



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Marián Pánis

VYUŽITIE LETOVÝCH DÁT PRE APLIKÁCIU
ZOBRAZUJÚCU AKTUÁLNU POLOHU A TRATE
LETOV

Bakalárska práca

2021



K614..... Ústav aplikované informatiky v dopravě

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Marián Pánis

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Využití letových dat pro aplikaci zobrazující aktuální polohu a tratě letů**

Název tématu (anglicky): The use of flight data for Application showing actual position and flight route

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout a implementovat softwarový modul začleněný do aplikace firmy CS-Soft, který načítá data o letech z databáze Eurocontrol a transformuje tato data pro zobrazovací modul aplikace
- Prostudujte letová data a jejich zpracování a využití v letovém provozu
- Prostudujte distribuci dat vzdušného prostoru poskytovanou B2B Eurocontrol
- Seznamte se s architekturou aplikací vyvíjených firmou CS-Soft
- Navrhněte formát dat a způsob jejich uložení vhodný pro zobrazovací aplikaci polohy a tratě letů
- Navrhněte SW moduly transformující data o letech z B2B Eurocontrol do Vámi navrženého formátu
- Moduly implementujte

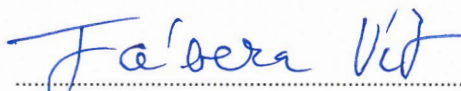



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Pecinovský R.: Python - kompletní příručka jazyka pro verzi 3.9, Grada, 2020
Neustadt I, Arlow J: UML2 a unifikovaný proces vývoje aplikací, Computer Press, 2007
Ludvik Kulčák: Air Traffic Management, 2002

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D.**
Ing. David Sitenský

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **9. srpna 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

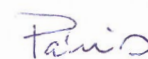

.....


doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D.
vedoucí
Ústavu aplikované informatiky v dopravě


.....

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....

Marián Pánis
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 9.8. 2021

.....

podpis

PodĎakovanie

Týmto by som sa rád poĎakoval vĎetkým, ktorí mi počas vypracovania bakalárskej práce boli maximálne nápomocní. Veľká vĎaka patrí mojim vedúcim doc. Ing. Vítovi Fáberovi, Ph.D. a Ing. Davidovi Sitenskému, ktorí mi vĎdy dokázali odpovedať na moje otázky a naviedli ma tým správnym smerom. Rád by som sa poĎakoval aj celej spoločnosti CS SOFT a.s., ktorá mi umožnila pristupovať k reálnym letovým dátam, na ktorých je postavená táto bakalárska práca. Moja vĎaka patrí taktiež celej mojej rodine a blízkym, ktorí ma podporovali počas celého štúdia.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

VYUŽITIE LETOVÝCH DÁT PRE APLIKÁCIU ZOBRAZUJÚCU
AKTUÁLNU POLOHU A TRATE LETOV

Bakalárska práca

August 2021

Marián Pánis

ABSTRAKT

Európska organizácia pre bezpečnosť leteckej prevádzky (EUROCONTROL) bola zvolená za sieťového manažéra (NM), pričom sa na najvyššej možnej úrovni snaží dosiahnuť vzájomnú spoluprácu medzi jednotlivými subjektami podieľajúcimi sa na leteckej prevádzke. Internetové technológie prinášajú širokú variabilitu pri zdieľaní informácií. Z týchto dôvodov vznikla služba založená na internetových technológiách NM B2B („business-to-business“), ktorá umožňuje ostatným spoločnostiam využívať dáta z EUROCONTROL-u v ich vlastných systémoch. Cieľom tejto práce je zamerať sa na dáta získané službou NM B2B a využiť ich pre tvorbu softvérového riešenia pre výslednú aplikáciu, ktorá zobrazuje polohy letov a ich trate v aktuálnom čase. V praktickej časti išlo o uloženie dát vo vlastnej databáze a naprogramovanie dvoch výstupov, ktoré budú slúžiť ako zdroj informácií pre výslednú aplikáciu. Informácie obsiahnuté v týchto výstupoch sú počítané pre aktuálnu situáciu v reálnom čase. Vo výsledku sa pracuje so všetkými IFR letmi, ktoré na svojej trati prelietajú cez vzdušný priestor Českej republiky.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

letové dáta, NM B2B, konverzný modul, aktuálny čas, poloha, trať letu

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
Faculty of Transportation Sciences

THE USE OF FLIGHT DATA FOR THE APPLICATION SHOWING
ACTUAL POSITION AND FLIGHT ROUTE

Bachelor Thesis

August 2021

Marián Pánis

ABSTRACT

The European Organization for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL) has been appointed as Network Manager (NM), striving at the best possible way to achieve mutual cooperation between subjects involved in air traffic. Internet technologies bring a wide variability in information sharing process. Because of these reasons, a NM B2B („business-to-business“) service based on internet technologies has been created, which allows other companies to use data from EUROCONTROL in their own systems. The aim of this work is to focus on the data obtained by the NM B2B service and use them to create a software solution for the application, which displays the position of flights and their routes in actual time. The practical part is about storing data in own database and programming two outputs that will serve as a source of information for the application. The information obtained in these outputs is being calculated for the actual situation in real time. As a result, we work with all IFR flights that fly through the airspace of the Czech Republic.

KEY WORDS

flight data, NM B2B, conversion module, actual time, position, flight route

Obsah

Zoznam použitých skratiek.....	8
1 Úvod	10
1.1 Ciele práce	11
2 Letové dáta v leteckej doprave.....	12
2.1 EUROCONTROL.....	12
2.1.1 NM B2B Web Services.....	12
2.2 Prístup k dátam	15
2.3 Rozbor letových dát.....	16
2.3.1 Dáta o lete a letovom pláne.....	16
2.3.2 Dáta o vzdušnom priestore	21
2.3.3 Aktualizácia letových dát.....	23
3 Softvérové inžinierstvo	26
3.1 Analýza	26
3.1.1 Špecifikácia požiadaviek	26
3.1.2 Diagramy systému	29
3.1.3 Analýza údajov.....	31
3.2 Návrh a implementácia	36
3.2.1 Konverzný modul	36
3.2.2 Základné informácie o lete	41
3.2.3 Poloha lietadla	45
3.2.4 Azimut.....	47
3.2.5 Trať letu	47
3.3 Testovanie.....	48
3.3.1 Presnosť údajov o polohe z modelu CTFM.....	48
3.3.2 Presnosť použitých výpočtov	49
4 Záver	56
Zoznam obrázkov.....	58
Zoznam tabuliek.....	59

Zoznam príloh	59
Použité zdroje	60

Zoznam použitých skratiek

ACK	Acknowledgement message/Správa o potvrdení
ADES	Aerodrome Of Destination/Letisko priletu
ADEP	Aerodrome Of Departure/Letisko vzletu
ADEXP	ATS Data Exchange Presentation/Prezentácia výmeny dát služieb leteckej dopravy
API	Arrival Planning Information/Informácie o plánovanom prilete
APR	Aircraft Position Report/Správa o polohe lietadla
ATFM	Air Traffic Flow Management/Riadenie toku letovej prevádzky
ATM	Air Traffic Management/Usporiadanie letovej prevádzky
ATS	Air Traffic Services/Letové prevádzkové služby
CACD	Central Airspace and Capacity Database/Centrálna databáza vzdušného priestoru
CDM	Collaborative Decision Making/Koncept zdieľania dát a spoločného rozhodovania
CPR	Correlated Position Report/Korelovaná správa o polohe
CTFM	Current Tactical Flight Model/Aktuálny letový model
CTOT	Calculated Take-off Time/Vypočítaný čas vzletu
DPI	Departure Planning Information/Informácie o plánovanom vzlete
EA	Enterprise Architect
EFD	ETFMS Flight Data/Letové dáta systému ETFMS
EOBT	Estimated off-block time/Predpokladaný čas začatia rolovania
ETA	Estimated Time of Arrival/Predpokladaný čas priletu
ETFMS	Enhanced Tactical Flow Management System/Systém taktického riadenia toku

EUROCONTROL	The European Organization for the Safety of Air Navigation/Európska organizácia pre bezpečnosť leteckej prevádzky
FL	Flight Level/Letová hladina
FPL	Flight Plan/Letový plán
FSA	First System Activation
FTFM	Filed Tactical Flight Model/Predpokladaný letový model
FUM	Flight Update Message/Správa o aktualizácii letu
GeoJSON	Geographic JSON
HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure/Zabezpečený hypertextový prenosový protokol
IATA	International Air Transport Association/Medzinárodné združenie leteckých dopravcov
ICAO	International Civil Aviation Organization/Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
IFPLID	Initial Flight Plan ID/Identifikátor letového plánu
IFPS	Integrated Initial Flight Plan Processing System/Systém pre spracovanie letových plánov
IFR	Instrument Flight Rules/Let podľa prístrojov
JSON	JavaScript Object Notation
NM	Network Manager/Sieťový manažér
NM B2B	Network Manager business-to-business/Služba sieťového manažéra „business-to-business“
NMOC	Network Manager Operations Centre/Operačné stredisko sieťového manažéra
RPL	Repetitive Flight Plan/Stály letový plán
TFM	Tactical Flight Model/Taktický letový model
UML	Unified Modelling Language
XML	Extensible Markup Language/Rozšíriteľný značkovací jazyk

1 Úvod

Dnešná moderná doba sa vyznačuje enormnou digitalizáciou rozličných systémov, pričom ani letecká doprava nezostala v tomto ohľade ukrátená. Vďaka internetu máme možnosť dennodenne pristupovať k nesmiernemu množstvu digitálnych informácií, čo následne firmám a organizáciám poskytuje príležitosti na spoluprácu.

Každoročne sa počet letov vo vzduchu citeľne zväčšuje. Tento faktor so sebou nesie nutnosť modernizácie riadenia letovej prevádzky a vytvorenie jednotného letového priestoru nad územím Európy. Na dosiahnutie tohto stavu je v prvom rade potrebná vzájomná spolupráca jednotlivých sektorov letectva.

Organizácia EUROCONTROL figurujúca v tejto záležitosti ako Network Manager, nepretržite zbiera údaje o letoch, letových plánoch, vzdušných priestoroch a letových tokoch do centralizovaných databáz. Následne sú tieto dáta priebežne aktualizované a distribuované v rámci vzájomnej spolupráce s minimálnym oneskorením. Práve vďaka internetovým technológiám je možné, aby sa informácie o letovej prevádzke dostali medzi širokú škálu subjektov pôsobiacich v leteckom sektore. Služba NM B2B (Network Manager “business-to-business” Service) založená na internetových technológiách, umožňuje leteckým spoločnostiam a dodávateľom ATM systémov využívať dáta z EUROCONTROL-u v ich vlastných systémoch. Česká spoločnosť CS SOFT a.s. umožnila pre tvorbu tejto práce pristupovať k reálnym letovým dátam zo služby NM B2B.

V tejto práci budú popísané výhody a riešenia, ktoré nám centrálna databáza a služby s ňou spojené poskytujú. Jednotlivé dáta budú bližšie rozobraté, vysvetlené a následne prakticky využité. Je potrebné ukázať, akú dôležitosť a využiteľnosť so sebou tieto služby a dáta prinášajú. Praktickým výstupom tejto práce bude naprogramovanie konverzného modulu implementovaného do aplikácie na zobrazenie aktuálnej polohy lietadiel a ich trati v reálnom čase. Konkrétne sa jedná o všetky IFR lety, ktoré na svojej trati prelietajú cez vzdušný priestor Českej republiky. Konverzný modul bude načítavať letové dáta z EUROCONTROL-u, ukladať ich vo vlastnej databáze a produkovať z nich požadované výstupy. Výsledky obsiahnuté vo výstupoch budú počítané v reálnom čase, aby výsledná aplikácia odzrkadľovala skutočnú situáciu letovej prevádzky.

1.1 Ciele práce

Ciele práce vychádzajú zo zadania bakalárskej práce. Celkový cieľ bakalárskej práce môže byť rozdelený do dvoch hlavných častí:

- Dáta poskytované Network Manager-om majú pre leteckú dopravu význam po viacerých stránkach, ktoré sú kľúčové pre budúci rozvoj. Mojou úlohou bude ukázať, aké dáta sú poskytované v rámci NM B2B, a ako sa dajú prakticky využiť pre vlastné systémy. Tejto téme sa bude venovať práve prvá časť bakalárskej práce.
- Druhá časť bude zameraná na preukázanie praktického využitia dát z prvej časti. Z programátorského hľadiska pôjde o vývoj softvéru, ktorý bude dáta filtrovať a generovať potrebné výstupy pre zobrazovaciu aplikáciu. Mojou úlohou bude vytvoriť konverzný modul, ktorý generuje dva výstupné súbory. V tejto časti taktiež pôjde o predstavenie výhod naprogramovaného konverzného modulu. Pozornosť sa následne upriami na testovanie, počas ktorého bude preukázaná presnosť uplatnených výpočtov s využitím dát zo služby NM B2B.

2 Letové dáta v leteckej doprave

Táto kapitola je zameraná na objasnenie využitia letových dát poskytovaných organizáciou EUROCONTROL, ich opodstatnenie a dôležitosť pre leteckú dopravu, ale aj pre subjekty, ktoré s leteckou dopravou úzko súvisia. Následne je vysvetlené, aké údaje sú zdieľané a taktiež princíp, na ktorom je postavená distribúcia týchto údajov.

2.1 EUROCONTROL

Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (ICAO) v roku 2005 predstavila svoju víziu pre budúcnosť ATM (Air Traffic Management), pričom kľúčové bolo dosiahnuť interoperabilný systém riadenia letovej prevádzky. Dôležitú rolu v tom hrá práve Európska organizácia pre bezpečnosť leteckej prevádzky (EUROCONTROL), ktorá má silný vplyv na rozvoj leteckej dopravy. Konkrétne sa zaoberá rozvíjaním systémov a postupov pre plynulé riadenie letovej prevádzky. [1]

EUROCONTROL sa výrazným spôsobom podieľa na distribúcii letových dát medzi rôznymi subjektami, pričom prispieva k rozvoju letovej prevádzky z hľadiska bezpečnosti, udržateľnosti a efektívnosti. Pre naplnenie týchto cieľov je dôležité, aby prebiehala vzájomná spolupráca jednotlivých krajín naprieč celým územím Európy. Európska komisia poverila organizáciu EUROCONTROL zastávať funkciu sieťového manažéra (NM), ktorá je esenciálna pre správny a organizovaný rozvoj. Ak sa jedná o ukladanie a distribúciu letových dát, predstavuje práve táto organizácia dôležitý pilier, od ktorého sa dostávajú dáta včas na správne miesta v celej Európe. [2]

S modernou dobou sa viaže príchod internetu, ktorý výraznou mierou ovplyvnil a podstatne zjednodušil krok distribúcie dát. Práve vďaka internetovým technológiám môžu byť v rámci EUROCONTROL-u poskytované služby prostredníctvom prevádzky siete (NOP). Jednou zo služieb, ktoré NOP poskytuje je služba Network Manager Business-to-Business (B2B) Web Services. Cieľom tejto práce je zamerať sa na dáta poskytované práve prostredníctvom NM B2B Web Services. [3]

2.1.1 NM B2B Web Services

Organizácia EUROCONTROL poskytuje NM B2B Web Services s cieľom zvýšenia kooperatívnosti a interoperability jednotlivých subjektov podieľajúcich sa na leteckej doprave prostredníctvom ATM digitálneho kolaboratívneho prostredia založeného na internetových technológiách. Týmto spôsobom umožňuje ostatným subjektom využívať dáta z NM B2B v ich vlastných systémoch. Hlavnou výhodou tejto výmeny informácií je nielen zvýšenie efektivity jednotlivých spoločností, ale aj celého vzdušného priestoru. Služby, ktoré sú poskytované prostredníctvom NM B2B, sú rozdelené do troch základných kategórií:

- Flight Services
- Airspace Services
- Flow Services

Základný aspekt, vďaka ktorému je umožnené poskytovanie spomínaných služieb, je práve vzájomná spolupráca subjektov podieľajúcich sa na leteckej doprave. Medzi tieto subjekty patria poskytovatelia letových navigačných služieb, riadiaci letovej prevádzky, letiská, letecký dopravcovia, poskytovatelia pozemnej obsluhy atď. Konkrétny spôsob, akým sú zbierané informácie v NM B2B je opísaný v kapitole 2.3.3. [3]

V nasledujúcich kapitolách budú opísané jednotlivé služby poskytované prostredníctvom NM B2B. Detailnejšie informácie o službách sú k dispozícii v referenčných manuáloch, ktoré slúžili ako podklad týchto kapitol [5][6][7].

2.1.1.1 Flow services

Flow services je služba, ktorá poskytuje informácie o letových tokoch, kapacite a plánovanom zaťažení vzdušného priestoru. [7]

V tejto práci sa služba Flow Services nevyužíva, nakoľko pre potreby zobrazenia polohy letu a jeho trate, nie sú potrebné informácie týkajúce sa kapacity a zaťaženia vzdušného priestoru. Z toho vyplýva, že táto služba nie je predmetom bakalárskej práce, a preto sa jej ďalej nebudeme venovať.

Služby, ktoré boli aktívne využívané v nadväznosti na cieľ bakalárskej práce budú opísané v nasledujúcich kapitolách.

2.1.1.2 Flight Services

Letové služby poskytované organizáciou EUROCONTROL pod názvom Flight Services umožňujú pristupovať k informáciám o lete a letových plánoch. Dokážeme prostredníctvom týchto služieb získať dáta o letových plánoch, ale aj o tom, ako let aktuálne prebieha. To znamená, že spočiatku sa vychádza z dát letového plánu a následne sú tieto údaje aktualizované počas toho, ako sa let vyvíja.

Z tohto dôvodu sa dáta v rámci tejto služby delia do dvoch hlavných skupín:

- Údaje o letovom pláne
 - Letovým plánom sa rozumie súbor informácií, ktoré sa týkajú daného letu lietadla. Tieto údaje sú vyplnené podľa ICAO Dokumentu 4444 [8] a odoslané stanovištiar riadiacich letovej prevádzky prostredníctvom systému pre spracovanie letového plánu (IFPS). Tento systém môže akceptovať len letové

plány prístrojových letov (IFR). Z toho vyplýva, že v konečnom výsledku tejto práce sa bude v konverznom module, ktorý je založený na týchto dátach, pracovať len s letmi IFR. [5][9]

- IFPS je systém, ktorý má za úlohu spracovávať a distribuovať individuálne letové plány (FPL) a stále letové plány (RPL). Po prijatí informácií o lete, IFPS najskôr vyplnené údaje skontroluje a buď letový plán schváli, opraví alebo zamietne. Údaje zo všetkých akceptovaných letových plánov sú distribuované medzi relevantné subjekty a stanovišťa riadiacich letovej prevádzky. [5][9]
- Údaje o lete
 - Údaje o lete sú k dispozícii v rámci služby Flight Services v momente, keď je letový plán odoslaný do systému ETFMS (Enhanced Traffic Flow Management System). Posielané sú do tohto systému maximálne 20 hodín pred predpokladaným časom začatia rolovania (EOBT).
 - Údaje o lete (flight data) obsahujú upravené informácie, ktoré sa v letovom pláne nenachádzajú. Nakoľko hovoríme o dátach v rámci taktickej fáze, údaje o lete sú kontinuálne aktualizované a môžu sa rôzne meniť v závislosti na situácii letovej prevádzky. Tieto zmeny sú možné predovšetkým vďaka systému A-CDM, správach o polohe lietadla atď. (viď 2.3.3). [5]

Služby poskytované prostredníctvom Flight Services môžeme rozdeliť aj podľa konkrétnej fázy letu [5]:

- Letová príprava
 - zahŕňa služby, ktoré sú poskytované pilotovi počas prípravy letového plánu
- Zadávanie informácií o lete
 - služby, ktoré sa týkajú priamo odosielania a úpravy letového plánu
- Letový manažment
 - služby, ktoré umožňujú získať údaje o existujúcich letových plánoch a letoch

Z pohľadu tejto práce sú letové služby z kategórie letového manažmentu najdôležitejšie a najužitočnejšie pre zobrazovanie polohy letov, a preto sa bude zvyšná časť práce sústrediť prevažne na tento druh služby. [5]

2.1.1.3 Airspace Services

V rámci Airspace Services sú poskytované služby, ktorá umožňujú získať údaje o popise vzdušného priestoru. Nachádzajú sa tu informácie o letových tratiach, letiskách, heliportochoch, význačných bodoch a ich polohách. [6]

V tejto práci sú využité aj informácie z tejto služby, nakoľko bolo potrebné zistiť polohu pre význačné body z letových plánov. Popis profilu letu získaného z Flight Services zahŕňa identifikátory význačných bodov, podľa ktorých boli následne zisťované ich polohy s využitím služby Airspace Services.

2.2 Prístup k dátam

Údaje získané zo služieb Flight Services a Airspace Services sú zhromažďované v NM B2B databázach. V tejto kapitole bude opísaný spôsob, akým sa pristupuje k dátam z NM B2B databáz. Nakoľko cieľom tejto práce je zamerať sa na využitie dát, detailne sa nebude zaoberať prístupom k dátam, a preto je len stručne opísaný spôsob, ako sa k spomínaným údajom pristupuje. Získanie dát prebieha vďaka spoločnosti CS-SOFT a.s., ktorá nám umožnila s nimi ďalej pracovať. Nižšie opísaný prístup bol navrhnutý práve touto spoločnosťou.

Pre využívanie dát v našich vlastných systémoch sa používa služba od B2B Network Manageru a to výhradne operácia Request/Response (Dotaz/Odpoveď). Aby mohli firmy a spoločnosti pristupovať k dátam, musia si od EUROCONTROL-u požiadať o vlastný identifikátor, takzvaný token/certifikát, vďaka ktorému je možné pristupovať k dátam od EUROCONTROL-u. Spoločnosť CS SOFT a.s. token získala a na základe toho nám umožnila pracovať s reálnymi dátami z platformy NM B2B – PREOPS (platforma využiteľná pre testovacie účely).

K potrebným dátam je možné pristupovať iba z počítača, ktorému bol token/certifikát pridelený. Na tomto počítači beží démon, ktorý je schopný prostredníctvom HTTPS posilať dotazy do EUROCONTROL-u vo forme XML. Zároveň nám umožňuje vzdialeným spôsobom pracovať s dátami aj v prípade, ak na našom konkrétnom počítači nie je spomínaný certifikát. Počítač s nainštalovaným certifikátom a démonom je fyzicky umiestnený vo firme CS SOFT a.s. a tvorí „Gateway“ (bránu).

Komunikácia démona s vonkajškom (B2B databázami) je umožnená prostredníctvom databázy REDIS. Informácie sú v tejto databáze uložené na princípe kľúč – hodnota. Keď vykonáme dotaz na databázu Redis s požadovaným kľúčom (napr. `css:b2b:flightdata:request:1`), získame hodnotu, ktorou môže byť XML súbor použiteľný ako dotaz do Bruselu. Komunikácia medzi Redis a B2B databázami funguje prostredníctvom XML dotazov, do ktorých sa vyplnia podstatné údaje a B2B nám vráti opäť XML súbor, v ktorom nájdeme všetky požadované informácie, na ktoré sme sa pýtali.

Po uložení dát v Redis databáze sú dáta konvertované z formy XML do formátu JSON. Táto konverzia bola zvolená hlavne kvôli väčšej prehľadnosti JSON súborov. To znamená, že ak

vykonáme dotaz na dáta z Bruselu, Redis vyplní podľa nášho dotazu XML súbor (dotaz), B2B databáza po prijatí XML dotazu pošle XML odpoveď, ktorá je následne konvertovaná v Redis databáze na JSON. Takýto JSON obsahujúci dáta z EUROCONTROL-u sa dostane k nám (užívateľom) a umožní nám s nimi ďalej pracovať. Z toho vyplýva, že my nevykonávame dotazy priamo na B2B databázy, ale využívame na to internú Redis databázu, ktorá nám získavanie dát podstatne zjednoduší.

Prístup k dátam z NM B2B databáz zabezpečila spoločnosť CS SOFT a.s., pričom úlohou tejto práce je preskúmať získané dáta a využiť ich pre vytvorenie konverzného modulu.

2.3 Rozbor letových dát

Táto kapitola je venovaná rozboru letových dát a popisu konkrétneho využitia v tejto práci. Z toho dôvodu, že sa využívajú dáta zo služieb Flight Services a Airspace Services, sú v tejto kapitole opísané práve dáta týchto služieb.

2.3.1 Dáta o lete a letovom pláne

V tejto kapitole sa zameriame na rozbor letových dát poskytovaných službou Flight Services. V rámci tejto služby sú sprostredkované informácie o letoch a letových plánoch, v ktorých sú obsiahnuté základné informácie o lete. Jednotlivé položky vstupných dát v JSON formáte, s ktorými sa ďalej pracuje v bakalárskej práci, sú v tejto kapitole bližšie vysvetlené.

2.3.1.1 IFPLID

Letové plány sa podávajú do systému IFPS, ktorý musí zaistiť, aby nedošlo k zaslaníu informácie nesprávne lietadlu. Pre predídenie spomínaného problému eviduje systém IFPS jednotlivé letové plány pod jedinečnými identifikátormi. IFPLID sa udeľuje len letovým plánom, ktoré boli schválené systémom IFPS a boli distribuované vo formáte ADEXP. [9]

Na obrázku 1 je zobrazený príklad, ako vyzerá správa v ADEXP formáte. Konkrétne sa jedná o správu ACK (Acknowledgement Message). Jedná sa o sekvenciu kľúčových slov, ktoré začínajú pomlčkou „-“ (napr. -EOBT). Za kľúčovým slovom sa nachádza medzera a za ňou už konkrétna informácia. [9]

```
-TITLE ACK -MSGTYP IFPL -FILTIM 190634 -ORIGINDT 1609190634 -IFPLID AT00123379
```

Obrázok 1: Ukážka časti správy ACK vo formáte ADEXP

Takéto identifikátory letových plánov sa uvádzajú pod pojmom IFPLID. Pričom „IFPL“ z daného kľúčového slova IFPLID znamená Initial Flight Plan a „ID“ identifikátor. Môžeme vďaka nemu rozoznať konkrétny letový plán zaslaný do systému IFPS. IFPLID pozostáva vždy z dvoch písmen, za ktorými nasleduje 8 číslic (napr. AT00978605). [10]

Vo vstupných dátach v JSON formáte, v ktorých obdržíme informácie o lete a letovom pláne z databázy NM B2B (2.2), nájdeme IFPLID pod nasledujúcim kľúčom:

```
'flight':{'flightId':{'id': 'AT00978605'}}
```

V tejto práci bude IFPLID využitý pri ukladaní informácií do vlastnej databázy (3.2.1.1), pričom pod každým identifikátorom sa nachádzajú informácie prislúchajúce konkrétnemu letu. Týmto je predídene zmiešaniu informácií viacerých letových plánov a zobrazovaniu nepravdivých informácií.

2.3.1.2 Identifikácia lietadla

Identifikácia lietadla pozostáva z kombinácie písmen a číslíc, ktorá umožňuje rozoznávanie lietadiel v letovej prevádzke. Jedná sa o volaciu značku, ktorá je reprezentovaná imatrikuláciou lietadla (OKWAA) alebo označením operátora s označením leteckého spoja (KLM511). Konkrétne ide o údaj, ktorý je v letovom pláne vypíňaný do poľa 7. [9]

Vo vstupných dátach v JSON formáte môžeme nájsť identifikáciu lietadla pod kľúčom:

```
'flight':{'flightId':{'keys': {'aircraftId': 'DLH4PH'}}}
```

Identifikácia lietadla je využívaná v tejto práci pre jednoduché rozlíšenie lietadiel vo výstupoch konverzného modulu, ktorý je jedným z cieľov tejto práce. Následne bude daný modul využitý aplikáciou, ktorá bude zobrazovať aktuálne polohy lietadiel, pričom identifikácia lietadla (obsiahnutá v konverznom module) bude využitá pre jednoduché rozpoznávanie konkrétnych lietadiel vo výslednej aplikácii (vytvorenej spoločnosťou CS SOFT a.s.).

2.3.1.3 Letisko odletu

Letisko odletu je označované štvormiestnym ICAO kódom (napr. LKPR). Jedná sa o údaj vypíňaný v letovom pláne do poľa 13. V rámci tejto práce je využitý pre zistenie prvotnej polohy lietadla pred zahájením letu. Informácie o presnej polohe letiska sú získavané zo služby Airspace Services (2.3.2). [9]

Vo vstupných dátach v JSON formáte môžeme nájsť ICAO kód letiska odletu pod nasledujúcim kľúčom:

```
'flight':{'flightId':{'keys':{'aerodromeOfDeparture': 'EDDF'}}}
```

Taktiež môže nastať prípad, kedy lietadlo bude odlietať z letiska, ktorému nebol pridelený ICAO kód. Hodnota pod predošlým kľúčom bude prázdna a s informáciami o lete sa bude pracovať až po dovŕšení prvého bodu na letenej trati. To znamená, že v takom prípade bude preskočená prvotná poloha lietadla a zobrazené bude vďaka predpokladanému času preletu prvého bodu trate.

2.3.1.4 Letisko priletu

Letisko priletu je podobne ako letisko odletu vyjadrené štvormiestnym ICAO kódom. Slúži pre získanie informácie o konečnej polohe lietadla. Zistenie presnej polohy letiska priletu prebieha rovnakým spôsobom ako u letiska odletu (2.3.1.3).

ICAO kód letiska priletu sa nachádza vo vstupných dátach v JSON formáte pod kľúčom:

```
'flight':{'flightId':{'keys':{'aerodromeOfDestination': 'ENGM'}}}}
```

V prípade, že sa jedná o letisko, ktoré nemá ICAO kód, bude sa postupovať tak, že posledným bodom letu lietadla bude posledný bod na trati, nakoľko sa z daných dát nedá presne určiť poloha takéhoto letiska.

2.3.1.5 Predpokladaný čas začatia rolovania

Predpokladaný čas začiatku rolovania (EOBT) je čas, kedy sa predpokladá vytlačenie lietadla zo stojanu a začatie rolovania smerom k odletu. Na tento čas sa podáva letový plán, ale nezaručuje, že presne o takom čase sa reálne aj rolovanie musí začať. Preto je v názve dôležité slovo „predpokladaný“, nakoľko sa jedná len o predpokladaný čas, a presné začatie rolovania bude posunuté v súvislosti s aktuálnou letovou prevádzkou. [9]

Informácie definujúce EOBT sa nachádzajú vo vstupných dátach v JSON formáte pod kľúčom:

```
'flight':{'flightId':{'keys':{'estimatedOffBlockTime': '2021-06-24 11:20'}}}}
```

2.3.1.6 Typ lietadla

Typom lietadla sa rozumie konkrétny typ lietadla, ktorý je použitý na let. Jedná sa o ICAO označenie daného typu lietadla. V prípade, že lietadlo nemá ICAO označenie daného typu, bude toto pole prázdne. V tejto práci sa s týmito dátami nepracuje, ale je podstatné priblížiť si, že aj tieto dáta je možné získať z B2B databáz a následne ich využiť pre štatistické účely. [9]

Vo vstupných dátach v JSON formáte je ICAO označenie typu lietadla pod kľúčom:

```
'flight':{'aircraftType': 'A319'}
```

2.3.1.7 Predpokladaný čas priletu

Predpokladaný čas priletu (ETA) vychádza z letového plánu. Z toho dôvodu sa môže stať, že lietadlo nebude pristávať úplne presne v predpokladanom čase priletu. Je to kvôli tomu, že ETA vychádza z modelu FTFM (Filed Tactical Flight Model). FTFM je model, ktorý korešponduje s údajmi o letovom pláne a jeho informácie sú upravované len do vzletu lietadla, a preto v prípade nečakanej zmeny počas letu, tento údaj zmenený nebude. Pre vyjadrenie

aktuálnej polohy lietadla sa namiesto ETA použije posledný bod na trati v modeli CTFM (viď 2.3.1.8). [5][9][12]

Vo vstupných dátach v JSON formáte sa predpokladaný čas priletu nachádza pod kľúčom:

```
'flight':{'estimatedTimeOfArrival': '2021-06-24 13:10'}
```

2.3.1.8 Trať letu

Trať letu je reprezentovaná spojnícou jednotlivých význačných bodov. Význačný bod je určený presnými súradnicami polohy a používa sa na definovanie trate letových prevádzkových služieb (ATS route). Táto trať je určená pre poskytovanie letových prevádzkových služieb. [12][13]

Informácie o trati, význačných bodoch, časoch preletu a letových hladinách sa v rámci tejto práce získavajú z bodového profilu vytvoreného modelom CTFM (Current Tactical Flight Model). Tento model je vytvorený, keď systém ETFMS obdrží ATFM správu (CPR, FSA, DPI) alebo v momente vytlačenia zo stojanu a obsahuje aktuálne informácie o letenej trati. (viď 2.3.3). [11]

Pre zobrazenie polohy letu a jeho trajektórie bol zvolený model CTFM, nakoľko odzrkadľuje reálnu situáciu a jednotlivé parametre letu sú priebežne aktualizované. Konkrétne obsahuje body a informácie o profile letu vytvorené systémom ETFMS.

Celý CTFM profil môžeme nájsť vo vstupných dátach v JSON formáte pod kľúčom:

```
'flight':{'ctfmPointProfile'}
```

Nachádzajú sa v ňom informácie vzťahujúce sa k určitému letu. Pozostáva na princípe, kde máme určený čas preletu význačného bodu trate, ktorý je určený ICAO identifikátorom alebo priamo jeho polohou určenou v súradniciach zemepisnej šírky a zemepisnej dĺžky.

Pri údajoch o význačných bodoch rozlišujeme v CTFM profile dva spôsoby označenia bodov:

- Published Point
- NonPublished Point - Geopoint

Published Point je význačný bod, ktorý sa nachádza na trati ATS a je priamo definovaný vlastným identifikátorom, napr. SOTOG. V prípade, že získame z databázy popisu letovej trate bod, ktorý je definovaný identifikátorom, nenachádzajú sa vo vstupných dátach bližšie informácie objasňujúce presnú polohu tohto bodu. Presná poloha takýchto bodov bude ďalej zisťovaná pomocou dát zo služby Airspace Services, vďaka ktorej je možné získať údaje o polohe všetkých význačných bodov definovaných identifikátorom (2.3.2).

Geopoint je význačný bod, ktorý neobsahuje identifikátor. Takýto bod je definovaný súradnicami zemepisnej šírky a zemepisnej dĺžky, ktoré vyjadrujú jeho presnú polohu.

V bodovom profile modelu CTFM sa nachádzajú aj názvy príletových a odletových tratí. Avšak nebudú použité pri počítaní polohy a generovaní trajektórie letu, nakoľko nebolo možné zistiť údaje o polohe jednotlivých segmentov týchto tratí. Pri vytváraní trajektórie letu a počítaní polohy sa bude spájať bod letiska odletu s prvým bodom na trati a rovnakým spôsobom posledný bod na trati s letiskom príletu.

V nasledujúcich kapitolách sa bude pokračovať dátami vyjadrujúcimi bodový profil CTFM modelu, ktoré sú aktívne využívané pri počítaní aktuálnej polohy, výšky, rýchlosti a azimutu lietadla.

2.3.1.9 Čas preletu

Ako bolo spomenuté v predošlej kapitole, po zistení informácii o význačných bodoch, je dôležité poznať aj konkrétny čas, kedy sa daným bodom bude prelietať. Tento čas je opravovaný podľa aktuálnej situácie, a preto je vďaka nemu možné zistiť momentálnu polohu lietadla. Formát je nasledovný: YYYY-MM-DD HH:MM:SS, kde sa vždy začína dátumom a nasleduje čas preletu vyjadrený v hodinách, minútach a sekundách.

Vo vstupných dátach v JSON formáte sa nachádza pod kľúčom:

```
'flight':{'ctfmPointProfile':{'timeOver': '2021-06-24 11:42:00'}}
```

Vďaka znalosti polohy význačného bodu a času preletu sa následne počíta aktuálna poloha lietadiel (3.2.3), ktorá je vyjadrená v súradniciach zemepisnej šírky a dĺžky vo výstupe konverzného modulu Track_Type (3.2.1.2).

2.3.1.10 Letová hladina

Pri každom význačnom bode je okrem času preletu definovaná aj letová hladina, v ktorej sa má lietadlo nachádzať pri prelete daného bodu.

Výšku v letectve môžeme rozlíšiť podľa referenčnej hladiny, od ktorej sa meria tlak [9]:

- Altitude
 - Výška lietadla nad strednou hladinou mora.
- Height
 - Výška lietadla nad referenčným bodom, ktorým môže byť letisko alebo prah dráhy.
- Flight Level

- Letová hladina, známa pod pojmom Flight Level (FL), predstavuje výšku lietadla pri nastavení výškomeru na štandardný tlak QNE (1013,25 hPa).

Cieľom je zistiť aktuálnu výšku lietadla a zobrazíť ju užívateľom. Preto je potrebné, aby sa v generovanom výstupe konverzného modulu Track_Type (3.2.1.2) nachádzal údaj o aktuálnej výške lietadla. Údaj o výške lietadla sa zo vstupných dát získa v podobe letovej hladiny, ktorá sa udáva v hektostopách. Následne je konverzným modulom získaná výška spracovaná, prispôbena aktuálnej situácii a vo výslednej aplikácii bude môcť byť zobrazený údaj na obrazovke užívateľa v stopách.

Vo vstupných dátach v JSON formáte nájdeme údaj o hladine nad konkrétnym bodom pod nasledovným kľúčom:

```
'flight':{'ctfmPointProfile':{'flightLevel': {'unit': 'F', 'level': 210}}}
```

2.3.2 Dáta o vzdušnom priestore

V tejto kapitole bude vysvetlené, aké dáta o vzdušnom priestore je možné získať, a k tomu bude opísané konkrétne využitie v rámci tejto práce.

Je dôležité poznamenať, že údaje o vzdušnom priestore sú získavané zo služby Airspace Services. Nasledujúce informácie o službe sú čerpané z referenčných manuálov, v ktorých je možné nájsť detailnejšie informácie. [6]

K dátam o vzdušnom priestore sa pristupuje rozdielnym spôsobom ako k dátam o lete a letovom pláne. Pri dátach o lete sa vytvorí dotaz na dáta, ktoré sú následne obdržané vo formáte JSON. K dátam o vzdušnom priestore sa pristupuje taktiež formou dotazu, ale rozdiel je v tom, že vo výsledku nezískame konkrétne dáta v jednom XML súbore, ale link, na ktorom sa nachádzajú XML súbory, v ktorých sú požadované informácie. Na základe získaných XML súborov bol vytvorený prehľadný súbor points.json (Príloha 2), z ktorého je možné získať informácie potrebné pre vytvorenie výstupu konverzného modulu Trajectory.

Airspace Services poskytuje dve základné služby:

- Airspace Structure Service
 - Dáta poskytované touto službou sú získavané z databázy CACD (Central Airspace and Capacity Database), ktorá slúži ako úložisko pre dáta o vzdušnom priestore. V tejto databáze sa nachádzajú informácie o letových tratiach, bodoch, letiskách, ale taktiež aj informácie o letových tokoch a objeme dopravy.
 - Umožňuje nám získať aktuálne dáta o vzdušnom priestore.
- Airspace Availability Service

- Jedná sa o službu, ktorá umožňuje vystavovať a upravovať informácie o dostupnosti letového priestoru.

Nakoľko je v tejto práci potrebné nahliadať do dát o letovom priestore, je využitá prvá spomínaná služba s názvom Airspace Structure Service. [6]

Prístup ku XML súborom, v ktorých sú dáta o vzdušnom priestore, bol poskytnutý spoločnosťou CS SOFT a.s. a v tejto práci sa s nimi ďalej pracuje. Následne sú uvedené konkrétne XML súbory obsahujúce informácie, ktoré boli využité pre splnenie cieľa práce. Prevažne sa jedná o dva XML dokumenty:

- AirportHeliportSet
 - Obsahuje informácie týkajúce sa letísk a heliportov
 - Názov letiska/heliportu (Bratislava/M. R. Stefanik)
 - ICAO indikátor polohy (LZIB)
 - IATA kód (BTS)
 - Typ (CIVIL)
 - Obsluhované mesto (Bratislava)
 - Poloha vyjadrená zemepisnými súradnicami (48.17 17.212777777)
 - Nadmorská výška (436 ft)
 - Štandardný čas rolovania (6 min)
- DesignatedPoint
 - Obsahuje informácie týkajúce sa význačných bodov
 - Označenie bodu (OBOBO)
 - Poloha bodu vyjadrená zemepisnými súradnicami (41.8647222 8.445)

Na to, aby bolo možné vytvoriť trajektóriu letu, bolo potrebné zistiť polohy jednotlivých význačných bodov a letísk. V dátach o lete a letovom pláne sa nachádzajú 2 typy označenia bodov:

- PublishedPoint
 - Jedná sa o body, ktoré majú pridelený ICAO kód. Kvôli tomu nie je potrebné, aby sa tam nachádzal údaj o presnej polohe bodu. Z toho dôvodu musíme využiť dáta o letovom priestore. Keďže poznáme ICAO kód konkrétneho bodu, dokážeme vďaka XML dokumentu DesignatedPoint zistiť presnú polohu jednotlivých bodov.
- NonPublishedPoint – GeoPoint
 - V tomto prípade je poloha bodu priamo určená zemepisnými súradnicami, a preto ich môžeme priamo použiť pre vytvorenie trajektórie letu.

2.3.3 Aktualizácia letových dát

V tejto kapitole je vysvetlený spôsob, akým sú letové dáta pred letom a počas letu aktualizované v rámci NM B2B. Vďaka tomu môžeme v kapitole 3.3 pozorovať, že sa v reálnom čase skutočne upravujú dáta získavané z databázy NM B2B.

S využitím služby Flight Services sa pristupuje k dátam z databázy NM B2B, ktoré popisujú priebeh letu vo forme modelov (TFM – Tactical Flight Models) [11][14]:

- Predpokladaný model – Filed Tactical Flight Model (FTFM)
 - Ide o model trajektórie letu, ktorého informácie vychádzajú z posledného podaného letového plánu, ale sú aktualizované do vzletu lietadla.
- Aktuálny model – Current Tactical Flight Model (CTFM)
 - Zobrazuje aktuálnu situáciu počas letu. Vychádza z predošlého modelu FTFM, pričom sa kontinuálne prepočítava na základe správ CPR a FSA.

Model, ktorý je aktívne využívaný pre splnenie cieľa tejto práce je model CTFM. Nakoľko hovoríme o aktuálnych informáciách o lete, musí dochádzať k priebežnej aktualizácii údajov. Umožňuje to skutočnosť, že medzi organizáciou EUROCONTROL, letiskami a letovými dopravcami funguje vzájomná spolupráca, pričom sa navzájom informujú o aktuálnej situácii. Tieto informácie si poskytujú cez ATFM správy, ktoré sú posielané alebo získavané prostredníctvom systému ETFMS. Medzi tieto správy patria [14]:

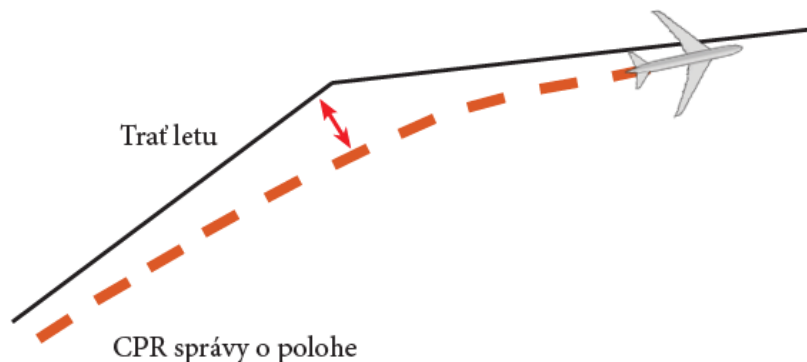
- Správy posielané leteckými dopravcami/ATS
 - API (Arrival Planning Information)
 - Obsahuje informácie, ktoré umožňujú upresňovať údaje týkajúce sa priletu lietadla na letisko.
 - APR (Aircraft Position Report)
 - Túto správu posielajú leteckí dopravcovia na let, ktorý vzlietol z letiska mimo NMOC oblasti. Prostredníctvom APR správ poskytujú informácie o polohe lietadla, čo umožňuje presnejší výpočet odhadovaného vstupu lietadla do tejto oblasti.
 - DPI (Departure Planning Information)
 - DPI správa obsahuje presný údaj o odhadovanom čase vzletu, čas rolovania a informácie o odletových tratiach.
 - FSA (First System Activation)
 - Informuje EUROCONTROL o aktuálnej situácii, pričom poskytuje informácie ako ATOT (Actual Take-Off Time), predpokladaný čas, výšku

a bod vstupu do letovej oblasti a taktiež informácie o zmene na trati letového plánu.

- CPR (Correlated Position Report)
 - Prostredníctvom CPR správy sú počas letu poskytované informácie o aktuálnej 4D polohe lietadla v pravidelnom intervale (každých 30-60 sekúnd).
- Správy posielané NMOC
 - EFD (ETFMS Flight Data Message)
 - EFD správa je využívaná na informovanie užívateľov o letových dátach, ktoré sa nachádzajú v systéme ETFMS. EFD je zasielaná vždy, keď sa EFD dáta menia alebo v pravidelných intervaloch (15 minút) počas letu lietadla.
 - FUM (Flight Update Message)
 - FUM je správa, ktorou sa informujú letiská priletu o predpokladanom čase priletu, pričom obsahuje informácie o čase a vstupnom bode na priletovú trať .

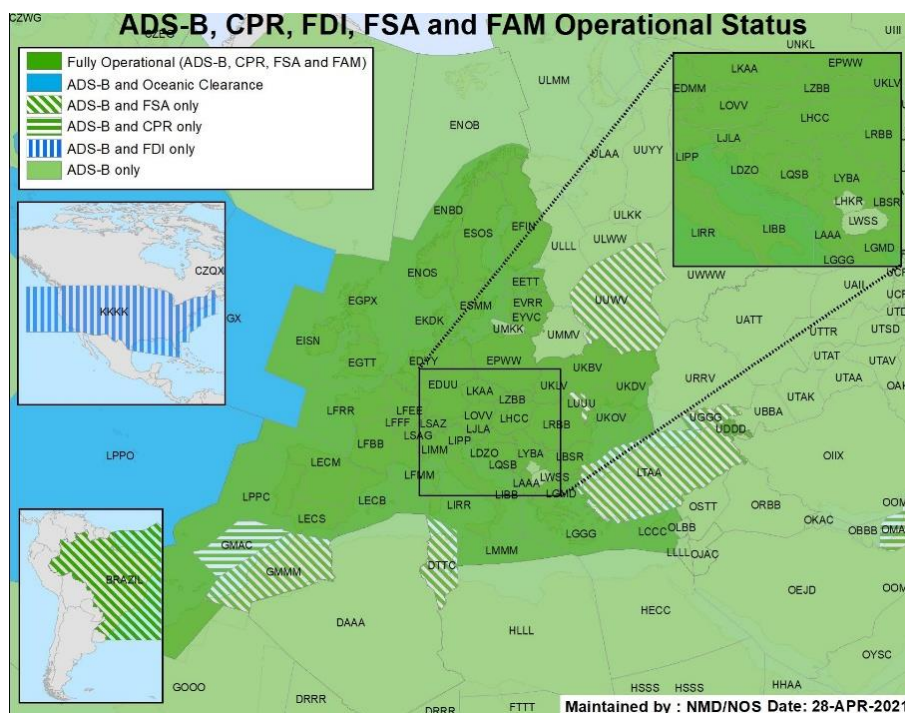
Informácie z modelu CTFM sú využité pre získavanie a počítanie atribútov o lete, ktoré sú súčasťou výsledných výstupov konverzného modulu. Zdrojom dát pre CTFM je systém ETFMS, ktorého úlohou je zbierať dáta od subjektov zainteresovaných v letovej prevádzke a distribuovať ich ďalej, čím pomáha presnejšie predikovať vývoj letu. Koncept spoločného rozhodovania CDM a správy DPI umožňujú aktualizovať dáta v modeli FTFM. Informácie v modeli CTFM vychádzajú z modelu FTFM a jeho hodnoty sú priebežne prepočítavané počas letu vďaka správam APR, CPR a FSA. Model CTFM slúži EUROCONTROL-u taktiež na zisťovanie predpokladaného zaťaženia sektorov vzdušného priestoru, čo umožňuje predchádzať preťažovaniu týchto sektorov. Dáta sú v modeli CTFM automaticky prepočítané v prípade, ak došlo k aktualizácii letového plánu, zmene letovej hladiny v dôsledku aktuálnej situácie. K prepočítaniu dát dôjde pri obdržaní správy CPR, keď bude odchýlka hlásenej polohy od polohy v bodovom profile modelu CTFM prekračovať najmenej jeden z nasledujúcich parametrov [11]:

- Ak je časová odchýlka väčšia ako 1 minúta
- Ak je na trati výškový rozdiel väčší ako 400 ft
- Ak je počas stúpania/klesania výškový rozdiel väčší ako 1000 ft
- Ak je v horizontálnom smere odchýlka väčšia ako 10 NM (námorných míľ)



Obrázok 2: Princíp povolenej deviácie správ o polohe

V obrázku 2 je graficky znázornená situácia, v ktorej je zobrazená trať letu a spolu s ňou hlásená poloha prostredníctvom správ CPR. Červená šípka reprezentuje rozdiel dát o polohe z modelu CTFM a skutočnej polohe. Po prijatí každej CPR správy sú informácie obsiahnuté v týchto správach porovnávané s údajmi z modelu CTFM. V prípade, ak nie sú prekročené hranice maximálnej deviácie, nebude model CTFM upravený.



Obrázok 3: Rozdelenie oblasti podľa typu poskytovaných správ [10]

Z obrázku 3 je možné dedukovať, že vo väčšine členských štátov EUROCONTROL-u je možné prijímať správy CPR a FSA, na ktorých je závislé správne počítanie informácií počas letu v modeli CTFM. Pokiaľ ide o štáty ako Kosovo a Severné Macedónsko, cez ktoré taktiež lieta denne množstvo lietadiel, bude pri akýchkoľvek zmenách na trase vychádzať väčšia

odchýlka bez možného prepočítania, keďže ATC strediská z týchto krajín neposkytujú CPR ani FSA správy. [15]

3 Softvérové inžinierstvo

Súčasne bude touto prácou vyvíjaný softvér, ktorý je priamym príkladom praktického využitia dát z NM B2B. Z pohľadu softvérového inžinierstva je potrebné zaviesť životný cyklus vývoja softvéru. Existujú rôzne metodológie, zaoberajúce sa práve touto problematikou. V mojej práci bude vývoj softvéru popísaný v nasledujúcich kapitolách, pričom sa bude vychádzať prevažne z odbornej literatúry Softwarové inžinierství [16]. Na vizualizáciu jednotlivých krokov je v softvérovom inžinierstve používaný grafický jazyk Unified Modeling Language, tzv. UML. Tento grafický jazyk je prevažne určený pre objektovo orientovaný návrh, avšak budú z neho v tejto práci využité len niektoré vhodné diagramy. Na grafickú interpretáciu sa v tejto práci bude používať program Enterprise Architect (EA). Spôsob zobrazovania jednotlivých diagramov, ktorý je predstavený v odbornej literatúre Softwarové inžinierství [16], sa mierne líši od zobrazovania v EA, avšak podstata ostáva zachovaná.

3.1 Analýza

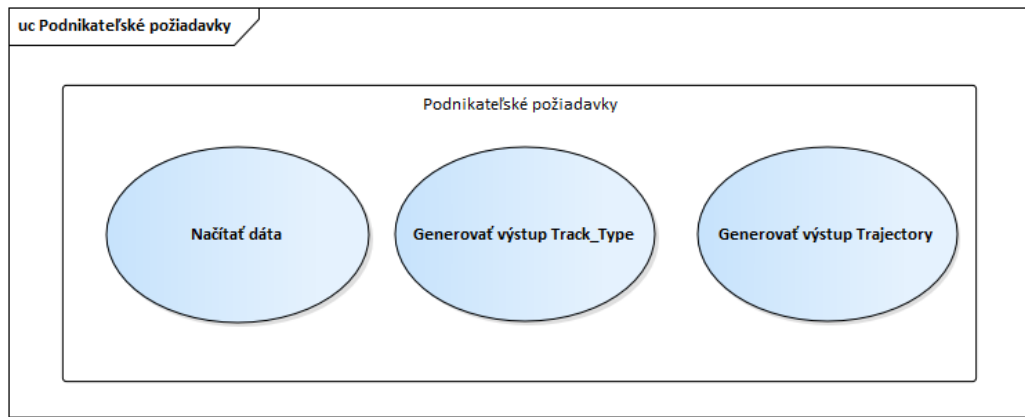
3.1.1 Špecifikácia požiadaviek

V prvom rade je podstatné definovať všetko, čo požadujeme od daného systému. Na grafické vyjadrenie sa použijú grafy typu Use case. Každý vývoj softvéru sa odvíja od určitých požiadaviek, pričom rozlišujeme štyri základné typy: podnikateľské, užívateľské, funkčné a nefunkčné požiadavky. [17] [18]

3.1.1.1 Podnikateľské požiadavky

Podnikateľské požiadavky vyjadrujú presne to, čo v počiatku potrebujeme, aby softvér vykonával. V podstate ide o celkový zámer, ktorý sa pokúšame dosiahnuť. Medzi tieto požiadavky v konkrétnom prípade využitia NM B2B bude patriť načítanie dát z Network Manager-u. Ďalším prípadom je vygenerovanie dvoch výstupov. Jeden z nich bude mať na starosti popis polohy lietadiel, výšky letu, ich azimutu a rýchlosti. Druhý bude naopak zodpovedný za popis trajektórii jednotlivých letov. [18]

Obrázok 4 graficky znázorňuje podnikateľské požiadavky vo forme Use case diagramu.



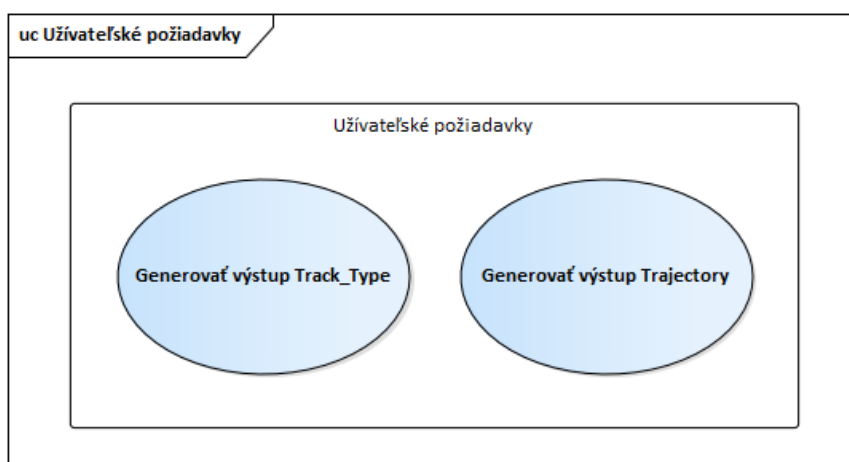
Obrázok 4: Podnikateľské požiadavky

1. Softvér bude načítat' dáta z databázy NM B2B.
2. Softvér bude generovať výstup Track_Type, kde budú definované základné informácie o lete a o jeho aktuálnej polohe.
3. Softvér bude generovať výstup Trajectory, kde budú definované informácie o trati letu.

3.1.1.2 Užívateľské požiadavky

Všetky užívateľské požiadavky by mali byť zahrnuté v podnikateľských požiadavkách. Definujú vlastnosti a správanie systému z pohľadu užívateľa. Potrebujeme, aby užívateľ na mape výslednej aplikácie mohol pozorovať aktuálny pohyb lietadiel, jeho vlastnosti a jednotlivé trajektórie. Takýmto typom požiadaviek vyhovuje generovanie už spomínaných dvoch výstupov. [17] [18]

V obrázku 5 sú pomocou Use case diagramu zobrazené užívateľské požiadavky.



Obrázok 5: Užívateľské požiadavky

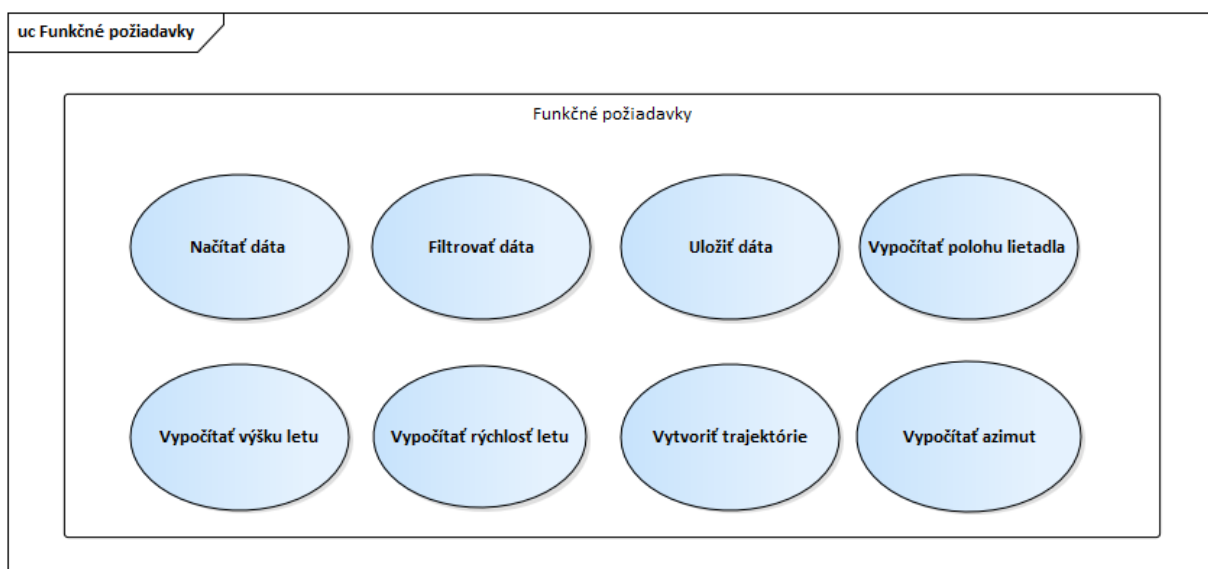
1. Užívateľ bude pozorovať aktuálnu polohu lietadiel, založenú na informáciách z generovaného výstupu Track_Type.

2. Užívateľ bude zobrazovať trať ľubovoľného letu, založenú na informáciách obsiahnutých v generovanom výstupe Trajectory.

3.1.1.3 Funkčné požiadavky

Jedným z najdôležitejších požiadaviek softvéru sú funkčné požiadavky. Tieto formulujú funkcionality systému, a teda čo potrebujeme, aby softvér vykonával pre splnenie podnikateľských požiadaviek. Základné je samotné načítanie dát z NM B2B, odfiltrovanie len na potrebné dáta, ktoré budú uložené v našej databáze pre následné použitie. Patria sem taktiež všetky výpočty potrebné k definovaniu aktuálnej polohy lietadiel, výpočty rýchlosti, výšky a azimutu lietadla. Rovnako dôležité je správne využiť dáta z našej vytvorenej databázy aj na získanie trajektórií letov. [16][18]

V obrázku 6 je využitý Use case diagram na vyjadrenie funkčných požiadaviek.



Obrázok 6: Funkčné požiadavky

1. Softvér bude načítavať dáta z databázy NM B2B.
2. Softvér odfiltruje dáta na potrebné dáta.
3. Softvér uloží potrebné dáta do vlastnej databázy.
4. Softvér vypočíta aktuálnu polohu lietadla.
5. Softvér vypočíta momentálnu výšku letu.
6. Softvér vypočíta aktuálnu rýchlosť lietadla.
7. Softvér vytvorí trajektóriu odpovedajúcu trati letu.
8. Softvér vypočíta azimut lietadla.

3.1.1.4 Nefunkčné požiadavky

Posledným, nie menej dôležitým typom požiadaviek, sú nefunkčné požiadavky. Veľmi úzko súvisia s funkčnými požiadavkami. Nefunkčné požiadavky totiž definujú, akým spôsobom majú byť funkčné požiadavky implementované do systému. Medzi ne patrí určenie programovacieho jazyka, ako aj rozhrania, v ktorom sa bude programovanie softvéru vykonávať. Stanovujú sa nimi taktiež požiadavky na spoľahlivosť a časovú odozvu systému. [16][18]

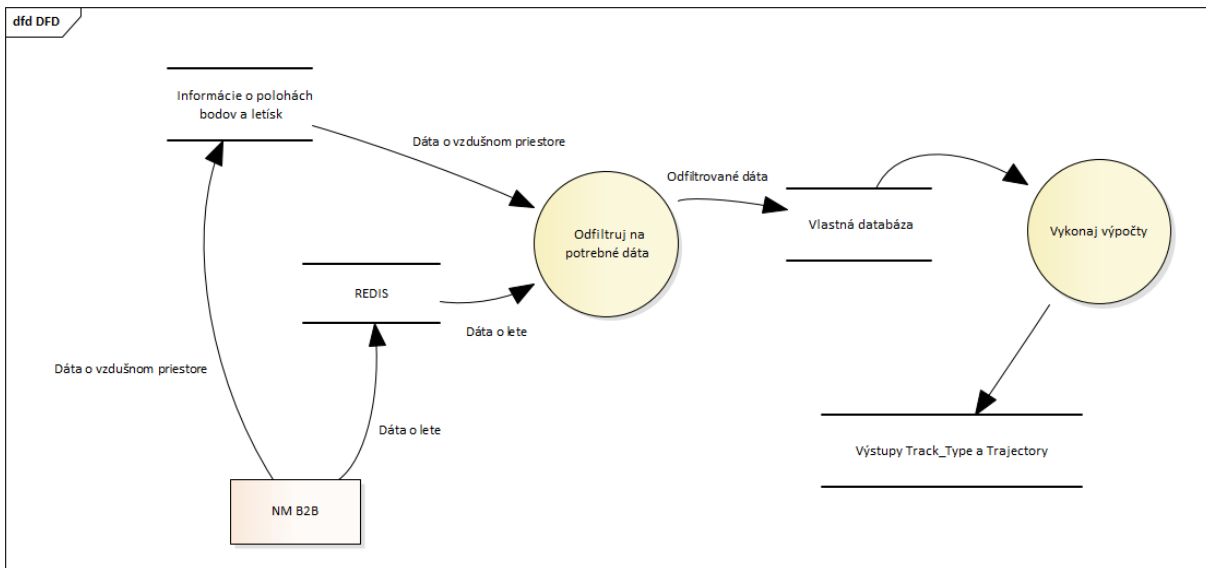
Zoznam nefunkčných požiadaviek:

1. Softvér bude naprogramovaný v programovacom jazyku Python 3 [19].
2. Softvér bude naprogramovaný v prostredí Django [20].
3. Softvér bude opakovaným počítaním minimalizovať odchýlky.
4. Softvér bude priebežne aktualizovať vlastnú databázu.

3.1.2 Diagramy systému

3.1.2.1 Diagram toku údajov

Diagram toku údajov, známy ako Data flow diagram, sa používa na grafické vyjadrenie toku dát v systéme. Je v ňom zobrazený celkový spôsob, akým údaje prechádzajú jednotlivými komponentami systému. V konkrétnej problematike tejto práce sa tok údajov začína v komponente NM B2B. Z databázy NM B2B boli získané dáta o vzdušnom priestore a letové dáta. Dáta o vzdušnom priestore sú uložené v súbore points.json, ktorý obsahuje informácie o polohe význačných bodov a letísk. Komponent REDIS je zodpovedný za získavanie letových dát z databázy NM B2B. V rámci získavania týchto dát sa rovno údaje odfiltrujú len na tie potrebné, pričom sa z nich následne vytvorí vlastná databáza. Následne sú použité dáta vo výpočtoch a pokračujú vo forme dvoch výstupov, ktoré sú generované konverzným modulom. Zobrazovač spoločnosti CS SOFT a.s. má za úlohu načítať dáta z výstupov konverzného modulu a zobraziť vo vytvorenej aplikácii, s ktorou bude mať možnosť užívateľ priamo interagovať. Dátový tok je v obrázku 7 zobrazený v notácii Yourdon/DeMarco. [16][17]

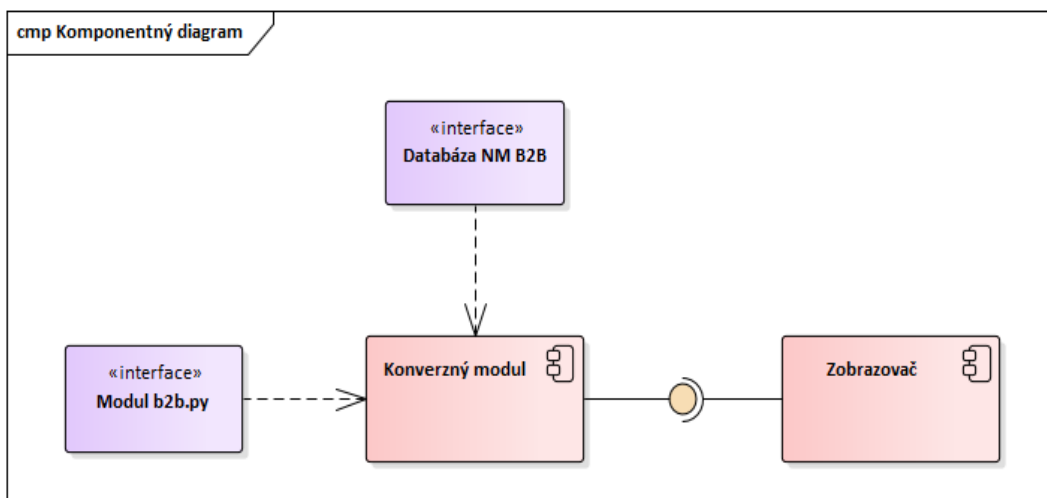


Obrázok 7: Diagram toku údajov

3.1.2.2 Komponentný diagram

Komponentný diagram má za úlohu vyjadriť prepojenie jednotlivých častí systému. Sústredí sa na to, odkiaľ sa údaje získavajú a kam ďalej pokračujú. V nasledujúcom diagrame je vyobrazená súvislosť hlavných komponentov systému zodpovedného za zobrazenie aktuálnej polohy a tratí letov. Konverzný modul, ktorý je programovaný v rámci tejto práce, bude začlenený do výslednej aplikácie. Komponent reprezentujúci konverzný modul, je závislý na dvoch rozhraniach [17]:

- Databáza NM B2B
 - z ktorej sa získavajú potrebné údaje
- Modul b2b.py
 - slúži na získanie údajov z NM B2B



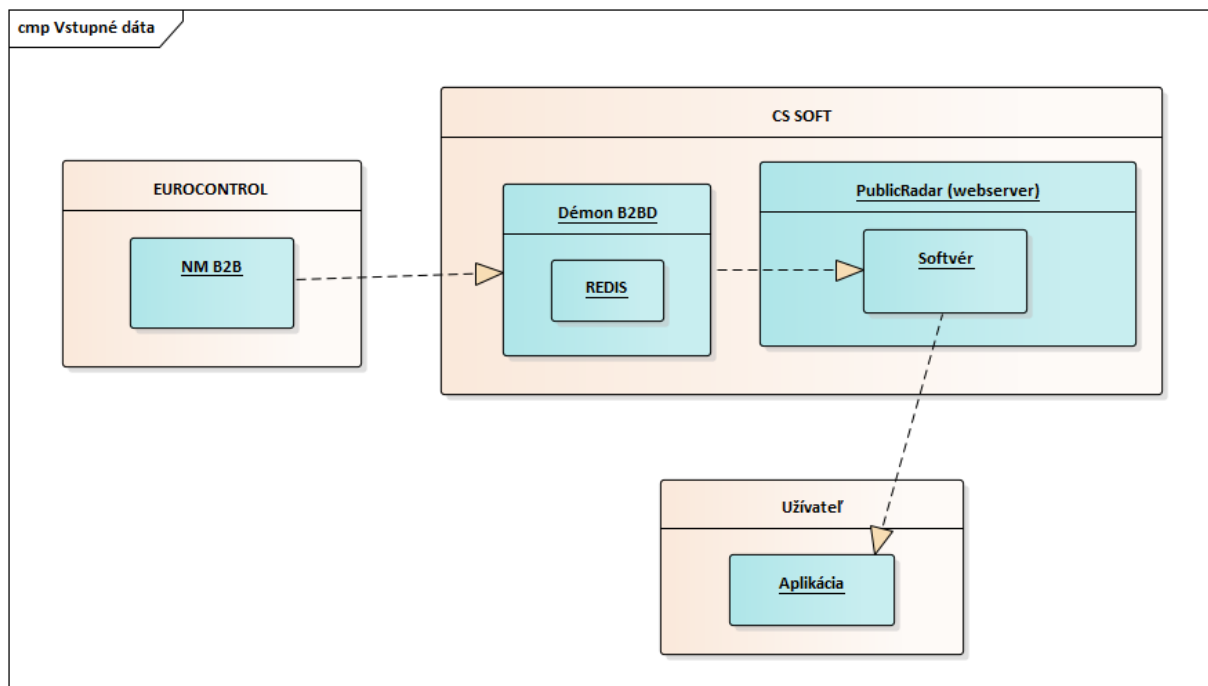
Obrázok 8: Komponentný diagram

Obrázok 8 reprezentuje komponentný diagram, v ktorom je zobrazené, že konverzný modul je priamo závislý na dvoch komponentoch (modul b2b.py a databáza NM B2B). Výstupy konverzného modulu spracováva zobrazovač, ktorý je súčasťou aplikácie spoločnosti CS SOFT a.s..

3.1.3 Analýza údajov

3.1.3.1 Analýza vstupných údajov

Ako je zmienené v predošlých kapitolách, zdroj dát sa nazýva NM B2B a organizácia EUROCONTROL pôsobiaca v tejto záležitosti ako poskytovateľ, je označovaná ako Network Manager (NM). Programovanie konverzného modulu je postavené na týchto dátach, avšak nepristupuje sa k nim priamo. Spoločnosť CS SOFT a.s. pripravila pre tento účel špeciálne rozhranie, ktoré je založené na démonovi B2BD a na databáze Redis. Démon zaisťuje zabezpečenú komunikáciu s B2B a databáza Redis sprostredkováva otvorené rozhranie. K potrebným vstupným údajom sa pristupuje nasledovne. Aplikácia, respektíve softvér, zadá požiadavku na dáta. Démon B2BD požiadavku vyhodnotí a pošle dotaz na zdroj B2B. Démon počas celého priebehu získavania údajov zabezpečuje aj ďalšie dôležité úlohy. Zaisťuje certifikáciu, prihlásenie, kontroly a taktiež pripraví dáta na následnú lepšiu manipuláciu. Dáta z B2B sa získavajú vo forme XML a démon ich spracuje na vhodnejší JSON formát. Softvér získava údaje v tejto podobe a vytvára konverzný modul pre výslednú aplikáciu. Celý prístup k týmto dátam je vizuálne znázornený v obrázku 9.



Obrázok 9: Diagram toku vstupných údajov

Jednoduchá ukážka takýmto spôsobom získaných dát je zobrazená na obrázku 10. Jedná sa o spomínané dáta o lete a letovom pláne vo formáte JSON, ktorý v sebe o každom lete obsahuje všetky základné informácie potrebné na vytvorenie výstupov konverzného modulu. Jednotlivé informácie a ich názvy zodpovedajú definíciám z kapitoly 2.3. Na získanie dát o lete a letovom pláne je využívaná služba Flight Services. Modul, ktorý je zodpovedný za vytváranie dotazov na Redis databázu a následné poskytnutie dát v JSON formáte je modul b2b.py (Príloha 1), ktorý bol vytvorený spoločnosťou CS SOFT a.s., pričom mojou úlohou je pracovať s dátami s využitím tohto formátu.

```
{"flight": {"flightId": {"id": "AT01522847", "keys": {"aircraftId": "EJU3642", "aerodromeOfDeparture": "LKPR", "nonICAOAerodromeOfDeparture": "False", "airFiled": "False", "aerodromeOfDestination": "LEBL", "nonICAOAerodromeOfDestination": "False", "estimatedOffBlockTime": "2021-07-19 09: 15"}}, "aircraftType": "A319", "estimatedTimeOfArrival": "2021-07-19 11: 20", "ctfmPointProfile": [ {{ "timeOver": "2021-07-19 09: 34: 15", "flightLevel": { "unit": "F", "level": 240}, "entryTrend": "CRUISE", "exitTrend": "CRUISE", "associatedRouteOrTerminalProcedure": {"DCT": "None"}, "coveredDistance": 80, "isVisible": "True", "point": {"pointId": "DOBEN"}, "flightPlanPoint": "True"}, "timeOver": "2021-07-19 10: 03: 21", "flightLevel": { "unit": "F", "level": 390, "ground": "False", "ceiling": "False"}, "entryTrend": "CRUISE", "exitTrend": "CRUISE", "associatedRouteOrTerminalProcedure": { "DCT": "None"}, "coveredDistance": 303, "isVisible": "True", "point": { "nonPublishedPoint-GeoPoint": {"position": { "latitude": {"angle": "463527", "side": "NORTH"}, "longitude": { "angle": "0110337", "side": "EAST"}}}}}]
```

Obrázok 10: Vstupné dáta v JSON formáte

Všetky údaje zo vstupných dát o letoch sú prehľadne rozdelené v jednotlivých sekciách JSON formátu, čo umožňuje jednoduchú manipuláciu s dátami. V obrázku 10 sa nachádza popis trajektórie letu z modelu CTFM („ctfmPointProfile“). V ňom sa v ukážke nachádzajú dva spôsoby popisu dvoch rôznych význačných bodov, pričom prvý z nich je bod DOBEN a druhý bod nemá ICAO identifikátor, a preto je jeho poloha udaná v súradniciach zemepisnej šírky a dĺžky.

Do podoby zobrazenej na obrázku 10 sa údaje z databázy NM B2B získajú prostredníctvom funkcií z modulu b2b.py. V súbore background.py (Príloha 1) sa optimalizujú požiadavky na konkrétne dáta. Na obrázku 11 je zobrazená časť súboru background.py. Konkrétne sa jedná o spôsob, akým sú dáta z NM B2B získané v podobe JSON (obrázok 10). Podstatné je vyplniť vo využitej funkcii `b2b_request_response.get_flight_data()` 3 atribúty, podľa ktorých bude vytvorený dotaz na NM B2B databázu. V prípade tejto práce sa pracuje so všetkými letmi, ktoré na svojej trati prelietajú cez vzdušný priestor Českej republiky, a preto sa pod prvý atribút vyplní „LK“ (NM identifikátor vzdušného priestoru Českej republiky). Ďalším parametrom je časový interval definujúci, aké dáta požadujeme. Z obrázku 11 je zreteľné, že sa vytvára dotaz na dáta pol hodinu pred a pol hodinu po aktuálnom čase. Následne sa doplnia parametre

definujúce konkrétne požadované informácie. V prípade zobrazenom na obrázku 11 sú to parametre, ktoré požadujú informáciu o type lietadla, predpokladanom čase priletu a informácie o bodovom profile CTFM modelu.

```
43 | flight_data = b2b_request_response.get_flight_data(  
44 |     'LK',  
45 |     now - timedelta(hours=0.5),  
46 |     now + timedelta(hours=0.5),  
47 |     ['aircraftType', 'estimatedTimeOfArrival', 'ctfmPointProfile'])
```

Obrázok 11: Dotaz na dáta

Pre vytvorenie požadovaných výstupov konverzného modulu sú potrebné aj dáta týkajúce sa vzdušného priestoru, konkrétne údaje získané prostredníctvom služby Airspace Services, z ktorých sú získané presné informácie o polohe letísk a význačných bodoch. Dáta o vzdušnom priestore sa nezískavajú vo forme JSON, ako to je v prípade dát o lete a letovom pláne. Pre dáta o vzdušnom priestore je potrebné požiadať o XML súbory. Spoločnosť CS SOFT a.s. poskytla prístup k týmto XML súborom, z ktorých je mnou vytvorený súbor points.json. Keďže sa jedná o rozsiahle XML súbory, bolo potrebné získať len požadované informácie a prehľadne ich uložiť pre následnú prácu. S využitím aplikácie Visual Studio Code je naprogramovaný v programovacom jazyku Python 3 skript, ktorý načíta získané XML súbory (airportheliport.xml, designatedpoint.xml) a z nich vytvorí prehľadný JSON súbor s názvom points.json (viď Príloha 2). Týmto spôsobom sú získané informácie o polohe letísk, ktoré sú vo výslednom JSON formáte zobrazené v obrázku 12.

```
52073 | {  
52074 |     "Point": {  
52075 |         "Type": "Airport/Heliport",  
52076 |         "Name": "LZIB",  
52077 |         "Position": {  
52078 |             "Latitude": "48.17",  
52079 |             "Longitude": " 17.212777777777777"  
52080 |         }  
52081 |     }  
52082 | },
```

Obrázok 12: Dáta o polohe letiska

Súčasťou súboru points.json sú okrem polohy všetkých letísk aj polohy všetkých význačných bodov, ktoré sú definované vlastným identifikátorom. V obrázku 13 je zobrazené, akým spôsobom sú uložené tieto informácie.

```

150723 | {
150724 |   "Point": {
150725 |     "Type": "DesignatedPoint",
150726 |     "Name": "DOBEN",
150727 |     "Position": {
150728 |       "Latitude": "49.77333333333333",
150729 |       "Longitude": " 13.561666666666667"
150730 |     }
150731 |   }
150732 | },

```

Obrázok 13: Dáta o polohe bodu

Z obrázkov 12 a 13 je zreteľné, že na rozlíšenie letísk od význačných bodov, sú použité označenia Airport/Heliport a DesignatedPoint, ktoré priamo definujú druh informácie. Pod atribútom „Name“ sa nachádza ICAO označenie konkrétneho letiska/bodu a pod atribútom „Position“ sa vyjadruje ich poloha pomocou súradníc zemepisnej šírky a dĺžky.

3.1.3.2 Analýza formátu výstupných údajov

Konverzný modul (3.2.1) generujúci dva výstupné súbory musí vyhovovať požiadavkám zobrazovača, ktorý bude modul načítavať a vytvárať z neho výslednú aplikáciu. Tým, že zobrazovač bol naprogramovaný pre iné účely a dávno predtým, ako sa začala vytvárať táto aplikácia, bolo potrebné postupovať podľa vopred stanovených pravidiel. Formát výstupných údajov konverzného modulu sa musí zhodovať s kritériami zobrazovača. K tejto skutočnosti sa pristupovalo tak, že bola mnou vytvorená šablóna, do ktorej boli vkladané vypočítané údaje o lete. Vo finálnej verzii sa nachádzajú upravené tvary získaných vstupných údajov v požadovanom formáte.

V obrázku 14 je zobrazený výstup Track_Type (3.2.1.2), ktorý predstavuje prvý výstupný súbor generovaný konverzným modulom. Je možné v ňom pozorovať niekoľko zmien oproti formátu vstupných údajov. Ak sa vrátíme k ukážke vstupných dát z predchádzajúcej kapitoly, zistíme, že pre vytvorenie konverzného modulu je potrebné konvertovať údaje z JSON formátu do výstupného formátu XML, ktorý bude načítaný výslednou aplikáciou.

Vychádzajúc z faktu, že cieľom je premietiť polohu lietadiel v reálnom čase, tak pod atribútom „time“ sa bude vždy nachádzať aktuálny čas, pričom sa použije koordinovaný svetový čas UTC (Coordinated Universal Time). Atribúty vyjadrujúce polohu, výšku, rýchlosť a azimut lietadla sú osobitne počítané a prispôbované aktuálnej situácii. Podrobnejší výpočet sa nachádza v kapitole 3.2. V jednom momente sa budú vo výstupe Track_Type zobrazovať všetky lety, ktoré začali svoj let a budú uložené pod atribútom XML výstupu „trackTypeArray“. Požadované tiež je, aby sa pri každom dotaze na výstup Track_Type jednotlivé hodnoty prepočítali a upresnili.

```

▼<trackTypeArray xmlns="http://www.cssoft.cz/masox/schema/atc/data">
  ▼<track time="2021-07-26T06:42:28.000Z" trackNumber="1696906">
    <source SAC="49" SIC="10" SPC="0"/>
    <flightPlanData callsign="ASL82J" vehicleType="AIRCRAFT"/>
    ▼<kineticData lat="48.848925" lon="15.666348" altitude="5486.400000000001">
      <positionDer speed="132.60562951775134" direction="319.68256953657664"/>
    </kineticData>
  </track>

```

Obrázok 14: Výstup Track_Type

V obrázku 14 je možné pozorovať, že sa jedná o informáciu z dňa 26.7.2021 o čase 6:42:28 UTC. „TrackNumber“ reprezentuje identifikáciu letu získanú z informácie IFPLID (2.3.1.1). „Callsign“ – volacia značka lietadla, „lat“, „lon“ – vypočítaná poloha v aktuálnom čase, „altitude“ – výška v metroch vypočítaná na základe informácie o letovej hladine, „speed“ – rýchlosť lietadla vzhľadom k povrchu zeme (m/s), „direction“ – predstavuje kurz letu.

Druhou časťou generovanou konverzným modulom je výstup Trajectory (obrázok 15), ktorý má za úlohu zjednotiť informácie o trati jednotlivých letov. V ukážke sa jedná o let AMQ256, konkrétne o jeho trať vyjadrenú v súradniciach zemepisnej šírky a zemepisnej dĺžky získaných z polohy jednotlivých význačných bodov, ktoré sú navzájom poprepájané a dohromady vytvoria požadovanú trajektóriu. Celá trať letu je zobrazená vďaka tomu, že jednotlivé význačné body sú v smere letu zoradené pod atribútom „LineString“. Následne sú uložené pod atribútom „Point“ všetky význačné body, ktoré sú definované ICAO identifikátorom, čo umožní zvýrazniť tieto body na trati.

```

{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [{
    "type": "Feature",
    "properties": {
      "callsign": "AMQ256",
      "trackNumber": 1733883
    },
    "geometry": {
      "type": "LineString",
      "coordinates": [
        [ 16.885833333333334, 51.102777777777774 ], [ 16.885833333333334,
        51.102777777777774 ], [ 16.683888888888887, 51.053888888888885 ], [ 17.443333333333333,
        50.388333333333335 ], [ 17.516944444444444, 50.27 ], [ 17.950277777777778, 49.02472222222222 ],
        [ 18.133611111111111, 45.7875 ], [ 18.723888888888887, 43.85027777777778 ], [ 19.313888888888889,
        41.77527777777778 ], [ 19.720555555555556, 41.414722222222224 ], [ 19.720555555555556,
        41.414722222222224 ]
      ]
    },
    "type": "Feature",
    "properties": {
      "name": "PEKOT"
    },
    "geometry": {
      "type": "Point",
      "coordinates": [ 17.443333333333333, 50.388333333333335 ]
    }
  ]
}

```

Obrázok 15: Výstup Trajectory

Bližšie informácie o vytvorení konverzného modulu sa nachádzajú v kapitole 3.2.1.

3.2 Návrh a implementácia

Konkrétne pre túto úlohu, kde je potrebné získavať a ukladať veľké množstvo údajov, je zvolený Django Framework za prostredie, v ktorom bude prebiehať následné programovanie. Django, založený na programovacom jazyku Python, poskytuje veľkú variabilitu a umožňuje vytvárať databázy, ukladať v nich údaje a generovať výsledné HTTP stránky. Tieto skutočnosti nás presvedčili o tom, že práve Django Framework je najvhodnejší pre túto prácu. [20]

Súčasťou tejto práce sú 3 prílohy:

- Príloha 1
 - obsahuje kompletný konverzný modul naprogramovaný v prostredí Django.
- Príloha 2
 - obsahuje kód programovaný v jazyku Python 3, ktorý načíta XML súbory a vytvára súbor points.json. Súbor points.json je následne využitý v konverznom module pre získavanie informácií o polohách letísk a bodov.
- Príloha 3
 - obsahuje informácie zaznamenávané počas testovania výsledkov v tabuľkách programu Microsoft Excel.

3.2.1 Konverzný modul

Konverzný modul je programovaný v prostredí Django, ktoré umožňuje načítavať a ukladať dáta v databáze. Konverzný modul je implementovaný v štyroch súboroch: models.py, background.py, views.py, urls.py (Príloha 1). Súbor, v ktorom sú definované jednotlivé položky všetkých databázových tabuliek vytvorených v tejto práci, sa nazýva models.py. Súbor models.py slúži na definovanie parametrov a atribútov, ktoré sa budú v databáze ukladať. Každý model definovaný v súbore models.py predstavuje samostatnú databázovú tabuľku. V rámci tejto práce boli vytvorené 3 tabuľky (3.2.1.1). [20]

Dáta sa po načítaní z databázy NM B2B vložia do vytvorenej databázy prostredníctvom funkcie update_db_flights_dst(), ktorá je definovaná v súbore background.py. Tento súbor obsahuje funkciu, ktorá bude prebiehať na pozadí, pričom sa bude spúšťať v pravidelných intervaloch.

Súbor s názvom views.py slúži na spúšťanie jednotlivých funkcií a na základe nich generuje http výstupy. V tomto súbore sa nachádza funkcia schedule_db_flights_dst(), ktorá spustí aktualizáciu dát v našej databáze prostredníctvom funkcie update_db_flights_dst() zo súboru background.py a nastaví opakované spustenie v intervale 5 minút. V súbore views.py sú definované ďalšie dve funkcie (track_type(), trajectory()), ktoré sú zodpovedné za generovanie dvoch výstupov potrebných pre správne fungovanie výslednej aplikácie.

Konkrétny tvar opisujúci webové adresy, na ktorých budú zobrazené výstupy jednotlivých funkcií, sa zadáva do súboru urls.py.

Konverzný modul generuje dva výstupy, ktoré sú voľne prístupné ako http stránky a ich programovanie je bližšie vysvetlené v nasledujúcich podkapitolách.

3.2.1.1 Vytvorenie vlastnej databázy

Prvým krokom návrhu je potrebné uvedomiť si, že pri jedinom dotaze na údaje z databázy NM B2B sa dožaduje nespočetné množstvo informácií. Odpoveď na požiadavku v takejto rozsiahlosti môže trvať niekoľko desiatok sekúnd. Princípom tejto práce je zobraziť polohu lietadiel v aktuálnom čase, pričom sú samozrejme potrebné najmenšie možné časové odchýlky. Nebolo by preto efektívne, požadovať od databázy NM B2B tie isté údaje v periode niekoľkých sekúnd.

Riešením dlhotrvajúcich odpovedí na dotazy je vytvorenie vlastnej databázy, do ktorej sa budú priebežne ukladať dáta z NM B2B každých 5 minút. Predpokladá sa, že údaje sa v tak krátkom časovom intervale nebudú radikálne meniť, a zároveň sa odstráni problém dlhotrvajúcej odozvy NM B2B databáz. Celkovo budú v tejto práci vytvorené 3 databázové tabuľky.

Tabuľka 1: Záznam v tabuľke Flight

lfplid	callsign	eobt	adep	ades	at	eta
AT03420336	AAR793	2021-03-18 10:25	UDD	EGSS	B744	2021-03-18 13:31

Prvá databázová tabuľka s názvom Flight, uchováva základné letové údaje. Ukážku atribútov a údajov ukladaných do tabuľky Flight je zobrazená v tabuľke 1. Údaj lfplid je použitý pre identifikáciu letu v konverznom module, pričom figuruje ako primárny kľúč v databáze. Volacia značka lietadla (callsign) z databázovej tabuľky Flight je taktiež využitá vo výstupoch konverzného modulu, pričom tento údaj je zobrazovaný vo výslednej aplikácii spoločnosti CS SOFT a.s.. Informácie o letisku odletu (ADEP) a letisku príletu (ADES) sú pri zobrazení trajektórie a výpočtoch polohy použité ako prvý a posledný bod letu lietadla. Informácie o predpokladanom čase začatia rolovania (EOBT), type lietadla (AT) a predpokladanom čase príletu (ETA) sú zahrnuté v konverznom module, ale pri výpočtoch sa nebudú využívať.

Tabuľka 2: Záznam v tabuľke Point

Point_id	Time_over	Lat_deg	Lon_deg	Flight_level	Flight
SOTOG	2021-03-18 10:27:50	52.1367	31.5556	264	Flight_id
„none“	2021-03-18 11:42:20	50.4445	32.1112	300	Flight_id

Tabuľka 2 zobrazuje ukážku záznamu z databázovej tabuľky s názvom Point. Táto tabuľka má za úlohu ukladať dáta definujúce trajektóriu letu, ktorá je definovaná modelom CTFM (2.3.3). Informácie z tejto databázovej tabuľky sú ďalej využité v konverznom module pri počítaní polohy, výšky a azimutu lietadla v reálnom čase. Pod atribútom Point_id sú uložené ICAO identifikátori bodov. V prípade bodov definovaných iba súradnicami zemepisnej šírky a dĺžky, sa pod atribútom Point_id nachádza „none“, nakoľko takýto bod nemá pridelený ICAO identifikátor (2.3.2). Pod atribútom Flight je uložený celý objekt konkrétneho letu, ktorý je uložený ako cudzí kľúč. V prípade, ak dôjde k aktualizácii a zmene informácii o lete (2.3.3), je potrebné, aby boli v databáze Point len aktuálne dáta. Aktuálne dáta sú docielené v databáze tým, že pri každom načítaní dát z NM B2B sú staré dáta nahradené novšími.

Tabuľka 3: Záznam tabuľky Route

Route_point	Flight
SOTOG	Flight_id

Tabuľka 3 zobrazuje ukladanie ICAO identifikátorov význačných bodov na trati letu v databázovej tabuľke Route. Informácie z tejto databázovej tabuľky sú použité pri tvorbe výstupu Trajectory, v ktorom sú tieto body zvýraznené.

Takýmto spôsobom získame z relatívne veľkého množstva údajov tri tabuľky, v ktorých je možné naďalej prehľadávať dáta a využiť ich pre ďalší postup. Za vytvorenie databázy je zodpovedný súbor models.py a ukladanie údajov do konkrétnych databázových tabuliek má na starosti funkcia update_db_flights_dst() v súbore background.py. Zároveň prostredie Django umožňuje spúšťať túto funkciu na pozadí, čo znamená, že sa nastaví časový interval, v ktorom bude spustená funkcia update_db_flights_dst() (v našom prípade to je 5 minút). Takýmto spôsobom sa získavajú dáta z EUROCONTROL-u každých 5 minút a následne sa podľa nich aktualizujú dáta v tabuľkách Flight, Point, Route.

V tejto databáze sa neudržiavajú dáta po celú dobu, ale z databázovej tabuľky Flight sa odstránia údaje o letoch, ktorých údaj o predpokladanom čase priletu (ETA) je viac ako hodinu starý. Keďže sa pracuje s údajmi pre zobrazenie polohy a trate v aktuálnom čase, nie je

potrebné, aby sa v databáze uchovávali staršie dáta. Nakoľko je primárny kľúč z databázy Flight vo vzťahu s cudzím kľúčom z databázových tabuliek Point a Route, dôjde taktiež k zmazaniu informácií o bodoch letu aj z týchto databázových tabuliek.

3.2.1.2 Track_type

Pod názvom Track_type je reprezentovaný prvý výstup konverzného modulu v podobe XML (dostupný na odkaze: http://www.publicradar.cz/panismajoo/lightatm/flightdata/track_type). V rámci neho budú v aktuálnom čase poskytované jednotlivé informácie o lete, vrátane polohy lietadla, výšky, rýchlosti a azimutu lietadla.

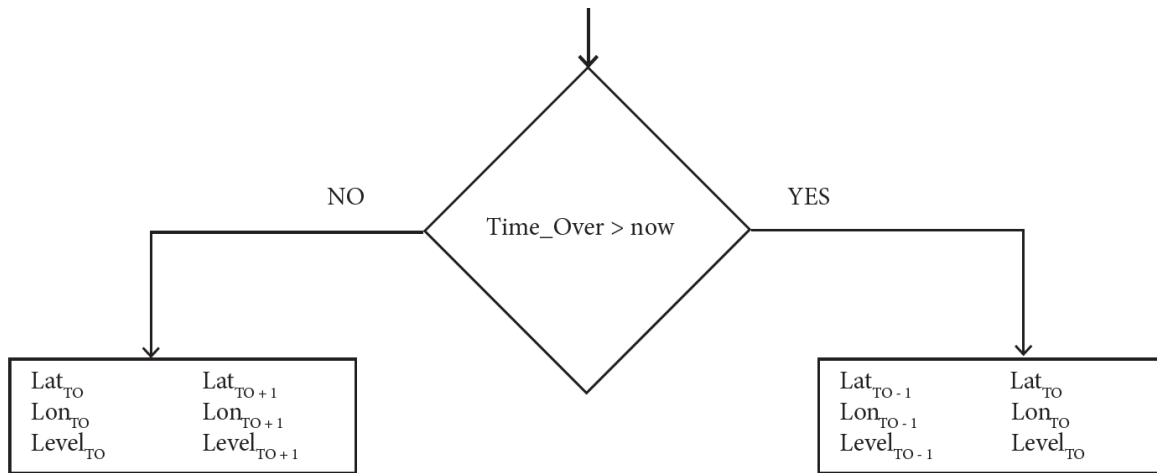
Pri programovaní tohto výstupu bolo potrebné dodržať požadovaný formát (viď 3.1.3.2), aby následne zobrazovač aplikácie spoločnosti CS-SOFT a.s. bol schopný správne načítať vypočítané informácie a zobrazíť ich v aplikácií.

Po načítaní dát do vlastnej databázy (viď 3.2.1.1) je známe, že každé lietadlo z databázy má definované význačné body, ktoré bude na svojej trati prelietať, spolu s informáciami o výške a čase preletu. Pre generovanie informácií v aktuálnom čase je zvolený nasledovný postup. V programovacom jazyku Python 3 sa v súbore views.py vo funkcii track_type() (Príloha 1) pre každý let vytvorili zoznamy Lat, Lon, Time_Over. Do týchto zoznamov sú vkladané informácie o konkrétnych bodoch na trati s tým, že indexy jednotlivých položiek korešpondujú s tým istým bodom.

- 1) Vytvor pre konkrétny let zoznam Lat, Lon, Time_Over
 - 2) Ulož položky do zoznamov. (Indexy položiek vzťahujúce sa ku konkrétnemu bodu sú rovnaké)
- V ďalšom kroku je potrebné zistiť, medzi ktorými dvoma bodmi sa lietadlo nachádza v aktuálnom momente. Vypočítame si ku každej položke zo zoznamu Time_Over rozdiel medzi aktuálnym časom a časom preletu bodu. Počítať budeme v absolútnej hodnote a uložíme všetky rozdiely do zoznamu Time_Dif, v ktorom nájdeme minimum. Minimum reprezentuje bod, ku ktorému má lietadlo momentálne najbližšie.
- 3) Vypočítaj rozdiel medzi každou položkou zo zoznamu Time_Over a aktuálnym časom.
 - 4) Ulož rozdiely v absolútnej hodnote do zoznamu Time_Dif. (Opäť budú indexy položiek korešpondovať s indexami z predošlých zoznamov)
 - 5) Nájdí minimum v zozname Time_Dif.

Po nájdení najbližšieho bodu, je potrebné zistiť, či sa bod nachádza pred alebo za lietadlom. Na to nám pomôže podmienka $\text{If time_over} > \text{now}$, pričom pri splnení tejto podmienky budeme vedieť, že lietadlo sa nachádza pred týmto bodom.

6) Over podmienku $\text{Time_Over} > \text{now}$.



Obrázok 16: Grafické znázornenie podmienky

Po overení podmienky sa uložia dvojice premenných v poradí rešpektujúcom smer letu do zoznamov označených ako wp (wanted points/potrebné body). V súbore views.py tento krok vo funkcii track_type vyzerá nasledovne:

```
latwp.append(latTO)
```

```
latwp.append(latTO+1)
```

Vďaka vkladaniu informácií o požadovaných bodoch v poradí rešpektujúcom smer letu sa v týchto zoznamoch budú nachádzať súčasne vždy dva údaje, pričom údaj s indexom 0 bude bod nachádzajúci sa pred aktuálnou polohou a údaj s indexom 1 prislúcha nasledujúcemu bodu na trati.

V prípade, ak sa nachádza najbližší bod pred lietadlom, uložia sa najskôr hodnoty bodu s indexom menším o 1 a následne hodnoty patriace najbližšiemu bodu. Ak táto podmienka nebude platiť, uložia sa hodnoty v opačnom poradí.

Takýmto spôsobom boli nájdené dva body, medzi ktorými sa bude počítať výška, rýchlosť a azimut lietadla v aktuálnom čase. Bližšie informácie o výpočte týchto údajov sú vyjadrené v kapitole 3.2.2. Spôsobu interpolácie pre získanie polohy medzi dvoma bodmi v aktuálnom čase sa venuje kapitola 3.2.3.

Po vypočítaní všetkých požadovaných informácií, je generovaný funkciou track_type() XML výstup, do ktorého sa vyplnili jednotlivé položky definujúce informácie o lete v aktuálnom čase.

3.2.1.3 Trajectory

Druhý výstup konverzného modulu je výstup vo formáte GeoJson, ktorý je označený pod názvom Trajectory. Tento výstup priamo definuje trajektórie pre jednotlivé lety a je dostupný na odkaze: <http://www.publicradar.cz/panismajoo/lightatm/flightdata/trajectory>.

Celý výstup je sprístupnený ako html stránka, ktorá obsahuje trajektórie všetkých letov vo forme GeoJson. Pre rozlíšenie trajektórii jednotlivých letov je použitý atribút TrackNumber, ktorý zaručí, že pri požiadavke na trať konkrétneho letu ju skutočne získame. Všetky body na trati sú pospájané tým, že boli postupne v smere letu uložené pod GeoJson atribútom LineString. Vďaka tomu môžeme pozorovať jednotlivé súradnice celého letu, pričom zobrazovač dokáže vykresliť LineString ako krivku, ktorá bude reprezentovať trajektóriu letu. Následne sú v GeoJSON výstupe generovanom funkciou trajectory() definované pod atribútom „Point“ aj známe body, ktoré chceme, aby boli na mape zvýraznené. Zobrazovač zobrazí okolo všetkých bodov označených atribútom „Point“ červený kruh.

3.2.2 Základné informácie o lete

Zobrazenie základných informácií o lete je nepostrádateľné pre rozlíšenie jednotlivých letov. Podobným spôsobom, ako sa zobrazujú tieto informácie na obrazovkách riadiacich letovej prevádzky, sa budú zobrazovať aj na obrazovkách užívateľov. Na štítkoch, ktoré sa nachádzajú na obrazovke v bezprostrednej blízkosti od symbolu lietadla, bude zobrazená volacia značka lietadla, výška a rýchlosť letu. Na obrázku 17 je vyobrazený vzhľad výslednej aplikácie, ktorá čerpá dáta z konverzného modulu, vytvoreného v tejto práci.



Obrázok 17: Zobrazenia informácií o lete vo výslednej aplikácii

Do výslednej podoby na obrazovke užívateľa sa dostanú informácie z výstupov konverzného modulu. Časť konverzného modulu, ktorá je zodpovedná za prínos týchto údajov, je práve výstup Track_Type.

3.2.2.1 Volacia značka lietadla

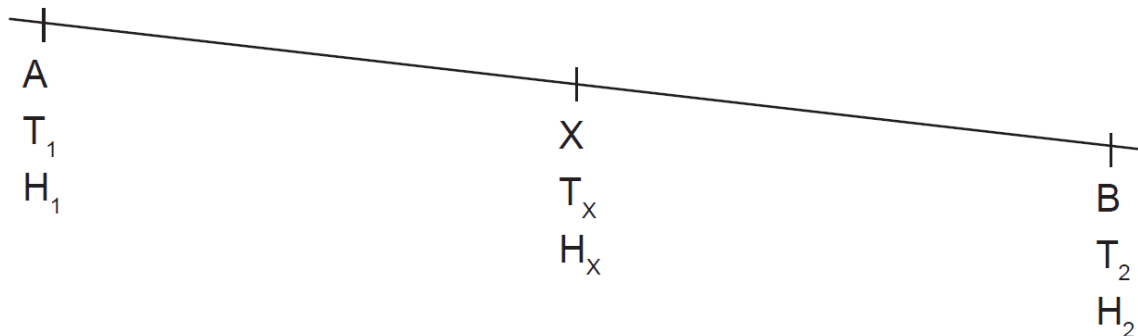
Zobrazenie volacej značky lietadla na obrazovke užívateľa je nevyhnutné pre rozlíšenie konkrétneho lietadla. Z obrázku 17 je zrejmé, že zobrazené lietadlo reprezentuje lietadlo s jedinečnou volacou značkou EJU61DY. Keďže každé lietadlo má svoju vlastnú volaciu

značku, je pre dané lietadlo využitá pre jeho identifikáciu v konverznom module a aj na obrazovke užívateľa.

3.2.2.2 Výška letu

Lietadlá majú na svojej letenej trati, ktorá sa skladá z význačných bodov, predom definované letové hladiny, v ktorých sa musia pri prelete bodu pohybovať. Pri každom význačnom bode sa nachádza v dátach z databázy NM B2B aj údaj o letovej hladine. Tieto údaje boli vyplnené do našej databázovej tabuľky význačných bodov Point pod názvom Flight_level. Tým, že letová hladina je známa u dvoch po sebe idúcich bodoch, bude sa interpolovať, aby sa získala výška v aktuálnom čase.

Pre prípad, že lietadlo bude klesať, výška, v ktorej sa letí, sa vypočíta podľa nasledovného spôsobu. Táto situácia je zobrazená v obrázku 18.



Obrázok 18: Grafické znázornenie situácie pri výpočte výšky

Známe hodnoty: T_1 - Čas v bode A H_1 - Výška v bode A
 T_2 - Čas v bode B H_2 - Výška v bode B
 T_x - Čas v bode X (Aktuálny čas)

Potrebný výstup: H_x - Výška v bode X (Aktuálna výška)

Výpočet:

Predpokladáme prípad, že lietadlo sa v bode A bude nachádzať vo väčšej výške ako v bode B, a teda platí podmienka $H_1 > H_2$, avšak je možné tento postup aplikovať aj na prípad, keď bude lietadlo stúpať, výška v bode A bude menšia ako výška v bode B ($H_1 < H_2$).

Výpočet vychádza z podobnosti trojuholníkov, a preto bude platiť rovnosť:

$$\frac{H_1 - H_2}{T_1 - T_2} = \frac{H_1 - H_x}{T_1 - T_x} \quad (1)$$

Vyjadrenie H_X :

$$H_X = H_1 - \frac{(H_1 - H_2)(T_1 - T_X)}{T_1 - T_2} \quad (2)$$

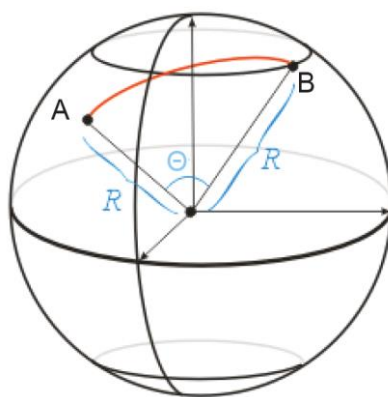
Údaje o výške sú získavané z databázy NM B2B, v ktorej je definovaná letová hladina. Letová hladina FL270 reprezentuje výšku 27000 stôp. Vo výstupe Track_Type je však požadované, aby bola výška vyjadrená v metroch.

Prevod jednotiek: FL270 = 27000 ft = 27000 * 0.3048 m

Pred zobrazením na obrazovke užívateľa sa informácia o výške letu prevedie späť a vo výsledku sa zobrazí v stopách.

3.2.2.3 Vzďialenosť dvoch bodov

Vzďialenosť dvoch bodov na veľkej kružnici je potrebná pre počítanie rýchlosti letu. Na výpočet tejto vzďialenosti sa využíva trigonometrická funkcia haversínus, pomocou ktorej je možné vypočítať najkratšiu vzďialenosť medzi bodmi vyjadrenými súradnicami zemepisnej šírky a dĺžky. [21]



Obrázok 19: Vzďialenosť dvoch bodov na sfére [22]

Pre stredový uhol medzi akýmikoľvek dvoma bodmi na sfére platí:

$$\Theta = \frac{d}{R} \quad (3)$$

Kde d je vzďialenosť medzi dvoma bodmi na veľkej kružnici sféry a R je polomer sféry.

Výpočet:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (4)$$

$$c = 2 \cdot \text{asin}(\sqrt{a}) \quad (5)$$

$$d = (R + H_x) c \quad (6)$$

Kde φ je zemepisná šírka (v radiánoch), λ je zemepisná dĺžka (v radiánoch), H_x je aktuálna výška letu, R je polomer Zeme (uvažujeme, že polomer Zeme je 6371 km). Pri výpočte nesmieme zanedbať aktuálnu výšku letu, aby sa spresnil výsledok. Výsledok d zodpovedá vzdialenosti dvoch bodov. [23]

Využitie funkcie haversínus v programovacom jazyku Python 3:

```
# Calculating distance between 2 points
a = sin(dif_lat/2)**2 + cos(latitude_1)*cos(latitude_2)*sin(dif_lon/2)**2
c = 2 * asin(sqrt(a))
d = (6371000 + f_level) * c
```

Obrázok 20: Výpočet vzdialenosti v Python 3

3.2.2.4 Rýchlosť letu

Rýchlosť, akou lietadlo letí, je taktiež veľmi dôležitá informácia, ktorá je vyplnená do konverzného modulu (časť `Track_Type`) a zobrazená na obrazovke užívateľa.

Vo všeobecnosti rozlišujeme niekoľko spôsobov, ktorými sa dokáže vyjadriť rýchlosť lietadla. Pri pozorovaní lietadiel v aplikácii sa využíva rýchlosť lietadla vzhľadom k povrchu Zeme (Ground speed). [9]

Výsledná rýchlosť, ktorá je súčasťou výstupu konverzného modulu, reprezentuje predpokladanú rýchlosť lietadla, ktorú lietadlo potrebuje aby sa dostalo z bodu C (aktuálna poloha) do bodu B za čas T . Vychádzajúc z faktu, že z databázovej tabuľky `Point` získame súradnice bodov A a B, dokážeme vypočítať polohu bodu C (viď 3.2.3). Potrebne je zistiť vzdialenosť medzi bodmi C a B na veľkej kružnici sféry. K tomu sa využíva funkcia haversínus (viď 3.2.2.3).

Známe hodnoty:

T_1 – Čas v bode C (Aktuálny čas)

T_2 - Čas v bode B (Čas v nasledujúcom bode)

$B[X_2, Y_2]$ - Poloha bodu B

Vypočítané hodnoty:

$C[X, Y]$ - Aktuálna poloha

d - Vzdialenosť do nasledujúceho bodu B (vypočítaná spôsobom z kapitoly 3.2.2.3)

Výpočet aktuálnej rýchlosti v lietadle:

$$v = \frac{d}{T_2 - T_1} \quad (7)$$

Postup v programovacom jazyku Python 3 je vyobrazený na obrázku 21. Nakoľko sa v zozname `towp` (čas preletu potrebných bodov) nachádzajú len údaje o dvoch po sebe nasledujúcich bodoch, bude využitý časový rozdiel medzi aktuálnym časom a časom preletu nasledujúceho bodu (`towp[1]`).

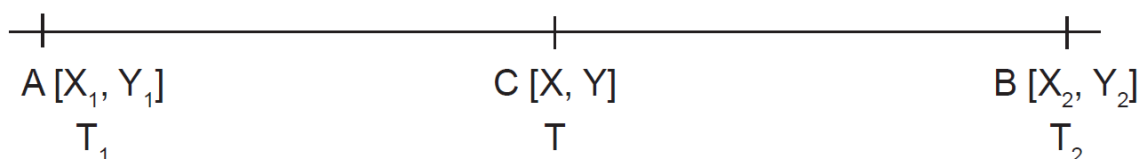
```
# Calculating speed
time_1 = now
time_2 = towp[1]
dif_time = (time_2 - time_1).total_seconds()
speed = d / dif_time
```

Obrázok 21: Výpočet rýchlosti v Python 3

3.2.3 Poloha lietadla

Dôležitou súčasťou výsledného diela je premietnutie aktuálnej polohy lietadiel na geografickej mape sveta. K dosiahnutiu tohto cieľa je potrebné, aby výstup `Track_Type` zobrazoval vypočítanú polohu lietadla v aktuálnom čase. Tým, že údaje letových plánov sú obsiahnuté v našich databázových tabuľkách (`Flight` a `Point`), je možné presne určiť, v akých časoch sa lietadlo bude nachádzať v definovanom bode. Všetky tieto informácie sú čerpané z našich prehľadných databázových tabuliek letov a bodov (3.2.1.1).

Keďže sú známe vždy dva body a zároveň aj časy, v ktorých sa bude prelietať cez dané body, sme schopní interpolovať medzi nimi a získať tak aktuálnu polohu lietadla v reálnom čase. Interpolácia zobrazená v obrázku 22 bola navrhnutá spoločnosťou CS SOFT a.s.. Potrebné je vypočítať polohu vo forme súradníc: zemepisná šírka a zemepisná dĺžka (latitude, longitude) bodu C, ktorý predstavuje aktuálnu polohu lietadla. Známá je poloha bodu A a poloha bodu B a zároveň časy preletu oboch bodov. Naším cieľom bude vypočítať polohu v čase T (aktuálny čas).



Obrázok 22: Grafické znázornenie spôsobu interpolácie

V obrázku 22 je graficky znázornené, akým spôsobom sa bude interpolovať medzi dvoma bodmi pre získanie aktuálnej polohy.

Známe veličiny: $A[\text{lat}_1, \text{lon}_1]$ v čase T_1 , respektíve $A[X_1, Y_1]$

$B[\text{lat}_2, \text{lon}_2]$ v čase T_2 , respektíve $B[X_2, Y_2]$

Požadovaný výstup: $C[\text{lat}, \text{lon}]$ v čase T (aktuálny čas), respektíve $C[X, Y]$

Výpočet:

Pre body A a B platí:

$$T_A \leq T < T_B$$

Interpoláčnā konštanta:

Pre výpočet interpolácie je potrebné si určiť interpoláčnú konštantu, ktorú získame nasledovne.

$$t = \frac{(T - T_A)}{(T_B - T_A)} \quad \text{pri zachovaní podmienky } t = (0,1) \quad (8)$$

Poloha hľadaného bodu C:

$$X_1 = \text{lat}_1 \quad Y_1 = \text{lon}_1$$

$$X_2 = \text{lat}_2 \quad Y_2 = \text{lon}_2$$

$$X = (1 - t)X_1 + tX_2 \quad (9)$$

$$Y = (1 - t)Y_1 + tY_2 \quad (10)$$

Výsledok:

$$C = [X, Y]$$

Takýmto spôsobom sa počíta aktuálna poloha všetkých lietadiel získaných z databázy NM B2B. Zvoleným spôsobom interpolovaná poloha však nevedie po veľkej kružnici, ale pri zobrazení v malej mierke to nepredstavuje výraznejší problém, čo dokazuje kapitola testovanie (3.3). Do výslednej aplikácie sa dostanú údaje o polohe prostredníctvom generovaného výstupu konverzným modulom s názvom Track_Type. Do tohto výstupu budú vždy po aktualizovaní, ktoré bude prebiehať každé dve sekundy, prepočítané údaje o polohe a následne vyplnené do potrebného formátu.

3.2.4 Azimut

V tejto kapitole bude počítaný azimut lietadla, ktorý predstavuje horizontálny smer lietadla k nasledujúcemu bodu. V tejto práci bude meraný ako uhol od zemepisného severu. Na výpočet budú využité informácie o aktuálnej polohe lietadla a polohe nasledujúceho bodu na trati. Pri počítaní tohto uhla sa neuvažuje vektor vetra, nakoľko pre správne natočenie lietadla vo výslednej aplikácii, v ktorej sa lietadlo pohybuje po najkratšej vzdialenosti medzi dvoma bodmi, je požadované, aby nos lietadla smeroval k danému bodu. [21]

Počas toho, ako sa bude lietadlo pohybovať, bude sa kontinuálne meniť aj azimut lietadla. Pri počítaní azimutu je dôležité zadať si odkiaľ budeme smer počítat'. Azimut sa počíta od aktuálnej polohy lietadla k nasledujúcemu bodu. [21]

Azimut je ďalej meraný v smere hodinových ručičiek ako uhol, ktorý zvierá horizontálny smer letu so zemepisným severom.

Výpočet [21]:

$$\theta = \text{atan2}(\sin \Delta\lambda \cdot \cos \varphi_2, \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_1 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \Delta\lambda) \quad (11)$$

Kde $\Delta\lambda$ je rozdiel zemepisných dĺžok (v radiánoch), φ_1 je zemepisná šírka aktuálnej polohy lietadla (v radiánoch), φ_2 je zemepisná šírka nasledujúceho bodu.

Následne je potrebné previesť výsledný uhol z radiánov na stupne a taktiež získať hodnoty v rozmedzí 0° až 360°.

$$\text{azimut} = \left(\theta \frac{180}{\pi} + 360 \right) \% 360 \quad (12)$$

Výpočet v programovacom jazyku Python 3:

```
# Calculating bearing
latitude_1 = X * math.pi / 180          # actual latitude in radians
longitude_1 = Y * math.pi / 180         # actual longitude in radians
latitude_2 = lat_dec2 * math.pi / 180  # latitude of next point in radians
longitude_2 = lon_dec2 * math.pi / 180  # longitude of next point in radians

dif_lon = longitude_2 - longitude_1
y = math.sin(dif_lon)*math.cos(latitude_2)
x = math.cos(latitude_1)*math.sin(latitude_2) - math.sin(latitude_1)*math.cos(latitude_2)*math.cos(dif_lon)
theta = math.atan2(y, x)
res_brng = (theta*180/math.pi + 360) % 360
```

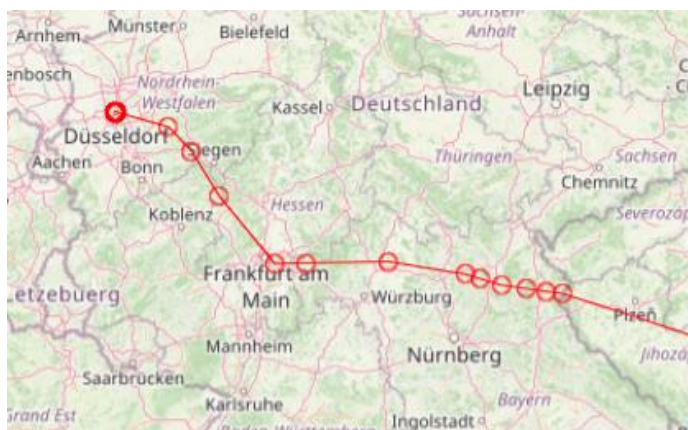
Obrázok 23: Výpočet azimutu v Python 3

3.2.5 Trať letu

Z požiadaviek aplikácie vyplýva, že užívateľovi sa po kliknutí na symbol lietadla zobrazí trať daného letu. Na obrazovke sa užívateľovi zobrazí trať lietadla, ktorá je vyjadrená ako spojnica všetkých význačných bodov na trati.

Polohy jednotlivých bodov trate sú získané vďaka službe Flight Services a Airspace Services. Ako bolo vysvetlené v kapitole 2, rozlišujeme dva typy označenia význačných bodov (PublishedPoint, nonPublishedPoint). Tie body, ktoré sú identifikované pod jedinečným ICAO identifikátorom, budú na trati letu zvýraznené. Ostatné body budú použité pre vytvorenie úplnej trajektórie letu. Pri vytváraní trate letu sa neuvažujú príletové a odletové trate.

Časť trate vo výslednej aplikácii je vyobrazená na obrázku 24. Spôsob, akým je vytvorená trajektória letu je ďalej vysvetlený v kapitole 3.2.1.3. Na obrázku 24 je vidieť, že všetky význačné body s ICAO identifikátorm sú zvýraznené červeným kruhom a body, ktoré zvýraznené nie sú, dotvárajú celú trať letu.



Obrázok 24: Trajektória letu

3.3 Testovanie

Počas predošlých kapitol boli navrhnuté spôsoby a uplatnené výpočty, ktorých výsledky budú testované v rámci tejto kapitoly. Porovnávané budú výsledky obsahujúce informácie o letoch vytvorené v tejto práci s informáciami o letoch z aplikácie, ktorá pracuje na odlišnom princípe. Aplikácia FlightRadar24 (FR24) poskytuje informácie o polohe lietadiel a ďalších parametroch letu získané prevažne technológiou ADS-B. Nakoľko sú letové dáta z NM B2B založené na inom princípe, je potrebné overiť presnosť týchto údajov. Jednotlivé merané hodnoty boli zaznamenávané do tabuliek v programe Microsoft Exceli (Príloha 3).

3.3.1 Presnosť údajov o polohe z modelu CTFM

Predtým, ako je prístupné k porovnávaní výsledkov vypočítaných na základe tejto práce, je potrebné overiť odchýlky informácií definujúce polohu lietadla v modeli CTFM od skutočnej polohy detegovanej z FR24. Údaje v modeli CTFM sa prepočítavajú podľa dostupných CPR správ v prípade, ak sú odchýlky väčšie ako stanovené hodnoty (viď 2.3.3). Pre zistenie priemernej odchýlky na trati letu sú použité konkrétne význačné body a časy ich preletu

z bodového profilu modelu CTFM, ktoré sú následne porovnané so skutočnou polohou lietadla z dát zistených z FR24. Keďže sa krátko po vzlete a pred príchodom let vyvíja podľa aktuálnej situácie na letisku, môže dôjsť k častejšiemu prepočítavaniu dát, a preto bude pre porovnanie využitý úsek od prvého bodu na trati po posledný bod trate, respektíve od situácie, kedy je model CTFM upravený o údaj ATOT (Actual Take-Off Time). Druhým dôvodom, prečo bol zvolený práve tento úsek je, že trajektória letu z údajov bodového profilu z modelu CTFM priamo spája prvý bod na trati s letiskom vzletu, a taktiež posledný bod trate s letiskom príchodu.

Pre zistenie presnosti polohových dát z modelu CTFM je vybraných šesť rôznych tratí, na ktorých sa v časoch preletu význačných bodov porovnávajú údaje o polohe z databázy NM B2B s polohou z dát FR24.

V tabuľke 4 je možné pozorovať, že priemerná odchýlka polohy lietadla na štyroch rôznych tratiach sa pohybuje na hodnote neprevyšujúcej vzdialenosť 10 km. Keďže povolená deviácia v modeli CTFM môže predstavovať až 10 NM, v realite sa potom priemerná chyba pohybuje na polovičnej hodnote 5 NM.

Tabuľka 4: Priemerné odchýlky CTFM profilu

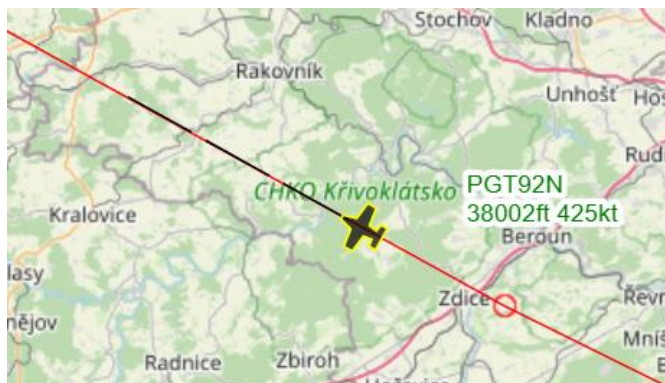
Deň	Volacia značka	Letisko odletu	Letisko príchodu	Priemerná chyba [km]
22.7.2021	DLH5PL	EPGD	EDDM	8,09
22.7.2021	DLH8MH	EDDB	EDDM	7,13
22.7.2021	DLH3RP	LKPR	EDDF	7,67
22.7.2021	DLH4HV	EPPK	EDDM	9,55
5.8.2021	ABP711	LKPR	LZIB	9,74
5.8.2021	AUA318	ESSA	LOWW	9,55

3.3.2 Presnosť použitých výpočtov

So znalosťou chyby CTFM je možné ďalej pristúpiť k testovaniu použitých výpočtov v tejto práci. Potrebné bude overiť presnosť informácií o lete, ktoré sú založené na dátach z EUROCONTROL-u s využitím konkrétnych výpočtov aktuálnej polohy, výšky, rýchlosti a azimutu.

Hodnoty azimutu vypočítané v tejto práci nebudú porovnané s hodnotami získanými z aplikácie FR24. Z dôvodu povolenej deviácie polohy z modelu CTFM od skutočnej polohy by

dochádzalo k mylným výchylkám. Tieto údaje sú počítané kvôli požiadavkám výslednej aplikácie, ktorá potrebuje zobraziť vektor rýchlosti lietadla a správne natočiť lietadlo v smere letu. Na obrázku 25 je preukázaný správny výpočet azimutu, pričom je zreteľné, že smer nosu lietadla skutočne nasleduje smer letu po stanovenej trati.



Obrázok 25: Azimut

Zisťovanie presnosti výsledkov vypočítaných hodnôt (polohy, výšky a rýchlosti) a zobrazovanie trajektórie letu prebieha na troch príkladoch, v ktorých je zameraná pozornosť na hodnoty rozdielnym spôsobom. Vybrané boli 3 lety, na ktorých bude preukázaná presnosť uplatnených výpočtov.

Príklad 1

V tomto príklade prebieha testovanie tak, že sa sleduje, ako sa vyvíja poloha, výška a trajektória konkrétneho letu od prvého po posledný bod trate.

Sledovaný je let z Prahy do Paríža dňa 9.7.2021.

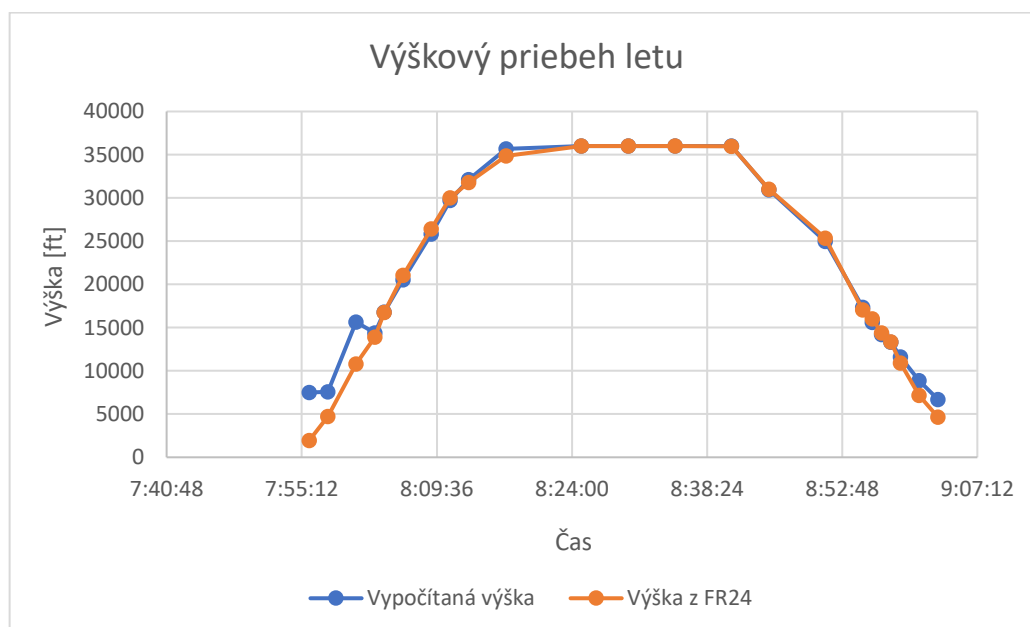
Tabuľka 5: Informácie získané z databázy NM B2B

Deň	Volacia značka	Čas informácie (UTC)	EOBT	TOT	Letisko odletu	Letisko príletu	ETA
9.7.2021	AFR21SE	7:29	7:35	7:47	LKPR	LFPG	8:59
9.7.2021	AFR21SE	7:41	7:35	7:54	LKPR	LFPG	8:59

V tabuľke 5 je možné vidieť informácie o lete lietadla AFR21SE, ktoré boli získané z databázy NM B2B dňa 9.7.2021 o 7:29 UTC. Prvý údaj z CTFM modelu, ktorý je považovaný za čas vzletu bol 7:47 UTC. Avšak o 12 minút neskôr môžeme z databázy pozorovať, že došlo k úprave, aktualizácii a posunutí času vzletu o 7 minút. Z toho je možné dedukovať, že časy vzletu sú v databáze presne aktualizované podľa skutočnej situácie (2.3.3). Podľa informácií z databázy NM B2B predpokladáme, že lietadlo vzlietne o 7:54 UTC. Avšak podľa informácií

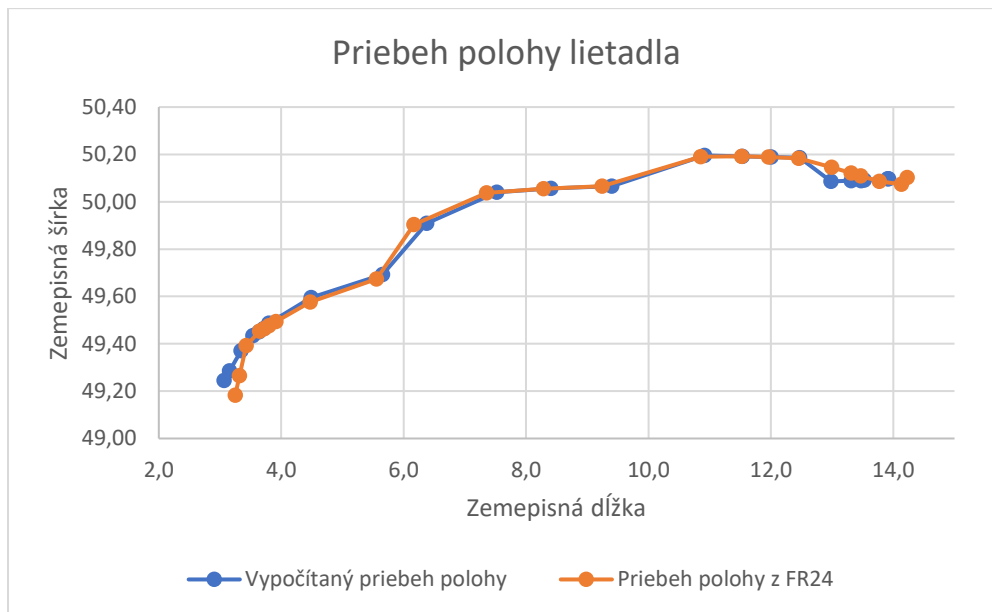
z FR24, lietadlo vzlietlo o 7:55. Z tohto dôvodu došlo k chybe vo výsledku, ktorý zobrazoval informácie o lete (Track_Type) v počiatočnej fáze letu. V nasledujúcom grafe je vidieť, ako sa následný posun prejavil vo vypočítanej výške z dát NM B2B.

V obrázku 26 je možné pozorovať, ako sa menila výška lietadla počas letu. Je zreteľné, že minútový posun sa spočiatku prejavil vo výpočtoch a výsledkoch obsiahnutých vo výstupoch konverzného modulu. Po 5 minútach však došlo k aktualizácii informácií o lete v našej databáze, čo spôsobilo, že sa nám v čase 8:03 UTC opravila chyba vo výstupoch a ďalej sa už pokračovalo len s malými odchýlkami. Taktiež v čase 8:50 UTC vidíme, že podľa dát o lete a letovom pláne z databázy NM B2B malo lietadlo zahájiť klesanie a pri porovnaní s dátami z aplikácie FR24 vidíme, že lietadlo skutočne začalo klesať, pričom vypočítané hodnoty výšky v aktuálnom čase odpovedali skutočnosti.



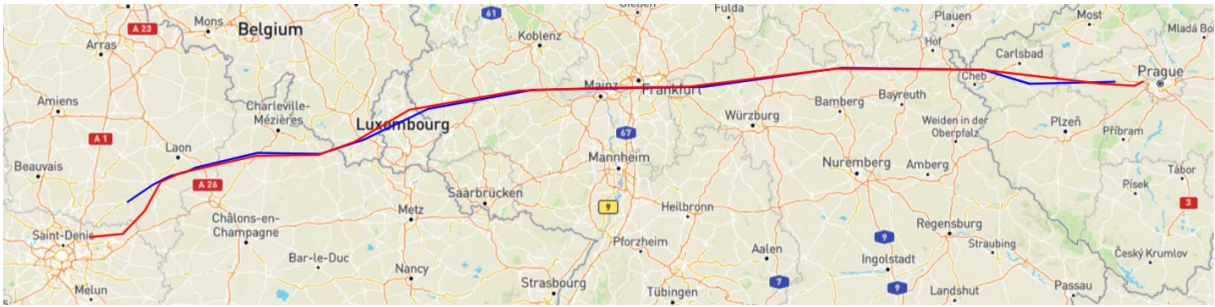
Obrázok 26: Výškový priebeh letu

Rovnakým spôsobom si môžeme všimnúť, že došlo aj k oprave informácii o aktuálnej polohe lietadla v obrázku 27, ktorý zobrazuje, ako sa menili súradnice polohy.



Obrázok 27: Priebeh polohy lietadla

V obrázku 27 je porovnávaná vypočítaná poloha v krátkych časových intervaloch (2-5 minút) so skutočnou polohou zistenou pomocou technológie ADS-B. Oranžovou farbou je znázornená trajektória zistená z aplikácie FR24 a modrou trajektória vypočítaná v tejto práci na základe dát z NM B2B. Tým, že EUROCONTROL zbiera dáta od ostatných ATM poskytovateľov, je potrebné podotknúť, že presnosť týchto dát závisí aj na konkrétnej spolupráci od ATM poskytovateľov. Druhým faktorom je povolená hraničná deviácia polohy oznámenej prostredníctvom CPR správy. V obrázku 28 sú zreteľné dve miesta, v ktorých bol rozdiel v polohe výrazný. Výchylka pri Karlových Varoch sa pohybovala na hodnote 17 km, čo následne spôsobilo prepočítanie dát v modeli CTFM a nápravu situácie. Podobný prípad nastal vo vzdušnom priestore Luxemburska, kde sa maximálna deviácia dostala na hodnotu 15 km a následne bola po aktualizácii údajov prepočítaná trajektória v modeli CTFM. Na konci oranžovej trajektórie je vidieť, že bez znalosti príletovej trate by nemalo v rámci testovania zmysel ďalej vo vykresľovaní pokračovať. Na vykreslenie oboch trajektórií boli zaznamenávané polohy lietadla v krátkych časových intervaloch, a následne boli pomocou aplikácie geojson.io vykreslené do finálnej podoby na obrázku 28.

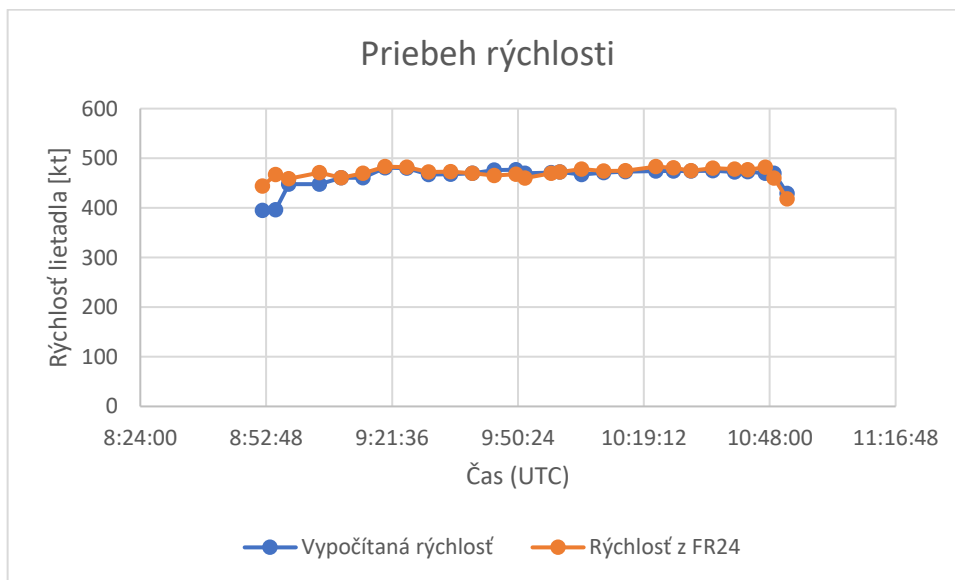


Obrázok 28: Porovnanie tratí

Príklad 2

Druhým letom je let lietadla TVS2214 z Prahy na Rodos, na ktorého trati budú porovnávané hodnoty rýchlosti lietadla vypočítané v tejto práci s údajom o skutočnej rýchlosti lietadla z aplikácie FR24. Testovanie započalo v momente aktualizácie údajov v čase 8:52 UTC a pokračovalo do posledného bodu na trati v čase 10:54 UTC.

V obrázku 29 je vidieť, že spôsob počítania rýchlosti lietadla využitý v tejto práci je dostatočne presný v porovnaní s hodnotami rýchlosti zistených z aplikácie FR24. Spočiatku je možné pozorovať výraznejší rozdiel medzi rýchlosťou vypočítanou v tejto práci a rýchlosťou detegovanou z aplikácie FR24. Táto odchýlka bola po aktualizácii údajov v CTFM modeli opravená a následne výsledky vyobrazovali potrebnú presnosť.

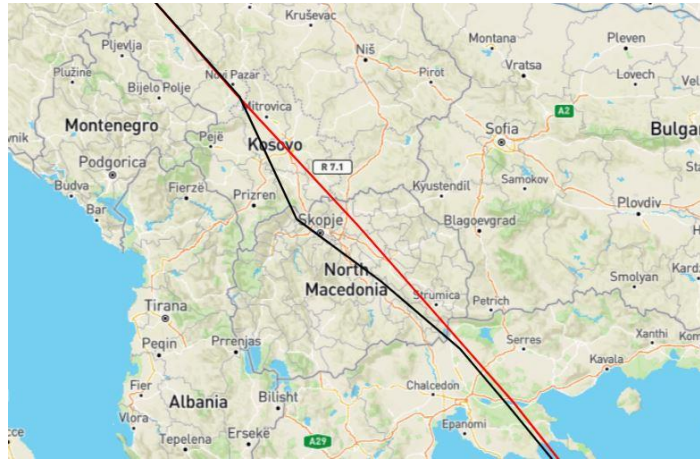


Obrázok 29: Pribeh rýchlosti

V tomto prípade sa taktiež zistilo, že lietadlo TVS2214 na svojej trati prelieta cez oblasti, z ktorých nie je možnosť získať CPR správy, a teda predpokladáme, že pri výchylke od skutočnej polohy v tejto oblasti, nedôjde k prepočítaniu informácií v bodovom profile CTFM modelu. Z obrázku 3 je zrejmé, že v oblasti Kosova a Severného Macedónska sa poskytujú

informácie o aktuálnej polohe lietadla iba prostredníctvom ADS-B. Z toho dôvodu je potrebné overiť, či naozaj nedôjde pri zmene polohy k prepočítaniu CTFM modelu.

Lietadlo TVS2214 na lete z Prahy na Rodos na svojej trati prelietalo cez oblasť Kosova a Severného Macedónska.



Obrázok 30: Chyba v polohe lietadla

Na obrázku 30 je zobrazená konkrétna situácia. Červená trajektória znázorňuje trajektóriu letu počítanú na základe bodového profilu modelu CTFM a čierna trajektória reprezentuje skutočnú trajektóriu letu (FR24). Maximálna výchylka medzi týmito dvoma trajektóriami dosiahla hodnotu 35 km. Z toho je možné usúdiť, že model CTFM sa skutočne neaktualizuje podľa dát ADS-B, pretože výchylka presiahla najväčšiu možnú hodnotu 10 NM, pri ktorej by boli informácie v modeli CTFM prepočítané.

Príklad 3

Tretím letom je porovnávaná poloha s použitím výpočtov tejto práce s polohou detegovanou pomocou ADS-B, pričom cieľom je zamerať sa na konkrétnu časť trate, na ktorej došlo k väčšej výchylke krátko po vzlete a po aktualizácii dát bola vypočítaná poloha presná. Jedná sa o let vykonaný dňa 22.7. z Mníchova do Štokholmu.

Tabuľka 6: Výchylky od skutočnej polohy

Čas (UTC)	Výchylka od skutočnej polohy [km]
15:37	2,32
15:45	11,56
15:48	0,65

Lietadlo vzlietlo o 15.23 UTC, pričom v okolí prvého bodu trate bola zaznamenaná odchýlka od presnej polohy 2 km. Odchýlka vypočítanej polohy od skutočnej polohy postupne narastala až na hodnotu 11 km v čase 15:45 UTC. O 3 minúty neskôr boli dáta v modeli CTFM prepočítané, a vďaka tomu sa odchýlka zmenšila na hodnotu 0,65 km. Medzi týmito dvoma bodmi totižto lietadlo vchádzalo z územia Českej republiky na územie Nemecka, a preto je možné dedukovať, že bola stanoviskom ATC zaslaná správa FSA, podľa ktorej boli následne prepočítané informácie v modeli CTFM. Počas ďalších 20 minút letu, bolo v krátkych časových intervaloch (1 - 2 minúty) pozorované, ako sa vychýľuje vypočítaná poloha obsiahnutá vo výstupe konverzného modulu tejto práce od skutočnej polohy získanej pomocou ADS-B (FR24). Bolo zistené, že priemerná odchýlka bola 1,18 km a v žiadnom momente nepresiahla hodnotu 3 km. Na základe tohto príkladu je možné konštatovať, že vypočítaná poloha lietadla je presná a závisí na presnosti dát z modelu CTFM.

4 Záver

Zámerom tejto bakalárskej práce bolo zoznámiť sa so službami, ktoré poskytuje organizácia EUROCONTROL v rámci „business-to-business“ spolupráce so spoločnosťami figurujúcimi v oblasti letovej prevádzky. EUROCONTROL, sieťový manažér, zbiera dáta o letovej prevádzke od letových dopravcov, letísk, poskytovateľov navigačných služieb alebo riadiacich letovej prevádzky a využíva ich pre správny rozvoj vzdušného priestoru nad územím Európy. Tým, že tieto dáta zdieľa ďalej v rámci B2B spolupráce, môžu ich ostatné subjekty využívať vo svojich vlastných systémoch. Spoločnosť CS SOFT a.s. umožnila prístupovať k dátam od EUROCONTROL-u pre tvorbu tejto práce.

V databáze NM B2B sa nachádza nespočetné množstvo informácií o letovej prevádzke, ktoré je možné využiť rôznym spôsobom. V tejto práci sú priblížené konkrétne údaje, ktoré sú využité pre výpočet polôh lietadiel a ich trajektórií v reálnom čase. Pracuje sa so všetkými IFR letmi, ktoré na svojej trati prelietajú cez vzdušný priestor Českej republiky a venuje sa im pozornosť pri následných výpočtoch.

Systém pre riadenie letovej prevádzky vytvorený organizáciou EUROCONTROL ETFMS je zodpovedný za spracovávanie a zdieľanie informácií o letoch. Pri získavaní údajov o priebehu letu sa vychádza z modelu CTFM, ktorý predstavuje bodový profil aktuálnej trajektórie letu upravovanej podľa aktuálnej situácie. Nakoľko údaje v tomto modeli sú prepočítavané podľa stanovených kritérií, dochádza následne k odchýlkam od skutočnej polohy lietadla. Veľkosť odchýlok spôsobených v zobrazovaní polohy lietadiel nie je väčšia ako 10 NM alebo 1 minúta letu.

Jedným z cieľov tejto práce je vytvoriť softvérový modul, ktorý aktívne pracuje s dátami o vzdušnom priestore, lete a letovom pláne získané prostredníctvom služby NM B2B. Výsledná aplikácia spoločnosti CS SOFT a.s. načítava výstupné súbory z vytvoreného softvérového modulu. Na základe informácií obsiahnutých vo výstupoch konverzného modulu zobrazuje polohy lietadiel, ich trate a informácie o letoch. Programovanie prebiehalo v prostredí Django, ktoré umožňuje ukladať dáta do databázy, vytvárať a generovať webové stránky.

Predtým ako môžu byť požadované výstupy modulu vytvorené, bolo potrebné dáta odfiltrovať a uložiť ich do vlastnej databázy, odkiaľ sú následne načítavané pre vytvorenie požadovaného výsledku. Takýmto spôsobom bol vytvorený konverzný modul, ktorý generuje dva výstupy. Prvým výstupom s názvom Track_Type je generovaná webová stránka, ktorá obsahuje aktuálne informácie o letoch vo forme XML súboru. Pri každom načítaní tejto stránky budú jednotlivé údaje o letoch prepočítané a aktualizované na aktuálny čas. Druhým výstupom

s názvom Trajectory sa generuje taktiež webová stránka, v ktorej sa tentokrát nachádzajú informácie o aktuálnej trajektórii všetkých letov získaných z EUROCONTROL-u.

Dáta o vzdušnom priestore boli využité pre zistenie presných informácií o polohe letísk a význačných bodoch, ktoré môžu byť využité pre let. Tieto informácie o polohe boli nepostrádateľné pre počítanie polohy, výšky, rýchlosti, azimutu lietadla a taktiež pri vytváraní letenej trate.

Výpočty použité pre získanie aktuálnej polohy, výšky, rýchlosti a azimute lietadla sú pre účel aplikácie dostatočné a so zohľadnením dostupných dát preukazujú požadovanú presnosť. V rámci testovania bola overovaná presnosť vypočítaných hodnôt polohy, pričom v prípade aktualizovaných dát nepresahuje odchýlka od skutočnej polohy hodnotu 2 kilometre. Pokiaľ sa jedná o vypočítané hodnoty výšky lietadla, testovanie preukázalo požadovanú presnosť. Informácie o rýchlosti a azimute letu boli sledované vo výslednej aplikácii, pričom sa počas testovania neobjavili žiadne nezrovnalosti, a preto bolo vyhodnotené, že aj výpočet týchto informácií je použiteľný pre výslednú aplikáciu.

Vytvorené trajektórie letu sa priebežne aktualizujú podľa CTFM modelu. To znamená, že výsledná aplikácia môže vďaka výstupu konverzného modulu Trajectory zobrazit' konkrétnu letenú trať lietadla, a preto vyhovuje požiadavkám výslednej aplikácie.

V prvej časti práce sú preskúmané dáta poskytované v rámci NM B2B a v druhej časti je navrhnuté softvérové riešenie založené na týchto dátach. Softvérové riešenie v podobe konverzného modulu bolo implementované do výslednej aplikácie spoločnosti CS SOFT. Z toho je možné dedukovať, že cieľ práce bol splnený a momentálne slúžia výstupy konverzného modulu ako zdroj informácií pre zobrazenie aktuálnych polôh lietadiel a ich tratí.

Zoznam obrázkov

- Obrázok 1 Ukážka časti správy ACK vo formáte ADEXP
- Obrázok 2 Princíp povolenej deviácie správ o polohe
- Obrázok 3 Rozdelenie oblasti podľa typu poskytovaných správ
- Obrázok 4 Podnikateľské požiadavky
- Obrázok 5 Užívateľské požiadavky
- Obrázok 6 Funkčné požiadavky
- Obrázok 7 Diagram toku údajov
- Obrázok 8 Komponentný diagram
- Obrázok 9 Diagram toku vstupných údajov
- Obrázok 10 Vstupné dáta v JSON formáte
- Obrázok 11 Dotaz na dáta
- Obrázok 12 Dáta o polohe letiska
- Obrázok 13 Dáta o polohe bodu
- Obrázok 14 Výstup Track_type
- Obrázok 15 Výstup Trajectory
- Obrázok 16 Grafické znázornenie podmienky
- Obrázok 17 Zobrazenie informácií o lete vo výslednej aplikácii
- Obrázok 18 Grafické znázornenie situácie pri výpočte výšky
- Obrázok 19 Vzdialenosť dvoch bodov na sfére
- Obrázok 20 Výpočet vzdialenosti v Python 3
- Obrázok 21 Výpočet rýchlosti v Python 3
- Obrázok 22 Grafické znázornenie spôsobu interpolácie
- Obrázok 23 Výpočet azimutu v Python 3
- Obrázok 24 Trajektória letu
- Obrázok 25 Azimut
- Obrázok 26 Výškový priebeh letu
- Obrázok 27 Priebeh polohy lietadla
- Obrázok 28 Porovnanie tratí
- Obrázok 29 Priebeh rýchlosti
- Obrázok 30 Chyba v polohe lietadla

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1	Záznam z databázovej tabuľky Flight
Tabuľka 2	Záznam z databázovej tabuľky Point
Tabuľka 3	Záznam z databázovej tabuľky Route
Tabuľka 4	Priemerné odchýlky CTFM profilu
Tabuľka 5	Informácie získané z databázy NM B2B
Tabuľka 6	Výchylky od skutočnej polohy

Zoznam príloh

Príloha 1	Konverzný modul
Príloha 2	Vytvorenie súboru points
Príloha 3	Testovanie

Použité zdroje

- [1] MENDES VIDEIRA, Idalina. *NM Interoperability strategy*, Verzia 1. 2016. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/nm-interoperability-strategy-may-2016.pdf>
- [2] Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2019/123 z 24. januára 2019, ktorým sa stanovujú podrobné pravidlá vykonávania funkcií siete manažmentu letovej prevádzky (ATM) a ktorým sa ruší nariadenie Komisie (EÚ) č. 677/2011. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0123>
- [3] EUROCONTROL. *Network operations*. Supporting European Aviation. EUROCONTROL [online]. Copyright © EUROCONTROL [cit. 10.01.2021]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/network-operations>
- [4] EUROCONTROL. *Network Manager business-to-business web services (NM B2B)*. Supporting European Aviation. EUROCONTROL [online]. Copyright © EUROCONTROL [cit. 10.01.2021]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/service/network-manager-business-business-b2b-web-services>
- [5] NM NOP/B2B TEAM. *NM 23.0.0 - NOP/B2B Reference Manuals – FlightServices*, Verzia 23.0.0.5.26. 2019. Interný dokument.
- [6] NM NOP/B2B TEAM. *NM 23.0.0 - NOP/B2B Reference Manuals – AirspaceServices*, Verzia 23.0.0.5.26. 2019. Interný dokument.
- [7] NM NOP/B2B TEAM. *NM 23.0.0 - NOP/B2B Reference Manuals – FlowServices*, Verzia 23.0.0.5.26. 2019. Interný dokument.
- [8] ICAO. *Air Traffic Management*. Doc 4444. 16th edition. 2016. Dostupné z: <https://ops.group/blog/wp-content/uploads/2017/03/ICAO-Doc4444-Pans-Atm-16thEdition-2016-OPSGROUP.pdf>
- [9] KULČÁK, Ludvík. *Air Traffic Management*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2002. ISBN 80-7204-229-7
- [10] NIARCHAKOU, S. a SFYROERAS, M.. *ATFCM Users manual*. Network Manager. Verzia 25.0. 2021. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/atfcm-users-manual>
- [11] NIARCHAKOU, S. a SFYROERAS, M.. *ATFCM Operations manual*. Network Manager. Verzia 25.0. 2021. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-03/eurocontrol-atfcm-operations-manual-25-26032021.pdf>
- [12] NEDELKA, Milan. *Slovenský letecký slovník*. Bratislava: Magnet Press. 1998. ISBN 8096807307

- [13] TODOROV, Tihomir, ACAMPORA, Giuseppe, TRENEVSKA, Dijana a RADOVANOVIČ, Boris. NMOC Flight Planning Requirements - Guidelines. Verzia 1.2. 2019. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-12/nm-fpl-req-guidiline-v-1.2-12-2019.pdf>
- [14] KOOLEN, Hans a COLIBAN, Ioana. *Flight Progress Messages*. verzia 2.700. 2021. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/flight-progress-messages-fpm-document>
- [15] EUROCONTROL *Data collection service (DCS)*. Supporting European Aviation. EUROCONTROL [online]. Copyright © EUROCONTROL [cit. 18.01.2021]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/service/data-collection-service>
- [16] RICHTA Karel a SOCHOR, Jiří. *Softwarové inženýrství 1*. Vydavatelství ČVUT. Fakulta elektrotechnická. 1996.
- [17] ARLOW, Jim, NEUSTADT, Ila a KISZKA Bogdan. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektově orientovaná analýza a návrh prakticky*. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1503-9.
- [18] SZTURCOVÁ, Daniela. *Požadavky na systém. Objektově orientované technologie*, VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2013 [cit. 5.01.2021]. Dostupné z: <http://gisak.vsb.cz/wikivyuka/images/9/9c/OotxPozadavky.pdf>
- [19] SUMMERFIELD, Mark. *Python 3. Výukový kurz*. Brno: Computer Press. 2013. ISBN 978-80-251-2737-7
- [20] DJANGO. *Django documentation Django*. [online]. Copyright © 2005 [cit. 03.02.2021]. Dostupné z: <https://docs.djangoproject.com/en/3.2/>
- [21] *Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points using haversine formula in JavaScript*. Movable Type — Information Design & Management [online]. Copyright © 2002 [cit. 09.10.2020]. Dostupné z: <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html?>
- [22] BERNSTEIN, David. *Great Circle Distances. For a Spherical Planet*. Computer Science Department. James Madison University. [online] [cit. 10.02.2021]. Dostupné z: https://users.cs.jmu.edu/bernstdh/web/common/lectures/summary_great-circle-distance_spherical.php
- [23] NICHAT, Mangesh. *Landmark based shortest path detection by using A* Algorithm and Haversine Formula*. 2013. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/282314348_Landmark_based_shortest_path_detection_by_using_A_Algorithm_and_Haversine_Formula