3) Využití rozšířené reality
- 4) Možnost zadat vlastní bod pomocí mapy

Aplikací, které splňují tyto podmínky, není mnoho. Při prohledávání obchodu Google Play bylo kromě vybraných aplikací nalezeno i několik dalších kandidátů, které se však nepodařilo zprovoznit.

Dále existuje několik aplikací, které uživateli pomohou skrze rozšířenou realitu identifikovat horské vrcholy. Protože však nedovolují zadat vlastní body, je jejich použití omezené.

3.2.1 My Augmented Reality

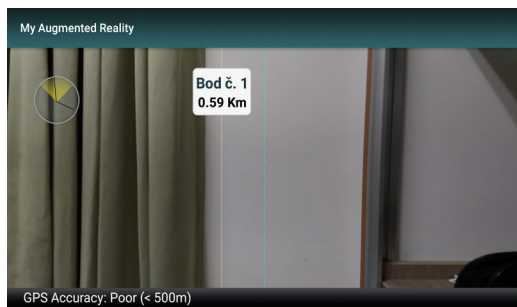
Aplikace My Augmented Reality od Mobikats ltd je určena pro ukládání a zobrazení lokací zadaných uživatelem. Aplikace dovoluje lokace pojmenovávat, přidávat k nim dodatečné informace a obrázky a zobrazit je na mapě a v rozšířené realitě.

Aplikace nebere v potaz nadmořskou výšku a pro outdoor turistické použití je tak nevhodná. Práce s kompasem je nepřesná, často přeskakuje, a ukazatel tak nemíří na reálnou pozici zadaného bodu.

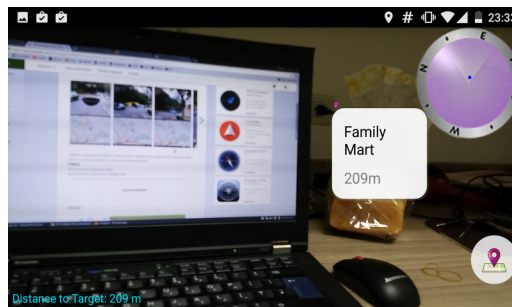
3.2.2 Augmented Reality Map

Aplikace Augmented Reality Map od tvůrce Jonah G se zaměřuje především na zobrazení bodů zájmů v okolí. Na mapě je však možné zadat i jeden vlastní bod, který lze následně zobrazit v rozšířené realitě.

Tato aplikace trpí stejnými neduhy jako předcházející, tedy nevyužívá nadmořskou výšku (všechny body jsou tak v rovině) a kompas je nepřesný.



Obr. 9 – Aplikace My Augmented Reality
Zdroj: vlastní zpracování



Obr. 10 – Aplikace Augmented Reality Map
Zdroj: vlastní zpracování

3.3 Data o nadmořské výšce

Devizou vyvíjené aplikace je využití dat o nadmořské výšce. To ji činí vhodnou pro použití při turistických aktivitách v horách. Protože aplikace využívá data z různých zdrojů bylo vytvořeno rozhraní ElevationManager.

ElevationManager.java

```
public interface ElevationManager {
    Location getNearestElevation(double latitude, double longitude);
    Location getNearestElevation(Location location);
    List<Location> getNearestElevation(List<Location> locationList);
}
```

Přes toto standardizované rozhraní se přistupuje k online datům z Google Elevation API i ke stažitelným offline datovým setům.

3.3.1 Online data

Požadavek na plně funkční online provoz v případě, že ještě nebyl stažen žádný offline datový set, byl splněn využitím Google Elevation API. Třída ElevationManagerGoogle implementuje rozhraní ElevationManager a dotazy přesměrovává na rozhraní Google Elevation API, které vrací odpověď ve formátu JSON. V případě, že je požadavek na více bodů najednou (k tomu dochází při výpočtu mezibodů pro zobrazení trasy v rozšířené realitě), jsou dotazy spojeny do jednoho, což šetří čerpání omezených kvót.

Standardní API plán zahrnuje 2500 žádostí za den zdarma. Jedna žádost přitom může obsahovat až 512 lokací. V případě překročení je možné využít placené navýšení limitu. Za každých 1000 dalších žádostí se platí 0,50 USD.

3.3.2 Offline data

Jedním z non-funkčních požadavků je plná podpora práce v režimu offline (viz kapitola 3.1.1 Non-funkční požadavky). Kvůli tomu bylo zapotřebí sehnat přesná data o nadmořské výšce pro vytvoření datových setů.

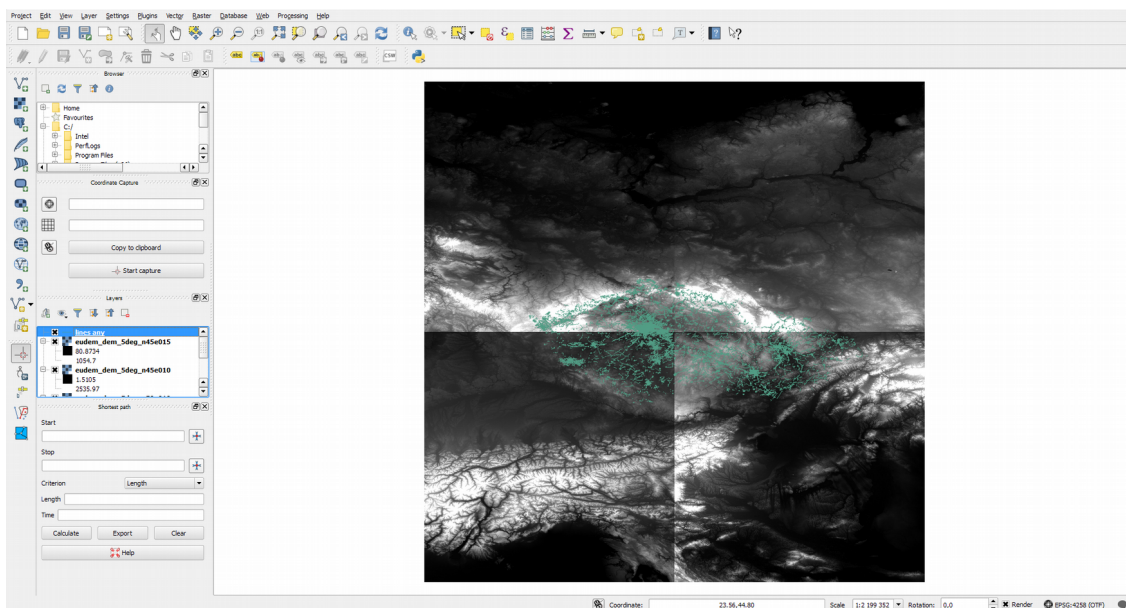
Pro Českou republiku byla zvolena data z projektu EUDEM Evropské agentury pro životní prostředí (EEA). (Digital Elevation Model over Europe, 2015)

Tato data jsou vytvořena sloučením dat ze dvou misí. První misí je SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) provedená americkou agenturou NASA. Druhá mise ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Map) byla provedena agenturou NASA ve spolupráci s japonským ministerstvem ekonomiky, obchodu a průmyslu. Údaj o nadmořské výšce je zachycen pro každou úhlovou vteřinu. To se přibližně rovná 30 metrům. Data jsou k dispozici ke stažení ve formě dlaždic ve velikosti 1000x1000 km. Podmínky pro použití dat jsou následující:

- 1) Při užívání dat musí být zobrazeno oznámení „Produced using Copernicus data and information funded by the European Union - EU-DEM layers.“
- 2) Uživatel dat musí zajistit, aby nevznikl dojem veřejnosti, že konkrétní využití je oficiálně podporováno Evropskou unií.
- 3) Pokud jsou data přizpůsobena či upravena, uživatel dat je povinen tuto skutečnost uvést.

Pro účely testování na Taiwanu byla do aplikace v průběhu vývoje zavedena i data pocházející čistě z japonsko-americké mise ASTER GDEM.

Z projektu EUDEM byly získány čtyři čtvercové oblasti, které společně pokrývají celou oblast České republiky. Tato data bylo následně potřeba spojit, ořezat a exportovat do použitelného formátu. Původní formát GeoTiff totiž není Androidem podporován. Pro tento úkol byl využit geografický informační systém QGIS.



Obr. 11 – Práce s daty ve formátu GeoTiff v programu QGIS

Zdroj: vlastní zpracování

3.3.3 Komprese dat

Po převodu z GeoTiff do čitelného formátu (ASCII tabulka) nastal očekávaný problém s velikostí dat. Samotná data pro Českou republiku zabírala 1,5 GB.

V průběhu vývoje bylo vyzkoušeno mnoho způsobů, jak data zkomprimovat. Pro výběr komprimační metody bylo nutné zohlednit potřebu náhodného přístupu k jakémukoliv bodu. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo po oprostění od požadavku na čitelnost dat. Pro komprimaci byl využit komprimační algoritmus formátu PNG. Datové body tak byly reprezentovány jednotlivými RGB pixely. Tímto způsobem se dosáhlo vynikajícího komprimačního výsledků, kdy se velikost souboru s daty pro Českou republiku zredukovala z 1,5 GB na 115 MB.

Pro převod ASCII dat do PNG byla vytvořena jednoduchá Java aplikace. Tato aplikace nejprve vytvoří soubor s příponou "info" obsahující metadata a poté určitý počet PNG souborů se samotnými daty. Počet PNG souborů je určen vertikálním rozlišením dat děleným zvolenou maximální výškou v pixelech pro jednotlivý PNG soubor.

Potřeba dělit data na více souborů vyplývá z práce OS Android s obrázky. Při práci s třídou Bitmap totiž dochází k načtení celého obrázku do paměti, což by v případě

velkého datového souboru vedlo k pádu aplikace či ke zhoršenému uživatelskému prožitku z důvodu sníženého výkonu.

Nadmořská výška je převedena na integer a uložena jako barva jednotlivých pixelů.

3.3.4 Čtení dat

Při čtení dat bylo potřeba k údajům o nadmořské výšce přistupovat náhodně. To přináší oproti sekvenčnímu přístupu znatelně lepší a předvídatelný výkon.

Volba reprezentovat data v podobě obrázku znamená, že každý pixel obsahuje data pro jednu dvojici zeměpisné délky a šířky. Dopředu známá struktura umožňuje pro jakoukoliv dvojici zeměpisné šířky a délky přiřadit nejbližší bod obsažený v datovém setu a sáhnout přímo pro odpovídající hodnotu nadmořské výšky.

Při zavedení datového setu se po přečtení metadat z info souboru spočítají hraniční body mezi jednotlivými PNG soubory.

Při samotném dotazu na nadmořskou výšku se provedou následující kroky:

- 1) Zjistí se, zda-li dotazovaná lokace neleží mimo datový set. V případě, že ano, vrátí se objekt Location, který má nastavenou nadmořskou výšku na 0 metrů a přesnost na -1 metr.
- 2) Nalezne se nejbližší hraniční bod k dotazované lokaci. To poslouží ke zjištění, v kterém PNG souboru se nachází požadovaná odpověď.
- 3) Odpovídající PNG soubor se načte do paměti, pokud tomu tak ještě není.
- 4) V cyklech se přičítáním k hraničním bodům zjistí nejbližší bod obsažený v datovém setu.
- 5) Z odpovídajícího bodu PNG obrázku se pomocí metody `getPixel(int x, int y)` zjistí číslo barvy a dekoduje se hodnota nadmořské výšky.
- 6) Vrátí se objekt Location s nalezenou nadmořskou výškou a přesností, která se dopočítá jako vzdálenost hledaného bodu a nejbližšího bodu v datovém setu.

Tímto způsobem byla zajištěna velice dobrá a stabilní rychlost čtení dat o nadmořské výšce.

Pro porovnání rychlostí jednotlivých řešení byla provedena dvě měření odezvy na telefonu LG G4 H815. Odezva na dotaz na nadmořskou výšku se sledovala u šesti bodů. Následující tabulka zobrazuje výsledky měření.

Bod č.	Google 1	Google 2	ASCII 1	ASCII 2	Bitmap 1	Bitmap 2
1	230	492	4	3	0	1
2	67	1136	4	5	1	0
3	63	1077	0	4	1	1
4	100	1445	5	0	0	2
5	102	1081	2	8	1	610
6	103	876	1	4	0	1
Průměr	111	1018	3	4	1	103

Tabulka 2 – Doba odezvy na dotaz (v ms)

V případě Google Elevation API se v prvním případě testovalo na LTE připojení a v druhém na EDGE.

ASCII řešení sice poskytuje nejstabilnější odezvu, ale vzhledem k velikosti dat je nepraktické.

Důvodem pro vysokou odezvu u bodu č. 5 v druhém měření u bitmapy je, že hodnota nadmořské výšky pro bod č. 5 se nacházela v jiném PNG souboru než pro bod předchozí a PNG soubor se tak musel přenačíst. Doba odezvy při přenačítání a četnost přenačítání je kompromisem určeným zvolenou vertikální velikostí jednotlivých PNG souborů.

Vzhledem k tomu, že čekání na odezvu je vždy prováděno na dalším vlákne, je i ojedinělá delší doba odezvy u dotazu snesitelná.

3.4 Vykreslování AR

K vykreslování rozšířené reality byly zvažovány dvě možnosti. První možností bylo využít jeden z dostupných frameworků pro práci s rozšířenou realitou, druhou poté vyvinout vlastní řešení.

3.4.1 DroidAR

Z počátku byl při vývoji aplikace využit hotový framework DroidAR. Tento robustní framework podporuje rozšířenou realitu založenou na poloze uživatele i na markerech. Je volně dostupný pod licencí GNU GPL v3. (DroidAR Mobile Locationbased Augmented Reality Framework for Android, 2015)

Prototyp aplikace s využitím tohoto frameworku fungoval spolehlivě, nicméně se objevily koncepční nevýhody takového řešení:

1. Složitá kustomizace
2. Závislosti na zastaralých komponentách
3. Příliš robustní pro tuto aplikaci

Nevýhodou tohoto řešení byla malá možnost kustomizace. Nepodařilo se zprovoznit falešnou perspektivu, kdy by se body vzdálené více než určená hodnota již nezmenšovaly.

3.4.2 Vlastní vykreslovací mechanismus

Napsání vlastního vykreslovacího mechanismu zahrnovalo tyto etapy:

- 1) Převedení globálních souřadnic na lokální
- 2) Přiblížení vzdálených bodů
- 3) Vykreslení bodů pomocí OpenGL
- 4) Otáčení scény podle senzorů zařízení
- 5) Manuální doladění

1) Převedení globálních souřadnic na lokální

Převedení souřadnic z globálních na lokální se provádí jednoduše. Souřadnice v metrech se vypočítávají následovně.

CoordinatesConverter.java

```
x = lonSignum*1000*GeoTools.getDistance(userLat, objectLon, userLat, userLon);  
y = latSignum*1000*GeoTools.getDistance(objectLat, userLon, userLat, userLon);  
z = objectAlt - userAlt;
```

Metoda `getDistance` statické třídy `GeoTools` vrací vzdálenost v kilometrech. Souřadnice `x` reprezentuje počet metrů od uživatele na východ. Souřadnice `y` poté počet metrů na sever a souřadnice `z` rozdíl nadmořských výšek objektu a uživatele. Proměnné `lonSignum` a `latSignum` ošetřují situaci při používání aplikace na západní, respektive jižní, polokouli.

2) Přiblížení vzdálených bodů

V případě, že se objekt nachází příliš daleko, přepočítají se souřadnice bodu a bod se přiblíží. To umožňuje zobrazení i velmi vzdálených bodů, které by normálně již nebyly kvůli perspektivě viditelné.

3) Vykreslení bodů pomocí OpenGL

Nejprve byl definován OpenGL objekt k vykreslení – bílý jehlan. Tomuto objektu se předají upravené souřadnice z předchozích bodů. Při vykreslování objektu se jako poslední krok objekt přesune na odpovídající souřadnice voláním `glTranslatef(x, y, z)`. Pozor je potřeba dát na jiné značení os u OpenGL. Při použití souřadnic viz bod 1) bylo třeba zavolat `glTranslate(x, z, -y)`.

Problémem při vykreslení scény je určení hodnoty úhlu zorného pole. Hodnoty vrácené Camera API nemusí odpovídat skutečnosti.

4) Otáčení scény podle senzorů zařízení

Pokud má být rozšířená realita přesná a plynulá, je zapotřebí využít gyroskop. Od API 9 (Android 2.3) lze u zařízení, které jsou vybaveny gyroskopem, využít senzorovou fúzi `Rotation Vector Sensor` (Android Developers, 2016). `Rotation Vector Sensor` kombinuje výstupy ze tří senzorů (akcelerometr, magnetometr,

gyroskop) za poskytnutím co nejpřesnějších dat (Android Open Source Project, 2016).

Hodnoty vrácené Sensor API se převedou na rotační matici, u které je následně pro potřeby rozšířené reality nutno přemapovat souřadnicový systém. Události týkající se senzorů spravuje třída SensorProvider. Následující ukázka představuje kroky při zpracování události z Rotation Vector senzoru.

SensorProvider.java

```
public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
    if (event.sensor.getType() == Sensor.TYPE_ROTATION_VECTOR) {
        float[] rotationMatrix = new float[16];
        SensorManager.getRotationMatrixFromVector(rotationMatrix, event.values);

        float[] rotationMatrixRemapped = new float[16];
        SensorManager.remapCoordinateSystem(
            rotationMatrix,
            SensorManager.AXIS_Y,
            SensorManager.AXIS_MINUS_X,
            rotationMatrixRemapped);

        notifyRotationChanged(rotationMatrixRemapped);
    }
}
```

Takto připravená rotační matice se může následně předat OpenGL k rotaci scény podle senzorů skrze volání `glMultMatrixf(rotationMatrix, 0)`. Druhý parametr je offset. V tomto případě nevyužit a nastaven na nulovou hodnotu.

5) Manuální doladění

Do vykreslovacího algoritmu byl ještě zahrnut mechanismus pro manuální doladění. To je užitečné v případě, že se uživatel nenachází na úrovni země a může tak doladit svoji nadmořskou výšku. Algoritmus pracuje tak, že každému vykreslenému objektu mění souřadnici z podle požadavků.

Dále byl zahrnut i mechanismus pro doladění orientace. Data z magnetometru totiž nemusí být za všech okolností zcela přesná. Při korekci orientace dochází ke změně hodnoty proměnné `yawFix` a k otočení celé scény pomocí volání `glRotatef(yawFix, 0, 1.0f, 0)`.

3.5 Uživatelské prostředí

Cílem vývoje aplikace je dosažení funkčního celku, který bude uživateli přinášet užitnou hodnotu. Kromě toho by aplikace měla být intuitivní a dodržovat Design Guidelines pro zajištění unifikovaného uživatelského prožitku v rámci OS Android.

V převážné většině jsou tak v aplikaci využívány systémové prvky s minimem úprav. Aplikace je laděna do pastelových barev z palety Material designu.

3.5.1 Layout aplikace

Aplikace se skládá ze dvou aktivit. První aktivita je interaktivní. Požadavkem na první aktivitu bylo zobrazit přehled a mapu pro zadávání bodů. Pro jednoduchost a přehlednost byl zvolen TabLayout se dvěma záložkami.

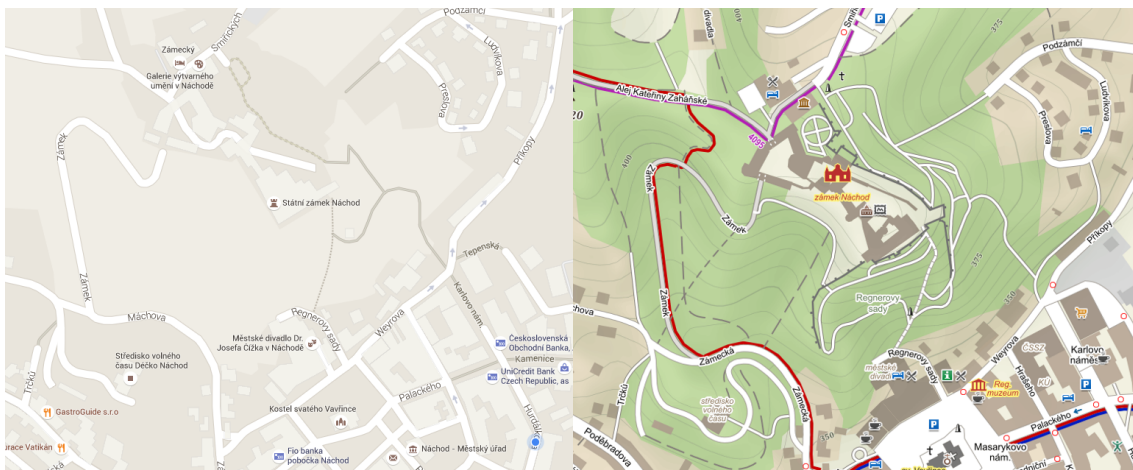
Druhá aktivita slouží pouze pro zobrazení rozšířené reality. Kořenovým kontejnerem je RelativeLayout, do kterého je nejprve umístěn pohled fotoaparátu v podobě vlastní třídy CameraPreview. Přes ni se poté vloží další komponenta GLSurfaceView sloužící pro vykreslování překryvné OpenGL vrstvy.

3.5.2 Mapa

K zobrazení mapy bylo využito Google Maps Android API v2. Google mapy jsou dostupné neomezeně zdarma, jsou výborně integrované do systému Android a použití API je snadné.

Problémem Google Maps API a nepříjemným zjištěním je, že přestože aplikace Google Maps nabízí stažení offline oblastí do telefonu, tyto oblasti se nenačtou při užívání Google Maps API. Při využívání API se zobrazí v offline režimu pouze nacachované mapy z předchozího užívání aplikace v režimu online. To je nepříjemné omezení a prozatím toto řešení nesplňuje funkční požadavek na úplný offline režim.

Google mapy navíc nejsou ideálními mapami pro využití při turistice. Například konkurenční Mapy.cz jsou pro účely turistiky na českém území nesrovnatelně lepší variantou, protože zobrazují turistické trasy. Bohužel, v době vývoje aplikace stále nebylo plánované API pro Android publikováno (Slavkovský, 2015).



Obr. 12 – Porovnání mapových podkladů Google a Mapy.cz
Zdroj: vlastní zpracování

Dalším možným kandidátem bylo vytvoření vlastního řešení s daty z projektu OpenStreetMap. OpenStreetMap sice nedosahuje kvalit Map.cz na území České republiky, ale i tak obsahuje velké množství turistických cest pro pěší, cyklotras, apod.

Při této volbě by ale bylo třeba ponechat i jiné mapy, neboť poskytovat uživatelům ke stažení mapové podklady pro celý svět, jak je aplikace koncipována, by bylo velmi technicky náročné. Případnou alternativou by bylo využít již hotové API aplikace MAPS.ME, která využívá mapové podklady z OpenStreetMap (MAPS.ME, 2016). Toto řešení má nevýhodu v tom, že uživatel je nucen mít aplikaci MAPS.ME v telefonu nainstalovanou.



Obr. 13 – OpenStreetMap
Zdroj: vlastní zpracování

4 Výsledky

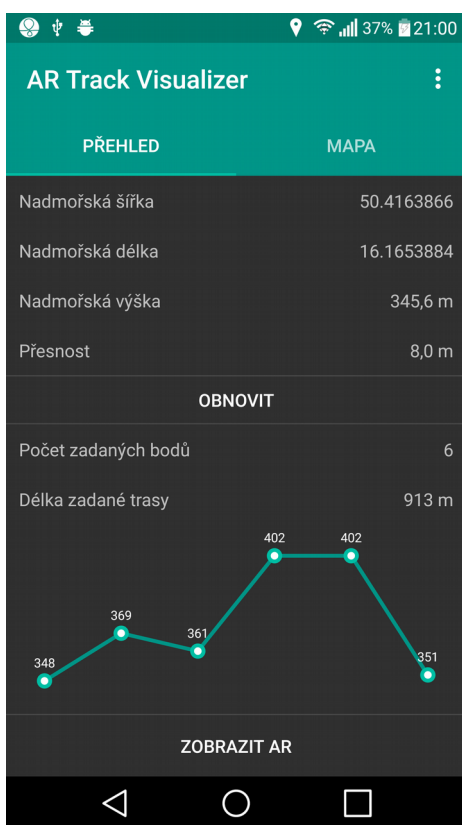
Aplikaci se povedlo dovést do funkčního celku.

4.1 Práce s aplikací

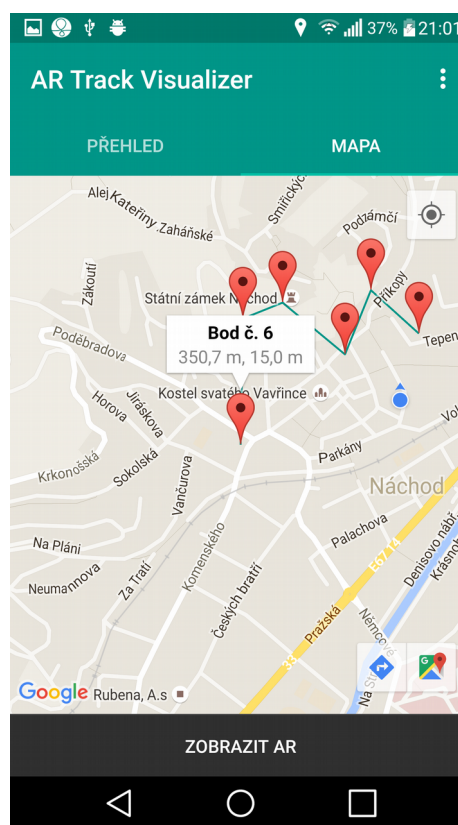
Pro práci s aplikací slouží jediná aktivita se dvěma záložkami. První záložka zobrazuje přehled a druhá mapu.

V přehledu uživatel vidí svoji zeměpisnou šířku a délku, nadmořskou výšku a přesnost údaje o nadmořské výšce. Dále vidí charakteristiku navolené trasy.

Na mapě volí trasu, respektive body, pro zobrazení v rozšířené realitě.



Obr. 14– Záložka „Přehled“
Zdroj: vlastní zpracování



Obr. 15– Záložka „Mapa“
Zdroj: vlastní zpracování

4.1.1 Záložka „Přehled“

Přehled uživateli slouží pro základní informace o jeho poloze a charakteristice trasy. Uživatel může informace o poloze obnovit manuálně, případně počkat na nové zaměření polohy.

Kromě počtu zadaných bodů a délky trasy je zobrazen i graf nadmořských výšek vybraných bodů. Graf je vytvořen pomocí knihovny MPAndroidChart dostupné pod svobodnou licencí Apache License 2.0. (Philipp, 2016)

4.1.2 Záložka „Mapa“

Uživatel zadává na mapě markery dlouhým podržením. Dlouhým podržením prstu na markeru lze marker přesouvat. Markery jsou číslované a je mezi nimi vykreslována čára znázorňující trasu.

Při klepnutí na marker se objeví tooltip s nadmořskou výškou, případně, pokud je tomu tak nastaveno, i s přesností. Po přesunutí markeru je informační tooltip aktualizován. Při klepnutí na tooltip je zobrazen dialog pro smazání markeru.

Práce s mapou je plynulá a uživatelské rozhraní díky využití jiného vlákna nikdy nečeká na odpověď s nadmořskou výškou. V případě, že aplikace neobdrží odpověď s nadmořskou výškou, zobrazí se v tooltipu nadmořská výška 0 metrů s přesností -1 metr.

4.1.3 Zobrazení rozšířené reality

Po stisknutí tlačítka „Zobrazit AR“ se uživatel v případě, že má na mapě vybrané body, přesune do módu rozšířené reality.

Mód rozšířené reality je zobrazen v režimu landscape. Nicméně, zobrazení rozšířené reality se nerozhodí ani při použití aplikace v portrait režimu.

V rozšířené realitě uživatel vidí zadané body jako rotující bílé jehlany podstavou nahoru. Pokud není zapnut režim bodů, vypočítají a zobrazí se i mezibody – stejně vypadající jehlany o poloviční velikosti. Umístění bodů reflektuje jejich reálnou polohu a nadmořskou výšku.

Ve výchozím nastavení je vypnuta reálná perspektiva a vzdálenosti všech bodů jsou přepočítávány logaritmickou funkcí. Body velmi blízko uživateli jsou tímto přepočtem vzdáleny a vzdálené body přiblíženy. Uživatel tak může vidět velmi vzdálené body, přičemž mu blízké body nezakrývají výhled. To slouží k praktičtějšímu využití pro účely turistiky.

Manuální doladění lze provádět gesty. Tahy nahoru a dolu se doladuje nadmořská výška, do stran poté orientace.

4.1.4 Nastavení aplikace

Aplikace obsahuje nastavení v podobě menu v pravém horním rohu. Možnosti nastavení jsou popsány v následující tabulce.

Položka	Vysvětlení
Terénní mapa	Zapnuto = využíváno terénní mapy zobrazující reliéf krajiny Vypnuto = využíváno standardní mapy
Režim bodů	Zapnuto = uživatel chce vykreslovat pouze body vybrané na mapě Vypnuto = uživatel chce zobrazit i mezibody a docílit tak efektu zobrazení „cesty“
Zobrazovat přesnost	Zapnuto = markery na mapě mají v tooltipu uvedenou za nadmořskou výškou i vzdálenost k nejbližšímu bodu v datovém setu Vypnuto = v tooltipu je zobrazena pouze nadmořská výška
Vymazat body	Smaže všechny body na mapě.
Zdroj dat...	Zobrazí dialog pro výběr zdroje dat.
Změnit jazyk...	Zobrazí dialog pro výběr jazyka. Po zvolení se změna jazyku ihned projeví v celé aplikaci.
O aplikaci	Zobrazí jméno autora, informace o aplikaci a právní informace.

Tabulka 3 – Nastavení aplikace

Nastavení aplikace je perzistentní – zachová se po restartu aplikace. Docíleno tak bylo pomocí SharedPreferences API.

4.2 Splnění požadavků

Cílem této práce bylo vyvinout užitečnou aplikaci využívající rozšířenou realitu pro účely turismu. Pro zjištění, zda se to podařilo a aplikace dosáhla předpokladů, bude analyzováno splnění non-funkčních a funkčních požadavků, které byly specifikovány v kapitole 3.1 Požadavky.

4.2.1 Splnění non-funkčních požadavků

Výsledek analýzy splnění původních non-funkčních požadavků shrnuje následující tabulka.

Požadavek	Evaluaace
Podpora systému Android	Bezpodmínečně splněno.
Podpora zařízení s gyroskopickým senzorem	Splněno. Gyroskop byl využit skrze fúzi senzorů Rotation Vector Sensor.
Hardwarově akcelerované vykreslování rozšířené reality	Splněno. Využito OpenGL. Vykreslování je plynulé.
Uživatelské prostředí řídicí se Android Design Guidelines	Splněno. Aplikace zapadá do prostředí OS Android. Nevyužívá žádné cizí grafické komponenty kromě grafu, který je graficky sladěn se zbytkem aplikace.
Režim offline	Částečně splněno. Aplikace obsahuje offline data pro Českou republiku. Mapové podklady jsou offline pouze při nacachování dopředu.

Tabulka 4 – Splnění non-funkčních požadavků

Všechny požadavky jsou zcela splněny, až na plný offline režim. Důvodem nesplnění je použití Google Maps API. Plný offline režim tak zůstává úkolem pro dodělání do dalších verzí aplikace. V rámci České republiky nejlépe pomoci plánovaného Mapy.cz API, které nabízí lepší mapové podklady pro účely turistiky.

4.2.2 Splnění funkčních požadavků

Výsledek analýzy splnění původních funkčních požadavků shrnuje následující tabulka.

Požadavek	Evaluaace
Aplikace bude obsahovat terénní mapu s vrstevnicemi.	Splněno v podobě terénní mapy dostupné skrze Google Maps API.
Uživatel si bude moci na mapě zvolit body trasy.	Splněno.
Uživatel bude moci body trasy mazat a přesouvat.	Splněno.
Aplikace u každého bodu zobrazí přesnou nadmořskou výšku.	Splněno.
Aplikace zobrazí délku trasy a graf průběhu trasy.	Splněno na záložce „Přehled“.
Uživatel bude mít na výběr, zdali chce vykreslovat kompletní trasu nebo jen body.	Splněno možností „Režim bodů“ v nastavení aplikace.
Po přepnutí do módu rozšířené reality bude moci uživatel doladit vlastní polohu a směr pohledu.	Splněno. Uživatel může gesty upravovat svoji nadmořskou výšku a směr pohledu.
Aplikace bude mít kromě češtiny i anglickou jazykovou mutaci a uživatel mezi nimi bude moci přepínat bez změny systémového jazyka.	Splněno.
Nastavení aplikace bude perzistentní.	Splněno.

Tabulka 5 – Splnění funkčních požadavků

Analýza funkčních požadavků skončila úspěchem, jelikož všechny požadavky byly bezpodmínečně splněny.

4.3 Publikování na Google Play

Pro publikování aplikace si autor u Googlu založil vývojářský účet. Na Google Play Store je aplikace publikována pod názvem „AR Track Visualizer“. Aplikace je zdarma.

První verze aplikace s číslem 0.9 byla publikována 25. dubna 2016.

Druhá verze s číslem 0.9.1 byla publikována 11. července 2016. Aktualizace přinesla lepší škálování grafu na displejích s jiným poměrem stran než 9:16 a nový dialog „O aplikaci“.

Verze 1.0 dorazila do obchodu Google Play 21. července 2016. Opravuje špatný výpočet souřadnic, opravuje akci při kliknutí na notifikaci o probíhajícím stahování a využívá lepšího systému pro čtení dat ze senzorů a nepotřebuje tak již kalibraci jako předchozí verze.

4.3.1 Vyhledávání aplikace v obchodě Google Play

Přestože aplikace oproti konkurenčním aplikacím nabízí výhody, velkého úspěchu se prozatím nedočkala. Důvodem je pravděpodobně špatná optimalizace pro vyhledávání na Google Play. Pro znázornění aktuálního stavu při vyhledávání byla vytvořena následující tabulka.

Vyhledávaný dotaz	Pořadí v seznamu
Augmented reality	Nezobrazuje se mezi vyhledanými 259 aplikacemi.
Augmented reality track	Nezobrazuje se mezi vyhledanými 222 aplikacemi
AR Track	71. pozice
AR Track Visualizer	1. pozice
Location based augmented reality	37. pozice
Augmented reality elevation	75. pozice

Tabulka 6 – Pořadí při vyhledávání na Google Play

Jak je patrné z výsledkù, uživatel prakticky nemá možnost aplikaci najít, aniž by vèdèl celý název aplikace. Do budoucna je potřeba kompletnè přetvořit detail aplikace v obchodè, aby obsahoval více klíčovùch slov a především ve větší kvantitè, protože již nyní popis aplikace obsahuje nejdùležitèjší pojmy charakterizující aplikaci (augmented reality, location based, entered track, simple, offline,...).

4.4 Testování aplikace

Reálná funkčnost aplikace byla podrobena testování. Test byl rozdělen na dvě části. Nejprve byl proveden test zobrazení jednotlivùch bodù. V druhé části se testovalo zobrazení cesty. Testování probèhlo v rodném městè autora – Náchodè.

4.4.1 Test zobrazení bodù

V rámci testování zobrazení bodù byly vybrány tři body.

1) Test 1 – Náchodská radnice

První test probèhal z blízké vzdálenosti. Při testu se uživatel, stejně jako radnice, nacházel na náměstí.



Obr. 16 – Test zobrazení bodù è. 1
Zdroj: vlastní zpracování

Bod se vykreslil a umístil správnè. Je správnè ve stejné výškové hladinè kvůli shodné nadmořské výšce. Data o nadmořské výšce jsou vždy vztažena k zemskému povrchu.

2) Test 2 – Náchodský zámek

I druhý test probíhal z blízké vzdálenosti. Vybrán byl náchodský zámek, který se nachází nad náměstím vyvýšený přibližně o 50 metrů.



Obr. 17 – Test zobrazení bodů č. 2
Zdroj: vlastní zpracování

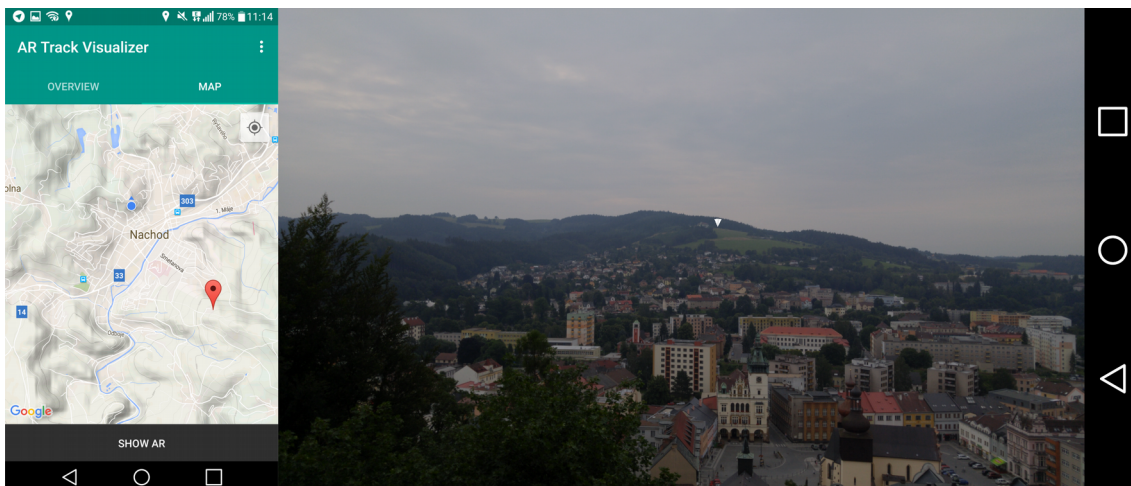
V tomto případě byl vykreslený bod posunut oproti reálné pozici objektu horizontálně i vertikálně. Horizontální posun není velký a dá se interpretovat jako nepřesnost senzorů. Pro tyto případy je k dispozici doladění.

Vertikální posun je způsoben rozlišením dat o nadmořské výšce. Zámecký kopec má poměrně prudký sklon a k vybranému bodu byl nejbližší bod obsažený v datovém setu nalezen ve směru dolů z kopce, což způsobilo poměrně velkou nepřesnost.

3) Test 3 – hotel Vyhlídka

Při posledním třetím testu zobrazení bodů se uživatel nacházel na vyhlídce pod náchodským zámekem. Cílem bylo otestovat zobrazení bodů na větší vzdálenost. Vybraný bod byl wellness hotel Vyhlídka, který se nachází nad nemocnicí v nadmořské výšce přibližně 520 m.

Bod se na vybraný objekt (budova těsně vlevo od vykresleného bodu) vykreslil téměř dokonale, a to jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru.



Obr. 18 – Test zobrazení bodů č. 3
Zdroj: vlastní zpracování

4.4.2 Test zobrazení cesty

Kromě zobrazení bodů umí aplikace zobrazit i cesty, kdy se do prostoru mezi vybranými body po určité vzdálenosti určené algoritmem doplní mezibody. Všechny testy proběhly z vyhlídky pod náchodským zámekem.

1) Test 1 – náměstí

Cesta pro první test vedla na náměstí z kostela svatého Vavřince k radnici.



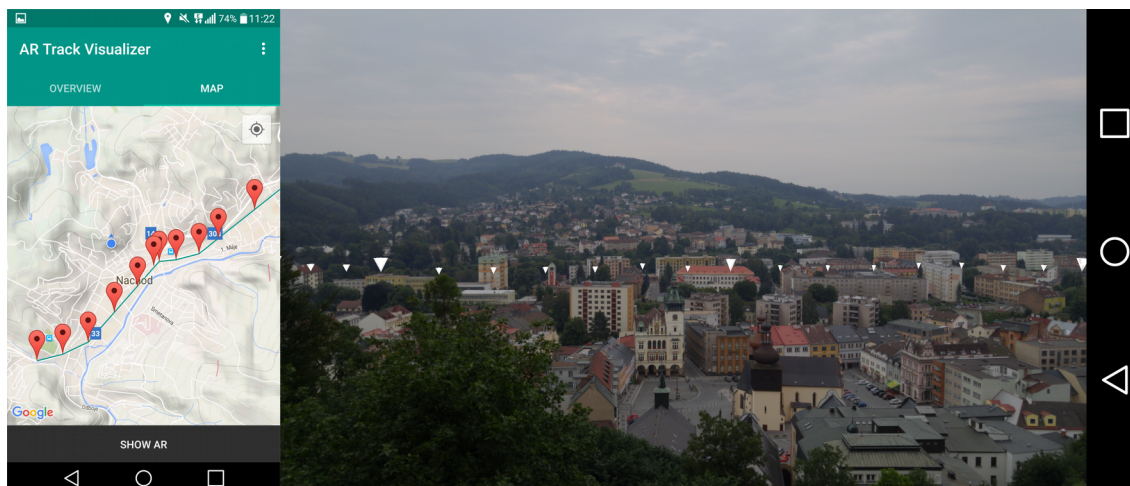
Obr. 19 – Test zobrazení cesty č. 1
Zdroj: vlastní zpracování

V tomto případě nastal stejný problém jako při druhém testu zobrazení bodů. Pro správné zobrazení bylo potřeba gestem přidat k naší poloze třicet výškových

metrů pomocí mechanismu doladění. V horizontálním směru se cesta vykreslila správně.

2) Test 2 – ulice Pražská

Cesta pro druhý test je hlavní silnicí v Náchodě – mezinárodní tah na Polsko.



Obr. 20 – Test zobrazení cesty č. 2
Zdroj: vlastní zpracování

Cesta se vykreslila v pořádku. Reálná cesta opravdu prochází na místě vykreslené.

3) Test 3 – horizont

Třetí cestou byl vybrán viditelný horizont. Na mapě byla zvolena imaginární cesta jdoucí přes hřebeny kopců.



Obr. 21 – Test zobrazení cesty č. 3
Zdroj: vlastní zpracování

Horizont se vykreslil poměrně obstojně, bylo však potřeba využít mechanismu doladění, kdy se zobrazení pootočilo o -4 stupně. Nepřesnost je způsobena chybou magnetometrického senzoru.

4.5 Možnosti vylepšení

Vývoj aplikace nekončí dopsáním této práce. Užitečnost aplikace byla autorem ověřena i v praxi, a aplikace tak bude nadále vyvíjena a vylepšována.

Aplikace již splňuje všechny kladené funkční požadavky, stále je však co zlepšovat. Jak bylo zmíněno v kapitole 3.5.2 Mapa, největší nedostatky mají použité mapy od Googlu. Ty se do budoucna nahradí lepším řešením.

Nedostatkem aplikace je také zadávání trasy, kdy je třeba všechny body manuálně zadat. Bylo by užitečné, kdyby aplikace uměla vytvořit trasu ze startovního do cílového bodu sama.

Pokud se aplikace dočká většího úspěchu, bude potřeba řešit kvóty, které platí při použití Google Elevation API. Offline data jsou zatím k dispozici pouze pro Českou republiku. Řešením by bylo připravit datové sady i pro další země.

Kromě těchto úprav lze konstatovat, že aplikace je kompletní a plní účel, který se od jejího názvu očekává. Nepřesnosti se při testování ale projevíly a další úpravy by se tak měly týkat přesnějšího zobrazení rozšířené reality, například skrze zpřesňování dat o nadmořské výšce, lepší reprezentaci dat ze senzorů, apod.

5 Závěr

Cíle vytyčené v úvodu práce byly dosaženy. V teoretické části byl popsán koncept rozšířené reality a její praktické využití v různých oblastech. V rámci praktické části pak byla vyvinuta užitečná aplikace pro účely turistiky. Výsledná aplikace splňuje předem určené požadavky.

V průběhu prací na praktické části bylo třeba využít mnoha technologií, které jsou klíčové při vývoji mobilní aplikace pracující s rozšířenou realitou. V první řadě se jednalo o samotný vývoj aplikací pro mobilní operační systém Android.

Dále bylo zajímavé spojit matematickou teorii s reálným využitím, ať už při práci s vykreslováním pomocí OpenGL, nebo při řešení převodu souřadnic.

Velký úspěch dosažený při vývoji aplikace je způsob, jakým jsou uchována a čtena data o nadmořské výšce. Komprimační efekt uchovávání dat pomocí sady bitmap s využitím již existujícího bezztrátového komprimačního mechanismu předčil očekávání.

Aplikace je momentálně publikována na Google Play Store, kde se prozatím nedočkala velkého ohlasu. Dalším krokem tak bude získat uživatele.

6 Seznam použité literatury

- [1] ZANDL, Patrick. Příští fenomén: rozšířená realita je budoucnost webu. Lupa.cz – server o českém internetu. [online]. 22.5.2009 [cit. 17.6.2015]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/rozsirena-realita-augmented-reality/>
- [2] FURHT, Borko. Handbook of Augmented Reality. New York: Springer New York, 2011. ISBN 978-1-4614-0064-6.
- [3] MILGRAM, Paul, TAKEMURA, Haruo, UTSUMI, Akira, KISHIMO, Fumio. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In Proceedings of Telem manipulator and Telepresence Technologies 1994. [dokument ve formátu PDF]. 1994. s. 282-292. Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/publication/1994/Milgram_Takemura_SPIE1994.pdf
- [4] Google Trends – Zájem ve službě Webové vyhledávání: Augmented reality – Celosvětově, 2004–současnost. Google Trends. [online]. ©2015 [cit. 2015-06-19]. Dostupné z: <https://www.google.cz/trends/explore#q=%2Fm%2F0lqtr>
- [5] Nimble Sense: Your hands in virtual reality. In Youtube [online]. 6.11.2014 [cit. 21.6.2015]. Kanál uživatele Engadget. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OyhAzSAorKU>
- [6] PRISCO, Giulio. Second Life, Viewer 2.0. Giulio Prisco. [online]. 23.2.2010 [cit. 19.6.2015]. Dostupné z: <http://giulioprisco.blogspot.co.uk/2010/02/second-life-viewer-20.html>
- [7] GROVER, David. Augmented reality history, background and philosophy. Wiki.mq.edu.au. [online]. 24.2.2014 [cit. 21.6.2015]. Dostupné z: <https://wiki.mq.edu.au/display/ar/Augmented+reality+history.+background+and+philosophy>
- [8] CAUDELL, Tom P. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences. 1992. IEEE. ISBN 0-8186-2420-5.
- [9] SUTHERLAND, Ivan E. A head-mounted three dimensional display. In Proceedings of the AFIPS '68 Fall Joint Computer Conference. [dokument ve formátu PDF]. 1968. s. 757-764. Dostupné z: <http://design.osu.edu/carlson/history/PDFs/p757-sutherland.pdf>
- [10] ARTH Clemens, GRASSET Raphael, GRUBER Lukas, LANGLOTZ Tobias, MULLONI, Alessandro, WAGNER, Daniel. The History of Mobile Augmented Reality. Graz University of Technology. [dokument ve formátu PDF]. 6.5.2015. Dostupné z: http://www.icg.tugraz.at/publications/pdf/the-history-of-mobile-augmented-reality/at_download/file
- [11] REKIMOTO, Jun. Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality. In APCHI '98 Proceedings of the Third Asian

- Pacific Computer and Human Interaction. [dokument ve formátu PDF]. 1998.
Dostupné z:
<https://www.sonycsll.co.jp/person/rekimoto/papers/apchi98.pdf>
- [12] ARToolKit Documentation. Open Source Augmented Reality SDK | ARToolKit.org. [online]. 5.6.2015 [cit. 21.6.2015]. Dostupné z:
<http://artoolkit.org/documentation/>
- [13] MÖHRING Mathias, LESSIG Christian, BIMBER Oliver. Video See-Through AR on Consumer Cell-Phones. In Proceedings of the 3th IEEE/ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality. [dokument ve formátu PDF]. 2004. Dostupné z: http://140.78.90.140/medien/ar/Pub/Cell_Phone_AR.pdf
- [14] GSMarena.com. [online]. © 2000-2015 [cit. 21.6.2015]. Dostupné z:
<http://www.gsmarena.com/>
- [15] Project Glass: One day... In Youtube [online]. 4.4.2012 [cit. 21.6.2015]. Kanál uživatele Google. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=9c6W4CCU9M4>
- [16] KLEIN Georg, MURRAY David. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. In 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. [dokument ve formátu PDF]. 2007. IEEE Computer Society © 2011. ISBN 978-1-4244-5390-0. Dostupné z:
<http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/publications/KleinMurray2007ISMAR.pdf>
- [17] Microsoft HoloLens – Transform your world with holograms. In Youtube [online]. 21.1.2015 [cit. 21.6.2015]. Kanál uživatele Microsoft. Dostupné z:
<https://www.youtube.com/watch?v=aThCr0Psyua>
- [18] Ángela DI SERIO, María Blanca IBÁÑEZ, Carlos Delgado KLOOS. Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. In Computers & Education, Volume 68. [dokument ve formátu PDF]. Říjen 2013. s. 586-596. ISSN 0360-1315. Dostupné z:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- [19] Scopis Augmented Reality: Path guidance to craniopharyngioma. In Youtube [online]. 23.11.2012 [cit. 15.5.2016]. Kanál uživatele Scopis Surgical Navigation. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=i4emmCcBb4s>
- [20] BOTELLA Cristina, BRETÓN-LÓPEZ Juani, QUERO Soledad, BAÑOS Rosa, GARCÍA-PALACIOS Azucena. Treating Cockroach Phobia With Augmented Reality. In Behavior Therapy, Volume 41, Issue 3. [document ve formátu PDF] Zář 2010. s. 401-413. ISSN 0005-7894. Dostupné z:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.beth.2009.07.002>
- [21] Applied Industrial Augmented Reality. In Youtube [online]. 22.7.2015 [cit. 15.5.2016]. Kanál uživatele Index AR Solutions. Dostupné z:
<https://www.youtube.com/watch?v=oBzIKZqEGwI>
- [22] SAP & Vuzix Bring you Augmented Reality Solutions for the Enterprise. In Youtube [online]. 12.5.2013 [cit. 15.5.2016]. Kanál uživatele SAPEnterpriseMobile. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=9Wv9k_ssLcI

- [23] MUFSON, Becket. Sculptures Come to Life in an Augmented Reality Art Gallery. The Creators Project. Vice. [online]. 19.5.2015 [cit. 16.5.2016]. Dostupné z: <http://thecreatorsproject.vice.com/blog/sculptures-come-to-life-in-an-augmented-reality-art-gallery>
- [24] ALBAO, Myk Gregory. Ingress: A Game, Lifestyle and Social Network in One! When In Manila. [online]. 22.7.2014 [cit. 16.5.2016]. Dostupné z: <http://www.wheninmanila.com/ingress-game-lifestyle-social-network/>
- [25] Microsoft HoloLens: RoboRaid. In Youtube [online]. 29.2.2016 [cit. 18.5.2016]. Kanál uživatele Microsoft Hololens. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Hf9qkURqtbM>
- [26] CHRISTINA. Augmented Reality Applications in the Tourism Industry. Augment News. [online]. 6.1.2016 [cit. 17.5.2016]. Dostupné z: <http://www.augment.com/blog/augmented-reality-in-tourism/>
- [27] Digital Elevation Model over Europe (EU-DEM). European Environment Agency. 25.6.2015 [cit. 26.5.2016]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>
- [28] DroidAR Mobile Locationbased Augmented Reality Framework for Android. Github. [online]. [2015] [cit. 20.7.2016]. Dostupné z: <https://github.com/bitstars/droidar>
- [29] Sensor. Android Developers. [online]. ©2016 [cit. 23.7.2016]. Dostupné z: https://developer.android.com/reference/android/hardware/Sensor.html#TYPE_ROTATION_VECTOR
- [30] Sensor types. Android Open Source Project. [online]. ©2016 [cit. 23.7.2016]. Dostupné z: <https://source.android.com/devices/sensors/sensor-types.html>
- [31] SLAVKOVSKÝ, Tomáš. Re: Mapy.cz jako knihovna pro Android. Forum napoveda.seznam.cz. 9.11.2015 [cit. 23.7.2016]. Dostupné z: <http://napoveda.seznam.cz/forum/viewtopic.php?f=31&t=24860&sid=1ee0169489a2a0c707e88ac51090d784#p98919>
- [32] JAHODA, Philipp. MPAndroidChart. Github. [online]. 2016 [cit. 20.7.2016]. Dostupné z: <https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart>
- [33] MAPS.ME. [online]. ©2016 [cit. 24.7.2015]. Dostupné z: <http://maps.me/en/home>