



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Nástroj pro identifikaci a dozor ilegální obchodní letecké  
dopravy**

**A Tool for Identification and Oversight of Illegal Air Transport**

**Diplomová práce**

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Vedoucí práce: Ing. Anna Polánecká, Ph.D., MBA

Doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.

---

**Bc. Michal Klčo**

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621.....Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Michal Klčo**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterské –PL– Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Nástroj pro identifikaci a dozor ilegální obchodní letecké dopravy**

Název tématu (anglicky): **A Tool for Identification and Oversight of Illegal Air Transport**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout a vytvořit pracovní nástroj pro systém státního dozoru nad provozovateli ilegální obchodní letecké dopravy.
- Vytvořte scénáře možných ilegálních způsobů provádění obchodní letecké dopravy
- Zpracujte analýzu rizik letů v obchodní letecké dopravě prováděných jinými než oprávněnými provozovateli.
- Navrhněte interaktivní nástroj identifikace letounů podezřelých z nelegálního provádění let. dopravy
- Vypracujte metodický postup, seznam kontrolních úkonů a interaktivní nástroj pro identifikaci, hodnocení a sběr dat o letech provozovaných ilegálně v obchodní letecké dopravě.
- Vyhodnoťte získaná statistická data o pohybu podezřelých letadel.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Nařízení Komise (EU) č. 965/2012 ze dne 5. října 2012 , kterým se stanoví technické požadavky a správní postupy týkající se letového provozu podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008  
E. Hollnagel, Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials, Routledge, 2018.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Anna Polánecká, Ph.D., MBA**  
**doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **16. července 2021**  
(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 diplomové práce: **16. května 2022**  
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. Jakub Kraus, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu Ústav letecké dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Michal Klčo  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 16. července 2021



## **Abstrakt**

Cílem práce je objasnit možné způsoby identifikace letů podezřelých z ilegální letecké dopravy na základě vyhodnocení jejich chování z dostupných dat o letovém provozu a zjednodušit proces vyhledání těchto letů pro potřeby dozorujících orgánů. První část práce se zabývá analýzou současného stavu legislativní úpravy týkající se požadavků, které jsou kladeny na jednotlivé druhy provozu, letecké dopravce, posádku a vybavení letadel. Z této analýzy pak vyplývají možné ilegální scénáře a způsoby provádění obchodní letecké dopravy. Práce se dále zabývá ověřením dostupnosti a zpracováním dat o leteckém provozu a možnostech jejich využití pro účely identifikace letů podezřelých z ilegální obchodní letecké dopravy. Po nalezení vhodných dat pro další analýzu se práce zabývá objasněním trendů chování, které mohou být typické pro takové lety a možnostmi vytvoření interaktivního nástroje pro rozpoznání těchto letů. Dalším krokem práce je aplikace vytvořeného nástroje na dostupná data o letovém provozu za účelem jejich analýzy a identifikace letů letadel, které jsou podezřelé z vykonávání ilegální formy obchodní letecké dopravy. Dalšími součástmi této práce je vypracování bezpečnostní analýzy rizik, která plynou z provozování těchto letů a vytvoření metodického postupu pro obsluhu vytvořeného nástroje spolu s kontrolním seznamem úkonů.

**Klíčová slova:** data, identifikace, ilegální, nástroj, obchodní



## **Abstract**

The aim of this thesis is to clarify possible ways of identifying flights suspected of illegal air transport based on the evaluation of their behavior from available air traffic data and to simplify the process of finding these flights for the needs of overseeing authorities. The first part deals with the analysis of the current state of legislation concerning the requirements that are placed on individual types of air traffic, air carriers, crew and aircraft equipment. This analysis identifies possible illegal scenarios and ways of conducting commercial air transport. The work also deals with the verification of availability and processing of air traffic data and their use for the purpose of identifying flights suspected of illegal commercial air transport. After finding suitable data for further analysis, the work deals with clarifying the behavioral trends that may be typical for such flights and the possibilities of creating an interactive tool for recognizing these flights. The next step of the thesis is the application of the created tool to analyze available data on air traffic in order to identify flights of aircraft that are suspected of performing an illegal form of commercial air transport. Other parts of this thesis are elaboration of risks analysis arising from the operation of these flights and creation of a methodology for the operation of the created tool, together with checklist.

**Keywords:** data, identification, illegal, tool, business



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli pomoc při zpracování diplomové práce, především pak Ing. Anně Polánecké, Ph.D., MBA za podnětné rady a usměrnění. Dále pak patří můj vděk rodině Chvojkových za podporu při studiu a přípravě této práce.



### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Nástroj pro identifikaci a dozor ilegální obchodní letecké dopravy vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské/diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití 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).

Praze dne 16. května 2022

  
.....  
*Podpis*



## Obsah

Úvod.....	13
1. Legislativa a dělení letecké dopravy .....	16
1.1 Dělení letecké dopravy dle pravidelnosti a působnosti dopravce .....	16
1.1.1 Pravidelná přeprava .....	16
1.1.2 Nepravidelná přeprava – chartery.....	16
1.1.3 Osobní letecká přeprava .....	17
1.1.4 Nákladní letecká přeprava .....	17
1.2 Dělení letecké dopravy dle druhu jejího provozu a vymezení pojmů .....	17
1.2.1 Vybrané pojmy dle nařízení EU č. 965/2012: .....	18
1.2.2 Druhy pronájmu letadel.....	20
1.3 Podmínky pro provozování činnosti obchodního leteckého dopravce .....	20
1.3.1 Osvědčení leteckého dopravce (OLD).....	21
1.3.2 Provozní licence (tzv. OL – Operating Licence).....	22
1.3.3 Provozní příručka (tzv. OM – Operational Manual).....	22
1.3.4 Přepravní právo.....	23
1.3.5 Pojištění společnosti provozující obchodní leteckou přepravu .....	23
1.3.6 Program na ochranu před protiprávními činy .....	24
1.4 Lety s cestujícími na palubě letadla dle pravidel EU/EASA .....	24
1.4.1 Druhy letů .....	24
1.4.2 Průkazy pilota letounů dle dodatku I části FCL.....	27
1.5 Požadavky na kvalifikaci letové posádky, vybavení letounů, provozní postupy a organ. strukturu leteckého dopravce .....	28
1.6 Možné způsoby a kombinace ilegálních provedení obchodní letecké dopravy	
32	
2. Příklady letů il. letecké dopravy, vyhodnocení rizik těchto letů a rysy jednotlivých provozovatelů .....	34





2.1	Nalezené závěrečné zprávy letů označené jako forma ilegální obchodní letecké dopravy .....	34
2.1.1	Společné spojující faktory uvedených letů .....	39
2.2	Význačné rysy chování charakteristické pro různé druhy provozovatelů .....	40
2.2.1	Velcí letečtí přepravci .....	40
2.2.2	Letecké školy, aeroklub.....	41
2.2.3	Menší komerční přepravci .....	41
2.2.4	Ilegální přepravci.....	41
2.3	Analýza bezpečnostních rizik .....	42
2.3.1	Model SHELL, teoretický úvod .....	43
2.3.2	Evropský systém klasifikace rizik, teoretický postup .....	44
2.3.3	Určení a vyhodnocení rizikových událostí .....	46
3.	Vybrané nástroje pro zpracování dat .....	51
3.1	Databáze SQL .....	51
3.1.1	Databázový systém .....	52
3.1.2	Základní datové typy v SQL.....	52
3.1.3	Identifikátory a vazby mezi tabulkami .....	53
3.1.4	Pomocné databázové informace .....	54
3.1.5	Hlavní příkazy jazyka SQL.....	54
3.2	Strojové učení, všeobecné termíny a postupy.....	59
3.2.1	Základní druhy strojového učení .....	60
3.2.2	Dělení strojového učení .....	61
3.2.3	Neuronové sítě.....	63
3.2.4	Dopředné šíření signálu a backpropagation .....	65
3.2.5	Rozpoznávání vzorů chování a způsoby klasifikace dat.....	67
3.3	Vhodný formát dat pro vyhodnocení neuron. sítí .....	68
4.	Návrh nástroje pro identifikaci podezřelých letů .....	69
4.1	Definování vhodného datového zdroje a nalezené možnosti stahování dat ..	70
4.2	Výběr vhodného datového zdroje .....	70



4.2.1	Stahování dat přes API .....	72
4.2.2	IMPALA SHELL .....	73
4.2.3	SCIENTIFIC DATASETS .....	74
4.3	Charakteristika získávaných dat a popis databázového skriptu .....	74
4.3.1	Předzpracování stažených dat .....	75
4.3.2	Vybrané předpoklady a kontext pro identifikaci letů podezřelých z il. obchodní letecké dopravy .....	76
4.3.3	Obsah a forma informací obsažených v získaných datasetech .....	77
4.3.4	Obsah informací doplněných z externích souborů .....	79
4.3.5	Obsah dopočítávaných parametrů z předešlých dostupných dat .....	79
4.3.6	Popis a zdůvodnění aplikovaných filtrů .....	82
4.3.7	Popis parametrů vytvořených pro další vyhodnocení .....	84
4.4	Realizace vyhodnocení dat strojovým učením v nástroji Deepnote .....	89
4.5	Metodický postup pro obsluhu interaktivního nástroje .....	90
4.5.1	Vymezení platnosti .....	90
4.5.2	Vhodná cílová skupina na aplikaci postupu .....	91
4.5.3	Postup, jednotlivé kroky při obsluze nástroje: .....	91
4.5.4	Seznam kontrolních úkonů a otázek pro vyhodnocení letů zpracovaných interaktivním nástrojem .....	94
4.5.5	Limity interaktivního nástroje .....	95
4.6	Objektový popis interaktivního nástroje .....	95
5.	Vyhodnocení statistických dat o pohybu podezřelých letadel .....	97
5.1	Vyhodnocení dat letů, které byly označeny jako podezřelé z vykonávání il. činnosti .....	97
5.1.1	Průměrné hodnoty letů .....	98
5.1.2	Zastoupení jednotlivých příznaků a informace o vyhodnocovaných letech 99	
5.1.3	Nejčastěji zastoupené typy letadel .....	101
5.2	Úspěšnost vystavěného modelu neuronové sítě při identifikaci podezřelých výsledků .....	103



5.3	Nalezené lety letadel, které byly vyhodnoceny jako podezřelé .....	105
6.	Diskuze .....	106
6.1	Vhodné zdroje dat .....	106
6.2	Vyhodnocené výsledky .....	106
6.2.1	Další vyhodnocené ukazatele .....	106
6.3	Limity a omezení vytvořeného nástroje .....	107
6.3.1	Omezení na anomální chování .....	107
6.3.2	Skutečná úspěšnost nástroje .....	107
6.3.3	Omezení aktuálnosti pomocné databáze .....	108
6.4	Nastavení filtrů dat .....	108
7.	Závěr .....	110
	Seznam použité literatury .....	112
	Seznam příloh tištěných .....	116
	Seznam příloh elektronických .....	117
	Příloha A: Bezpečnostní analýza – zdůvodnění bariér .....	118
	Příloha B: Metodický postup obsluhy .....	136
	Příloha C: Skript SQL .....	150



## Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Klasifikace provozu letadel .....	18
Obrázek 1.3: Osvědčení leteckého dopravce [4] .....	21
Obrázek 2.2: Schématické znázornění vazeb modelu SHELL [autor] .....	43
Obrázek 2.3: Graf výsledků analýzy hodnocení rizik .....	49
Obrázek 3.1: Perceptron [27] .....	64
Obrázek 3.2: Schématické znázornění vazeb modelu [29] .....	65
Obrázek 4.1: Formát datového výstupu prostředí IMPALA SHELL .....	73
Obrázek 4.2: Výstupní report programu předzpracování dat .....	75
Obrázek 4.3: Seznam kontrolních úkonů a otázek pro vyhodnocení letů zpracovaných interaktivním nástrojem .....	94
Obrázek 4.4: Objektový popis interaktivního nástroje .....	96
Obrázek 5.1: Graf četnosti výskytu vyhodnocovaných příznaků .....	99
Obrázek 5.2: Graf nejčastěji zastoupených typů letadel v souboru pozitivně vyhodnocených letů .....	102
Obrázek 5.3: Matice záměn .....	104
Obrázek A. 1 Zdůvodnění bariér události 1 .....	118
Obrázek A. 2 Zdůvodnění bariér události 2 .....	119
Obrázek A. 3 Zdůvodnění bariér události 3 .....	120
Obrázek A. 4 Zdůvodnění bariér události 4 .....	121
Obrázek A. 5 Zdůvodnění bariér události 5 .....	122
Obrázek A. 6 Zdůvodnění bariér události 6 .....	123



Obrázek A. 7 Zdůvodnění bariér události 7 .....	124
Obrázek A. 8 Zdůvodnění bariér události 8 .....	125
Obrázek A. 9 Zdůvodnění bariér události 9 .....	126
Obrázek A. 10 Zdůvodnění bariér události 10 .....	127
Obrázek A. 11 Zdůvodnění bariér události 11 .....	128
Obrázek A. 12 Zdůvodnění bariér události 12 .....	129
Obrázek A. 13 Zdůvodnění bariér události 13 .....	130
Obrázek A. 14 Zdůvodnění bariér události 14 .....	131
Obrázek A. 15 Zdůvodnění bariér události 15 .....	132
Obrázek A. 16 Vysvětlení zkratk skóre ERCS [Nařízení komise EU č.2020/2034].....	133
Obrázek A. 17 Skóre závažnosti [Nařízení komise EU č.2020/2034] .....	133
Obrázek A. 18 Matice ERCS [Nařízení komise EU č.2020/2034].....	133
Obrázek A. 19 Popis bariér [Nařízení komise EU č.2020/2034] .....	134
Obrázek A. 20 Matice ERCS číselné skóre [Nařízení komise EU č.2020/2034].....	134
Obrázek A. 21 Nejrizikovější faktory [Nařízení komise EU č.2020/2034].....	135
Obrázek B. 1 Postup nahrání databáze část a .....	136
Obrázek B. 2 Postup nahrání databáze část b .....	137
Obrázek B. 3 Postup nahrání databáze část c.....	137
Obrázek B. 4 Postup nahrání databáze část d .....	137
Obrázek B. 5 Postup stažení dat nástrojem Total Commander.....	138
Obrázek B. 6 Postup předzpracování dat v prostředí MS Visual Studio.....	139
Obrázek B. 7 Postup importu předzpracovaných dat do prostředí MS SQL a.....	140



Obrázek B. 8 Zobrazení struktury naimport. testovacích dat v prostředí MS SQL.....	140
Obrázek B. 9 Zobrazení struktury zpracovaných testovacích. dat v prostředí MS SQL	141
Obrázek B. 10 Export zpracovaných testovacích dat z prostředí MS SQL .....	141
Obrázek B. 11 Struktura prostředí Deepnote .....	142
Obrázek B. 12 Okno prostředí Deepnote k nahrání tréninkových dat .....	143
Obrázek B. 13 Okno prostředí Deepnote k nahrání testovacích dat.....	143
Obrázek B. 14 Kontextové menu prostředí Deepnote .....	144
Obrázek B. 15 Postup propojení dat v prostředí Excel a .....	144
Obrázek B. 16 Postup propojení dat v prostředí Excel b .....	145
Obrázek B. 17 Postup propojení dat v prostředí Excel c.....	145
Obrázek B. 18 Postup propojení dat v prostředí Excel d .....	145
Obrázek B. 19 Postup propojení dat v prostředí Excel e .....	146
Obrázek B. 20 Postup propojení dat v prostředí Excel f .....	146
Obrázek B. 21 Finální podoba vyhodnocených testovacích dat.....	146

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1.1: Požadavky na způsobilost a kvalifikaci letové posádky – pilota .....	29
Tabulka 1.2: Vybrané požadavky na letoun, přístroje a vybavení.....	30
Tabulka 1.3: Vybrané požadavky na provozní postupy, oblasti provozu .....	31
Tabulka 1.4: Požadavky na organizační strukturu společnosti leteckého dopravce .....	32
Tabulka 2.1: Kategorizace možných nebezpečí metodou SHELL.....	47
Tabulka 2.2: Vyhodnocení nebezpečných situací.....	48



Tabulka 2.3: Vyhodnocení nejrizikovějších faktorů .....	49
Tabulka 5.1: Průměrné hodnoty .....	98
Tabulka 5.2: Četnost výskytu vyhodnocovaných příznaků .....	100
Tabulka 5.3: Nejčastěji zastoupené typy letadel v souboru pozitivně vyhodnocených letů .....	102



## Seznam symbolů a zkratek

$x_i, x_j, x_k$	výstupní signál neuronů $i, j, k$
$w_i, w_j, w_k$	synaptické váhy měnící výstupní signál neuronů $i, j, k$
$\Sigma y$	výstupní budící signál neuronu $n$
$\sigma$	faktor chyby neuronové sítě
$\varphi_1, \varphi_2$	zeměpisná šířka
$\omega_1, \omega_2$	zeměpisná délka
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast / Automatické závislé sledování
AOC	Air Operator Certificat / Osvědčení leteckého dopravce
API	Application Programming Interface / Aplikační programovací rozhraní
ASL	Above sea level / Nad úrovní hladiny moře
ATO	Approved Training Organisation / Schválená výcviková organizace
ATPL	Airline Transport Pilot Licence / Průkaz dopravního pilota
ATR	Aerei di Trasporto Regionale (pozn.: název výrobce letadel)
CAA	Civil Aviation Authority / Úřad pro civilní letectví
CAT	Commercial Air Transport / Obchodní letecká doprava
CO	Oxid uhelnatý
CPL	Commercial Pilot License / Průkaz obchodního pilota
DL	Deep Learning / Hluboké učení
DTO	Declared Training Organisation / Ohlášená organizace pro výcvik
ELT	Emergency Locator Transmitter / Nouzový lokalizační vysílač
ERCS	European Risk Classification Scheme / Evropský systém pro klasifikaci rizik
EASA	European Union Aviation Safety Agency / Agentura EU pro bezpečnost letectví
FAA	Federal Aviation Administration / Federální úřad pro letectví (USA)
FCL	Flight Crew Licencing / Osvědčování letecké posádky
FN	False Negative / Falešně negativní
FP	False Positive / Falešně pozitivní





FRAM	Functional Resonance Analysis Method / Metoda funkční rezonanční analýzy
GPS	Global Positioning System / Globální družicový polohový systém
ICAO	International Civil Aviation Organization / Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFR	Instrument Flight Rules / Let podle přístrojů
LAPL	Light Aircraft Pilot Licence / Průkaz pilota lehkých letadel
MCTOM	Maximum Certified Take-Off Mass / Maximální certifikovaná vzletová hmotnost
MEL	Minimum Equipment List / Seznam minimálního vybavení
ML	Machine Learning / Strojové učení
MOPSC	Maximum Operational Passenger Seating Configuration / Maximální provozní konfigurace sedadel pro cestující
MS	Microsoft
SQL	Structured Query Language / Strukturovaný dotazovací jazyk
MTOW	Maximum Take-Off Weight / Maximální vzletová hmotnost
NCC	Non-commercial operations with complex motor-powered aircraft / Neobchodní provoz prováděný složitým motorovým letadlem
NCO	Non commercial operations with other than complex motor powered aircraft / Neobchodní provoz prováděný jiným než složitým motorovým letadlem
OL	Operating Licence / Provozní licence
OLD	Osvědčení leteckého dopravce
OM	Operational Manual / Provozní příručka
PAX	Passengers / Cestující
PIC	Pilot in command / Velící pilot
PPL	Private Pilot License / Průkaz soukromého pilota
SEP	Single Engine Pistons Aircraft / Jednomotorové letadlo s pístovým motorem
SHELL	Software - Hardware - Environment - Liveware - Liveware



SPA	Operations Requiring Specific Approvals / Provoz vyžadující zvláštní oprávnění
SPL	Sailplane Pilot License/ Průkaz pilota kluzáků
SPO	Specialised Operations / Zvláštní provoz
SRM	Jednotka čerpání dle Mezinárodního měnového fondu
SSH	Secure Shell / Zabezpečený komunikační protokol
STAMP	Systems Theoretic Accident Model and Process / Prediktivní model bezpečnosti založený na systémové teorii
TAWS	Terrain Avoidance and Warning System / Systém varování před blízkostí terénu
TMG	Touring motor glider / Motorový turistický kluzák
TN	True Negative / Pravdivě negativní
TP	True Positive / Pravdivě pozitivní
ÚCL	Úřad pro civilního letectví
UTC	Coordinated Universal Time / Koordinovaný světový čas
VFR	Visual Flight Rules / Let za viditelnosti



## Úvod

Důvodů k provozování ilegální obchodní letecké přepravy může být více, ale zejména je to finanční zisk – úspora na straně dopravce nebo samotného pilota, který je schopen záměrným nedodržením závazných nařízení a norem snížit náklady na takovou přepravu a udělat ji na první pohled pro zákazníka výhodnější. Mohou nastat dvě situace, a to že zákazník si je takového jednání vědom, nebo společnost / prodejce vystupuje jako legální přepravce, avšak nedisponuje nezbytným osvědčením a licencí, vybavením nebo adekvátně kvalifikovaným personálem pro vykonávání nabízených služeb. Takové jednání významně snižuje bezpečnost letecké dopravy a je proto velmi nežádoucí. Důsledkem takových ilegálních letů je v lepším případě ekonomický dopad nebo znevýhodnění legálních dopravců, kteří musí pro splnění všech nařízení a udržení nezbytných osvědčení a licencí investovat nemalé částky, a zároveň odliv části potenciálních zákazníků k ilegálním přepravcům, již závazné nařízení a normy neplní. V horším případě pak dochází vlivem systematického nedodržování bezpečnostních norem k závažným incidentům, které pak mohou vrhat špatné světlo na bezpečnost letectví jako celku.

Jedním z problémů ilegálních charterů ovšem je, že přesnější informace o nich lze získat až po jejich odhalení, například po cílené inspekci dozorového orgánu, hlášení ze strany cestujících / zákazníků, u kterých takový let vzbudí pochybnosti nebo v krajním případě nehody ze závěrečné zprávy od Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod. Vzhledem k povaze letecké dopravy jde o problém globálního charakteru. Podle některých zdrojů se odhaduje, že podíl ilegálních charterů je kolem 20–40 % ze všech obchodních letů na blízkém východě a až 20 % transatlantických letů lze rovněž nazývat ilegálními chartery. [1]

Lety ilegální obchodní letecké dopravy lze ze své podstaty velmi těžko předem odlišit od letů zcela legálních. I když existují odhady, jakou měrou se tyto ilegální lety mohou podílet na celkovém zastoupení všech letů obchodní letecké dopravy, přesné číslo není z podstaty těchto letů známo. Důvodem, proč nemůže být ze strany dozorujících orgánů efektivněji zakročeno proti provádění těchto ilegálních letů, je zejména jejich obtížná identifikace spolu s prokázáním vykonávání této činnosti, aniž by se jednalo o reaktivní způsob (např. ze závěrečných zpráv o leteckých nehodách s potvrzením na il. formu



letecké dopravy apod.) nebo o cílenou kontrolu či přímé upozornění klienta ilegálního leteckého dopravce.

K nalezení a prokázání činnosti ilegálního přepravce je nutné znát soubor vnějších i vnitřních faktorů. Vnitřními může být absence osvědčení leteckého dopravce, pojištění, nedostatečná kvalifikace pilotů anebo vybavení letounu. Vnějšími faktory může být například nestandardní chování pro danou kategorii letadla, lety vybočující svými parametry nad rámec většiny ostatních pro daný stroj například délkou letu, časem, opakující se neobvyklou cílovou destinací letu apod.

Cílem této diplomové práce je v první řadě analýza legislativní úpravy a následné odvození možných scénářů provedení ilegální obchodní letecké dopravy, nalezení nejčastěji používaných kategorií a typů letadel k této činnosti, objasnění chování a parametrů, jimiž se takové lety vyznačují, ověření dostupnosti a použitelnosti dat v leteckém provozu pro vytvoření nástroje, který zúží výběr podezřelých kandidátů (popřípadě pak upozorní na některé z nich). Dalšími cíli práce je vytvoření metodického postupu pro pracovníka obsluhy vytvořeného interaktivního nástroje, kontrolního seznamu otázek pro cestující a pracovníky státní správy, pomocí kterého půjde snadno objasnit, zda je let na první pohled podezřelý z ilegálního způsobu provedení dopravy, či nikoliv. Součástí práce je též bezpečnostní analýza rizik, která vyplývají z ilegální formy provozu obchodní letecké dopravy.

Považuji tedy za nezbytné zaměřit se na více fází. Za prvé je to sběr dat, kterému musí předcházet správné definování formy a obsahu potřebných údajů o provozu letadel, což je nezbytné pro další analýzu, a zároveň ověřit dostupné zdroje těchto dat. V další fázi, ve které již máme staženy vzorky dat z dostupných zdrojů, je třeba vybrat dle kritérií jako je obsah, formát a dostupnost ten nejvhodnější z nich. Poté přichází na řadu kroky jako je předzpracování vstupních dat, import do vhodného prostředí pro další zpracování, vyfiltrování nepravděpodobných dat, doplnění dostupných informací z externích souborů jako je například údaj o tom, jestli je provozovatel držitelem platného osvědčení leteckého provozovatele apod. V této fázi je již možné stanovit parametry, na základě kterých můžeme přistoupit k samotnému vyhodnocování výsledků, tj. identifikaci letů, jež svými parametry vybočují nad hodnoty průměrné a typické pro daný stroj a podobně.

Dalším krokem by mohlo být stanovení parametrů ve formátu vhodných pro účely vyhodnocení strojovým učením, vzhledem k předpokládanému velmi vysokému objemu dat. Strojové učení by pak bylo možné použít k nalezení opakujících se vzorů a anomálního chování pro účely podrobnějšího vyhodnocení a identifikaci letů



podezřelých z provozu letů ilegální letecké přepravy. Posledním krokem by mohlo být například adresné dotazování vhodných kandidátů s poptáváním této služby/přepravy na zakázku formou emailové zprávy (v tomto případě by bylo nezbytné najít kontakt na provozovatele), či zaměření se na lety konkrétních letadel, které byly po bližším zkoumání vyhodnoceny jako podezřelé a pohyb těchto letadel podrobněji sledovat.

Práce je členěna do třech hlavních částí. První částí je teoretická část práce, kde je rozebrána příslušná legislativní úprava a možné kombinace il. scénářů, je zde uveden rozbor nehod potvrzených jako il. forma obchodní letecké dopravy, je zde vypracována analýza rizik těchto letů a poté jsou zde popsány principy použitých softwarových nástrojů. Druhá část práce se zabývá návrhem a praktickou realizací celého nástroje. Jsou zde uvedeny vhodné zdroje dostupných dat pro účely této práce, popsán jejich obsah a vhodná forma pro další zpracování. Dále je zde uveden popis celého postupu vytváření interaktivního nástroje. Tento postup je tvořen především sběrem dostupných dat o letovém provozu, jejich úpravou do vhodné podoby, doplněním těchto dat o další informace, vytvoření vhodných filtrů a parametrů, na jejichž základě jsou data vyhodnocována a jejich vyhodnocením samotným. Součástí je rovněž metodický postup obsluhy a kontrolní seznam otázek a úkonů pro obsluhu vytvořeného nástroje. V poslední, třetí části je uvedeno vyhodnocení výsledků, diskuze a samotný závěr této práce.



# 1. Legislativa a dělení letecké dopravy

V této kapitole uvádím nezbytné legislativní požadavky pro provozování obchodní letecké dopravy a jednotlivé formy dělení leteckého provozu spolu s vymezením souvisejících pojmů a definic. Dále se pak zabývám možnými situacemi a činnostmi, při kterých mohou být na palubě letadla přepravováni cestující a uvádím nezbytné předpoklady, které musí být splněny pro dodržení platných předpisů a nařízení. V závěru této kapitoly jsou uvedeny příklady situací možných ilegálních scénářů, které nastaly v důsledku nedodržování platných předpisů a nařízení.

## 1.1 Dělení letecké dopravy dle pravidelnosti a působnosti dopravce

Obchodní letecká doprava se rozděluje na pravidelnou a nepravidelnou dle způsobu provozování, na vnitrostátní a mezinárodní podle rozsahu působnosti dopravce. [2]

### 1.1.1 Pravidelná přeprava

Přeprava prováděna letadlem přístupná všem členům společnosti za účelem přepravy cestujících, zboží nebo pošty za úplatu. Je prováděna za účelem přepravy mezi dvěma a více body podle veřejného letového řádu nebo se vyznačuje takovou pravidelností, že jsou rozpoznatelné systematické série letů. [2]

### 1.1.2 Nepravidelná přeprava – chartery

Nepravidelná přeprava bývá obvykle realizována na základě přímé objednávky v časech a tratích dle požadavků klienta. Klient při těchto letech většinou využívá celou kapacitu letadla pro větší skupinu cestujících, kteří cestují do stejné destinace. Jako příklad takového klienta lze zmínit cestovní kanceláře či jiné smluvní partnery. Nás ovšem zajímá doprava cestujících a nákladu menšími letadly, například kategorie business jet. Lety bývají provozovány podle charterové smlouvy z jednoho místa do druhého s cílem využít ideálně co největší kapacitu letadla, přičemž na obsazení kapacity se může podílet i více subjektů. Provozovatel nemůže mít přímou kontrolu nad cenou pro koncového spotřebitele, protože kapacita letadla je prodávána za velkoobchodní ceny objednateli. Rizika finančních ztrát při nenaplnění kapacity nese objednatel, který si od provozovatele pronajímá celou nebo určitou část kapacity letadla.

Dále pak můžeme obchodní leteckou přepravu dělit z hlediska druhu přepravy na osobní a nákladní přepravu. [2]



### **1.1.3 Osobní letecká přeprava**

Za osobní leteckou přepravu považujeme lety realizované za účelem přepravy jednoho nebo více platících cestujících. Jako doklad slouží většinou letenka vystavená dopravcem nebo agentem dopravce, která plní účel cestovního a zavazadlového lístku. V případě nepravidelných letů může být přeprava realizována na základě dohody či smlouvy. [2]

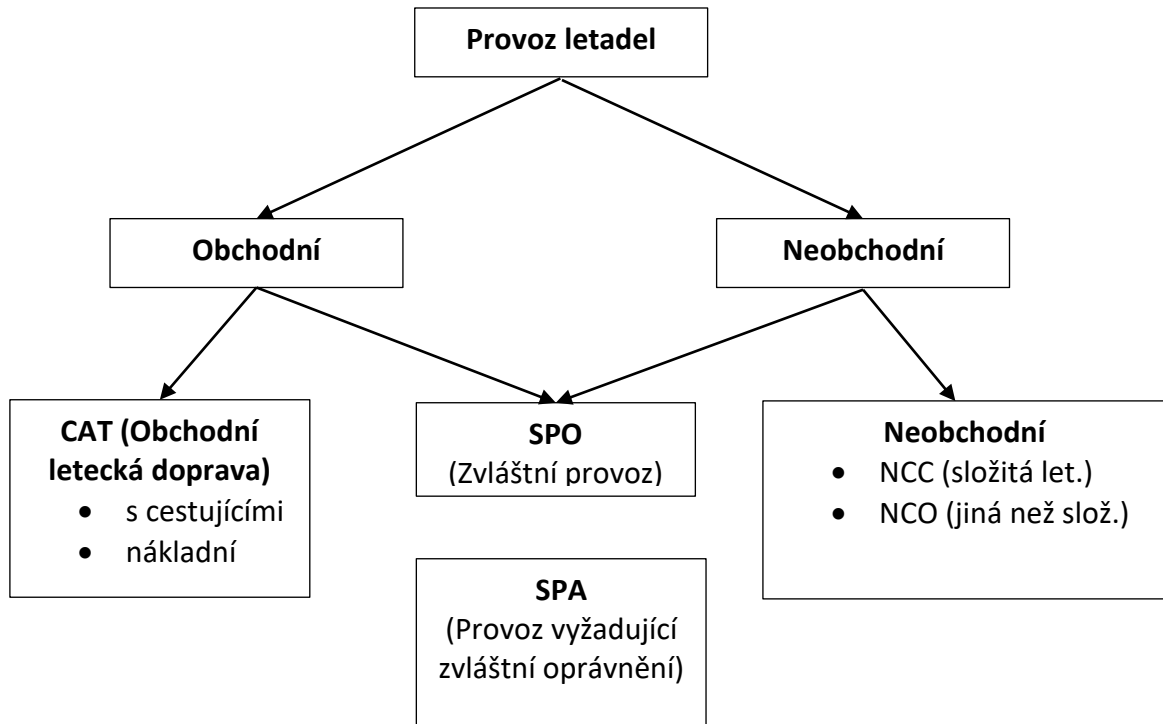
### **1.1.4 Nákladní letecká přeprava**

Za nákladní leteckou přepravu považujeme lety realizované za účelem přepravy zboží nebo pošty za podmínek stanovených pro přijetí zboží k přepravě. [2]

## **1.2 Dělení letecké dopravy dle druhu jejího provozu a vymezení pojmů**

V předchozí kapitole bylo uvedeno základní rozdělení letecké dopravy dle způsobu jejího provedení na pravidelnou a nepravidelnou leteckou přepravu, dále pak na přepravu osob nebo nákladu. V této kapitole se zabývám rozdělením leteckého provozu, jeho možnými formami a klasifikací dle znění aktuálních nařízení EU/EASA. Při tomto rozdělení vycházím především z nařízení komise EU č.965/2012 a zákona č. 49/1997. Seznámení s tímto dělením provozu a platnými nařízeními je důležité pro možnost následného rozlišení situací, kdy se jedná o legální formu přepravy osob nebo nákladu a kdy nikoliv. Na následujícím blokovém schématu (obrázek 1.1) je znázorněno toto dělení provozu a pod schématem se nachází vysvětlení jednotlivých definic a pojmů.

### Klasifikace provozu letadel (dle EU/EASA)



Obrázek 1.1 Klasifikace provozu letadel

„Obchodní leteckou dopravou se rozumí doprava osob, zvířat, zavazadel, pošty nebo jiného nákladu letadlem za úplatu nebo jiné protihodnotné plnění.“ **Zákon č. 49/1997**

„Leteckým dopravcem se rozumí osoba oprávněná provozovat obchodní leteckou dopravu na základě licence nebo jiného obdobného oprávnění.“ **Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví**

#### **1.2.1 Vybrané pojmy dle nařízení EU č. 965/2012:**

CAT – Provoz obchodní letecké dopravy

SPA – Provoz vyžadující zvláštní oprávnění

NCC – Neobchodní provoz – složitá motorová letadla

NCO – Neobchodní provoz – letadla jiná než složitá motorová letadla

SPO – Zvláštní provoz





### 1.2.1.1 Složitě motorové letadlo

#### Letoun:

- s maximální certifikovanou vzletovou hmotností vyšší než 5 700 kg nebo
- s osvědčením pro maximální počet sedadel pro cestující vyšší než 19 nebo
- s osvědčením pro provoz s posádkou složenou nejméně ze 2 pilotů nebo
- vybavené proudovým motorem či proudovými motory nebo více než jedním turbovrtulovým motorem.

#### Vrtulník s osvědčením:

- pro maximální vzletovou hmotnost vyšší než 3 175 kg nebo
- pro maximální počet sedadel pro cestující vyšší než 9 nebo
- pro provoz s posádkou složenou nejméně ze 2 pilotů nebo letadlo se sklopným rotorem.

### 1.2.1.2 Část-NCC

- neobchodní provoz prováděný složitým motorovým letadlem (letouny a vrtulníky)
- letový výcvik prováděný schválenou organizací pro výcvik (ATO) v souladu s nařízením (EU) č. 1178/2011, ve znění pozdějších předpisů (složitá motorová letadla).

### 1.2.1.3 Část-NCO

- neobchodní provoz prováděný jiným než složitým motorovým letadlem (letouny, vrtulníky, kluzáky a balony)
- letový výcvik prováděný schválenou organizací pro výcvik (ATO) v souladu s nařízením (EU) č. 1178/2011, ve znění pozdějších předpisů (letadla jiná než složitá motorová letadla)
- v souladu s čl. 6, odst. 4a k nařízení (EU) č. 965/2012: o lety, na něž náklady nesou společně soukromé osoby, za podmínky, že přímé náklady nesou společně všechny osoby na palubě včetně pilota a počet osob nesoucích přímé náklady není vyšší než šest.

**Zvláštní provoz (SPO)** je jakýkoliv provoz mimo obchodní leteckou dopravu, kdy je letadlo použito pro zvláštní činnost jako je zemědělství, výstavba, snímkování, průzkum, pozorování a hlídkování a letecká reklama aj. Seznam těchto činností lze nalézt v dodatku VIII – Part-SPO AMC1 SPO.GEN.005. [3]



## Vysoce rizikový zvláštní obchodní provoz

je jakýkoli zvláštní obchodní provoz letadla:

- Prováděný nad územím, kde by v případě nouzové situace pravděpodobně došlo k ohrožení bezpečnosti třetích stran na zemi.
- Který je podle úřadu prováděný v místě, kde vzhledem ke své zvláštní povaze a k místním podmínkám, v nichž probíhá, představuje vysoké riziko, zejména pro třetí strany na zemi.

### 1.2.2 Druhy pronájmu letadel

Dále v této práci používám termíny pro různé druhy pronájmu letadel, proto níže uvádím jejich přesné znění dle nařízení komise EU č. 379/2014.

**Dohodou o nájmu/pronájmu bez posádky:** „se rozumí dohoda mezi podniky, podle níž je letadlo provozováno na základě osvědčení leteckého provozovatele (OLD) nájemce nebo, v případě obchodního provozu s výjimkou obchodní letecké dopravy (CAT), na odpovědnost nájemce.“

**Dohodou o nájmu/pronájmu s posádkou:** „se rozumí dohoda: mezi leteckými dopravci, podle níž je letadlo provozováno na základě osvědčení leteckého provozovatele pronajímatele, jedná-li se o provoz v obchodní letecké dopravě, nebo – mezi leteckými dopravci, podle níž je letadlo provozováno na odpovědnost pronajímatele, jedná-li se o obchodní provoz s výjimkou provozu v obchodní letecké dopravě.“

## 1.3 Podmínky pro provozování činnosti obchodního leteckého dopravce

K zahájení činnosti leteckého přepravce je zapotřebí nabytí licence a osvědčení ze strany dozorujícího úřadu a splnění řady požadavků, bez nichž nelze takovou činnost provozovat. Jedná se zejména o následující z nich:

- 1) Osvědčení leteckého dopravce (OLD)
- 2) Provozní licence
- 3) Provozní příručka
- 4) Přepravní právo
- 5) Pojistka
- 6) Program na ochranu před protiprávními činy



### 1.3.1 Osvědčení leteckého dopravce (OLD)

OLD osvědčuje provozovatele k provozu v obchodní letecké dopravě, je tedy základním povolením od určeného úřadu / authority, bez něhož nelze vykonávat činnost obchodního přepravce. Fakt, že je společnost nabízející nebo poskytující lety za úplatu držitelem platného OLD prvním ukazatelem toho, zda se jedná o legálního provozovatele těchto služeb, či nikoliv. Osvědčení leteckého provozovatele dokládá, že daný provozovatel má odbornou způsobilost a organizaci k zajištění bezpečnosti provozu uvedeného v osvědčení, jak stanoví příslušná ustanovení práva. Osvědčení vydává příslušný úřad v České republice, tedy ÚCL.

Platnost OLD se vydává na dobu neomezenou, dokud provozovatel splňuje všechny požadavky stanovené nařízením. Přesné znění požadavků je uvedeno v nařízení komise EU č. 965/2012, konkrétně pak v HLAVĚ OLD OSVĚDČOVÁNÍ LETECKÝCH PROVOZOVATELŮ část ORO.OLD.100 (příklad podoby osvědčení viz obrázek 1.2).

OSVĚDČENÍ LETECKÉHO PROVOZOVATELE AIR OPERATOR CERTIFICATE		
Druh provozu / Type(s) of operation:		
Obchodní letecká doprava: Commercial air transport (CAT):	Cestující: Passengers: <input checked="" type="checkbox"/>	Náklad: Cargo: <input checked="" type="checkbox"/>
Jiný: / Other type of transportation: <input type="checkbox"/>		
Stát provozovatele / State of Operator:		
Vydávající úřad / Issuing Authority:		
AOC číslo / AOC No: <b>CZ-S</b>	Název provozovatele / Operator name: <b>ABS Jets, a.s.</b> Obchodní název / Trading name: --- Adresa provozovatele / Operator address: K Letišti - Hangár C 161 00 PRAHA 6 - Ruzyně Tel: +420 602 316 636 Fax: +420 220 112 623 E-mail: ops@absjets.com	Kontaktní údaje umožňující bez zbytečných prodlení kontaktovat vedení provozovatele jsou uvedeny v tomto dokumentu, str.2.  Contact details, at which operational management can be contacted without undue delay, are listed in this document, page 2.
Toto osvědčení osvědčuje, že provozovatel ABS Jets, a.s. je oprávněn k provozu v obchodní letecké dopravě tak, jak je stanoveno v příložených provozních specifikacích, v souladu s provozní příručkou, přílohou IV nařízení (ES) č. 216/2008 a jeho prováděcími pravidly.  This certificate certifies that ABS Jets, a.s. is authorised to perform commercial air operations, as defined in the attached operations specifications, in accordance with the operations manual, Annex IV to the Regulation (EC) No 216/2008 and its Implementing Rules.		
Datum vydání: Date of issue:	Jméno a podpis: Name and signature: Funkce: Title:	
01.11.2017	 Ing. Vítězslav Hezky Ředitel sekce provozní Director of Air Operations Division	

OSVĚDČENÍ LETECKÉHO PROVOZOVATELE AIR OPERATOR CERTIFICATE			
(popis povinností a zodpovědností uveden v Provozní příručce, část A) (description of the duties and responsibilities is in the Operations Manual, Part A)			
ŘÍZENÍ SPOLEČNOSTI / OPERATIONAL MANAGEMENT:			
Jméno / Name:	Pozice / Post:	Tel.:	E-mail:
Jan Králík	Odpovědný vedoucí Accountable Manager ORO.GEN.216(A)	+420 604 401 151	jan.krulik@absjets.com
Štefan Kukura	Osoba zodpovědná za letový provoz Flight Operations Manager ORO.AOC.135(A)(1)	+420 602 239 138	stefan.kukura@absjets.com
Jan Kotan	Osoba zodpovědná za sylvik posádek Crew Training Manager ORO.AOC.135(A)(2)	+420 733 788 745	jan.kotan@absjets.com
Michal Pazourek	Osoba zodpovědná za pozemní provoz Ground Operations Manager ORO.AOC.135(A)(3)	+420 733 788 727	michal.pazourek@absjets.com
Stanislav Kučera	Osoba zodpovědná za zachování letové způsobilosti Continuing Airworthiness Manager ORO.AOC.135(A)(4) Reg.(EC) No 121/2014	+420 602 319 622	stanislav.kucera@absjets.com
Martin Orlíta	Vedoucí bezpečnosti SMS Manager ORO.GEN.209	+420 602 190 508	martin.orlita@absjets.com
Martin Orlíta	Vedoucí sledování shody CM Manager ORO.GEN.209	+420 602 190 508	martin.orlita@absjets.com

Obrázek 1.2: Osvědčení leteckého dopravce [4]

Další částí osvědčení tvoří provozní specifikace. V provozní specifikaci jsou uvedena práva udělená provozovateli, která podléhají schváleným podmínkám v provozní příručce, obsahuje informace zejména o:

- Modelu letadla



- Poznávací značky
- Specifikace minimální navigační výkonnosti
- Oblast provozu
- Zvláštní omezení
- Zvláštní oprávnění  
a další...

### **1.3.2 Provozní licence (tzv. OL – Operating Licence)**

Dalším nezbytným oprávněním vydávaným příslušným úřadem podniku umožňujícím poskytovat letecké služby je Provozní licence, její vydání je podmíněno platným OLD. Licence je platná, dokud dopravce splňuje požadavky dané Nařízením komise EU č. 1008/2008, dále vycházím z tohoto nařízení.

Pro vydání Provozní licence musí být splněny následující podmínky:

- Hlavní místo obchodní činnosti sídlí v daném státu
- Platné OLD vydané úřadem téhož státu
- Společnost má k dispozici alespoň jedno letadlo ve vlastnictví či si ho pronajímá bez posádky
- Hlavní činností je provoz samotných leteckých služeb či jiný obchodní provoz související s opravou nebo údržbou letadel
- Majitel je členský stát nebo jeho příslušníkem a zároveň vlastní a kontroluje nadpoloviční většinu podniku a přímo či nepřímo ho kontroluje prostřednictvím jednoho nebo více zprostředkujících podniků
- Musí dostát svým stávajícím i očekávaným budoucím závazkům po dobu 2 let od začátku provozu, zároveň musí být schopen pokrýt veškeré provozní náklady podle realistických předpokladů podle obchodního plánu po dobu 3 měsíců od provozu bez ohledu na očekávané příjmy
- Pojištění, dle nařízení komise EU č. 785/2004 – splnit podmínky a požadavky pro pojištění leteckých dopravců a provozovatelů letadel
- Bezúhonnost všech osob trvale zapojených do řízení podniku

### **1.3.3 Provozní příručka (tzv. OM – Operational Manual)**

Provozní příručku schvaluje pověřený úřad a její předložení je podmínkou pro vydání OLD. Je tedy nezbytnou přílohou k formuláři o Osvědčení leteckého dopravce. Příručka je tvořena čtyřmi částmi (A až D):



## **A – obecná základní ustanovení**

Obsahuje všechna základní a obecná ustanovení, provozní postupy a nařízení, která nejsou vázána na typ letounu a zároveň popisuje povinnosti a odpovědné funkce pozemního a letového personálu. Provozovatel je proto povinen zabezpečit obsazení funkcí pracovníky s dostatečnou kvalifikací a zkušenostmi pro následující funkce:

- Odpovědného vedoucího
- Vedoucího letového provozu
- Vedoucího výcviku posádek
- Vedoucího pozemního provozu
- Vedoucího údržby

## **B – provoz letadla**

Obsahuje všechna nezbytná nařízení a postupy pro bezpečný provoz, které se vztahují k danému typu letadla, a zohledňuje rozdíly a modifikace mezi jednotlivými variantami a třídami letadla používanými provozovatelem. Část B provozní příručky se musí vždy nacházet na palubě letadla, neboť obsahuje pokyny a instrukce pro použití záchranného vybavení, postupy v případě nebezpečných situací.

## **C – Provoz v obchodní letecké dopravě, traťové a letištní instrukce**

Obsahuje pokyny potřebné pro určenou oblast provozu a informace nezbytné pro jednotlivé tratě, úlohy a letiště.

## **D – Výcvik**

Obsahuje instrukce a pokyny týkající se výcviku personálu k zajištění bezpečného provozu.

### **1.3.4 Přepravní právo**

Pro provozování pravidelné obchodní letecké dopravy do ČR, z ČR, na nebo přes jeho území musí být letecký dopravce třetí země rovněž držitelem povolení, které vydává Ministerstvo dopravy. Toto právo je vydáváno na základě žádosti leteckého dopravce, pokud je taková žádost v souladu s mezinárodní smlouvou o letecké přepravě a nepředstavuje-li to bezpečnostní, ekonomické nebo ekologické riziko. [2]

### **1.3.5 Pojištění společnosti provozující obchodní leteckou přepravu**

Zásady takového pojištění se řídí nařízením EU č. 785/2004 o požadavcích na pojištění leteckých dopravců a provozovatelů letadel; určuje minimální požadavky na pojistné krytí odpovědnosti ve vztahu k:

- Cestujícím (250 000 SRM/PAX)



- Zavazadlům (1000 SRM/PAX)
- Nákladům (17 SRM/kg)
- Třetím osobám dle MTOW

\*SRM je poměrný ukazatel dle zvláštního práva čerpání podle Mezinárodního měnového fondu, jehož hodnota se odvíjí od průměrné hodnoty měn USA, EU, Japonska, UK a Číny, přibližná hodnota v současnosti je asi 1,4 USD. [2]

### 1.3.6 Program na ochranu před protiprávními činy

Letecký dopravce musí rovněž doložit bezpečnostní program, který musí být v souladu s Národním bezpečnostním programem a obsahuje bezpečnostní opatření a postupy pro: (ochranu letadla, cestujících, nákladu, catering, kybernetickou bezpečnost apod.). Dále pak program vyžaduje kontrolu zavádění a plnění bezpečnostních opatření a postupů, školení, obsahuje pohotovostní plány pro různé nouzové situace jako například sabotáž, bomba na palubě aj. [2]

## 1.4 Lety s cestujícími na palubě letadla dle pravidel EU/EASA

V této kapitole jsou uvedeny situace a činnosti, při kterých mohou být přepravováni cestující na palubě letadla, definice těchto možných způsobů přepravy spolu s platnými pravidly a nařízeními pro tyto lety. I ve svém působení v prostředí menších letišť a aeroklubových provozů se často setkávám s různě odlišnými výklady těchto nařízení a definic pro přepravu cestujících na palubě. Při nesprávném výkladu těchto nařízení se ovšem můžeme snadno dostat do stavu ilegálního provozu. Přehledné shrnutí těchto nařízení a pravidel umožní jasné odlišení stavů, kdy se jedná o legální lety pro přepravu osob na palubě, tak především letů, jež svým druhem provozu porušují platná nařízení a mohou tak být podezřelé z ilegálního provádění obchodní letecké dopravy. K vymezení těchto činností, jejich definování a přiřazení platných pravidel jsem vycházel z Nařízení komise EU č. 965/2012, č. 379/2014, č. 1178/2011, č. 2018/1139, č. 1008/2008. č. 2018/1976.

### 1.4.1 Druhy letů

#### 1.4.1.1 Obchodní letecká doprava

Obchodní leteckou dopravou rozumíme provoz letadel pro přepravu cestujících, nákladu nebo pošty za úplatu nebo jiné hodnotné protiplnění. [5]

- *Požadované provozní oprávnění:*  
Osvědčení leteckého provozovatele (OLD) + Provozní licence (OL)



#### 1.4.1.2 Seznamovací lety

Let za úplatu či jinou protihodnotu nabízený schválenou organizací pro výcvik nebo organizací vytvořenou za účelem propagace sportovního či rekreačního létání s cílem získat nové členy či zájemce o výcvik. [6]

Seznamovací let smí provádět v souladu s nařízeními EU č. 965/2012, č. 379/2014 a č. 1178/2011 pouze:

- Organizace schválená pro výcvik podle Nařízení komise EU č. 1178/2011 (ATO)
- Ohlášená organizace pro výcvik dle Nařízení komise EU č. 1178/2011 (DTO)
- Organizace vytvořená za účelem propagace sportovního či rekreačního létání

Dále za podmínky, že hlavní místo obchodní činnosti organizace se nachází v některém členském státě a organizace letadlo provozují na základě vlastnictví nebo nájmu/pronájmu bez posádky, že let nevytváří zisk vyplácený mimo organizaci a že lety, kterých se účastní osoby, jež nejsou členy organizace, představují pouze okrajovou činnost organizace.

Kromě uvedeného musí seznamovací lety:

- a) začínat a končit na stejném letišti nebo provozním místě s výjimkou balonů a kluzáků
- b) být provozované podle pravidel VFR ve dne
- c) být provozovány pod dozorem osoby, které byla svěřena odpovědnost za jejich bezpečnost

#### Způsobilost pilotů letadel pro provedení seznamovacího letu:

Pokud je pilot držitel platného průkazu způsobilosti PPL (A), PPL (H) nebo LAPL (A), LAPL (H) dle EASA dodatku I, části FCL (Flight Crew Licensing), musí mít alespoň:

Celkový nálet na letounu 200 hodin a z toho 100 hodin ve funkci velitele letadla letounu. V případě držitele platného průkazu SPL pak celkový nálet na kluzáku 75 hodin a z toho 25 hodin nebo 200 vypuštění ve funkci velitele letadla v kluzácích nebo motorových kluzácích. [8]

- *Požadované provozní oprávnění:*  
Viz. definice výše

#### 1.4.1.3 Místní lety (A-A)

„Místním letem“ rozumíme let nezahrnující přepravu cestujících, poštovních zásilek nebo nákladu mezi různými letišti nebo jinými povolenými místy přistání (dle nařízení (ES) č. 1008/2008); čl. 3, odst. 3, písm. b), není nutné být pro tyto lety držitelem Provozní licence)



- *Požadované provozní oprávnění:*  
Osvědčení leteckého dopravce (OLD)

#### **1.4.1.4 Lety se sdílenými náklady**

Letouny a vrtulníky – lety, na něž nesou náklady společně soukromé osoby, za podmínky, že přímé náklady nesou společně všechny osoby na palubě včetně pilota a počet osob nesoucích přímé náklady není vyšší než šest. [7]

- *Požadované provozní oprávnění:*  
Žádné





#### 1.4.1.5 Zvláštní obchodní provoz (SPO)

Je jakýkoliv provoz mimo obchodní leteckou dopravu, kdy je letadlo použito pro zvláštní činnost jako je zemědělství, výstavba, snímkování, průzkum, pozorování a hlídkování a letecká reklama. Seznam těchto činností lze nalézt v AMC1 SPO.GEN.005. [6]

#### 1.4.1.6 Neobchodní lety

Cestující se nepodílí na úhradě nákladů

Část-NCO (lety nesložitémi letadly)

Část-NCC (složité letadla) [6]

- *Požadované provozní oprávnění:*  
NCO – Žádné, NCC – Prohlášení

### 1.4.2 Průkazy pilota letounů dle dodatku I části FCL

V předchozí kapitole byly popsány situace a formy přepravy, za kterých mohou být cestující a náklad přepravováni na palubě letadla. Je zřejmé, že kromě nařízení definující požadavky na samotné provozovatele těchto forem letecké přepravy, existují i příslušné požadavky na posádku těchto letů. Uvádím zde průkazy pilotů a jejich práva dle dodatku I části FCL. [8] Jsou zde uvedeny pouze pro kategorii letouny (A), princip dělení průkazů pro vrtulníky (H) je obdobný.

#### 1.4.2.1 Průkaz pilota lehkých letadel LAPL(A)

- *Práva:*  
Působit bez úplaty a v neobchodním provozu jako velitel letadla na SEP land, SEP sea nebo TMG s MCTOM do 2 000 kg. Smí přepravovat nejvíce 3 neplatící cestující, takže počet osob na palubě nepřesáhne 4. [8]
- *Poznámky:*  
Smí přepravovat cestující až poté, co po vydání LAPL(A) nalétal alespoň 10° PIC na letounech nebo TMG. Tento požadavek neplatí, pokud byl dříve držitel vyššího PZ pro letouny. Nesmí provádět letový výcvik, letecké práce ani obchodní leteckou dopravu. [8]

#### 1.4.2.2 Průkaz soukromého pilota PPL(A)

- *Práva:*  
Působit bez úplaty a v neobchodním provozu jako velitel letadla nebo druhý pilot na letounech nebo TMG. [8]  
Má-li práva instruktora nebo examinátora, může obdržet úplatu za poskytování letového výcviku a za provádění zkoušek dovednosti, přezkoušení odborné



způsobilosti nebo hodnocení odborné způsobilosti související s PPL(A) nebo LAPL(A) a s kvalifikacemi do nich zapisovanými, je-li k tomu kvalifikován anebo pověřen. Nesmí provádět letecké práce ani obchodní leteckou dopravu. [8]

#### **1.4.2.3 Průkaz obchodního pilota CPL(A)**

- *Práva:*

Vykonávat všechna práva držitele LAPL(A) a PPL(A) a působit jako PIC nebo druhý pilot na všech letounech a TMG mimo obchodní leteckou dopravu a působit jako PIC na všech jednopilotních letounech a TMG v obchodní letecké dopravě a působit jako druhý pilot na všech letounech v obchodní letecké dopravě. [8]

#### **1.4.2.4 Průkaz dopravního pilota ATPL(A)**

- *Práva:*

Vykonávat všechna práva držitele LAPL(A), PPL(A), CPL(A) a působit jako PIC na všech letounech v obchodní letecké dopravě. [8]

## **1.5 Požadavky na kvalifikaci letové posádky, vybavení letounů, provozní postupy a organ. strukturu leteckého dopravce**

Je zřejmé, že pro možnost využití letadel v různých druzích provozu platí rozdílné požadavky dané příslušnými předpisy a nařízeními. Těmito požadavky jsou myšleny především provozní postupy pro různé trati a oblasti provozu, přístroje a vybavení, požadavky na výkonnost letadla a jejich provozní omezení. Různé formy provozu kladou i rozdílné požadavky na kvalifikaci posádky. Pro velký rozsah a obsáhlost jednotlivých částí těchto nařízení jsem nejpodstatnější body z nich shrnul do tabulek č. 1.1, 1.2, 1.3 a 1.4 uvedených níže. Uvědomění si těchto všech požadavků a nařízení nám umožní lépe pochopit a nalézt sociotechnické faktory, kterými se mohou odlišovat legální a ilegální formy obchodní letecké dopravy. Tyto faktory budou brány v potaz při vytváření bezpečnostní analýzy a rozboru nehod letadel potvrzených jako forma ilegální obchodní letecké dopravy.



Tabulka 1.1: Požadavky na způsobilost a kvalifikaci letové posádky – pilota

Jednotlivé oblasti	Soukromý pilot	Obchodní pilot	Příslušné nařízení, předpis
zdravotní osvědčení	2. třída	1. třída	nař. komise EU č. 1178/2011
min. nálet pro získání průkazu způsobilosti	45h	200h	nař. komise EU č. 1178/2011
min. úroveň praxe pro PIC VFR (jednopilotní letoun, pro lety s cest. nad 50NM od letiště vzletu)	45h	nejméně 500 let. hodin + platná přístroj. kval.	nař. komise EU č.965/2012 - ORO.FC.250
požadavek na nedávnou praxi	min. 3 lety na daném typu letounu za posledních 90 dnů	min. 3 lety na daném typu letounu za posledních 90 dnů	nař. komise EU č.965/2012
min. úroveň praxe pro PIC IFR (jednopilotní letoun)	minimálně 50 h navigačních přeletů VFR jako PIC	nejméně 700 hodin z toho 400 jako PIC	nař. komise EU č.965/2012 - ORO.FC.250
kurz velení pro vícepilotní provoz	NE	ANO	nař. komise EU č.965/2012
ICAO angličtina	není součástí požadavků pro získání průkazu	min. ICAO level 4	nař. komise EU č.965/2012
výcvik IFR	není součástí požadavků pro získání průkazu	ANO	nař. komise EU č. 1178/2011
výcvik Night	není součástí požadavků pro získání průkazu	ANO	nař. komise EU č. 1178/2011
opakovací výcvik a přezkoušení odborné způsobilosti provozovatelem	NE	každých 6 měsíců	nař. komise EU č.965/2012 - ORO.FC.230
prokazatelná znalost tratě	neznámá	seznámení min. jednou za 12 měsíců	nař. komise EU č.965/2012 - ORO.FC.105



Tabulka 1.2: Vybrané požadavky na letoun, přístroje a vybavení

Jednotlivé oblasti	Vymezení povinných požadavků	Příslušné nařízení, přesná specifikace
povinné vybavení letounu pro lety CAT, VFR, DAY (let obchodní dopravy, za podmínek vizuální dohlednosti ve dne)	viz CAT.IDE.A.125 + splnění příslušného MEL	nař. komise EU č.965/2012 - CAT.IDE.A.125, (str.110)
povinné vybavení letounu pro lety CAT, IFR, NIGHT (let obchodní dopravy, za podmínek letu dle přístrojů v noci)	viz CAT.IDE.A.130 + splnění příslušného MEL	nař. komise EU č.965/2012 - CAT.IDE.A.130, (str. 111)
povinné vybavení letounu pro lety SPO, VFR	SPO.IDE.A.120 + splnění příslušného MEL	SPO.IDE.A.120 Provoz podle pravidel VFR – letové a navigační přístroje a přidružené vybavení
povinné vybavení letounu pro lety SPO, IFR	SPO.IDE.A.125 + splnění příslušného MEL	SPO.IDE.A.125 Provoz podle pravidel IFR – letové a navigační přístroje a přidružené vybavení
povinné vybavení letounu pro lety NCC, VFR	NCC.IDE.A.120 + splnění příslušného MEL	NCC.IDE.A.120 Provoz podle pravidel VFR – letové a navigační přístroje
povinné vybavení letounu pro lety NCC, IFR	NCC.IDE.A.125 + splnění příslušného MEL	NCC.IDE.A.125 Provoz podle pravidel IFR – letové a navigační přístroje a přidružené vybavení
povinné vybavení letounu pro lety NCO, VFR	NCO.IDE.A.120 + splnění příslušného MEL	NCO.IDE.A.120 Provoz podle pravidel VFR – letové a navigační přístroje
povinné vybavení letounu pro lety NCO, IFR	NCO.IDE.A.125 + splnění příslušného MEL	NCO.IDE.A.125 Provoz podle pravidel IFR – letové a navigační přístroje a přidružené vybavení
požadavky na odpovídáče hlásící tlakovou nadmořskou výšku mód S pro lety CAT	VFR lety nad FL95, IFR lety (všech vrtulníků a letounů MTOW 5700 a méně a cest. rychlostí 250kt a méně)	viz předpis L10 (podrobněji), nař. komise EU č.965/2012 CAT.IDE.A.350
autopilot, jednopilotní provoz pro lety CAT	povinné pro lety noc, podle přístrojů	nař. komise EU č.965/2012
bouřkový radar pro let. s přetlak. kabinou pro lety CAT	povinné pro lety noc, podle přístrojů v oblastech, kde lze očekávat bouřky nebo nebezpečné meteorologické jevy	nař. komise EU č.965/2012
třídy výkonnosti a provozní omezení pro lety CAT	a) letoun musí být provozován v souladu s příslušnými požadavky pro třídu výkonnosti. b) provozovatel použije schválené standardy výkonnosti, které zajistí úroveň bezpečnosti rovnocennou úrovni příslušné kapitoly v případech, kdy nelze prokázat úplné splnění příslušných požadavků tohoto oddílu vlivem zvláštních charakteristik konstrukce.	nař. komise EU č.965/2012 - CAT.POL.A.100
třídy výkonnosti a provozní omezení pro SPO, NCO/NCC	viz. VÝKONNOST LETADLA A PROVOZNÍ OMEZENÍ HLAVA C (SPO str. 333, NCO 291, NCC str.248)	nař. komise EU č.965/2012



Pozn: Jednotlivé části CAT příslušného nařízení se vztahují na obchodní leteckou dopravu. Pokud provozovatel, pilot vykonává tento druh přepravy bez splnění těchto příslušných nařízení a předpisů, postupuje v rozporu s těmito nařízeními a jedná se tak ve skutkové podstatě o druh ilegální obchodní letecké dopravy. Z tohoto důvodu zde nejsou blíže rozebírány požadavky na provoz NCO/NCC aj.

Tabulka 1.3: Vybrané požadavky na provozní postupy, oblasti provozu

Jednotlivé oblasti	Vymezení povinných požadavků	Příslušné nařízení, přesná specifikace
traťové plánování provozovatele, přiměřená výkonnost letadla pro danou oblast provozu, výšku letu pro lety CAT	Provozovatel zajistí, aby lety byly prováděny pouze na tratích a v oblastech, pro které: 1) jsou k dispozici pozemní zařízení a služby včetně meteorologických, které jsou přiměřené pro plánovaný provoz, 2) je výkonnost letadla přiměřená pro splnění požadavků týkajících se minimální výšky letu, 3) vybavení letadla splňuje minimální požadavky pro plánovaný provoz a 4) jsou k dispozici odpovídající mapy a plány.	nař. komise EU č.965/2012 - CAT.OP.MPA.135
trati a oblasti provozu – jednomotorové letouny pro lety CAT	nutnost vhodných ploch v dosahu v případě vynuceného přistání	nař. komise EU č.965/2012 - CAT.OP.MPA.136
hlukové limity, požadavky hlukové způsobilosti	všechny letouny musí mít na palubě dokument osvědčující jejich hlukovou způsobilost, která musí splňovat denní a noční hlukové limity v příslušné oblasti provozu pro daný typ letounu	dodatek ICAO 16
systém signalizace nebezpečného přiblížení k zemi pro lety CAT	a) Letouny s turbínovým pohonem, které mají MCTOM větší než 5 700 kg nebo MOPSC větší než devět, jsou vybaveny systémem TAWS, který splňuje požadavky na vybavení pro třídu A, jak je stanoveno v přijatelném standardu. b) Letouny s pístovými motory, které mají MCTOM větší než 5 700 kg nebo MOPSC větší než devět, jsou vybaveny systémem TAWS.	nař. komise EU č.965/2012 - CAT.IDE.A.150

Pozn: Jednotlivé části CAT příslušného nařízení se vztahují na obchodní leteckou dopravu. Pokud provozovatel, pilot vykonává tento druh přepravy bez splnění těchto příslušných nařízení a předpisů, postupuje v rozporu s těmito nařízeními a jedná se tak ve skutkové podstatě o druh ilegální obchodní letecké dopravy.



Tabulka 1.4: Požadavky na organizační strukturu společnosti leteckého dopravce

*(s přímým dopadem na bezpečnost) podléhající schválení příslušným leteckým úřadem (viz nařízení Komise EU č 965/2012)*

ilegální letecký přepravce (tj. dopravce bez OLD, soukromý pilot apod.)	Legální letecký dopravce
Úplná absence této struktury nebo neznámý rozsah plnění těchto požadavků	Odpovědný vedoucí + nezbytná následující oddělení, funkce: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bezpečnost organizace</li> <li>- Vedoucí údržby</li> <li>- Vedoucí letové bezpečnosti</li> <li>- Provoz: Letový, Pozemní, Technický</li> <li>- Další oddělení (obchod, finance, kvalita, provozní dispečink, zázemí)</li> </ul>

Prostudování nařízení uvedených v tabulkách výše bylo nezbytné pro pochopení dalších aspektů, které musí splňovat legální provozovatel obchodní letecké přepravy, a naopak jakými může být ilegální forma této přepravy význačná. Je tak zřejmé, že k udělení příslušného osvědčení a licence pro legální provozování takové dopravy jsou kladeny vysoké nároky nejen na organizační strukturu samotného provozovatele, ale stejně tak i na posádku, vybavení letounu, příslušné provozní postupy, dokumentaci apod. Z nedodržení požadavků uvedených nařízení pak vyplývají možné kombinace forem ilegální let. obch. dopravy, kdy kterýkoliv dílčí subjekt (jako je posádka, letoun nebo provozovatel) nesplňuje závazná nařízení.

## 1.6 Možné způsoby a kombinace ilegálních provedení obchodní letecké dopravy

V předchozích kapitolách byly rozebrány zejména požadavky, které jsou kladeny na provozovatele obchodní letecké dopravy. Jedná se zejména o oblasti jako: Dělení forem provozu letecké dopravy, Požadavky na kvalifikaci posádky, Požadavky na leteckého přepravce, Požadavky na letoun, přístroje, vybavení a Požadavky na provozní postupy, oblasti provozu. Z těchto kapitol, plynou následující možné scénáře provedení ilegální obchodní letecké dopravy, či jejich vzájemné kombinace:

**Provozovatel** vykonávající činnost leteckého dopravce není držitelem osvědčení leteckého dopravce, či další nezbytné licence a oprávnění, nesplňuje požadavky na organizační strukturu, tj. jedná se o ilegálního leteckého dopravce



- provozovatel se neřídí schválenými ustanoveními danými provozní příručkou (překračuje nebo opomíjí povolení a práva, která mu byla udělena a zvyšuje tak riziko nehody, incidentu apod.)
- nedostatečné řízení údržby, výcviku posádky, bezpečnosti apod. (důsledkem nedostatečného řízení, dozoru je zde mnohem větší prostor pro selhání lidského činitele vlivem nedostatečného výcviku či nedostatečné znalosti odpovídajících provozních postupů, pracovních úrazů, nebo možné závadě na technice)

**1) Posádka – pilot** není držitelem průkazu způsobilosti obchodního pilota nebo vyšší formy průkazu (vlivem absence odpovídajícího výcviku se zvyšuje riziko nesprávné reakce, špatného vyhodnocení situace či vlivem nevědomosti přecenění vlastních schopností)

- pokud je držitelem takového průkazu, nevykonává činnosti obchodní letecké dopravy pod legálním provozovatelem (vlivem absence požadavků na strukturu legálního dopravce zde chybí několik „článků“ řetězce dozoru zodpovědného za bezpečnost, výcvik, údržbu apod., důsledkem čehož je zde mnohem větší prostor pro selhání lidského činitele či možné závadě na technice vlivem opomenutí, nedodržení odpovídajících postupů, absence vzájemné kontroly apod.)
- nesplňuje příslušná minima pro vykonávání funkce velitele letadla pro obchodní provoz (pravděpodobně nemá odpovídající zkušenosti pro zajištění požadavků bezpečnosti pro lety obchodní letecké dopravy)
- má propadlou některou z příslušných osvědčení, doložek, kvalifikací (vlivem delší prodlevy ve výcviku, školení může dojít k poklesu schopností, či neznalosti nových postupů apod.)
- nesplňuje požadavky na nedávnou praxi pro danou kategorii letadel, typu (vlivem delší prodlevy, přestávky v praxi může dojít ke snížení schopností)
- není prokazatelně seznámen s tratí (nemusí si být vědom specifických nebezpečí a požadavků pro danou trať)
- neabsolvoval opakovací výcvik a odborné přezkoušení (vlivem delší prodlevy, přestávky v praxi může dojít ke snížení schopností)
- vědomě závažným způsobem porušuje platné předpisy a nařízení (pravděpodobně významně přeceňuje schopnosti své, stroje a ohrožuje nejen sebe, ale i další účastníky let. provozu, či osoby na zemi)



## 2) Letoun není způsobilý

- nesplňuje podmínky letové způsobilosti (není zachována požadovaná spolehlivost příslušných dílů, systémů, je zde vysoké riziko závažné závady, pokud již nenastala)
- nesplňuje příslušné přístrojové vybavení pro daný druh letu (vlivem absence správného vybavení může dojít ke ztrátě situačního povědomí, nezvyklé polohy letadla, v krajním případě nárazu do terénu apod.)
- nesplňuje další povinné vybavení, které je nezbytné pro danou oblast provozu (V případě např. požáru může chybět prostředek k indikaci/ uhašení. V případě nouzového přistání na vodu může chybět např. záchran. plovací vesta. Dále pak nouzový lokalizační vysílač ELT apod.)
- nesplňuje výkonostní minima pro příslušnou oblast provozu (nebude možné v min. bezpečné výšce překonat překážky na trati, v případě vysazení motoru nemožnost dokluzu na vhodnou plochu apod.)

Tyto nalezené kombinace provedení il. letecké dopravy dále využijí při tvorbě analýzy bezpečnostních rizik a při hledání charakteristických rysů chování pro jednotlivé provozovatele, resp. formy provozu.

## 2. Příklady letů il. letecké dopravy, vyhodnocení rizik těchto letů a rysy jednotlivých provozovatelů

V následujících kapitolách se věnuji rozboru závěrečných zpráv letů, které byly označeny jako forma ilegální obchodní letecké dopravy. Na základě poznatků shrnutých v předchozích kapitolách a z rozboru závěrečných zpráv se následně zabývám stanovením charakteristických rysů chování pro jednotlivé druhy provozovatelů. Na situace a nehody, které byly označeny jako ilegální forma dopravy, pak navazuje další kapitola zabývající se analýzou bezpečnostních rizik těchto letů.

### 2.1 Nalezené závěrečné zprávy letů označené jako forma ilegální obchodní letecké dopravy

V této části se budu věnovat vybraným praktickým příkladům nehod v nedávné minulosti, u nichž bylo zjištěno, že se přímo jedná nebo nesou znaky ilegální obchodní letecké přepravy. Zároveň se budu věnovat hledáním význačného chování a spojujících





rysů, které budou využity při vytváření nástroje pro identifikaci těchto letů a při analýze bezpečnostních rizik.

### **1) Nehoda Piperu Malibu ze dne 21. ledna 2019 s imatrikulací N264D**

Jedna z nejnámějších nehod z nedávné minulosti spojená s ilegální leteckou dopravou je zřícení Piperu Malibu dne 21. ledna 2019 s imatrikulací N264DB, která si vyžádala život pilota a jednoho cestujícího – známého argentinského fotbalisty Emiliana Sala. Krátce před letem vyjádřil cestující svým přátelům formou textové zprávy obavy o letadlo, které dle jeho úsudku nebylo v nejlepším technickém stavu. Letadlo vzlétlo z letiště v Nantes (Francie) v 19:15 UTC, tedy vzhledem k času, místu a ročnímu období již po občanském soumraku, cílem letu bylo letiště v Cardiffu (Spojené království). Zhruba hodinu po startu se letadlo odchýlilo z tratě, pilot při posledním kontaktu s letištěm v Jersey vznesl požadavek sklesat z výšky 1500 m ASL na 700 m ASL kvůli zhoršujícím se meteorologickým podmínkám, kontakt byl přerušen při dosažení výšky 700 m ASL. Vyšetřování nehody bylo po vzájemné dohodě delegováno ze státu zápisu do rejstříku (USA) na stát provozovatele (UK). [9] Šetření odhalilo následující *příčinné faktory nehody*:

- Pilot ztratil kontrolu nad letadlem během klesavé zatáčky s cílem udržet let dle pravidel VFR.
- Letoun se rozlomil během letu, neboť pilot výrazně překročil povolenou obálku obrátů.
- Pilot byl pravděpodobně zasažen otravou oxidem uhelnatým (CO).
- Let nebyl proveden v souladu s předpisy pro obchodní leteckou dopravu. Pilot byl držitelem pouze průkazu soukromého pilota (PPL) bez doložky pro létání podle přístrojů, pilot neabsolvoval výcvik na létání v noci a let byl proveden za špatných povětrnostních podmínek.
- V letadle nebyl umístěn žádný aktivní detektor oxidu uhelnatého, tudíž pilot nebyl upozorněn na pravděpodobnou poruchu výfukových systémů a riziko následné otravy oxidem uhelnatým.

Dále bylo zjištěno, že:

- Cestující byl na pochybách, zda se jedná o let splňující platné normy.
- Let byl zprostředkován agentem cestujícího pomocí webového portálu.

Doporučené bezpečnostní opatření: Zvýšit povědomí o rizicích spojených s ilegálními charterovými lety, zlepšit metodiku provádění kontroly výfukových systémů. [9]



## 2) Nehoda Piperu Malibu dne 8. února 2019 s imatrikulací F-GUYZ

K další nehodě nesoucí obdobné znaky ilegálního charteru došlo ve východní Francii 8. února 2019. Cestující věřili, že letí s Air France, let byl ve skutečnosti soukromý, zprostředkovaný pomocí webových stránek Bluewings, které sjednávají spojení mezi piloty a cestujícími. Dceřiná společnost Air France s názvem BiGBlank pouze pomáhala Bluewings s novými inovativními projekty. Na webových stránkách sice bylo v záhlaví uvedeno, že se nejedná o leteckou společnost, avšak pronájem letadla a pilota byl zaplacen jednou fakturou pod hlavičkou Air France, což vyvolalo u cestujících dojem, že se jedná o řádnou legální provozovanou společnost, která však neměla ve skutečnosti oprávnění leteckého přepravce.

Letoun použitý k přepravě cestujících byl tentokrát opět Piper Malibu PA-46 s imatrikulací F-GUYZ, pilotem byl 23letý Francouz s průkazem způsobilosti soukromého pilota. Na palubě byl ještě další pilot ve věku 22 let s průkazem obchodního pilota, který ovšem nebyl přeškolen na typ letounu a nebyl držitelem kvalifikace pro létání v horách. Byl přizván na tento let za účelem „udělání lepšího dojmu na cestující“ a tuto nabídku přijal podle svých slov „čistě pro radost z létání“. Je zajímavé, že cestující měli pochyby o jejich letu, neboť se doslechli o nehodě fotbalisty Emilia Sala, která se stala jen tři týdny před tím ve stejném typu letounu a je popsána výše.

Piloti byli ovšem stejně oblečeni, provedli nahlas zkoušku rádia a čtení několika kontrolních seznamů, což cestující uklidnilo a dodalo jim dojem, že cestují s legálním leteckým dopravcem.

Při přistání se třemi pasažéry v cílové destinaci se letoun dotkl zhruba v polovině dráhy dlouhé pouze 537 m, vyplaval, přeletěl ji a narazil do oplocení letiště a sněhové závěje, letadlo bylo poškozeno a jeden cestující zraněn. [10]

*Příčinné faktory nehody:*

- Pilot nebyl způsobilý pro vykonání letů obchodní let. přepravy.
- Pilot byl sice oprávněn létat s typem letounu PA-46, nikdy v minulosti však s tímto letounem na tomto specifickém letišti nepřistával.
- Bylo zjištěno, že byly překročeny limity pro hmotnost a vyvážení, vlivem čehož bylo přiblížení dlouhé a nestabilní.

Dále bylo zjištěno, že:

- Cestující byli na pochybách, zda se jedná o legální let splňující platné normy;
- Let byl zprostředkován pomocí webového portálu a vybrán cestujícími.



### 3) Nehoda Piperu PA-28 s imatrikulací G-BAKH ze dne 9. září 2017

Další případ ilegální obchodní letecké dopravy lze nalézt v soudním sporu, ve kterém byl odsouzen britský soukromý pilot za provozování nezákonného charterového letu poblíž Manchesteru. Tento let byl uskutečněn 9. září 2017 s letounem Piper PA-28. Pilot vybral od tří cestujících platbu ve výši cca 500 liber. Cílem letu měl být ostrov Isle of Barra, kde pasažéři chtěli pozorovat místní druh živočicha. Přetížený letoun však vlivem kombinace nedostatečné stoupavosti spolu se zhoršenými povětrnostními podmínkami havaroval krátce po odletu z letiště. Pilot a cestující utrpěli lehká zranění. [11]

*Příčinné faktory nehody:*

- Vyšetřovatelé zjistili, že u letounu byla překročena o pětinu maximální vzletová hmotnost.
- Pilot nebyl způsobilý pro vykonání letů obchodní let. přepravy.

Další související informace:

- Pilot byl shledán vinným za provozování ilegálního charteru a za ohrožení cestujících.
- Cestující si nebyli vědomi, že se jedná o ilegální charterový let nesplňující platné normy.

### 4) Nehoda letounu Dassault Falcon 50 s imatrikulací N114TD ze dne 28. října 2018

Dalším zajímavým příkladem je incident ze dne 28. října 2018, jenž se udál v USA, Jižní Karolíně. Letoun Dassault Falcon 50 s imatrikulací N114TD provozovaný společností Air America Flight Services vyjel z dráhy, v důsledku čehož byl letoun zničen, oba piloti na místě zemřeli a dva cestující utrpěli vážná zranění. Vyšetřováním bylo zjištěno, že došlo k selhání brzdového systému letounu ihned po přistání.

Vyšetřováním bylo zjištěno, že několik zaměstnanců společnosti vědělo o závadách s brzdovým systémem, a to včetně jejího majitele, který seděl v letounu v době nehody na místě druhého pilota, neabsolvoval však typový výcvik a ani neměl přístrojovou kvalifikaci. Velitel letadla k této funkci taktéž nebyl způsobilý. Letoun byl v provozu naposledy asi měsíc před nehodou, a to i přesto, že nebyl uvolněn do provozu, protože k obnovení letové způsobilosti by bylo potřeba opravit zhruba 100 závad. [12]

*Příčinné faktory nehody:*

- Vlivem selhání brzd letoun vyjel ve vysoké rychlosti z dráhy a zastavil se o násyp a oplocení veřejné komunikace, v důsledku čehož byl zničen, oba piloti na místě zemřeli, dva cestující byly těžce zraněni.
- Piloti nebyli způsobilí k vykonání letů obchodní let. přepravy.



- Piloti si byli vědomi, že letoun nebyl uvolněn do provozu.

Dále bylo zjištěno, že:

- Cestující si nebyli vědomi, že se jedná o ilegální charterový let nesplňující platné normy.
- Let byl zprostředkován pomocí nabídky na web. stránkách dopravce, vybrán cestujícími.

### **5) Ilegální charterový let z března 2019 v USA**

Příkladem ilegálního charteru může být let z března 2019, kdy si kancelář guvernérky za stát Michigan objednala let u soukromé společnosti Air Eagle LLC. Jednalo se o přepravu letounem Gulfstream G280 s imatrikulací N62AE. Ukázalo se však, že společnost provozující charterové lety nemá certifikát leteckého dopravce dle legislativy FAA část 135 a nesplňuje tak podmínky pro obchodní leteckou přepravu. Společnost byla certifikována pouze dle FAA část. 91, tedy pouze pro nekomerční soukromé lety. Let proběhl dle plánu bez újmy na zdraví nebo majetku. Skutečnost, že let byl proveden společností nesplňující zákonné požadavky na leteckého dopravce, byla tentokrát zjištěna díky přepravě politicky exponované osoby. Společnost byla vyšetřována příslušnými úřady FAA a pro odrazení provozovatelů tzv. „šedých charterů“ byly nastaveny několikanásobně vyšší postihy. [13]

Bylo zjištěno, že:

- Cestující si nebyli vědomi, že se jedná o ilegální charterový let nesplňující platné normy
- Piloti byli pravděpodobně způsobilí k vykonávání letů obchodní letecké přepravy
- Let proběhl dle plánu, nejsou známy žádné újmy na zdraví nebo majetku
- Let byl zprostředkován pomocí nabídky na web. stránkách dopravce, vybrán agentem

### **6) Nehoda vrtulníku s imatrikulací F-HGJL ze dne 2. května 2018**

Posledním uvedeným zástupcem ilegálního charteru je nehoda vrtulníku, která se stala ve Francouzské Guyaně dne 2. května 2018. Vrtulník BELL 206 s imatrikulací F-HGJL se zřítil během letu, jehož cílem byla přeprava zaměstnanců těžařské společnosti na místo výkonu práce (důl uprostřed džungle). Vyšetřováním bylo zjištěno, že let byl prováděn za pravidel provozu VFR, helikoptéra nebyla vybavena pro let podle přístrojů IFR ani stěrači čelního skla. Po neúmyslném vstupu do oblasti s náhle se zhoršujícími meteorologickými podmínkami došlo za letu ke ztrátě kontroly nad strojem a ten se zřítil do porostu džungle. Vrak byl lokalizován o pět



hodin později, pilot a jeden cestující zemřeli, druhý cestující byl nalezen na živu. Podle výpovědi přeživšího cestujícího bylo při startu počasí dobré. Příčinou nehody bylo náhle snížení základen oblačnosti, zhoršení vizuální dohlednosti a vlivem dezorientace v prostoru přechod do klesavé zatáčky s nárazem do terénu. Pilot, který byl držitelem průkazu obchodního pilota, měl na daném typu nálet pouze 14h, celkově pak nálet 237 hodin. Tento pilot založil rok před nehodou vlastní společnost inzerující přepravní služby. Cílem jeho činnosti bylo pravděpodobně získání potřebného náletu 1000h, aby se mohl ucházet o zaměstnání u jednoho ze dvou místních leteckých přepravců požadující toto minimum. [14]

*Příčinné faktory nehody:*

- Pilot byl držitelem průkazu pro způsobilosti obchodní leteckou přepravu
- Helikoptéra byla způsobilá k letu za podmínek VFR
- Pilot pravděpodobně podcenil vyhodnocení podmínek meteo v rámci předletové přípravy
- Pilotem vlastněná společnost nebyla držitelem osvědčení leteckého přepravce

Dále bylo zjištěno, že:

- Objednavatel přepravy, tj. manažer těžební společnosti, si byl vědom, že společnost vlastněná pilotem není legálním leteckým přepravcem.
- Let byl místním úřadem pro civilní letectví označen jako ilegální tzv. „šedý charter“.
- Let byl zprostředkován pomocí nabídky na web. stránkách dopravce, vybrán agentem.

### **2.1.1 Společné spojující faktory uvedených letů**

Po shrnutí společných faktorů letů, které byly označeny za ilegální obchodní leteckou přepravu, tzv. „šedé chartery“ a skončily většinou více či méně závažným incidentem, plynou následující poznatky:

- 1) Cestující si v 80 % uvedených případů nebyli vědomi, že se jedná o ilegální charterový let nesplňující platné normy
- 2) Letouny byly ve třetině uvedených případů vědomě přetíženy
- 3) Špatné meteorologické podmínky hrály při nehodách rozhodující roli
- 4) Letouny byly v polovině případů ve stavu nesplňující podmínky letové způsobilosti



- 5) Piloti v 80 % uvedených případech vědomě přeceňovali schopnosti a možnosti své i stroje
- 6) Piloti ve všech uvedených případech jednali vědomě v rozporu s platnými předpisy
- 7) Až na výjimku byly všechny „šedé chartery“ odhaleny v důsledku nehody
- 8) Přibližně v polovině případech byl let vybrán přímo cestujícími přes webové stránky přepravce a druhá polovina letů byla zprostředkována agentem, manažerem apod.

## 2.2 Význačné rysy chování charakteristické pro různé druhy provozovatelů

V této kapitole se zaměřím na charakteristické trendy, rysy a vzorce chování různých skupin provozovatelů letounů jak pro obchodní leteckou dopravu, tak i pro nekomerční provozovatele. Deklarování typických vzorců chování pro jednotlivé kategorie provozovatelů umožní určit parametry, na základě kterých budu moci vyfiltrovat z velké vstupní množiny dat vhodné kandidáty podezřelé z atypického chování pro danou skupinu. Neboť neočekávaný způsob provozu nebo chování odchylovající se od průměru trendů charakterizující danou skupinu může být jedním z faktorů poukazujících na použití pro jiný než prvotní zamýšlený účel, tedy například pro účely ilegální obchodní letecké přepravy. Při určování těchto rysů chování jsem vycházel z reálných technických možností pro dané kategorie letadel, z nařízení a předpisů, které jsou závazné pro jednotlivé druhy provozu, z průměrných hodnot dat pro jednotlivé typy letadel a všeobecně známých informací o leteckém provozu.

### 2.2.1 Velcí letečtí přepravci

- Zpravidla velké letouny s kapacitou nad 19 PAX od výrobců jako jsou: Boeing, Airbus, Embraer, ATR apod.
- Většina letů je zahraničních, obzvláště platné pro geografické podmínky v ČR
- Průměrná doba mezipřistání je v běžném provozu do 1,5h
- Počasí, vyjma extrémů, nehraje roli
- Lety v noci naprosto běžné
- Lety za účelem přepravy cestujících i nákladu
- Majitel/provozovatel je zpravidla držitelem OLD



### 2.2.2 Letecké školy, aeroklub

- Malé letouny typu Cessna 152, 172, Zlín 43 apod.
- Letoun tankuje zpravidla v místě základny, z toho vyplývají lety na jednu nádrž v průměru do 4 až 5 h, uvážíme-li průměrnou letu rychlost 180 km/h, vychází nám akční rádius do 360 km od základny
- Letiště vzletu je často stejné jako letiště přistání, tedy trať letu je z A do A
- Lety probíhají jen za příznivých podmínek meteo
- Většina letů probíhá pouze ve dne za VFR

### 2.2.3 Menší komerční přepravci

- Zpravidla středně velké turbovrtulové až proudové letouny typu, Pilatus PC12, Cessna Citation apod.
- Lety v noci naprosto běžné
- Lety na krátké i delší vzdálenosti
- Doba mezipřistání od jednotek hodin do několika dnů
- Většina letů je na objednávku, pravidelné i nahodilé spoje
- Majitel/provozovatel je zpravidla držitelem OLD

### 2.2.4 Ilegální přepravci

- Malá letadla s pístovými motory až letouny kategorie business jet
- Letiště vzletu je většinou odlišné od letiště přistání – cílové destinace
- Většinou jednopilotní lety
- Lety na krátké i delší vzdálenosti
- Lety i za méně příznivých podmínek meteo
- Lety probíhají i v noci
- Doba mezipřistání od jednotek hodin do několika dnů
- Většina letů je na objednávku, pravidelné i nahodilé spoje
- Lety inzerují zpravidla na svých webových stránkách nebo prostřednictvím vhodných aplikací

V tuto chvíli byly vymezeny požadavky dané jednotlivými nařízeními a předpisy, které jsou kladené na jednotlivé druhy provozu a dále deklarovány jejich očekávané rysy chování. Pro další fázi práce mám již dostatek informací k návrhu vhodných datových filtrů, jsou mi známy další údaje, o které je třeba doplnit vstupní data a rovněž je možné navrhnout parametry, na základě kterých budu vyhodnocovat jednotlivé lety. Hledám tedy ty lety, které nejsou typické pro danou kategorii provozu, vybočují svými parametry



nad průměr ostatních letů daného stroje, v kombinaci s atypickými periodicky opakujícími se vzorci chování.

## 2.3 Analýza bezpečnostních rizik

Cílem této kapitoly je poukázání a ohodnocení bezpečnostních rizik spojených zejména s vykonáváním ilegálních letů v obchodní letecké přepravě. Pro identifikaci rizik a jejich rozdělení na jednotlivé kategorie jsem použil metodu SHELL. Jako nástroj pro vyhodnocení rizik jsem použil metodiku ERCS. Vycházím dále především z nařízení komise EU č. 2020/2034, které stanovuje požadavky na systém klasifikace rizik spolu s vysvětlením této metodiky.

- **Nebezpečí** je definováno jako jakýkoliv existující nebo potenciální stav, který může vést ke zranění, nemoci a smrti lidí nebo může vést k poškození zařízení, jeho ztrátě, či poškození životního prostředí.
- **Riziko** je vyjádřením pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události, za kterou dojde k realizaci události s nežádoucími následky.

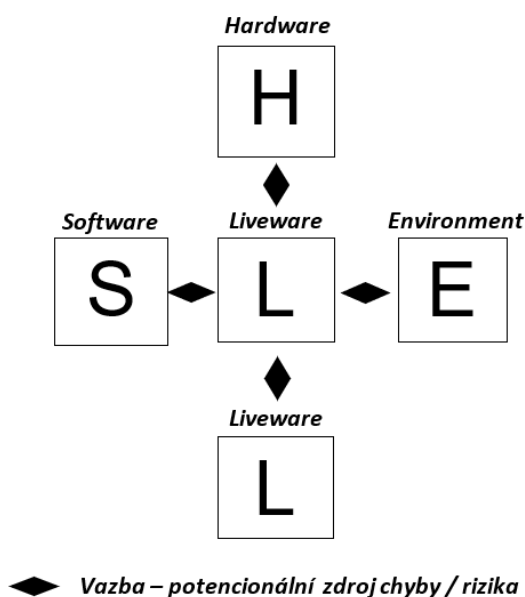
### Dělení rizik

Prvním nezbytným krokem celé analýzy je nalezení a definování možných nebezpečí a rizik s nimi souvisejících. Pro prvotní rozdělení jednotlivých rizikových událostí byla použita metoda SHELL. Tuto metodu jsem zvolil proto, že se jedná o vhodný nástroj k definování rizikových událostí v sociotechnických systémech, jejichž ústřední složkou je člověk. Tato metoda dále umožňuje rozdělení rizikových událostí na příslušné kategorie, oblasti vzniku.



### 2.3.1 Model SHELL, teoretický úvod

Tento model byl vyvinut v počátku 80. let minulého století za účelem poskytnutí základní představy a porozumění problematice lidských faktorů. Jednotlivá písmena v samotném názvu znázorňují základní stavební bloky a vazby mezi nimi, jak lze vidět ve schématu znázorněném obr. 2.2 níže. Jsou to následující bloky: **Software** (zákony, vyhlášky, předpisy, směrnice, pracovní postupy apod.), **Hardware** (např. samotný letoun/stroj, konstrukční vlastnosti, pracovní nástroje, pomůcky, vybavení), **Environment** (pracovní prostředí a všechny fyzikální, fyziologické a psychologické vlivy jako např. teplota, vlhkost, hluk, vibrace apod.), **Liveware** blok orientovaný centrálně (tedy samotný člověk v pozici osoby přímo vykonávající danou činnost, např. pilot, operátor apod.), **Liveware** (člověk a jeho interakce s ostatními např. členy posádky). Každý z jednotlivých komponentů/bloků má své limity, specifika a vazby. Interakce mezi jednotlivými bloky jsou potenciálním zdrojem chyby, rizika. Cílem tohoto modelu je rizika identifikovat, odstranit je a zabránit možným nehodám. [15]



Obrázek 2.1: Schématické znázornění vazeb modelu SHELL [autor]

- **Závažnost bezpečnostního rizika**

Závažnost bezpečnostního rizika chápeme jako vážnost následků daného nebezpečí. Zvolený systém ERCS hodnotí závažnost těchto událostí na základě počtu možných obětí na životech, zranění a velikosti potenciálních škod.



- **Pravděpodobnost bezpečnostního rizika**

Pravděpodobnost bezpečnostního rizika chápeme jako pravděpodobnost výskytu této nehody. Zvolený systém určuje tuto pravděpodobnost na základě počtu a váhy účinných počtu bariér, které stojí mezi potenciálně rizikovou situací a nejhorším možným následkem nehody.

- **Přijatelnost bezpečnostních rizik**

Přijatelnost rizika je v této metodě znázorněna barevným vyznačením spolu s přiřazením alfanumerického vyjádření a konkrétní číselné hodnoty skóre ERCS. Zelenou barvou jsou označeny výstupy analýzy s nízkým stupněm rizika, žlutou barvou výstupy se zvýšeným stupněm rizika a červenou barvou výstupy s vysokým stupněm rizika.

### 2.3.2 Evropský systém klasifikace rizik, teoretický postup

Tento systém analýzy rizik jsem vybral z důvodu názornosti rozdělení vyhodnocovaných rizik dle jejich přijatelnosti a možnosti jejich konkrétního alfanumerického ohodnocení. Dále se pak jedná o oficiální nástroj hodnocení rizik dle požadavků komise EU a Agenturou EU pro bezpečnost letectví – EASA. Tento systém hodnocení rizik umožňuje přiřadit k rizikové události nejhorší možný následek a ohodnotit jej z hlediska jeho závažnosti a pravděpodobnosti výskytu. Jedná se tak o efektivní způsob poukázání na nejzávažnější zastoupená rizika v souboru zkoumaných událostí z hlediska bezpečnosti.

Evropský systém klasifikace rizik neboli „ERCS“ byl vypracován prostřednictvím sítě analytiků bezpečnosti letectví jednotlivých členských států EU a EASA za účelem naplnění požadavků na ohodnocení všech výskytů rizik, které vycházející z Nařízení komise EU č. 376/2014. Systém klasifikace rizik ERCS je metodika používaná pro posouzení rizika, které představuje událost v civilním letectví ve formě skóre bezpečnostního rizika. Dále by měl na základě souhrnných informací umožnit identifikaci nejrizikovějších faktorů a identifikaci a srovnání jejich úrovní rizika.

#### **Systém ERCS se skládá ze dvou následující hlavních kroků:**

- **KROK 1:** Určení hodnot dvou proměnných: závažnosti a pravděpodobnosti rizikové události.
- **KROK 2:** Stanovení skóre bezpečnostního rizika v rámci matice ERCS na základě dvou určených hodnot proměnných. [16].



K uskutečnění výše uvedených dvou kroků vycházíme ze dvou otázek.

- **OTÁZKA 1:** Co je nejpravděpodobnějším výsledkem nehody – tzv. nejrizikovější faktor?
- **OTÁZKA 2:** V případě, že by nehoda vyústila v nejrizikovější faktor, jaké ztráty na životech nebo technice a majetku by si vyžádala? [16].

### **KROK 1: Určení hodnot proměnných:**

Určení závažnosti důsledku potenciální nehody je realizováno pomocí těchto dvou kroků.

- a) určíme nejpravděpodobnější výsledek nehody, v níž by posuzovaná událost mohla vyústit (nejrizikovější faktor), výčet těchto faktorů je uveden v příloze nařízení komise EU č. 2020/2034.
- b) určíme závažnost možných ztrát na životech na základě počtu možných obětí vzhledem k velikosti letadla nebo možnému počtu obětí na zemi, zejména pokud se jedná o hustě obydlené oblasti. [16]

K určení nejpravděpodobnějšího výsledku nehody nám slouží výčet typických/možných nehod a incidentů, dále označené jako nejrizikovější faktory. Výčet nejrizikovějších faktorů se nachází v příloze nařízení komise EU č. 2020/2034. (Tabulka s výčtem těchto faktorů spolu s dalšími nezbytnými nástroji využitých pro realizaci celého postupu metodou ERCS je součástí přílohy této práce, viz. tabulka b21: Nejrizikovější faktory.) Vezmeme tak zkoumanou událost a přiřadíme ji k nejbližší odpovídajícímu faktoru. Po nalezení příslušné kategorie rizikového faktoru tuto událost ohodnotíme mírou závažnosti vztahenou k možným obětem na životech a škodě způsobenou na technice a majetku. K tomuto ohodnocení opět vycházíme z tabulek, které jsou součástí přílohy zmiňovaného nařízení a lze je nalézt i v příloze **A** této práce, viz tabulka A21: *Nejrizikovější faktory*. Skóre závažnosti je označeno pomocí písmen (E, I, M, S, X, V) význam tohoto způsobu označení je uveden v Tabulce A16: *Vysvětlení zkratk skóre ERCS* a Tabulce A17: *Skóre závažnosti*. V této fázi máme tedy k našim rizikovým událostem přiřazen příslušný faktor a ohodnocení závažnosti rizika.

Dalším fází postupu v ERCS systému analýzy rizik je určení pravděpodobnosti důsledku potenciální nehody. K určení pravděpodobnosti nejhoršího možného důsledku nehody tento systém využívá tzv. bariéry. Účelem bariérového modelu tohoto systému je posoudit počet a účinnost zbývajících bariér mezi samotnou událostí a nejhorším možným důsledkem nehody. Určujeme tedy jak blízko mohla být zkoumaná událost k samotné potenciální nehodě. Tyto bariéry jsou uvedeny v tabulce A19: *Popis bariér*, která je součástí přílohy **A** této práce. Síla nebo váha bariéry je ohodnocena body od 1



do 5 (5 bodů pro nejsilnější z bariér). Z předchozí fáze již máme ke zkoumané situaci přiřazen odpovídající výsledek a zkoumáme kolik bariér by mohlo zabránit nebo by významně mohlo přispět k zabránění uskutečnění nehody – nejrizikovějšího faktoru. Bariéry, které nemohly nehodě zabránit nebo nebyly jinak účinné, do celkové skóre nepočítáme.

## **KROK 2: Stanovení skóre bezpečnostního rizika**

Po vyhodnocení zbývajících efektivních bariér sečteme jejich bodový zisk, převedeme ho na tzv. „skóre“ a na základě toho přiřadíme zkoumané události určitou pravděpodobnost důsledku potenciální nehody. Ze závažnosti potenciálního rizika a pravděpodobnosti důsledku potenciální nehody získáváme tzv. skóre ERCS, tedy jeho vyjádření v alfanumerické formě např. M3, X1 apod. Tento výsledek pak zařadíme do matice rizik, kde zjistíme i celkovou závažnost rizika, které událost může představovat. Kromě barevného členění jednotlivých skupin polí udávající přijatelnost rizika pro každé z nich je zde uvedena i odpovídající číselná hodnota takového rizika, tzv. ERCS skóre. Tyto číselné hodnoty je pak možné použít pro další vyhodnocení. Tabulka klasifikační matice rizik, podle které byly přiřazeny jednotlivé hodnoty skóre, je součástí přílohy **A** této práce, viz. Tabulka A18: *Matice ERCS* a Tabulka A20: *Matice ERCS číselné skóre*. [16].

### **2.3.3 Určení a vyhodnocení rizikových událostí**

Pro identifikaci a kategorizaci jednotlivých nebezpečných událostí jsem použil metodu SHELL. Pomocí této metody byly identifikovány jednotlivé nebezpečné události vyplývající z rozboru nehod uvedených v kapitole 2.1. označených jako ilegální forma obchodní letecké dopravy a následně byly tyto události rozčleněny do příslušných kategorií a podkategorií. Členění těchto událostí pomocí metody SHELL je zpracováno v tabulce 2.1. Při hledání možných rizikových situací jsem se zaměřil především na rozdílné organizační požadavky mezi jednotlivými druhy provozu a rozdíly ve výcviku, které jsou kladeny na získání kvalifikace/průkazu soukromého a obchodního pilota a dále na požadavky kladené na provozovatele obchodní letecké dopravy. Nalezené rizikové situace metodou SHELL byly dále zpracovány Evropským systémem klasifikace rizik – ERCS, jehož princip je popsán výše. Rizikové události vyhodnocené metodou ERCS jsou uvedeny v tabulce 2.2. Grafický výstup této analýzy je přiložen níže, viz obrázek 2.3, konkrétní hodnoty, ze kterých jsou uvedeny, v tabulce 2.3. Zdůvodnění a aplikace jednotlivých bariér s bližším kontextem zkoumaných událostí se nachází v příloze **A**, konkrétně pak v tabulkách *Zdůvodnění bariér události A1 až A15*.



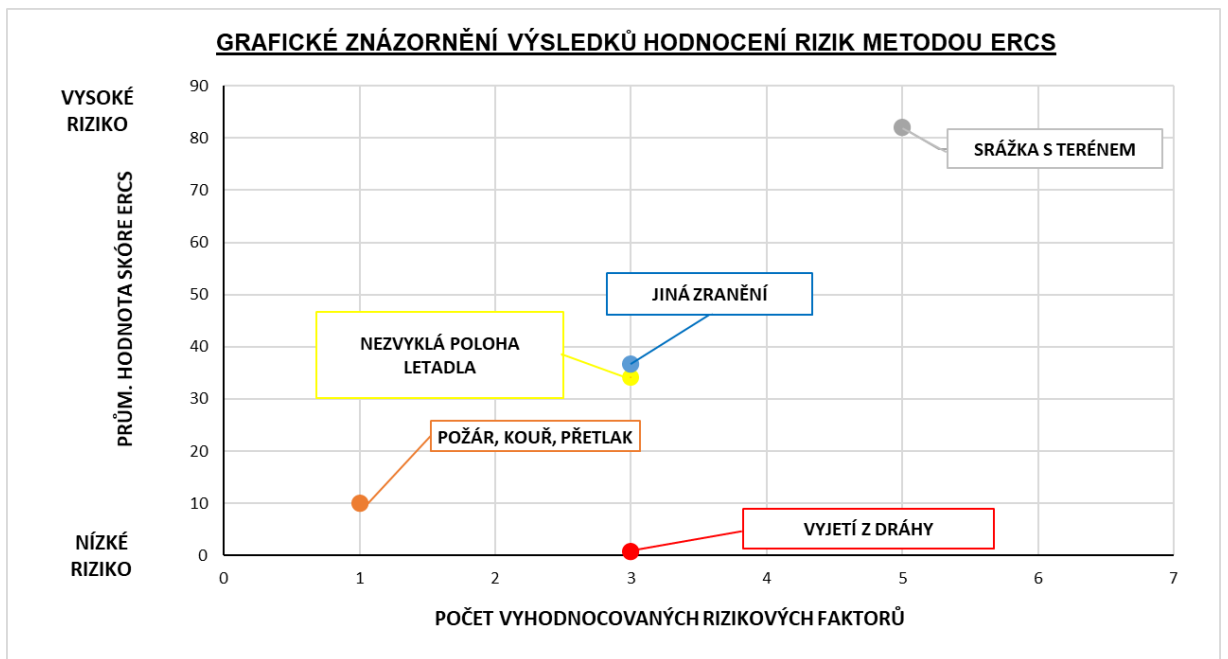
Tabulka 2.1: Kategorizace možných nebezpečí metodou SHELL

Kategorie	Podkategorie	Možná nebezpečná událost	Vybrané nejrizikovější situace
HARDWARE	technický stav	neodpovídající údržba - vysazení motoru, požár, vážné poškození draku za letu, nefunkční brzdový systém	vynucené přistání, neovladatelný stroj, vyjetí z dráhy
	vybavení letounu	chybějící povinné přístrojové vybavení, záchranné vybavení	let bez odpovídajícího nezbytného vybavení
	ergonomie	neefektivní rozdělení pozornosti, málo místa v kabině - nemožnost plných výchylek kormidel (ergonomie letounu je pro zmíněné typy bez ohledu na kat. let. provozu stejná, nejedná se charakt. problém pro il. obch. dopravu, dále se tímto nebezpečím nezaobírám )	srážka ve vzduchu, nezvyklá poloha letadla
SOFTWARE	kvalifikace	nedostatečná kvalifikace, nedostatečné min. zkušenosti dané předpisem	ztráta situačního povědomí, zvýšené riziko nehody
	předpisy	překročení limitů a omezení daných letovou příručkou letadla, tj. překročení max. povol. násobků – nepovolené obraty, např. akrobat. prvky apod. (pokud pilot již tak porušuje platné předpisy ve smyslu nedost. kvalifikace apod. lze předpokládat, že se nebude cítit vázán ani dalšími nařízeními, normami)	technická závada za letu
	postupy	nedostatečná příprava na let: - absence letového plánu pro provoz z A do B - stanovení minimálních výšek letu - kategorizace letišť pro schválení kvalifikace letové posádky - výběr náhradních letišť - informace a údaje pro zpracování dokumentace o hmotnosti a vyvážení - zásady určování množství paliva - instruktáž cestujících - zajištění kabiny cestujících	přetížení, nedostatek paliva, neočekávané zhoršení podm. meteo, neprokazatelná znalost tratě, absence kvalifikace posádky pro příslušné letiště
		absence organizační struktury společnosti, především části letové, pozemní, technické, kvalita, provozní dispečink	nebezpečí – absence kontrolního mechanismu (provozovatel, nadřízený, kolega atd.)
ENVIROMENT	okolní prostředí podm. meteo	náhlé zhoršení podmínek meteo	náraz do terénu
	oblast provozu	specifická oblast hory, vodní plochy apod.	náraz do terénu
LIVEWARE	pilot, osoba vykon. činnost	přecenění vlastních schopností, ztráta situačního povědomí, únava	nezvyklá poloha letadla
LIVEWARE	ostatní členové posádky, společnosti	neschopnost týmové práce posádky	opožděné převzetí zodpovědnosti, ignorace upozornění dalšího člena posádky, cestujícího



Tabulka 2.2: Vyhodnocení nebezpečných situací

Dělení situací dle oblasti	č.	Možné nebezpečné situace - výstupy z metody SHELL vycházející z rozboru nehod uvedených v této práci	Nejrizikovější faktor	Závažnost	Čísla účinných bariér	Suma bariér	Odpovídající skóre bar.	Skóre ERCS	Odpovídající vyčíslená hodnota	Slovní vyhodnocení skóre
HARDWARE	1	letově nezpůsobilý letoun (nefunkční brzdy)	vyjetí z dráhy	I	1,3,4	10	5	I5	0,1	Nízké riziko
	2	porucha výf. okruhu - přiotrávení oxidem uhelnatým	požár, kouř a přetlak	M	1,4	8	4	M4	10	Nízké riziko
	3	nedostatečné přístrojové vybavení pro let IFR	srážka s terénem	M	2,3,4	7	4	M4	10	Nízké riziko
	4	neodpovídající údržba (překročení intervalů povinných kontrol)	jiná zranění	M	3,4	5	3	M3	100	Zvýšené riziko
	5	malý nálet na daném typu, jednotky hodin, rozptýlená pozornost, špatná orientace v kokpitu	jiná zranění	M	2,3,4	7	4	M4	10	Nízké riziko
SOFTWARE	6	nedostatečná předletová příprava (nezkontrolování předpovědi podmínek meteo)	srážka s terénem	M	2,3	5	3	M3	100	Zvýšené riziko
	7	neschopnost prostorové orientace dle přístrojů vlivem absence výcviku	srážka s terénem	M	2,3	5	3	M3	100	Zvýšené riziko
	8	přetížený letoun (C172/Piper Malibu)	vyjetí z dráhy	I	2,3,4	7	4	I4	1	Nízké riziko
	9	nedost. stoupavost/výkonn. letadla pro danou oblast, vlivem nedodržení postupů, minim	srážka s terénem	M	2,3	5	3	M3	100	Zvýšené riziko
	10	provedení letu obchodní dopravy bez osvědčení let. dopravce (s letově způsobilým letounem a posádkou s odpovídající kvalifikací)	jiná zranění	M	1,2,3,4	12	6	M6	0,1	Nízké riziko
LIVEWARE	11	ztráta situačního povědomí (vlivem snížení minim, základen oblačnosti)	nezvyklá poloha letadla	I	2,3,4	7	4	I4	1	Nízké riziko
	12	přecenění schopností pilota (let na specifické letiště bez požadovaných zkušeností, výcviku)	vyjetí z dráhy	I	2,3,4,8	8	4	I4	1	Nízké riziko
	13	překročení obálky obrátů (vlivem ztráty kontroly nad let. vlivem špatných meteo podm.,)	nezvyklá poloha letadla	M	2,4,8	5	3	M3	100	Zvýšené riziko
ENVIROMENT	14	povětrnostní podmínky nad povol. limity letounu (náhlé zhoršení)	nezvyklá poloha letadla	E	2,3,4,6	6	3	E3	1	Nízké riziko
	15	specifická oblast bez možnosti přistání v případě závady motoru	srážka s terénem	M	2,3	5	3	M3	100	Zvýšené riziko



Obrázek 2.2: Graf výsledků analýzy hodnocení rizik

Tabulka 2.3: Vyhodnocení nejrizikovějších faktorů

Nejrizikovější faktor	Počet vyhodnoc. faktorů	Skóre nejzávaž. výsledku	Odpovídající číselná hodnota skóre	Prům. hod. skóre pro jednotliv. nejrizik. faktory
Vyjetí z dráhy	3	I4	1	0,7
Požár, kouř a přetlak	1	M4	10	10
Srážka s terénem	5	M3	100	82
Nezvyklá poloha letadla	3	M3	100	34
Jiná zranění	3	M3	100	36,7

### 2.3.3.1 Popis zpracovaných výsledků analýzy

Kategorizace jednotlivých vstupních událostí zpracované metodou SHELL, které byly vstupními událostmi pro další vyhodnocení metodu ERCS, lze vidět v tabulce 2.1. Vypracovaná bezpečnostní analýza a jednotlivé situace se nacházejí v tabulce 2.2. Zdůvodnění aplikace jednotlivých bariér, jejich účinnost a celkový kontext událostí je obsahem tabulek A1 až A15, které se nachází v příloze A této práce. Vyhodnocení nejrizikovějších faktorů událostí můžeme vidět v tabulce 2.3. Pro lepší názornost byly



výsledky ze systému ERCS vyneseny do grafu, viz obrázek 2.3. Z grafického znázornění lze vidět četnost jednotlivých vyhodnocovaných faktorů spolu s jejich celkovým skóre rizika, které představují. V tabulce 2.3 Vyhodnocení nejrizikovějších faktorů jsou uvedeny hodnoty rizika pro jednotlivé rizikové faktory ve dvou sloupcích. V prvním sloupci zprava je uvedena průměrná hodnota všech událostí spadající pod daný nejrizikovější faktor. Ve druhém sloupci zprava je uvedena odpovídající číselná hodnota daného skóre pro nejzávažněji hodnocenou situaci z celé skupiny konkrétního nejrizikovějšího faktoru. Pro účely grafického znázornění byla použita vždy průměrná hodnota skóre pro daný nejrizikovější faktor, případy, kdy se tato průměrná hodnota výrazně liší od hodnoty odpovídající nejzávažnějšímu případu, jsou v tabulce 2.3 zvýrazněny tučně.

### 2.3.3.2 Diskuze, zhodnocení analýzy rizik metodou ERCS

Výstupní graf poskytuje přehledné znázornění nejvíce rizikových a nejčastěji zastoupených případů. Z grafického znázornění vyplývá, že nejrizikovějšími faktory z analyzovaných rizikových situací jsou zejména: *srážka s terénem* s příslušným skóre nejzávažnější události M3, *Jiné zranění* s příslušným skóre nejzávažnější události M3 a *nezvyklá poloha letadla* s příslušným skóre nejzávažnější události M3. Výsledným hodnocením těchto událostí dle členění závažnosti rizik metodou ERCS je tedy: **zvýšené riziko**. Skutečné riziko, které tato událost představuje, je patrné především z tabulky 2.3. Bylo zjištěno, že nejčastěji zastoupenou bariérou (v 80 procentech případů) byla bariéra 3: postupy, předpisy, konkrétně pak jako: Organizační struktura legálního přepravce, která spolu s kvalifikací pilota, posádky tvoří hlavní bariéru mezi rizikovou událostí a potenciální nehodou.

Je zřejmé, že může docházet i k různým kombinacím jednotlivých uvedených rizikových situací, systém ERCS však chápe tyto kombinace jako zcela nové události. Pro účely další analýzy by bylo možné použití například nástroje (FRAM, STAMP aj.) z oblasti systémového přístupu k bezpečnosti. Je zajímavé, že v systému ERCS je největší bariérou (ohodnocenou největším počtem bodů) zdrojem odolnosti technika, infrastruktura, technologické bariéry, varovné systémy apod., lidskému elementu přisuzuje tento systém mnohem menší váhu, kdežto v dalších zmiňovaných nástrojích je brán jako zdroj odolnosti především lidský faktor. [17] Bezpečnostní analýza však není hlavním cílem této práce, a proto považuji aplikovanou metodu za dostatečnou formu analýzy rizik. Cílem této analýzy bylo poukázat na nejrizikovější zastoupené faktory ve spojitosti





s ilegální formou obchodní letecké dopravy, čehož bylo z mého pohledu úspěšně dosaženo.

### 3. Vybrané nástroje pro zpracování dat

Následující dvě podkapitoly se zabývají výběrem, zdůvodněním a možnostmi zvolených nástrojů pro práci s daty, jež v této práci využívám. Jedná se především o databázové prostředí MS SQL a nástroje strojového učení. Jsou zde popsány hlavní principy použitých funkcí, základní principy práce s daty a jejich předpokládané možnosti využití pro účely této práce. Z těchto poznatků vycházím při praktické realizaci interaktivního nástroje pro identifikaci podezřelých letů z ilegální letecké obchodní dopravy. Skript vytvořené databáze se nachází v příloze **F Skript\_SQL.pdf**.

#### 3.1 Databáze SQL

Předchozí kapitoly se zabývaly legislativní úpravou, charakteristickým chováním pro jednotlivé formy leteckého provozu a požadavky, na jejichž plnění záleží, zda se jedná o let legální či nikoliv. Je zřejmé, že po nalezení základních rysů a teoretických rysů chování, které jsou význačné pro jednotlivé formy ilegální obchodní letecké přepravy bude dalším krokem aplikace těchto rysů na získaná data o leteckém provozu. Jelikož datové sady o pohybech jednotlivých letounů za určité sledované období vztažené na určitou oblast (např. území EU) dosahují řádově statisíců záznamů, je potřeba zvolit vhodný nástroj pro správu a zpracování těchto dat.

Vhodným nástrojem se zdá být SQL – Structured Query Language (Strukturovaný dotazovací jazyk). Jedná se o nástroj vytvořený ke správě a organizaci dat uložených v databázi uživatele. Tento nástroj je neprocedurální, využívající množinový přístup se standardizovaným přístupem k datům. Jedná se o relační databáze, kdy dostáváme „*pohled*“ na data většinou v podobě provázaných tabulek. Pohled nám umožňuje zobrazení výsledku více položených dotazů na tutéž množinu dat. Výstupem z jedné datové sady může být více pohledů zároveň, například řazení dle doby letu a výpis sto prvních nejtěžších letadel nebo různé kombinace s použitím filtrů, podmínek apod. Pomocí tohoto nástroje lze přistupovat k datům uloženým na jiných místech, než je lokální úložiště uživatele, definovat strukturu dat, manipulovat s datovými celky, definovat vzájemné vztahy mezi zpracovávanými daty a další činnosti jako například definování přístupových oprávnění a přístupy pro jiné uživatele apod. Tabulka je



množinou dat, která jsou tvořena řádky/záznamy a sloupci/položkami. Na hodnoty dat se uživatel adresně odkazuje jako na prvky v matici. K téměř okamžitému řešení požadovaných úloh se nejčastěji používají tzv. „dotazy“, neboli náhledy umožňující vytvoření různých uživatelských pohledů na strukturovaná data. Pracujeme tedy s kompletní množinou dat, ale máme možnost si zobrazit pouze informace, které nás zajímají. Výsledkem řešené úlohy v SQL je často množina dat z jedné nebo několika zdrojů, které ale nemusí být konečným výsledkem, často slouží jako část vstupních dat určených pro další zpracování. [18]

Výhodou výstupů zobrazovaných v náhledech je, že jsou dynamické, pokud se změní zdrojová data uložená v databázových souborech, výsledek se ihned promítne do náhledu a naopak. SQL je tedy interaktivní dotazovací jazyk, který umí vrátit odpověď i na komplikované dotazy, což je přesně součástí problému řešeného v této práci.

### **3.1.1 Databázový systém**

Databázovým systémem rozumíme sloučení nástrojů pro práci s daty (vytvoření dat, aktualizace, vyhledávání, filtrování atd.) a data samotná. Jakýkoliv databázový systém obsahuje též nástroje umožňující definování struktury dat, zajištění integrity, zálohování, přístupová práva, zajištění fyzické i logické nezávislosti apod. [18] [19]

#### **3.1.1.1 Fyzická nezávislost dat**

Fyzická nezávislost dat je oddělení jejich fyzického uložení a způsobu práce s nimi. Pokud chceme pracovat například s tabulkou letadla, stačí, když se odkazujeme jejím názvem na ni samotnou a již nemusíme řešit, kde přesně je fyzicky zapsána. [18] [19]

#### **3.1.1.2 Logická nezávislost dat**

Logická nezávislost dat znamená, že provedená změna v datové struktuře, například přidání nových dat, nevyžaduje změny ve skriptu, tj. již vytvořených dotazech, která pracují s daty. [18] [19]

### **3.1.2 Základní datové typy v SQL**

Data obsažená v jakékoliv tabulce mohou nabývat různých druhů. Odborně řečeno se jedná o datové typy. Příkladem jejich základních zástupců můžeme uvést: číslo, text, datum, logická hodnota 1/0 – pravda/nepravda a hodnota null/nevyplněno nebo neznámé. Většinou bývá datový typ stejný pro celý sloupec, protože se předpokládá, že všechny obsažené položky nabývají obdobných hodnot a formátu. Některé datové



typy rozlišují velká a malá písmena jiná nikoliv. Na vhodně zvoleném datovém typu závisí správná a efektivní funkce ostatních nástrojů. Například pokud si vyhradíme pro informaci o 6 znacích znaků 64, bude systém pracovat s tímto polem jako se 64 znaky bez ohledu na to, jestli jsou využity nebo ne a může se tak velmi prodloužit doba pro jednotlivé operace. [18] [19] Proto je důležité správně zvolit datový typ pro každý sloupec, níže uvedu několik použitých zástupců:

- INTEGER – Celá čísla v délce do 11 číslic i se znaménkem. Interval povolených hodnot je od  $+2,147,483,648$
- FLOAT – Čísla s desetinou čárkou z intervalu od  $2,22507385850720160 \cdot 10^{-308}$  až do  $1,79769313486231560 \cdot 10^{+308}$
- CHAR(n) - Znakové řetězce v délce n znaků. Povolené rozpětí pro n je interval od 1 do 32767. Bez určení n je implicitně rovno 1
- VARCHAR(n) - Umožňuje používat a ukládat řetězce různých délek v jednotlivých řádcích
- DATE – Datum ve formátu yyyy/mm/dd
- TIME – Časový okamžik dne ve formátu hodina/minuta/vteřina
- BINARY(n) - Binární data o délce 'n' Byte. Délka min. 1 až 32767 Byte

### 3.1.3 Identifikátory a vazby mezi tabulkami

Databáze se obvykle skládají z několika navzájem propojených zdrojů dat, tabulek. K tomuto účelu se používají tzv. identifikátory, které nám umožňují definovat vztahy mezi jednotlivými tabulkami. [18] [19]

#### 3.1.3.1 Identifikátor řádků

Identifikátor řádku musí být jedinečný pro každý řádek tabulky, v tabulce se nemohou vyskytovat dva řádky se shodnou hodnotou identifikátoru. [18] [19]

#### 3.1.3.2 Číselné identifikátory

Jako číselný identifikátor lze použít neměnnou číselnou hodnotu (u osob třeba rodné číslo u automobilu např. poznávací značku). Jako identifikátor je vhodné zvolit číselnou hodnotu kvůli úspoře místa i pro vyšší rychlost zpracování. V našem případě použijeme jako identifikátor adresu odpovídače letadla (v souborech dat pod označením icao24). I když se může ve výjimečných situacích změnit, považujeme ji pro účely této práce za neměnnou. Identifikátory mohou být i složené, protože v některých situacích nemusí jediný parametr stačit k jednoznačné identifikaci hledaného řádku. [18] [19]



V našem případě se může jednat o kombinaci adresy ICAO24 a Imatrikulace letadla.

### 3.1.4 Pomocné databázové informace

Databáze obsahuje kromě vlastních dat i data pomocná, která umožňují zrychlit zpracování příkazů a informace popisující vlastní data. Hlavním nástrojem významně urychlujícím práci s databází jsou tzv. indexy. Největším přínosem indexů je, že si můžeme pro tytéž data vytvořit několik různých indexů. Můžeme mít tedy jeden seznam seřazující letadla podle modelu, další podle hmotnosti atd. Princip funkce je podobný jako při vyhledávání knihy v knihovně, je snazší orientovat se podle abecedně seřazených autorů nebo tematicky seřazených celků než hledat každou knihu podle obsahu, je také snazší při přidání nového záznamu přidat pouze index odkazující na daný záznam než celou knihu/řádek. Díky indexům je možné mít najednou seřazené záznamy podle více kritérií zároveň.

Kromě vlastních dat obsahuje tabulka (databáze) obvykle i informace popisující tato data jako je záhlaví jednotlivých sloupců, velikost, počet řádků. Tyto doplňující informace bývají označovány jako metadata nebo slovník dat. [18]

### 3.1.5 Hlavní příkazy jazyka SQL

Jazyk SQL byl vytvořen jako neprocedurální jazyk. V příkazech tedy popisujeme, čeho chceme dosáhnout, co chceme získat. Samotný postup, procedura nás nezajímá. Většina programovacích jazyků je naopak procedurálních, kdy přesně popisujeme postup, jak se má co provést. U příkazů SQL nehraje roli na kolika řádcích jsou zadány, složitější příkazy nebo jednotlivé skripty je proto možné rozdělit pro lepší přehlednost. Níže uvádím ty nejdůležitější z nich použité při tvorbě skriptu v této práci a několik příkladů syntaktického použití v příkladech. [18]

Příkazy, klauzule:

**WHERE** – určuje kritéria, pro které záznamy z tabulky uvedených v klauzuli FROM platí příkaz SELECT, UPDATE atd. [20] [21]

Př.:

```
SELECT seznam_polí  
FROM tabulkový_výraz  
WHERE kritéria
```



**CASE WHEN** – Výraz case umožňuje aplikovat podmíněnou logiku na základě podmínky  
WHEN [20] [21]

Tato podmínka umožňuje například porovnat hodnoty v daném sloupci oproti definované hodnotě a na základě vyhodnocení této hodnoty přiřadit výsledek. Ukázka syntaxe níže.

Př.:

```
SELECT  
CASE Pole  
WHEN 0 THEN 'prazdne'  
WHEN 1 THEN 'zapsané'  
ELSE 'NULL'  
END AS Vysledek  
FROM dbo.stavy;
```

V uvedeném příkladu srovnáváme hodnotu pole z tab. stavy s nadefinovanou podmínkou. Pokud je hodnota pole rovna nulové hodnotě vrací výsledek „prázdné“, pokud nenulová vrací výsledek „zapsané“, pokud je hodnota pole různá od stavu 0 nebo 1 vrací výsledek NULL – neznámé.

**ORDER BY** – klauzule ORDER BY umožňuje seřadit vrácené hodnoty dotazu podle zadaných polí ve vzestupném nebo sestupném pořadí [20] [21]

```
SELECT cas letu  
FROM lety  
WHERE kriteria  
ORDER BY cas letu ASC
```

V uvedeném příkladu SELECT definuje název polí např. pro daný sloupec, které se mají načíst, FROM tabulku, ze které jsou záznamy načítány, WHERE umožňuje zadat další podmínku (nepovinné) a ORDER BY ASC nám seřadí záznamy ve vzestupném pořadí.

**SELECT** – vypíše data z databáze splňující podmínku [20] [21]

```
Př.: SELECT název_sloupce, název_sloupce  
FROM název_tabulky  
WHERE název_sloupce, operátor hodnota;
```

**SELECT TOP 100** – výpis prvních 100 hodnot z dané tabulky [20] [21]

```
SELECT TOP číslo / název_sloupce
```



FROM název\_tabulky

**INSERT INTO** – vloží nová data do databáze

**CREATE DATABASE** – vytvoří novou databázi

**ALTER DATABASE** – upravuje databázi

**CONVERT** – umožňuje změnit řetězec z datového typu DATE na řetězec textový [20] [21]

### 3.1.5.1 Operátory

**BETWEEN** – mezi hodnotami

Př.: WHERE název\_sloupce BETWEEN hodnota1 AND hodnota2

**LIKE** – podobné danému vzoru

Př.: WHERE název\_sloupce LIKE vzor;

**IN** – více hodnot ve sloupci [20] [21]

Př.: WHERE název\_sloupce IN (hodnota1, hodnota2, ...)

### 3.1.5.2 Spojení tabulek

**INNER JOIN** – Kombinuje záznamy z několika tabulek, když je ve společném poli nalezena shoda. Spojení dvou tabulek je realizováno na základě shody hodnot ve dvou sloupcích, podmínka, na základě které se záznamy z obou tabulek spojují, je obsažena v klauzuli ON. [20] [21]

Př.:

```
SELECT
[Tabulka_letadla1].[sloup.ID],
[Tabulka_letadla1].[sloup.model]
[Tabulka_letadla2].[sloup.stat]
FROM [Tabulka_letadla1]
INNER JOIN [Tabulka_letadla2]
ON [Tabulka_letadla1].[ sloup.ID] =
[Tabulka_ letadla2].[ sloup.ID];
```

Výsledkem tohoto propojení dvou tabulek letadla1 obsahující 8 záznamů ve sloupci ID a sloupci model a tabulky letadla2 obsahující 4 záznamy pro sloupec stat bude tabulka obsahující průnik informací dle společného klíče ID. Tabulka bude obsahovat celkem 4 záznamy pro daná ID obsažená v tab1 a tab2. Záznamy z tab1, pro které nebyla přiřazena informace o státu výroby z tab2, budou zahozeny (odstraněny).



**JOIN LEFT** – Kombinuje záznamy z několika tabulek, na rozdíl od funkce INNER JOIN zachová i ty hodnoty, kde není nalezena shoda pro společné pole, jedná se tedy o jakési sjednocení. [20] [21]

Př.:

```
SELECT
[Tabulka_letadla1].[sloup.ID],
[Tabulka_letadla1].[sloup.model]
[Tabulka_letadla2].[sloup.stat]
FROM [Tabulka_letadla1]
LEFT JOIN [Tabulka_letadla2]
ON [Tabulka_letadla1].[ sloup.ID] =
[Tabulka_ letadla2].[ sloup.ID];
```

V uvedeném příkladě máme dvě tabulky, kde v první je sloupec ID a sloupec obsahující název modelů letadel, např. pro 8 letadel. Ve druhé tabulce je sloupec ID a sloupec se státem výroby, ale jen pro 7 uvedených letadel. ID může být v našem případě např. adresa odpovídače icao24. Tímto jsme vytvořili relaci mezi oběma tabulkami, podmínku a identifikátor, na základě které se záznamy propojí, je obsažena opět v klauzuli ON. Výsledkem bude tabulka se sloupci obsahující informace o ID letounu, modelu a státu výrobce. Ovšem pro osmé letadlo bude hodnota výrazu státu výrobce rovna NULL, protože nebyla známá.

**UPDATE** – Tento příkaz provede změnu již existujících záznamů pro určité sloupce v dané tabulce. To, jaké záznamy budou pozměněny, nám udává klauzule WHERE. [20] [21]

Př.:

```
UPDATE dbo.Letadla
SET dbo.Letadla.země = dbo.Letadla.země
FROM dbo.Kodyzemi.zeme
WHERE dbo.Countrycodes.Icao24 = dbo.Letadla.Country.Icao24
```

V uvedeném příkladu máme tabulku Letadla obsahující mimo jiné sloupce, zejména sloupec nesoucí informaci o ID (icao24) pro každý letoun a tabulku Kodyzemi, která obsahuje sloupec s informací o kódu země přiřazenou k danému ID (Icao24). Příkazem UPDATE říkáme, kterou tabulku budeme doplňovat, příkazem SET pak do jakého sloupce



zapisujeme přiřazovanou informaci, klauzulí FROM odkud informaci získáváme a klauzulí WHERE kdy nebo za jakých podmínek má být zápis přiřazen.

**CREATE PROCEDURE** – Příkaz pro vytvoření procedury. Procedura je jasně oddělená část programu uložená v databázi. Může obsahovat své místní proměnné, vstupní parametry, výstupní parametry a návratové hodnoty. Jedná se tedy o „zapouzdřené“ uložené a zkompileované seskupení příkazů vytvořené za účelem rychlejšího provedení konkrétní úlohy. Pokud spustíme uloženou proceduru SQL server nám vrátí náhled požadovaného výstupu. [20] [21]

Př.:

```
CREATE PROCEDURE dbo.typy_letadel
AS
BEGIN
    SELECT
        icao24,
        model,
        manufacturer,
FROM
    dbo.Letadla
ORDER BY
    Icao24;
END;
```

V uvedeném příkladu příkaz CREATE PROCEDURE zakládá novou proceduru s názvem typy letadel, klíčové slovo AS odděluje záhlaví a tělo vytvořené procedury. Příkaz procedury je ohraničen klíčovými slovy BEGIN a END. Po spuštění nám procedura vrátí nově vytvořenou tabulku typy letadel, kde budou obsaženy sloupce icao24, model, manufacturer z tabulky Letadla a budou řazeny dle společného identifikátoru icao24.

**DATEDIFF** – Tento příkaz nám umožňuje porovnat, zda určené datum (date\_part) spadá do určeného intervalu datumu od – do (start\_date, end\_date), či nikoliv. Platné hodnoty pro klauzuli date\_part jsou rok, měsíc, hodina, sekunda aj. [22]

Př.:

```
SELECT
CASE WHEN dbo.Lety.onground = 0 AND
DATEDIFF(MINUTE, dbo.Lety.[from], dbo.lety.[till]) > 30
```





THEN 1 ELSE 0 END AS FlightOver30Minutes

V uvedeném příkladu nám část skriptu CASE WHEN vrací informaci, zda je let delší než 30 minut, nebo není. Když je let z tabulky Lety s příznakem onground = 0 (tedy čas letu, ne doba stání na zemi) a zároveň pokud je splněna podmínka letu delší než 30 minut, tak zapíše do sloupce FlightOver30Minutes příznak 1, logická pravda.

### 3.2 Strojové učení, všeobecné termíny a postupy

V této kapitole se zabývám teoretickým úvodem do principů strojového učení a možností tohoto způsobu vyhodnocování dat pro účely této práce. Nejlepším nástrojem pro vyhodnocení získaných dat, která jsou již připravena do vhodné formy, vyfiltrována a zpracována jednoduššími metodami vhodnými pro práci s velkými datovými sadami, se zdá být strojové učení, dále pak známé pod zkratkou ML (tzv. Machine Learning). Strojové učení je podoblastí umělé inteligence, jedná se o nástroj vhodný pro analýzu dat a jejich vyhodnocení způsobem, jakého byl doposud schopen jen člověk nebo velmi složité jednoúčelové programy, které ovšem bývají limitovány velikostí zpracovávaných datových sad nebo komplexností vstupních proměnných. Strojové učení je proces zabývající se aplikací algoritmů, matematických modelů dat, pomocí kterých je umožněno počítači „učit se“, a to i bez přímých instrukcí. Strojové učení lze použít k identifikaci vzorů v datech a tyto vzory (tzv. pattern) pak použít k vytvoření datového modelu, za pomoci kterého lze identifikovat různé odchylky, formulovat předpovědi nebo přiřazovat funkce proměnným. Čím je větší množství vstupních dat, tím vyšší jsou pak „zkušenosti“ daného systému a výsledky strojového učení se stávají přesnějšími (obdobně jako lidé získávají zkušenosti z praxe). Vzhledem k adaptibilitě je strojové učení možné použít v situacích, kdy se mění vstupní data, požadavky úlohy nebo v situacích, kdy by jiné programové řešení nebylo možné efektivně aplikovat. Pojmem „učení“ rozumíme v dané situaci změnu vnitřního stavu systému, která umožňuje zefektivnit proces vyhodnocování vůči změnám okolního prostředí. Strojové učení kombinuje poznatky ze statistiky a dobývání informací. Jako příklady využití ML lze uvést systémy pro podporu rozhodování, identifikace ilegálního zneužití platebních karet, rozpoznávání řeči, rozpoznávání obrázků, symbolů a textu stejně jako mluvené řeči. Tento nástroj nalézá uplatnění i v modelování různých trendů, predikci a dopočítávání různých vzorů, fotografií, textur apod. [23]



### 3.2.1 Základní druhy strojového učení

Strojové učení můžeme dále dělit na „Machine Learning“ – ML nebo „Deep Learning“ – DL.

- 1) **Machine Learning – ML** se využívá k vyhodnocování dat v řádech tisíců datových záznamů a více. Vstupem bývá obvykle numerická hodnota značící klasifikaci, úspěšnost vyhodnocení nebo jen binární stav „pravda“, „nepravda“, „neznámé“. Při vytváření vyhledávacího vzoru či modelu se využívají různé algoritmy, pomocí kterých se vyhodnocují vstupní data. Algoritmus je pak obvykle vybírán podle známého charakteru, povahy vstupních dat. [24]

Mezi základní modely strojového učení můžeme uvést:

- Klasifikační modely – vstupní data rozdělujeme do několika tříd
- Regresní modely – odhadujeme číselnou hodnotu výstupu na základě vstupních dat
- Shlukování – zařazuje objekty do množin s podobných vlastností
- Snížení – rozměrů vytváří menší počet nových proměnných z velkého počtu prediktorů
- Hluboké učení (Deep Learning)

- 2) **Deep Learning – DL** je dalším pojmem často zaměňovaným se strojovým učení, jedná se však o podoblast ML a bývá využíváno ve spojení s neuronovými sítěmi. Hluboké učení je vhodné pro vyhodnocování velmi velkých datových sad v řádech milionů záznamů. Velkou předností DL je, že je schopné provádět činnosti, na které nebylo jednoznačně naprogramováno. Jedná se velmi sofistikovaný přístup strojového učení, kdy modely hlubokého učení svou strukturou uzlů připomínají funkci neuronů v lidském mozku. Tyto uzly jsou podobně jako neurony navzájem mezi sebou mnohonásobně propojeny, díky čemuž mohou nelineárně transformovat data. Algoritmy se uvnitř neuronové sítě ve většině případů řídí samy a síť samotná se postupně učí rozpoznávat charakteristické vlastnosti vstupních datových sad. Z toho je tedy patrné, že vzhled do vnitřní struktury sítě není možný a nelze tak jednoznačně popsat algoritmus, na jehož principu síť pracuje. Příkladem vstupních dat mohou být obrázky, text, vzorky signálů ať už akustických nebo i jiných apod. Výstupem pak může být rozpoznávání objektů, personalizace reklam na základě určitého chování uživatele, predikce počasí atd. Nevýhodou pro vytvoření tohoto



nástroje, způsobu zpracování dat je obvykle velká potřeba vzorků, resp. dat, na kterých se nástroj „učí“. Výhodou je naopak velmi rychlé zpracování výsledků i při velkých objemech vyhodnocovaných dat a parametrů, dále pak velmi malá potřeba lidského zásahu. Pro vlastnosti uvedené v tomto odstavci bude tento druh strojového učení použit pro konečnou fázi vyhodnocení dat v této práci. [24] [25] [26]

### **3.2.2 Dělení strojového učení**

Dalším důležitým rozdělením strojového učení je podle způsobu, jakým se algoritmus učí rozpoznávat požadované objekty. Lze jej takto dělit na strojové učení bez učitele, s učitelem a jejich vzájemnou kombinaci. [24] [25] [26]

#### **3.2.2.1 Učení bez učitele**

Učení bez učitele (tzv. „unsupervised learning“) nebo také tzv. bez dozoru je využíváno především tam, kde jsou známa pouze vstupní data bez znalosti odpovídajících proměnných. K datům nejsou tedy známy žádné doplňující informace, data nejsou označena a vstupní algoritmus nemá žádná vnější vodítka, pomocí kterých by je byl schopen vyhodnotit. Předem nemusí být známé, jestli má úloha nějaké řešení. Tento způsob se využívá především v případech, kdy potřebujeme sestavit funkci popisující neznámou strukturu nebo způsob distribuce dat. Algoritmu je ponechána svoboda v nacházení vnitřních vzorců a vzájemných asociací. Algoritmus tedy většinou seskupuje data do různých tříd, skupin podle charakteristických ukazatelů. Cílem aplikace této metody může být screening známých procesů, rychlé rozdělení vstupních dat, konkrétním příkladem pak shluková analýza, kdy počítač seskupuje data do několika skupin na základě podobných parametrů. [24] [25] [26]

#### **3.2.2.2 Učení s učitelem**

Učení s učitelem (supervised learning) je aplikováno ve většině procesů vyživající strojové učení. Při použití v praxi to znamená, že pro množinu vstupních dat je definována správná hodnota výstupu. Nevýhodou je vysoká časová náročnost pro učitele (obvykle člověka), který musí data předpřipravit, resp. označit správné nebo požadované výsledky a flexibilita při použití pro odlišnou funkci. Cílem algoritmu je zmapovat princip funkce, která dokáže na základě nových vstupních dat „x“ predikovat výstupní proměnnou „y“. Tedy například klasifikovat na základě vybraných parametrů, o jaký druh leteckého provozu se jedná, zda je komerční, soukromý atd. Při tomto druhu



učení jsou vstupní data klasifikována a označena například logickým parametrem pravda/nepravda. Protože je známo, která data nás zajímají a která nikoliv, je možné vyjádřit s jakou procentuální úspěšností algoritmus našel požadovaný vzorek. Algoritmu je tedy možné dát jakousi zpětnou vazbu, na základě které se zdokonalí a upraví svou vnitřní logiku. Tento proces se pak opakuje do té doby, než je hledaná funkce dostatečně aproximována vhodným modelem a algoritmus je schopný klasifikovat cílová data s požadovanou úspěšností. Je zřejmé, že čím větší vzorek vstupních označených dat máme, tím větší je i úspěšnost správné funkce. V praxi to probíhá tak, že jsou vstupní data rozdělena na dvě části (trénovací a validační) v poměru například 70:30, kdy sedmdesát procent dat je použito k „učení“ a po vystavění algoritmu je na zbylých třiceti procentech testováno, s jakou úspěšností se strojové učení naučilo detekovat požadovaný trend.

Může však dojít i k tzv. přetrénování nebo přeučení (tzv. *overfitting*), tj. stavu, kdy je algoritmus příliš úzce zaměřen, přizpůsoben vzorku trénovacích dat a ztrácí schopnost generalizace, rozpoznání podobných, ale ne tak úzce profilovaných dat. Selhává tedy potom při drobné změně parametrů vstupních datových sad a není schopen rozlišit hledaný trend správně. V praxi to může znamenat, že se příliš úzce zaměří na určitý parametr a ve chvíli kdy parametr nabývá určité hodnoty, tak vyhodnotí výsledek nesprávně bez ohledu na ostatní kontext. Toto může nastat především v případě velmi malého vzorku tréninkových dat nebo pokud je systém příliš komplexní a obsahuje velké množství proměnných. Tento problém si lze představit jako čtverec, kdy při zvětšení rozsahu jedné strany (například počet vyhodnocovaných parametrů) musíme navýšit i počet řádků popisovaných dat, aby byl poměr těchto dvou stran v rovnováze. U velmi malé množiny trénovacích dat tedy není vhodné posuzovat velké množství parametrů. Částečným řešením může být omezení iteračních kroků algoritmu, kdy ukončíme proces „učení“ ve chvíli, kdy úspěšnost vyhodnocení dosahuje svého maxima. [24] [25] [26]

### 3.2.2.3 Částečně řízené strojové učení

U tohoto typu strojového učení se snažíme, pokud je to možné, kombinovat výhody obou již zmíněných metod. U části vstupních dat známe hodnotu výstupního parametru, u druhé části dat zůstává neznámá. Algoritmus se pak v první fázi „učí“ na sadě dat se známými výstupy, dochází k identifikaci parametrů s nejčastějším výskytem. Ve druhé fázi, která může být realizována pomocí další vrstvy neuronové sítě (o kterých se podrobněji budeme zabývat v další kapitole), dochází k identifikaci kombinací těchto parametrů, které mají největší četnost výskytu. Fáze tzv. „předtrénování“ umožní



nastavit většinu parametrů na malý rozptyl od hledaného řešení a dokáže zúžit interval možných řešení a jejich kombinace. Tyto kroky probíhají bez učitele. Učitel přichází na řadu až ve chvíli, kdy jsou data předzpracována a celý proces je proto efektivnější. [24] [25] [26]

### 3.2.3 Neuronové sítě

Neuronové sítě tzv. neuronky jsou jedním z hlavních nástrojů strojového učení. Jsou inspirovány skutečnými biologickými neurony. Je zřejmé, že vytvoření neuronové sítě přibližující se většinou svých vlastností lidskému mozku není v současnosti reálné. Lze ovšem vytvořit či simulovat určité vzorce lidského faktoru a ty pak implementovat na určitý problém. Tyto sítě využívají při zpracování výpočtů distribuované **paralelní informace**. Přenos, zpracování a ukládání informací probíhá prostřednictvím celé neuronové sítě, tedy paměť je v tomto případě spíše globální než lokální parametrem. Natrénovaná neuronová síť se od „nenaučené“ liší především v síle vazeb mezi jednotlivými neurony. Vazby, které vedou ke správnému výsledku, jsou posilovány, a vazby přinášející nechtěný výsledek, bývají oslabovány.

Hlavní podstatou neuronových sítí je schopnost učení. V minulosti bylo nutné vytvořit program, algoritmus, který transformoval data z množiny vstupních proměnných na množinu dat výstupní proměnných. Při použití neuronové sítě tento problém odpadá, neboť to, jakým způsobem bude docházet k transformaci vstupních dat na data výstupní, udává právě fáze učení, která je závislá na vystavení vzorků zkoumaných dat popisující charakteristické chování, tzv. tréninková sada dat. [27]

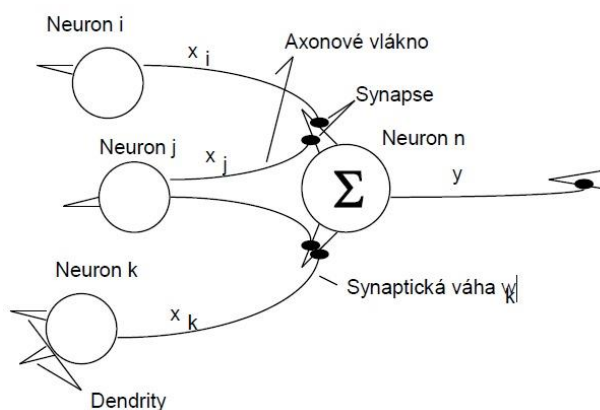
#### Model neuronu

Model skutečné neuronové sítě je inspirován skutečnou biologickou předlohou a je základním prvkem celé, jakkoliv komplexní, sítě. Biologický neuron se skládá ze 4 hlavních částí: těla buňky, dendritů, synapsí a axonových vláken.

**Tělo buňky** sčítá signály vyslané okolními neurony, tím je stanoven vnitřní potenciál vedoucí k vybuzení neuronu (excitaci). **Dendrity** znázorňující vstupní místo signálu do neuronu. **Synapse** naopak tvoří výstup neuronu a umožňuje vyslání signálu k dalším neuronům a zároveň ho zeslabuje nebo zesiluje, jedná se tedy o jakousi váhu. **Axonové** vlákno přenáší signál dle stupně excitace k synapsím. [27]

## Perceptron

Základní proces a funkce, které probíhají uvnitř neuronové sítě, lze nejlépe znázornit na **Perceptonu**, což je nejjednodušší model neuronové sítě dopředného typu. Z obrázku 3.1 můžeme snáze pochopit to, jak funguje celá neuronová síť.



kde

$x_i, x_j, x_k$  výstupní signál neuronů  $i, j, k$

$w_i, w_j, w_k$  synaptické váhy měnící

výstupní signál neuronů  $i, j, k$

$\Sigma y$  výstupní budící signál neuronu  $n$

Obrázek 3.1: Perceptron [27]

Písmena  $x_i, x_j, x_k$  představují výstupní signály předcházejících neuronů a vstupní signál pro *neuron n*. Mohou to být vstupy z vnějšího prostředí i výstupy z ostatních neuronů. Písmena  $w_i, w_j, w_k$  (synaptické váhy) udávají váhu jednotlivých axonů, tedy vazby mezi sousedními neurony. Čím větší je dané vazbě přisouzena váha, tím více se daný vstup podílí na vyhodnocení výsledku. Buňka *neuronu n* znázorňuje přenosovou funkci. Velmi důležitým prvkem jsou přenosové funkce, které se vstupními daty provádí zvolenou matematickou operací, ta může nabývat různých hodnot například od 0 do 1 a udává velikost intervalu přenášené funkce. Pomocí těchto funkcí je možné docílit, aby se neuronová síť učila, je ovšem nezbytné, aby byly v síti zavedeny i nelineární funkce. V případě, že by síť obsahovala pouze lineární funkce, bude její chování stejné jako u sítě se skrytými vrstvami a nebude docházet k učení vah ani prohlubování sítě.

Pokud uvažujeme použití jednoduché přenosové funkce skokového nebo sigmoidálního typu, pak se perceptron chová jako binární klasifikátor. Skoková funkce vrací hodnotu 0 nebo 1 v závislosti na tom, jestli je vstup větší či menší než daná mez. Za binární klasifikátor považujeme funkci, která rozhoduje o tom, jestli vstupní hodnota, tvořená obvykle číselným vektorem, spadá do určité třídy. [27] [28]

Námi popsaný perceptron tedy definuje funkce:  $f(x) = wx + b$  (3.1)

Kde

$w$  je vektorem vah

$x$  vstupní signály

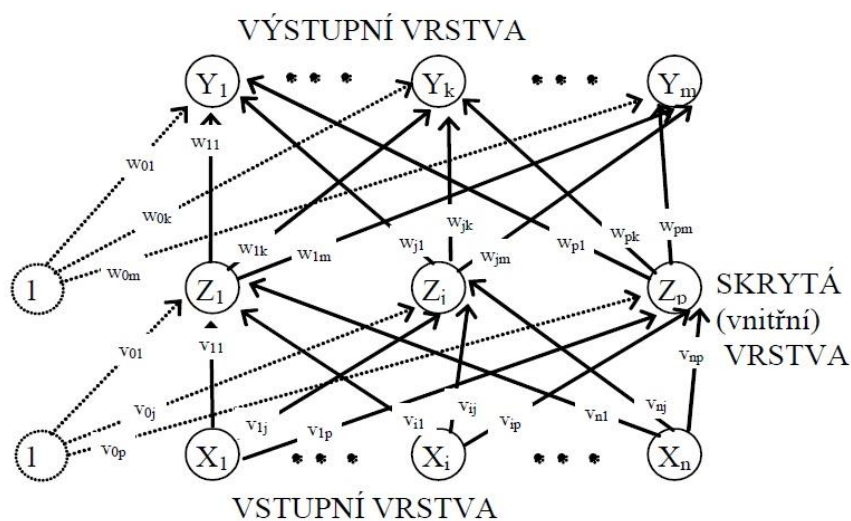
$b$  bias je offset určující hranici rozhodnutí

Bias a váhy jsou před trénováním nastaveny na náhodné hodnoty, které postupně konvergují až dosáhnou optimálních hodnot. [27] [28]

### 3.2.4 Dopředné šíření signálu a backpropagation

#### 3.2.4.1 Dopředné šíření signálu

Ve fázi dopředného šíření signálu ve vícevrstvé síti se signál šíří od vstupu jedním směrem k výstupu sítě. Na obrázku 3.2 lze vidět, že neurony tvoří soustavu vrstev a jsou vzájemně propojeny vazbami, neurony ve vrstvách uprostřed jsou propojeny plně, zatímco vstupní vrstva nikoliv. Jak už bylo zmíněno, součástí každé vazby je váhové kritérium, které nám upravuje velikost přenášeného signálu. Podobně jako v biologické předloze, pokud je vazba mezi neurony používána, jsou mezi jednotlivými neurony přenášeny signály shodného charakteru, které tak sílí, pokud opačné zaniká. Pokud je nastavena váha na hodnotu nula, odpovídá to situaci, kdy mezi neurony neexistuje žádné propojení. Vícevrstvé síť se skládají z několika vrstev, a to vstupní vrstvou, skrytými vrstvami a vrstvou výstupní. Počet skrytých vrstev u tohoto typu sítě se většinou omezuje na jednu až dvě vrstvy. Ve své podstatě se jedná o distribučně řízený dynamický systém, kde každý její základní prvek (*neuron*) funguje samostatně.



Obrázek 3.2: Schématické znázornění vazeb modelu [29]



Vstupní signál ( $x_i$ ) je při dopředném šíření nejprve přijat neurony ve vstupní vrstvě ( $X_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ), která zároveň umožní jeho šíření ke všem ostatním neuronům vnitřních vrstev ( $Z_1, \dots, Z_p$ ). Neurony ve vnitřních vrstvách vyhodnotí svoji aktivizaci ( $z_j$ ) a předávají tento signál neuronům do výstupní vrstvy. Po předložení vstupního vzoru je výsledný výstup  $n$ -tého neuronu roven výsledku aktivizace každého z nich. Tímto postupem dostáváme odezvu neuronové sítě na vstupní podněty určenou excitací neuronů ve vstupní vrstvě. Nejdůležitějším parametrem celé sítě je správné nastavení synaptických vah, jejichž nastavení udává správnou odezvu na vstupní signál. Pokud se nastavení vah v síti provádí náhodným výběrem, jedná se o stochastickou metodu učení, když je prováděno výpočtem, jedná se o metodu deterministického učení. [29]

### 3.2.4.2 Metoda adaptace Backpropagation - BP

Nejpoužívanější metodou pro učení neuronových sítí je algoritmus adaptačního šíření chyby, známý pod ekvivalentem backpropagation. Využití nachází především u vícevrstvých sítí ve formě učení s učitelem. Tento algoritmus se skládá ze tří různých fází, dopředného šíření vstupního signálu, zpětného šíření chyby a aktualizace hodnot vah na jednotlivých spojeních.

Adaptační mechanismus umožňuje přizpůsobení sítě pro danou trénovací množinu dat. Tento způsob přizpůsobení je založen na zpětném šíření informace od vyšších vrstev k vrstvám nižším. Během procesu adaptace je srovnávána vypočítaná aktivace  $y_k$  s danými výstupními hodnotami pro každý neuron ve výstupní vrstvě a pro daný tréninkový pattern. Pomocí tohoto srovnání lze definovat celkovou chybu neuronové sítě, která spolu s faktorem chyby  $\sigma_k$  odpovídá lokální části chyby pro daný neuron a tato korekce se následně zpětně šíří ke všem neuronům v předcházejících vrstvách sítě, které jsou s prvotním neuronem spojeny. Obdobným způsobem je definován i faktor  $\sigma_j$ , nesoucí informaci o tom, jak velká je chyba šířící se ve zpětném směru od neuronu  $Z_j$  k neuronům ve vstupní vrstvě. Korekce nastavení hodnot vah mezi vstupní a vnitřními vrstvami je pak závislá na faktoru  $\sigma_j$  a aktivizaci neuronů  $X_i$  ve vnitřní vrstvě. Korekce nastavení hodnot vah mezi vnitřní a výstupní vrstvou je pak závislá na faktoru  $\sigma_k$  a aktivizaci neuronů  $Z_j$  ve vnitřní vrstvě. Pokud chceme použít u neuronových sítí výše popsanou adaptační metodu aktivační funkce, musí splňovat tyto parametry: nesmí být monotónně klesající, spojitá a diferencovatelná, většinou se jedná o již zmíněnou sigmoidu nebo hyperbolický tangens.





Důvodem adaptace je minimalizování chyb vah v celé síti. Pro optimalizaci této chybové funkce se využívá diferencovaná gradientní metoda lokálních minim. Hlavní nevýhodou této metody je, že nalezené lokální minimum funkce nemusí i být minimem globálním. V takovém případě je dosaženo nulového gradientu, adaptace se zastaví a chyba sítě už nemůže klesat. Výše zmíněné postupy lze samozřejmě popsat pomocí matematických operátorů, není to však hlavním tématem této práce, a proto je princip vysvětlen pouze slovně. [29]

### 3.2.5 Rozpoznávání vzorů chování a způsoby klasifikace dat

Klasifikací rozumíme ohodnocení daného problému a jeho zařazení do odpovídající třídy, v tomto procesu vynikají právě neuronové sítě a je zároveň nedílnou součástí zpracování vstupních dat pro naši neuronovou síť.

*„Klasifikace je činnost, při které se posuzované objekty zařazují do příslušných tříd. Z matematického hlediska lze tyto činnosti nazývat funkční aproximací“* (Zelinka, 1999). Výhoda použití neuronové sítě pro klasifikaci/vyhodnocení dat je zejména její rychlost, protože dokáže na základě správně nastavených vah a aktivizačních funkcí vyhodnotit velké množství dat, resp. rozhodnout o jejich zařazení do vhodných skupin/tříd prakticky okamžitě. Předpokládáme situaci, kdy má síť dostatečné množství vstupních informací. Neuronová síť je zároveň schopna na základě analýzy tzv. neurální citlivosti rozpoznat, která informace je pro vyhodnocení vhodná a která nikoliv. Pokud například v našem případě popisuje daný let 8 faktorů pouze binárního charakteru, dostáváme  $8^2$  tj. 64 možných kombinací, které mohou nastat. Klasifikaci lze provádět pomocí binárních klasifikátorů nabývajících hodnoty pouze 0 a 1, ale také výběrem z libovolného intervalu. Klasifikace může být tedy realizována pomocí binární nebo spojité funkce, která vyhodnocovaný prvek zařazuje do příslušné tříd-y, může být tedy dvouhodnotová nebo více hodnotová. Klasifikace lze též rozdělit v našem případě na vnitřní a vnější. Vnitřní, která probíhá ve druhé fázi vyhodnocení dat, kdy výstupní neurony rozhodují o zařazení např. letu do příslušné třídy, tedy zdali je nebo není podezřelý, případně s jakou pravděpodobností vzhledem k nastavenému parametru. Vnější klasifikace, která probíhá v první fázi předzpracování, data pomocí předem nastavených klasifikačních kritérií seskupuje nebo klasifikuje, například převádí spojité intervaly hodnot pouze na binární informaci, která je pro neuronovou síť snadněji vyhodnotitelná. [29]



### 3.3 Vhodný formát dat pro vyhodnocení neuron. sítě

Pro účely vyhodnocení dat pomocí určitého algoritmu, v našem případě vyhodnocení již předzpracovaných a vyfiltrovaných dat pomocí neuronové sítě je nezbytné, aby tato data měla unifikovaný tvar. Je nezbytné, aby například údaje o každém zpracovávaném letu, byly zapsány v jednom řádku, který obsahuje všechny informace v daném pořadí, datovém formátu a záznamy obsahující neúplné nebo nespojité informace byly odstraněny.

I přesto, že už získaná data prošla řadou úprav předzpracováním, stále se může jednat o obrovské množství záznamů. Nabízí se několik metod předběžného zpracování, jedním z nich je například odečtení průměrné hodnoty od každého vyhodnocovaného prvku pro danou třídu (např. typ letadla apod.) Tímto v případě velkých datových sad významně omezíme počet vstupních prvků do neuronové sítě.

Důležitým parametrem pro úspěšné vyhodnocení dat, v našem případě daných letů tedy jednotlivých řádků, jsou nejen informace obsažené v každém z nich, ale i vzájemný kontext a provázanost. Nejprve byla zvolena cesta řazení záznamů o letech do jednoho řádku. Pokud na sebe jednotlivé lety navazovaly, nebo byly splněny určité podmínky, tedy například let daného stroje z A do B a z B do A byly záznamy řazeny za sebe tak, aby na sebe vyhodnocované informace přímo navazovaly. Pro zápis řadícího příkazu byly použity podmínky jako: Řad' lety za sebe, dokud se letiště vzletu nerovná letišti přistání a zároveň lety byly provedeny v tomtéž dni. Ukázalo se, že tímto způsobem velmi vzroste počet vyhodnocovaných parametrů pro každý řádek a především, každý řádek obsahuje různé množství jednotlivých letů, tedy zbytečně roste komplexnost vyhodnocovaných proměnných i požadavek na množství tréninkových dat. Výhodou ovšem je pestřejší soubor dat pro klasifikaci a ucelenější představa o celém pohybu letounu za sledovaný časový úsek.

Další nalezenou cestou je řazení každého letu na jeden řádek, tedy přibližně v pořadí, jaké získáváme přímo z datového zdroje. V tomto případě ale nemáme informace o předchozích nebo následujících letech, a tudíž ani dostatečné podklady pro vyhodnocení chování sledovaného stroje pro daný let. Navrženým řešením je proto přidání několika vyhodnocovaných kritérií do každého řádku vzhledem k právě vyhodnocovanému záznamu letu. Tato kritéria obsahují soubor podmínek, pomocí kterých vyhodnocujeme chování předchozích a následujících letů, a umožňuje nám to lépe vyhodnotit chování daného letounu. Jedná se o podmínky jako například: Je počet přistání v předchozích/následujících x hodinách menší nebo větší než y. Je přechází nebo



následující let cestou zpáteční k současnému letu (současný let např. z A do B, let předchozí nebo následující z B do A) apod.

V těchto kapitolách byly popsány základní principy strojového učení, topologie neuronové sítě, vhodný formát vstupních dat pro další vyhodnocení, metody rozpoznávání nalezených vzorů chování a způsoby klasifikace dat. Na tyto zjištěné poznatky pak naváží při praktickém vyhodnocení dat pomocí dostupných nástrojů strojového učení.

## 4. Návrh nástroje pro identifikaci podezřelých letů

Zatímco se předchozí kapitoly zabývaly teoretickým úvodem do problematiky, v kapitolách následujících bude vysvětlena a popsána praktická část práce, tedy celá cesta algoritmizace úlohy od hledání vhodného zdroje dat až po jejich zpracování a vyhodnocení. Bude též rozvedeno, jaké postupy byly zvoleny a jakých omezení mohou dosahovat.

Pro vytvoření interaktivního nástroje na identifikaci letů podezřelých z ilegální obchodní letecké přepravy a práci s dostupnými daty byla zvolena cesta top-down. V první řadě vycházíme z velmi velké množiny údajů (řádově statisíce záznamů) o dostupných pohybech letounů z celého světa za určitý časový úsek. Zdrojem informací o pohybech letounů bývá ve většině případů odpovídač v módu S v kombinaci s ADS-B. Tyto informace získáváme vždy v 10 s intervalech. Následně data předzpracujeme, očistíme a odstraníme tak pro nás nezajímavé informace. Dochází k významné redukci objemu. Dalším krokem je vytvoření databázového souboru umožňující hlubší zpracování dat. Pro dobré propojení s tabulkovým editorem Excel byl zvolen Microsoft SQL Server 2019 v edici Express. Po naimportování dat do vytvořené databáze jsou připojeny další soubory nesoucí doplňující informace nezbytné pro další vyhodnocení. Na řadu přichází propojení jednotlivých souborů přes společné identifikátory, řazení dat dle preferovaných požadavků, aplikace různých filtrů a vytvoření několika pomocných výhledů, které nám vrací náhled požadovaných výstupů (například výstup top x řádků vyfiltrovaných a seřazených dle zadaných kritérií). Na řadu přichází stanovení parametrů tzv. vyhodnocovacích kritérií vhodných pro další vyhodnocení, zejména pomocí strojového učení a export dat do tabulkového editoru Excel. S vyexportovanými



výstupními daty z SQL databázového serveru lze pracovat již v Excelu, kde je možné provádět jednodušší operace, jako například řazení záznamů, jejich vyhledávání apod.

## 4.1 Definování vhodného datového zdroje a nalezené možnosti stahování dat

V prvním kroku je nezbytné si uvědomit co je to vhodný datový zdroj pro naše účely. Zajímají nás především parametry jako je dostupnost, spojitost, rozsah a formát poskytovaných dat. Neméně podstatná vlastnost požadovaných dat je i rychlost stahování nebo možnosti přístupu k nim.

Ideální datový zdroj by měl být volně dostupný, obsahovat jen všechny nezbytné informace jako je jedinečný identifikátor letounu, čas a místo vzletu a čas a místo přistání. Měl by být ideálně ve formátu .csv, kde jsou data jasně oddělená středníkem, mezerou apod. Obsažené informace by měly být spojené a zároveň i zpětně přístupné pro další časové úseky. Neméně důležitý je i způsob stahování dostupných dat, jejich kontinuita a návaznost. Pro účely této práce by bylo ideální, kdyby byly jednotlivé navazující lety řazeny za sebe na jeden řádek v jasně definovaném pořadí. Například pro každý let z A do A by byl vytvořen samostatný řádek, zatímco lety z A až do X by byly řazeny na jeden řádek za sebe do té doby, než se letoun vrátí zpět na letiště vzletu A. Tento způsob řazení dat by poskytoval lepší kontext o návazném chování a výrazně zjednodušil možnosti vyhodnocení chování takového letounu.

## 4.2 Výběr vhodného datového zdroje

Za účelem nalezení vhodného zdroje dat bylo osloveno několik vybraných společností, internetových portálů zabývajících se dlouhodobým sběrem údajů o pohybech letounů po celém světě. Jmenovitě se jednalo o následující portály:

<https://www.oag.com>, <https://aviationstack.com>, <https://uk.flightaware.com>,  
<https://www.flightradar24.com>, <https://opensky-network.org>

První oslovenou společností, jejíž nabízená data by plnila pravděpodobně všechny výše uvedené požadavky, byla společnost OAG. Ukázalo se však, že společnost neumožňuje poskytnutí dostatečně velkého vzorku dat pro nekomerční účely. Pro studijní a výzkumné účely by tak bylo nezbytné získat například nějaký grant, neboť poptávaný



dataset o pohybu všech dostupných letounů na území EU za časový úsek několika měsíců si společnost cení řádově na jednotky tisíc euro.

Následující dvě uvedené společnosti Aviationstack a UK.flightaware poskytují rovněž pouze placené služby nebo jejich volně přístupné datasey nesplňují požadavky vhodného datového zdroje pro naše účely zmíněné v předchozí kapitole, zejména pak jsou limitovány počtem dotazů na server za určitý časový úsek. Známy portál Flightradar24 poskytuje sice zajímavá data o pohybu letounů, neumožňuje však připojení vhodného dotazovacího rozhraní pro naše účely nebo se omezuje na informace pouze o konkrétních zadaných letounech. Flightradar24 by sice mohl být zajímavým prostředkem pro sledování konkrétních letounů, ale pro naše účely potřebujeme vycházet z velké množiny dat, a proto nebyl zvolen jako vhodný zdroj.

Nejvhodnějším nalezeným dostupným zdrojem dat se zdá být portál **opensky-network.org**. Tento portál se zabývá celosvětovým sběrem dat o pohybech všech letounů, která vysílají údaje o své činnosti prostřednictvím odpovídáče v módu S a ADS-B. Jedná se o komunitní síť přijímačů po celém světě, která nepřetržitě shromažďuje data o letovém provozu. Dosud tato síť přijímačů nashromáždila více než dva biliony záznamů o pohybech letounů a tvoří tak největší ucelený soubor dat svého druhu. Data jsou pro výzkumné účely volně přístupná v různých formách, kde každá má své výhody i omezení, která popíšu níže. Pro přístup k datům je z hlediska autorizace nutné pouze vyplnění dotazníku obsahující údaje, za jakým účelem data žádáme a jak s nimi bude nakládáno. Dále popíšu možné způsoby přístupu k datům právě z tohoto portálu.

Data z námi zvoleného zdroje je možné stahovat ručně např. z veřejného adresáře dat na webu poskytovatele, v našem případě se jedná o tzv. **Scientific datasets**. Další možností přístupu k datům je využití tzv. **API** (Application Programming Interface), což je dotazovací rozhraní využívající souboru procedur, funkcí, protokolů a knihoven jejichž účelem je zajištění komunikace mezi dvěma platformami, které si vzájemně vyměňují data. Díky možnosti využití již předpřipravených a integrovaných funkcí dokáže toto dotazovací rozhraní významně šetřit čas i další prostředky. Poslední možností stahování dat u námi zvoleného poskytovatele je tzv. **IMPALA SHELL**, což je databáze historických dat dostupná prostřednictvím SSH (Secure Shell – software využívající šifrovaný komunikační protokol pro přenos dat), ale není vhodný pro získávání velkých datových celků v jednom dotazu. Důvody a možnosti využití uvedených způsobů přístupu k datům pro účely této práce uvádím níže v následujících podkapitolách.



### 4.2.1 Stahování dat přes API

Využití dotazovacího rozhraní API se zdálo být nejlepší možnou cestou získávání potřebných dat. Poskytovatel dat umožňuje přes rozhraní API dotazovat konkrétní data podle tří následujících kritérií: Lety v daném časovém intervalu (Flights in time interval), Lety pro daný letoun (Flights by aircraft) a dle letiště příletu/odletu (Arrivals/Departures by airport). Při těchto možnostech se nabízel zajímavý postup zpracování dat a identifikace podezřelých letounů v několika etapách. V první etapě by byly zpracována data za daný časový úsek, z nichž by se na základě definovaných parametrů (obdobných těm popsaných v příloženém skriptu) a následnými filtry vybralo několik podezřelých letů. V další etapě by vybrané podezřelé lety z předchozí fáze byly blíže analyzovány pro konkrétní letouny, tedy pro tyto konkrétní letouny by byly staženy údaje pomocí kritéria Lety pro daný letoun. Na základě této vícestupňové analýzy by bylo možné blíže pochopit chování, a především kontext pro daný podezřelý letoun z ilegální obchodní letecké přepravy a zúžit tak výstupní okruh podezřelých kandidátů. Poslední etapou by mohlo být zaměření na určité letoviska, resp. letiště v jejich blízkosti a v kombinaci s ročním obdobím zkoumat podezřelý provoz mezi nimi, samozřejmě v kombinaci s předchozími etapami. Výhodou posledního způsobu dotazování je však poměrně snadné zúžení sledované oblasti. Největším přínosem tohoto dostupného datového výstupu získávaného touto cestou je mnoho předpřipravených informací, jako je například již přiřazený ICAO kód letiště a název letiště, který si v jiných formách datových sad musíme dopočítat přes souřadnice GPS. Předchozí krok znamená nezbytnost doplnit databázi letů o soubor všech letišť s jejich GPS koordináty, názvy apod.

Bohužel při zpracování stažených dat bylo zjištěno, že data jsou dostupná pouze v intervalech 2 h a nejsou spojitá. Tedy v našem případě se stávalo, že jsme obdrželi informaci o tom, že letoun vzlétl z letiště A přistál na letišti B a následně vzlétl z letiště C. Z čehož je patrné, že nám nutně chybí část informací o tom, co se dělo mezi B a C, pomíjím extrémně nepravděpodobné případy, kdy je letoun rozebrán a transportován po pozemní komunikaci.

Dalším možným vysvětlením by mohla být pouze absence vysílání, například letoun měl vypnutý odpovídač nebo přijímače monitorující toto vysílání nezachytily. Bylo však zjištěno, že chybějící informace o náhodně vybraných letech jsou dostupné i v jiné formě dostupných dat, z čehož vyvozují, že hlavním problémem je omezení přístupu na straně poskytovatele dat.

Od tohoto způsobu získání dat o pohybech letounů bylo proto upuštěno, v případě neomezeného přístupu by však jistě poskytoval zajímavé možnosti dalšího zpracování.



Dodávám však, že tak obsáhlé množství dat by vyžadovalo zcela jiné výpočetní kapacity, než jsou možnosti běžného uživatele s osobním počítačem.

#### 4.2.2 IMPALA SHELL

Po emailové konzultaci s podporou portálu opensky-network.org a přednesení problémů a limitů obnášející použití rozhraní API popsané v předchozím odstavci bylo technickou podporou portálu doporučeno využítí SSH rozhraní IMPALA SHELL. Výhodou tohoto rozhraní je poskytnutí všech potřebných informací, značným problémem se však ukázal být formát výstupu (viz obr. 4.1 Ukázka datového výstupu z rozhraní IMPALA SHELL).

Dále pak je problémem, že po relativně krátkém časovém úseku (desítky minut) je nutné, aby se uživatel znovu přihlásil do systému. Tento krok je zde především kvůli ochraně serveru poskytovatele, aby nedocházelo k zahlcení neodladěnými požadavky uživatelů. Při hledání možných řešení tohoto problému a konzultaci s odborníky zabývajícími se tímto druhem problematiky bylo zjištěno následující: pro další zpracování výstupního datového souboru z rozhraní IMPALA SHELL by bylo nutné vytvořit program, který „vypracuje“ žádoucí data a uloží je v použitelném formátu, například jako textové řetězce oddělené středníky. Pro sběr delších časových intervalů, než je několik hodin by bylo nutné vytvořit program, který automaticky přihlašuje uživatele do systému a následně porovnává časové razítko posledního záznamu a zajistí, aby následující záznam chronologicky navazoval na poslední uložený z předchozího dotazu. Z tohoto důvodu se tato cesta sběru dat jeví jako nevhodná pro účely této práce.

```

|Starting Impala Shell without Kerberos authentication
|*****
|OpenSky Network Impala Shell
|*****
|[hadoop-29:21000] > exit;[K][32@select * from flights_data4 limit 10;
|[hadoop-29:21000] > exit;[K][32@select * from flights_data4 limit 10;
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| icao24 | firstseen | estdepartureairport | lastseen | estarrivalairport | callsign | estdepartureairporthorizdistance |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| a0157e | 1634781233 | KJWN | 1634781893 | TN81 | N104VU | 8793 |
| a01b56 | 1634849617 | NULL | 1634851739 | KATL | DAL1630 | NULL |
| a01b56 | 1634839775 | KATL | 1634841862 | NULL | DAL1630 | 1258 |
| a01b56 | 1634827675 | KDFW | 1634833461 | KATL | DAL2940 | 1204 |
| a01b56 | 1634815440 | KATL | 1634821793 | KDFW | DAL2940 | 1168 |
| a01b56 | 1634777120 | KBOS | 1634784829 | KATL | DAL396 | 3153 |
| a0464d | 1634820855 | NULL | 1634823791 | NULL | N117B | NULL |
| a03cac | 1634828327 | NULL | 1634846680 | KSJC | N114SN | NULL |
| a066a3 | 1634848932 | KOAK | 1634853597 | KSLC | DAL2051 | 1780 |
| a066a3 | 1634838337 | NULL | 1634843909 | KOAK | DAL2051 | NULL |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

```

Obrázek 4.1: Formát datového výstupu prostředí IMPALA SHELL



### 4.2.3 SCIENTIFIC DATASETS

Jedná se o vědecké sady dat o celosvětovém pohybu letadel, které jsou určeny ke stažení a zejména pro vývoj analytických nástrojů. Pro naše potřeby je použitý týdenní 24hodinový přehled (Weekly 24 hours of State Vector Data) dostupný z <https://opensky-network.org/datasets/states>. Nabízí se i cesta stahování syrových (tzv. RAW) dat, která nejsou nijak předzpracována, očištěna a obsahují všechny získané informace, avšak díky velkému množství „balastu“ stahujeme extrémně velké datové celky (řády stovek GB). Pro zpracování těchto dat v RAW formě by bylo nutné vyvinout poměrně složitý nástroj, který data vytřídí, očistí, strukturalizuje a například si pronajmout odpovídající externí výpočetní kapacitu.

Data by bylo možné stahovat i průběžně ve formě „naživo“ a následně je ukládat a strukturalizovat, např. přes již zmíněná dotazovací rozhraní. Touto cestou bych se ubíral v případě sledování konkrétních letounů nebo v situaci, kdy by nebyly k dispozici datasey pro analytické účely.

Využíváme tedy již částečně předzpracované historické datové záznamy. Takto stažená data za období jednoho měsíce dosahují velikosti přibližně 25 GB. Informace o vykonávané činnosti jsou zaznamenávány v 10 s intervalech. Následným „očištěním“ se dostáváme na velikost zhruba 40 Mb. Výhodou těchto datových sad je především jejich formát a chronologická spojitost uvedených záznamů. Vzhledem k tomu, že se jedná stále o volně přístupné materiály, data obsahují omezení jen na určité dny v týdnu, většinou se jedná o pondělky a středy. Ač by bylo lepší mít přístup k datům zcela spojitým, pro účely vývoje interaktivního nástroje poskytují tyto datasey dostatečné množství vstupů. Po aplikaci všech postupů, filtrů, „zahození“ neúplných záznamů apod. dostáváme řádově tisíce záznamů pro uvedené dny za měsíc o pohybech letounů splňující předpoklady pro využití v ilegálním provozu na území EU. Tyto předpoklady, jako je například typ letounu, doba letu, provozovatel aj., budou později blíže rozebrány.

## 4.3 Charakteristika získávaných dat a popis databázového skriptu

V předchozí kapitole byly popsány nalezené možnosti získávání dat, jejich forma a dostupnost jednotlivých datových zdrojů. Dalšími kroky po stažení dat je jejich dekomprimace, načtení souborů podle časových razítek od nejstarších k nejnovějším, očištění – tzv. předzpracování, propojení s dalšími soubory, následné zpracování a vyhodnocení.





### 4.3.1 Předzpracování stažených dat

Aby bylo možné stažená data v původní „syrové“ podobě dále efektivně zpracovávat, je vhodné je předtím předzpracovat a očistit (Data za hodinový interval v komprimované podobě dosahují velikosti cca 130 MB, při průměrné rychlosti stahování 500 kB/s bude trvat stažení tohoto intervalu přibližně 5 minut, po dekompresi se jejich objem zvýší zhruba 3x a následuje předzpracování programem v c#, který zpracuje přibližně 1 GB dat za cca 10 minut). Uvedený program je součástí přílohy E této práce pod názvem: *program\_c.pdf*. Jedná se především o sestavení jakéhosi sumáře chronologicky řazené činnosti pro daný stroj. Protože jednotlivé informace o činnosti sledovaného stroje dostáváme každých 10 s po jednom řádku, jedná se o 6 hlášení za minutu, tj. 360 řádků za 1 hodinu pro každý stroj. Například pokud bude let trvat 3 hodiny, jednalo by se o 1080 řádků záznamů. To je ovšem v konečném důsledku obrovské množství informací, které jednak pro účely sestavení tohoto nástroje nepotřebujeme a za druhé by se jednalo o tak velké množství informací, že by nebylo možné je efektivně zpracovat běžně dostupnou výpočetní kapacitou. Z tohoto důvodu dochází k zahození „prostředních“ záznamů o pohybu sledovaného stroje, protože nás zajímá především informace v okamžiku vzletu a přistání. Dostáváme tedy pouze jeden řádek reportu, který nese údaje o tom, kdy a kde činnost sledovaného letadla začala, kde a kdy skončila, v jakých hranicích se stroj pohyboval, jakou vzdálenost překonal a zda-li se jednalo o denní či noční let. Tímto způsobem dochází k velké kompresi dat v průměru přibližně o 600%. Pro účely tohoto předzpracování dat byl použit zmíněný program v jazyku c#, který byl poskytnutý technickou podporou poskytovatele dat opensky-network.org a stejně jako ostatní použité datasety je určen pro nekomerční aplikaci. Pro účely této práce byl program pouze, okomentován, upraven – doplněn o funkci určující, zda byla část letu provedena v noci a dále doplněn o výstupní report zpracování informací, viz obrázek 4.2 níže. Program bude součástí přílohy této práce a jeho použití bude spolu s ostatními částmi celého souboru použitých nástrojů popsáno v kapitole 4.5 zabývající se metodickým postupem obsluhy interaktivního nástroje.

```
Zpracování trvalo: 04:03:15.9536519
Celkem řádků: 401825337
Letů s přistáním celkem: 96586
Všech přistáním celkem: 357600
Všech letů celkem: 440740
Průměrná délka přistáním: 46,019033370618956 minut
Průměrná délka letu: 242,5772401718547 minut
```

Obrázek 4.2: Výstupní report programu předzpracování dat



Z obrázku 4.2 jsou patrné následující informace:

- Stažení a předzpracování datasetů za zkušební období 2 měsíců (po) trvalo přibližně 4 hodiny a 3 minuty
- Stažené datasety obsahují celkem 401 milionů záznamů – řádků
- Ze 401 milionů řádků bylo sestaveno 440 tisíc záznamů, sumářů o aktivitách konkrétních letadel.
- Ze 440 tisíc záznamů bylo zaznamenáno 357.600 aktivit ve vzduchu, 96.586 aktivit na zemi
- Průměrná doba strávená na zemi mezi lety je 46 minut
- Průměrná délka letu je 242 minut

V následujících kapitolách bude blíže popsán obsah využívaných dat, uvedeny předpoklady, na základě kterých data zpracováváme, způsob doplnění o další nezbytné informace a popis jednotlivých kroků algoritmizace v databázovém prostředí. Celý skript v textovém formátu s komentáři a vysvětlením jednotlivých kroků postupu je součástí přílohy této práce.

### 4.3.2 Vybrané předpoklady a kontext pro identifikaci letů podezřelých z il. obchodní letecké dopravy

K tomu abychom věděli, jakým způsobem máme data dále zpracovat, filtrovat, jaké další externí soubory bude nezbytné připojit a jaký způsob vyhodnocení zvolit, je nutné nejprve definovat, jakým chováním by měl být let podezřelý z il. obchodní letecké dopravy význačný.

I když předpisy v této otázce hovoří jasně a přesně specifikují možnosti a požadavky pro provozování letů za účelem zisku nebo jiné protihodnoty, tedy obchodní letecké dopravy, rysy a trendy, kterými se vyznačují provozovatelé a piloti, již tyto předpisy porušují, mohou být různé. Některé z těchto rysů lze predikovat na základě logických předpokladů, jiné je nutné určit experimentálně.

V této práci se zaměřuji především na možnosti identifikace letů podezřelých z il. obchodní. let. přepravy **na základě atypického chování pro daný letoun a pravidelnosti**. Vhodným příkladem takového atypického chování může být letoun, jehož provozovatelem je letecká škola nebo aeroklub a většina letů odpovídá takovému druhu provozu (viz kapitola 2.2) a najednou začne tento letoun létat pravidelně lety, které svými parametry výrazně vybočují nad průměr jeho ostatních. Příkladem může být letoun jehož průměrná doba letů je okolo jedné hodiny a létá především o víkendech



za podmínek VFR ve dne, náhle však začne opakovaně létat určitý pracovní den v týdnu několika hodinové lety, vždy v podobný čas s návratem po občanském soumraku a navíc do zahraničí. Takto popsaný let vybočuje svými parametry nad chování obvyklé pro daný letoun a z tohoto důvodu jej považujeme za podezřelý a vhodný pro další vyhodnocení. Jak vyplývá z příkladů leteckých incidentů uvedených v závěrečných zprávách, tyto lety mohou být samozřejmě i nahodilého charakteru, jako například v pořadí třetí nehoda uvedená v této práci, kde bylo zamýšleným cílem pilota provedení vyhlídkové letu. Let takového charakteru je ovšem extrémně těžké analyzovat pouze z dat poskytovaných samotným letounem a lze ho identifikovat jen na základě cíleně mířených otázek na pilota/provozovatele nebo posléze ze závěrečné zprávy o případné nehodě.

Další logické a důvodné předpoklady, na jejichž základě identifikujeme námi hledané lety, jsou podrobně uvedeny a zdůvodněny v kapitole 4.3.6, ve které jsou rozvedeny důvody použití aplikovaných filtrů dat a popsány všechny vyhodnocované parametry. Níže uvedené vyhodnocované parametry a předpoklady však nemusí být konečné a v případě například bližšího zaměření se na konkrétní sledovaný typ letounu, mohou být tyto parametry upraveny. Jelikož mi není známo, že by někdo jiný vytvořil podobný nástroj, jehož vytvořením se zabývám v této práci, tyto parametry jsem určoval pouze já jako autor a je tedy možné, že existují i další vhodná kritéria, jejichž vyhodnocování by přispělo k lepší funkci celého algoritmu.

### **Obsah zpracovávaných informací a parametrů**

Následující podkapitoly se zabývají popisem obsahu a formou stažených dat o letovém provozu, dále pak popisem obsahu a charakterem informací doplněných z externích datových souborů a na závěr obsahem dopočítaných pomocných parametrů pro další vyhodnocení.

### **4.3.3 Obsah a forma informací obsažených v získaných datasetech**

Po stažení výše zmíněných datasetů, předzpracování a importu do databázového prostředí získáváme přehled nejpodstatnějších poskytovaných vstupů. Označení jednotlivých sloupců a syntaxe ve skriptu vychází z angličtiny, pro lepší návaznost a přehlednost zachovávám původní označení a názvy. **Jedná se zejména o informace v následujících sloupcích:**



- **icao24**

Jedná se pro nás o jednu z nejdůležitějších informací. Informaci v tomto sloupci využíváme jako identifikátor pro každý letoun, resp. jeho drak. Identifikátor je tvořen 24bitovou adresou odpovídače módu S (celkem tedy až 16 777 216 možných kombinací kódů), adresa je převedena na 6místný hexadecimální řetězec. Bit je logická hodnota, která má pouze dva stavy. Bajt (byte) je tvořen 8 bity, které jsou použity jako dvojkové číslice a bajt tak může udržet hodnotu v rozsahu 0 do dvě na osmou (256). Pomocí tohoto identifikátoru jsme schopni připojit ke konkrétnímu stroji konkrétní doplňující informace, pokud jsou tyto údaje dostupné. Dále pak používáme tento identifikátor spolu s informací o času vykonávané činnosti jako jeden z hlavních atributů pro řazení a další operace v databázovém prostředí. I když je v určitých případech možné, aby se přidělená adresa odpovídače pro konkrétní drak změnila (například při prodeji letounu jinému provozovateli a zápisu do rejstříku jiného státu), pro naše účely k identifikátoru přistupujeme jako k neměnnému a jedinečnému způsobu identifikace.

- **Onground**

Tento příznak nám jednoznačně udává stav letounu, který může být buď na zemi nebo ve vzduchu. Pokud je letoun na zemi, je zapsána hodnota logické 1 a naopak. Jedná se o velmi důležitý údaj, bez něhož bychom mohli vyhodnocovat chybně například pojiždění nebo stání na ploše jako dobu letu, samozřejmě projevující se krátkou drahou a nulovou nebo neodpovídající rychlostí pohybu letounu ve vzduchu pro daný typ.

- **firstSeen/ lastSeen**

Tato informace nám udává první a poslední okamžik zachycení vysílání daného letounu po změně stavu, resp. příznaku onground. Ve chvíli, kdy se příznak onground změní z 1 na 0, tedy víme, že letoun ztratil kontakt se zemí zakládáme nový řádek pro daný let a první přijatý čas označíme jako firstSeen, ve chvíli, kdy se příznak Onground změní z 0 na 1 a letoun je na zemi zapisujeme tento okamžik jako lastseen a zakládáme nový řádek pro záznam doby na zemi. Pokud v námi vyhodnocované tabulce doba na zemi překročí 24 h, je výsledkem hodnota 0:00 a založen řádek pro další den. Je nutné zmínit, že původní formát datum/čas není v klasickém čitelném znění zobrazovaného v tabulce výstupních dat, ale v tzv. unixovém formátu, kde se čas počítá v sekundách od 1.ledna 1970 bez přestupných dnů atd. Vytvořené časové



razítka ve formátu rok-měsíc-den-hodina-minuta-sekunda je tedy převáděno částí skriptu z unixového formátu data na formát čitelný pro běžného uživatele.

- **lat/lon**

Tyto sloupce obsahují informaci o aktuální zeměpisné šířce a délce, na které se letoun nachází v zaznamenaný čas. Z prvních a posledních přijatých souřadnic je možné určit délku letu, resp. vzdálenost mezi místem vzletu a přistání. Po propojení se souborem obsahující seznam všech známých letišť dostupný opět z portálu [opensky-network.org](http://opensky-network.org) (viz soubor v příloze I s názvem: *airport\_codes.csv*) je možné přiřadit k daným souřadnicím vzletu nebo přistání konkrétní název letiště označený v našem případě 4místným kódem ICAO.

#### 4.3.4 Obsah informací doplněných z externích souborů

Finální výstupní soubor dat obsahuje rovněž další podstatné informace umožňující vyhodnocování dalších parametrů. Tyto informace, které tvoří další jednotlivé sloupce dat, byly získány z externích souborů obsahující údaje zejména o všech známých letištích (název souboru I v příloze *airport\_codes.csv*), údaje o konkrétních letounech jako je model, provozovatel atd. propojených s adresou odpovídače, pro který dále přejímám označení icao24 (název souboru v příloze J: *aircraft\_types.csv*). Oba zmíněné datové soubory jsou dostupné na portálu [opensky-network.org](http://opensky-network.org). Bez těchto doplňujících dat by byly možnosti dalšího zpracování velmi omezené a obtížné. Další pomocnou částí vytvořené databáze je soubor známých držitelů OLD. Tyto údaje jsem se nejprve pokoušel najít jednotlivě pro každý stát, neboť jsou obvykle volně dostupné na webových stránkách místní autority CAA. Tento postup se však ukázal jako značně problematický, protože každý stát publikuje data v jiné formě i formátu a extrakce dat by v mnoha případech byla čistě manuální prací na mnoho desítek hodin. Z tohoto důvodu jsem se omezil pouze na státy EU, neboť jsem po bližším hledání zjistil, že Eurocontrol poskytuje tyto informace volně přístupné na svých webových stránkách ve formátu *xlsx*. pro každý členský stát unie a jsou tedy velmi dobře použitelná pro účely této práce. (Soubory stažené z webových stránek Eurocontrolu lze nalézt v příloze K této práce ve složce s názvem: *aoc\_eurocontrol.zip*).

#### 4.3.5 Obsah dopočítávaných parametrů z předešlých dostupných dat

Nyní, když máme naimportovány soubory získaných dat o činnosti všech sledovaných letounů, doplněné o informace z externích datových souborů popsanych výše, můžeme



přejít k další fázi zpracování dat. V této etapě se zabývám dopočítáváním dalších informací a parametrů, které nám umožňují do této chvíle sebraná data. Určení těchto parametrů je nezbytné pro další popis, filtrování, kontext a charakteristiku chování jednotlivých letounů, sledovaných letů. Jedná se o parametry, sloupce dat jako: *Departure/ArrivalAirport*, *Distance*, *TimeOnGround*, *FlightTime*, *AvgDistance*, *AvgTime*. Některé z těchto hodnot zejména jako *Distance*, *Time* apod. jsou vypočteny jak pomocí přesnějších funkcí zahrnutých v jazyce SQL, tak i méně přesnými funkcemi v prostředí EXCEL. Důvodem tohoto postupu bylo napřed jeho vyzkoušení a ověření v uživatelsky jednodušším prostředí, poté následovala implementace těchto výpočtů a logiky do databázového prostředí.

- **Departure/ArrivalAirport**

Tyto parametry nám v okamžiku změny stavu příznaku *Onground* určuje získaná GPS poloha letounu. V okamžiku vzletu/přistání jsou vzaty udané GPS souřadnice a porovnány s již zmíněnou databází letišť (v příloze jako: *airport-codes\_csv.csv*). Je zřejmé, že získané souřadnice letounu v okamžiku vzletu nebo přistání ve většině situací nebudou přesně odpovídat souřadnicím daného letiště v databázi letišť, které jsou uváděny vzhledem k vztažnému bodu letiště. Proto se přiřazení kódu letiště zabývá část skriptu, kdy nejprve vybereme z databáze letišť všechna letiště, které jsou  $\pm 1^\circ$  od udané určované pozice, poté jsou letiště seřazena podle rozdílu vzdálenosti od udané pozice a na závěr je k udaným souřadnicím přiřazen název letiště nejbližšího z nich, resp. odpovídající ICAO kód letiště.

- **Distance**

Tento parametr nám udává hodnotu celkové uletěné vzdálenosti. Pro výpočet této hodnoty byla použita v prostředí SQL funkce *STDistance()*, odchylka této funkce od přesné geodetické vzdálenosti není větší než 0,25 %. [30]

Při realizaci tohoto výpočtu počítáme přírůstky vzdálenosti za každou minutu letu. Každou minutu letu tedy vezmeme aktuální udanou polohu GPS a spočítáme vzdálenost od předchozí zaznamenané před jednou minutou a tuto vzdálenost připočteme k celkové již uletěné vzdálenosti. Je zřejmé, že pokud bude letoun kroužit na místě s periodou jedné minuty, tak bude přírůstek vzdálenosti roven nule. Avšak pomineme-li tento případ, takto určená vzdálenost letu je pro naše účely dostatečně přesná.



Tento výpočet jsem nejprve realizoval v prostředí Excel pomocí sférické kosinovy věty viz. rovnice 4.1, (stupně je v Excelu nejprve nezbytné převést na radiány). Výsledkem je však pouze vzdálenost mezi letištěm vzletu A a letištěm přistání B, nikoliv skutečná délka letu. Další nevýhodou tohoto postupu je, že pokud je místo vzletu totožné s místem přistání, vypočtená vzdálenost je rovna nule. Pro analytické vyhodnocení v této práci by však byl i tento způsob výpočtu dostačující.

$$s = \arccos(((\cos \varphi_1) \cdot (\cos \varphi_2) + (\sin \varphi_1) \cdot (\sin \varphi_2) \cdot (\cos \omega_2 - \omega_1)) \cdot 6378,1) \quad (4.1)$$

Kde:

- s – vypočtená vzdálenost v km
- argument  $\varphi_1$  odpovídá zeměpisné šířce N1
- argument  $\varphi_2$  odpovídá zeměpisné šířce N2
- argument  $\omega_1$  odpovídá zeměpisné délce E1
- argument  $\omega_2$  odpovídá zeměpisné délce E2
- konst. 6378,1 je rovníkový poloměr Země v km

- **TimeOnGround**

Tento parametr nám udává čas letounu strávený na zemi, tedy když příznak OnGround nabude hodnoty log. 1 začíná odpočet času do doby, než se příznak opět změní na hodnotu log. 0. Jinak řečeno jedná se o dobu mezi dvěma po sobě jdoucími lety, kdy se letoun nachází na zemi. V prostředí skriptu SQL se pro zápis doby stání na zemi zakládá samostatný řádek. V prostředí Excel není údaj o době stání na zemi řazen na samostatný řádek, dobu stání počítám pouze jako čas mezi jednotlivými lety a je zaznamenána v příslušném sloupci.

- **FlightTime**

Tento parametr nám udává dobu letu počítanou od změny příznaku OnGround na hodnotu log. 0 do opětovného navrácení příznaku na hodnotu log. 1.

- **AvgDistance, AvgFlight**

Jedná se o aritmetický průměr všech daných hodnot, ve vybraném sloupci pro konkrétní letoun, vztaženo k identifikátoru icao24. Takto vypočtené průměrné hodnoty nám umožňují získat bližší představu o chování pro každý konkrétní letoun a hledat pak různé odchylky hodnot jednotlivých letů vzhledem od hodnot průměrných.



- **DayPerWeek**

Tento parametr nám označuje pořadové číslo dne v týdnu od 1 do 7 (po až ne).

Je důležitým ukazatelem pro možnost identifikace periodicky opakujících se činností, například nalezení vzorce určitých letů opakující se pravidelně vždy ve stejný den v týdnu apod.

- **Popis aplikovaných filtrů a parametrů pro další vyhodnocení**

Následující podkapitoly se zabývají popisem a zdůvodněním filtrů, které byly aplikovány na stažená data o letovém provozu a dále popisem vytvořených parametrů, na základě kterých data dále zpracováváme.

#### **4.3.6 Popis a zdůvodnění aplikovaných filtrů**

Ve chvíli, kdy máme již data stažena, upravena do potřebného formátu, propojena s externími datovými soubory a doplněna o další hodnoty lze přistoupit k dalšímu velmi důležitému kroku, kterým je filtrování dat. Díky aplikaci správně zvolených filtrů zahodíme velkou část dat, které nás nezajímají. V našem případě dochází při aplikaci níže popsaných filtrů k redukci počtu sledovaných letů z řádově statisíců až jednotek milionů na tisíce řádků, přesněji řečeno záznamů o nich. Je nezbytné aby aplikované filtry byly voleny na základě takových parametrů, které nám omezí okruh kandidátů jen na lety letounů, které mohou splňovat předpoklady na využití v il. obchodní letecké přepravě. Pokud by byly použité filtry špatně nastaveny bude výstupní množina příliš malá pro možnosti další analýzy nebo naopak obrovská, jejíž zpracování bude převyšovat dostupný výpočetní výkon běžného uživatele. Byly aplikovány následující filtry:

##### **1) Typy letounů**

Tento filtr zahodí tu část dat, kdy je výrobce a typ letounu uveden v seznamu nevhodných letounů (tento seznam je uveden v příloženém skriptu databáze SQL), jedná se o velká dopravní letadla výrobců jako je Boeing, Airbus, Embraer, ATR aj.

*Odůvodnění:* Vycházím z předpokladu, že pro účely il. obch. let přepravy (jak vyplývá i ze závěrečných zpráv o nehodách těchto letů označených jako lety il. obchodní letecké přepravy) jsou využívány převážně letouny s pístovými motory a lehké typy letounů s proudovými motory, nikoliv však velké dopravní





letouny typu B737, ATR72 apod. Proto se v dalších krocích zpracování dat těmito modely letounů již nezabývám.

## 2) Osvědčení leteckého dopravce

Tento filtr zahodí tu část dat, resp. záznamů letů letounů o kterých máme informaci, že provozovatel je zároveň držitel Osvědčení leteckého dopravce (OLD).

*Odůvodnění:* Hlavní myšlenkou využití údajů o platných držitelích Osvědčení leteckého dopravce je, že provozovatel letounu vlastní osvědčení leteckého přepravce s největší pravděpodobností splňuje i ostatní kritéria pro legální provozování takové činnosti, která jsou zmíněná v teoretické části této práce. Tudíž se jedná o velmi efektivní část nástroje pro filtrování dat pro účely této práce.

## 3) Minimální čas letu

Tento filtr zahodí tu část dat, kde zaznamenaná doba letu nedosahuje nastavené hodnoty.

*Odůvodnění:* U letů trvajících řádově jednotky minut nelze důvodně předpokládat, že by byly využity pro účely letecké přepravy. Lety s obdobnou nebo menší dobou letu než je uvedená, budou realizovány pravděpodobně za účelem výcviku činnosti na okruhu letiště, para provozu apod. U pístových letounů typu Cessna 172 apod. s průměrnou cestovní rychlostí cca 90 uzlů by za takový čas nebylo možné urazit dostatečnou vzdálenost pro využití letecké přepravy. U letounů s proudovými motory (např. kategorie business jet) a několikanásobně vyšší cestovní rychlostí oproti např. motorům pístovým, by zasazení na tak krátkou trasu nemělo po časové ani finanční stránce význam, neboť min. polovinu z celkového času letu by zabral samotný vzlet nebo přistání.

## 4) Stát zápisu do rejstříku

Tento filtr vybere jen ty letouny, které splňují podmínku zápisu do rejstříku v členských státech EU.

*Odůvodnění:* Tento rozsah filtru byl nastaven pro omezení celkového počtu vyhodnocovaných letů a zároveň z důvodu, že pro letouny zapsané v rejstříku nečlenských států EU nemáme dodatečné informace jako zda je například provozovatel letounu držitelem Osvědčení leteckého dopravce apod.



### 4.3.7 Popis parametrů vytvořených pro další vyhodnocení

Tato podkapitola se zabývá vysvětlením účelu a funkce jednotlivých vyhodnocovaných parametrů-příznaků zobrazených v poslední části výstupního souboru dat. Tyto parametry jsou nezbytné pro možnost vyhodnocení strojovým učením, ve skriptu pod zkratkou ML (Machine Learning).

Ve chvíli, kdy máme potřebná data již stažena, zpracována, vyfiltrována a doplněna o další nezbytné údaje, lze přistoupit k vyhodnocení těchto dat. I když je možné v této fázi již identifikovat různé odchylky, vybírat a řadit data podle různých kritérií, pro pokročilejší možnosti vyhodnocení dat strojovým učením byly přidány pomocné parametry. Ve skriptu a dále v textu nazývám tyto parametry jako tzv. *příznaky*. Z již popsaných principů funkce strojového učení v teoretické části této práce vyplývá, že nejvhodnějšími vstupními daty pro neuronovou síť jsou informace zapsané v binární formě. Tyto příznaky tedy nabývají pouze binárních hodnot 0 nebo 1. Samotná forma realizace těchto příznaků je většinou uskutečněna pomocí různě složitých logických funkcí KDYŽ apod. Protože je výstupem takovéto funkce pouze logická 0 nebo 1, bylo pro zachování dostatečné vypovídající hodnoty celého příznaku, zejména u času a vzdáleností použito dělení do intervalů. Díky použití jasně definovaného intervalu je pak snadné určit, zda vyhodnocovaný údaj spadá do definované množiny či nikoliv a zároveň není problém, aby na sebe intervaly navazovaly dle potřeby. Pomocí logických funkcí a definovaných intervalů je možné označit libovolné hodnoty času, vzdálenosti apod. pouze binárními ukazateli logická pravda/nepravda, což umožňuje snazší a rychlejší orientaci i následné vyhodnocení dat. Níže popíši princip a účel vyhodnocovaných příznaků, jedná se zejména o následující názvy sloupců v tabulce výstupních dat: **NightFlight**, **InternationalFlight**, **FlightAbovexxxkm**, **OnGroundHours**, **SameAirport**, **DistanceAboveAvg**, **TimeAboveAvg**.

- **NightFlight**

Tento příznak udává, zda celý let nebo některá jeho část byla provedena v noci. K realizaci tohoto ukazatele jsem nejprve zvolil cestu porovnávání intervalu mezi časem vzletu a přistání s hodnotami občanského soumraku  $\pm 15$  minut. To je ovšem velmi limitující, neboť lze tento postup vztáhnout pouze na určité území, např. České republiky, a ještě k tomu budeme porovnávat interval letu pouze s nepřesnými hodnotami (vzhledem k faktu, že na každý stupeň zeměpisné délky musíme přičíst



nebo odečíst 4 minuty času). Z tohoto důvodu jsem použil již předpřipravené funkce. Funkce **IsSunUp** [31] vrací hodnotu pravda (true; 1), pokud je slunce nad horizontem a je den, v opačném případě vrací hodnotu nepravda (false; 0). Funkce **SolarNoon** [32] vrací hodnotu času (UTC+0) kdy na daných souřadnicích bude poledne, ale v univerzálním čase, z čehož nelze určit, kdy začíná den a noc, protože to se mění s ročním obdobím. Pokud je tedy IsSunUp rovno hodnotě pravda a zároveň je čas menší než čas vrácený funkcí SolarNoon, tak je dopoledne, když je čas větší, tak je odpoledne. Pokud je IsSunUp rovna hodnotě nepravda, tak je noc. Tyto funkce v závislosti na aktuálním času a poloze GPS dokáží určit v jakém časovém pásmu, a tedy i denní době se let nacházel. Pomocí půl hodinových intervalů vyhodnocuji, zda část letu spadá do období noc či nikoliv. Pokud alespoň část letu tuto podmínku splňuje, je let vyhodnocen jako noční.

*Odůvodnění:* Toto kritérium je jedno z mnoha, pomocí něhož vyhodnocujeme znaky chování podezřelého z il. obch. letecké přepravy. Noční let jistě sám o sobě není žádným důvodem pro označení „podezření na ilegální let“, ale v kombinaci s jinými faktory zmenšuje okruh podezřelých letounů. Je například neobvyklé, aby letoun typu Cessna 172, jehož provozovatelem je letecká škola, létal vyjma letů pro získání kvalifikace Night, noční lety na větší vzdálenosti. Taktéž je neobvyklé, aby například jiný letoun typu Cessna Citation, létal noční lety a zároveň jeho provozovatel nebyl uveden v seznamu držitelů osvědčení leteckého dopravce.

- **InternationalFlight**

Tento příznak vyhodnocuje, zdali se odlišuje stát vzletu a přistání. Pokud ano je zapsána hodnota log. 1.

*Odůvodnění:* Pokud jsou téměř všechny lety daného letounu pouze vnitrostátní a mezi nimi se objeví několik zahraničních letů, je na místě těmto letům v kombinaci s ostatními faktory věnovat pozornost a zahrnout je do bližšího vyhodnocení.

- **FlightAbovexxxkm**

Tento příznak vyhodnocuje, do jakého intervalu vzdálenosti spadá zkoumaná doba letu. Vyhodnocujeme vzdálenosti nad 140 km a 250 km.

*Odůvodnění:* U letů na kratší vzdálenosti, řádově desítek km nemá smysl (až na extrémně nepravděpodobné situace jako záchrana apod.) uvažovat o obchodní letecké přepravě. Vzdálenost vzdušnou čarou z Prahy do Brna je cca 180 km, což již lze na rozlohu České republiky považovat za lukrativní trasu pro formu



letecké přepravy, hranice pro kladné vyhodnocení tohoto parametru byla zvolena o několik desítek km níže. Další příznak je vyhodnocován v intervalu nad 220 km, pro představu vzdušná vzdálenost z Prahy do Vídně je cca 249 km. Jedná se opět jen o příklad trasy a s ní související vzdálenost. V kombinaci s ostatními parametry je to však důležitý ukazatel, na základě kterého lze hledat odchylky od charakteristického chování. Například soukromý letoun, který léta opakovaně trať nad tuto vzdálenost, navíc do zahraničí nebo let daného letounu svými parametry výrazně vyniká nad většinu ostatních letů typických pro daný letoun lze za splnění dalších kritérií považovat za podezřelý, tj. atypický pro daný letoun nebo typ.

- **OnGroundHours>**

Tento příznak vyhodnocuje, zda doba strávená na zemi je delší než nastavená srovnávaná hodnota. Doba na zemi se počítá jako časový interval mezi změnou příznaku OnGround z 0 na 1 a opět na 0, tj. jako doba mezi jednotlivými lety.

*Odůvodnění:* Vyhodnocujeme překročení doby na zemi nad 1,2h a 4h. Meze vyhodnocovaných časů lze samozřejmě upravit nebo rozšířit a rozlišovat tak třeba i celkový počet dnů stání. Důvodem stanovení hodnoty 1,2h je, že průměrná hodnota času připadající na handlingové služby je v průměru 50 minut. Tato hodnota 50 minut se jeví jako reálná, neboť vypočtená průměrná hodnota stání letounů na zemi, ze všech námi vyhodnocovaných letů, dosahuje 46 minut.

Dalším důvodem je, že při uvažování cestovní rychlosti letu 160 km/h a vyšší pro letouny s pístovými motory typu Cessna 152/172 apod., že za tuto dobu je již možné urazit vzdálenost, která může být lukrativní alternativou k využití pozemní komunikace. Důvodem stanovení hodnoty 4h je, že tento čas je již dostatečný například pro uskutečnění schůzky klienta v cílové destinaci apod. Zároveň se jedná o čas, který ve většině případů není běžné trávit na letišti, jež není domovskou základnou letounu, s výjimkami zapůjčení stroje, údržby externí organizací apod. Taktéž se jedná o čas kdy se provozovateli letounu, zejména u dalších obousměrných cest vyplatí na klienta posečkat v místě cílové destinace. Samozřejmě při situaci jako je letecká přeprava určitého zboží nemusí být naplněn ani jeden z těchto parametrů, tento parametr se zaměřujeme spíše na případy letecké přepravy osob.

- **SameAirport**

Tento příznak vyhodnocuje zda-li je letiště vzletu totožné s letištem přistání.



*Odůvodnění:* Pokud se jedná o let z letiště A do A nelze důvodně předpokládat, že by se jednalo o il. obchodní leteckou dopravu za účelem přepravy osob nebo nákladu. S největší pravděpodobností se jedná o výcvikový let, například činnost na okruhu letiště nebo o krátké navigační lety bez mezipřistání, nanejvýš pak vyhlídkový let. Samozřejmě vyhlídkový let může být taktéž ilegální, ovšem pokud se let neprojevuje „nestandartně“ vůči většině ostatních letů daného stroje vytvořený interaktivní nástroj ho nebude schopen na základě dostupných dat detekovat. Jedná se o jedno z omezení a limitů, která budou uvedena v příručce pro obsluhu tohoto nástroje.

- **Distance/TimeAboveAvg**

Tyto příznaky porovnávají aktuální hodnoty pro každý let jako je délka tratě (Distance) nebo doba letu (FlightTime) s průměrem všech těchto známých hodnot vždy vztažené k danému letounu (identifikátoru icao24). Srovnáváme tak například dobu letu v každém řádku, pro každý let s aritmetickým průměrem všech těchto řádků pro daný letoun.

*Odůvodnění:* Tento způsob srovnání nám umožňuje identifikovat lety, které jsou svými parametry nadstandartní ve srovnání s většinou ostatních letů pro daný letoun. Tento způsob porovnání a vyhodnocování je výhodnější než například porovnávání doby jednotlivých letů s hodnotami průměrnými pro daný typ nebo třídu letounu, protože vždy respektuje rysy a chování každého konkrétního letounu.

Následující 3 popisované příznaky (vyhodnocované parametry) mají za úkol blíže specifikovat kontext předcházejícího a nadcházejícího chování pro daný let. Pro účely dalšího vyhodnocení by bylo snazší, kdyby všechny navazující lety, mezipřistání apod. konkrétního letounu byly řazeny za sebe na jeden řádek. I když by bylo možné vytvořit poměrně složitý soubor podmínek pro ošetření takových stavů, problematická by byla především odlišná délka informací zapisovaných na jeden řádek. Toto řazení by tedy bylo na jednu stranu výhodnější pro účely přidání dalších doplňujících příznaků, ovšem zároveň extrémně nepřehledné a složité pro následné zpracování kvůli odlišné délce a obsahu dat. Z tohoto důvodu byly vytvořeny tyto příznaky, které vyhodnocují návazné lety a poskytují tak alespoň částečné informace o předchozí nebo následné činnosti daného letounu vzhledem k aktuálnímu vyhodnocovanému letu. Jedná se o následující: **SimiliarFlightDuration, HasEvents2Hours, Is/HasReturnFlight.**



- **Is/HasReturnFlight**

Tyto příznaky vyhodnocují zda je přecházející let nebo následující let cestou zpáteční vzhledem k vyhodnocovanému letu na základě porovnání počátečních a cílových destinací.

*Odůvodnění:* Pokud se jedná o let z A do B a zároveň tomuto letu předchází nebo na tento let navazuje let další z B do A, lze předpokládat, že se jedná o přímou zpáteční cestu vzhledem k vyhodnocovanému letu. Pokud tedy máme informaci o tom, že vyhodnocovaný let má i let zpáteční lze v kombinaci s dalšími faktory usuzovat, že se jednalo o cestu s nějakým záměrem, součástí kterého by mohl být i let podezřelý z il. obch. let dopravy.

- **SimiliarFlightDuration**

Tento příznak vyhodnocuje jestli přecházející let nebo následující let měl dobu letu obdobnou v rozsahu 0,8-1,2 násobku času vyhodnocovaného letu.

*Odůvodnění:* Tento parametr nám poskytuje informaci o tom zda předcházející nebo navazující let mohl být svou délkou přibližně zpáteční cestou k vyhodnocovanému letu. Příznak Is/HasReturnFlight sice jednoznačně vyhodnocuje zda se jedná o zpáteční let vzhledem k počáteční a cílové destinaci, nebude však poskytovat relevantní informaci v případě, že součástí cesty bylo mezipřistání v blízkosti domovské základny. Takové mezipřistání by mohlo nastat například v případě vyzvednutí zákazníka na nejbližším letišti vzhledem k jeho bydlišti, pokud takovéto letiště není přímo domovskou základnou konkrétního letounu.

- **HasEvents2Hours**

Tento příznak určuje jestli vyhodnocovanému letu v období  $\pm 2h$  předcházela nebo následovala nějaká další činnost (další lety., tj. přistání apod.). Konkrétně pak vyhodnocujeme jestli je počet přistání v období  $\pm 2h$  větší než 2 přistání.

*Odůvodnění:* Tento příznak nám poskytuje další informace o celkovém kontextu v jakém se vyhodnocovaný let nachází. Konkrétně vycházím z myšlenky, že pokud se jedná o let s podezřením na il. obch. let dopravu nebude kromě případného vyzvednutí klienta, carga nebo plnění paliva let obsahovat další mezipřistání. Naopak, pokud se jedná například o činnost na okruhu nebo výcvikový let bude takových přistání pravděpodobně mnohem více.



Informace v binární podobě, které nám poskytují příznaky popsané v této kapitole je dále možné vyhodnotit pomocí strojového učení. Pro realizaci tohoto zpracování dat byl vybrán nástroj Deepnote.

#### **4.4 Realizace vyhodnocení dat strojovým učením v nástroji Deepnote**

K závěrečnému vyhodnocení testovacích dat, která byla zpracována v prostředí MS SQL, bylo použito strojové učení. Teoretické principy, klady a zápory tohoto způsobu vyhodnocení dat jsou popsány v kapitole 3.2, která se zabývá teoretickou stránkou celé věci. Z různých modelů strojového učení, které jsou rovněž uvedeny v kapitole 3.2 byl zvolen model neuronové sítě, konkrétně pak metoda učení s učitelem. Důvodem zvolení této metody „učení“ predikčního modelu je ten, že dokáže poměrně rychle přinést jasné výsledky. Očekávám přesnost správného vyhodnocení přibližně v rozmezí 80-90% při otestování na tréninkových datech. Metoda „učení“ bez učitele vyžaduje velmi obsáhlé soubory dat (desítky tisíc záznamů) a řádově stovky hodin práce při vystavování predikčního modelu, u kterého je ovšem dopředu nejasné, jestli se model vůbec naučí hledat požadovaný trend. Častá neúspěšnost takto vystavěného modelu je způsobená tím, že je snadné zaměnit lokální nalezené maximum vyhodnocované funkce za maximum globální, v takovémto případě se v určitých krocích vystavování modelu může zdát, že predikční model poskytuje již uspokojivé výsledky, zanedlouho jsme však s celkovou úspěšností predikčního modelu opět téměř na začátku celého procesu vystavování. Pokud se ovšem podaří model touto metodou správně vystavět, jeho výhodou je, že tento predikční model je mnohem „robustnější“ konstrukce a síť zpravidla dokáže mnohem přesněji rozpoznávat požadované trendy. Je to z toho důvodu, že vstupní soubor dat je několikanásobně větší oproti vstupnímu souboru dat u metody učení s učitelem a váhy jednotlivých neuronů v celé síti jsou nastaveny přesněji.

Pro praktickou realizaci strojového učení prostřednictvím neuronové sítě byl využit nástroj Deepnote. Deepnote je nástroj určený k zpracování velkého množství dat a získávání netriviální formy informací z nich. Tento proces zpracování informací bývá někdy označen jako datamining. Nástroj tak umožňuje vyhledávání např. různých opakujících se vzorů v datech apod. Nástroj Deepnote je založen na prostředí tzv. Jupyter Notebook. Jupyter Notebook je webový editor, který slouží k vytváření



dokumentů komplexního charakteru. Tyto dokumenty mohou obsahovat samotný kód (v jazyku Python), strukturovaný text, obrázky, grafy apod. [33] [34]

Jedná se tak o uživatelsky velmi přívětivý a přehledný nástroj, který umožňuje postupovat přehledně krok za krokem a práci členit na jednotlivé dílčí celky. Pro použití tohoto nástroje není potřeba instalace jakýchkoliv programů, prostředí Jupyter Notebook je navrženo tak, aby běželo v online prostředí na virtuálním počítači. K práci s tímto nástrojem, tak postačuje běžný webový prohlížeč. Vyhneme se tak případným problémům s nekompatibilitou operačního systému, příslušných knihoven apod. [33] [34]

Zvolený model neuronové sítě obsahuje 5 vrstev, z nichž každá je tvořena 8 neurony a při samotném vystavování modelu zde probíhá 1000 iteračních kroků. Soubor dat určený k vystavění („naučení“) modelu neuronové sítě byl pro účely otestování úspěšnosti vystavěného modelu rozdělen v poměru 70/30 (70% tvoří data určená k „naučení“, 30% tvoří data k ověření úspěšnosti). Tento soubor dat je součástí přílohy **G** této práce pod názvem `treninkova_data.xlsx`. Bližší popis prostředí Deepnote je součástí metodického postupu obsluhy interaktivního nástroje. Vypočtené parametry poukazující na úspěšnost celého modelu jsou součástí kapitoly 5., jež se zabývá statistickým vyhodnocením dat. Jednotlivé kroky, které byly nezbytné při vytváření celého modelu, jsou součástí okomentovaného skriptu, který je uveden v elektronické příloze **E** této práce pod názvem: `deepnote_skript.pdf`.

## **4.5 Metodický postup pro obsluhu interaktivního nástroje**

V této kapitole je popsán metodický postup pro obsluhu vytvořeného interaktivního nástroje. Obsahuje základní informace určené pro pracovníka, jehož úkolem je tento nástroj obsluhovat. Součástí této kapitoly je rovněž doporučený postup pro vyhodnocení letů, které byly nástrojem označeny jako podezřelé z výkonu ilegální činnosti. Dále je zde uveden seznam kontrolních úkonů pro vyhodnocení letů zpracovaných interaktivním nástrojem. Na závěr jsou zde uvedeny limity a omezení tohoto nástroje.

### **4.5.1 Vymezení platnosti**

Tento nástroj je navržen pro identifikaci letů letadel podezřelých z ilegální obchodní letecké přepravy. Označení podezřelých letů je prováděno na základě anomálního chování pro daný letoun a je vyhodnocováno na základě dostupných dat o letovém





provozu. Anomálním chováním je myšlena činnost, která svým charakterem a parametry vyniká nad průměr kontextu ostatních letů daného letounu, či se jedná o periodicky opakující se činnost, která ovšem není v průměrném kontextu celkového chování pro daný letoun běžná.

Nástroj je primárně určen pro pracovníky dozoru státní správy pro efektivnější možnosti identifikace letů podezřelých z ilegální obchodní letecké přepravy na základě podezřelého chování, může však sloužit i pro další výzkumné a analytické účely např. analýzy statistických dat o letovém provozu apod.

Nástroj je otevřen možnosti přizpůsobení pro vyhledávání konkrétních letů na základě známých parametrů jako např. délka letu, délka tratě, délka stání na zemi, typ letounu, adresa odpovídače v modu s apod., dále je možné na základě vhodného vzorku tréninkových dat určit či zpřesnit co je to požadované anomální chování, hledaný trend, opakující se hledaný vzor.

#### **4.5.2 Vhodná cílová skupina na aplikaci postupu**

Nástroj je určen pro aplikaci na dostupná data o leteckém provozu, záznamů o pohybech letadel ve formě, která je dostupná z portálu poskytovatele dat: <https://opensky-network.org/datasets/states/>.

#### **4.5.3 Postup, jednotlivé kroky při obsluze nástroje:**

Kompletní postup obsahující všechny nezbytné instrukce pro obsluhu vytvořeného interaktivního nástroje je uveden pod názvem: *Metodický postup obsluhy* v příloze **B** této práce. Metodický postup je členěn přehledně do jednotlivých kroků. Součástí většiny kroků je printscreen popisující prostředí dané operace. Tyto obrázky s označením (B1 až B21) jsou součástí metodického postupu.

##### **4.5.3.1 Interpretace výstupních dat**

Po uskutečnění posledního kroku uvedeného v příručce k obsluze interaktivního nástroje dostáváme výpis všech letů, které byly nástrojem vyhodnoceny jako podezřelé. Tyto podezřelé lety vykonala letadla, jejichž adresa odpovídače (v této práci pod označením icao24) byla přidělena jedním ze členských zemí EU. Pokud se chceme omezit jen na lety letadel, která jsou zapsána v leteckém rejstříku ČR, stačí do kontextového okna vyhledávače zadat prefix OK-. Pokud chceme nalézt lety letadel, kterým byla přidělena adresa odpovídače úřadem ČR stačí do kontextového okna vyhledávače zadat prefix 49d. V obou případech vyhledávání (imatrikulace i adresy



odpovídače), by mělo být letadlo zapsáno v leteckém rejstříku ČR a tyto údaje identifikační údaje by spolu měly vzájemně korespondovat. Může se však stát, že pokud byla přidělena adresa odpovídače v nedávné době, provozovatel tuto adresu fyzicky na příslušném odpovídači ještě nenastavil nebo nebyla tato změna v příslušné databázi zanesena. V takovém případě nebude v leteckém rejstříku příslušná imatrikulace letadla (poznávací značka) korespondovat s adresou odpovídače (letadlová adresa). Pokud informace uvedené v rejstříku neodpovídají údajům, které byly nalezeny nástrojem, je pravděpodobné, že imatrikulace uvedená nástrojem zanikla (letadlo bylo z rejstříku vyřazeno) a kód odpovídače byl přidělen jinému letadlu (a zároveň se tato změna neprojevila v příslušné databázi). V takovém případě je nutné podrobnějším vyhledáváním v leteckém rejstříku zjistit na základě historických údajů aktuálního majitele přidělené adresy odpovídače.

Pokud chceme nalézt lety, které začínaly nebo končily na území ČR, stačí do kontextového okna vyhledávače zadat prefix LK\*\*. Záznamy o nalezených letech, které byly označeny jako podezřelý je vhodné pro větší přehlednost zkopírovat do samostatného dokumentu.

#### **4.5.3.2 Doporučená četnost stahování dat**

Vstupní soubory testovacích dat je vhodné stahovat postupně za období jednoho až tří kalendářních měsíců. Tento interval je zde zvolen proto, že pro menší časové období než jeden měsíc nemusí být soubor dat dostatečně obsáhlý na nalezení opakujících se vzorců, větší soubor dat by již mohlo být obtížné stáhnout a vyhodnotit vzhledem k velikosti všech datových souborů. Soubory vstupních dat lze stahovat postupně, předzpracování by mělo být provedeno pro všechny soubory najednou.

#### **4.5.3.3 Další postup v případě vyhodnocení letu jako podezřelý**

Pokud byl let vyhodnocen jako podezřelý a má vztah k ČR ve smyslu, že počátek nebo konec tohoto letu byl proveden na území ČR nebo je letadlo zapsáno v leteckém rejstříku ČR, je vhodné tyto lety zkopírovat do samostatného souboru pro lepší přehlednost dalšího vyhodnocení.

- 1) Pokud je to možné, je vhodné zkontrolovat, zda jsou pro letadlo, jehož let byl identifikován jako podezřelý, dostupné informace o dalších letech provedených tímto letadlem. Toho lze docílit zadáním příslušné imatrikulace podezřelého letounu do souboru testovacích dat, která nebyla zpracována nástrojem Deepnote. Jedná se tedy přímo o datový výstup z databáze SQL.



- 2) Zadáním adresy odpovídače (icao24) daného letounu do leteckého rejstříku lze zjistit další informace o daném letadlu, například kdo je jeho provozovatel nebo vlastník.
- 3) S informacemi zjištěnými v předchozím bodě lze z volně dostupného seznamu držitelů osvědčení leteckého dopravce (OLD) dostupného na stránkách <https://lr.caa.cz/letecky-rejstrik>) zjistit, zda je nebo není provozovatel držitelem tohoto osvědčení.
- 4) Pokud není provozovatel držitelem OLD, či je zjištěno, že podezřelý letoun není v tomto osvědčení zapsán můžeme přistoupit k podrobnějšímu sledování provozu podezřelého letadla např. pomocí nástroje Flightradar24 apod.
- 5) Pokud po podrobnějším sledování a vyhodnocení lidským faktorem podezření stále trvá, je vhodné prověřit záznamy příslušného letadla.
- 6) V případě, že zjištěné skutečnosti z prověřených záznamů hovoří v neprospěch podezřelého, je na místě zaslání požadavku provozovateli na podání vysvětlení důvodu a účelu zaznamenané činnosti.
- 7) Pokud provozovatel není schopný podat uspokojivé vysvětlení o činnosti, která byla vyhodnocena jako podezřelá na il. činnost, je dalším možným krokem osobní inspekce u provozovatele daného letadla.

Pozn. k bodu 2) a 3) pokud je letadlo zapsáno v leteckém rejstříku jiného státu, je třeba hledat v leteckém rejstříku příslušného státu.

Pro lepší přehlednost celého postupu byl zpracován kontrolní seznam otázek viz. obr 4.3, který doprovází pracovníka celým procesem vyhodnocení.

#### 4.5.4 Seznam kontrolních úkonů a otázek pro vyhodnocení letů zpracovaných interaktivním nástrojem

Č. otázky	Seznam kontrolních úkonů a otázek pro vyhodnocení letů označených jako podezřelé		Odůvodnění, zápis
1)	ANO	viz. otázka 2	(názy a umístění souborů)
	NE	obraťte se na admin. nástroje	
2)	ANO	viz. otázka 3	(zapište interval vyhodnoc. období)
	NE	obraťte se na admin. nástroje	
3)	ANO	viz. otázka 4	(čísla řádků v souboru, imatrikulace, místo a čas vzletu/přistání)
	NE	pokud nebyly nalezeny žádné podezřelé lety zažádejte o soubor dat za následující časový interval k dalšímu vyhodnocení	
4)	ANO	(násl.bod 6)	(název/jméno provozovatele, vlastníka)
	NE	(pokud nebylo letadlo nalezeno pravděp. neodpovídá zaznamenaná adresa odpovídače imatrikulaci vyhodnoc. letadla) podle adresy odpovídače (icao24) zkuste najít příslušnou imatrikulaci v let. rejstříku (letadlová adresa) nebo se jedná o letoun jiného státu, v takovém případě zkuste nalézt informace o vyhodnocení letounu v rejstříku jiného státu)	
5)	ANO	s největší pravděpodobností se nejedná o il. přepravce	(ev.č. tohoto osvědčení)
	NE	(násl.bod 7)	
6)	ANO	(násl.bod 8)	(krátké odůvodnění)
	NE	zápis odůvodnění v tomto bodě	
7)	ANO	zápis odůvodnění v tomto bodě	(odkaz na zápis podaného vysvětlení)
	NE	(násl.bod 9)	
8)	Provozovatel nepodal věrohodné vysvětlení nebo bylo podezření na il. činnost natolik velké, že byla zvolena osobní inspekce		(odkaz na zápis výsledků inspekce)

Obrázek 4.3: Seznam kontrolních úkonů a otázek pro vyhodnocení letů zpracovaných interaktivním nástrojem

Dále byly vypracovány seznamy kontrolních otázek/rozhodovací diagramy pro cestující (viz příloha **B** obrázky B22 a B23). Tyto diagramy slouží pro jednoduché ověření, o jaký druh letu pohledem cestujícího se z hlediska legality s největší pravděpodobností jedná.



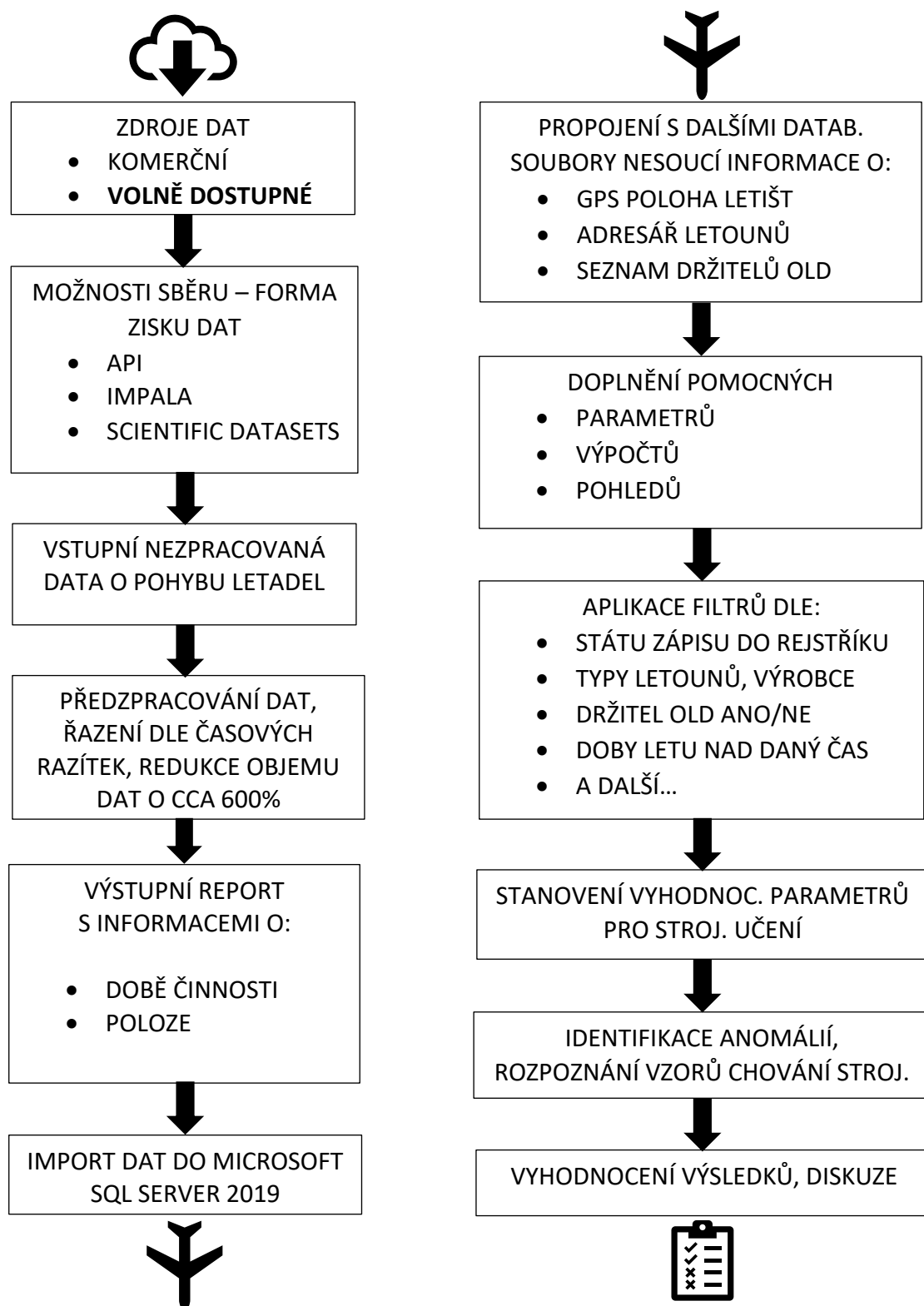
#### 4.5.5 Limity interaktivního nástroje

Limity a omezení vytvořeného nástroje jsou dány především parametry vstupních vyhodnocovaných testovacích dat a obsahem tréninkových dat využitých pro vystavění predikčního modelu. Hlavními parametry u testovacích dat jsou jejich úplnost, spojitost a délka sledovaného časového intervalu. Hlavními parametry tréninkových dat je především velikost, pestrost a „výstižnost“ tréninkového souboru dat, který nám blíže definuje, co je to anomální chování, které hledáme. Obě kategorie jsou podmíněny především cenou za dostupná plná testovací data a hodinovou dotací, která je dostupná pro vytvoření tréninkového souboru dat.

Hlavním limitem vytvořeného nástroje i v případě dostupnosti plných testovacích dat o letovém provozu a dostatečně obsáhlém souboru dat tréninkových je, že ze své podstaty dokáže identifikovat pouze takové lety, které svými parametry vybočují nad průměr ostatních letů pro konkrétní sledované letadlo. Pokud je tedy většina letů daného letadla ilegální (např. il. prováděné vyhlídkové lety se svým charakterem neliší od zbytku letů daného letadla nebo ilegální činnost daného letounu např. aerotaxi tvoří převažující část těchto letů), nástroj nebude schopen pravděpodobně tyto lety identifikovat, protože tyto lety nejsou anomálními vzhledem ke zbývajícím souboru letů daného letadla.

#### 4.6 Objektový popis interaktivního nástroje

Pro lepší názornost jednotlivých kroků celého procesu vytváření interaktivního nástroje pro identifikaci letů podezřelých z ilegální letecké dopravy jsem vytvořil jeho objektový popis viz obrázek 4.4 níže.



Obrázek 4.4: Objektový popis interaktivního nástroje



## 5. Vyhodnocení statistických dat o pohybu podezřelých letadel

V první části této kapitoly se zabývám vyhodnocením statistických dat o pohybu letadel, jejichž lety byly interaktivním nástrojem označeny jako podezřelé z vykonávání ilegální činnosti. Vyhodnocuji jednotlivé parametry pro množinu tréninkových dat i pro množinu testovacích dat (dat o reálném provozu), která pak dále srovnávám. V druhé části této kapitoly se zabývám vyhodnocením úspěšnosti vystavěného modelu neuronové sítě. Poslední část kapitoly je věnována konkrétním letům, které byly nástrojem označeny jako podezřelé (pozitivní) a mají spojitost s ČR.

### 5.1 Vyhodnocení dat letů, které byly označeny jako podezřelé z vykonávání il. činnosti

Vyhodnocovaná data pocházejí za období 3.1.2022 až 14.3.2022. Soubor dat, který byl využita pro vyhodnocení, je součástí přílohy H této práce pod názvem *vysledky\_vystup.xlsx*. V tomto souboru se nacházejí dva listy. První z nich s názvem *datavystup* z SQL obsahuje záznamy letů, které byly zpracovány databází pro další vyhodnocení. Druhý z nich s názvem *pos. vyhodnoc. vysledky* obsahuje záznamy letů, které byly strojovým učením označeny jako podezřelé. Za uvedené období bylo celkem staženo 798.339 záznamů o jednotlivých letech celosvětového pohybu letadel. Z celkového počtu všech záznamů o celosvětovém pohybu letadel bylo aplikovanými filtry vyhodnoceno 3.250 záznamů jako vhodných pro další zpracování. Vhodnými jsou myšleny ty záznamy, které mají na základě parametrů specifikovaných pro jednotlivé filtry, potenciál k tomu být kandidáty na lety podezřelé z ilegální letecké dopravy. Pro další zpracování záznamů bylo použito strojové učení, které z počtu 3.251 záznamů označilo 581 letů jako podezřelé z vykonávání il. činnosti (lety letadel, která se pohybovala na území EU, či jsou zapsána v rejstříku členských států). Z 581 označených letů byly nalezeny 2 lety realizované 2 letadly, které byly provedeny na území České Republiky nebo byl letoun zapsán v leteckém rejstříku ČR nebo mu byla přidělena adresa odpovídající této zemi. Bližším vyhodnocením těchto letů se zabývám v jedné z dalších podkapitol.



### 5.1.1 Průměrné hodnoty letů

Ze stažených dat o letovém provozu byly vypočteny průměrné hodnoty pro délku letu a délku tratě všech zastoupených letadel. Tyto hodnoty byly vypočteny pro dvě části dat:

- 1) stažená data všech vyhodnocovaných letů (tj. již vyfiltrovaná reálná neoznačená testovací data s neznámými výsledky)
- 2) z části těchto vyhodnocovaných dat zmíněných v bodě 1), které byly označeny jako podezřelé lety.

Tabulka 5.1: Průměrné hodnoty

část	průměrná délka letu [h]	směrodatná odchylka [h]
1	2:01	0,29
2	2:47	0,32
část	průměrná délka trati [km]	směrodatná odchylka [km]
1	284,2	654
2	1038,8	1220

Z tabulky 5.1 si lze všimnout, že hodnota vypočtené průměrné délky letu se pro obě skupiny liší o méně než třetinu a směrodatná odchylka dosahuje téměř stejné hodnoty. Je to z toho důvodu, že vytrvalost většiny zastoupených letadel se liší jen málo, doba vytrvalosti malého letounu může být kolem 5 hodin stejně jako u větších dopravních letadel. Větší rozdíl je patrný až v délkách uletěné tratě. Zatímco doba vytrvalosti dosahuje pro většinu zastoupených letadel podobné hodnoty, u délky uletěné tratě se vypočítané průměrné hodnoty liší více než trojnásobně a směrodatná odchylka dosahuje velmi vysokých hodnot pro obě části souboru dat. Tato vysoká hodnota je způsobena velkým rozdílem rychlostí jednotlivých typů letadel. Zatímco některá z nich dokážou za hodinu překonat vzdálenost např. 800km, jiná pouze 150km. Z tohoto důvodu nebyla počítána hodnota průměrné rychlosti, protože by se nejednalo o reprezentativní údaj, neboť v souboru letů nepřevažuje žádná pravděpodobnost výskytu jedné hodnoty oproti druhé. Z těchto údajů vyplývá, že informace o průměrných hodnotách z celého souboru nelze použít k vyhledávání letů s požadovanými vlastnostmi. Což ovšem není překážkou pro příznaky, které využívají k vyhodnocení průměrných hodnot, protože tyto průměrné hodnoty stanovují vždy vzhledem k letům konkrétního letadla.

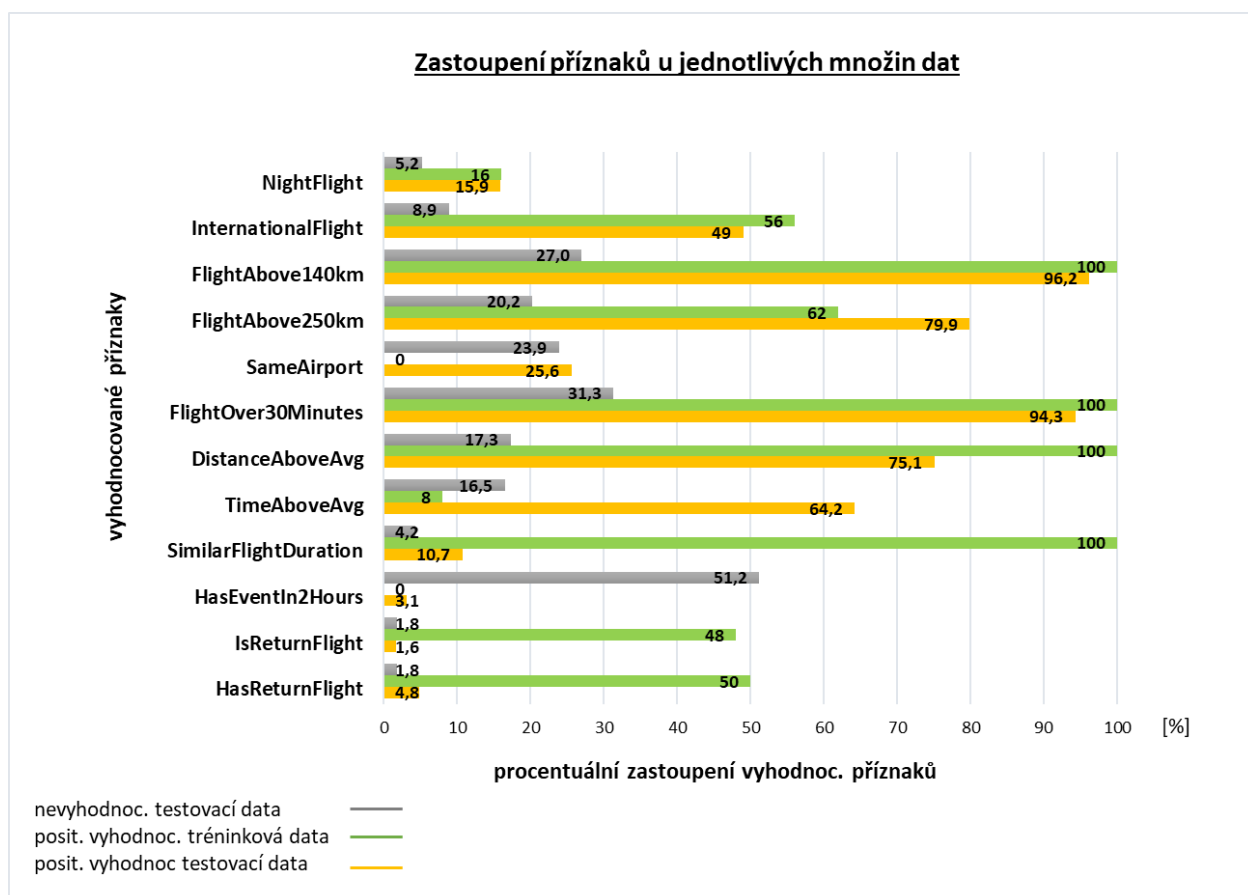




## 5.1.2 Zastoupení jednotlivých příznaků a informace o vyhodnocovaných letech

Velké množství informací o vyhodnocovaných letech (např. procent. zastoupení nočních letů apod.) lze zjistit přímo z vyhodnocení jednotlivých příznaků. Bližší význam těchto příznaků je popsán v kapitole 4.3.7.

V grafu na obrázku 5.1 a v tabulce 5.2 níže srovnávám četnost zastoupení jednotlivých příznaků pro celkem tři množiny dat. První kategorií (v grafu a tabulce označená šedě) je četnost výskytu jednotlivých příznaků v nevyhodnocených testovacích datech. Druhou kategorií (v grafu a tabulce označená zeleně) je četnost výskytu jednotlivých příznaků v tréninkových datech, která byla vyhodnocena jako pozitivní/podezřelé výsledky. Třetí kategorií (grafu a tabulce označená oranžově) je četnost výskytu jednotlivých příznaků v reálných testovacích datech, která byla vyhodnocena jako pozitivní/podezřelé výsledky.



Obrázek 5.1: Graf četnosti výskytu vyhodnocovaných příznaků



Tabulka 5.2: Četnost výskytu vyhodnocovaných příznaků

Vyhodnocovaný příznak	Význam	Četnost výskytu v testovacích poz. vyhodnoc. datech [%]	Četnost výskytu v tréninkových poz. vyhodnoc. datech [%]	Četnost výskytu v nevyhodnoc. testovacích datech [%]
NightFlight	Noční let	15,9	16	5,2
InternationalFlight	Mezinárodní let	49,0	56	8,9
FlightAbove140km	Let nad 140km	96,2	100	27,0
FlightAbove250km	Let nad 250km	79,9	62	20,2
SameAirport	Let z A do A	25,6	0	23,9
FlightOver30Minutes	Let trval déle než 30 minut	94,3	100	31,3
DistanceAboveAvg	Vzdálenost byla nadprůměrná pro daný letadlo	75,1	100	17,3
TimeAboveAvg	Čas byl nadprůměrný pro dané letadlo	64,2	8	16,5
SimilarFlightDuration	Podobná délka letu předch. nebo násled. letu	10,7	100	4,2
HasEventIn2Hours	Více než 2 lety v okolních 2 hodinách	3,1	0	51,2
IsReturnFlight	Předchozí nebo násled. let je zpátečním vzhl. k aktuálnímu	1,6	48	1,8
HasReturnFlight	Předchozí nebo násled. let je zpátečním vzhl. k aktuálnímu	4,8	50	1,8

Z uvedené tabulky 5.2 a jejího grafického znázornění viz obrázek 5.1 lze vyčíst konkrétní četnost výskytu jednotlivých příznaků a z toho plynoucích informace jako např. kolik procent letů z celkového počtu letů bylo v noci, do zahraničí, vzletlo a přistálo na stejném letišti, trvalo více než 30 minut apod. Dále lze z tabulky vyčíst, v kolika procentech případů jsou jednotlivé příznaky zastoupeny u letů, které byly označeny pozitivně, tedy jako podezřelé z il. činnosti.

Dále lze porovnáním četnosti výskytu příznaků u testovacích a tréninkových dat zjistit, jak efektivní roli hrají jednotlivé příznaky při vyhodnocování dat. Z grafu na obrázku 5.1 lze vidět, že pro příznaky: NightFlight, InternationalFlight, FlightAbove140km, FlightAbove250km, FlightOver30minutes, DistanceAboveAvg se křivky poz. vyhodnoc. dat (oranžová, zelená) téměř překrývají nebo od sebe neliší více než o 25%. Z těchto malých odchylek usuzují, že tyto příznaky jsou nastaveny správně a model neuronové sítě hledá v testovacích datech znaky chování, na které je nastaven.



Je však patrné, že například příznak FlightAbove250, který vyhodnocuje délku letu, překonané vzdálenosti nad 250km (tedy všechny lety, jejichž délka tratě je větší než 250 km jsou vyhodnoceny pro tento příznak jako logická 1), dosahuje četnosti výskytu v testovacích datech téměř 80%. Postrádáme však informaci, kolik letů z těchto 80% bylo delších než například 400km, 700 km apod. Z tohoto důvodu by bylo vhodné doplnit tento druh příznaku o další vyhodnocované intervaly.

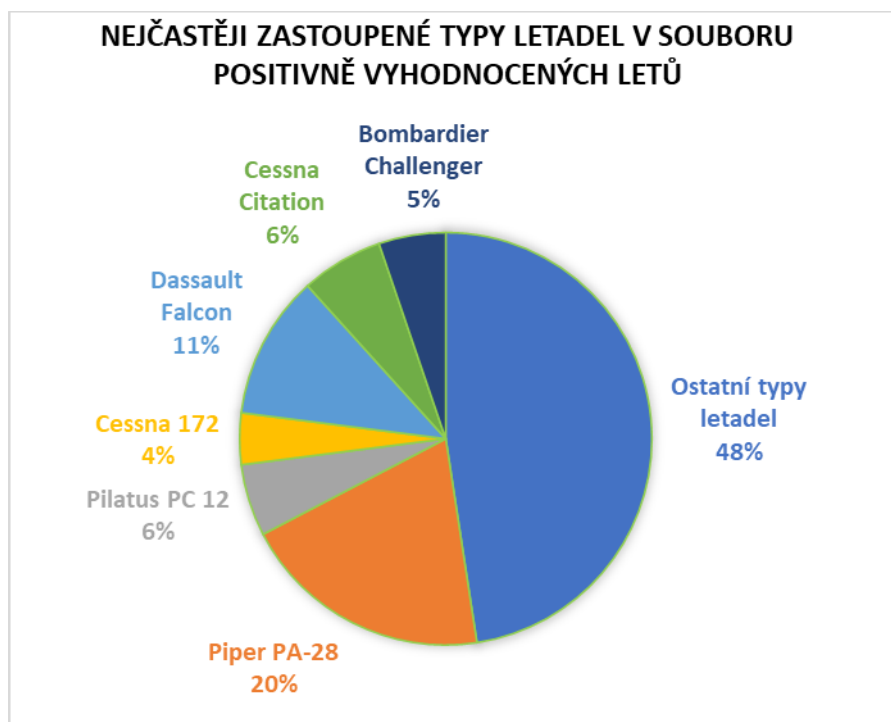
U příznaku TimeAboveAvg je četnost zastoupení v tréninkových datech pouze 8%, zatímco v datech testovacích je to 64%, neuronová síť tomuto příznaku přiřkládá pravděpodobně větší význam, než by měla, nebo je příznak nevhodně nastaven.

Lze konstatovat, že čím větší je rozdíl četnosti zastoupení daného příznaku u pozitivně vyhodnocených testovacích dat oproti nevyhodnoceným testovacím datům, tím více je daný příznak efektivním ukazatelem hledaného trendu. Jako velmi efektivní se tak ukázaly především příznaky jako: NightFlight (3:1), InternationalFlight (5:1), FlightAbove250km (4:1), DistanceAboveAvg (4:1). V závorce je udáno v jakém poměru je zastoupen výskyt příznaku u pozitivně vyhodnocených test. dat a nevyhodnocených test. dat. Naopak četnost zastoupení u příznaku SameAirport je u pozitivně vyhodnocených a nevyhodnocených testovacích dat téměř stejná.

U příznaků IsReturnFlight, HasReturnflight, SimilarFlightDuration je vidět největší rozdíl četnosti zastoupení u pozitivně vyhodnocených tréninkových dat a nevyhodnocených testovacích dat, tento rozdíl je způsoben především neúplností volně dostupných dat o letovém provozu (v našem případě testovacích dat). Vyhodnocované příznaky jsou tak méně efektivní.

### 5.1.3 Nejčastěji zastoupené typy letadel

Následující graf (obrázek 5.2) udává šest nejčastěji zastoupených typů letounů, které byly nalezeny v pozitivně vyhodnocených testovacích datech. Jsou zde uvedeny dva typy letounů s pístovými motory (C172, PA-28), jeden turbovrtulový letoun (PC 12) a tři typy letounů s proudovými motory (Dassault Falcon, Bombardier Challenger, Cessna Citation). Zejména u uvedených proudových letounů byly zahrnuty všechny zastoupené verze a modifikace, uvádím zde jen jejich hlavní označení.



Obrázek 5.2: Graf nejčastěji zastoupených typů letadel v souboru pozitivně vyhodnocených letů

Tabulka 5.3: Nejčastěji zastoupené typy letadel v souboru pozitivně vyhodnocených letů

Typ letadla	Celkový počet letadel jednotliv. provozovatelů v souboru pozitivně vyhodnoc. letů	Procentuální zastoupení
Ostatní typy letadel	118	47,6
Piper PA-28	49	19,8
Pilatus PC 12	14	5,6
Cessna 172	10	4,0
Dassault Falcon	28	11,3
Cessna Citation	16	6,5
Bombardier Challenger	13	5,2

Je zajímavé, že nejčastěji zastoupenými letouny (v 20% všech letů) jsou zde Piper PA-28 a PA-46, což jsou rovněž typy letounů figurujících v polovině nehod, které byly rozebrány v kapitole 2.1 této práce. Dále si z koláčového grafu na obrázku 5.2 lze všimnout, že



poměr uvedených letounů s pístovými motory (24%) a turbovrtulových letounů spolu s proudovými motory (28%) je zde téměř vyrovnaný.

## 5.2 Úspěšnost vystavěného modelu neuronové sítě při identifikaci podezřelých výsledků

Pro určení úspěšnosti vystavěného modelu neuronové sítě byly vypočteny následující parametry: přesnost, preciznost a vyvolání. Tyto parametry jsou vypočteny z tzv. tréninkových dat. Jak již bylo zmíněno v kapitolách zabývajících se úvodem do strojového učení, při metodě strojového učení s učitelem je pro vystavění modelu využita množina dat, která jsou dopředu označená. Zpětně lze tedy zjistit s jakou úspěšností byly identifikovány/nalezeny požadované výsledky. Pro možnost zjištění úspěšnosti vystavěného modelu jsou označená data (v této práci označována jako tréninková) nejprve rozdělena na dvě podkategorie v poměru cca 70:30. 70% těchto dat je použito k vystavění modelu a zbývajících 30% je určeno k jeho otestování.

Důvodem proč nelze tyto parametry spočítat z vyhodnocovaných dat o letovém provozu je, že nevíme kolik z letů, které byly nástrojem označeny jako podezřelé z vykonávání obchodní letecké přepravy, bylo skutečně ilegálních. Jedinou možností by bylo vzít větší množinu dat o letovém provozu, data nástrojem vyhodnotit, označit lety, které jsou podezřelé a u těchto podezřelých letů teprve bližším šetřením objasnit, zda naplnily skutkovou podstatu ilegální činnosti. S informacemi o tom, kolik z letů označených nástrojem jako podezřelé skutečně vykonávalo il. činnost, by bylo teprve možné stavit celkovou úspěšnost celého interaktivního nástroje. Z uvedených důvodů jsou následující parametry vypočteny pouze z tréninkových dat. Tato data jsou svou formou totožná s reálnými staženými testovacími daty o letovém provozu.

Následující údaje jsou vypočteny z tzv. matice záměn (Confusion Matrix). Tato matice byla vygenerována v prostředí Deepnote, kde byla realizována praktická část nástroje zabývajících se strojovým učení.

**Confusion Matrix**

<b>TP</b> 65	<b>FP</b> 2
<b>FN</b> 1	<b>TN</b> 15

Obrázek 5.3: Matice záměn

$$\text{Přesnost} = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \cdot 100 = \frac{65+15}{65+2+15+1} = 96 \% \quad (5.1)$$

-říká nám: dokážu odhalit 96% času nebo s 96% úspěšností lety, které jsou „negativní“

$$\text{Přesnost} = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{65}{65+2} \cdot 100 = 97 \% \quad (5.2)$$

-říká nám: kolik z „pozitivně“ označených případů se ukázalo skutečně jako pozitivní

$$\text{Vyvolání (Recall)} = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{65}{65+1} \cdot 100 = 98 \% \quad (5.3)$$

-říká nám: kolik % skutečně pozitivních případů jsme byli schopni modelem správně identifikovat / opačně: kolik procent „pozitivních“ případů jsme neodhalili, protože nebyly označeny jako „pozitivní“

Přesnost a další vypočtené parametry, s jakými vystavěný model neuronové sítě dokáže identifikovat podezřelé lety, předčily mé očekávání. I přesto, že jsou tréninková data svou formou a strukturou totožná s daty testovacími, až dlouhodobější použití tohoto nástroje v praxi může ukázat skutečnou přesnost a nedostatky vystavěného modelu. Mezi nevýhody tohoto způsobu vyhodnocování dat pomocí strojového učení s učitelem patří zejména to, že co jsme schopni „model“ naučit rozpoznávat, je závislé především na velikosti a pestrosti souboru tréninkových dat. Výhodou ovšem je, že tento soubor lze postupně upravovat, rozšiřovat a model se tak může přizpůsobovat novým trendům a chováním v závislosti na charakteru vložených tréninkových dat.



### 5.3 Nalezené lety letadel, které byly vyhodnoceny jako podezřelé

- 1) Prvním letem, který byl tímto nástrojem vyhodnocen jako podezřelý, je let letounu Gulfstream G550 s imatrikulací P4-GVV a adresou odpovídače 4850BB ze dne 28.2.2022, který vzletl z neznámého letiště v čase 04:54:00 a přistál na letišti Praha (LKPR) v čase 06:59:50. Podrobnějším vyhledáváním bylo zjištěno, že provozovatelem tohoto letounu je společnost ABS Jets, tedy držitel platného osvědčení leteckého dopravce (číslo CZ – 8) a jedná se tak o legálního leteckého dopravce. Bylo ovšem zjištěno, že uvedený letoun není v tomto osvědčení uveden, tudíž pokud by bylo bližším šetřením odhaleno, že za tento let zaplatila třetí strana (let nesloužil pouze interním účelům majitele) jednalo by se skutečně o ilegální formu obchodní letecké dopravy.
- 2) Druhým letem, který byl tímto nástrojem vyhodnocen jako podezřelý, je let letounu Piper PA-28 s imatrikulací OK-POL a adresou odpovídače 49d01a ze dne 10.1.2022, který vzletl z letiště Irkutsk v Rusku (UIII) v čase 13:30:00 a přistál opět na letišti Irkutsk v čase 16:59:30.

Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že pro tento letoun bylo staženo celkem 12 záznamů o provedených letech, z nichž 5 dosahovalo delší doby letu než je 10 minut. Dále bylo z leteckého rejstříku zveřejněném na webových stránkách ÚCL zjištěno, že letoun s touto imatrikulací (rejstříkovou značkou) byl dne 4.1.2019 z rejstříku vymazán. Naopak uvedená adresa odpovídače (49d01a) byla dne 22.06.2021 přidělena letounu PA-28 s imatrikulací OK-JOS. Ze zjištěných informací usuzuji, že mnou použitá databáze, která obsahuje rejstřík jednotlivých adres odpovídačů spolu s příslušnými imatrikulacemi letadel, nebyla v tomto případě aktuální. Ve skutečnosti má tak pravděpodobně letoun se zaznamenanou činností na letišti Irkutsk a s adresou odpovídače 49d01a přidělenou imatrikulaci OK-JOS. Provozovatelem tohoto letounu je společnost MMS Company Limited s.ro., která není držitelem osvědčení let. dopravce. Vlastníkem je pak společnost JOVING s.r.o. zabývající se ekonomickým poradenstvím a marketinkem. Pro možnost bližšího posouzení, zda je uvedený letoun předmětem il. provozu letecké dopravy, by bylo třeba podrobnější sledování tohoto letounu (např. nástrojem Flightradar24 apod.).



## 6. Diskuze

### 6.1 Vhodné zdroje dat

Po definování nezbytných parametrů a vhodné struktury dat (viz kap. 4.1), potřebných pro vytvoření interaktivního nástroje, bylo možné začít s bližším hledáním vhodného poskytovatele dat. Bylo zjištěno, že vhodně strukturovaná data obsahující nezbytné parametry o letovém provozu jsou systematicky sbírána a zpracovávána větším množstvím společností. Většina z nich tato data poskytuje pouze v placené verzi pro účely komerčního využití. Podařilo se však nalézt volně dostupný zdroj dat, která jsou svým obsahem i strukturou použitelná pro účely vytvoření nástroje, kterým se zabývám v této práci. Jediným omezením těchto dat je, že jsou ve spojitě formě dostupná pouze pro krátký časový interval několika hodin nebo pouze pro určité dny v týdnu. Tato skutečnost však není překážkou pro návrh a vytvoření samotného nástroje. V případě, že by se jednalo o reálné použití nástroje v praxi, bylo by vhodné opatřit plnou placenou verzi těchto dat o letovém provozu.

### 6.2 Vyhodnocené výsledky

V první části kapitoly statistické vyhodnocení dat byly uvedeny celkové počty záznamů o letech pro jednotlivé kroky zpracování dat. Jedná se o zajímavé výsledky z hlediska redukce celkového počtu záznamů, kdy bylo z téměř 800 tisíc záznamů o celosvětovém pohybu letadel, vyhodnoceno k dalšímu zpracování 3250 z nich. Z těchto 3250 záznamů o jednotlivých letech bylo označeno jako podezřelých 581 letů. Ze souboru 581 letů vyhodnocených jako podezřelé byly identifikovány 2 lety, které splňovaly souvislost ve vztahu k ČR.

Výsledným výstupem jsou v tomto případě 2 lety, které lety byly nástrojem vyhodnoceny jako podezřelé a letadla, kterými byly lety realizovány jsou zároveň zapsány v leteckém rejstříku ČR nebo jejich let začínal či končil na území ČR. Jedná se o letoun G550 a letoun Piper PA-28; podrobné informace o obou těchto letech jsou zmíněny v závěru kapitoly 5.

#### 6.2.1 Další vyhodnocené ukazatele

V první části kapitoly 5., která se zabývá statistickým vyhodnocením výsledků byly vyhodnoceny průměrné hodnoty pozitivně označených letů, znázorněno zastoupení





nejčastějších typů letadel ve výsledcích letů vyhodnocených jako podezřelé a zároveň bylo provedeno zhodnocení efektivity jednotlivých příznaků. Výsledky zhodnocení jednotlivých příznaků se nacházejí v tabulce 5.2, na kterou navazuje i příslušné slovní vyhodnocení v kapitole 5.1.2. této Na základě tohoto zhodnocení by bylo možné sadu příznaků dále upravovat, doplnit o další vhodné zástupce apod. Příslušný komentář spolu s diskuzí konkrétních výsledků je součástí předchozí kapitoly, který se zabývá statistickým vyhodnocením dat. V druhé části kapitoly statistického vyhodnocení byla vypočtena kritéria, na základě kterých určujeme úspěšnost vystavěného predikčního modelu. Tato kritéria vyšla nad očekávání dobře a celková úspěšnost vyhodnocení se pohybuje kolem 96%.

## **6.3 Limity a omezení vytvořeného nástroje**

### **6.3.1 Omezení na anomální chování**

Hlavním limitem vytvořeného nástroje, i v případě dostupnosti plných testovacích dat o letovém provozu a dostatečně obsáhlém souboru dat tréninkových, je, že ze své podstaty dokáže identifikovat pouze takové lety, které svými parametry vybočují nad průměr ostatních letů pro konkrétní sledované letadlo. Pokud je tedy většina letů daného letadla ilegální (např. il. prováděné vyhlídkové lety se svým charakterem neliší od zbytku letů daného letadla nebo ilegální činnost daného letounu např. aerotaxi tvoří převažující část těchto letů), nástroj nebude schopen pravděpodobně tyto lety identifikovat, protože tyto lety nejsou anomálními vzhledem ke zbývajícimu souboru letů daného letadla.

### **6.3.2 Skutečná úspěšnost nástroje**

I přesto, že je výsledkem práce funkční nástroj a vypočítaná úspěšnost predikčního modelu dosahuje velmi dobrých výsledků, je nutné si uvědomit, že skutečná efektivita nebo úspěšnost správné identifikace výsledků nemůže být v tuto chvíli zcela známa. Ke stanovení skutečné úspěšnosti celého nástroje by bylo nutné vědět, kolik ze všech letů, které byly vyhodnoceny jako podezřelé z il. provedení obchodní letecké dopravy, bylo nakonec skutečně vyhodnoceno (například bližším šetřením, inspekcí ze strany dozorujícího orgánu) jako ilegálních. Až z těchto informací za delší vyhodnocované období by bylo možné dopočítat skutečnou úspěšnost /efektivitu vytvořeného nástroje.



### 6.3.3 Omezení aktuálnosti pomocné databáze

Považuji za důležité zmínit, že druhý z těchto letounů byl vyhledán na základě imatrikulace (poznávací značky). Při hledání dalších informací v leteckém rejstříku však bylo zjištěno, že daná imatrikulace nekoresponduje s adresou odpovídače daného letadla (letadlová adresa), která byla nalezena ve vyhodnoceném záznamu o podezřelých letech. Po zadání imatrikulace z vyhodnoceného záznamu prověřovaného letadla do leteckého rejstříku bylo zjištěno, že tato imatrikulace je nyní „volná“, protože původní letoun, ke kterému byla přiřazena, byl z rejstříku vyřazen. Bližším hledáním v leteckém rejstříku pak bylo zjištěno, že aktuálním majitelem vyhledané adresy odpovídače je letoun s jinou imatrikulací. Důvodem této nesrovnalosti byla pravděpodobně v tomto případě neaktuálnost použité pomocné databáze, jež obsahuje informace o jednotlivých letadlech spolu s příslušnými adresami odpovídačů a imatrikulacemi. Je tedy vždy vhodné prověřit, zda oba identifikátory (adresa odpovídače a imatrikulace letadla) vzájemně korespondují a pokud ne, jako v uvedeném případě, je třeba bližším hledáním zjistit, který z identifikátorů skutečně odpovídá letadlu, jehož let byl vyhodnocen jako podezřelý. V opačném případě se vystavujeme riziku, že daný záznam nebude nalezen nebo nebude zjištěno, že část informací v něm zapsaná neodpovídá realitě.

## 6.4 Nastavení filtrů dat

Dalším parametrem, který má velký podíl na celkovém výstupu výsledků vytvořeného nástroje, je vhodný výběr a množství nastavených filtrů dat (resp. počet jednotlivých kritérií na základě, kterých data filtrujeme). Pokud budou tyto filtry (jako např.: vhodné typy letadel, min. doba letu, zvolená oblast provozu aj.) nastaveny příliš „hrubě“ nebo jich bude zvoleno příliš málo, výsledkem bude obrovské množství dat, které bude obtížné nejen dále zpracovat, ale především vyhodnotit člověkem v závěrečné fázi celého procesu identifikace. Pokud budou filtry nastaveny příliš „jemně“ nebo jich bude zvoleno příliš velké množství, bude výsledkem naopak menší množství letů, které sice bude možné dále lépe zpracovat a vyhodnotit, ale zároveň zde roste riziko, že lety, které jsou skutečně podezřelé, nebudou zahrnuty do závěrečné fáze vyhodnocení. (Jemným nastavením filtrů je zde myšleno například zvolení pouze malého množství typů letadel, která určíme jako vhodná pro další zpracování apod.). Vzhledem k velkému množství letů a s nimi spojených informací však považuji za lepší možnost druhou, tedy „jemnějšího“ nastavení filtrů, protože je třeba mít především takové výsledky, které i



přes uvedené nedostatky mohou být nadále vyhodnoceny lidským faktorem, jež má z hlediska času v porovnání s výpočetní technikou velmi omezenou kapacitu.



## 7. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření interaktivního nástroje, který bude schopen identifikace podezřelých letů na základě dostupných dat o letovém provozu. Ukázalo se, že se jedná o velmi komplexní problém, k jehož vyřešení bylo třeba zorientovat se nejen v příslušné legislativní úpravě a zvolení vhodného způsobu analýzy rizik, ale především oblastech jako je práce s velkými soubory dat, zorientování se v databázovém prostředí a pochopení základních principů strojového učení, které bylo použito pro závěrečné vyhodnocení těchto dat.

Protože mi není známo, že by nástroj s podobným účelem již existoval nebo se ho někdo pokoušel sestavit, pro realizaci tohoto nástroje bylo třeba navrhnout vlastní, zcela nový způsob řešení, pro všechny části, ze kterých je nástroj složen. Nejprve bylo třeba najít vhodného poskytovatele dat o letovém provozu. Bylo zjištěno, že většina poskytovatelů dat má tyto služby zpoplatněny nebo informace obsažené v poskytnutých souborech dat nebyly vhodné pro účely této práce. Po nalezení vhodného zdroje dat bylo možné přistoupit k jejich předzpracování do vhodného formátu pro další zpracování, kde byla data propojena s dalšími důležitými databázovými soubory (databáze letišť, databáze přidělených adres odpovídačů, seznam držitelů OLD aj.). Tyto soubory dalších dat bylo rovněž nutné nejprve vyhledat a následně upravit do vhodné podoby umožňující jejich zpracování. Ve chvíli, kdy byla tato data připravena, bylo nutné navrhnout vhodné filtry a stanovit kritéria, na jejichž základě budou lety vyhodnocovány. Tato kritéria nazývám v práci jako tzv. „příznaky“, jejichž výstupem jsou informace v binární podobě. Tyto informace pak byly vyhodnoceny za použití strojového učení, konkrétně pak predikčního modelu neuronové sítě.

Výsledkem celého procesu je funkční nástroj, který umožňuje sběr, zpracování i vyhodnocení stažených dat o letovém provozu.

Úspěšnost vytvořeného predikčního modelu tohoto nástroje byla vyzkoušena a potvrzena na „umělých datech“ o letovém provozu, která jsou svou formou identická se stahovanými daty. Tato umělá data byla vytvořena z důvodu absence spojitého vzorku dat o leteckém provozu za další spojitý časový úsek (v řádech několika měsíců). Nástroj dosahuje na těchto umělých testovacích datech velmi vysoké úspěšnosti kolem 96 %. V případě přístupu k plným, nijak neomezeným, komerčním datům a případného doplnění tréninkového datasetu pro vystavění modelu neuronové sítě předpokládám reálné možnosti aplikace tohoto nástroje v praxi.



Funkčnost celého interaktivního nástroje pak byla ověřena na reálných testovacích datech o letovém provozu. Z celkem cca 800 tisíc záznamů o celosvětovém pohybu letadel byly nástrojem vyhodnoceny jako podezřelé 2 lety, které měly vztah k ČR. Jedním z těchto podezřelých letadel, je proudový letoun společnosti ABS Jets, u kterého bylo zjištěno, že ač je provozován legálním leteckým přepravcem, tento letoun není zapsán v osvědčení leteckého dopravce této společnosti. Jedná se tak o zajímavou kombinaci faktorů. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o jednoho z největších legálních poskytovatelů služeb business letů u nás, který má ve své flotile dalších 7 letadel stejné kategorie, nepředpokládám, že by přepravce riskoval nebo měl důvod k provádění takovéto ilegální činnosti. Pokud by se ovšem prokázalo, že za tento let zaplatila třetí strana, jednalo by se skutečně o případ ilegální letecké dopravy.

Limity vytvořeného nástroje jsou především následující: Schopnost nástroje rozpoznat požadovaný trend je závislý na velikosti a různorodosti dat a počtu vyhodnocovaných příznaků, jež toto chování popisují. Jedná se o kvalitu souboru dat, která jsou použita k vystavění predikčního modelu, tento soubor dat ve své podstatě definuje, jaké chování označujeme jako podezřelé. Dalším limitujícím faktorem, který velmi významně ovlivňuje schopnost správného vyhodnocení a nalezení opakujících se vzorů chování, je úplnost staženého souboru dat. V případě volně dostupných dat, použitých v této práci, jsou data poskytovatelem záměrně omezena jen na určité dny v týdnu nebo na určité časové intervaly a chybí tak informace o zbývajících aktivitě. Pro reálnou aplikaci nástroje v praxi a vyzkoušení jeho plného potenciálu by bylo nezbytné mít k dispozici úplná data pro komerční účely.

Možnosti dalšího vývoje tohoto nástroje částečně vycházejí z uvedených limitů. Tyto možnosti vidím v rozšíření souboru tréninkových dat o další příklady podezřelého chování a jejich aplikaci na plná data o letovém provozu. Další možností by byla automatizace celého procesu (tj. automatické stažení dat, jejich import, zpracování a přímé zobrazení letů, které byly nástrojem označeny jako podezřelé), která by učinila nástroj uživatelsky přívětivějším a výrazně by usnadnila jeho obsluhu.

Dalšími cíli práce pak bylo vytvoření bezpečnostní analýzy rizik letů il. letecké dopravy, zpracování metodického postupu a kontrolního seznamu otázek pro pracovníka obsluhy tohoto nástroje, vytvoření rozhodovacího diagramu s nejdůležitějšími informacemi pro cestující, pomocí kterého lze pohledem cestujícího snadno identifikovat, o jaký let z hlediska legality se pravděpodobně jedná.



## Seznam použité literatury

- [1] *Illegal charter under the radar* [online]. Business airport international [cit. 2022-01-22]. Dostupné z: <https://www.businessairportinternational.com/features/illegal-charter-under-the-radar.html>
- [2] LÁN, Sébastien. *Provoz letecké dopravy 21PLD: Přednáška č. 1 Obchodní letecká doprava*. 2018.
- [3] Annex VIII – Part-SPO. EASA [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/18239/en>
- [4] Air operator certificate. ABSJets [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.absjets.cz/data/ke-stazeni/air-operator-certificate-d620.pdf>
- [5] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139*. EUR-Lex [online]. 4. července 2018 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32018R1139>
- [6] *Nařízení komise (EU) č. 965/2012* [online]. EUR-Lex, 2012 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32012R0965>
- [7] *Prováděcí nařízení Komise (EU) 2018/1976* [online]. EUR-Lex, 2018 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32018R1976&qid=1652621163715>
- [8] *Annex I - Part FCL, V1* [online]. EASA, June 2016 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Part-FCL.pdf>
- [9] *Aircraft Accident Report AAR 1/2020 - Piper PA-46-310P Malibu, N264DB, 21 January 2019* [online]. Air Accidents Investigation Branch, 13 March 2020 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/aaib-reports/aircraft-accident-report-aar-1-2020-piper-pa-46-310p-malibu-n264db-21-january-2019>



- [10] *Accident to the PIPER - PA-46 - 350P registered F-GUYZ on 8 February 2019 at Courchevel (Savoie)* [online]. Le Bourget Cedex: Bureau d'Enquêtes et d'Analyses, December 2021 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://bea.aero/en/investigation-reports/notified-events/detail/accident-to-the-piper-pa46-registered-f-guyz-on-08-02-2019-at-courchevel/>
- [11] *AAIB investigation to Piper PA-28-140 Cherokee, G-BAKH* [online]. Air Accidents Investigation Branch, 13 June 2019 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/aaib-reports/aaib-investigation-to-piper-pa-28-140-cherokee-g-bakh>
- [12] *ERA18FA264 - Dassault FALCON 50 - Sys/Comp malf/fail (non-power)* [online]. Le Bourget Cedex: National Transportation Safety Board, June 3, 2020 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.baaa-acro.com/sites/default/files/2021-12/N114TD.pdf>
- [13] *Michigan Gov. Whitmer's private jet flight may have been an illegal charter* [online]. Doug Gollan, May 18, 2021 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://privatejetcardcomparisons.com/2021/05/18/michigan-gov-whitmers-private-jet-flight-may-have-been-an-illegal-charter/>
- [14] *Accident de l'hélicoptère Agusta Bell AB206 immatriculé F-HGJL survenu le 2 mai 2018 à environ 35 NM dans le sud-ouest de Cayenne (Guyane)* [online]. Le Bourget Cedex: Bureau d'Enquêtes et d'Analyses, Novembre 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://bea.aero/les-enquetes/evenements-notifies/detail/accident-de-lagusta-bell-ab206-immatricule-f-hgjl-survenu-le-02-05-2018-pres-de-cacao-973/>
- [15] ICAO. Doc 9859: *Safety Management Manual (SMM)* [online]. Third edition. International Civil Aviation Organization, 2012 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: [https://www.icao.int/sam/documents/rst-smsss13/smm\\_3rd\\_ed\\_advance.pdf](https://www.icao.int/sam/documents/rst-smsss13/smm_3rd_ed_advance.pdf)
- [16] *Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2020/2034* [online]. EUR-Lex, 2020 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32020R2034>



- [17] HOLLNAGEL, Erik. *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*. London: Taylor & Francis Ltd, 2014, 200 s. ISBN 9781472423085.
- [18] *SQL kompletní kapesní průvodce* [online]. Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 1999 [cit. 2022-04-19]. ISBN 80-7169-692-7. Dostupné z: [https://nb.vse.cz/~simunek/files/KKP\\_SQL.pdf](https://nb.vse.cz/~simunek/files/KKP_SQL.pdf)
- [19] SADOVSKI, Michal. *Základy SQL* [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/SQLReference/Sadovski/SQL-PRVN.HTM>
- [20] *Syntaxe SQL - Klauzule* [online]. Microsoft, 2022 [cit. 2022-04-20]. ISBN 80-7169-692-7. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/klauzule-order-by-e8ea47f7-5388-460a-bec8-dcc81792d762>
- [21] ZEDNÍČEK, Jan. *SQL ADD COLUMN – Add Column To Database Table* [online]. 2019 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://biportal.cz/en/sql-add-column-add-column-to-database-table/>
- [22] *SQL Server DATEDIFF Function* [online]. 2022 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.sqlservertutorial.net/sql-server-date-functions/sql-server-datediff-function/>
- [23] *Machine learning* [online]. Microsoft, 2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-machine-learning-platform/>
- [24] MATOUŠEK, Václav. *Úvod do znalostního inženýrství, ZS 2021/22: Strojové učení* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: [https://www.kiv.zcu.cz/studies/predmety/uzi/Folie\\_ZS/Stroj\\_uceni.pdf](https://www.kiv.zcu.cz/studies/predmety/uzi/Folie_ZS/Stroj_uceni.pdf)
- [25] LACKO, Ľuboslav. *Strojové učení: S učitelem i bez něj* [online]. 2019 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.cio.cz/clanky/strojove-uceni-s-ucitelem-i-bez-nej/>
- [26] KOTSIANTIS, S. B. *Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques* [online]. Tripolis, July 16, 2007 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: [https://datajobs.com/data-science-repo/Supervised-Learning-\[SB-Kotsiantis\].pdf](https://datajobs.com/data-science-repo/Supervised-Learning-[SB-Kotsiantis].pdf)





- [27] VONDRÁK, Ivo. Neuronové sítě [online]. Ostrava: Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1994 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: [http://vondrak.cs.vsb.cz/download/Neuronove\\_site.pdf](http://vondrak.cs.vsb.cz/download/Neuronove_site.pdf)
- [28] LAGANDULA, Akshay, 2018. Perceptron: The Artificial Neuron. In: Towards Data Science [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/perceptron-the-artificial-neuron-4d8c70d5cc8d>
- [29] VOLNÁ, Eva. *Neuronové sítě* [online]. Ostrava: Ostravská Univerzita, 2013 [cit. 2022-04-10]. ISBN 978-80-7464-329-3. Dostupné z: [https://projekty.osu.cz/svp/opory/PrF\\_Volna\\_Neuronove-site.pdf](https://projekty.osu.cz/svp/opory/PrF_Volna_Neuronove-site.pdf)
- [30] STDistance (geography Data Type). Microsoft Technical documentation [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/spatial-geography/stdistance-geography-data-type?view=sql-server-ver15>
- [31] Celestial.IsSunUp Property. CoordinateSharp [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://coordinatesharp.com/Help/html/P\\_CoordinateSharp\\_Celestial\\_IsSunUp.htm](https://coordinatesharp.com/Help/html/P_CoordinateSharp_Celestial_IsSunUp.htm)
- [32] Celestial.SolarNoonProperty. CoordinateSharp [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://coordinatesharp.com/Help/html/P\\_CoordinateSharp\\_Celestial\\_SolarNoon.htm](https://coordinatesharp.com/Help/html/P_CoordinateSharp_Celestial_SolarNoon.htm)
- [33] Vytěžování znalostí z dat. FIT ČVUT COURSE PAGES [online]. [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://kam.fit.cvut.cz/bi-vzd/homeworks/deepnote-introduction.html>
- [34] BALHAR, Lumír. *Jupyter Notebook intro* [online]. PyDataCZ, 2019 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://naucese.python.cz/2021/pydata-praha-jaro/pydata/notebook/>



## **Seznam příloh tištěných**

Příloha A: Bezpečnostní analýza – zdůvodnění bariér

Příloha B: Metodický postup obsluhy

Příloha C: Skript SQL



## Seznam příloh elektronických

Příloha E: deepnote\_skript.pdf

Příloha E: program\_c.pdf

Příloha F: Skript\_SQL.pdf

Příloha G: treninkova\_data.xlsx

Příloha H: vysledky\_vystup.xlsx

Příloha I: airport\_codes.csv

Příloha J: aircraft\_types.csv

Příloha K: aoc\_eurocontrol.zip

## Příloha A: Bezpečnostní analýza – zdůvodnění bariér

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			odpovídající údržbou by se pravděpodobně závadě předešlo	existovala, ale nezabránila	jakákoliv fáze plánování letu nemohla události zabránit	nemohla mít na nehodu vliv	součástí úkonů před/při pojiždění a na okruhu je ověření brzdového systému	existovala, ale nezabránila
		1,3,4	bariera 4: Situční povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			při včasném uvědomnění si situace mohl pilot pravděpodobně přistání opakovat s ohledem na zjištěnou závadu	existovala, ale nezabránila	součástí vybavení letounu není žádný výstražný systém	nemohla mít na nehodu vliv	z rozboru nehody vyplývá, že pokusy o opožděnou nápravu situace nebyly úspěšné	nemohla mít na nehodu vliv
4	1	1,3,4	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	10
			není mi známa žádná již zmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	vlivem okolností mohl být k dispozici dostatečně dlouhý prostor pro bezpečný výjezd a vyhnout se překážkám	nevíme zda-li zafungovala		

Obrázek A. 1 Zdůvodnění bariér události 1

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celkové skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			odpovídající údržbou by se pravděpodobně závadě předešlo	existovala, ale nezabránila	Jakékoliv fáze plánování nemohla mít na událost vliv	nemohla mít na nehodu vliv	nejsou mi známe žádné předpisy nebo postupy, které mohly události zabránit	nemohla mít na nehodu vliv
		1,4	bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si mohl uvědomit, pozorovat na sobě příznaky histotoxické hypoxie a například větrat okny	existovala, ale nezabránila	součástí vybavení uvedených typů letounů není systém upozorňující na otravu oxidem uhelnatým	nemohla mít na nehodu vliv	po ztrátě vědomí již nebyla možná jakákoliv náprava	nemohla mít na nehodu vliv
1	2	1,4	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	8
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	mohlo se jednat o pouze mírnou formu otravy po dobu, která významně neovlivnila schopnosti a úsudek pilota	nevíme zda-li zafungovala		

Obrázek A. 2 Zdůvodnění bariér události 2

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			přístrojové vybavení bylo adekvátní pro zamýšlené podmínky provozu - VFR, den	nemohla mít na nehodu vliv	pilot si je povinen při plánování a předletové přípravě ověřit zda-li má k dispozici všechny nezbytné prostředky pro bezpečné provedení takového letu	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situční povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit následky nedostatečné předletové přípravy	existovala, ale nezabránila	žádné výstražné systémy na palubě let. nemohly mít na událost vliv	nemohla mít na nehodu vliv	po ztrátě vizuální kontroly již nebylo možné situaci napravit	nemohla mít na nehodu vliv
			bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	7
6	3	2,3,4	není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariéry	nemohla mít na nehodu vliv	světelné podmínky byly/ mohli být vlivem vysoké dohlednosti a fáze měsíčního cyklu nadprůměrné (mohlo se jednat pouze krátkou část letu v řádech jednotek minut po dosažení obč. soumraku +15 min.)	nevíme zda-li zafungovala		

Obrázek A. 3 Zdůvodnění bariér události 3

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			absence odpovídající údržby je hlavní podstatou této události	víme, že selhala	taktické plánování (vyjma dodržení příslušných předpisů a postupů údržby) nemohlo mít na situaci vliv	nemohla mít na nehodu vliv	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl vlastník/provozvatel nucen ke kontrole těchto záznamů příslušnými odpovědnými osobami	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situční povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
dostatečné situční povědomí o možných rizicích spojených s takovýmto počínáním by zabránilo obcházení odpovíd. údržby dané nařízením	existovala, ale nezabránila	není znám žádný výstražný systém pro takovou situaci	nemohla mít na nehodu vliv	opožděná náprava situace v uvedeném kontextu nedává smysl	nemohla mít na nehodu vliv			
4	4	3,4	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	5
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariéry	nemohla mít na nehodu vliv	není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariéry	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 4 Zdůvodnění bariér události 4

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce daného letounu nemůže svým provedením nebo povahou události zabránit nebo ji předejít	nemohla mít na nehodu vliv	pilot měl při plánování letu zvážit kombinaci rizikových okolností: malý nálet na typu (jednotky hodin), specifické letiště	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předvést seznámení s tratí, neměl dostatečný nálet pro výkon fce velitele letadla pro jednop. provoz, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit následky, jaké může toto konkrétní porušení postupů mít	nevíme zda-li zafungovala	jakýkoliv výstražný systém letounu nemá v uvedeném kontextu význam	nemohla mít na nehodu vliv	v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv
			bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry		
2	5	2,3,4	není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	terén mohl být místy svým charakterem ne naprosto nevhodný pro vynec. přistání (hory, džungle), ale například jen nevhodný (např. dostatečně široký vodní klidný tok, terén s nízkou vegetací apod.)	předpokládaná zbývající	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	7

Obrázek A. 5 Zdůvodnění bariér události 5



pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce nebo údržba daného letounu nemůže svým provedením události zabránit nebo předejít	nemohla mít na nehodu vliv	pilot je povinen v jakémkoliv druhu provozu provést předletovou přípravu v rámci, které zhodnotí aktuální a budoucí povětr. podmínky, které lze očekávat pro jakoukoliv část letu	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit následky, jaké může toto konkrétní porušení postupů mít	předpokládaná neúspěšná	součástí vybavení uvedených typy letounů není jakýkoliv systém (např. meteo radar) upozorňující na nebezp. met. jevy	nemohla mít na nehodu vliv	při náhlém zhoršení podmínek již za daných okolností nebyla možná žádná náprava situace (vč. prov. bezp. přistání)	nemohla mít na nehodu vliv
6	6	2,3	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	5
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 6 Zdůvodnění bariér události 6

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce daného letounu nemůže svým provedením nebo povahou události zabránit nebo ji předejít	nemohla mít na nehodu vliv	pilot si je povinen v jakémkoliv druhu provozu ověřit zda-li má k dispozici všechny nezbytné nástroje pro bezpečné provedení letu	existovala, ale nezabránila	pilot vědomě překročil práva jež mu dávala jeho kvalifikace. Vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit následky, jaké může toto konkrétní porušení postupů mít	známá coby neúspěšná	jakýkoliv výstražný systém letounu nemá v uvedeném kontextu význam	nemohla mít na nehodu vliv	v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv
1	7	2,3	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	5
			v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv	v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 7 Zdůvodnění bariér události 7

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce daného letounu nemůže svým provedením zabránit přetížení	nemohla mít na nehodu vliv	Pilot si je povinen v jakémkoliv druhu provozu ověřit zda-li splňuje požadavky na centráž, vyvážení a max. vzlet hmot.	existovala, ale nezabránila	Vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
2,3	8	2,3,4	bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			Pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit následky, jaké může toto konkrétní porušení postupů mít	existovala, ale nezabránila	součástí vybavení uvedených typů letounů není jakýkoliv systém upozorňující na překročení max. vzlet. Hmot.	nemohla mít na nehodu vliv	Po okamžiku rozletu pilot již nemohl ovlivnit přetížení letounu (vyjma např. vyhození zavazadel, vylétání přeb. paliva)	nemohla mít na nehodu vliv
2,3	8	2,3,4	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	7
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	letoun mohl být přetížen pouze mírně za hranou pov. Limitů	víme, že selhala		

Obrázek A. 8 Zdůvodnění bariér události 8

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			výkony a omezení pro daný letoun byly v souladu s hodnotami uvedenými v letové příručce	nemohla mít na nehodu vliv	pilot si je povinen v jakémkoliv druhu provozu ověřit zda-li splňuje požadavky na výkonnost vzhledem k aktuálním podmínkám pro danou oblast provozu	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit jaké může mít jeho jednání dopad	víme, že selhala	součástí vybavení uvedených typů letounů není žádný systém, který by mohl mít na nehodu vliv	nemohla mít na nehodu vliv	vzhledem k povaze situace pilot nemohl napravit, odvrátit nastálé nebezpečí	nemohla mít na nehodu vliv
3	9	2,3	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	5
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 9 Zdůvodnění bariér události 9

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			letoun splňoval podmínky letové způsobilosti a byl adekvátně vybaven pro daný druh provozu	existovala a zabránila	piloti provedli pravděpodobně dostatečnou předletovou přípravu a plánování letu	existovala a zabránila	posádka byla tvořena obchodními piloty přeškolenými na daný typ	existovala a zabránila
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			piloti měli pravděpodobně dobré situační povědomí o situacích jenž nastaly nebo by mohly nastat	existovala, ale nezabránila	jakýkoliv výstražný systém letounu nemá v uvedeném kontextu význam	nemohla mít na nehodu vliv	relevantní pro posuzovanou událost	nemohla mít na nehodu vliv
5	10	1,2,3,4	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	12
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariéry	nemohla mít na nehodu vliv	v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 10 Zdůvodnění bariér události 10

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariера 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariера 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariера 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			vybavení daného letounu (pro lety VFR) nemohlo svou povahou zabránit uvedené situaci	nemohla mít na nehodu vliv	pilot si je povinen v jakémkoliv druhu provozu ověřit aktuální a očekávané podmínky meteo, které mohou být nezbytné pro provedení letu	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariера 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariера 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariера 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			dostatečné situační povědomí a včasné vyhodnocení situace by umožnilo například provedení bezp. přistání a zabránění rizikové události	existovala, ale nezabránila	výstražné systémy v uvedeném kontextu nedávají smysl	nemohla mít na nehodu vliv	opožděná náprava situace v daném kontextu nedává smysl	nemohla mít na nehodu vliv
1	11	2,3,4	bariера 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariера 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	7
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariéry	nemohla mít na nehodu vliv	není známa	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 11 Zdůvodnění bariér události 11

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariéra 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariéra 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariéra 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce daného letounu nemůže svým provedením zabránit provedeným chybám pilota	nemohla mít na nehodu vliv	pilot si je povinen v jakémkoliv druhu provozu ověřit zda-li splňuje požadavky na centráž, vyvážení a max. vzlet hmot.	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariéra 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariéra 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariéra 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si měl být vědom rizik, která obnáší let na letišti se specifickými podmínkami s novým typem letounu bez předchozích zkušeností	existovala, ale nezabránila	žádný účinný výstražný systém mi není znám	nemohla mít na nehodu vliv	náprava situace v uvedeném kontextu nedává smysl	nemohla mít na nehodu vliv
2	12	2,3,4,8	bariéra 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariéra 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	8
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	k vyjetí letounu z dráhy došlo již při minimální rychlosti	existovala, ale nezabránila		

Obrázek A. 12 Zdůvodnění bariér události 12

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce daného typu letounu nemůže svým provedením zabránit překročení max. pov. násobků, obálky obrátů	nemohla mít na nehodu vliv	dostatečným plánováním, předletovou přípravou se pravděpodobně bylo možné vyhnout zhoršeným podmínkám meteo a ztrátě situačního povědomí	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit odpovídající předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	nevíme zda-li by zafungovala
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			dostatečné zkušenosti by pravděpodobně zabránily stavu vedoucímu k překročení povol. násobků, obálky obrátů	existovala, ale nezabránila	není mi znám výstražný systém, který by v tomto případě mohl události zabránit	nemohla mít na nehodu vliv	opožděná náprava v kontextu ztráty kontroly nad řízením nedává smysl	nemohla mít na nehodu vliv
1	13	2,4,8	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	5
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	poškození draku letounu, vlivem překročení pov. násobků nebylo natolik závažné aby neumožnilo bezp. přistání	nevíme zda-li zafungovala		

Obrázek A. 13 Zdůvodnění bariér události 13



pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			konstrukce daného letounu nemůže svým provedením nebo povahou události zabránit nebo ji předejít	nemohla mít na nehodu vliv	pilot je povinen v jakémkoliv druhu provozu provést předletovou přípravu v rámci, které zhodnotí aktuální a budoucí povětr. podmínky, které lze očekávat pro jakoukoliv část letu	existovala, ale nezabránila	vzhledem k absenci organizační struktury leg. let. přepravce nebyl pilot nucen předložit řádnou předl. přípravu, nebyl zde nikdo, kdo by ho upozornil/zastavil	existovala, ale nezabránila
			bariera 4: Situční povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si zřejmě nebyl schopen uvědomit následky, jaké může toto konkrétní porušení postupů mít a let nezrušil	nevíme zda-li zafungovala	jakýkoliv výstražný systém letounu nemá v uvedeném kontextu význam	nemohla mít na nehodu vliv	pilot mohl například opožděně vyhodnotit situaci a přerušit vzlet nebo pro přistání vybrat jiné letiště s lepšími podmínkami meteo	existovala, ale nezabránila
3	14	2,3,6	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	6
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 14 Zdůvodnění bariér události 14

pořadové číslo analyzované nehody ke které se událost vztahuje (viz kap. 2.1)	pořadové. číslo rizikové události (viz. tab. analýzy rizik)	čísla bariér, které byly vyhodnoceny jako účinné a jsou zahrnuty do sumy celk. skóre	bariera 1: konstrukce letadla	účinnost bariéry	bariera 2: Taktické plánování	účinnost bariéry	bariera 3: Předpisy, postupy	účinnost bariéry
			letadlo bylo vybaveno pouze jedním motorem. Jiná konstrukce letadla, (vícemotorový letoun) by sice mohla předejít nebo zmírnit následek vysazení či závady motoru, pro tuto událost s konkrétním použitým letounem však není relevantní)	nemohla mít na nehodu vliv	pilot měl v rámci předletové přípravy určit vhodnou trať letu v jejichž blízkosti jsou vhodné plochy pro vynucené přistání vzhledem k třídě letadla	existovala a nezabránila	pilot měl postupovat v souladu s předpisy specifikující min. výšky letu, požadavky na výkonnost a oblast provozu	existovala a nezabránila
			bariera 4: Situační povědomí a opatření	účinnost bariéry	bariera 5: výstražné systémy	účinnost bariéry	bariera 6: Opožděná náprava situace	účinnost bariéry
			pilot si pravděpodobně uvědomoval rizika spojená s jeho jednáním, ale nebral na ně zřetel	nevíme zda-li zafungovala	jakýkoliv výstražný systém letounu nemá v uvedeném kontextu význam	nemohla mít na nehodu vliv	relevantní pro posuzovanou událost	nemohla mít na nehodu vliv
6	15	2,3	bariera 7: Ochrana	účinnost bariéry	bariera 8: Událost s nízkou energií	účinnost bariéry	celková suma odpovídajícího skóre použitelných bariér	3
			není mi známa žádná již nezmíněná forma ochrany, bariery	nemohla mít na nehodu vliv	v uvedeném kontextu nemá tato bariéra význam	nemohla mít na nehodu vliv		

Obrázek A. 15 Zdůvodnění bariér události 15

— „A“ znamená nulovou pravděpodobnost nehody
— „E“ znamená nehodu zahrnující méně závažná a vážná zranění (nikoli ovlivňující život) nebo menší škodu na letadle
— „I“ znamená nehodu zahrnující jeden případ úmrtí, zranění ovlivňující život nebo nehodu se závažným poškozením letadla
— „M“ znamená závažnou nehodu s omezeným počtem úmrtí, zranění ovlivňujících život nebo zničením letadla
— „S“ znamená vážnou nehodu, při níž může dojít k případům úmrtí a zranění
— „X“ znamená extrémní katastrofickou nehodu, při níž může dojít k velkému počtu úmrtí a zranění

Obrázek A. 16 Vysvětlení zkratk skóre ERCS [Nařízení komise EU č.2020/2034]

Barva	Skóre ERCS	Význam
ČERVENÁ	X0, X1, X2, S0, S1, S2, M0, M1, I0	Vysoké riziko. Události s nejvyšším rizikem.
ŽLUTÁ	X3, X4, S3, S4, M2, M3, I1, I2, E0, E1	Zvýšené riziko. Události se středním rizikem.
ZELENÁ	X5 až X9, S5 až S9, M4 až M9, I3 až I9, E2 až E9.	Události s nízkým rizikem.

Obrázek A. 17 Skóre závažnosti [Nařízení komise EU č.2020/2034]

ZÁVAŽNOST		KLASIFIKACE (skóre ERCS)															
Důsledek potenciální nehody	Skóre	Čeká se na posouzení rizika															
Extrémně katastrofická nehoda s potenciálně vysokým počtem případů úmrtí (100+)	X	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	X0						
Vážná nehoda, při níž může dojít k úmrtím a zraněním (20–100)	S	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0						
Závažná nehoda s omezeným počtem případů úmrtí (2–19), zranění ovlivňujících život nebo zničením letadla	M	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	M0						
Nehoda zahrnující jeden případ úmrtí, zranění ovlivňující život nebo závažné poškození letadla	I	I9	I8	I7	I6	I5	I4	I3	I2	I1	I0						
Nehoda zahrnující méně závažná a vážná zranění (nikoli ovlivňující život) nebo menší škodu na letadle	E	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0						
Nulová pravděpodobnost nehody	A	Žádné důsledky pro bezpečnost															
Odpovídající skóre bariéry		9	8	7	6	5	4	3	2	1	0						
Součet vah bariér		17-18	15-16	13-14	11-12	9-10	7-8	5-6	3-4	1-2	0						
PRAVDĚPODOBNOST DŮSLEDKU POTENCIÁLNÍ NEHODY																	

Obrázek A. 18 Matice ERCS [Nařízení komise EU č.2020/2034]

Číslo bariéry	Bariéra	Váha bariéry
1	„Konstrukce letadla, vybavení a infrastruktury“ zahrnuje údržbu a korekci, provozní podporu, prevenci problémů souvisejících s technickými faktory, které by mohly vést k nehodě.	5
2	„Taktické plánování“ zahrnuje organizační a individuální plánování před letem nebo jinou provozní činností, která podporuje omezení příčin a původců nehod.	2
3	„Předpisy, postupy a procesy“ zahrnují účinné, srozumitelné a dostupné předpisy, postupy a procesy, které jsou dodržovány (s výjimkou použití postupů pro obnovení bariér).	3
4	„Situační povědomí a opatření“ zahrnuje lidskou ostražitost vůči provozním hrozbám, která zajišťuje identifikaci provozních rizik a účinná opatření k prevenci nehody.	2
5	„Fungování výstražných systémů a opatření“, které by mohly zabránit nehodě a které jsou vhodné pro daný účel, funkční, v provozu a které jsou dodržovány.	3
6	„Opožděná náprava situace, kdy mohlo dojít k nehodě“	1
7	„Ochrana“, pokud došlo k události, jsou její důsledky zmírněny, nebo její eskalaci brání nehmotné bariéry či předvídavost.	1
8	„Událost s nízkou energií“ má stejné skóre jako „ochrana“, avšak pouze u nejrizikovějších faktorů s nízkou energií (poškození na zemi, vyjetí z dráhy, zranění). „Nepoužitelná“ pro všechny ostatní nejrizikovější faktory.	1

Obrázek A. 19 Popis bariér [Nařízení komise EU č.2020/2034]

Skóre ERCS	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	X0
Odpovídající číselná hodnota	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000	1000000
Skóre ERCS	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0
Odpovídající číselná hodnota	0,0005	0,005	0,05	0,5	5	50	500	5000	50000	500000
Skóre ERCS	M9	M8	M7	M6	M5	M4	M3	M2	M1	M0
Odpovídající číselná hodnota	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000
Skóre ERCS	I9	I8	I7	I6	I5	I4	I3	I2	I1	I0
Odpovídající číselná hodnota	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000
Skóre ERCS	E9	E8	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0
Odpovídající číselná hodnota	0,000001	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000

Obrázek A. 20 Matice ERCS číselné skóre [Nařízení komise EU č.2020/2034]

NEJRIZIKOVĚJŠÍ FAKTOR	KATEGORIE	SKÓRE ZÁVAŽNOSTI
Srážka ve vzduchu	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
Nezvyklá poloha letadla	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
Srážka na dráze	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
	Žádný možný případ úmrtí	E
Vyjetí z dráhy	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
	Žádný možný případ úmrtí	E
Požár, kouř a přetlak	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
Poškození na zemi	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
	Žádný možný případ úmrtí	E
Srážka s překážkou za letu	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
Srážka s terénem	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
Jiná zranění	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
	Žádný možný případ úmrtí	E
Bezpečnost	Více než 100 možných případů úmrtí	X
	Mezi 20 až 100 možnými případy úmrtí	S
	Mezi 2 až 19 možnými případy úmrtí	M
	Jeden možný případ úmrtí	I
	Žádný možný případ úmrtí	E

Obrázek A. 21 Nejrizikovější faktory [Nařízení komise EU č.2020/2034]

# Příloha B: Metodický postup obsluhy

## Metodický postup

### obsluhy interaktivního nástroje pro identifikaci podezřelých letů

Obsahem tohoto postupu je popis jednotlivých kroků nezbytných k obsluze vytvořeného nástroje. Návod provází pracovníka všemi dílčími kroky procesu od stažení dat o letovém provozu a vyhodnocení interaktivním nástrojem, až po výpis letů, které byly nástrojem označeny jako podezřelé.

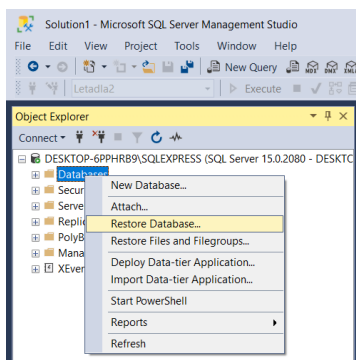
### Instalace prostředí MS SQL a následné operace

V následujících krocích 1) až 7) se budeme pohybovat v prostředí MS SQL

- 1) V prvním kroku stáhněte softwarové prostředí, které tento nástroj využívá. Jedná se o Microsoft SQL Server 2019 v edici Express. Po nainstalování tohoto prostředí nahrajte vytvořené prostředí databáze, které obsahuje jednotlivé filtry, doplňující databázové soubory a pohledy, které umožní získat požadovaný datový výstup. Vytvořené prostředí databáze lze obnovit prostřednictvím zálohy pojmenované jako letadlax.bak. Nebo ručním zkopírováním jednotlivých částí příloženého skriptu v textovém formátu (viz příloha F soubor s názvem: Skript\_SQL.pdf). Postup pro nahrání zálohy naleznete níže.

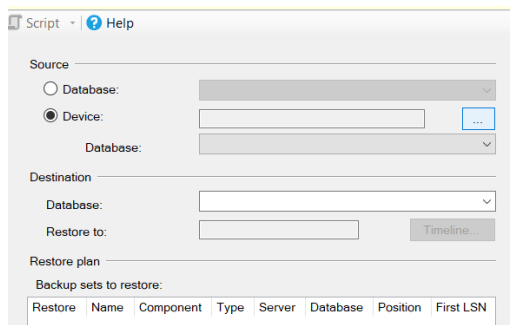
### Postup pro import vytvořeného skriptu databáze do nově nainstalovaného prostředí MS SQL

- 2) Po spuštění prostředí MS SQL klikněte v levém kontextovém menu pravým tlačítkem na ikonu Database a vyberte Restore Database.



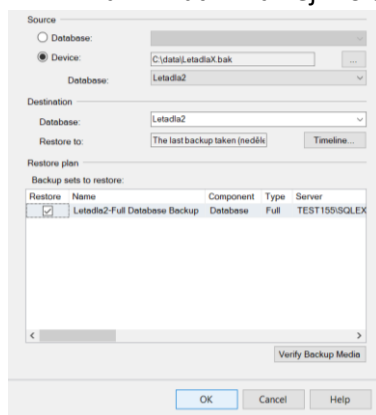
Obrázek B. 1 Postup nahrání databáze část a

- 3) Následně vyberte konkrétní databázový soubor obsahující zálohu s příponou .bak, resp. zvolte cestu k němu. Je důležité, aby byl tento soubor umístěn v hlavním adresáři, např. na disku C:.



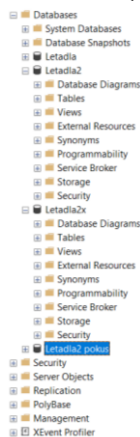
Obrázek B. 2 Postup nahrání databáze část b

- 4) Následně vyberete soubor obsahující zálohu již vytvořeného souboru databáze a kliknutím na něj zvolte úplnou cestu k jeho umístění na disku.



Obrázek B. 3 Postup nahrání databáze část c

- 5) Stisknutím „OK“ potvrdíte vybraný soubor a záloha se nahraje do prostředí MS SQL serveru.



Obrázek B. 4 Postup nahrání databáze část d

Nyní je záloha úspěšně nahraná a její ikona je patrná v adresáři pod názvem souboru zálohy.

## Stažení vstupních dat o letovém provozu a nástroj Total Commander

V krocích 6) a 7) se můžete pohybovat v libovolně zvoleném webovém prohlížeči a textovém editoru

- 6) Z webových stránek poskytovatele dat stáhněte soubory dat (datasets), které obsahují informace o pohybu jednotlivých letadel. Soubory jsou zde umístěny po 1h v daném dni.

(adresa webových stránek poskytovatele dat: <https://opensky-network.org/datasets/states>)

- 7) Abyste nemuseli stahovat každý soubor jednotlivě, je efektivnější zkopírovat odkaz na první z nich do textového souboru a pouze pozměnit, rozkopírovat datová/pořadová čísla jednotlivých souborů. Příklad je uveden v následujících řádcích. Měnící se pořadová čísla jsou vyznačena žlutě.

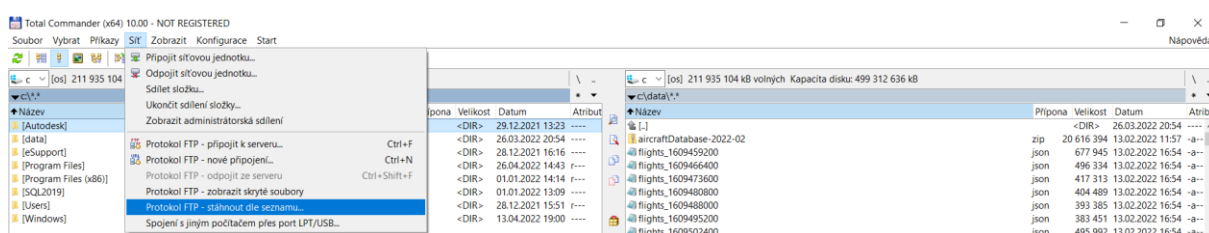
[https://opensky-network.org/datasets/states/2022-05-02/00/states\\_2022-05-02-00.csv.tar](https://opensky-network.org/datasets/states/2022-05-02/00/states_2022-05-02-00.csv.tar)

[https://opensky-network.org/datasets/states/2022-05-02/01/states\\_2022-05-02-00.csv.tar](https://opensky-network.org/datasets/states/2022-05-02/01/states_2022-05-02-00.csv.tar)

[https://opensky-network.org/datasets/states/2022-05-02/02/states\\_2022-05-02-00.csv.tar](https://opensky-network.org/datasets/states/2022-05-02/02/states_2022-05-02-00.csv.tar)

V následujících krocích 8) a 9) se pohybujte v prostředí nástroje Total Commander

- 8) Pro stažení je vhodné použít např. nástroj Total Commander, pomocí kterého můžete stáhnout všechny datové soubory, jejichž odkazy jste si připravili pro stáhnutí najednou. Klikněte na záložku Síť pravým tlačítkem myši a v kontextovém menu zvolte záložku Protokoly FTP - stáhnout do seznamu, viz obrázek prostředí níže.



Obrázek B. 5 Postup stažení dat nástrojem Total Commander

- 9) Po stažení soubory rozbalte/dekomprimujte (nástroj zpracuje přípony .tar i .zip), výsledné stažené soubory vidíte ve formátu .csv.



## Předzpracování stažených souborů dat a prostředí MS Visual Studio

V následujících dvou krocích 11) a 12) se pohybujte v prostředí Microsoft Visual studio

10) Ve chvíli, kdy máte požadované soubory již staženy, můžete přistoupit k jejich předzpracování. K předzpracování slouží program s názvem **program\_c.pdf**, který je součástí přílohy **E** této práce. K jeho spuštění potřebujete mít nainstalované prostředí Microsoft Visual Studio. V tomto prostředí otevřete již zmíněný program, či zkopírujete jeho skript v textové formě do nového okna. Výřez z prostředí Visual studia s částí zobrazeného skriptu programu je uveden na obr. P5 níže.

11) Vložte stažená data ke zpracování do tohoto programu (MS Visual Studio). Pro realizaci tohoto kroku zkopírujete cestu umístění již stažených dekomprimovaných dat a vložte ji do skriptu řádek č. 24 viz obr. P5 níže Getfiles(...). V dalším kroku určete umístění, kam se uloží již předzpracovaná data programem, adresu složky pro umístění výstupního souboru dat zadejte do řádku č. 29 Savedata (...). Program spustíte stisknutím zelené šipky Execute

```
24     foreach (var file in System.IO.Directory.GetFiles(@"i:\Michal", "states_*.csv").OrderBy(x => x))
25         // zvýšení počtu zpracovaných řádků o hodnotu vrácenou funkcí pro zpracování souboru s raw daty letového provozu
26         rows += ProcessFile(file, data);
27
28         // uložení slovníku do souboru result.csv
29         SaveData(@"c:\Temp\MichalApp\data\result.csv", data);
```

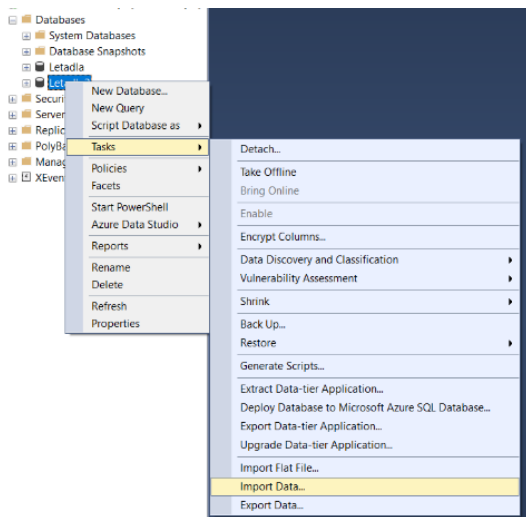
nebo klávesou F5. Program předzpracuje data a uloží je do určené složky.

Obrázek B. 6 Postup předzpracování dat v prostředí MS Visual Studio

## Import předzpracovaných dat do prostředí MS SQL

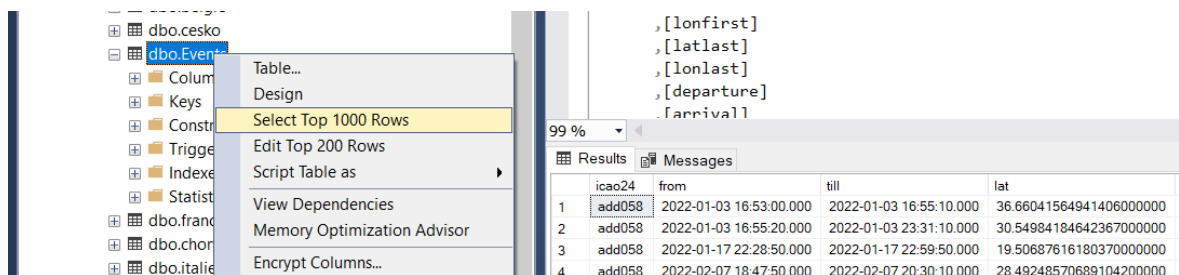
V následujících krocích 12) až 15) se pohybujte opět v prostředí MS SQL

12) Výsledný soubor naimportujte do datab. prostředí MS SQL, buď do nové nebo již existující tabulky (aktuálně označené v adresáři jako Letadla2). Tuto operaci proveďte kliknutím pravým tlačítkem na zvolenou databázi (Letadla2), dále na kartu Tasks, a v otevřeném menu zvolte Import Data.



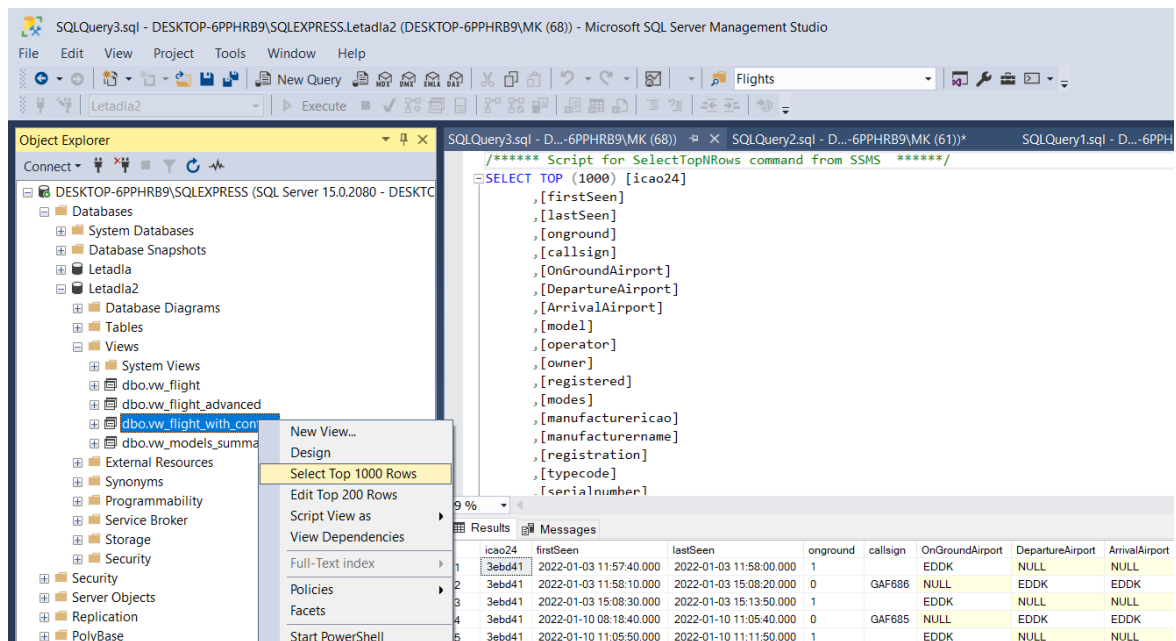
Obrázek B. 7 Postup importu předzpracovaných dat do prostředí MS SQL a

Nyní máte stažená předzpracovaná data úspěšně naimportována do databázového prostředí. V místním adresáři se naimporotována vstupní data nacházejí pod názvem dbo.events. Jejich strukturu viz obrázek níže.



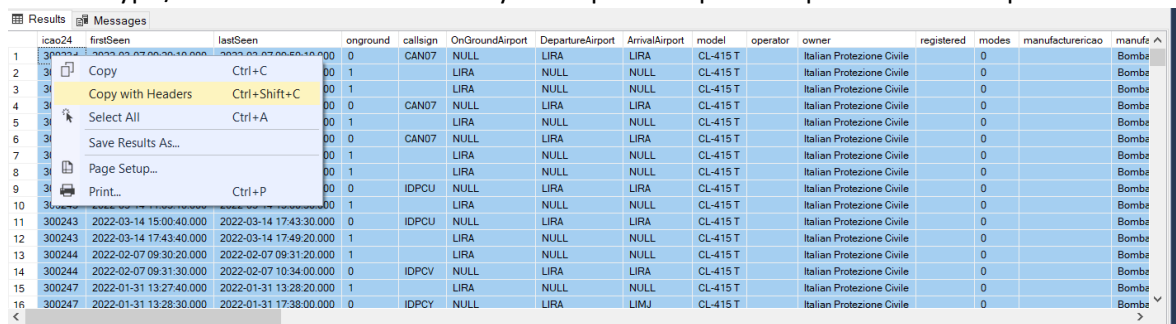
Obrázek B. 8 Zobrazení struktury naimport. testovacích dat v prostředí MS SQL

- Pro zobrazení výsledného pohledu, který obsahuje výstupní zpracovaná data (spolu s nastavenými filtry, doplněné o pomocné údaje a příznaky pro další vyhodnocení) klikněte na složku Views, podsložku dbo.vw\_flights\_with\_context (viz obr. níže) a dejte zobrazit například prvních 1000 záznamů pomocí kliknutí na záložku Select Top 1000 Rows.



Obrázek B. 9 Zobrazení struktury zpracovaných testovacích dat v prostředí MS SQL

14) Nyní máte zobrazen požadovaný datový výstup prvních 1000 záznamů. Pro výpis/zobrazení všech záznamů vymažte příkaz Top 1000 z příkazu Select Top.



Obrázek B. 10 Export zpracovaných testovacích dat z prostředí MS SQL

15) Zobrazené záznamy/celkový výstup zpracovaných testovacích dat pak stisknutím pravého tlačítka myši na ikonu „Results“ v levém horním rohu otevřeného okna vyexportujete z prostředí MS SQL jako „Copy with Headers“ a vložte např. do prostředí Excel, které je uživatelsky snazší pro další operace. V tuto chvíli máte k dispozici výstupní data o letech, které mají předpoklady pro to být il. formou provozu dopravy (na základě vhodně zvolených filtrů) a obsahují binární příznaky pro vyhodnocení pomocí strojového učení.

## Úprava formy dat v prostředí Excel pro účely dalšího zpracování

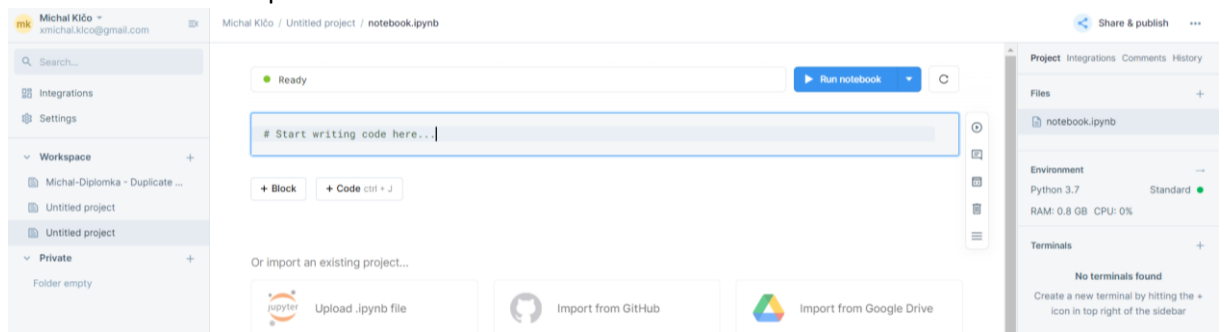
V tuto chvíli již máte data vyexportována z prostředí MS SQL tabulkového editoru Excel. Data jsou tvořena dvěma logickými celky. Prvním z nich je část obsahující informace o daném letu, jako např.: id kód odpovídá daného letadla, informace o místě a času vzletu/přistání, délku tratě apod. Druhá část/oblast dat obsahuje pouze binární informace o daných letech. Vás v tuto chvíli zajímá druhá část s informacemi binární povahy.

- 16) V předchozím kroku jste data z databázového prostředí vložili do tabulkového editoru Excel. Nyní v tabulkovém editoru Excel vyberte oblast dat, která začíná sloupcem *LineID* (pořadové číslo řádku) až po příznak *HasReturnFlight* a zkopírujte na samostatný list. Tato data je třeba následně vyexportovat jako soubor .csv. Prostředí Deepnote ovšem používá rozdílný systém oddělení jednotlivých buněk. Z tohoto důvodu je třeba otevřít vyexportovaný soubor .csv a provést nahrazení čárek na tečky, v dalším kroku provést nahrazení středníků na čárky. V tuto chvíli jsou již data ve formě způsobilé pro další zpracování nástrojem Deepnote.

## Vyhodnocení dat nástrojem Deepnote

V následujících krocích 17) až 24) se budete pohybovat v prostředí nástroje Deepnote

- 17) Pro další zpracování si nejprve založte účet na stránkách deepnote.com. Po úspěšném založení účtu a ověření uživatele přes emailovou adresu vyberte v levém kontextovém menu ikonu *new project* a založte tím nový projekt. Prostředí Deepnote viz obr. P10 níže.



Obrázek B. 11 Struktura prostředí Deepnote

- 18) V tuto chvíli můžete zkopírovat skript v textové podobě do okna #start writing code here nebo nahrát zálohu, importovat již existující projekt kliknutím na ikonu upload (file\_zaloha\_deepnote).ipynb.

Po importu skriptu je prostředí založeného projektu rozčleněno na jednotlivá okna, což usnadňuje orientaci v celém prostředí.

Dále budou popsány následující kroky postupu:

- 19) Nahrání tréninkových dat pro vystavění modelu neuronové sítě

- 20) Nahrání testovacích dat určených k analýze (výstupní data vyexportovaná z prostředí Excel v předchozím kroku ve formátu .csv oddělená tečkami a čárkami)
- 21) Stažení souboru s označenými výsledky, řádků (jednotlivých letů), které byly označeny jako podezřelé

Popis zmíněných kroků:

- 19) Nahrání dat pro vystavění modelu neuronové sítě provedete výběrem vytvořeného souboru dat (datasetu), který obsahuje data pro tréninkové účely vystavění modelu (u těchto dat je známo které lety - řádky jsou podezřelé tj. pozitivní a které nikoliv). Tímto souborem udáváte, resp. jeho obsahem jaké chování považujete za podezřelé a které se následně budete pokoušet identifikovat v neoznačených datech.

Pro nahrání datasetu tréninkových dat vyberte v pravém horním rohu prostředí záložku Files, tu rozklikněte a dataset nahrajte stisknutím tlačítka upload file. Název nahraného datasetu zkopírujte a vložte do okna s označením: „# data k naučení“, resp. název vložte do prostoru mezi červené uvozovky viz obr. P11 níže.

```
## Data k naučení neuronky  
path = os.path.join(os.getcwd(), 'data_train.csv')
```

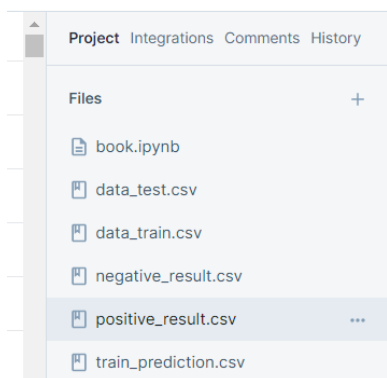
Obrázek B. 12 Okno prostředí Deepnote k nahrání tréninkových dat

- 20) Dalším krokem je nahrání dat, která chcete analyzovat. Jedná se o soubor dat s příponou .csv, který jste vytvořili v kroku 16). Data nejprve nahrajte do adresáře nástroje Deepnote analogickým způsobem jako je uvedený v kroku 19) této kapitoly. Název nahraného datasetu zkopírujte a vložte do okna s označením: „# Data testovací -bez výsledku“, resp. název vložte do prostoru mezi červené uvozovky viz obr níže.

```
# Data testovací - bez výsledku  
path = os.path.join(os.getcwd(), 'data_test.csv')
```

Obrázek B. 13 Okno prostředí Deepnote k nahrání testovacích dat

- 21) V této fázi, kdy máte do prostředí nahrána všechna nezbytná data, stiskněte ikonu „Run notebook“ označený šipkou, která se nachází na samotném začátku prostředí v jeho pravé horní části. Po stisknutí šipky (tlačítka příkazu) nástroj provede vyhodnocení vložených testovacích dat. Výpis vyhodnocených výsledků, přesněji čísla řádků jednotlivých letů, které byly označeny jako podezřelé, je nyní dostupný ke stažení v pravém horním rohu ve složce File a soubor je pojmenován jako: positive\_result.csv.



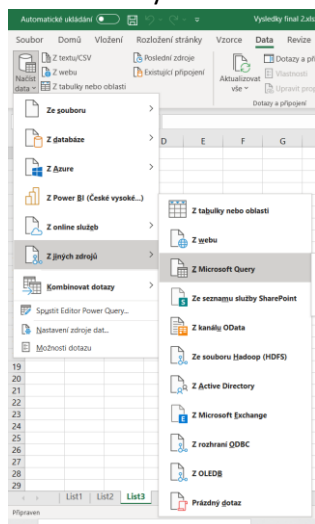
Obrázek B. 14 Kontextové menu prostředí Deepnote

## Přiřazení pozitivních výsledků k testovaným datům a prostředí Excel

V následujících bodech 22) až 28) se pohybujte v prostředí Excel

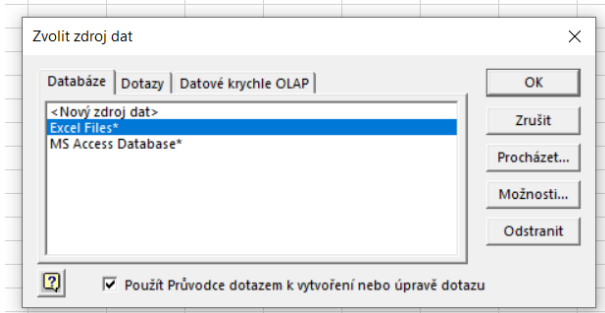
V předchozím kroku 21) jste získali výsledky pozitivně označených řádků (jednotlivých letů), tedy výpis letů, které byly vyhodnoceny jako podezřelé. V tuto chvíli je potřeba propojit čísla označených řádků se souborem dat vyexportovaných z databáze SQL, tj. jedná se o totožný soubor dat, který jste použili jako vstupní data pro vyhodnocení nástrojem Deepnote (označený jako testovací data). Cílem tohoto propojení dvou souborů je „zahození“ těch řádků, které byly označeny jako negativní (nepodezřelé) a ponechání řádků (záznamů o jednotlivých letech) označených jako podezřelé. Propojení těchto dvou souborů realizujte již v prostředí Excel. Postup k dosažení tohoto cíle je následující:

22) V prostředí Excel otevřete nový sešit, zvolte kartu DATA, zvolte záložku Načíst data a vyberte z kontextového menu možnost „Z Microsoft Query“.



Obrázek B. 15 Postup propojení dat v prostředí Excel a

23) Ve zobrazeném okně zvolte možnost „Excel Files“ a potvrďte stisknutím „OK“.



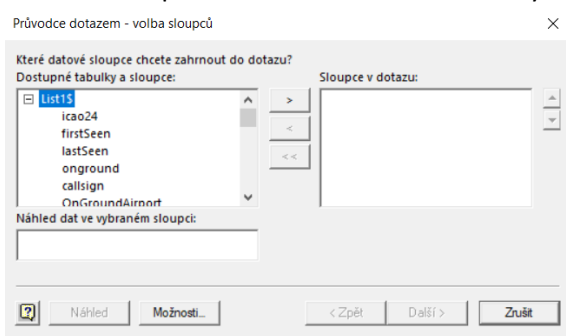
Obrázek B. 16 Postup propojení dat v prostředí Excel b

24) V následujícím okně vyberte umístění sešitu-ů, které obsahují testovací data – viz krok 15) a pozitivně označené řádky – viz krok 21).



Obrázek B. 17 Postup propojení dat v prostředí Excel c

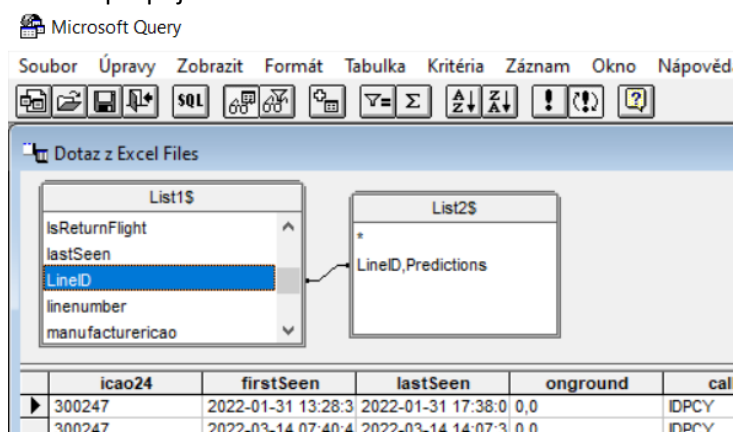
25) Po vybrání zdrojového souboru dat se Vám zobrazí další okno, ve kterém máte možnost zvolit, které sloupce z vybraného souboru dat si přejete naimportovat. Můžete zvolit všechny dostupné kliknutím na tlačítko >.



Obrázek B. 18 Postup propojení dat v prostředí Excel d

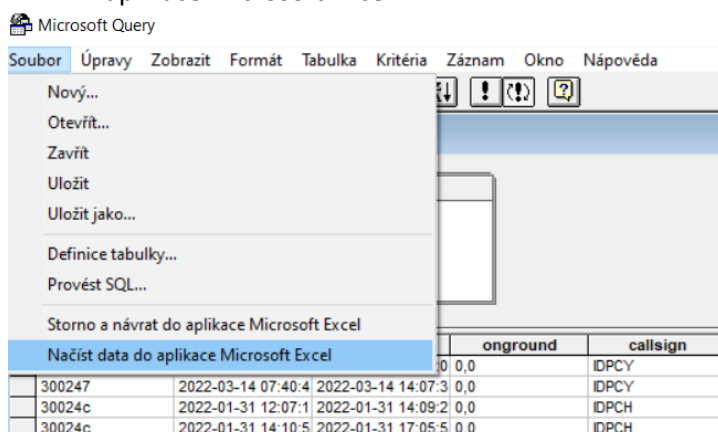
26) Následně určíte, podle jakého společného identifikátoru budou data propojena. V tomto případě se jedná o číslo řádku označené jako LineID.

Prostým potáhnutím kurzoru mezi LineID a LineID,Predictions dojde k jejich propojení.



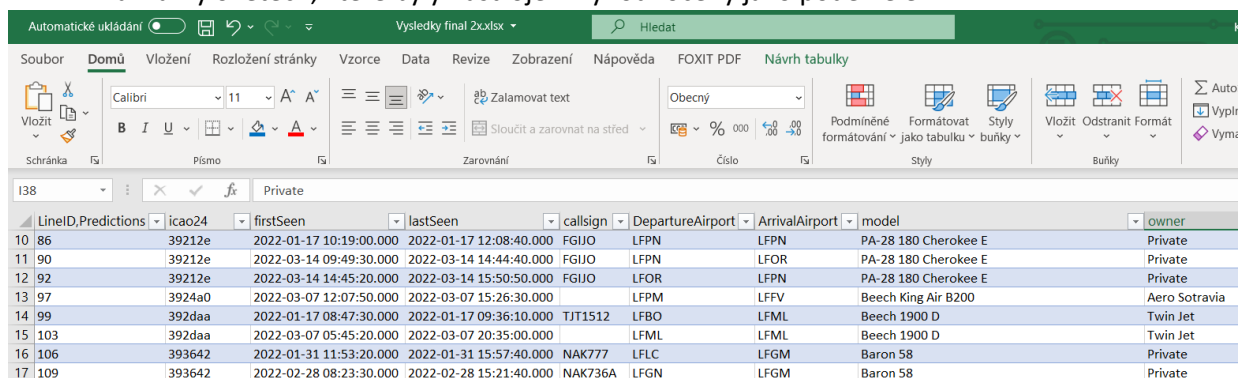
Obrázek B. 19 Postup propojení dat v prostředí Excel e

27) Nyní můžete přistoupit k načtení propojených dat do běžného sešitu prostředí Excel. Toho dosáhnete kliknutím na záložku soubor a zvolením „Načíst data do aplikace Microsoft Excel“.



Obrázek B. 20 Postup propojení dat v prostředí Excel f

28) Po tomto kroku dostanete výsledný výstup z celého interaktivního nástroje = záznamy o letech, které byly nástrojem vyhodnoceny jako podezřelé.



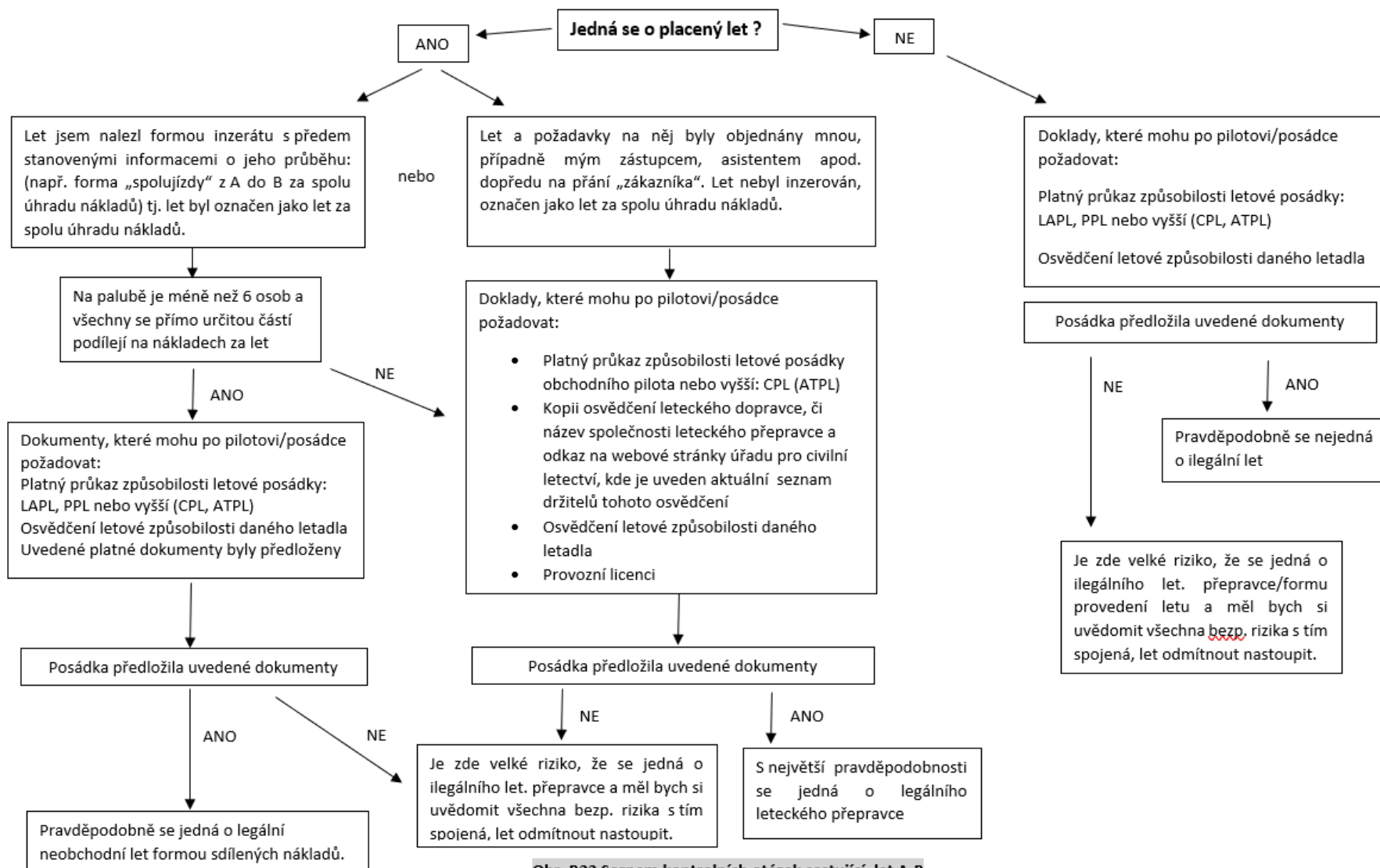
Obrázek B. 21 Finální podoba vyhodnocených testovacích dat



## **Závěr**

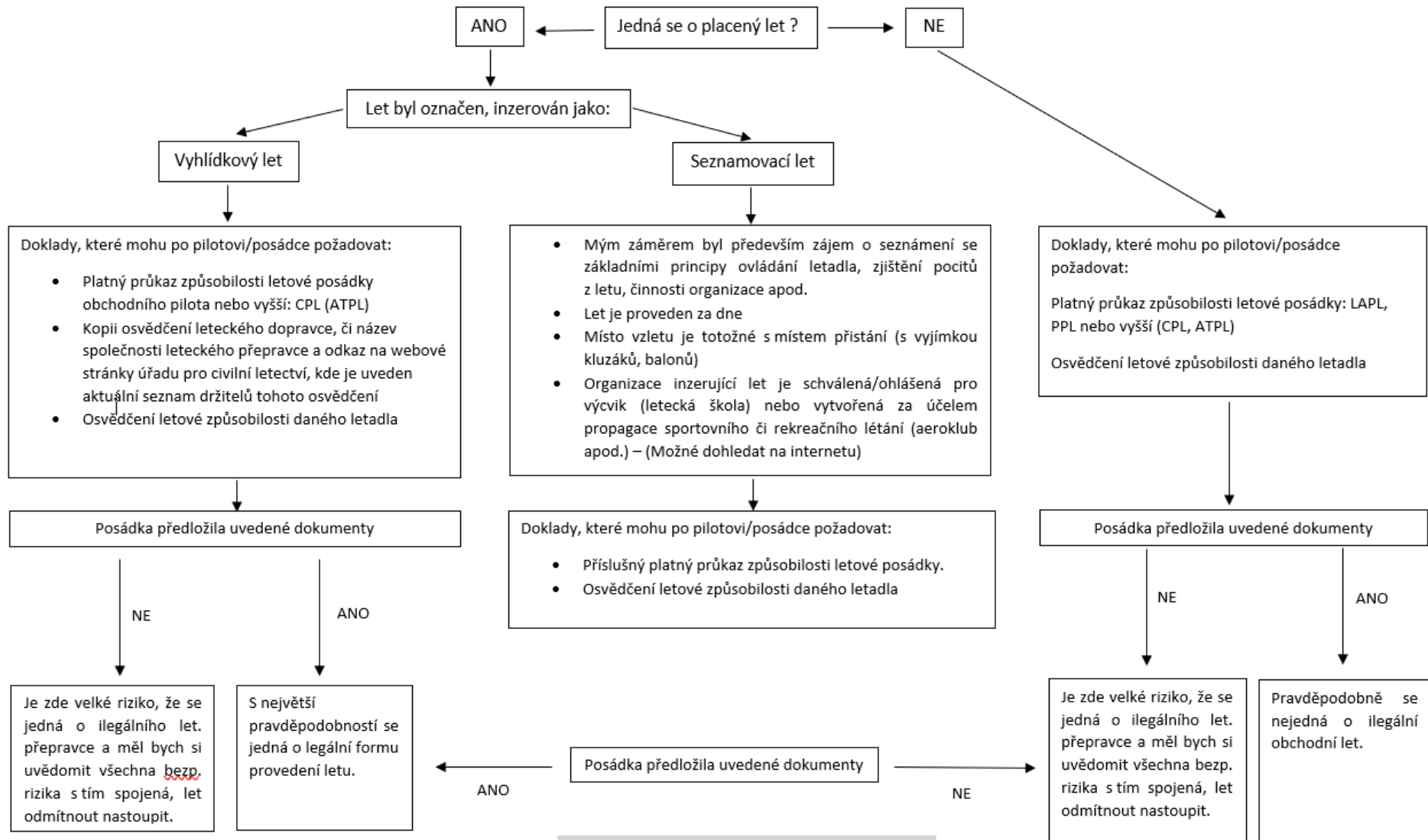
Záznamy letů, které byly označeny jako podezřelé, je v této formě – viz krok 28) již možné vyhodnotit lidským elementem (pracovníkem dozoru). I přes důkladné filtrování se zde budou nacházet lety, které zjevně nejsou svým charakterem podezřelé a bližší vyhodnocení je již možné pouze člověkem. Činnost letadel, která jsou naopak pracovníkem dozoru vyhodnocena jako podezřelá, lze podrobněji dále sledovat např. použitím služeb nástroje Flightradar24 nebo obdobného, vyhodnotit dostupné záznamy apod. Při trvajícím podezření na ilegální činnost i po bližším vyhodnocení lze přistoupit např. k zaslání požadavku provozovateli na podání vysvětlení nebo k osobní inspekci provozovatele.

1) Seznam kontrolních otázek pro cestujícího v případě letu z A do B, je můj let legální ?



Obr. B22 Seznam kontrolních otázek cestující, let A-B

2) Seznam kontrolních otázek pro cestujícího v případě letu z A do A, je můj let legální ?



Obr. B23 Seznam kontrolních otázek cestující, let A-A

## Příloha C: Skript SQL

```
CREATE TABLE [dbo].[aircraftDatabase](
    [icao24] [varchar](6) NULL,
    [registration] [varchar](13) NULL,
    [manufacturericao] [varchar](500) NULL,
    [manufacturername] [varchar](500) NULL,
    [model] [varchar](101) NULL,
    [typecode] [varchar](50) NULL,
    [serialnumber] [varchar](28) NULL,
    [linenumber] [varchar](9) NULL,
    [icaoaircrafttype] [varchar](10) NULL,
    [operator] [varchar](500) NULL,
    [operatorcallsign] [varchar](500) NULL,
    [operatoricao] [varchar](5) NULL,
    [operatoriata] [varchar](5) NULL,
    [owner] [varchar](500) NULL,
    [testreg] [varchar](6) NULL,
    [registered] [varchar](50) NULL,
    [reguntil] [varchar](50) NULL,
    [status] [varchar](max) NULL,
    [built] [datetime] NULL,
    [firstflightdate] [datetime] NULL,
    [seatconfiguration] [varchar](max) NULL,
    [engines] [varchar](500) NULL,
    [modes] [bit] NULL,
    [adsb] [bit] NULL,
    [acars] [bit] NULL,
    [notes] [varchar](500) NULL,
    [categoryDescription] [varchar](500) NULL,
    [vyrazeno] [bit] NULL
)
```

```
CREATE TABLE [dbo].[AOC](
    [Country] [varchar](2) NULL,
    [OPERATOR NAME] [nvarchar](255) NULL,
    [ICAO CODE] [nvarchar](255) NULL,
    [ICAO TYPE] [nvarchar](255) NULL,
```

```

[REGNO] [nvarchar](255) NULL,
[MODE S (HEX)] [nvarchar](255) NULL,
[APP DATE] [datetime] NULL,
[LAST MES] [datetime] NULL,
[icao24] [varchar](6) NULL
)

```

```

CREATE TABLE [dbo].[airports](
[ident] [nvarchar](50) NOT NULL,
[type] [nvarchar](50) NULL,
[name] [nvarchar](100) NULL,
[elevation_ft] [int] NULL,
[continent] [nvarchar](50) NULL,
[iso_country] [nvarchar](50) NULL,
[iso_region] [nvarchar](50) NULL,
[municipality] [nvarchar](50) NULL,
[gps_code] [nvarchar](50) NULL,
[iata_code] [nvarchar](50) NULL,
[local_code] [nvarchar](50) NULL,
[coordinates] [nvarchar](50) NULL,
[lat] [float] NULL,
[lon] [float] NULL,
[airport] [bit] NULL
)

```

```

CREATE TABLE [dbo].[Events](
[icao24] [varchar](6) NOT NULL,
[from] [datetime] NOT NULL,
[till] [datetime] NOT NULL,
[lat] [decimal](24, 20) NOT NULL,
[lon] [decimal](24, 20) NOT NULL,
[latmin] [decimal](24, 20) NULL,
[latmax] [decimal](24, 20) NULL,
[lonmin] [decimal](24, 20) NULL,
[lonmax] [decimal](24, 20) NULL,
[onground] [bit] NOT NULL,
[callsign] [varchar](8) NULL,
[ident] [varchar](8) NULL,
[latfirst] [decimal](24, 20) NULL,
[lonfirst] [decimal](24, 20) NULL,
[latlast] [decimal](24, 20) NULL,
)

```

```

[lonlast] [decimal](24, 20) NULL,
[departure] [varchar](8) NULL,
[arrival] [varchar](8) NULL,
[byday] [int] NULL,
[bynight] [int] NULL,
[bymorning] [int] NULL,
[byafternoon] [int] NULL,
[distance] [decimal](24, 10) NULL
)

```

```
CREATE PROCEDURE dbo.UpdateAirports
```

```
/*
```

```
Podle GPS udalosti doplni identifikatory letist
```

```
*/
```

```
AS
```

```
BEGIN
```

```
-- do sloupce Events.Ident doplni identifikator letiste pobytu na zemi
```

```
UPDATE [Events]
```

```
SET Ident = (
```

```
SELECT TOP 1 ident
```

```
FROM airports
```

```
WHERE airport=1 AND [Events].lat - 1 < lat AND [Events].lat + 1 > lat AND [Events].lon - 1 < lon AND [Events].lon + 1 > lon
```

```
ORDER BY geography::Point(lat, lon, 4326).STDistance(geography::Point([Events].lat, [Events].lon, 4326))
```

```
)
```

```
WHERE OnGround = 1
```

```
-- do sloupce Events.Departure doplni identifikator letiste odletu
```

```
UPDATE [Events]
```

```
SET Departure = (
```

```
SELECT TOP 1 ident
```

```
FROM airports
```

```
WHERE airport=1 AND [Events].latfirst - 1 < lat AND [Events].latfirst + 1 > lat AND [Events].lonfirst - 1 < lon AND [Events].lonfirst + 1 >
```

```
lon
ORDER BY geography::Point(lat, lon, 4326).STDistance(geography::Point([Events].latfirst, [Events].lonfirst, 4326))
```

```
)
```

```
WHERE OnGround = 0
```

```
-- do sloupce Events.Arrival doplni identifikator letiste priletu
```

```
UPDATE [Events]
```

```

SET Arrival = (
    SELECT TOP 1 ident
    FROM airports
    WHERE airport=1 AND [Events].latlast - 1 < lat AND [Events].latlast + 1 > lat AND [Events].lonlast - 1 < lon AND [Events].lonlast + 1 > lon
    ORDER BY geography::Point(lat, lon, 4326).STDistance(geography::Point([Events].latlast, [Events].lonlast, 4326))
)
WHERE OnGround = 0

END

CREATE VIEW [dbo].[vw_flight]
/*
    zakladni pohled, který na tabulku udalosti navazuje detaily o letištích, letadlech a AOC
    - omezuje vyber podle icao24, výrobce a modelu
    - do vypisu doplňuje pocítané sloupce s binární hodnotou pro ML
*/
AS
SELECT TOP (100) PERCENT
    dbo.Events.icao24, -- identifikator stroje
    dbo.Events.[from] AS firstSeen, -- cas vzniku udalosti
    dbo.Events.till AS lastSeen, -- cas konce udalosti
    dbo.Events.onground, -- priznak pozice stroje: 0 = ve vzduchu, 1 = na zemi
    dbo.Events.callsign, -- oznaceni letu - dostupne je u nekterych zaznamu
    dbo.Events.ident AS OnGroundAirport, -- identifikator letiste kdyz je stroj na zemi
    dbo.Events.departure AS DepartureAirport, -- identifikator letiste vzletu
    dbo.Events.arrival AS ArrivalAirport, -- identifikator letiste pristani
    dbo.aircraftDatabase.model,
    dbo.aircraftDatabase.operator,
    dbo.aircraftDatabase.owner,
    dbo.aircraftDatabase.registered,
    dbo.aircraftDatabase.modes,
    dbo.aircraftDatabase.manufacturericao,
    dbo.aircraftDatabase.manufacturername,
    dbo.aircraftDatabase.registration,
    dbo.aircraftDatabase.typecode,
    dbo.aircraftDatabase.serialnumber,
    dbo.aircraftDatabase.linenummer,
    dbo.aircraftDatabase.icaoaircrafttype,
    dbo.aircraftDatabase.operatorcallsign,
    dbo.aircraftDatabase.operatoricao,
    dbo.aircraftDatabase.operatoriata,

```

```

dbo.aircraftDatabase.testreg,
dbo.aircraftDatabase.reguntil,
dbo.aircraftDatabase.status,
dbo.aircraftDatabase.built,
dbo.aircraftDatabase.firstflightdate,
dbo.aircraftDatabase.seatconfiguration,
dbo.aircraftDatabase.adsb,
dbo.aircraftDatabase.acars,
dbo.aircraftDatabase.notes,
dbo.aircraftDatabase.categoryDescription,
a1.[continent] AS ArrivalContinent,
a1.[iso_country] AS ArrivalCountry,
a2.[continent] AS DepartureContinent,
a2.[iso_country] AS DepartureCountry,
a3.[continent] AS OnGroundContinent,
a3.[iso_country] AS OnGroundCountry,
dbo.Events.distance AS Distance,
dbo.Events.byday AS ByDay,
dbo.Events.bynight AS ByNight,
dbo.Events.bymorning AS ByMorning,
dbo.Events.byafternoon AS ByAfternoon,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND dbo.Events.bynight > 0 AND dbo.Events.byday = 0
      THEN 1 ELSE 0 END AS NightFlight,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND dbo.Events.bynight = 0 AND dbo.Events.byday > 0
      THEN 1 ELSE 0 END AS DayFlight,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND a2.[iso_country] <> a1.[iso_country]
      THEN 1 ELSE 0 END AS InternationalFlight,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND dbo.Events.distance > 140000
      THEN 1 ELSE 0 END AS FlightAbove140km,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND dbo.Events.distance > 250000
      THEN 1 ELSE 0 END AS FlightAbove250km,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 1 AND DATEDIFF(HOUR, dbo.Events.[from], dbo.Events.[till]) > 2
      THEN 1 ELSE 0 END AS OnGround2Hours,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 1 AND DATEDIFF(HOUR, dbo.Events.[from], dbo.Events.[till]) > 4
      THEN 1 ELSE 0 END AS OnGround4Hours,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND dbo.Events.departure = dbo.Events.arrival
      THEN 1 ELSE 0 END AS SameAirport,
CASE WHEN dbo.Events.onground = 0 AND DATEDIFF(MINUTE, dbo.Events.[from], dbo.Events.[till]) > 30
      THEN 1 ELSE 0 END AS FlightOver30Minutes
FROM dbo.Events
LEFT JOIN dbo.aircraftDatabase

```

-- oznaceni kontinentu pristani  
-- oznaceni zeme pristani  
-- oznaceni kontinentu vzletu  
-- oznaceni zeme vzletu  
-- oznaceni kontinentu kdyz je na zemi  
-- oznaceni zeme, kdyz je na zemi  
-- prekonana vzdalenost, je dostupna i pro pohyby na zemi  
-- pocet intervalu, po ktere probihala udalost za dne mistiho casu  
-- pocet intervalu, po ktere probihala udalost v noci mistiho casu  
-- pocet intervalu, po ktere probihala udalost dopoledne mistiho casu  
-- pocet intervalu, po ktere probihala udalost odpoledne mistiho casu  
-- priznak nocniho letu: 1 = let probihal alespon castecne v noci mistiho casu  
-- priznak denniho letu: 1 = let probihal alespon castecne za dne mistiho casu  
-- priznak kezinarnodniho letu: 1 = zeme vzletu a pristani je jina  
-- priznak delky letu: 1 = delka letu je vetsi nez 140 km  
-- priznak delky letu: 1 = delka letu je vetsi nez 250 km  
-- priznak trvani pobytu na zemi: 1 = doba na zemi je vetsi nez 2 hodiny  
-- priznak trvani pobytu na zemi: 1 = doba na zemi je vetsi nez 4 hodiny  
-- priznak okruzniho letu: 1 = stejne letiste vzletu i pristani  
-- priznak trvani doby letu: 1 = doba letu je vetsi nez 30 minut  
-- tabulka letadel



```

        ON dbo.Events.icao24 = dbo.aircraftDatabase.icao24
LEFT JOIN [dbo].[airports] a1                                -- tabulka letist
        ON dbo.Events.arrival = a1.[ident]
LEFT JOIN [dbo].[airports] a2
        ON dbo.Events.departure = a2.[ident]
LEFT JOIN [dbo].[airports] a3
        ON dbo.Events.ident = a3.[ident]
LEFT JOIN [dbo].[AOC]                                        -- tabulka AOC
        ON dbo.Events.icao24 = dbo.AOC.icao24
WHERE
-- filtr podle icao24
(dbo.Events.icao24 LIKE '49D%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '440%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '44%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '50%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '39%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '3E%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '3C%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '3D%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '300%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '48%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '505%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '4B%'
 OR dbo.Events.icao24 LIKE '40%'
)
AND
-- filtr podle vyrobce
(dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Pilatus%'
 OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Cessna%'
 OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Piper%'
 OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Beech%'
 OR (
    -- filtr podle typu
    dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Embraer%'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> '195'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> '170'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> '190'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'A-1'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'C-99'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'Lineage 1000'
    AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'ERJ-190 Lineage 1000'

```

```

        AND dbo.aircraftDatabase.model <> '175 (long wing)'
        AND dbo.aircraftDatabase.model <> '175 (short wing)'
        AND NOT dbo.aircraftDatabase.model LIKE '%ERJ%'
        AND NOT dbo.aircraftDatabase.model LIKE '%EMB%'
        AND NOT dbo.aircraftDatabase.model LIKE '%CRJ%'
    )
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Gates learjet%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Dassault%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Sea Hawker%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Hamilton%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Gulfstream%'
    OR (
        -- filtr podle typu
        dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Bombardier%'
        AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'BD-500 CSeries CS100'
        AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'BD-500 CSeries CS300'
        AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'Regional Jet CRJ-1000'
        AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'CL-600 Regional Jet CRJ-1000'
        AND dbo.aircraftDatabase.model <> 'E-11'
    )
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Moravan%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Zlin%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%Antonov%'
    OR dbo.aircraftDatabase.manufacturername LIKE '%DE havilland%'
)
AND
-- icao24 musi byt zadano
dbo.AOC.icao24 IS NULL

CREATE VIEW [dbo].[vw_models_summary]
/*
    pohled pro ziskani hodnot letu pro jednotlivy typy letadel
*/
AS
SELECT
    f.model as Model,                -- model
    Min(f.Distance) AS MinDistance,  -- nejmensi prekonana vzdalenost
    AVG(f.Distance) AS AvgDistance,   -- prumerna prekonana vzdalenost
    Max(f.Distance) AS MaxDistance,   -- nejvetsi prekonana vzdalenost
    AVG(CONVERT(float, f.distance) / DATEDIFF(SECOND, f.firstSeen, f.lastSeen))
    AS AvgSpeedIn,                  -- prumerna rychlost v m/s

```

```

AVG(CONVERT(float, f.distance) / DATEDIFF(SECOND, f.firstSeen, f.lastSeen))* 3.6
    AS AvgSpeedInKmPerHour,           -- prumerna rychlost v km/h
AVG(DATEDIFF(SECOND, f.firstSeen, f.lastSeen))
    AS AvgTimeInSecs,                -- prumerna doba letu v sekundach
AVG(CONVERT(float, DATEDIFF(SECOND, f.firstSeen, f.lastSeen))) / 3600
    AS AvgTimeInHours,               -- prumerna doba letu v hodinach
Count(*) AS Total                    -- celkovy pocet agregovanych letu konktetniho modelu
FROM
    [dbo].[vw_flight] f
WHERE f.onground = 0                 -- jen lety
    AND DATEDIFF(SECOND, f.firstSeen, f.lastSeen) > 0           -- delka letu nemuze byt 0
    AND f.distance > 0                                           -- prekonana vzdalenost nemuze byt 0
GROUP BY f.model

CREATE VIEW [dbo].[vw_flight_advanced]
/*
    rozsireni pohledu vw_flight o nové sloupce z pohledu agregovanych dat provazanych pres sloupec typ stroje
*/
AS
SELECT TOP (100) PERCENT
    f.*,                               -- vsechny sloupce z pohledu vw_flight
    s.[AvgDistance],                   -- prumerna prekonana vzalenost pro aktualni typ
    s.[AvgTimeInSecs],                 -- prumerny cas pro aktualni typ
    CASE WHEN f.onground = 0 AND f.Distance > s.AvgDistance
        THEN 1 ELSE 0 END AS DistanceAboveAvg, -- priznak prekonane vzdalenost: 1 = prekonana vzdalenost je nasdprumerna
    CASE WHEN f.onground = 0 AND DATEDIFF(SECOND, f.firstSeen, f.lastSeen) > s.AvgTimeInSecs
        THEN 1 ELSE 0 END AS TimeAboveAvg      -- priznak trvani: 1 = doba trvani je nadprumerna
FROM dbo.vw_flight f
    LEFT JOIN dbo.vw_models_summary s ON f.model = s.Model

CREATE VIEW [dbo].[vw_flight_with_context]
/*
    pohled doplnujici dalsi kontextove sloupce predchozich nebo navazujicich udalosti
*/
AS

SELECT
    *,

```

```

-- priznak podobne doby trvani letu: 1 = let je v rozmezi od 0.8 do 1.2 nasobku nejblizsio predchazejiciho nebo nasledujiciho letu
CASE WHEN f.onground = 0 AND ( (
    (SELECT TOP 1 DATEDIFF(SECOND, firstSeen, lastSeen) FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND firstSeen < f.[firstSeen] ORDER BY [firstSeen] DESC) < f.AvgTimeInSecs * 1.2
AND
    (SELECT TOP 1 DATEDIFF(SECOND, firstSeen, lastSeen) FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND firstSeen < f.[firstSeen] ORDER BY [firstSeen] DESC) > f.AvgTimeInSecs * 0.8)
OR (
    (SELECT TOP 1 DATEDIFF(SECOND, firstSeen, lastSeen) FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND lastSeen > f.lastSeen ORDER BY lastSeen) < f.AvgTimeInSecs * 1.2
AND
    (SELECT TOP 1 DATEDIFF(SECOND, firstSeen, lastSeen) FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND lastSeen > f.lastSeen ORDER BY lastSeen) > f.AvgTimeInSecs * 0.8))
THEN 1 ELSE 0 END AS SimilarFlightDuration,

-- priznak navazujicich pristani: 1 = v predchozich nebo nasledujicich 2 hodinach doslo k dalsim pristanim
CASE WHEN f.onground = 0 AND
    (SELECT COUNT(*) FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 1 AND (DATEDIFF(HOUR, f.lastSeen, firstSeen) < 2 OR DATEDIFF(HOUR, lastSeen, f.firstSeen) < 2)) < 2
THEN 1 ELSE 0 END AS HasEventsIn2Hours,

-- priznak zpatecniho letu: 1 = priletove letiste je stejne jako odletove letiste predchoziho letu
CASE WHEN f.onground = 0 AND
    f.DepartureAirport = (SELECT TOP 1 ArrivalAirport FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND firstSeen < f.[firstSeen] ORDER BY [firstSeen] DESC)
AND
    f.ArrivalAirport = (SELECT TOP 1 DepartureAirport FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND firstSeen < f.[firstSeen] ORDER BY [firstSeen] DESC)
THEN 1 ELSE 0 END AS IsReturnFlight,

-- priznak existence zpatecniho: 1 = po tomto letu nasleduje let, který ma letiste pristani stejne jako odletove tohoto
CASE WHEN f.onground = 0 AND
    f.DepartureAirport = (SELECT TOP 1 ArrivalAirport FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND lastSeen > f.lastSeen ORDER BY lastSeen)
AND
    f.ArrivalAirport = (SELECT TOP 1 DepartureAirport FROM [dbo].[vw_flight]
WHERE icao24 = f.[icao24] AND f.onground = 0 AND lastSeen > f.lastSeen ORDER BY lastSeen)
THEN 1 ELSE 0 END AS HasReturnFlight
FROM [dbo].[vw_flight_advanced]

```

ZÁMĚRNĚ NEPOUŽITO