

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

## NAVIGACE PRO PILOTY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN KRYL

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**

**FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY**  
**DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA**

## **NAVIGACE PRO PILOTY**

NAVIGATION SYSTEM FOR PILOTS

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

### **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**JAN KRYL**

### **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. JOZEF MLÍCH**

BRNO 2014

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a vytvořením navigačního systému jako pomůcky pro piloty kluzáků, padákových kluzáků, vrtulníků nebo ultralehkých letadel. Pro realizaci je stěžejní vykreslování mapových podkladů. Způsob tohoto vykreslování je v práci popsán, včetně související teorie. Dále práce obsahuje popis návrhu a implementace aplikace.

## **Abstract**

This bachelor thesis concerns design and creation of a navigational system as a tool for pilots of gliders, paragliders, helicopters or ultralight planes. Rendering of map basis is critical part for realization of this project. The way of this rendering is described in the paper, including theory concerning the topic. The paper also contains description of draft and implementation of application.

## **Klíčová slova**

navigace pro piloty, VFR, GIS

## **Keywords**

navigation for pilots, VFR, GIS

## **Citace**

Jan Kryl: Navigace pro piloty, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2014

# Navigace pro piloty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jozefa Mlícha. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jan Kryl

21. května 2014

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Jozefu Mlíchovi za vedení mé práce a ochotu pomoci řešit problémy, které během vypracovávání nastaly. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a své přítelkyni Elišce Hrabákové za podporu a korekturu textu.

© Jan Kryl, 2014.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2 Letectví</b>	<b>4</b>
2.1 Letecký zákon a předpisy . . . . .	4
2.2 Vzdušné prostory . . . . .	6
2.3 Režimy letu . . . . .	7
<b>3 Existující navigace</b>	<b>9</b>
3.1 Fly is Fun . . . . .	9
3.2 Garmin . . . . .	10
<b>4 Mapové podklady</b>	<b>12</b>
4.1 Souřadné systémy . . . . .	12
4.2 Rastrové mapy . . . . .	14
4.3 Vektorové mapy . . . . .	15
4.4 Hybridní přístup . . . . .	16
4.5 Výpočty . . . . .	16
<b>5 Návrh</b>	<b>19</b>
5.1 Výběr vývojového prostředí a jazyka . . . . .	19
5.2 Architektura . . . . .	20
5.3 Databáze . . . . .	20
5.4 Výsledky dotazníku . . . . .	21
5.5 Uživatelské rozhraní . . . . .	23
<b>6 Implementace</b>	<b>25</b>
6.1 Struktura aplikace . . . . .	25
6.2 Ladění výkonu . . . . .	27
6.3 Možnosti dalšího vývoje . . . . .	28
<b>7 Závěr</b>	<b>30</b>
<b>A Obsah CD</b>	<b>33</b>
<b>B Slovník pojmů</b>	<b>34</b>
<b>C Výsledky ladění výkonu</b>	<b>35</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Pro piloty leteckých prostředků je nesmírně důležité, aby měli k dispozici co nejvíce informací a dat týkajících se letu, podle kterých se mohou řídit. S výjimkou palubních přístrojů se může pilot vybavit dalšími, které o letu poskytují informace. Turistické GPS navigace, dostupné například pomocí tabletu, poskytují pilotům informaci o jejich aktuální pozici. Už ale neinformuje o tom, v jakém leteckém prostoru se momentálně nacházejí, neobsahuje seznam krajinných bodů, pomocí kterých se mohou piloti letadel za letu orientovat, ani neposkytuje doplňující informace o letištích, jako například radio frekvence, orientace přistávací dráhy apod.

Vzhledem k množství dostupných údajů a k tomu, jak jsou v dané situaci pro let relevantní, je potřeba tyto informace vhodným způsobem filtrovat tak, aby měl pilot v danou chvíli po ruce právě to, co potřebuje. Tématem práce je tedy vytvoření přehledného navigačního systému pro piloty letadel, speciálně pro režim řízení na základě vizuální reference.

V současné době již existuje řada navigačních aplikací určená pro piloty letadel na různých mobilních platformách. Některé z těchto aplikací vytvářejí profesionální vývojářské týmy, jiné jsou vytvářeny amatérsky samotnými piloty. Většina těchto aplikací je zpoplatněna a nebo je pro běžného uživatele zbytečně složitá.

Motivací pro tuto bakalářskou práci je tedy vyvinout bezplatnou a jednoduše ovladatelnou navigační aplikaci, současně ji postupně rozvíjet a pokusit se o implementaci funkcí, které jinde často chybí. Nedílnou součástí tohoto vývoje je konzultování obsahu aplikace s piloty letadel proto, aby byla aplikace pro uživatele co nejpříjemnější a odpovídala co nejlépe jeho potřebám. Součástí práce je také správně vybrat a určit, pro které mobilní platformy aplikaci vyvíjet, a zajistit dostupnost aplikace na více platformách, než pouze jedné.

Motivací je také vyzkoušet si vývoj aplikace v multiplatformním prostředí nástroje Qt. Dalším záměrem tohoto projektu je pokračování ve vývoji aplikace i po odevzdání bakalářské práce, aby se mohla v budoucnu stát předmětem diplomové práce v magisterském studiu.

Následující kapitola se jmenuje Letectví a věnuje se principům letu. Jsou zde popsána základní pravidla letu a údaje, kterými je třeba se řídit. Dále jsou popsány a vyjmenovány vzdušné prostory. Následně jsou zde definovány režimy letu podle viditelnosti a podle přístrojů.

Ve třetí kapitole jsou stručně popisány a srovnány již existující navigace. Pro konkrétní srovnání byly vybrány podle výsledků dotazníku dvě aplikace, které jsou zhodnoceny z hlediska toho, jaké jsou jejich přednosti a co jim naopak chybí.

Čtvrtá kapitola Mapové podklady se věnuje popisu rozvržení vrstev použitých mapo-

vých podkladů a jejich mapových zdrojů. Je zde také popsán způsob rozvržení různých zeměpisných systémů definujících polohu na planetě Zemi.

Následující kapitola Návrh popisuje způsob, jakým byla aplikace navržena. Je zde rozebrán výběr vývojového prostředí a použitých jazyků. Dále popisuje architekturu aplikace včetně databáze a uživatelského rozhraní. Jsou zde také zhodnoceny výsledky dotazníku.

V předposlední kapitole Implementace je rozepsán způsob implementace navigačního systému. Definuje vlastní strukturu aplikace a popisuje její nejdůležitější části. Na závěr jsou zde diskutovány výsledky a možná rozšíření aplikace.

V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky.

V této práci je použito velké množství různých zkratk. Tyto jsou zejména z oblasti letectví. Pro zvýšení čitelnosti je v příloze uveden seznam těchto zkratk s jejich krátkým vysvětlením.

## Kapitola 2

# Letectví

Pro účely vytvoření navigační aplikace bylo potřeba se nejdříve seznámit s pravidly letu. Jedná se především o pravidla letu obecná a pravidla letu v režimu vizuální reference, což se bezprostředně týká této práce. Důležité je zohlednit rovněž rozdíly mezi režimy letu.

V první podkapitole Letecký zákon [11] a předpisy jsou stanoveny autority předepisující a definující v zásadě veškerá pravidla týkající se letu. Zákon se zabývá organizací letectví v České republice. Řeší, jaké jsou podle něj definované organizace a úřady.

V další podkapitole Vzdušné prostory [8] je definován pojem vzdušný prostor. Vyjmenovává jednotlivé třídy vzdušných prostorů a definuje, jaké jsou mezi nimi rozdíly.

Poslední část kapitoly Režimy letu [14] detailně popisuje soubor pravidel, kterým se tato bakalářská práce zabývá a pro něž je aplikace vyvíjena. Jsou zde také zmíněny ostatní režimy letu a jaké jsou mezi nimi rozdíly.

### 2.1 Letecký zákon a předpisy

Mezinárodní autoritou na poli leteckých předpisů je Organizace pro Mezinárodní Civilní Letectví ICAO<sup>1</sup>. Tato organizace, která vznikla v roce 1944 na základě Konvence Mezinárodního civilního letectví, známé také jako Chicagská úmluva, se stará o vydávání standardů a doporučených praktik SARP<sup>2</sup>. Slouží k sestavení legislativy a zákonů o letectví jednotlivých států. V současné době existuje přes 10.000 různých dokumentů SARP, které pomáhají utvářet globální leteckou síť, ve které probíhá přes 100.000 letů denně.

V České republice podléhá civilní letectví zákonu č. 49/1997 Sb., Zákon o civilním letectví [11], který vstoupil v platnost dne 1. dubna 1997, a jeho znění bylo naposledy upraveno dne 1. dubna 2012. Zákon reguluje téměř vše, co se letectví týká, od registrace letadel a stanovení jejich způsobilosti, přes náležitosti provozování letiště, až po podmínky využívání vzdušného prostoru.

Dohled nad civilním letectvím na území České republiky má na starosti Úřad pro civilní letectví České republiky ÚCL. Úřad dále licencuje piloty a certifikuje letecké prostředky. Činnost úřadu je rozdělena do tří sekcí: sekce technické, sekce letové a provozní a sekce letových standardů.

Pro potřeby této práce jsou důležité tzv. letecké předpisy, které specifikují normy v mezinárodním letectví na území České republiky. Tyto předpisy jsou vyhlášovány prostřednictvím Ministerstva dopravy České republiky. Jejich návrh a znění sestavuje Úřad pro civilní

---

<sup>1</sup>ICAO – International Civil Aviation Organization, <http://www.icao.int>

<sup>2</sup>SARP – Standards and Recommended Practices

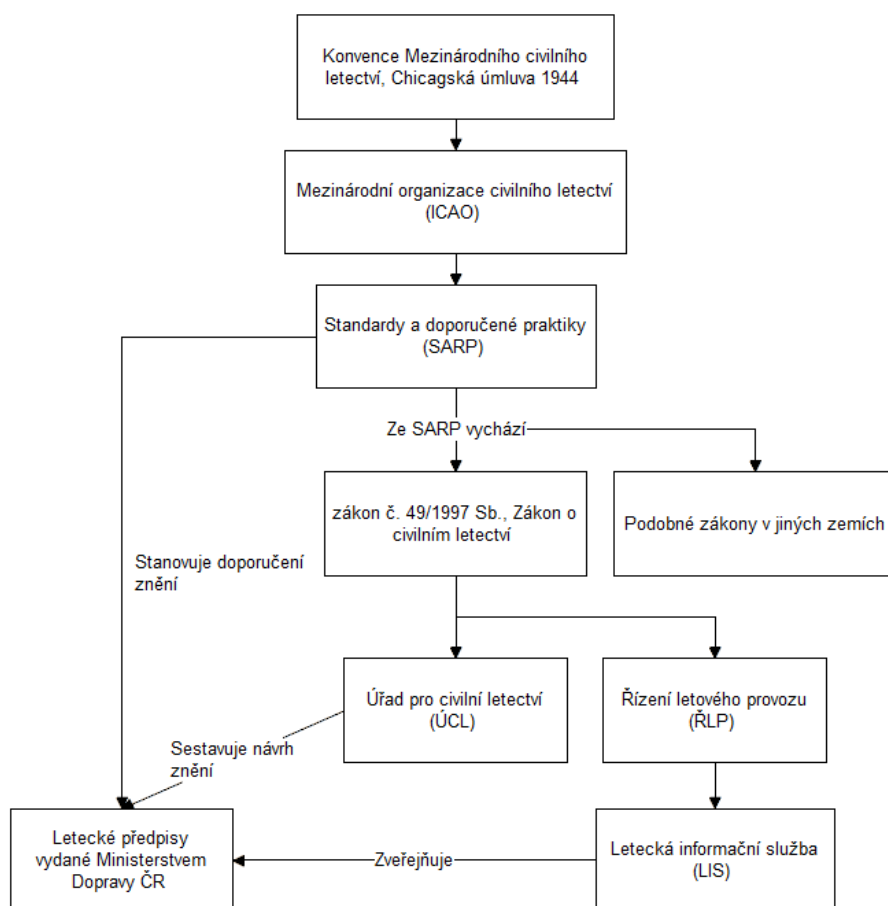


letectví na základě standardů a doporučených praktik dříve zmíněné organizace ICAO. Pro piloty jsou tyto předpisy uveřejňovány prostřednictvím Letecké informační služby LIS [8]. Data jsou dostupná jak v tištěné formě publikací, které lze zakoupit, tak v bezplatné internetové formě. Za autentické zdroje informací se nicméně považuje tištěná forma.

Obrázek 2.1 znázorňuje způsob, jakým vznikají letecké předpisy platné na území České republiky ze SARP předpisů vydávaných ICAO. Podobná struktura definuje předpisy i v dalších zemích.

Letecká informační služba se dále stará o poskytování informací zajišťujících bezpečnost a pravidelnost mezinárodního i vnitrostátního letového provozu v České republice. Definuje a aktualizuje téměř veškerá data, která se pro potřeby letecké navigace využívají. V ostatních zemích existují podobné úřady. Ty se rovněž zabývají vydáváním údajů týkajících se letového provozu daného státu.

Vedle Letecké informační služby je důležité zmínit úřad Řízení letového provozu České republiky ŘLP [14], pod který Letecká informační služba spadá. Tento úřad se dále stará o poskytování provozních služeb ve vzdušném prostoru nad Českou republikou a má na starosti aktivní řízení leteckého provozu.



Obrázek 2.1: Způsob, jak vznikají letecké předpisy. Čerpáno z ÚCL<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>[www.ucl.cz](http://www.ucl.cz)

## 2.2 Vzdušné prostory

Vzdušné prostory definují určitou trojrozměrnou část atmosféry. Jsou rozděleny do několika tříd podle standardu ICAO, který pro jednotlivé prostory definuje pravidla, popř. v jakých výškách daný letový prostor platí. ICAO rozlišuje 7 vzdušných prostorů, které se označují písmeny abecedy A – G. Prvních pět z těchto tříd označuje řízený vzdušný prostor, zbylé dvě jsou neřízeným vzdušným prostorem. Rozdíl mezi těmito kategoriemi spočívá v tom, zda se musí pilot hlásit ŘLP a letět podle stanovené trasy. V řízeném prostoru je tedy poskytována služba řízení letového provozu, což pro neřízený prostor neplatí. Ve všech prostorech je poskytována letová informační a pohotovostní služba.

V České republice jsou ze vzdušných prostorů definovaných ICAO využívány čtyři, konkrétně prostory C,D,E a G. Dále jsou prostory rozlišovány podle typologie prostorů, jak je popsáno v [4, 9].

Vzdušný prostor v okolí letiště s řízeným provozem je označován jako CTR. Pro příklad se jedná o oblast A na obrázku 2.2, oblast s červenou výplní nad letištěm LKPR Václava Havla. Jeho účel je ochrana řízeného letového provozu v blízkosti letiště, kterou zajišťuje v daném prostoru řídicí věž. Vertikálně sahá od povrchu země do výšky obecně 1500 metrů. Horizontální hranice jsou v rozsahu kolem 9 – 20 kilometrů, většinou kopírují orientaci drah letiště, jak názorně ukazuje dříve zmíněná oblast A. Tyto vzdušné prostory spadají do třídy D.

V širším okolí letiště s řízeným provozem se nachází vzdušný prostor označovaný jako TMA. Na obrázku 2.2 se jedná o oblast B. Navazuje na řízený okresek a slouží k ochraně přilétajících a odlétajících letadel. V okolí jednoho letiště se může vyskytovat více TMA prostorů. Tyto prostory na sebe různě navazují. Počátek těchto zón bývá obvykle v úrovni 300 metrů nad terénem, a to tak, aby prostory TMA obsahovaly všechny tratě veoucí z nebo na dané letiště. Horizontální i vertikální hranice jsou tedy značně proměnlivé. Vzdušné prostory TMA spadají do třídy D, s výjimkou TMA Praha, který spadá do třídy C.

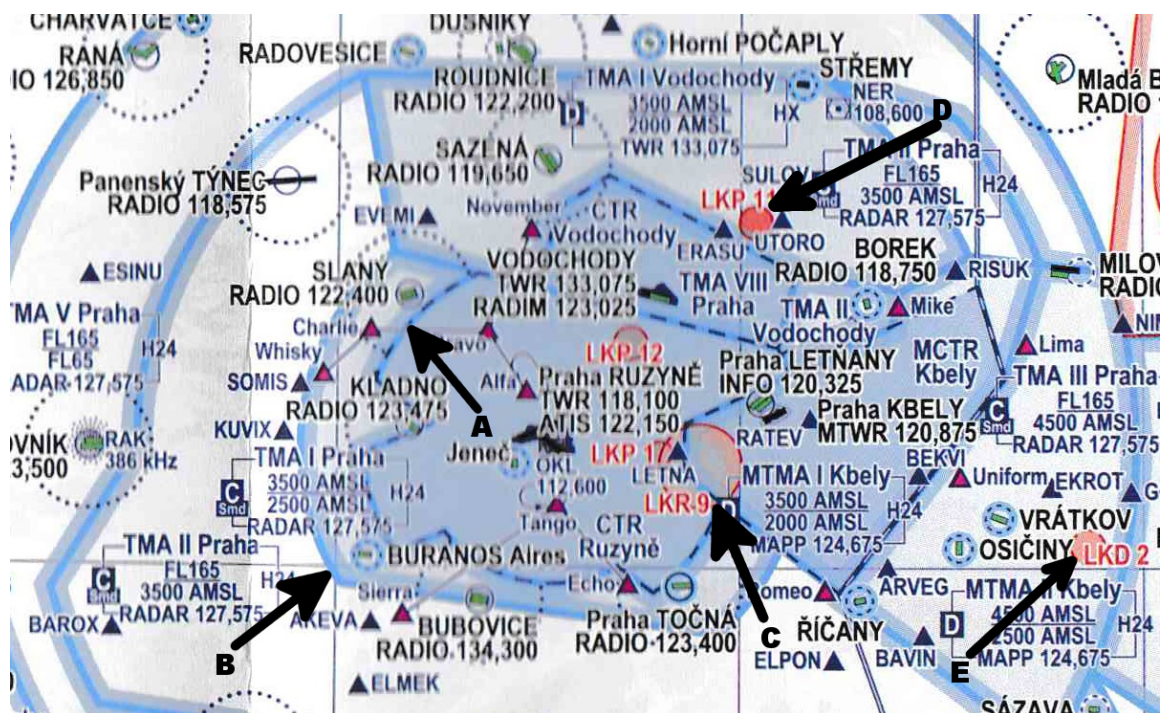
Pro okolí vzdušného prostoru neřízeného letiště je definován prostor ATZ. Jeho účel je ochrana neřízeného letového provozu v blízkosti letiště. Vertikální hranice je téměř vždy definována od povrchu země do výšky 1200 metrů. Horizontální hranice tvoří kruh, jehož střed tvoří letiště, o průměru 11 kilometrů. Tento typ prostoru nebývá vždy v leteckých mapách zobrazován.

Dalším typem je omezený prostor, na obrázku 2.2 se jedná o oblast C. Prostory jsou značeny jako LK R a číslo. Tyto prostory bývají tzv. aktivovány. Aktivace je buď stanovena na určitou dobu, nebo je uvedena v denním plánu vzdušných prostorů. Tyto metody aktivace se nekombinují. Prostory jsou často vojenského charakteru, tzn. důvodem jejich aktivace bývá často vojenské cvičení. Je-li omezený vzdušný prostor aktivován, znamená to omezení letů v něm. Je možné získat povolení na vstup do aktivovaného omezeného prostoru od letové provozní služby. Vertikální i horizontální hranice se různí.

Předposledním vzdušným prostorem je prostor zakázaný. Odpovídá na obrázku 2.2 oblasti D. Prostory jsou značeny jako LK P a číslo. Jedná se o prostory, kterými nelze za běžných podmínek letět. Vyjimku pro naléhavé případy uděluje ÚCL. Vyjimky jsou však spíše udělovány v případě letů policejních, záchranných a podobně. Vertikální i horizontální hranice se různí, jako spodní vertikální hranice je definován zemský povrch.

Poslední vzdušný prostor, nebezpečný, lze na obrázku 2.2 najít pod písmenem E. Prostory jsou značeny jako LK D a číslo. V těchto oblastech probíhají činnosti, které by mohly let ohrozit, a pilotům je proto doporučeno vyhnout se těmto oblastem. Vertikální i horizontální hranice se opět různí, jako spodní vertikální hranice je většinou definován zemský

povrch.



Obrázek 2.2: Oficiální ICAO mapa 1:1000000.

## 2.3 Režimy letu

Existují různé soubory pravidel, podle kterých piloti letadel provozují let. Jedná se o let za viditelnosti VFR<sup>4</sup>, speciální let za viditelnosti SVFR<sup>5</sup> a let podle přístrojů IFR<sup>6</sup>. Konkrétní pravidla těchto letů jsou popsána jako předpis vydávaný Leteckou informační službou, Pravidla létání [8]. Pro jednotlivé prostory podle tříd ICAO jsou stanovená pravidla uvedena na příloženém CD v souboru *airspaceCR.png*. Předpis odpovídá předpisu vydanému Organizací pro Mezinárodní Civilní Letectví ICAO a je všeobecně platný ve většině zemí.

Let za viditelnosti je soubor pravidel, podle kterých pilot provozuje let na základě vizuální reference. Pilot musí být schopen pohledem z kokpitu určit svoji pozici, směr, kterým se letadlo ubírá, a musí mít alespoň částečný vizuální kontakt se zemí. Minimální viditelnost vyžadovaná pro tento režim letu je určena stavem počasí. Stav počasí musí být lepší než stanovené vizuální meteorologické podmínky VMC, které jsou opět stanoveny v předpisech podle [9]. Další kritéria jsou například vzdálenost od mraků, nadmořská výška apod.

Jak již bylo uvedeno v kapitole Vzdušné prostory 2.2 v ČR jsou 4 základní třídy, C, D, E a G. Z toho jsou první tři prostory klasifikovány jako řízené, zatímco poslední prostor,

<sup>4</sup>VFR – Visual Flight Rules

<sup>5</sup>SVFR – Special Visual Flight Rules

<sup>6</sup>IFR – Instrument Flight Rules

G, je klasifikován jako neřízený. Pro lety v řízených prostorech musí mít pilot krom letového povolení ve svém letadle také zařízení zvané odpovídač. Slouží k identifikaci letadla pro ATC, řídící vzdušného prostoru. Odpovídač, kromě přiděleného kódu pro identifikaci konkrétního letu, může také vysílat stanovené číselné kódy, kterými dává pilot vědět o své situaci. Většinou se jedná o nějaký vážný problém. Vyjimku tvoří vzdušný prostor E, kde piloti letící podle VFR nemají povinnost mít letové povolení, ani nemusí udržovat kontakt se stanovištěm ATS. Obecně platí, že piloti, letící za podmínek VFR, musejí zajistit odstup a vyhnout se od ostatních letadel. Nejsou jim totiž většinou přiřazeny trasy nebo výšky, kterých se mají držet.

Vedle režimu letu za viditelnosti existuje ještě další režim, let podle přístrojů IFR. Pro let v tomto režimu musí být letadlo vybaveno potřebnými přístroji, které poskytují dostatek informací tak, že podle těchto údajů může pilot letadlo řídit. Letadlo má pevně stanovenou výšku a trasu, po které se ubírá, a musí být v kontaktu s ŘLP. Kontrolu nad trasami a rozestupy mezi letadly letícími podle pravidel IFR má na starosti právě ŘLP.

Existuje také varianta speciální let za viditelnosti, který je předmětem schválení ŘLP. Jedná se o variantu letu VFR, kterému bylo vydáno povolení k letu v řízeném prostoru za horších podmínek, než je VMC.

## Kapitola 3

# Existující navigace

V této kapitole bylo provedeno srovnání s existujícími navigacemi. Pro srovnání byly vybrány dvě navigace, které jsou podle použitého dotazníku mezi českými piloty nejpoužívanější.

V první části Fly is Fun byly probrány funkce české aplikace Fly is Fun, vyvíjené amatérsky jednočlenným týmem.

V druhé části Garmin je naopak popsána navigace vyvíjená profesionálním týmem.

V obou případech jsou zhodnoceny klady a zápory těchto navigací a některé aspekty, které navigacím chybí, byly následně implementovány v aplikaci.

### 3.1 Fly is Fun

První ze srovnávaných aplikací je Fly is Fun<sup>1</sup> pro zařízení Android. Tato aplikace je vyvíjena českým amatérským vývojářem a akrobatickým pilotem Petrem Kouřilem. Aplikace je ve vývoji již od konce roku 2011 a doznala za tu dobu značných změn a rozšíření. V jejích počátcích bylo záměrem implementovat pouze funkce simulující VOR a ILS. Jedná se o navigační zařízení, umožňující určit směr letadla vůči konkrétnímu majáku, zahrnuje i indikátor výšky od daného majáku. Následně však došlo i na implementaci řady dalších funkcí. Byly přidány dynamické mapy terénu, topografických dat a vzdušných prostorů. Rovněž je umožněno plánování trasy, barometrické výšky a další.

Aplikace nabízí možnost vlastního nastavení, kde lze vybrat, jaké údaje budou zobrazovány, je možné do aplikace importovat a používat vlastní mapové podklady, vytvářet vlastní přistávací plochy a podobně. Součástí aplikace je i simulátor, kde je možné navolit trasu letu a následně sledovat údaje o letu, aniž by bylo nutné nastoupit do letadla. Aplikaci využívá mezi 1000 – 5000 uživateli, kteří s jejím vývojem pomáhají například doplňováním mapových podkladů z různých částí světa.

Na obrázku 3.1 je uveden ukázkový snímek aplikace. Po levé straně jsou vidět různé údaje jako výška nebo rychlost letu. Centrem obrázku je mapa s vyznačenými vzdušnými prostory a letišti s popisky.

---

<sup>1</sup>Google Play stránka aplikace: <https://play.google.com/store/apps/details?id=fly.is.fun.unlocker&hl=cs>





Obrázek 3.1: Ukázkový snímek aplikace. Převzato z Google Play stránek aplikace<sup>2</sup>.

Aplikace tedy poskytuje širokou škálu funkcí a možností, jak zobrazovaná data filtrovat. Některým respondentům však nevyhovuje, že je třeba se nejprve s ovládáním blíže seznámit. Preferovali by raději aplikaci s jednodušším rozhraním. Dalším aspektem je cena. Aplikaci je možné po určitou dobu využívat zdarma, po uplynutí této doby je pro další využívání aplikace vyžadován poplatek 439,00 Kč.

## 3.2 Garmin

Garmin není přímo název konkrétní navigace. Jedná se o americkou společnost vyvíjející profesionální navigační systémy. Vedle navigačních systémů pro piloty se zabývá vývojem i řady dalších typů navigací. Tyto ostatní navigace zde nejsou probírány.

Navigační systémy jsou většinou pořizovány ne jako aplikace, ale jako samostatné přístroje. Jejich velikost odpovídá velikostem běžných tabletů. Tyto přístroje bývají často montovány do palubních desek letadel, případně jsou vybaveny různými držáky. Držáky umožňují pohodlné uchycení zařízení. Tím je minimalizován vliv vibrací, které mohou zhoršit čitelnost navigace.

Přístroje jsou vybaveny speciálním displejem. Tento displej je buď dotykový, nebo dané zařízení disponuje fyzickými tlačítky. Displej vyniká především vlastnostmi, které ocení právě piloti, například je displej dobře čitelný na slunci a má dobrý kontrast. Na druhou stranu není vkládán velký důraz na rozlišení displeje nebo na jeho barevnou hloubku.

Na obrázku 3.2 je uveden příklad zařízení Garmin. Jedná se o model GPSMAP 695. Na obrázku lze vidět fyzická tlačítka používaná k ovládání zařízení. Tento model bývá využíván

<sup>2</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=fly.is.fun.unlocker&hl=cs>

profesionálními piloty.



Obrázek 3.2: Ukázkový příklad zařízení Garmin. Převzato ze stránek firmy Garmin<sup>3</sup>.

Navigace Garmin se řadí mezi nejlepší letecké navigace na světě. Některé modely jsou i využívány profesionálními dopravci. Vyjmenovávat konkrétní výhody tedy nemá smysl. Na druhou stranu je jasnou nevýhodou pořizovací cena, která se pohybuje od 20.000,- Kč do 50.000,- Kč. Další nevýhodou je závislost na jediném dodavateli mapových podkladů a nemožnost instalace jiného programového systému.

---

<sup>3</sup><https://buy.garmin.com/en-US/US/in-the-air/portable-gps/gpsmap-695/prod14860.html>

## Kapitola 4

# Mapové podklady

Existuje řada geografických služeb poskytujících mapové podklady zadarmo. Z této množiny služeb bylo třeba vybrat takovou, která nejlépe splňuje požadavky aplikace. Důležité pak také bylo určit, co má být na mapě zobrazeno.

V první podkapitole Souřadné systémy [13] je popsán způsob, jakým je planeta mapována z hlediska použitého souřadnicového systému. Je zde uveden popis ostatních nejpoužívanějších souřadnicových systémů.

V podkapitolách Rastrové mapy, Vektorové mapy a Hybridní přístup [12] jsou diskutovány varianty, pomocí kterých může být mapa zobrazena.

V poslední podkapitole Výpočty [6] jsou popsány různé matematické metody, které jsou v aplikaci využívány při určování některých parametrů, například vzdálenosti mezi body.

### 4.1 Souřadné systémy

Mapovou projekcí se rozumí transformace souřadnicových dat povrchu planety do rovinného zobrazení mapy. Planeta Země bohužel není dokonale kulatá. Její tvar je ovlivněn fyzikálními silami gravitační a odstředivou, v minulosti její povrch měnily i srážky s jinými vesmírnými tělesy. Planeta Země je tedy ve skutečnosti geoid, matematické těleso přibližující její tvar. Takové těleso je ovšem obtížně matematicky definovatelné, například právě pro potřeby navigace. V této podkapitole bylo čerpáno z [13].

Pro projekci povrchu planety Země se používají různé systémy, které jsou ve vývoji již značnou řadu let. Obor zabývající se studiem a vývojem těchto systémů se nazývá geodézie. Různé systémy pak pokrývají různé části Země a zabývají se různými aspekty, například systém WGS84<sup>1</sup> zahrnuje povrch celé Země, systém ETRS89<sup>2</sup> popisuje pouze Euroasijskou desku a podobně. Dále se liší ve způsobu určování polohy, kdy například systém WGS84 používá metodu šířka-délka, zatímco systém MGRS<sup>3</sup> používá metodu mřížek.

Patrně nejpoužívanějším systémem je právě systém WGS84. Jedná se o standard ministerstva obrany USA vytvořený roku 1984 a využívaný silami NATO. Je to primární způsob, jak je podle GPS udávána poloha. Referenční plochou je elipsoid WGS84. Tento elipsoid prošel dlouhým vývojem a řeší problém tvaru planety Země jako geoidu, protože se s ním mnohem lépe matematicky pracuje a jeho odchylky od parametrů geoidu jsou zanedbatelné. Počátek souřadnic systému je umístěn ve středu tohoto elipsoidu. Tento střed

---

<sup>1</sup>WGS84 – World Geodetic System 84

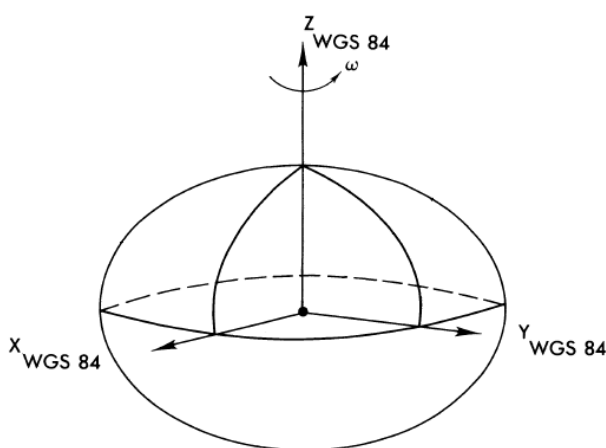
<sup>2</sup>ETRS89 – European Terrestrial Reference System 89

<sup>3</sup>MGRS – Military Grid Reference System



je téměř identický se středem respektive těžištěm Země. Odchylka je asi jen 2 cm.

Aby mohl být elipsoid spojen se Zemí, používají se tzv. definiční body. Jedná se o stabilizovaná umístění na povrchu planety Země. Systém WGS84 využívá definiční body rozmístěné po celé Zemi, proto je aplikovatelný na celou planetu. V předchozím odstavci zmíněný systém ETRS89 využívá definiční body tvořící rámec pouze v regionu Euroasijské desky, proto jej nelze aplikovat i na zbytek planety Země. Toto může na druhou stranu zajistit větší přesnost výsledné projekce. Ze středu souřadnicového systému vycházejí tři osy X, Y a Z tak, jak zobrazuje obrázek 4.1. Souřadnice X se nachází na úrovni rovníku a v průsečnici roviny Greenwichského, nebo také nultého, poledníku. Osa Y se nachází 90° od souřadnice X, také protínající úroveň rovníku, a osa Z odpovídá ose rotace Země, podle WGS84 určené v roce 1984.



Obrázek 4.1: Zobrazuje elipsoid WGS84 vystředěný na těžiště Země. Převzato z Wikipedie<sup>5</sup>.

Tento souřadnicový systém bývá převáděn do Univerzálního transversálního Mercatorova systému souřadnic (UTM), který umožňuje mapovou projekci WGS84 dat. Jedná se o sérii mapových projekcí, jedna pro každých 6° zeměpisné šířky v poledníku. Jsou definovány osy označované písmeny E a N. Osa E směřuje ze západu na východ a osa N z jihu na sever. UTM nepokrývá polární oblasti, je v rozsahu 80° jižní a 84° severní zeměpisné šířky. Pro polární oblasti existuje samostatný systém souřadnic, Univerzální polární stereografie (UPS). V případě UTM jsou polární oblasti doplněny právě systémem UPS. Jednotlivé projekce těchto systémů bývají dále děleny na čtverce.

Variantou k UTM/UPS systému je vojenský systém MGRS, který opět využívá elipsoidu WGS84, způsob zápisu dat UTM je však pozměněn. Skládá se ze 3 částí. Jsou to složené zóny, které jsou popsány dále, 100 km<sup>2</sup> velké čtverce v jednotlivých složených zónách a dvojice čísel, blíže definující přesnost souřadnic.

Složené zóny jsou tvořeny z 6° širokých mapových projekcí UTM, které jsou dále rozděleny na zóny, 8° vysoké. Pro polární oblasti je podobně použit systém UPS, s upraveným indexováním. Například souřadnice 33UXQ1777050947 jsou složeny z částí 33U, definujících čtverec o velikosti 6°×8°, ve kterém se nachází čtverec velikosti 100km<sup>2</sup> definovaný písmeny XQ, a čísla 17770, 50947 určují přesnost souřadnic v tomto čtverci až na 1 m.

<sup>5</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_Geodetic\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System)

V České republice se poměrně dlouhou dobu používal výhradně systém S-JTSK. Tento systém se sice stále používá, ale například Armáda České republiky vstupem do NATO přestoupila na systém MGRS. Místo elypsoidu WGS84 využívá Křovákovo kuželové zobrazení, stanovené podle Besselova elypsoidu. Tento systém není relevantní k práci a proto není dále diskutován.

## 4.2 Rastrové mapy

Rastrová nebo také bitmapová grafika definuje obrázek pomocí jednotlivých bodů, resp. pixelů. Každému takovému bodu je definována pozice v mřížce obrázku a jeho barva. Mřížka je nazývána rastr. Rozlišení udává počet bodů v rastru. Větší počet bodů znamená větší ostrost obrázku. Tato ostrost se při větším měřítku rychle ztrácí. Zároveň větší počet bodů znamená větší velikost souboru, ve kterém jsou uloženy. V této části bylo čerpáno z [12].

Rastrové mapové podklady jsou většinou uchovávány formou čtvercových dlaždic o určitém rozměru. Tyto dlaždice existují pro různá měřítka mapového podkladu. Například projekt Open StreetMap používá dlaždice o rozměrech  $256 \times 256$  pixelů. Dlaždice jsou dostupné ve formátech PNG, JPEG, SVG nebo PDF.

Za účelem získání podrobných výškových dat o povrchu planety Země vyslala americká společnost NASA na palubě raketoplánu Endeavour speciální radarový systém. Ten během jedenácti dnů sesbíral data. Tento projekt se nazývá SRTM<sup>6</sup>. Data získaná v tomto projektu pokrývají 80% povrchu souše. Vzhledem k použité technologii nemohla být pořízena data o vodním povrchu. Zpracování dat do první verze trvalo asi dva roky, později byla vydána verze druhá.

Výstupem projektu jsou topografická data planety Země v rastrovém formátu. Tato data jsou veřejně dostupná a využívá je řada služeb poskytujících mapové podklady k zobrazování stínování reliéfu a výškových profilů. Mezi tyto volně dostupné služby patří například projekt OpenStreetMap, služby Google Maps, Bing Maps a další.

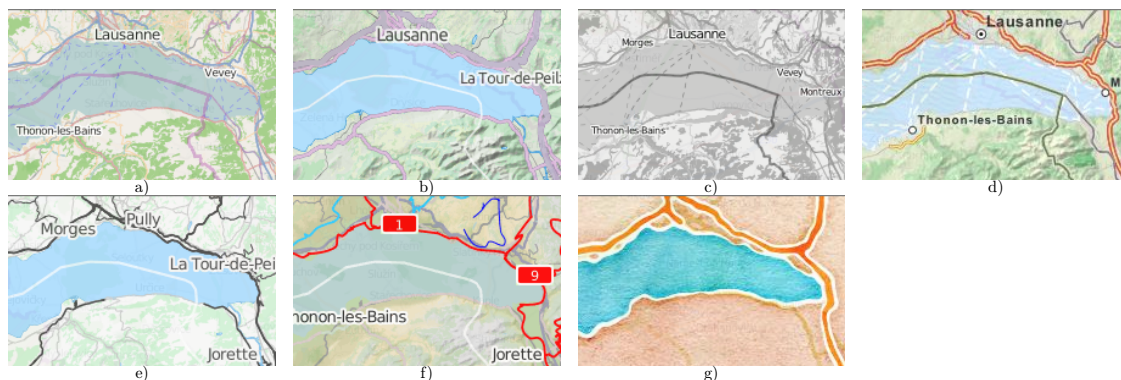
Rastrové mapy poskytované zmíněnými službami jsou často výsledkem spojení více zdrojů mapových podkladů. Jedná se jednak o lesy, cesty, obydlené oblasti, výškové profily, stínování reliéfu, vodní hladiny a podobně. Například vykreslovací sada nástrojů Mapnik používá asi pět vrstev.

To, co je na mapě zobrazené, odpovídá jejímu účelu. Na obrázku 4.2 je ukázka, jak mohou vypadat různě renderované mapy. Položka označená písmenem *a*) zobrazuje výchozí mapu používanou na Open StreetMap. Položka *b*) zobrazuje krajinu s pomocí vrstevnic. Další položka *c*) obsahuje monochromní zobrazení. Položka *d*) obsahuje mapu MapQuest používanou především řidiči aut. Dále je jako příklad uvedena položka *e*) zobrazující transportní mapu, která je opět využívána především v dopravě. Předposlední položka *f*) zobrazuje turistickou mapu pro potřeby cyklistů a poslední položka, *g*), obsahuje akvarelovou uměleckou variantu mapy.

Výhodou rastrových mapových podkladů je jednoduchá struktura dat a práce s nimi. Dlaždice jsou většinou uloženy do adresářové struktury a číslovány, přičemž číslo definuje stupeň měřítka a pozici dané dlaždice. Algoritmus umísťující tyto obrázky do mapy není příliš náročný na implementaci. Zásadní nevýhodou jsou nároky na zabíraný prostor. Další nevýhodou je, že vytvořenou rastrovou mapu je problematické dále strojově zpracovat. Konkrétní data v ní obsažená je obtížné získat. Jinými slovy je problematické provádět matematické operace nad rastrovou grafikou.

---

<sup>6</sup>SRTM – The Shuttle Radar Topography Mission, výšková mapa



Obrázek 4.2: Příklad různých typů mapových vrstev: a) Mapnik, b) krajina, c) monochomní d) MapQuest, e) transportní, f) cyklistická, g) akvarel. Převzato z [umap](http://umap.openstreetmap.fr)<sup>8</sup>.

### 4.3 Vektorové mapy

Ve vektorové grafice se využívají primitivní geometrické prvky jako bod, křivka, lomená čára, různé polygony a další. Každý prvek je matematicky vyjádřen. Tyto prvky jsou následně používány k sestavení obrázků pomocí vektorů. Jednotlivé prvky mají definovány vlastnosti jako pozice v souřadnicovém systému, tloušťka, barva apod. V této části bylo čerpáno z [12].

Vektorová data pro mapové podklady jsou získávána takzvanou vektorizací. Při vektorizaci je vytvářena digitální vektorová reprezentace vybraných prostorových prvků. Zdrojem dat pro vektorizaci bývají rastrové podklady. V případě map se jedná například o katastrální mapy. Druhou možností je vytvářet data přímo vektorově podle měření ve skutečném světě. Toto obvykle zajišťují zeměměřičské služby.

Soubory popisující vektorovou grafiku obecně zabírají méně místa než v případě opačného, rastrového přístupu. Změna velikosti se provádí výpočtem, a proto se nezhoršuje kvalita.

Vedle projektu SRTM zmíněném v předchozí podkapitole jsou geografická data nejčastěji sestavována vládními agenturami a úřady. V České republice tuto službu zajišťuje Český Úřad Zeměměřičský a Katastrální. Data z těchto úřadů jsou také často využívána, vycházel z nich během svých začátků například projekt OpenStreetMap.

Pro účely letectví jsou dostupná vektorová data služeb ŘLP, OpenAIP, OpenSoaring. Tyto služby poskytují data o hranicích vzdušných prostorů, letištích, UL plochách a dalších významných bodech. Služby se liší zejména počtem informací, které obsahují. Vedle bodů definujících polohu, v případě polygonu tvar, se jedná například o jméno, radio frekvence nebo VOR majáky. Data jsou poskytována v různých formátech, jako jsou GPX a AIP. Poslední změna leteckých prostorů v České republice k datu odevzdání této práce byla 1. května 2014. S výjimkou dat poskytovaných ŘLP nejsou ostatní služby plně aktuální. Jsou spravovány komunitou a jejich správnost je diskutabilní. Z tohoto důvodu by bylo lepší vycházet pouze z dat ŘLP. Poskytovaná data však nejsou ve strojově zpracovatelném formátu. Z tohoto důvodu jsou použity komunitou spravované služby.

Výhodou vektorových mapových dat je zajištění kvalitního zobrazení v jakémkoliv měřítku a nízké nároky na zabírané místo. Zásadní nevýhodou pak je komplexnost algoritmů

<sup>8</sup>[http://umap.openstreetmap.fr/cs-cz/map/test\\_1#11/46.3971/6.6838](http://umap.openstreetmap.fr/cs-cz/map/test_1#11/46.3971/6.6838)

pracujících s nimi. V důsledku toho se může značně protáhnout doba vykreslení vektorových dat, a to i při dobré optimalizaci. Čistě vektorový přístup pro zobrazování mapy byl již z tohoto důvodu zamítnut. Vektorová data se však hodí pro zobrazování významných bodů a polygonů.

## 4.4 Hybridní přístup

V hybridním přístupu je využívána jak vektorová, tak rastrová grafika. Využívá tyto dva přístupy k dosažení větší přesnosti tam, kde je to potřeba, a zároveň k redukci velikosti souboru.

Tento přístup se ukázal jako nejvhodnější možný. Jako zdroj podkladu zobrazujícího terén byl zvolen rastrový podklad. Ze strany uživatelů aplikace se neočekává žádný zásah do tohoto podkladu, možnost jeho editace tedy není potřeba. Nevyžaduje ani častou aktualizaci. Opak platí pro významné body a polygony, jako letiště, UL plochy, vzdušné prostory a podobné. Pro vrstvu zobrazující tyto body je nezbytné, aby byla často doplňována a aktualizována. Z tohoto důvodu je vhodné tyto údaje zobrazovat pomocí vektorové grafiky.

## 4.5 Výpočty

V použitém systému souřadnic zeměpisné šířky a délky je nutné pro stanovení údajů vycházet z některých definovaných výpočtů. Pro tuto část bylo čerpáno z [6].

### Výpočet vzdálenosti

Nejkratší vzdálenost dvou definovaných bodů na povrchu Země se nazývá ortodroma. Je to křivka, tvořená kratším obloukem kružnice opisující povrch zvoleného kruhu. Jak vypadá, je patrné z obrázku 4.3. Přesnější alternativou k ortodromě je loxodroma, která udržuje stále stejný azimut s poledníkem. Loxodroma je však delší, a proto je pro leteckou aplikaci výhodnější použít ortodromu. Vzhledem k tomu, že nepracujeme při výpočtech s dokonalým kruhem, je tento výpočet zatížen chybou.

Pro výpočet vzdálenosti se používá metoda haversinu [6] vycházející z výpočtu ortodromy. Výpočet metody je následující:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \times \cos(\varphi_2) \times \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$$c = 2 \times \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

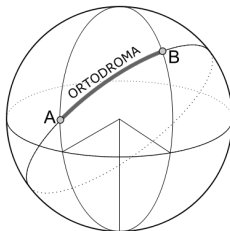
$$d = R \times c$$

Kde:

- $a$ : odmocnina z poloviční délky tětivy mezi zadanými body,
- $c$ : je úhlová vzdálenost,
- $\varphi$ : je zeměpisná šířka v radiánech,,
- $\lambda$ : je zeměpisná délka v radiánech
- $R$ : je průměrný poloměr Země,

- $d$ : je vypočtená vzdálenost mezi zadanými body.

Průměrný poloměr Země je pro výpočet zaokrouhlen na kilometry, čili 6371 kilometrů. `atan2` je speciální funkce počítající arkus tangens pro podíl svých dvou parametrů. Umí si poradit s případem, kdy je druhý parametr roven nule. Metoda vypočítá vzdálenost vzdušnou čarou. Nejsou brány v úvahu žádné hory nebo místa, kterým je třeba se vyhnout. Metoda počítá se zakřivením Země, ale předpokládá sférický tvar Země, nikoliv elipsoid, který souřadnicový systém využívá. Přesto je na vzdálenostech větších jak 100 kilometrů odchylka méně než jedna desetina procenta.



Obrázek 4.3: Obrázek zachycuje ortodromu. Převzato z Wikipedie<sup>9</sup>.

## Výpočet azimutu

Azimut je orientovaný úhel svírající určitý směr bodu k jinému bodu od přímého úhlu orientovaného na sever. Pro piloty je to velmi důležitý údaj. Bývá udáván ve stupních, přičemž hodnota  $0^\circ$  ukazuje na sever. Měří se po směru hodinových ručiček, tedy od severu k východu. Toto je patrné z obrázku 4.4. Pro bod A má azimut k bodu B hodnotu  $135^\circ$ , zatímco pro bod B má azimut k bodu A hodnotu  $315^\circ$ .

Při letu po dříve definované ortodromě se bude azimut měnit. Změna může být až v desítkách stupňů, v závislosti na orientaci a délce ortodromy. V aplikaci je azimut určován v počátečním bodě resp. tam, kde se letadlo momentálně nachází. Budeme-li sledovat orientaci cesty podle tohoto azimutu, projdeme cílovým bodem. Vzorec je definován následujícím způsobem:

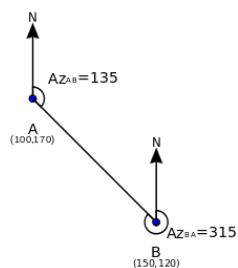
$$\theta = \text{atan2}(\sin(\Delta\lambda) \times \cos(\varphi_2) \times \sin(\varphi_1) - \sin(\varphi_1) \times \cos(\varphi_2) \times \cos(\Delta\lambda))$$

Kde:

- $\varphi$ : je zeměpisná šířka v radiánech,
- $\lambda$ : je zeměpisná délka v radiánech,
- $\theta$ : je výsledný, neupravený azimut v radiánech.

Hodnota funkce `atan2` respektive výsledek výše uvedené funkce musí být dále převeden z rozsahu  $-180^\circ - 180^\circ$  do rozsahu od  $0^\circ - 360^\circ$ . V případě potřeby můžeme z výsledku určit i azimut od cílového k počátečnímu bodu, a to obrácením získaného výsledku.

<sup>9</sup><http://cs.wikipedia.org/wiki/Ortodroma>



Obrázek 4.4: Azimut mezi dvěma body. Převzato z Wikipedie<sup>10</sup>.

## Odchyly výpočtů

Výše zmíněné výpočty předpokládají sférický tvar Země namísto použitého elipsoidu. Poloměry v použitém modelu se různí, zatímco pro výpočet uvažujeme vždy průměrný poloměr 6371 kilometrů. Odchyly se tak mohou vyšplhat až na 0.55%, ačkoliv obvykle nepřekročí hodnotu 0.3%. Pro potřeby aplikace, kdy je navíc většina letů prováděna na relativně malém území jednoho státu, jsou tyto odchyly většinou zanedbatelné.

---

<sup>10</sup><http://cs.wikipedia.org/wiki/Azimut>

# Kapitola 5

## Návrh

V této kapitole je popsán návrh aplikace. Je zde také diskutováno uživatelského rozhraní a výsledky dotazníku.

První podkapitola Výběr vývojového prostředí a jazyka [10] vysvětluje způsob výběru použitých jazyků.

V další podkapitole Architektura je popsáno, jak by měla aplikace vypadat.

Třetí podkapitola Databáze popisuje návrh použitých databázových systémů

V předposlední podkapitole Uživatelské rozhraní [1] je probrán návrh uživatelského rozhraní. Jsou zde definovány jednotlivé ovládací prvky aplikace a jejich použití.

V poslední podkapitole Dotazník jsou popsány výsledky dotazníku a závěry z něj plynoucí.

Dále bylo pro tuto kapitolu čerpáno z [3].

### 5.1 Výběr vývojového prostředí a jazyka

Mobilní platformy pro své aplikace požadují různé výchozí programovací jazyky, například jimi jsou Java pro Android, C++ pro iOS a .NET C# pro Windows Phone. Je důležité zmínit, že části kódu mohou být většinou v jazyce C. Pro vývoj aplikace bylo potřeba zvolit vhodné programovací jazyky a vývojové prostředí. Požadavky na jazyky kladené jsou možnost jednoduché tvorby grafického rozhraní, dobře přístupná databáze aplikace a možnost multiplatformního nasazení.

Již v zadání práce jsou uvedeny jako implementační jazyky C, C++, qml, PHP a javascript. Vzhledem k tomu, že jsem se v aplikaci rozhodl pracovat s databází MySQL, rozhodl jsem se použít jazyk PHP k napsání skriptů přistupujících k databázi. Co se týče vývojového prostředí a jazyka pro implementaci grafické části aplikace, rozhodoval jsem ze začátku mezi prostředími Eclipse a Qt Creator, ale vzhledem k tomu, že Qt zajišťuje multiplatformitu a jeho jazyk qml<sup>1</sup> je uveden v zadání, rozhodl jsem se ho použít jako vývojové prostředí aplikace. Jedná se o multiplatformní IDE pro použití knihovny Qt.

Qt zajišťuje vývoj v různých programovacích jazycích. Zmíněná knihovna obsahuje třídy pro tvorbu grafického rozhraní, SQL a další.

V jazyce qml nicméně nelze snadno implementovat některé potřebné funkce, jako například třídu pro stažení souborů ze serveru. Za tímto účelem je umožněna celkem snadná komunikace mezi různými jazyky a qml objekty pomocí sady knihoven Qt. Pro potřeby implementace některých funkcí byly vybrány jazyky C++ a JavaScript. Javascript je možné

---

<sup>1</sup>Qt Meta/Modeling Language



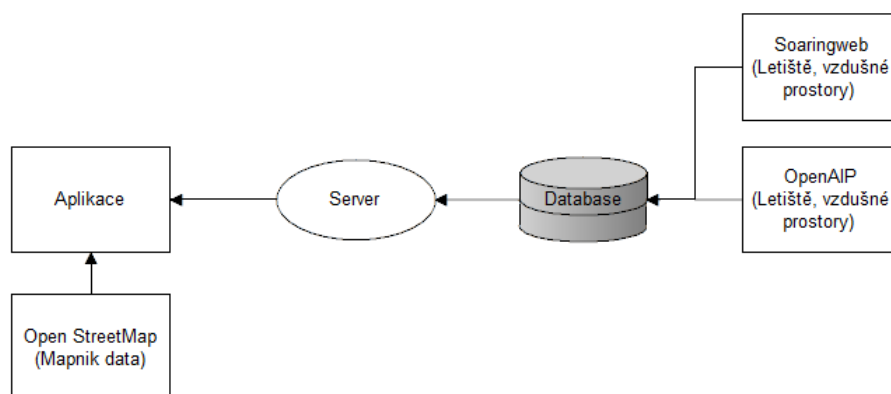
použít buď přímo ve třídě jazyka qml, nebo v samostatném .js souboru. Pro práci s tímto vývojovým prostředím bylo využito instrukcí obsažených v [10].

## 5.2 Architektura

Aplikace má za úkol zobrazit mapu s popisky v různých stupních přiblížení, na které bude viditelná poloha uživatele, získaná z GPS dat. Na mapě jsou zobrazeny položky důležité pro piloty, tedy vzdušné prostory, letiště, UL plochy a další. Vzdušné prostory a ostatní polygony na mapě zobrazované jsou podle svého typu barevně rozlišeny.

Položky zobrazované na mapě jsou rozlišeny podle typu ikonami a po kliknutí na tyto ikony lze zobrazit informace o položce. Toto je zejména důležité pro letiště a UL plochy. S mapou je možné pomocí gest pohybovat a měnit její zeměpisnou orientaci. Uživatel má možnost vytyčit trasu, po které se letadlo bude ubírat. Aplikace získává data z databáze serveru, do které budou nahrávána data z různých zdrojů. Toto je zobrazeno na obrázku 5.1.

Mapové podklady se skládají ze tří různých zdrojů. Prvním je grafická mapa tvořená čtvercovými dlaždicemi. Tato mapa slouží jako podloží pro ostatní vrstvy. Další dvě vrstvy jsou tvořeny z databází objektů. První z těchto dvou vrstev do aplikace promítá bodové objekty jako letiště, krajinné orientační body a další. Při rotaci celé mapy objekty této vrstvy rotují v proti směru kolem své osy, což zaručuje dobrou čitelnost těchto popisků. Poslední vrstva zobrazuje polygony, například vzdušné prostory nebo hranice států.



Obrázek 5.1: Způsob, jakým jsou data ukládána a jak k nim aplikace přistupuje. Pro názornost je také uvedeno stahování grafických podkladů mapy.

## 5.3 Databáze

Aplikace využívá dvě databázové struktury. Při sestavování databází bylo postupováno podle principů uvedených v [5]. První je MySQL databáze, která je definovaná na straně serveru. MySQL databáze byla zvolena proto, že jsem s ní již dříve pracoval a má dobrou podporu jazyka PHP. Tato databáze uchovává podstanou část dat v aplikaci využívaných. Tato data jsou rozdělena do dvou tabulek a to tabulky *airports* uchovávající data o objektech, které se na mapě zobrazí jako jeden bod, a tabulku *airspace*, která obsahuje údaje o objektech které se na mapě zobrazí jako polygony. Zdroje dat, ze kterých jsou údaje



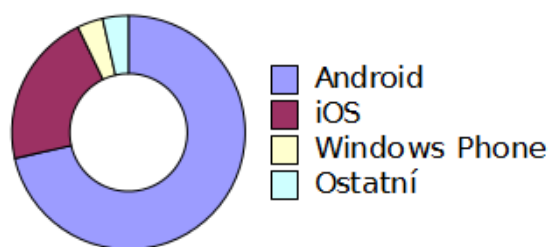
stahovány, jsou blíže popsány v kapitole Mapové podklady. Data jsou do této databáze nahrávána pomocí PHP skriptů, které do databáze postupně nahrávají údaje o všech zemích současně. Datových souborů musí být ručně nahrány na server do příslušných adresářů jednotlivých zemí. Data jsou nejprve parsována do jednoho pole, následně jsou příslušné objekty a polygony nahrávány do odpovídajících tabulek.

Druhá databáze je umístěna přímo v aplikaci. Jedná se o SQLite databázi, vytvořenou pomocí modulu *LocalStorage*, který je obsažen v modulu *Qt Quick* prostředí Qt. Implementace databáze a funkcí pracujících s ní je obsažena v javascriptovém souboru *flightData.js*. Databáze je vytvořena spolu se svými tabulkami po prvním spuštění programu. Do této databáze jsou podle požadavků uživatele nahrávány data jednotlivých zemí z databáze MySQL prostřednictvím SQL dotazů na server. Je opět tvořena dvěma tabulkami, které odpovídají svou strukturou tabulkám v serverové databázi.

## 5.4 Výsledky dotazníku

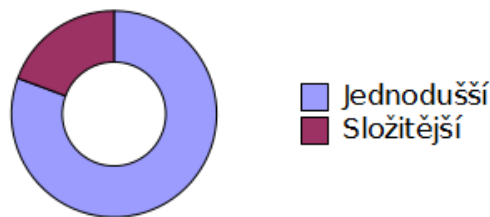
Za účelem získání lepšího přehledu o tom, co by piloti v aplikaci uvítali, byl vytvořen dotazník. Odpovědi včetně otázek jsou dostupné na přiloženém CD v souboru *questionare.ods*.

Cílová skupina respondentů není příliš početná. Na dotazník odpovědělo celkem 31 pilotů. Z toho 23 pilotů uvedlo, že již nějakou mobilní navigační aplikaci používá. Převážná většina, jak vyplívá z grafu 5.2, používá zařízení s operačním systémem Android. Menšina pak využívá operační systém iOS. Necelá polovina respondentů tablety nedisponuje. Přesto projevují o aplikaci zájem.

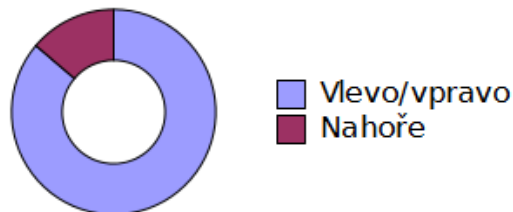


Obrázek 5.2: Preferované mobilní platformy.

Podle grafu 5.3 preferuje většina respondentů jednodušší a přímočarou aplikaci. Dále, podle grafu 5.4, preferuje většina respondentů umístění ovladacích prvků aplikace po levé a pravé straně. Tyto výsledky se promítly do návrhu aplikace, kdy byl počet ovladacích prvků maximálně redukován. Prvky byly umístěny podle všeobecného přání uživatelů. Uživatelské rozhraní je popsáno dále v této kapitole. Další otázkou byla preference orientace zařízení, buď na výšku, nebo na šířku. Nicméně, vzhledem k tomu, že bylo během vývoje rozhodnuto podporovat obě orientace, zůstala tato otázka jako bezpředmětná.



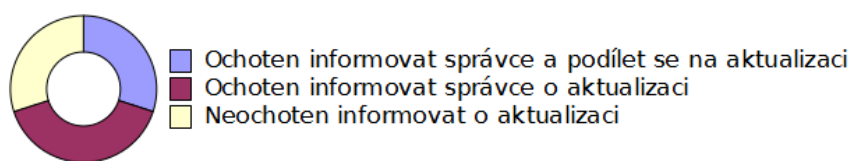
Obrázek 5.3: Preferovaná složitost aplikace.



Obrázek 5.4: Preferované umístění tlačítek.

Dále piloti z nabízeného seznamu funkcí vybírali, které funkce by nejvíce nebo naopak nejméně uvítali. Vedle tohoto hodnocení využili mnozí možnosti napsat vlastní představy o funkcích, které by si v aplikaci představovali. Tyto poznatky jsou uvedeny v na CD v souboru *questionare-comments.txt* zvlášť.

V otázce, zda by piloti využili více než jeden mapový podklad, nebo by jim naopak jeden postačoval, se názory rozcházejí. Polovině pilotů by jeden podklad postačoval, naopak druhá polovina by využila možnost výběru mezi více podklady. V aplikaci byl implementován pouze jeden výchozí mapový podklad, a prozatím se podpora více podkladů neuvažuje. Dále, podle grafu 5.5, by většina pilotů byla ochotná podílet se na aktuálnosti dat aplikace.



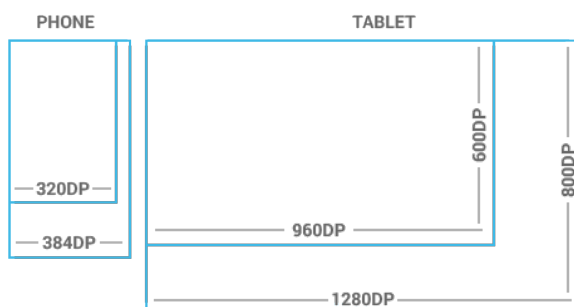
Obrázek 5.5: Ochota podílet se na aktuálností dat.

Posledními zde zmíněnými výsledky jsou využívané aplikace. Ačkoliv většina pilotů uvedla, že mobilní navigační aplikaci již používá, ne každý uvedl v příslušné otázce, jakou. Nejvíce respondentů však uvedlo dvě aplikace, a to českou Fly is Fun a navigaci Garmin. Tyto dvě navigace jsou blíže zkoumány v kapitole Existující navigace.

## 5.5 Uživatelské rozhraní

Vzhledem k tomu, že je aplikace nasazována na tablet, je její ovládání plně dotykové. Uživatel aplikaci řídí pomocí tlačítek, nebo pomocí gest prováděných v prostoru mapy. Dále jsou vedle mapy poskytovány informace pomocí pevně daných a zásuvných lišt a řádků. V této části bylo čerpáno z [1].

Vzhledem k množství zobrazovaných informací a ovládacích prvků bylo rozhodnuto, že bude aplikace vyvíjena primárně na tablety. Navigace by navíc měla na většině menších zařízeních příliš málo místa na displeji. Podle 5.6 telefony poskytují pouze mezi 320-384 dp šířky, zatímco tablety poskytují minimálně 600 dp při orientaci zařízení na výšku i na šířku. Piloti by navigaci na telefonech pravděpodobně nevyužili. DP je jednotka udávající počet pixelů nezávislých na hustotě, čili závisí na fyzické velikosti daného zařízení.



Obrázek 5.6: Průměrné rozměry mobilních telefonů a tabletů. Převzato z zásad správné tvorby UI<sup>3</sup>.

### Zásady správné tvorby UI

Během tvorby uživatelského rozhraní bylo postupováno podle doporučení tvorby uživatelského rozhraní pro Android [1]. Tato doporučení vychází z obecných praktik tvorby UI. Při návrhu uživatelského rozhraní byly použity především doporučované standardy velikostí tlačítek, dostupnosti funkcí a rozložení prvků. Výsledný návrh vzhledu aplikace je na obrázku 5.7.

### Gesta

Na obrázku 5.7 je zobrazena část mapy, v dané situaci částečně zakrytá. Tato mapa obsahuje neviditelný objekt *PinchArea*. Tento objekt poskytuje možnost zachytávání dotykových gest uživatele. K zachycení gest jsou použity *onPinchStarted()*, *onPinchUpdated()* a *onPinchFinished()*. Jednotlivé manipulátory jsou volány podle toho, zda uživatel zahájil gesto, gesto změnil, nebo gesto ukončil.

Definovaná gesta umožňují přesun zobrazeného úseku mapy, umožňují přiblížení/oddálení mapy a umožňují rotaci mapy. Pro ovládání mapy jsou použita gesta tak, jak se používají běžně i v jiných aplikacích. Zřejmé gesto je tažení (anglicky *pan*). Je to gesto, kdy uživatel klikne na mapu a tažením posouvá mapu stranou. Další gesto je roztažení (anglicky *Pinch*), kterým je prováděno přiblížení a oddálení mapy. Provádí se dvěma prsty, změna

<sup>3</sup><http://developer.android.com/guide/topics/ui/index.html>

vzdálenosti určuje směr přiblížení. Poslední gesto se provádí opět pomocí dvou prstů, kdy jejich rotací vůči displeji rotuje i zobrazovaná mapa. Gesta roztažení a rotace jsou dostupná pouze u zařízení podporujících multitouch.

Speciální variantou gesta je kliknutí do mapy, kdy je zobrazeno okno obsahující okolní významné body. O těchto bodech lze získat dalším kliknutím bližší informace.

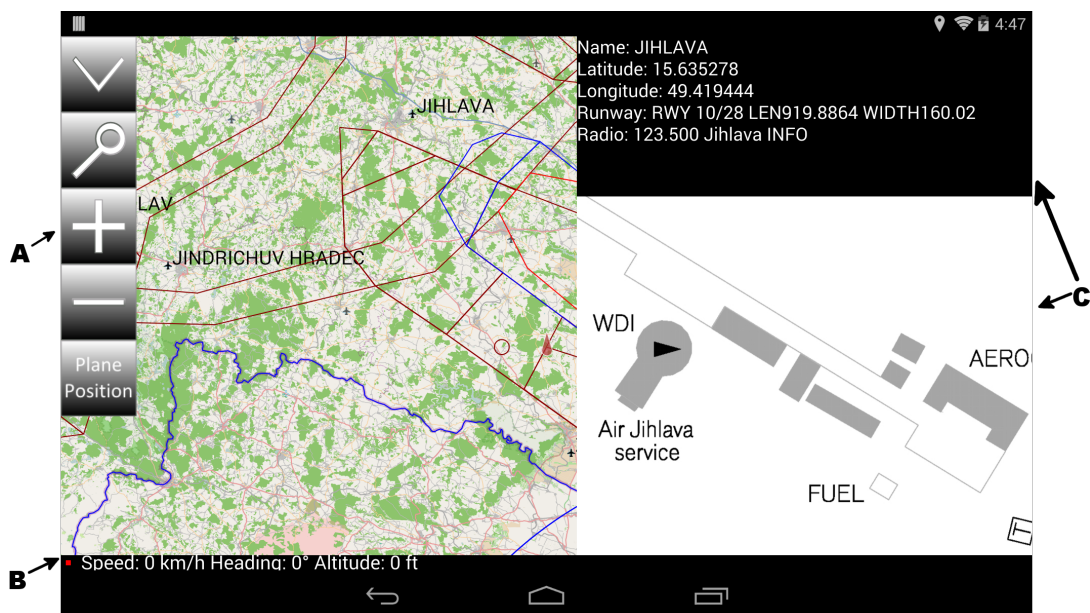
## Tlačítka a menu

Šipka A v obrázku 5.7 ukazuje na výchozí pole tlačítek umožňujících základní práci s mapou a přístup do nastavení. Tlačítko umístěné v levém horním rohu slouží k rozbalení menu aplikace, kde může uživatel přistupovat k nastavení navigace. Pod tímto tlačítkem se nachází tlačítko vyhledávání, které umožňuje vyhledat letiště nebo UL plochu a vytyčit k němu trasu. Další tlačítka umožňují přiblížení nebo oddálení zobrazovaného mapového podkladu. Poslední tlačítko zajišťuje vystředění mapy na aktuální pozici letadla.

## Informační lišta a řádek

Informační řádek je bod B na obrázku 5.7. Obsahuje po své levé straně základní údaje o letu, tedy rychlost, směr letu a nadmořská výška. Každá z těchto veličin je udávána v jednotkách tak, jak je znají piloti. Tzn. rychlost v kilometrech za hodinu, směr letu ve stupních a nadmořská výška ve stopách. Je-li aktivován režim letu podle plánované trasy, jsou v pravé části tohoto řádku zobrazovány informace o vzdálenosti k cíli a azimutu k tomuto cíli. Vzdálenost a azimut jsou počítány pomocí vzorců uvedených v kapitole Mapové podklady

Vedle tohoto řádku je možné po klepnutí do mapy zobrazit postranní lištu. Jedná se o bod C na obrázku 5.7. Tato lišta obsahuje informace o významných bodech a polygonech v okolí stisku. Zejména o letištích, UL plochách a vzdušných prostorech je možné získat podrobné informace.



Obrázek 5.7: Snímek obrazovky aplikace.

## Kapitola 6

# Implementace

V této kapitole je popsána implementace aplikace. Jsou zde uvedeny jednotlivé kroky, které k současné podobě aplikace vedly.

V podkapitole Struktura aplikace [7] jsou detailně rozebrány jednotlivé části programu.

V další podkapitole Ladění výkonu [2] je popsáno testování rychlosti vykreslování vektorových objektů mapy.

Poslední podkapitola Možnosti dalšího vývoje popisuje, jaké jsou další možnosti rozvoje aplikace.

Dále bylo pro tuto kapitolu čerpáno z [3].

### 6.1 Struktura aplikace

Aplikace je rozdělena do několika tříd qml, C++ a souborů JavaScriptu. Qml definuje jména tříd podle jména souborů s příponou *qml*. Podobně to platí i pro C++ a Javascript. C++ navíc definuje hlavičkové soubory tříd s příponou *h*.

Při spuštění je volána hlavní C++ třída *main*. Definuje cestu k úložištím stažených map a také url pro jejich stažení. Registruje jednotlivé C++ funkce používané v qml třídách. Deklaruje třídu *QGuiApplication* starající se o GUI aplikace. Je dále implementována v třídách qml.

Po deklaraci třídy *QGuiApplication* je řízení dále předáno třídám qml.

V této kapitole bylo čerpáno z [7].

#### Úložiště dat

Aplikace uchovává stažená data, zejména stažené rastrové mapové podklady, přímo na zařízení. Tato data jsou ukládána do úložiště definovaného pomocí Qt třídy *QStandardPaths*. To zajišťuje správnou cestu k úložišti na téměř všech platformách.

#### Implementace zobrazení mapy

Hlavní třídou implementující zobrazení mapy je třída *Pinchmap*. Vychází z projektu AGTL<sup>1</sup>. Stará se o zobrazení rastrových dat formou čtverců i vektorových dat formou samostatných i spojených bodů. Dále jsou zde implementovány funkce a komponenty zajišťující pohyb s mapou pomocí gest. Tato gesta jsou blíže definována v předchozí kapitole. Vedle gest zajišťuje také pohyb s mapou při sledování pohybujícího se letadla.

---

<sup>1</sup><http://www.danielfett.de/internet-und-open-source-software/agtl-on-maemo-n900>

## Implementace uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní je implementováno pomocí řady tříd. V hlavní qml třídě *main* jsou implementována výchozí tlačítka, zobrazená po levé straně displeje. Dále je zde definována spodní lišta, zobrazující základní informace o letu. Ve třídě *MenuBar* je definována lišta s tlačítky menu.

Obsah menu je definován v třídách *MapData* a *OptionsData*. Třída *MapData* umožňuje uživateli zobrazit stažené mapové podklady, případně zvolit stažení nových podkladů. Mapové podklady se stahují pro jednotlivé země Evropy, v tuto chvíli pouze pro Českou republiku a Slovenskou republiku. Pro každou zemi jsou staženy rastrové mapové podklady. Ve třídě *OptionsData* je možné změnit nastavení týkající se aplikace. Jedná se o měřítko zobrazované mapy.

Pro zobrazení informací o letišti je implementována třída *DetailsBar*. Poskytuje uživateli přehledné informace o daných mapových bodech. Tyto informace jsou získány z lokální databáze.

## Implementace funkcí pracujících s mapou

Většina funkcí pracujících s mapou a lokální databází je implementována v javascriptových souborech. V souboru *flightData* jsou implementovány funkce pracující s lokální databází. Zajišťují vytvoření databáze a tabulek po prvním spuštění. Dále jsou zde definovány funkce pro stažení aktuálních dat ze serveru. Tato data jsou stažena v případě jejich aktualizace na serveru. Zda jsou data v lokální databázi již aktuální, se rozhodne podle časové značky (angl. timestamp).

Dále je definován soubor *functions*, který obsahuje matematické funkce používané pro práci s mapou. Jednodušší funkce zde definované slouží pro konverzi a formátování dat. Bližší popis některých složitějších funkcí je definován v kapitole Mapové podklady.

## Implementace stahování dat, uživatelský agent

Stahování dat podle URL bylo implementováno v C++ třídě *downloader*. Stahování probíhá sekvenčně vyprázdňováním front. Pro implementaci zasílání dotazu byl využit manažer stahování *QNetworkAccessManager*. Tato třída je využívána v několika qml třídách pro stažení rastrových dat.

OpenStreetMap požaduje, aby se aplikace stahující data z jejich serverů identifikovaly pomocí uživatelského agenta. Tento agent je obsažen v hlavičce dotazu manažera stahování. Účelem je kontrola těchto aplikací, například pokud nějaká aplikace stahuje data ze služby OpenStreetMap v nadměrném množství, může být její uživatelský agent zablokován. Tím ztratí k datům přístup.

Uživatelský agent je textový řetězec sloužící jako identifikace aplikace v rámci síťového provozu. Pomáhají serverům určit, z jaké platformy nebo pomocí jakých nástrojů je k danému zdroji přistupováno. Nástrojem je například webový prohlížeč. Tyto informace některé servery a aplikace využívají například k tomu, aby zaslaly uživateli data ve formátu co nejpříjemnějším pro uživatelem používaný nástroj. Například server použije pro styl webové stránky jiný CSS soubor podle toho, zda uživatel používá Internet Explorer 7 nebo Mozillu Firefox.

## 6.2 Ladění výkonu

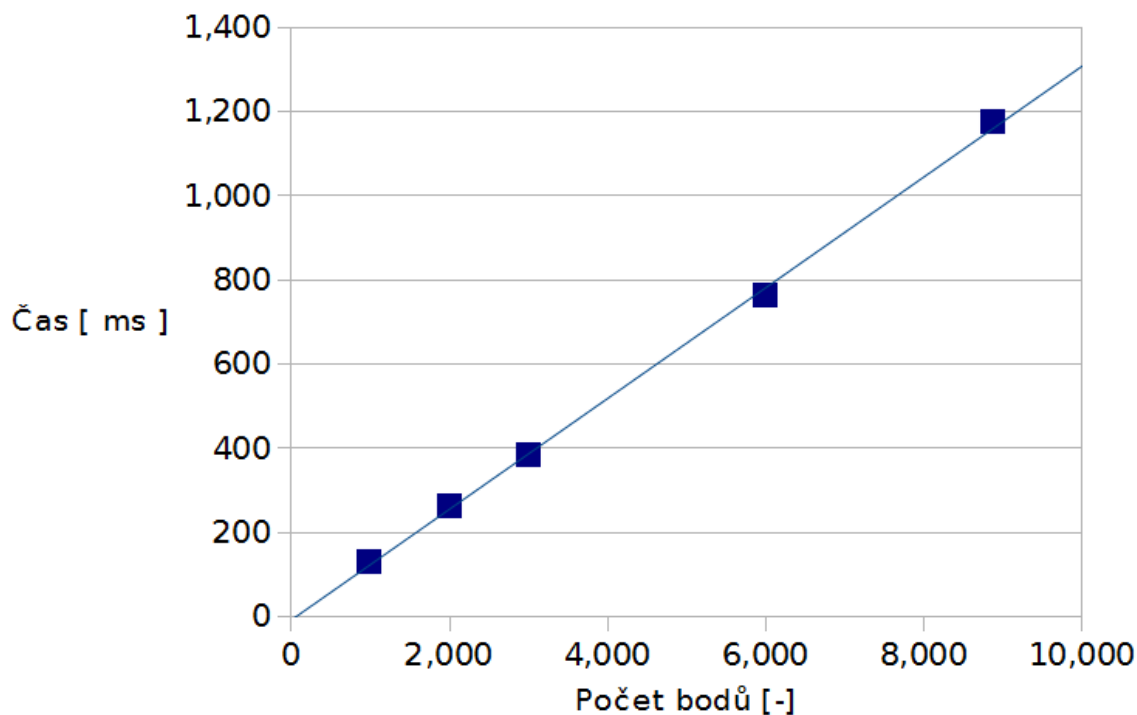
Jak již bylo zmíněno v kapitole Mapové podklady, vykreslování vektorové grafiky není triviální. Množství vektorových objektů, které je možné v jednu chvíli zpracovat, je omezené. Větší množství zpracovávaných objektů pak může značně snížit plynulost aplikace. Za tímto účelem bylo rozhodnuto provést profilování části aplikace mající na starost vykreslování polygonů. V této části bylo čerpáno z [2].

Během ladění výkonu se testují části programu a určuje, zda jsou tyto části vhodné pro optimalizaci. Pro přesné měření uplynulé doby a počtu proběhlých událostí je možné do kódu přidat další metody zabývající se tímto měřením. Tomuto procesu se říká instrumentace. Je prováděna ručně programátorem, překladačem nebo automaticky nástroji prostředí systému. V daném případě ladění výkonu bylo rozhodnuto nejprve změnit originální kód tak, aby byla získána data pro analýzu měření. Získaná data jsou většinou pro srozumitelnost zobrazena grafem. Z grafu je následně určeno, zda je daná část programu vhodná pro optimalizaci, nebo zda není optimalizace potřeba. Mezi známé nástroje pro ladění výkonu patří například Valgrind nebo gnuproof.

Vykreslování vektorových dat je v aplikaci prováděno s pomocí nástroje *Qt Canvas*. Objekt *Canvas* umožňuje vytváření přímých i zakřivených čar, jednoduchých i komplexních tvarů. Data získává z lokální cache obsahující vektorová data. Každý nový polygon vykreslí podle definovaných bodů. Objektu lze navíc definovat tloušťku vykreslované čáry i její barvu, podobně jako u vektorové grafiky. Jako předmět ladění byla vybrána právě tato část programu.

Pro testování byly použity ladící nástroje *Qt*, *console.time()* a *console.count()*. Pomocí *console.time()* byla zjišťována doba strávená vykreslováním testovacího vzorku a funkcí *console.count()* ověřován počet aktuálně vykreslených bodů. Jako testovací data byl použit soubor s polygony zobrazovanými nad Českou republikou ze serveru *openaip.com*. Počet vektorových bodů v něm obsažených byl stanoven pro každý test zvlášť. Jako testovací prostředí byl použit tablet Nexus 7 2013. Byl měřen výchozí počet zobrazovacích bodů 8885 a 4 další množství, 6000, 3000, 2000 a 1000 bodů.

Naměřené výsledky jsou uvedené v příloze D. Výsledek je dále dokumentován v grafu 6.1. Z výsledků vyplývá průměrná doba vykreslení 1000 bodů na 129.141 milisekund. Průměrně se v aktuálním zobrazení nachází mezi 7000-10000 body, což znamená průměrnou dobu vykreslení mezi 903.98 – 1291.4.



Obrázek 6.1: Výsledky ladění.

Počet bodů [-]	Čas [ms]
8885	132,089
6000	127,083
3000	127,333
2000	130,600
1000	128,600

Obrázek 6.2: Tabulka ladění výkonu<sup>2</sup>.

Průměrná doba vykreslení obrazovky se tedy pohybuje kolem jedné vteřiny. To je příliš dlouhá doba. Mezní doba stanovená uzančně pro tuto aplikaci je 300 milisekund. Z toho vyplývá, že by na obrazovce nemělo být zobrazováno více než 2323 bodů.

Výsledek znamená, že je buďto nutná optimalizace algoritmu za účelem rychlejšího vykreslování objektů, popř. redukce zobrazovaných objektů tak, aby nebyla narušena plynulost aplikace.

### 6.3 Možnosti dalšího vývoje

Možnosti dalšího vývoje spočívají v optimalizaci, uživatelské aktualizaci dat, doplnění funkcí, podpoře na ostatních platformách nebo vytvoření webového rozhraní.

<sup>2</sup>Hodnoty jsou zaokrouhleny na tři desetinná místa. Přesná čísla jsou uvedena v příloze C.



## Optimalizace

V první řadě aplikace značně prospěje další optimalizace polygonů, jejichž doba vykreslení neumožňuje zcela plynulý běh aplikace. Dále pomůže optimalizace uživatelského rozhraní, a to zejména zajištění větší intuitivnosti ovládání. Dalším aspektem by byla lokalizace do českého jazyka, neboť se největší rozšíření aplikace zpočátku očekává mezi českými piloty.

## Uživatelská aktualizace dat

V současné chvíli není pro uživatele možné zanést změnu do aplikace, například informaci o aktivaci omezeného prostoru. Jediným způsobem, jak takové aktualizace dosáhnout, je zanést změnu do některého ze zdrojů, které aplikace využívá, v daném případě by bylo možné aktualizovat data na *openaip.com*. Zavedení vlastního formátu dat a uživatelského rozhraní, které by poskytovalo k datům přístup například skrz webový portál, by bylo přínosné. Z výsledků dotazníku vyplívá, že by piloti byli veskrze ochotní aktualizacemi přispívat.

## Doplnění funkcí

Do aplikace je možné přidat řadu funkcí, které piloti v dotazníku označili za užitečné. V průběhu této bakalářské práce jim nebyla věnována příliš pozornost. Nyní, když je základ aplikace hotový, mohou být tyto funkce postupně doplňovány.

## Podpora na ostatních platformách

Díky vývoji pomocí nástroje Qt je možné aplikaci nasadit i na ostatní platformy než pouze Android. Pro toto nasazení nejsou vyžadovány zásadní změny v kódu tak, jak by to bylo vyžadováno například pokud by byla aplikace napsána v jazyce Java.

## Webové rozhraní

V současné době je vytvořena šablona informačního webu aplikace. Web prozatím neobsahuje žádné relevantní údaje, ale časem bude web využit pro informování komunity využívající vyvíjenou navigaci o jejích aktualizacích, z webu bude dostupný manuál pro ovládání aplikace, popřípadě bude zřízeno diskuzní fórum kde budou uživatelé mít možnost sdělit své názory na aplikaci.

## Kapitola 7

# Závěr

V rámci této práce byla vyvinuta mobilní navigace pro piloty letadel. Aplikace poskytuje základní možnosti navigace na území České republiky. Navigace používá data z otevřených zdrojů, které nejsou vždy aktuální nebo zcela přesné, a proto může být použita pouze jako doplňkový zdroj informací. Jako výchozí platforma byl vybrán Android.

Poznatky z literatury jsou shrnuty v kapitolách Letectví a Mapové podklady. Návrh aplikace je shrnutá v podkapitole Návrh aplikace. Implementace je dostupná na přiloženém CD. Dále je vystavena v pro stažení na Google Play<sup>1</sup>.

Dosažené výsledky jsou diskutovány v kapitole Implementace. Na testovaném zařízení *Google Nexus 7 II* bylo zjištěno, že je možné vykreslovat až 2323 bodů během 300 milisekund. Toto je minimum pro plynulý běh aplikace.

Ve vývoji aplikace budu nadále pokračovat, chtěl bych další práci na ní pojmout jako diplomovou práci. Možnosti dalšího vývoje jsou diskutovány v kapitole Implementace. Zejména by se jednalo o optimalizaci rychlosti vykreslování vektorové grafiky.

---

<sup>1</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=org.qtpproject.example.letiste>

# Literatura

- [1] Android User interface – zásady tvorby uživatelského rozhraní. 2014, [citováno 2014-05-02].  
URL <http://developer.android.com/guide/topics/ui/index.html>
- [2] KDE Documentation - Profiling Methods. 2014, [citováno 2014-05-02].  
URL <http://docs.kde.org/stable/en/kdesdk/kcachegrind/introduction-methods.html>
- [3] Qt Project Documentation. 2014, [citováno 2014-2-05].  
URL <http://qt-project.org/doc/>
- [4] Úřad pro civilní letectví České republiky: Vzdušné prostory. 2011, [citováno 2014-05-02].  
URL <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/kde-se-nachazi-jaky-druh-vzdusneho-prostoru-tma-ctr-atz>
- [5] Baron Schwartz, e. a.: *MySQL profesionálně: optimalizace pro vysoký výkon*. 2009, ISBN 978-80-7413-035-9, [citováno 2014-01-16].
- [6] Chris Veness: Movable Type Scripts, Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude Points. 2014, [citováno 2014-05-02].  
URL <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>
- [7] J.Ryannel, J.Thelin: A Book about Qt5. 2014, [citováno 2013-11-10].  
URL <http://qmlbook.org/>
- [8] Letecká Informační služba: Předpisy létání. 2014, [citováno 2014-05-02].  
URL <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [9] Letecká Informační služba: VFR příručka. 2014, [citováno 2014-05-02].  
URL [http://lis.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr\\_1\\_cz.html](http://lis.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr_1_cz.html)
- [10] Molkentin, D.: *Art of Building Qt4*. 2007, ISBN 978-1593271473, [citováno 2014-01-16].
- [11] Parlament České Republiky: Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví. Duben 1998, iSSN 1211-1244, [citováno 2014-01-16].
- [12] TŮMA, T.: *Počítačová grafika a design*. 2007, ISBN 978-80-251-1784-2, [citováno 2014-04-10].
- [13] Tuček, J.: *Geografické informační systémy*. Computer Press, 1998, ISBN 80-7226-091-X, [citováno 2014-05-02].

- [14] Řízení letového provozu České Republiky: Pravidla pro lety za viditelnosti. Květen 2012, [citováno 2014-01-16].  
URL [http://lis.rlp.cz/ais\\_data/aip/data/valid/e1-2.pdf](http://lis.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/e1-2.pdf)

# Příloha A

## Obsah CD

xkrylj00.pdf	Technická zpráva ve formátu PDF
dotaznik.ods	Výsledky dotazníku
questionare-comments.txt	Delší komentáře ke konkrétní otázce v dotazníku
prostoryCR.png	Pravidla platící ve vzdušných prostorech České republiky
src-app	Složka obsahující zdrojové kódy aplikace pro zařízení
src-server	Složka obsahující soubory zdrojových kódů používaných na serveru

## Příloha B

# Slovník pojmů

V této části jsou vyjmenovány některé použité pojmy.

ICAO	International Civil Aviation Organization, mezinárodní organizace definující standardy předpisů a další
SARP	Standards and Recommended Practices, jednotlivá doporučení vydaná organizací ICAO
ÚCL	Úřad pro Civilní letectví České Republiky
LIS	Letecká Informační Služba
ŘLP	Řízení Letového Provozu České Republiky
CTR	Control Zone, Řízený okresek
ATZ	Aerodrome Traffic Zone, Letištní provozní zóna
TMA	Terminal Area, Koncová řízená oblast
VFR	Visual Flight Rules, varianta pravidel letu
IFR	Instrument Flight Rules, varianta pravidel letu
SVFR	Special Visual Flight Rules, varianta pravidel letu
VMC	Visual Meteorological Conditions, vizuální meteorologické podmínky, určují pravidla letu vzhledem k počasí
VOR	VHF Omnidirectional Range, VKV všesměrový radiomaják
ILS	Instrument Landing System, přístrojový přistávací systém
UL	Ultra Light, ultra lehké, většinou uvedeno v souvislosti s ultralehkými plochami
WGS84	World Geodetic System 84, souřadný systém
ETRS89	European Terrestrial Reference System 89, souřadný systém
MGRS	Military Grid Reference System, souřadný systém
UTM	Universal Transverse Mercator, souřadný systém
UPS	Universal polar stereographic, souřadný systém
GUI	Graphical User Interface, Grafické uživatelské rozhraní
QML	Qt Meta Language, značkovací jazyk

## Příloha C

# Výsledky ladění výkonu

Následující tabulka zobrazuje jednotlivá měření včetně počtu bodů. Časy jsou uvedeny v milisekundách.

Cislo testu	Body celkem	Doba vy- kreslení
1	8885	1159
2	8885	1190
3	8885	1147
4	8885	1068
5	8885	1110
6	8885	1313
7	8885	1180
8	8885	1235
9	8885	1171
10	8885	1163
Cislo testu	Body celkem	Doba vy- kreslení
1	3000	360
2	3000	402
3	3000	383
4	3000	387
5	3000	372
6	3000	376
7	3000	383
8	3000	392
9	3000	379
10	3000	386

Cislo testu	Body celkem	Doba vy- kreslení
1	6000	755
2	6000	778
3	6000	763
4	6000	762
5	6000	769
6	6000	745
7	5956	749
8	6044	775
9	6000	764
10	6000	765
Cislo testu	Body celkem	Doba vy- kreslení
1	2000	261
2	2000	266
3	2000	264
4	2000	265
5	2000	254
6	2000	259
7	2000	271
8	2000	255
9	2000	252
10	2000	265

Cislo testu	Body celkem	Doba vykresleni
1	1000	129
2	1000	120
3	1000	115
4	1000	130
5	1000	126
6	1000	134
7	1000	127
8	1000	140
9	1000	135
10	1000	130

Prumer 1 testu	Na 1000 bodu
1173,6	132,0877884074
Prumer 2 testu	Na 1000 bodu
762,5	127,0833333333
Prumer 3 testu	Na 1000 bodu
382	127,3333333333
Prumer 4 testu	Na 1000 bodu
261,2	130,6
Prumer 5 testu	Na 1000 bodu
128,6	128,6
Celkovy	
129,1408910148	