



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Verifikace správnosti letištních meteorologických zpráv
Verification of The Accuracy of Airport Meteorological Reports**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojkách

Studijní obor: Profesionální pilot

Vedoucí práce: Mgr. Iveta Kameníková

Jan Marek

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jan Marek

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Verifikace správnosti letištních meteorologických zpráv**

Název tématu (anglicky): Verification of The Accuracy of Airport Meteorological Reports

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem je stanovit přesnost letištních meteorologických předpovědí TAF na letištích v ČR pomocí zpráv METAR.
- Proveďte rešerši měření, získávání a vydávání letištních meteorologických zpráv.
- Analyzujte dostupná meteorologická data z vybraných letišť v ČR.
- Navrhněte metodiku pro verifikaci přesnosti meteorologické předpovědi TAF na letištích ČR.
- Zjistěte přesnost letištních meteorologických zpráv TAF pomocí meteorologických dat přímo z daných letišť.
- Stanovte závěry, proveďte diskusi a validaci dosažených výsledků.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Novotny J, Dejmal K, Repal V, Gera M, Sladek D. Assessment of TAF, METAR, and SPECI Reports Based on ICAO ANNEX 3 Regulation. Atmosphere. 2021; 12(2):138
Oxford Aviation Training, Meteorology, CAE
Letecký předpis meteorologie L3

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Iveta Kameníková**

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **7. srpna 2023**
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 letecké dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jan Marek
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 7. října 2022



Abstrakt

Tato práce se věnuje letištním meteorologickým předpovědím se zaměřením na čtyři civilní letiště v České republice (Karlovy Vary, Praha, Brno a Ostrava). Motivací k výběru tématu je kombinace zájmů o letectví a meteorologii, které vznikly při mém zahájení bezmotorového létání.

Letištními předpověďmi v České republice se řídí statisíce letadel ročně, a proto je velmi důležité udržovat jejich vysokou přesnost pro maximalizaci bezpečnosti letového provozu. Cílem této práce je stanovit přesnost letištních meteorologických předpovědí pomocí pravidelných letištních zpráv.

Úvodní rešerše je věnována měření, získávání a vydávání letištních meteorologických zpráv. Metodika použitá pro verifikaci přesnosti meteorologické předpovědi je v práci detailně popsána a vysvětlena. Analýza dosažených výsledků je uvedena v závěru práce pro vybrané zkoumané období. Všechna dílčí období jsou uvedena v kompletních výsledcích v příloze práce.

Výsledná data včetně jejich analýzy budou předána příslušným zaměstnancům Českého hydrometeorologického ústavu, od kterého byla obdržena zdrojová data. Práce obsahuje několik podnětů pro vylepšení použitého programu k syntaktické analýze a návrh na tvorbu aplikace pro automatické reporty s větší variabilitou v nastavení vyhodnocení dat.

Klíčová slova: letiště, letištní zpráva, meteorologie, Microsoft Excel, počasí, předpověď, srovnání, úspěšnost



Abstract

The subject of this thesis is an airport meteorological forecast with a primary focus on four civil airports in the Czech Republic (Karlovy Vary, Praha, Brno and Ostrava). The motivation for this topic is a combination of interests in aviation and meteorology which arose when my gliding life began.

Hundreds of thousands airplanes are using aerodrome forecasts every year. Therefore, it is very important to maintain their high accuracy to assure safe flight operations. The main goal of this thesis is assessing accuracy of the aerodrome forecasts using airport regular meteorological reports.

The initial research is devoted to the measuring, acquisition and issuing of the airport meteorological reports. The methodology used for accuracy verification of airport meteorological reports is described and explained thoroughly in the thesis. The analysis of the achieved results is presented at the end of the thesis for selected periods of research. All sub-periods are listed in the complete results in the appendix of the thesis.

The final data including their analysis will be forwarded to the relevant employees of the Czech Hydrometeorological Institute, from which the original data were received. The thesis contains several improvement suggestions on the program used for syntactic analysis and a proposal for creating an application for automatic reports with greater variability in data evaluation settings.

Keywords: airport, airport report, meteorology, Microsoft Excel, weather, forecast, comparison, success rate



Poděkování

Děkuji vedoucí práce Mgr. Ivetě Kameníkové za trpělivost, pozitivní přístup a konzultace v průběhu tvorby této práce. Děkuji také Mgr. Ondřeji Žáčkovi za velmi přínosné praktické informace k tématu práce a za četné hodiny strávené generováním potřebných dat. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Markovi za pomoc při tvorbě databáze.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Verifikace správnosti letištních meteorologických zpráv vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské 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).

V Praze dne 6. srpna 2023

.....

Podpis



Obsah

Úvod	11
1 Teoretické základy práce	12
1.1 Letištní zpráva METAR	12
1.1.1 Systémové vybavení letišť	14
1.2 Letištní předpovědi TAF	15
1.2.1 Skupiny změn a skupiny pravděpodobnosti	15
1.3 Zkoumané meteorologické prvky a jejich měření na stanicích ČHMÚ	16
1.3.1 Přízemní vítr a jeho měření	17
1.3.2 Dohlednost a jeho měření	18
1.3.3 Srážky a jejich měření	19
1.3.4 Oblačnost a její měření	20
1.4 Shrnutí kapitoly	21
2 Metodika verifikace předpovědi TAF	22
2.1 Zdrojová data	23
2.2 Program pro dlouhodobé vyhodnocení předpovědí TAF	23
2.3 Nevyhovující aspekty programu a jejich řešení	24
2.4 Tvorba databáze	26
2.5 Metodika vyhodnocení prvků předpovědi	28
2.5.1 Směr větru	28
2.5.2 Rychlost větru	30
2.5.3 Dohlednost	33
2.5.4 Srážky	35
2.5.5 Množství oblačnosti	36
2.5.6 Výška oblačnosti	38
2.6 Shrnutí kapitoly	40
3 Presentace výsledků	41
3.1 Výsledky pro rok 2022	41



3.1.1	Výsledky pro směr větru	42
3.1.2	Výsledky pro rychlost větru	44
3.1.3	Výsledky pro dohlednost	47
3.1.4	Výsledky pro srážky	49
3.1.5	Výsledky pro množství oblačnosti	51
3.1.6	Výsledky pro výšku oblačnosti	54
3.2	Korelace	56
3.3	Předpovědi v průběhu dne	61
3.4	Shrnutí kapitoly	62
4	Diskuze výsledků	63
5	Závěr	66
	Seznam použité literatury	67
	Přílohy	69
A	Systémy meteorologických stanic ČHMÚ	69



Seznam obrázků

3.1	Graf úspěšnosti předpovědí směru větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	42
3.2	Graf úspěšnosti předpovědí rychlosti větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	45
3.3	Graf úspěšnosti předpovědí dohlednosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	47
3.4	Graf úspěšnosti předpovědí srážek za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	49
3.5	Graf úspěšnosti předpovědí množství oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	51
3.6	Graf úspěšnosti předpovědí množství oblačnosti pod a nad 1 500 ft za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	52
3.7	Graf úspěšnosti předpovědí výšky oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	54
3.8	Grafy úspěšností předpovědí zkoumaných prvků předpovědí za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	61
A.1	Větroměrný systém řady WA15 a WA25 používaný na stanicích ČHMÚ	69
A.2	Ultrazvukové měření větru řady WMT700 používaný na stanicích ČHMÚ	69
A.3	Automatický člunkový srážkoměr MR3H-F používaný na stanicích ČHMÚ	70
A.4	Váhový srážkoměr MRW500 používaný na stanicích ČHMÚ	70
A.5	Detektor stavu počasí PWD22 používaný na stanicích ČHMÚ	71
A.6	Ceilometr CT25K používaný na stanicích ČHMÚ	71
A.7	Ceilometr CL31 používaný na stanicích ČHMÚ	72



Seznam tabulek

1.1	Tabulka požadavků na přesnost meteorologických měření a pozorování	13
2.1	Požadavky na přesnost předpovědí dle předpisu L3 [3]	22
2.2	Příklad rozptylů pro předpověď TAF pro směr větru	29
2.3	Příklad odchylek pro předpověď TAF pro směr větru	30
2.4	Příklad rozptylů pro 1 hodnotu TAF pro rychlost větru	31
2.5	Příklad rozptylů pro 2 hodnoty TAF pro rychlost větru	31
2.6	Příklad rozptylů pro 3 hodnoty TAF pro rychlost větru	32
2.7	Příklad odchylek pro úspěšné předpovědi TAF pro rychlost větru	32
2.8	Příklad odchylek pro neúspěšné předpovědi TAF pro rychlost větru	33
2.9	Příklad rozptylů předpovědi TAF pro dohlednost	34
2.10	Příklad odchylek předpovědi TAF pro dohlednost	35
2.11	Příklad rozptylů předpovědi TAF pro srážky	35
2.12	Příklad odchylek předpovědi TAF pro srážky	36
2.13	Kombinace úspěšných předpovědí TAF a zpráv METAR	37
2.14	Počet možných variant pokrytí oblačnosti pro všechny kombinace	38
2.15	Příklad rozptylů předpovědi TAF pro výšku oblačnosti	39
2.16	Příklad odchylek předpovědi TAF pro výšku oblačnosti	40
3.1	Tabulka úspěšnosti jednotlivých prvků za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	41
3.2	Tabulka úspěšností směru větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	43
3.3	Tabulka průměrného směru větru v průběhu roku 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	44
3.4	Tabulka úspěšností rychlosti větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	46
3.5	Tabulka úspěšností dohlednosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	48
3.6	Tabulka úspěšností srážek za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)	50



3.7	Tabulka úspěšností množství oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT)	53
3.8	Tabulka úspěšností výšky oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT)	55
3.9	Tabulka míry korelace a jejího barevného škálování	56
3.10	Tabulka korelace úspěšnosti v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)	57
3.11	Tabulka korelace rozptylů v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)	57
3.12	Tabulka korelace hodnot v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)	58
3.13	Tabulka korelace odchylek v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)	58
3.14	Tabulka korelace úspěšnosti v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT)	59
3.15	Tabulka korelace rozptylů v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT)	59
3.16	Tabulka korelace hodnot v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT)	60
3.17	Tabulka korelace odchylek v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT)	60



Seznam symbolů a zkratek

AMD	Amended (opravený)
AWOS	Automatic Weather Observation Radar (automatizovaný systém pozorování počasí)
BECMG	becoming (započne)
BKN	Broken (oblačno)
CALM	bezvětří
CAVOK	Clouds And Visibility OK (počasí příznivé pro letecký provoz)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
Do	Dohlednost
FEW	few (skoro jasno)
FIR	Flight Information Region (letová informační oblast)
FL	Flight Level (letová hladina)
FM	from (od)
ft	feet (stopy)
IMC	Instrument Meteorological Conditions (podmínky pro let podle přístrojů)
ICAO	International Civil Aviation Organisation (Mezinárodní organizace pro civilní letectví)
KT	knots (uzly)
KM	kilometry
LKCS	Jihočeské letiště České Budějovice
LKCV	Letiště Čáslav
LKKB	Letiště Praha-Kbely
LKKU	Letiště Kunovice
LKKV	Letiště Karlovy Vary
LKMT	Letiště Leoše Janáčka Ostrava
LKNA	Letiště Náměšť
LKPD	Letiště Pardubice
LKPR	Letiště Václava Havla Praha
LKTB	Letiště Brno-Tuřany
LKVO	Letiště Praha/Vodochody



METAR	Meteorological Report (zpráva letecká meteorologická pravidelná)
M	metry
MN	množství oblačnosti
NCD	No Clouds Detected (žádná detekovaná oblačnost)
OVC	Overcast (zataženo)
PROB	Probability (pravděpodobnost)
RY	rychlost větru
SCT	Scattered (polojasno)
SKC	Sky Clear (jasno)
SM	směr větru
SPECI	Special Report (zpráva letecká meteorologická mimořádná)
SR	srážky
TAF	Terminal Aerodrome Forecast (předpověď počasí letištní)
TEMPO	Temporary (dočasný)
UTC	Universal Time Coordinated (čas světový koordinovaný)
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad generála Josefa Churavého
VMC	Visual Meteorological Conditions (podmínky pro let za viditelnosti)
VRB	Variable (vítr proměnlivý)
VV	Vertical Visibility (vertikální dohlednost)
VÝ	výška oblačnosti
XLS	přípona souborů vytvořených v programu Microsoft Excel



Úvod

Počasí je velmi nevyzpytatelný a těžko předvídatelný element v letectví. Tento element má velice zásadní roli v průběhu celého letu. Abychom zajistili maximální bezpečnost cestujících během letu, je důležité vědět, jaké počasí můžeme očekávat. Důkladná a přesná informovanost značně snižuje míru rizika spojenou s neočekávaným stavem počasí. Přesné informace o nadcházejícím počasí nám zajistí přesná předpověď počasí. Počasí je ovšem tak moc proměnlivé, že není reálné vytvořit perfektní předpověď, ačkoliv se za poslední desetiletí přesnost předpovědí velice zlepšila. Předpovědi počasí budou mít vždy určité nepřesnosti a v této práci bude rozebráno, jak velké tyto nepřesnosti jsou.

Zkoumána jsou čtyři civilní letiště v České republice, která jsou v kompetenci Českého hydrometeorologického ústavu. Letištní předpověď TAF je porovnávána se skutečnou hodnotou z meteorologické pravidelné zprávy METAR. Tento styl komparační analýzy je jedním z nejvhodnějších způsobů, jelikož jsou využívány hodnoty naměřené přímo na daných letištích. Předpovědi TAF jsou vydávány na spoustu hodin dopředu, a proto je logické, že nebudou stoprocentně odpovídat realitě. Míra odchylky předpovědi od reálné hodnoty je sledována v aktuálním čase. Při odchylce překračující vymezená kritéria je následně třeba předpověď opravit a vydat TAF AMD (amended, neboli opravený). Není však běžným zvykem vyhodnocovat pravidelně předpovědi TAF z dlouhodobého hlediska. Řízení letového provozu České republiky vyžaduje od Českého hydrometeorologického ústavu určitou zpětnou vazbu o tom, jaká je míra přesnosti předpovědí TAF. Existuje způsob, jak se relativně rychle lze dostat pomocí určitého programu ke zpracovaným úspěšnostem předpovědí. Tento způsob má však spoustu nedostatků a výsledek, leč uspokojivý může být úplně mimo realitu. Je proto důležité komplexně tato data zpracovat tak, aby bylo zohledňováno/eliminováno co nejvíce ovlivňujících faktorů.

Cílem práce je tedy navrhnout vhodnou metodiku pro komparační analýzu předpovědí TAF a zpráv METAR v rámci verifikace jejich správnosti. Přesnost předpovědí bude zkoumána na letišti v Karlových Varech, Praze, Brně a Ostravě. Data budou posuzována pro různé časové úseky (rok, roční období, měsíc, průběh dne) a jsou exportována za období 1.1.2022 - 31.12.2022, neboli za celý rok 2022. Provedena bude validace a analýza výsledků. V diskuzi budou rozebrány výsledky a podmínky pro zlepšení programu, či celkově vyhodnocovacího procesu.



1 Teoretické základy práce

V České republice je rozdělená odpovědnost za poskytování letištních meteorologických služeb. Odpovědností ČHMÚ je FIR Praha, což zahrnuje veškerý český vzdušný prostor (v rozlehlejších státech může být rozdělen na několik částí). Dále je odpovědností ČHMÚ letiště Praha (LKPR), Karlovy Vary (LKKV), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT.). Za meteorologické služby na letišti ve Vodochodech (LKVO) odpovídá přímo AERO Vodochody AEROSPACE a.s. Na letišti Kunovice (LKKU) je odpovědná společnost Aircraft Industries a.s. Na vojenských letištích jako Čáslav (LKCV), Kbely (LKKB), Náměštl (LKNA) nebo na letišti Pardubice (LKPD) se smíšeným provozem jsou meteorologické služby v kompetenci VGHMÚř.[1]

1.1 Letištní zpráva METAR

METAR (Meteorological Aerodrome Report) je letištní meteorologická zpráva, která je vydávána v pravidelných intervalech a zachycuje stav reálného počasí na letišti. Další zpráva zachycující reálný stav počasí na letišti je SPECI (Special reports) neboli speciální zpráva. SPECI není vydáváno pravidelně, ale pouze při významné odchylce od poslední vydané zprávy METAR. Tyto odchylky jsou přesně stanoveny v předpisu L3 Meteorologie. Jelikož se tato práce nezabývá zprávami SPECI, tak budou popsány pouze zprávy METAR, které mají velmi podobnou strukturu.

Zpráva METAR má danou strukturu, která se skládá z několika sousledných prvků, pro které se následně pouze mění jejich hodnoty. Nejprve se udává název zprávy, tedy METAR. Následuje ICAO kód letiště například LKPR. Datum a čas jsou společně v jednom kódu, kde první dvě číslice označují den v měsíci a zbylé čtyři označují hodinu a minutu vydání. Písmeno "Z" značí, že je čas v UTC. Zprávy jsou obvykle vydávány v době pozorování při 20. a 50. minutě v dané hodině. Pokud je dodáno "AUTO", tak byla zpráva vygenerována automaticky pomocí dat z automatického pozorovacího systému. [2]

Směr přízemního větru je průměr hodnot za posledních 10 minut zaokrouhlených k nejbližší desítce stupňů (zeměpisných). Pokud není stanoveno jinak, je směr vždy v uzlech. Hodnota směru a rychlosti větru je uváděna dohromady a může vypadat například takto: 24017KT. Směr větru je tedy 240° a rychlost větru 17 uzlů. Variabilní vítr je uváděn jako "VRB" a bezvětří se značí jako 00000 (CALM). Při nárazech větru je uvedeno 24017G30KT a znamená to, že je rychlost 17 kt a v nárazech až 30 kt. Nárazy jsou udávány, pokud je 10 minut před vydáním zprávy průměrná



rychlost větru o 10 kt vyšší. Dohlednost se udává ve formě 4 číslic. Například 0500 je 500 metrů a 4000 jsou 4 000 metrů. Nejvyšší udávaná hodnota je 9 999 m, což znamená 10 km a více. Pokud je dohlednost publikována jako 0000, tak to znamená, že je menší než 50 m. Množství oblačnosti je hlášeno podle počtu osmin pokrývajících oblohu. Jsou to 4 skupiny: FEW (1-2), SCT (3-4), BKN (5-7) a OVC (8). Dále může být použito SKC (jasná obloha) a VV (vertikální dohlednost následovaná číslem ve stovkách stop). Za skupinou oblačnosti následuje číslo udávající její výšku ve stovkách stop. První hlášená vrstva oblačnosti může být jakákoliv. Následující vyšší vrstva musí být SCT nebo více a ta následující musí být BKN nebo více. Případně lze ještě přidat bouřkovou oblačnost, pokud již nebyla v nižších vrstvách. Dále je hlášena dráhová dohlednost, jevy počasí, teplota, tlak, atd., ale nemají význam pro tuto práci, a proto nejsou podrobně rozebrány. [2]

Zprávy METAR musí splňovat určitou přesnost stanovenou v předpisu L3 Meteorologie. Pro každý prvek je uvedena požadovaná přesnost v tabulce 1.1. Pilot by měl tedy brát v potaz tuto možnou odchylku u jednotlivých prvků zprávy METAR. Tyto požadované přesnosti se primárně vztahují na používané přístroje pro tvorbu meteorologické zprávy o skutečném stavu počasí na letišti.

Tabulka 1.1: Tabulka požadavků na přesnost meteorologických měření a pozorování. Kt (uzly), ft (stopy), m (metry) a hPa (hektopascal) [3]

Meteorologický prvek	Požadovaná* přesnost měření nebo pozorování
Průměrný přízemní vítr	Směr: $\pm 10^\circ$ Rychlost: ± 1 kt do 10 kt $\pm 10\%$ nad 10 kt
Odchylky od průměrného přízemního větru (kolísání)	± 2 kt v podélné a boční složce
Dohlednost	± 50 m do 600 m $\pm 10\%$ mezi 600 m a 1 500 m $\pm 20\%$ nad 1 500 m
Dráhová dohlednost	± 10 m do 400 m ± 25 m mezi 400 m a 800 m $\pm 10\%$ nad 800 m
Množství oblačnosti	$\pm 1/8$
Výška oblačnosti	± 33 ft do 330 ft $\pm 10\%$ nad 330 ft)
Teplota vzduchu a teplota rosného bodu	$\pm 1^\circ\text{C}$
Tlak vzduchu (QNH, QFE)	$\pm 0,5$ hPa



1.1.1 Systémové vybavení letišť

Na letišti Karlovy Vary probíhá pravidelná půlhodinová pozorování v provozní době, hodinová pozorování mimo provozní dobu a mimořádná pozorování. Letiště umožňuje provoz za podmínek I. kategorie díky automatizovanému meteorologickému pozorovacímu systému (AWOS). Měření rychlosti větru probíhá 300 m od prahu dráhy 29 a 300 m od prahu dráhy 11, kde jsou umístěny anemometry. Pro měření dráhové dohlednosti jsou používány 2 transmisometry (300 m a 1 300 m od prahu dráhy 27). Výška oblačnosti se měří ceilometrem 300 m od prahu dráhy 27 a 370 m od prahu dráhy 09. [1]

Na letišti Ruzyně v Praze jsou vydávána pravidelná půlhodinová pozorování i mimořádná pozorování. Letiště je vybaveno systémem AWOS pro provoz za podmínek II./III.b kategorie. Anemometry pro měření rychlosti větru jsou 3 pro dráhu 24 a po jednom pro dráhu 06, 30 a 12 (vždy 300 m od příslušného prahu dráhy). Dráhová dohlednost měřena transmisometry na dráze 24 (300 m, 1 400 m a 3 400 m od prahu dráhy), dráze 30 (300 m a 1 400 m od prahu dráhy) a na dráze 12 (400 m od prahu dráhy). Výška oblačnosti je měřena ceilometry 1 km od prahu dráhy 24, 600 m od prahu dráhy 06, 300 m od prahu dráhy 30 a 390 m od prahu dráhy 12.[1]

Na letišti Brno/Tuřany probíhá pravidelná půlhodinová pozorování a mimořádná pozorování. Letiště umožňuje provoz za podmínek I. kategorie díky automatizovanému meteorologickému pozorovacímu systému (AWOS). Pro měření rychlosti větru jsou 300 m od prahu dráhy 27 a 2 300 m od dotykové zóny dráhy 09 umístěny anemometry. Pro měření dráhové dohlednosti jsou používány 2 transmisometry (300 m a 1 300 m od prahu dráhy 27). Výška oblačnosti je měřena ceilometrem 300 m od prahu dráhy 27 a 370 m od prahu dráhy 09. [1]

Na letišti Mošnov v Ostravě probíhají pravidelná půlhodinová pozorování včetně publikování případných mimořádných zpráv. Na letišti je nepřetržitý provoz a je vybaveno systémem pro automatické meteorologické pozorování (AWOS). Provoz za podmínek II./III.b kategorie je možný. K měření rychlosti větru jsou na letišti 3 anemometry (300 m a 1 100 m od prahu dráhy 22 a 350 m od prahu dráhy 04). Pro měření dráhové dohlednosti jsou umístěny 2 transmisometry u dráhy 22 (350 m a 1 900 m od prahu dráhy) a jeden transmisometr 350 m od prahu dráhy 04. Výška oblačnosti je měřena ceilometrem 350 m od prahu dráhy 04 a 350 m od prahu dráhy 22. [1]



1.2 Letištní předpovědi TAF

TAF (Terminal Aerodrome Forecast) je letištní předpověď. Předpovědi pro letecké účely je více typů. Existuje letištní předpověď, přistávací předpověď, předpověď pro vzlet nebo oblastní předpovědi. Z důvodu zaměření práce na letištní předpovědi není třeba blíže popisovat ostatní druhy předpovědí.

Letištní předpověď TAF je vydávána standardně na nadcházejících 24 hodin. Každý ICAO stát si může stanovit vlastní dobu. Na letištích v České republice je to buď 9 hodin, 24 hodin nebo 30 hodin. Perioda předpovědi je 6 h nebo 3 h. Nejčastěji bývá vydána předpověď každých 6 hodin na 24 hodin dopředu. [4]

První element, který předpověď obsahuje, je typ předpovědi (TAF nebo TAF AMD). Dále následuje ICAO kód letiště (např. LKPR). Datum a čas jsou uvedeny stejnou formou jako u zprávy METAR. Perioda platnosti je součástí textu předpovědi. Může vypadat například takto: 081313 (od 8. dne 13:00 UTC do 9. dne 13:00 UTC). [5]

Následují meteorologické prvky mají dané pořadí, ve kterém jsou zapisovány. Pořadí je následující: vítr, dohlednost, počasí (jen pokud je zásadní pro letectví), stav oblohy a případné dodatečné informace jako stříh větru. Dohlednost je předpovídána po 50 m (do 800 m), po 100 m (pro 800 m až 5 km) a po 1 km (pro 5 km až 10 km). Jednotlivé meteorologické prvky jsou zapisovány ve stejném smyslu jako u zpráv METAR. [3]

Pokud se původní předpověď TAF odchyluje nad míru stanovených kritérií, tak je třeba publikovat opravnou předpověď TAF. Pokud jsou v předpovědi zahrnuty jevy počasí (namrzající mlha / srážky, bouřka, vichřice, ...) a dojde ke změně jejich intenzity, tak je třeba vydat opravný TAF. To stejné platí, pokud jev nebyl předpovídán, ale je očekáván a obráceně. Dalšími důvody pro vydání opravné předpovědi TAF je očekávaná změna: přízemního větru o 60° nebo více, průměrné rychlosti o 10 kt nebo více, dráhy v používání, dohlednosti, oblačnosti a další. [6]

1.2.1 Skupiny změn a skupiny pravděpodobnosti

Skupiny změn jsou zařazovány do předpovědi na základě stejných kritérií, která platí pro vydávání opravných předpovědí TAF. Rozlišujeme skupiny pravděpodobnosti a skupiny změn (FM, BECMG a TEMPO).



Skupina pravděpodobnosti je asociována s určitou událostí (bouřka, srážky, ...), větrem, dohledností nebo stavem oblačnosti. Existuje buď 30% nebo 40% pravděpodobnost výskytu. Méně než 30 % se neindikuje, protože se to nepovažuje za relevantní. V případě pravděpodobnosti 50 % a více se pravděpodobnostní skupina nedá použít a je třeba využít skupinu změny "BECMG" nebo "TEMPO". V předpovědi se uvádí jako "PROB" a následně 30 nebo 40, označující dané procento pravděpodobnosti. Následuje interval platnosti pravděpodobnostní skupiny. [3]

Skupina becoming (BECMG) je použita pro situace, kdy se očekává delší změna. Interval této změny je označen pomocí čtyř čísel (hodina počátku a hodina konce), která většinou tvoří interval dvou hodin. Očekávaná změna může nastat kdykoliv během zmíněného intervalu, takže se s takovouto předpovědí musí adekvátně vynaložit. [5]

Skupina temporary se používá pro směr a rychlost větru, dohlednost, počasí a stav oblohy. Za indikátorem "TEMPO" je interval platnosti. Stav zachycený v této změnové skupině se vyskytne maximálně v polovině daného intervalu a nanejvýš jednu hodinu najednou. Předchozí podmínky zůstávají platné, pokud nebyly touto změnovou skupinou přepsány. [5]

Pokud je očekávána prudká změna v intervalu menším než jedna hodina, tak je použita skupina from (FM). Indikátor "FM" následuje hodina a minuta (např. 1200), které určují počátek změny daných podmínek. Tyto podmínky poskytují kompletně novou sadu podmínek, které končí až při nahrazení jinou změnovou skupinou nebo při ukončení platnosti předpovědi. [5]

1.3 Zkoumané meteorologické prvky a jejich měření na stanicích ČHMÚ

Meteorologické stanice jsou vybaveny přístroji pro měření a zpracování údajů důležitých pro tvorbu meteorologických zpráv METAR. Těchto prvků je více, než je pro účely této práce třeba. Z toho důvodu nejsou rozebírány všechny prvky, ale pouze vítr, dohlednost, srážky a oblačnost. Například jevy počasí jsou vynechány, jelikož jediným důležitým jevem počasí jsou srážky, které jsou separátně popsány.

V dnešní době již není neobvyklé, že je letiště vybaveno systémem pro automatické pozorování počasí (AWOS - Automated Weather Observing System). Tento systém umožňuje neustálé pozorování stavu jednotlivých zkoumaných prvků, jejichž data se průběžně ukládají a pomocí nich se následně tvoří meteorologické zprávy. Tento systém může mít různé konfigurace, takže se může značně lišit v závislosti na investovaných penězích pro očekávaný provoz na letišti. Je



možné měřit: rychlost a směr větru, teplotu a rosný bod, tlak, dohlednost, stav oblačnosti, srážky, bouřky nebo povrch dráhy. Necertifikované přístroje a jejich data nemohou být následně použita pro tvorbu automatické zprávy METAR. Automaticky vygenerovanou zprávu lze počítačem převést do hlasové stopy, která se vysílá přímo pro piloty v okolí. Taktéž je možnost vysílat tuto zprávu pomocí data linku. [2]

1.3.1 Přízemní vítr a jeho měření

Vítr je horizontální pohyb masy vzduchu, u kterého se určuje směr a rychlost. Vzniká díky rozdílným tlakům v přilehlých oblastech. Vzduch proudí z místa vysokého tlaku vzduchu do oblasti nízkého tlaku vzduchu. Toto proudění je možné určit pomocí síly tlakového gradientu, která vždy směřuje z oblasti vysokého tlaku do oblasti nízkého tlaku. Výsledný vektor směru větru značně ovlivňuje také Coriolisova síla.[7]

Směr větru se určuje v krocích po 10° vzhledem severu, které nám říkají z jakého směru vane vítr. Pokud letadlo letí kurzem 090° a vítr vane v opačném směru proti letadlu, tak můžeme určit směr větru jako 090° . Ve většině případů je směr udáván vzhledem k zeměpisnému severu (platí pro směr, který pilot čte). Například od řídicího letového provozu bychom však dostali směr větru ve stupních vzhledem k magnetickému severu (platí pro směr, který pilot slyší).[7]

Pokud nastane určitá diskontinuita ve směru větru, tak ho označujeme za kolísavý (variabilní). Při kolísání směru větru (během předešlých 10 minut) o více než 60° a méně než 180° , tak se při průměrné rychlosti větru menší než 3 uzly udává v místní pravidelné a nepravidelné zprávě "VRB" bez extrémů. Pokud by v tomto případě byla průměrná rychlost větší než 3 uzly, udává se průměr předešlých 10 minut a 2 extrémní směry větru. V případě, že se směr větru v předešlých 10 minutách pohybuje v rozptylu větším než 180° , tak se udává "VRB" bez extrémních směrů.[3]

Rychlost větru se udává po 1 uzlu. Pokud by měl mít vítr v předpovědi jinou jednotku (například metry za sekundu nebo kilometry za hodinu), tak musí být za číslem označující velikost rychlosti také jednotka. V případě uzlů se jednotky neudávají. Pokud se rychlost větru výrazně mění, ale netrvá déle než jednu minutu, tak hovoříme o nárazech větru. Nová rychlost nárazu musí být větší alespoň o 10 uzlů, aby byla buď nahlášena nebo předpovězena. Když rychlost větru překročí 33 uzlů (pro náraz větru 42 uzlů), tak byla zaznamenána vichřice. Při rychlosti vyšší než 63 uzlů už



hovoříme o hurikánu. Rychlost menší než 1 uzel se označuje jako "CALM" a rychlost vyšší než 100 uzlů je označována jako "99"[7]

Přízemní vítr na letištích se službou řízení letového provozu je třeba měřit 10 metrů (tolerance 1 m) nad zemí. Na letišti s letištní letovou informační službou může probíhat měření 6 až 10 metrů nad zemí. Snímače musí být vhodně umístěny tak, aby jejich naměřený směr větru co nejvíce odpovídal směru větru, který proudí na příslušné dráze v oblasti dotyku letadla se zemí. Pokud se vlivem terénu nebo budov na letišti výrazně mění směr větru v rámci dráhy, tak je třeba umístit na dráhu více zařízení měřících vítr. Snímač rychlosti je třeba umístit co nejbližší k dráze, aby jeho informace co nejvíce korespondovala s realitou. Jelikož ale nelze umístit snímač hned vedle dráhy kvůli její ochranné zóně, tak bývá snímač umístěn přibližně 300 m od prahu dráhy. [8]

Na stanicích ČHMÚ se používá například větroměrný systém řady WA15 (viz obrázek A.1) a WA25 (viz obrázek A.2), který je složen ze snímače rychlosti větru a směrovky. Nejčastěji se však využívá ultrazvukové měření větru pomocí ultrasonického větroměrného čidla řady WS a WMT700. Měření funguje na principu měření doby signálu v obou směrech pomocí dvojice snímačů pro každou hlavici. Jeden snímač od druhého má úhel 120°. Pomocí dvou měření v každé ze tří cest ultrazvuku se provede výpočet. Přístroj eliminuje nadmořskou výšku a vlhkost (některé mají i vyhřívané hlavice). Záložní variantou je při výpadku ostatních systémů ruční anemometr. [8]

1.3.2 Dohlednost a jeho měření

Dohlednost je meteorologický termín označující vzdálenost, v níž je kontrast daného objektu a jeho pozadí právě roven prahu kontrastové citlivosti oka pozorovatele. [9] Dohlednost je udávána v krocích po 50 m, 100 m nebo 1 000 m. Záleží na výši hodnoty dohlednosti. Dohlednost je standardně udávána v metrech (v tomto případě se jednotky ke čtyřcifernému číslu nepřipisují). Dohlednost je značně ovlivněna vlhkostí vzduchu, protože má vliv na rozptyl světla mezi transmisometry. Snížená dohlednost může být i na základě pevných částic ve vzduchu. Hodnota dohlednosti má přímý dopad na kategorii přiblížení. [7, 10]

Dohlednost je měřena pomocí přístrojových systémů (transmisometrů) ve výšce 7,5 ft nad úrovní dráhy. Všechny využívané přístroje musí být propojeny s centrálním počítačem pro zpracování dat a poskytnutí příslušné informace. Každý jednotlivý snímač je potřeba řádně označit, aby bylo možné jejich hodnoty přiřadit k adekvátní dráze. [3]



Hodnota dohlednosti je určena každou minutu, pokud jsou používány přístroje k určení dohlednosti. Výsledná hodnota je vypočítána jako průměr hodnot naměřených za poslední minutu pro místní pravidelné a mimořádné zprávy a jako průměr hodnot za posledních 10 minut pro zprávy METAR a SPECI. [6]

V případě, že není dohlednost ve všech směrech stejná, tak se uvádí převládající dohlednost. V případě, že nejnižší dohlednost je rozdílná od převládající dohlednosti a je menší než 1 500 m nebo je menší než 50 % převládající dohlednosti a zároveň menší než 5 000 m, tak je nutné ve zprávě uvést nejnižší hodnotu. V ideálním případě je hodnota doplněna o směr nejnižší dohlednosti. V případě, že dohlednost značně kolísá, tak se uvádí pouze nejnižší hodnota. [3]

Na stanicích ČHMÚ se nejčastěji používají transmisometry PWD22 (viz obrázek A.5). Tento systém je schopen rozpoznat tekuté (až 7 druhů srážek) i tuhé částice mezi těmito přístroji. Je také schopen rozpoznat denní dobu. Měří v rozmezí 10 m až 20 000 m. Pomocí kapacitního zařízení odhaduje množství vodní hodnoty srážek. Přístroj měří světlo rozptýlené pod úhlem 45°, což zajišťuje stabilní měření během mlhy. Měření nezávislých částic i při intenzivních srážkách je umožněno malým objemem vzorku (0,1 litru). [8]

1.3.3 Srážky a jejich měření

V české meteorologické terminologii jsou srážky souborné označení pro hydrometeory buď tvořené padajícími srážkovými částicemi, nebo utvářejícími se na zemském povrchu či různých objektech. Z tohoto hlediska rozeznáváme srážky padající a usazené; v oboru chemie atmosféry tyto dvě skupiny označujeme jako srážky vertikální a horizontální. Existuje i několik dalších způsobů klasifikace srážek. Výčet různých druhů srážek v Mezinárodním atlasu oblaků a v návodech pro meteorologické pozorovatele ovšem není totožný, neboť angl. termín precipitation zahrnuje pouze padající srážky. [9]

Srážky vznikají shluknutím mikroskopických částic. Z těchto částic následně vznikají kapky o velikosti 2 až 4 milimetry. Srážky jsou většinou asociovány s poklesem dohlednosti, ačkoliv u velkých kapek nedochází k takovému poklesu jako u menších kapek, při kterých může docházet i k IMC. Obecně lze srážky očekávat, když je vzduch přesycený. [11, 12]

Rozlišujeme několik druhů srážek, kvůli jejich odlišným fyzikálním vlastnostem. Druhy srážek jsou: mrholení, déšť, sněžení, sněhová zrna, zmrzlý déšť, malé kroupy a kroupy. Všechny druhy



s sebou nesou určité riziko pro letecký provoz, jelikož mohou v námrazových podmínkách narušit aerodynamiku letounu. [3]

Automatický srážkoměr se umísťuje na stojan tak, aby byl ve výšce 1 m nad terénem. Pro zimní období se používá zimní verze stojanu. Používají se převážně jednodušší typy člunkového srážkoměru a váhový srážkoměr. Oba typy mají záchytnou plochu 500 centimetrů čtverečních. Automatický člunkový srážkoměr se používá ve verzi MR3H-F (viz obrázek A.3), který je celý vyroben z nekerodujících materiálů. Vytápěn je záchytný prostor i trychtýř. Principem je získání elektrických impulzů pomocí mechanismu překlápěcího člunku v závislosti na množství srážek. Váhový srážkoměr je využíván ve verzi MRW500 (viz obrázek A.4) s přesností měření na 0,1 mm srážek. Principem je kontinuální vážení nádoby, která zachycuje padající srážky. Váha je připojena k mikroprocesoru pro zpracování dat. S přibývajícím množstvím v nádobě klesá přesnost měření, a proto je tekutina přečerpávána pryč, jelikož nemůže být vylita do okolí. Srážkoměr je vybaven určitým vytápěním, a také mícháním tuhých tekutin. [8]

1.3.4 Oblačnost a její měření

Oblačnost je skupina malých částic vody nebo ledu v atmosféře. Oblačnost může v některých případech obsahovat i pevné částice jako písek nebo kouř. Druhy mraků se rozlišují podle množství, výšky a tvaru oblačnosti. V případě přízemní oblačnosti ji lze taktéž označit za mlhu. [13]

Je mnoho důvodů, proč se vodní výpary vyskytují v atmosféře, jako je například stoupání vodních výparů spojené s teplotou a tlakem. S rostoucí výškou se atmosférický tlak a teplota snižují. V moment, kdy teplota klesne na teplotu rosného bodu, tak se stoupání výparů zastaví a zformují se oblaka. [13]

Množství oblačnosti je udáváno v osminách pomocí zkratk: FEW, SCT, BKN a OVC. Výška oblačnosti je udávána v krocích po 50 ft (do 300 ft) a po 100 ft (od 300 m do 10 000 ft). Na letištích v České republice je pouze horní hranice 5 000 ft. Pokud nelze automatickým systémem pro pozorování oblačnost detekovat, tak se uvádí zkratka "NCD". [3]

Stanice ČHMÚ jsou vybaveny ceilometry CT25K (viz obrázek A.6) a CL31 (viz obrázek A.7). Princip činnosti měření výšky základny je založen na měření doby od vyslání signálu svisle vzhůru po jeho vrácení zpět k přístroji. Přístroj CT25K má společnou část pro přijímání i vysílání signálu.



Zařízení je nakloněno pod úhlem 12° , aby se měřící jednotka chránila před srážkami. Zároveň je díky tomuto náklonu možné nasměrovat signál nad oblast přiblížení letadel. Systém dokáže vnímat až 3 vrstvy oblačnosti současně. Další funkcí je detekce srážek. Přístroj CL31 pracuje na podobném principu, ale měří spodní hladinu oblačnosti. Taktéž je využita technologie pulzního diodového laseru. [8]

Pokrytí oblačnosti má na starosti softwarové vybavení ceilometrů. Používá časové série měření ceilometru k výpočtu oblačného pokrytí. Informace o stavu oblohy jsou aktualizovány každých 5 minut a vychází z dat naměřených posledních 30 minut. Systém umí zároveň zpracovávat až 4 vrstvy oblačnosti (odrazy jsou přiřazeny příslušným vrstvám) až do výšky 7,5 km. [8]

1.4 Shrnutí kapitoly

V kapitole byl uveden popis předpovědí TAF a zpráv METAR, jejichž pochopení je základním kamenem pro porozumění této práci. Detailně byla popsána jednotlivá letiště a jejich vybavenost. Obrázky uvedených systémů jsou uvedeny v příloze práce. Poslední podkapitoly se věnovaly popisu měření jednotlivých meteorologických prvků které se následně v této práci vyhodnocují.



2 Metodika verifikace předpovědi TAF

Meteorologická předpověď TAF zahrnuje stav počasí v blízké budoucnosti a letištní zpráva METAR zahrnuje současný stav počasí na letišti. Pokud se tyto reality protnou, můžeme označit předpověď za správnou. Předpověď, jež není stoprocentně shodná s realitou, má určitou odchylku. Pravidla tolerovaných odchylek jsou určeny v předpisu L3 Meteorologie, který vychází z mezinárodního dokumentu Annex 3 Meteorology. Dokumenty jsou takřka shodné, což platí i o požadavcích na přesnost předpovědi TAF (dodatek B). Práce zkoumá předpovědi českých letišť, které se řídí českou legislativou, takže bude vycházet z českého předpisu L3 Meteorologie.

Tabulka 2.1: Požadavky na přesnost meteorologických předpovědí. Kt (uzly), m (metry), km (kilometry) a °C (stupeň Celsia) [3]

Předpovídaný prvek	Požadované přesnosti předpovědi	Minimální procento případů v požadovaném rozpětí
PŘEDPOVĚDI TAF		
Směr větru	± 20°	80 % případů
Rychlost větru	± 5 kt	80 % případů
Dohlednost	± 200 m do 800 m ± 30% mezi 800 m a 10 km	80 % případů
Srážky	Předpověď výskytu s nebo beze srážek	80 % případů
Množství oblačnosti	Jedna skupina oblačnosti pod 1500 ft Výskyt nebo absence BKN nebo OVC mezi 1500 ft a 10 000 ft	70 % případů
Výška oblačnosti	± 100 ft do 1000 ft ± 30% mezi 1000 ft a 10 000 ft	70 % případů
Teplota vzduchu	± 1°C	70 % případů

Tabulka 2.1 je rozdělena na tři části. V prvním sloupci je název předpovídaného prvku. V druhém sloupci je ke každému prvku požadovaná přesnost předpovědi a ve třetím sloupci je minimální procento případů, aby se předpověď považovala za úspěšnou. Předpověď, jejíž procento případů splňuje požadavky na přesnost a je vyšší než ty minimální, se považuje za úspěšnou. Předpověď TAF je rozdělena na časové úseky dle periody zpráv METAR a je zkoumána v těchto separátních časových intervalech. Následky chyb v předpovědích se nepovažují za příliš závažné ve srovnání s následky navigačních chyb a ostatních provozních nepřesností.[3]



2.1 Zdrojová data

Předpovědi TAF a zprávy METAR jsou archivovány vždy u kompetentní instituce daného letiště. Cílem práce je zkoumat přesnost předpovědí TAF na letištích v České republice. Pro získání dat z více různých letišť od jedné instituce bylo zapotřebí se spojit buď s ČHMÚ nebo VGHMÚř. Osobní preference civilního letectví před vojenským určila následující spolupráci s ČHMÚ.

Meteorologická data od ČHMÚ zahrnovala letiště: LKKV, LKPR, LKTB a LKMT. V současnosti se vyvíjí spolupráce i s letišťem LKCS v Českých Budějovicích, které se provozně rozšiřuje. Jelikož v počátcích psaní této práce ještě spolupráce s LKCS neprobíhala, věnuje se práce pouze dříve zmíněným 4 civilním letištím.

Data se uchovávají v takové formě, v jaké jsou konstruována a následně publikována. Tato forma je striktně daná předpisem L3 Meteorologie. Jelikož v dané formě nelze příliš prakticky s daty pracovat, je zapotřebí provést syntaktickou analýzu. Jedna z možností byla navrhnout vlastní syntaktickou analýzu, avšak tento proces by byl příliš časově náročný (jde o milióny dat) a mohl by obsahovat řadu chyb a nedostatků. Z tohoto důvodu bylo nejrozumnějším řešením využití již existujícího plně funkčního syntaktického analyzátoru.

2.2 Program pro dlouhodobé vyhodnocení předpovědí TAF

ČHMÚ disponuje platnou licencí k syntaktickému analyzátoru od IBL Software Engineering. Tato firma se zabývá vývojem softwarů v oblasti meteorologie, kde se jedno odvětví věnuje přímo letecké meteorologii. Jeden z jejich produktů se nazývá "TAF long-term evaluation", neboli dlouhodobé vyhodnocení předpovědí TAF. Do tohoto programu se importují předpovědi TAF a zprávy METAR určitého období z databáze. Program provede syntaktickou analýzu a na základě vstupních parametrů sám vyhodnotí, jestli byla předpověď úspěšná, či nikoliv.

Program tedy vytvoří tabulky, kde provádí komparativní analýzu předpovědí TAF a zpráv METAR. Porovnává dvě různé skutečnosti a zjišťuje shody a nebo odlišnosti. Následně ještě program vytvoří celkovou tabulku úspěšností, kde označí, které oblasti splnily, a které nespĺnily dané limity pro úspěch. Tato tabulka by se mohla zdát jako dostatečný podklad pro vytvoření povědomí o tom, zda jsou dodržovány legislativní požadavky na přesnost. Tabulka má však určité nedostatky a v určitých případech může celkové údaje o úspěšnosti zkreslovat.



2.3 Nevyhovující aspekty programu a jejich řešení

Předpověď se vydává zpravidla na dobu delší, než je perioda publikování předpovědí. To znamená, že jednu realitu lze porovnat s více předpověďmi. Nejdůležitější část předpovědi je počáteční část intervalu platnosti, dokud není vydána následující předpověď. Program ovšem bere v potaz celý interval předpovědi, což ve výsledku značně rozšiřuje zkoumaný interval. S největší pravděpodobností má předpověď s delším intervalem platnosti také nižší úspěšnost, protože je třeba předpovědět vzdálenější budoucnost. Tato práce posuzuje pouze tu část předpovědi, než je vydaná další předpověď.

Další zkreslení výsledné úspěšnosti předpovědí nastává na letišti Karlovy Vary. Na ostatních letištích jsou vydávány zprávy METAR po půl hodinách, takže následné porovnání s předpovědi probíhá 2x do hodiny a je jich celkem 48 za den. Na letišti Karlovy Vary se vydávají letištní zprávy METAR 2x do hodiny v provozní době a mimo provozní dobu 1x za hodinu. Program má však přednastavený počet řádků pro porovnání s předpovědi TAF za předpokladu publikování zprávy METAR 2x za hodinu. Mimo provozní dobu v tabulce tudíž vznikají prázdné řádky, které jsou označovány jako správné. Tento fakt velmi zkresluje výsledné úspěšnosti předpovědi k lepšímu. V této práci se prázdné řádky eliminují a posuzují se předpovědi TAF pouze v intervalech, kdy byly publikovány zprávy METAR.

Změnové skupiny předpovědi TAF jsou asi nejrozporupnějším prvkem metodiky vyhodnocování. Změnové skupiny jsou používány v předpovědích v případě, že má v určitém intervalu nastat trvalá změna nebo pouze nastane dočasná změna.

- FM (from - od) se používá pro trvalou změnu od určitého času
- TEMPO (temporarily - dočasně) se používá pro krátkodobou výraznou změnu
- BECMG (becoming - nastávající) se používá pro trvalou změnu, která nastane kdykoliv během přechodného intervalu
- PROB (probability - pravděpodobnost) se používá pro časový úsek, ve kterém může nastat změna oproti předpovědi s pravděpodobností buď 30 % nebo 40 %.

V jeden moment může být tedy platných více hodnot kvůli změnovým skupinám. Předpověď je v této práci považována za úspěšnou, pokud je alespoň jedna z předpovídaných hodnot v mezích



tolerance (bez ohledu na pravděpodobnost). Pro zohlednění různých druhů změnových skupin by byl zapotřebí komplexnější přístup posuzující změnové skupiny separátně. [14]

Kódovaná, nepravidelná, meteorologická zpráva (SPECI) obsahuje informace o počasí na letišti, které neobsahuje zpráva METAR. Využívaný syntaktický analyzátor neumí zpracovat zprávy SPECI, což do jisté míry ovlivňuje výsledné hodnoty. Není však jednoznačné, zda pozitivně nebo negativně. Ve většině případů je zpráva SPECI vydána kvůli změně určitého jevu, dohlednosti nebo oblačnosti. V řadě případů se jedná o kombinaci několika prvků. V této práci jsou pro informace o aktuálním stavu počasí využívány pouze zprávy METAR.

Ve výsledné tabulce, kterou vytvoří program, jsou data rozdělena na jednotlivé prvky a časové úseky. Tabulka se skládá z počtu listů odpovídajícímu počtu dnů v daném měsíci. Na konkrétním listu se dále nachází pod sebou všechny předpovědi TAF, které byly vydány ten den. Jednou za čas se objeví v daném listu více předpovědí se stejným intervalem platnosti. Některé duplicitní předpovědi obsahují stejná data, některé obsahují velmi podobná data s odlišnostmi u jednoho z prvků a některé duplicitní předpovědi jsou buď úplně prázdné s nulovou úspěšností nebo jsou vyplněné se stoprocentní úspěšností. Tato skutečnost se vyskytne v průběhu měsíce průměrně přibližně ve 4 dnech. Jedná se takřka pravidelně o první dva dny v měsíci, což je s největší pravděpodobností chyba v programu, která pak také mírně změní výsledné úspěšnosti. Přibližně 2x za měsíc se vyskytne v určitém dni, větší než běžné, množství předpovědí, které však nejsou duplicitní. Jedná se o předpovědi, které jsou vydány po hodině nebo po dvou hodinách. Zde opět nejde určit stoprocentně příčinu výskytu přebytečných předpovědí, ale nejspíše se jedná o předpověď TAF AMD (opravený). Tato práce eliminuje předpovědi, které jsou duplicitní se stejným intervalem platnosti. V případě TAF AMD jsou brána nejprve data z původní předpovědi TAF a od začátku platnosti opravené předpovědi jsou brána opravená data.

Jsou zkoumány pouze prvky předpovědi TAF, pro které jsou vytvořeny určité požadavky na přesnost v předpisu L3 Meteorologie. Jediný prvek, který není zahrnut je teplota, protože se nezahrnuje do předpovědi TAF na letištích v České republice. Program vůbec neposuzuje nárazy větru, což je esenciální informace pro pilota. Z jevů počasí jsou zkoumány pouze srážky a to bez ohledu na jejich intezitu. Je posuzováno pouze, zda se jev vyskytl, či nikoliv. Ostatní jevy počasí (např. námraza, sněžení, mlha nebo bouřka) bohužel posuzovány nejsou, i přesto že jejich výskyt na letišti může velmi ohrozit bezpečnost letu. Jevy počasí (kromě srážek) a nárazy větru v této práci posuzovány nejsou, jelikož na ně nejsou kladeny požadavky na přesnost, a proto použitý



syntaktický analyzátor není nastaven na zpracování těchto prvků. Jsou tedy zkoumány pouze následující prvky: směr větru, rychlost větru, dohlednost, srážky, množství oblačnosti a výška oblačnosti. [15]

Výsledná tabulka úspěšností vytvořená programem poskytne relativně odpovídající hodnotu úspěšnosti předpovědí, ale neposkytne informaci o tom, zda ty neúspěšné předpovědi byly odchýleny k horšímu nebo k lepšímu. Toto už je element navíc, který ale velmi zlepšil celkový obrázek. V této práci je zkoumaná hodnota odchylky a také poměr lepších a horších odchylek vyjádřen v procentuálním zastoupení.

Relativně důležitá je také průměrná a nejčastější hodnota ze zprávy METAR. Tento aspekt je rovněž přidán v této práci, jelikož původní závěry ho neobsahují. Pro většinu veličin je zároveň uvedena celková hodnota a následně hodnota pouze pro úspěšné i neúspěšné předpovědi. Tímto rozšířením zkoumaných veličin se výrazně usnadní pochopení jejich výsledných hodnot.

Nejdůležitějším aspektem je celková úspěšnost, ale bez dalších pomocných vyhodnocovacích veličin nelze úplně pochopit, proč jsou některé předpovědi úspěšné a jiné neúspěšné. Pokud meteorolog vytvoří předpověď takovou, že pro žádnou možnou hodnotu zprávy METAR nemůže být vyhodnocena jako neúspěšná, tak ji lze považovat za vždy správnou. Takové předpovědi sice zlepšují celkovou úspěšnost, ale nemají takřka žádnou vypovídající hodnotu pro pilota. V této práci je proto zavedena veličina rozptylu. Rozptyl určuje rozmezí hodnot zpráv METAR, pro které je předpověď úspěšná. Veličina ukazuje, na kolik byl meteorolog "pojištěn" proti neúspěšné předpovědi. Pokud by se prokázala větší míra rozptylu pro určitý interval, tak by to mohlo znamenat, že meteorolog vytvářel předpověď s ohledem na to, aby vyšla úspěšně, což není vhodný přístup.

Těchto nevyhovujících aspektů je příliš mnoho na to, aby se nadále v práci brala v potaz tabulka celkových úspěšností. Syntaktická analýza provedená programem je ovšem velmi užitečná a její využití ušetřilo mnoho času. V práci se vychází z programem rozebraných dat, ale dále se ještě upravují, aby jejich výsledek co nejvíce odpovídal realitě.

2.4 Tvorba databáze

Data jsou programem pro dlouhodobé vyhodnocování exportována ve formátu XLS. Jak je již zmíněno v kapitole 2.3, je více různých důvodů, proč není původní tabulka zcela vyhovující.



Program rozděluje výsledná data do tabulek podle měsíců a podle letišť. Pro období jednoho roku je vyexportováno celkem 48 souborů. Z těchto souborů byla přetažena data do jedné souhrnné databáze (v programu Microsoft Excel), ze které se pak následně snadno dají vyfiltrovat klíčová data. Každý půlhodinový časový úsek je v databázi příslušně označen rokem, ročním obdobím, datem, časem a také letišťem. V databázi se na základě přetažených dat a přednastavených vzorců dopočítají zbylé bonusové veličiny, které dopomáhají objasnit výsledky dat.

Z každého letiště (u LKKV trochu méně, kvůli nepravdělnosti zpráv METAR) je pro každý den v databázi 48 řádků hodnot. Obsahují všechny (až 3) předpovídané hodnoty, skutečné hodnoty a úspěšnost. Následně se dopočítá rozptyl předpovídaných hodnot a odchylka reálné hodnoty od té předpovídané.

Z vypočítaných veličin se v databázi pro konkrétně stanovený časový úsek zhotoví průměr, modus, medián nebo jiná statistická operace vhodná pro konkrétní prvek předpovědi. Tyto operace jsou zhotoveny taktéž v programu Microsoft Excel. Nejdůležitějším časovým úsekem je celý rok (v této práci konkrátně rok 2022). Dále jsou zkoumána jednotlivě roční období, jelikož by měla poskytnout určitou diverzitu dat vzhledem k současné míře globálního oteplování a s tím spojenými význačnými výkyvy počasí. Podobný pohled poskytnou závěry z jednotlivých měsíců. Poslední interval vyhodnocení budem zaměřen na průběh dne v rámci celého roku. Jelikož se průběh počasí výrazně mění v rámci dne, tak je důležité zjistit úspěšnosti a příslušná vyhodnocovací kritéria i pro jednotlivé předpovědi. Jsou to 4 předpovědi od půlnoci po 6 hodinách. Jediná výjimka se týká letiště v Praze, kde se od Prosince roku 2022 změnila perioda předpovědi. Nyní je perioda vydávání předpovědí 3 hodiny, takže je celkem 8 předpovědí v průběhu dne. Nedává smysl vyhodnocovat prosinec pro Prahu samostatně kvůli tomuto faktu. Je tedy možnost vyhodnotit celý rok tak, že má 8 předpovědí za den nebo 4 předpovědi za den. Většina měsíců a letišť (47 ze 48) má 4 předpovědi za den, takže tato možnost dává největší smysl a poskytne nejmenší zkreslení. Jelikož u Prahy v prosinci budou namísto jedné předpovědi dvě, tak by měly být výsledné úspěšnosti o trochu lepší, než by byly v případě vyhodnocení po 3 hodinách. [16]



2.5 Metodika vyhodnocení prvků předpovědi

2.5.1 Směr větru

Vstupní parametry pro vyhodnocení směru větru dle L3 Meteorologie (viz tabulka 2.1) jsou stanoveny na $\pm 20^\circ$. Z předpisu sice není zřejmé, zda se odečítá 20 stupňů od předpovědi, či od skutečnosti, ale v tomto případě na tom nezáleží. Zkoumané rozpětí musí být vyhodnoceno jako úspěšné v 80 % případů nebo více.

Program vyhodnocuje předpověď automaticky jako chybnou při výskytu proměnlivého větru (VRB) ať už v předpovědi nebo ve skutečnosti. Pro vítr o malé rychlosti, který není variabilní, je takřka nemožné, aby splňoval požadavky na minimální přesnost. Vítr o rychlosti 1 nebo 2 uzly má velmi rozsáhlou škálu směrů. Pokud je pak předpověď nepřesná, tak to není natolik závažné jako pro silný vítr, protože velmi slabý vítr nemá takový provozní význam.

Řešením je vyhodnotit směr větru až od určité rychlosti větru. V případě, že by byl vítr slabší, než daná hranice, tak by se směr považoval za vždy správný. Variabilní vítr by už taktéž nebyl vyhodnocen jako chybný.

Směr větru by se mohl vyhodnocovat například od rychlosti 10 uzlů, což je význačná hranice rychlosti pro vydání meteorologické zprávy SPECI. Mohl by se také vyhodnocovat až od rychlosti 5 kt (včetně), což je význačná hranice rychlosti větru pro variabilní vítr. Posunutí hranice, od které se vyhodnocuje směr větru bylo primárně kvůli neschopnosti programu zpracovat proměnlivý vítr. V předpovědi nemůže být rychlost proměnlivého větru vyšší než 2 kt (platí pro zkoumaná letiště). Skutečná hodnota rychlosti dosahuje velmi zřídka hodnot 5 kt a více. Z těchto důvodů je v práci vyhodnocován směr větru až od rychlosti 5 kt. Plyne z toho tedy, že předpovídaný proměnlivý vítr bude vždy vyhodnocen jako úspěšný. Oproti tomu jako neúspěch bude vždy vyhodnocen případ, když je v předpovědi rychlost větru vyšší než 4 kt a ve skutečnosti je směr hlášen jako VRB.

Dle nastavených vstupních parametrů pro vyhodnocení je programem vyhodnoceno, zda je předpověď úspěšná nebo neúspěšná. Úspěšná předpověď se v databázi zaznamená jako "1" a neúspěšná se zaznamená jako "2". Původní záměr mít "0" místo "2", jenže to způsobovalo chyby ve vzorcích. Výsledná úspěšnost se vypočítá jako podíl úspěšných předpovědí ku celkovému počtu předpovědí. Výsledná hodnota úspěšnosti předpovědi je udávána v procentech.

Hodnota směru větru je v databázi ve stejné podobě jako v původním souboru. Z těchto dat se následně v databázi spočítá jejich jejich průměr a modus. Modus lze jednoduše vypočítat pomocí



příslušné funkce. Na průměr existuje taktéž jednoduchá funkce, která bohužel nelze aplikovat na průměr směrů. Pokud bychom udělali aritmetický průměr 350° a 10°, tak bychom dostali hodnotu 180°, která je však chybná. Správná hodnota je úplně opačná a to 360°. Hodnoty směrů větru je třeba převést na vektory. Z těchto vektorů lze získat po sečtení jejich výsledný vektor. Výpočet lze provést dle vzorce 2.1:

$$\bar{\alpha} = \text{atan2} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sin \alpha_j, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \cos \alpha_j \right) = \text{atan2} \left(\sum_{j=1}^n \sin \alpha_j, \sum_{j=1}^n \cos \alpha_j \right), \quad (2.1)$$

kde jsou vstupní úhly odpovídající směrům větrů označeny $\alpha_1, \dots, \alpha_n$. Výsledný vektor se převede zpět na hodnotu směru, která přísluší průměrnému směru, ze kterého vane vítr. Výsledku lze dosáhnout pomocí několika propojených goniometrických funkcí. Existuje i postup, který využívá komplexních čísel, který je ale o něco složitější. [17]

Pro výpočet rozptylu směrů větru je třeba pro každou předpovídanou hodnotu udělat rozptyl $\pm 20^\circ$. Následně je potřeba určit průnik rozptylů a podle počtu předpovídaných hodnot odečíst příslušný počet stupňů. Pro tři protínající se intervaly je dále třeba provést korekci, protože došlo k odečtení nadbytečného počtu stupňů. Pro jednu hodnotu v předpovědi je rozptyl vždy 40° , takže se jedná o minimální hodnotu rozptylu. Na základě vstupního nastavení jsou předpovědi s předpovídanou rychlostí větru 0-4 kt vždy správné, tudíž mají rozptyl 360° , což je maximální hodnota rozptylu. V tabulce 2.2 jsou tři příklady předpovědí TAF a jejich odpovídající rozptyly. Odchylka se rozděluje na úspěšné předpovědi a neúspěšné předpovědi. Pokud byla předpověď

Tabulka 2.2: Příklad rozptylů pro předpověď TAF pro směr větru

př.	TAF (°)			ROZPTYL (°)
A	220	140	250	110
B	350	VRB		360
C	10	350		60

úspěšná, tak se zjišťuje odchylka od nejbližší předpovídané hodnoty. Pokud byla předpověď neúspěšná, tak se zjišťuje odchylka od nejbližší hranice rozptylu předpovídané hodnoty. Jelikož nelze jednoznačně říci, který směr je lepší a který horší, je zkoumána pouze velikost odchylky v absolutní hodnotě. Když je v předpovědi proměnlivý vítr a ve skutečnosti také, tak je odchylka 0° .



Pokud je ve skutečnosti směr VRB a v předpovědi není, tak nelze určit odchylku, což je označeno písmenem "N". Pokud je pouze jediná předpověď se směrem VRB a ve skutečnosti není, tak také nelze určit odchylku a je vloženo písmeno "N". Ve výsledných tabulkách je zkoumána průměrná odchylka ve stupních, procento případů, kdy nelze směr větru určit, procento případů výskytu proměnlivého větru a procento případů, ve kterých je předpověď vždy správná. V tabulce 2.3 jsou tři příklady předpovědí TAF a jejich odpovídající odchylky. Příklady předpovědi A a B jsou úspěšné a příklad C je neúspěšný. V neposlední řadě je zavedena funkce pro počítání procentuálního

Tabulka 2.3: Příklad odchylek pro předpověď TAF pro směr větru

př.	TAF (°)			METAR (°)	ODCHYLKA (°)
A	350	VRB		100	110
B	330	350	20	320	10
C	360			VRB	N

výskytu variabilního větru. Jako výskyt se počítá jak VRB v předpovědi, tak VRB v reálné hodnotě směru větru. Pokud byl zaznamenán výskyt, tak se označí "1", a pokud nebyl zaznamenán, tak se označí "0".

2.5.2 Rychlost větru

Vstupní parametry pro vyhodnocení rychlosti větru dle L3 Meteorologie (viz tabulka 2.1) jsou stanoveny na ± 5 kt. Není specifikováno, zda se rozptyl uvažuje od předpovědi nebo od skutečnosti, ale u sčítání a odečítání na tom nezáleží. Zkoumané rozpětí musí být vyhodnoceno jako úspěšné v 80 % případů nebo více.

Úspěšnost se do databáze přepokopíruje na základě původní hodnoty, která vychází ze vstupních parametrů. Místo "Y"(úspěch) se v databázi zapíše "1" a místo N (neúspěch) se zapíše "2". Pokud je reálná hodnota mezi dvěma hodnotami předpovědi vzdálené více, než jsou meze rozptylu, tak se předpověď považuje za neúspěšnou.

Hodnota skutečné rychlosti větru se vezme z původního souboru. Pro bezvětří je rychlost zaznamenána 0 kt. Pro rychlost větší než 100 kt je rychlost zaznamenána jako 99 kt. Z těchto



hodnot se vypočítá průměr, modus a medián. Všechny tyto operace lze provést pomocí základních funkcí v programu Microsoft Excel.

Výpočet rozptylu se odvíjí od počtu současně platných hodnot předpovědi. Hodnota rozptylu se vypočítá jako součet rozptylů jednotlivých předpovědí. V případě pouze jedné hodnoty předpovědi se odečte 5 kt a přičte 5 kt od původní rychlosti. Všechny hodnoty mezi tímto minimem a maximum tvoří rozptyl. Pokud je předpovídaná hodnota například 2 kt, tak by se po odečtení 5 kt pohybovalo minimum v záporných číslech, což nemůže reálně nastat, takže reálným minimem bude 0 kt. Podobná logika by mohla platit pro maximum, ale je velmi nepravděpodobné, že by se hodnoty rychlosti větru pohybovaly takhle vysoko. Z výsledných hodnot rozptylu se vypočítá průměr, modus a medián pomocí klasických funkcí programu Microsoft Excel. V tabulce 2.4 jsou tři příklady předpovědí TAF a jejich odpovídající rozptyly.

Tabulka 2.4: Příklad rozptylů pro 1 hodnotu TAF pro rychlost větru

př.	TAF (kt)		ROZPTYL (kt)
A	10		11
B	2		8
C	5		11

Pro dvě předpovídané hodnoty je postup stejný s tím, že se intervaly rozptylů mohou překrývat. Po seřazení hodnot od nejvyšší po nejmenší lze odečíst maximum rozptylu nižší hodnoty od minima rozptylu vyšší hodnoty. Tento rozdíl se odečte od součtu rozptylů a výsledkem je reálný rozptyl. V tabulce 2.5 jsou tři příklady předpovědí TAF a jejich odpovídající rozptyly.

Tabulka 2.5: Příklad rozptylů pro 2 hodnoty TAF pro rychlost větru

př.	TAF (kt)		ROZPTYL (kt)
A	10	12	13
B	2	5	11
C	10	25	22

Pro tři předpovídané hodnoty je podobný postup jako pro dvě hodnoty. Hodnoty se seřadí podle velikosti a od celkového součtu rozptylů se odečtou překrývající se intervaly. Pokud se všechny



tři intervaly protínají zároveň, tak je ještě třeba provést korekci, protože se při průniku všech tří rozptylů odečítají nadbytečně dvakrát. V tabulce 2.6 jsou tři příklady předpovědí TAF a jejich odpovídající rozptyly.

Tabulka 2.6: Příklad rozptylů pro 3 hodnoty TAF pro rychlost větru

př.	TAF (kt)			ROZPTYL (kt)
A	18	17	2	20
B	1	2	25	19
C	10	12	14	15

Odchylka se počítá dvěma různými způsoby podle toho, zda byla předpověď vyhodnocena jako úspěšná, či nikoliv. V případě úspěšné předpovědi je žádoucí vědět, zda měla odchylku od předpovídané hodnoty. Pokud měla předpověď odchylku, tak je třeba zjistit její míru a zda to byla odchylka k vyšší nebo k menší hodnotě. Nejprve je třeba určit, že se jedná o úspěšnou předpověď. Následně se vezme hodnota ze zprávy METAR a určí se nejmenší rozdíl od hodnot TAF. Výsledná hodnota tedy značí o kolik více/méně má reálná hodnota oproti té předpovídané. Pokud se skutečná hodnota nachází přesně mezi dvěma hodnotami předpovědi, tak se uvažuje odchylka k horšímu. V tabulce 2.7 jsou tři příklady předpovědí TAF spolu s hodnotami ze zprávy METAR a jejich odpovídající odchylky.

Tabulka 2.7: Příklad odchylek pro úspěšné předpovědi TAF pro rychlost větru

př.	TAF (kt)			METAR (kt)	ODCHYLKA (kt)
A	18	17	2	20	+2
B	1	2	25	20	-5
C	1	10		5	+4

Odchylka neúspěšné předpovědi může být buď pod minimem rozptylu, nad maximem rozptylu nebo mezi dvěma hodnotami rozptylu. Ve všech případech se počítá odchylka od nejbližší hranice rozptylu. Získaná hodnota nám tedy říká, kolik chybělo k úspěšné předpovědi. Odchylka se v tomto případě vypočítá díky nejmenšímu rozdílu reálné hodnoty a hranice rozptylu hodnot předpovědi.



V tabulce 2.8 jsou tři příklady předpovědí TAF spolu s hodnotami ze zprávy METAR a jejich odpovídající odchylky.

Tabulka 2.8: Příklad odchylek pro neúspěšné předpovědi TAF pro rychlost větru

př.	TAF (kt)			METAR (kt)	ODCHYLKA (kt)
A	18	17	2	25	+2
B	1	2	25	15	-5
C	1	10		20	+5

Z výsledných odchylek se vypočítá průměrná hodnota odchylek k vyšší hodnotě, průměrná hodnota odchylek k nižší hodnotě, procentuální zastoupení odchylek k vyšší hodnotě, procentuální zastoupení odchylek k nižší hodnotě a procentuální zastoupení případů bez odchylky.

2.5.3 Dohlednost

Vstupní parametry pro vyhodnocení dohlednosti dle L3 Meteorologie (viz tabulka 2.1) jsou rozlišeny do dvou kategorií. Pro dohlednost 0 až 800 metrů (bez 800 m) je tolerance ± 200 m. Od 800 metrů (včetně) do 9 999 metrů (10 km a více) je tolerance ± 30 %. Nikde není specifikováno, zda se tolerance 30 % počítá od předpovědi nebo od skutečnosti. Řekněme, že je předpověď 2 000 m a skutečnost je 1 500 m. Při výpočtu tolerance od předpovědi se jedná o úspěšnou předpověď a při výpočtu tolerance od skutečnosti se jedná o neúspěšnou předpověď. Je tedy velice důležité, který z těchto přístupů bude zvolen. Požadavky na přesnost sice nespecifikují, který přístup zvolit, ale použitý program (viz kapitola 2.2) počítá toleranci od předpovědi TAF. Tento postup je tedy v práci aplikován. Zkoumané rozpětí musí být vyhodnoceno jako úspěšné v 80 % případů nebo více.

Úspěšnost se do databáze přepokopíruje stejným způsobem jako v kapitole 2.5.2. Pokud je reálná hodnota mezi dvěma hodnotami předpovědi vzdálené více, než jsou meze rozptylu, tak se předpověď považuje za úspěšnou. Je zde rozdílný přístup oproti obdobné situaci pro rychlost větru. Důvod, proč využívaný program používá rozdílné přístupy v této situaci, není jednoznačný. Pokud je v předpovědi 100 metrů a 9 999 metrů, tak jakákoliv hodnota povede k úspěšné předpovědi.



Tato situace není ideální, protože může značně zkreslovat výsledné hodnoty. Protiopatřením je zavedená veličina rozptylu, která pomůže odhalit toto zkreslení.

Hodnota skutečné dohlednosti se vezme z původního souboru. Hodnoty se pohybují od 0 metrů do 9 999 metrů. Z těchto hodnot se vypočítá průměr, modus a medián. Všechny tyto operace lze provést pomocí základních funkcí v programu Microsoft Excel.

Rozptyl se počítá podobným způsobem jako v kapitole 2.5.2. Je třeba seřadit předpovídané hodnoty podle velikosti a určit jejich příslušné rozptyly dle vyhodnocovacích kritérií. V případě, že by se minimální hranice rozptylu pohybovala v záporných číslech, tak je nahrazena nulou, jelikož záporná dohlednost nemůže nastat. Není potřeba řešit, zda dochází k průniku intervalů rozptylu. Stačí najít maximum a minimum rozptylů, jejichž rozdíl je výsledný rozptyl. Využitím hodnot rozptylu se dopočítají snadno veličiny jako průměr, modus a medián pomocí základních funkcí. V tabulce 2.9 jsou čtyři příklady předpovědí TAF spolu s hodnotami ze zprávy METAR a jejich odpovídající rozptyly. Předpověď A a B jsou úspěšné a předpověď C a D byly neúspěšné.

Tabulka 2.9: Příklad rozptylů předpovědi TAF pro dohlednost

př.	TAF (m)			METAR (m)	ROZPTYL (m)
A	7000	9999	100	3000	9999
B	400	1000		800	1100
C	100	200	400	1500	600
D	9999			4000	3000

Odchylka se počítá podobným způsobem jako v kapitole 2.5.2. Pro úspěšnou předpověď se posuzuje odchylka od nejbližší hodnoty z předpovědi TAF. Odchylka neúspěšné předpovědi může být buď pod minimem rozptylu, nad maximem rozptylu nebo mezi dvěma hodnotami rozptylu. Ve všech případech se počítá odchylka od nejbližší hranice rozptylu. Získaná hodnota nám tedy říká, kolik chybělo k úspěšné předpovědi. Výsledné hodnoty se zpracují opět jako u rychlosti větru (pod (m), pod (%), přes (m), přes (%), žádná (%)). V tabulce 2.10 jsou čtyři příklady předpovědí TAF (A a B úspěšné, C a D neúspěšné) spolu s hodnotami ze zprávy METAR a jejich odpovídající odchylky.



Tabulka 2.10: Příklad odchylek předpovědi TAF pro dohlednost

př.	TAF (m)			METAR (m)	ODCHYLKA (m)
A	7000	9999	100	3000	2900
B	400	1000		800	-200
C	100	200	400	1500	900
D	9999			4000	-2999

2.5.4 Srážky

Vstupní parametry pro vyhodnocení srážek dle L3 Meteorologie (viz tabulka 2.1) zohledňují pouze fakt, jestli byl výskyt srážek, či nikoliv. Zkoumané rozpětí musí být vyhodnoceno jako úspěšné v 80 % případů nebo více.

Úspěšnost a hodnota skutečnosti se berou z původních souborů stejnou metodikou jako v kapitole 2.5.3. Jelikož srážky mohou v předpovědi nabývat pouze hodnot výskyt, není výskyt nebo obojí, tak je problematika značně jednodušší. Hodnota ze zprávy METAR musí být shodná s předpovědí TAF, aby byla označená jako úspěšná. Výsledné hodnoty skutečnosti jsou rozděleny do dvou částí. Určuje se procento předpovědí, pro které platí, že skutečně byly srážky a zároveň procentuální zastoupení případů, kdy ve skutečnosti srážky nebyly.

Rozptyl má v případě srážek pouze dvě hodnoty. Buď je rozptyl 0 % nebo 100 %. Rozptyl 0 % je v případě, že je v předpovědi jen jedna z variant. Rozptyl 100 % je pro případ, že je i není předpovězen výskyt srážek. V takovém případě je předpověď vždy úspěšná. Ve výsledném přehledu je vypočítáno procentuální zastoupení předpovědí s rozptylem 0 %, a také 100 %. V tabulce 2.11 jsou dva příklady předpovědí TAF spolu s jejich příslušnými rozptyly (1 - výskyt srážek, 0 - není výskyt srážek).

Tabulka 2.11: Příklad rozptylů předpovědi TAF pro srážky

př.	TAF		ROZPTYL (%)
A	1	0	100 %
B	0		0 %



Při odchylce od předpovědi se posuzuje pouze, zda došlo k zlepšení, či zhoršení. U srážek se nezohledňuje intenzita, takže nelze řešit míru odchylky. Pokud není žádná odchylka od předpovídané hodnoty, tak se zapisuje "0". Situace horší (nemělo pršet, ale prší) ve skutečnosti než v předpovědi se značí "-1" a situace lepší ve skutečnosti než v předpovědi se značí "+1". Z výsledných hodnot odchylek se počítá procento případů s odchylkou k horšímu a procento případů s odchylkou k lepšímu. V tabulce 2.12 jsou tři příklady předpovědí TAF spolu s hodnotami ze zprávy METAR a jejich odpovídající odchylky.

Tabulka 2.12: Příklad odchylek předpovědi TAF pro srážky

př.	TAF		METAR	ODCHYLKA
A	1	0	0	0
B	0		1	-1
C	1		0	+1

2.5.5 Množství oblačnosti

Vstupní parametry pro vyhodnocení výšky oblačnosti dle L3 Meteorologie (viz tabulka 2.1) jsou rozděleny do dvou sekcí. První skupina zahrnuje rozmezí od 0 ft do 1 500 ft (bez 1 500 ft) a druhá skupina zahrnuje rozmezí od 1 500 ft (včetně) do 5 000 ft (omezeno provozní hladinou z původních 10 000 ft). Vstupní parametry zahrnují pouze maximální výšku a rozlišení mezi tím, co je a není považováno za oblačnost. FEW, "—" (žádná oblačnost) a SCT se považují za to, že není žádná oblačnost. Naopak BKN, OVC a VV se považují za oblačnost. Zkoumané rozpětí musí být vyhodnoceno jako úspěšné v 70 % případů nebo více.

Pro celkovou úspěšnost musí být splněny podmínky obou intervalů současně. Druhá skupina je považována za správnou, pokud je shodně v předpovědi a ve zprávě METAR výskyt nebo absence mraků BKN/OVC. K pochopení vyhodnocení první skupiny pomůže tabulka 2.13, kde jsou uvedeny kategorie množství oblačnosti a k nim příslušné skupiny pro úspěšnou předpověď. Pro jednoduchost je "—" vyjádřeno pomocí čísla 1, pokrytí oblačností SCT a FEW je vyjádřeno pomocí čísla 2 a zbylé pokrytí BKN, OVC a VV jsou vyjádřeny pomocí čísla 3. Může však nastat situace, kdy je více skupin najednou. V praxi to znamená, že je v daném intervalu více vrstev



Tabulka 2.13: Kombinace úspěšných předpovědí TAF a zpráv METAR

TAF	METAR			
1	1	2		
2	1	2		
3	3	23		
13	1	2	3	23
12	1	2		
23	2	3	23	
123	1	2	3	23

oblačnosti. Možné kombinace pokrytí oblačnosti a jejich zařazení jsou níže popsána. Na různé množství pokrytí oblačnosti je nahlíženo z hlediska vyhodnocování stejně, pokud jsou zařazena do stejné kategorie. Každá z těchto skupin má specifické vyhodnocování.

- 1 - "—"
- 2 - FEW, SCT, FEW SCT, SCT SCT
- 3 - BKN, OVC, VV, BKN BKN, BKN OVC, BKN BKN OVC
- 23 - FEW OVC, FEW BKN, SCT BKN, SCT OVC, FEW BKN OVC, SCT BKN OVC, SCT BKN BKN

Nejdůležitější je hodnota celkové úspěšnosti předpovědí. Pomocí vzorců, které zjistí, zda byla splněna kritéria u jednotlivých intervalů (nad a pod 1 500 ft), se určí dílčí úspěšnost předpovědi pro spodní a pro horní interval. Zkoumané veličiny se při výběru pouze úspěšných/neúspěšných předpovědí řídí dílčími úspěšnostmi.

Hodnota se přepočítává z původního souboru a převede do formátu oblačnost/není oblačnost dle tabulky (tabulka odkaz). Výsledné skutečné hodnoty se zpracovávají zvlášť pro oba intervaly (pod i nad 1 500 ft). V jednotlivých intervalech se počítá počet předpovědí se skutečným výskytem oblačnosti vyjádřen v procentech a to stejné pro předpověď bez výskytu oblačnosti. Dále se pro oba intervaly určuje, kdy nelze určit, zda se ve skutečnosti vyskytla oblačnost, jelikož je pozorováno více vrstev oblačnosti a spadají do skupiny oblačnosti i do skupiny bez oblačnosti.



Tabulka 2.14: Počet možných variant pokrytí oblačnosti pro všechny kombinace

Všechny kombinace pokrytí oblačnosti	Počet možných variant pokrytí oblačnosti
1	5
2	5
3	13
13	18
12	5
23	17
123	18

Pro výpočet rozptylu je třeba určit počet možných kombinací pokrytí oblačnosti. K tomu poslouží tabulka 2.14. Rozptyl je vypočten jako podíl možných kombinací ku celkovému možnému počtu kombinací. Výsledná hodnota se vyjádří jako průměr těchto hodnot v procentech.

Vypočítaná odchylka ukáže, zda se předpověď odchýlila k vyšší nebo nižší hodnotě (když je stejná, tak je vložena "0"). Není zde na místě posuzovat jakoukoliv míru odchylky. Je vypočítáno procentuální zastoupení skutečných hodnot pro výskyt i absenci oblačnosti. Dále je určeno, kolik procent předpovědí je vždy úspěšných.

2.5.6 Výška oblačnosti

Vstupní parametry pro vyhodnocení výšky oblačnosti dle L3 Meteorologie (viz tabulka 2.1) jsou rozděleny do dvou skupin. Jedna skupina je od 0 ft do 1 000 ft (bez 1 000 ft) s tolerancí ± 100 ft. Druhá skupina je od 1 000 ft (včetně) do 5 000 ft. Horní hranice dle předpisu je 10 000 ft, ale v České republice je omezena výška provozní hladinou v 5 000 ft. Pro druhou skupinu platí tolerance ± 30 %, což stejně jako u dohlednosti není jednoznačně popsáno a nevíme, zda je správnější počítat procenta od předpovědi nebo od reality. Používaný syntaktický analyzátor počítá znovu procenta od předpovědi, takže je v této práci zvolen stejný postup. Zkoumané rozpětí musí být vyhodnoceno jako úspěšné v 70 % případů nebo více.

Úspěšnost se do databáze přepokopíruje stejným způsobem jako v kapitole 2.5.2. Pokud je reálná hodnota mezi dvěma hodnotami předpovědi vzdálené více, než jsou meze rozptylu, tak se předpověď považuje za neúspěšnou. Jedná se tedy o stejnou situaci jako u rychlosti větru. Když



je v předpovědi "—", tak v aktuální zprávě musí být také "—", aby byla předpověď vyhodnocena jako úspěšná.

Hodnota skutečné výšky oblačnosti se vezme z původního souboru. Hodnoty jsou zapisovány ve stovkách stop neboli v hladinách. Hodnota "024" je tedy letová hladina (FL) 24 nebo 2 400 ft. Hodnoty skutečnosti se pohybují od 0 ft do 5 000 ft. Pokud v tomto intervalu není žádná oblačnost, tak se značí "—". Z těchto hodnot se vypočítá pomocí základních funkcí průměr, modus a medián.

Rozptyl hodnot pro výšku oblačnosti se počítá stejným způsobem jako v kapitole 2.5.2. Hodnoty jsou přepsány pro praktičtější zacházení. Pokud je předpověď bez oblačnosti ("—"), tak je rozptyl automaticky nula. Stejný postup je aplikován pro snadné dopočítání veličin jako průměr, modus a medián pomocí základních funkcí. V tabulce 2.15 jsou tři příklady předpovědí TAF spolu s jejich odpovídajícími rozptyly.

Tabulka 2.15: Příklad rozptylů předpovědi TAF pro výšku oblačnosti

př.	TAF (FL)			ROZPTYL (FL)
A	10	—		7
B	1	10	40	33
C	—			0

Odchylna hodnot pro výšku oblačnosti se počítá stejným způsobem jako v kapitole 2.5.2. Opět proběhne vyhledání nejmenšího rozdílu předpovědi a skutečnosti podle úspěšnosti dané předpovědi od konkrétní hodnoty předpovědi nebo od hranice rozptylu. Kladná odchylna znamená, že je skutečná hodnota vyšší než v nejbližší předpovědi. Záporná hodnota znamená, že je skutečná hodnota níž než v nejbližší předpovědi. Přesná předpověď je značena nulou. Pokud v předpovědi není žádná oblačnost ("—") a ve skutečnosti na letišti nějaká oblačnost byly (např. 014), tak se vypíše "B"(byla oblačnost, i když neměla být). Pokud je v předpovědi nějaká existence mraků a ve skutečnosti žádné nejsou ("—"), tak se vypíše "N"(nebyla oblačnost, i když měla být). V těchto dvou případech není totiž možné měřit míru odchylny, tak se zaznamenává alespoň údaj o změně. Ve výsledném vyhodnocení je pro odchylny přes a pod vypočítána průměrná hodnota a procentuálně vyjádřen počet případů. Dále je vypočítáno procentuální zastoupení případů, kdy není žádná odchylna, kdy oblačnost nebyla, ale měla být a kdy oblačnost být neměla, ale byla.



V tabulce 2.16 jsou tři příklady předpovědí TAF spolu s hodnotami ze zprávy METAR a jejich odpovídající odchylky. Příklad A je úspěšná předpověď a příklad B a C jsou neúspěšné předpovědi.

Tabulka 2.16: Příklad odchylek předpovědi TAF pro výšku oblačnosti

př.	TAF (FL)			METAR (FL)	ODCHYLKA (FL)
A	13	5		10	-3
B	25	10		—	N
C	—			10	B

2.6 Shrnutí kapitoly

V této kapitole bylo detailně popsáno zpracování dat. Rozebrány byly nevyhovující aspekty využitého programu a k nim byla uvedena nápravná opatření. Byly vysvětleny použité funkce pro získání potřebných dodatečných veličin. Následná podoba dat byla popsána zvlášť pro každý zkoumaný prvek předpovědi.



3 Prezentace výsledků

Kompletní výsledky praktické části jsou uvedeny jako příloha práce. Obsahují tabulkové zpracování dat po jednotlivých obdobích (rok, roční období, měsíc, denní doba) a po zkoumaných prvcích meteorologických předpovědí. Není možné uvést všechny výsledky v této kapitole práce, a proto jsou uvedeny pouze ty nejdůležitější. Jsou to výsledky za rok 2022 po jednotlivých prvcích. Přidány jsou také grafy znázorňující porovnání jednotlivých letišť, období nebo prvků. Závěrem této kapitoly jsou uvedeny korelace různých veličin v rámci letišť a v rámci prvků.

3.1 Výsledky pro rok 2022

Nejdůležitějším výsledkem jsou souhrnné úspěšnosti předpovědí TAF na jednotlivých letištích pro zkoumané prvky za rok 2022. Tyto předpovědi musí splňovat legislativní požadavky na přesnost dle L3 Meteorologie. Souhrnné úspěšnosti jsou uvedeny v tabulce 3.1

Tabulka 3.1: Tabulka úspěšnosti jednotlivých prvků za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)

Úspěšnost 2022	Směr větru	Rychlost větru	Dohlednost	Srážky	Množství oblačnosti	Výška oblačnosti
LKKV	75,74%	95,77%	93,15%	97,55%	87,39%	76,62%
LKPR	71,96%	95,82%	94,13%	97,62%	90,12%	81,93%
LKTB	68,11%	92,99%	94,42%	97,62%	88,81%	80,00%
LKMT	75,46%	93,18%	92,03%	98,14%	87,06%	76,18%

Minimální požadovaná přesnost:

80%

80%

80%

80%

70%

70%

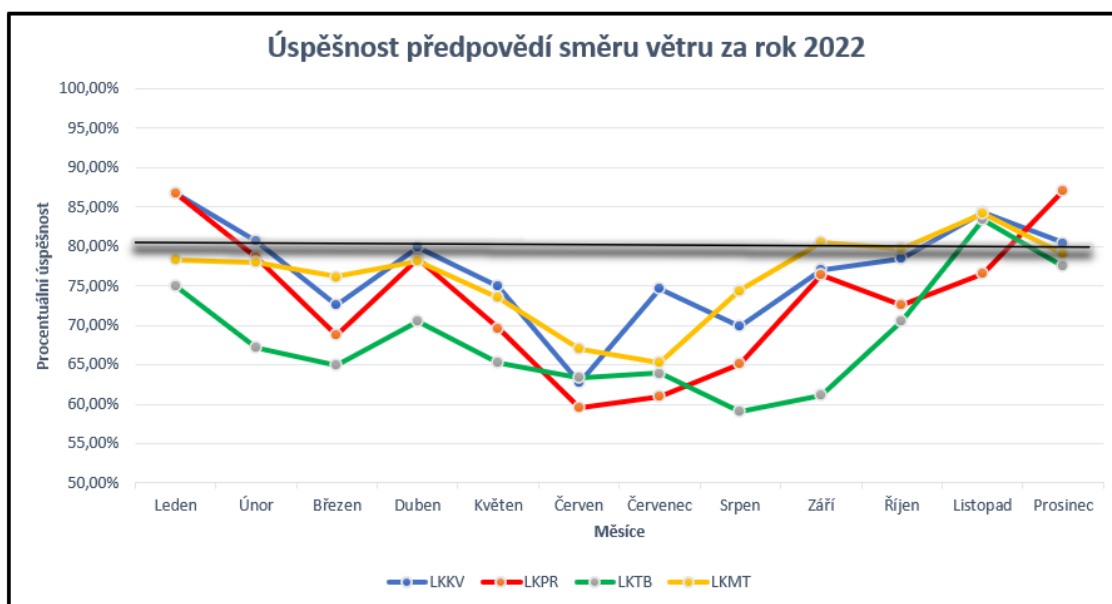
Všechny prvky kromě směru větru splňují na všech letištích požadavky na minimální přesnost. Předpovědi směru větru nespĺňují minimální požadavky (oranžové zbarvení) ani na jednom ze čtyř zkoumaných letišť. Naopak neúspěšnějším prvkem předpovědi jsou srážky. Průměrná úspěšnost předpovědí je na všech letištích v rozmezí 2 %. Nejlépe z nich je na tom letiště v Praze. Jedná se však o malý rozdíl oproti ostatním letištím.

Následující podkapitoly jsou rozděleny podle zkoumaných prvků. Pro každý prvek předpovědi je uvedena a popsána výsledná tabulka za rok 2022 obsahující úspěšnost, rozptyl, skutečnou hodnotu a odchylku. Dále je uveden graf průběhu úspěšností daného prvku v průběhu roku po

jednotlivých měsících. Tato forma poskytuje nejlepší přehled o vývoji úspěšnosti v průběhu roku, a proto nejsou již uváděny grafy pro jednotlivá roční období. Grafy jsou však uvedeny v příloze k práci spolu s detailními výsledky v podobě tabulek pro jednotlivá období.

3.1.1 Výsledky pro směr větru

Směr větru je jediným prvkem, jehož celková úspěšnost je pod minimální hranicí. Z grafu 3.1 je zřejmé, že ve většině měsíců je úspěšnost pod minimální hranicí úspěšnosti. Nejnižší úspěšnost mají letní měsíce a nejvyšší úspěšnost mají zimní měsíce, které jsou jako jediné nad minimální hranicí. Na všech letištích je víceméně stejná situace v průběhu roku. Mezi jednotlivými měsíci jsou relativně velké rozdíly. Nejnižší úspěšnost předpovědi směru větru má letiště v Brně a nejvyšší úspěšnost má letiště v Karlových Varech.



Obrázek 3.1: Graf úspěšnosti předpovědí směru větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 80 %.

Tabulka 3.2 pomůže blíže nahlédnout pod strohý údaj o úspěšnosti. Průměrná hodnota roptylu se pohybuje od 115° do 162°. Nejmenší rozptyl je v Praze (stejně tak i nižší úspěšnost). Úspěšné předpovědi mají na všech letištích mnohem větší rozptyl, než ty neúspěšné. Nejčastěji se vyskytuje rozptyl 40°, což je minimální rozptyl, který odpovídá předpovědi, ve které je pouze jedna hodnota směru větru. Pokud je rozptyl 360°, tak je předpověď vždy správná. Vždy správná předpověď



nastala ve 21 % až 36 % případů. Nejméně je v Praze a nejvíce v Karlových Varech. Vždy správná předpověď souvisí s výskytem VRB, což když je v předpovědi, tak se považuje za vždy správnou.

Tabulka 3.2: Tabulka úspěšnosti směru větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Úspěšné předpovědi (Y), neúspěšné předpovědi (N), hodnota ve stupních (°), hodnota v procentech (%) a diagonální přeškrtnutí (záměrně vynecháno)

Období:	Směr větru								
2022									
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (°)	ROZPTYL modus (°)	HODNOTA průměr (°)	HODNOTA modus (°)	ODCHYLKA průměr (°)	ODCHYLKA nelze (%)	VÝSKYT VRB (%)	VŽDY SPRÁVNĚ (%)
LKKV	75,74%	162,89	40	255,18	260	28,21	21,55%	32,58%	
	Y	200,65	360	256,65	260	24,71	18,89%	34,54%	
	N	44,95	40	89,12	260	36,61	29,84%	26,45%	
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (°)	ROZPTYL modus (°)	HODNOTA průměr (°)	HODNOTA modus (°)	ODCHYLKA průměr (°)	ODCHYLKA nelze (%)	VÝSKYT VRB (%)	VŽDY SPRÁVNĚ (%)
LKPR	71,96%	115,84	40	254,55	240	25,83	10,91%	17,93%	21,66%
	Y	143,12	40	254,19	230	21,60	9,50%	19,57%	
	N	45,83	40	258,15	240	33,77	14,55%	13,73%	
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (°)	ROZPTYL modus (°)	HODNOTA průměr (°)	HODNOTA modus (°)	ODCHYLKA průměr (°)	ODCHYLKA nelze (%)	VÝSKYT VRB (%)	VŽDY SPRÁVNĚ (%)
LKTB	68,11%	131,58	40	355,14	70	31,30	16,03%	24,07%	26,85%
	Y	171,94	360	353,30	70	25,53	14,64%	27,09%	
	N	45,36	40	359,56	80	40,28	19,02%	17,62%	
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (°)	ROZPTYL modus (°)	HODNOTA průměr (°)	HODNOTA modus (°)	ODCHYLKA průměr (°)	ODCHYLKA nelze (%)	VÝSKYT VRB (%)	VŽDY SPRÁVNĚ (%)
LKMT	75,46%	133,70	40	247,70	220	28,94	16,73%	25,75%	27,76%
	Y	162,30	40	243,41	220	22,67	14,71%	27,47%	
	N	45,74	40	281,81	240	43,12	22,95%	20,47%	

Skutečná hodnota je na každém letišti odlišná a závisí velmi na okolním terénu. Na letišti v Brně je průměrný směr větru severní. Nejčastější je ovšem vítr východní. Na zbylých letištích je průměrný i nejčastější směr větru západ-jihozápad. Skutečná hodnota je přibližně stejná pro úspěšné i neúspěšné předpovědi až na Karlovy Vary. Na tomto letišti je pro úspěšné předpovědi průměrně západní směr větru. Neúspěšné předpovědi mají však opačný směr větru a to východní. V tabulce 3.3 jsou uvedeny průměrné směry větru za jednotlivá roční období pro všechna letiště. Na všech letištích kromě Brna převládá většinu roku přibližně západní směr větru ve všech ročních obdobích kromě podzimu. Během podzimu se změnil průměrný směr větru na všech letištích. Na letišti v Brně jsou největší výkyvy mezi jednotlivými ročními obdobími.



Tabulka 3.3: Tabulka průměrného směru větru v průběhu roku 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)

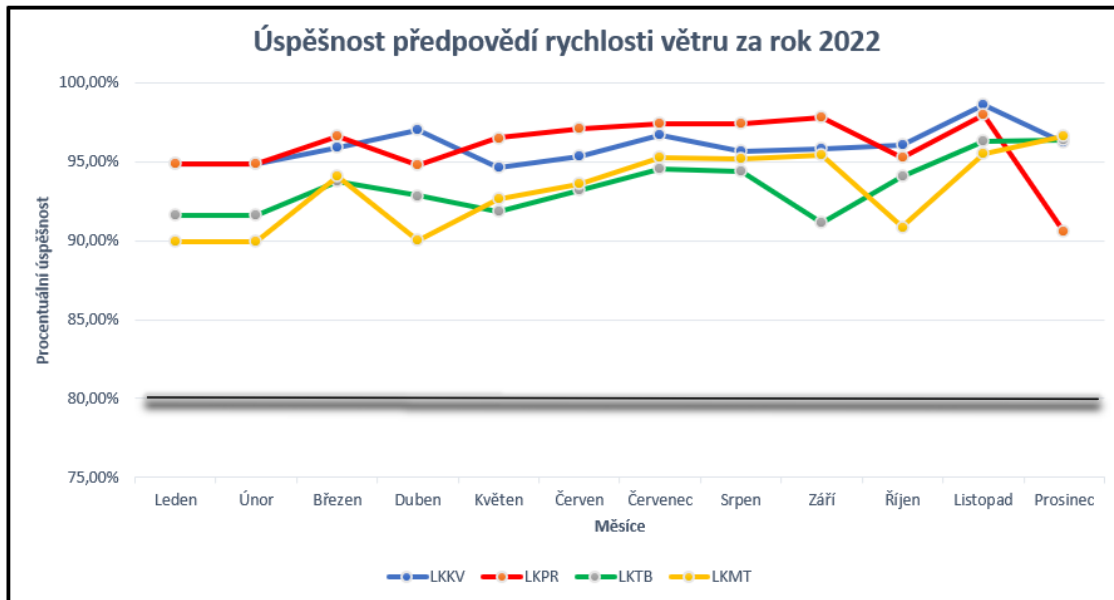
Průměrný směr větru(°)	2022	Jaro	Léto	Podzim	Zima
LKKV	255	310	322	163	246
LKPR	255	295	293	197	245
LKTB	355	18	348	104	266
LKMT	248	282	342	221	238

Průměrná odchylka se pohybuje od 25° do 31°. Není jednoznačné, který směr je pro pilota lepší a který horší, a proto se zkoumá pouze odchylka v absolutní hodnotě. Nejvyšší odchylka je v Brně, kde je zároveň nejnižší úspěšnost. Průměrné odchylky pro úspěšné předpovědi se vztahují k předpovídané hodnotě. Teoreticky by hodnota odchylky neměla přesáhnout 20° (rozptyl pro úspěch), ale kvůli VRB jsou všechny předpovědi do 5 uzlů považovány za správné, takže může být odchylka u úspěšné předpovědi i více. Odchylka pro neúspěch se vztahuje k hranici intervalu a značí tak kolik stupňů scházelo ke správné odpovědi. Tyto odchylky jsou přibližně o 10° větší než odchylky úspěšných předpovědí (průměrně 23°). Odchylka nešla vypočítat v 10 % až 21 % případů, kdy se v předpovědi nebo ve skutečnosti vyskytl variabilní vítr. Pro současnou předpověď i skutečnost proměnlivého větru je odchylka 0° a pro předpověď zahrnující VRB i hodnotu směru se počítá odchylka z dané hodnoty, a proto má výskyt VRB přibližně o 10 % více než procento případů, kdy odchylka nešla spočítat. Výskyt VRB je přibližně o 10 % častější u úspěšných předpovědí, než u těch neúspěšných. Pro předpovědi, u kterých nelze spočítat odchylka to platí opačně.

3.1.2 Výsledky pro rychlost větru

Celková úspěšnost předpovědí pro rychlost větru na letištích se pohybuje v rozmezí 93 % až 96 %. Z grafu 3.2 vyplývá, že všechny dílčí úspěšnosti jednotlivých měsíců se nachází nad minimální hranicí v rozmezí 90 % až 99 %. Pro některá letiště jsou hodnoty úspěšnosti vyšší a pro některá

nižší, ale mají stejný průběh až na ojedinělé případy. Nejnižší hodnoty má letiště v Brně a nejvyšší úspěšnost má letiště v Praze. Jedná se však o relativně malé rozdíly.



Obrázek 3.2: Graf úspěšnosti předpovědí rychlosti větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 80 %.

Detailní rozbor vychází z tabulky 3.4. Průměrná hodnota rozptylu se pohybuje od 11,5 kt do 12,0 kt. Stejných hodnot dosahuje průměrný rozptyl pro úspěšné i neúspěšné hodnoty. Modus a medián rozptylu je pro všechna letiště 11 kt. Stejná hodnota vychází i pouze pro úspěšné a neúspěšné. Rozptyl 11 kt má předpověď obsahující pouze jeden údaj o rychlosti větru. Pokud by hodnota předpovídané rychlosti byla menší než 5 kt, tak by mohl rozptyl klesnout až na 6 kt, což je minimální hodnota rozptylu. Nejčastěji byl tedy v předpovědi pouze jeden údaj o rychlosti větru, který byl 5 a více uzlů.

Skutečná hodnota rychlosti větru se odvíjí od polohy daného letiště. Pro všechna letiště se průměrné hodnoty nachází v rozmezí 5,5 kt až 7,5 kt. Nejvyšší skutečné hodnoty se nachází na letišti v Praze a nejnižší hodnoty jsou na letišti v Karlových Varech. Úspěšné předpovědi dosahují víceméně stejných hodnot jako celkový průměr skutečných hodnot. Neúspěšné předpovědi mají přibližně o 1 kt nižší hodnoty všude kromě Prahy. V Praze mají neúspěšné hodnoty o cca půl uzlu více. Medián skutečných hodnot odpovídá jejich průměru (i pro neúspěšné a úspěšné předpovědi zvlášť). Nejčtenější skutečné hodnoty jsou na všech letištích nižší než jejich průměr. Celkový



Tabulka 3.4: Tabulka úspěšnosti rychlosti větru za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Úspěšné předpovědi (Y), neúspěšné předpovědi (N), hodnota v uzlech (kt), hodnota v procentech (%) a diagonální přeškrtnutí (záměrně vynecháno)

Období:	Rychlost větru											
2022												
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (kt)	ROZPTYL modus (kt)	ROZPTYL medián (kt)	HODNOTA průměr (kt)	HODNOTA modus (kt)	HODNOTA medián (kt)	ODCHYLKA pod (kt)	ODCHYLKA pod (%)	ODCHYLKA přes (kt)	ODCHYLKA přes (%)	ODCHYLKA žádná (%)
LKKV	95,77%	11,66	11	11	5,36	2	5	-2,31	54,17%	1,93	27,57%	18,26%
	Y	11,64	11	11	5,39	2	5	-2,34	52,93%	1,93	28,01%	
	N	12,12	11	11	4,74	2	4	-1,83	82,33%	1,86	17,67%	
LKPR	95,82%	11,98	11	11	7,17	5	6	-2,23	53,76%	1,97	28,29%	17,95%
	Y	11,98	11	11	7,16	5	6	-2,26	52,86%	1,92	28,41%	
	N	11,88	11	11	7,48	2	5	-1,88	74,58%	3,16	25,42%	
LKTB	92,99%	11,77	11	11	6,32	3	6	-2,37	54,73%	2,05	28,54%	16,74%
	Y	11,77	11	11	6,38	3	6	-2,39	52,67%	2,00	29,33%	
	N	11,80	11	11	5,54	2	4	-2,12	81,95%	3,02	18,05%	
LKMT	93,18%	11,78	11	11	6,38	3	5	-2,35	55,56%	1,99	27,64%	16,69%
	Y	11,76	11	11	6,43	3	5	-2,37	53,87%	1,97	28,15%	
	N	11,97	11	11	5,71	2	4	-2,24	78,72%	2,37	20,67%	

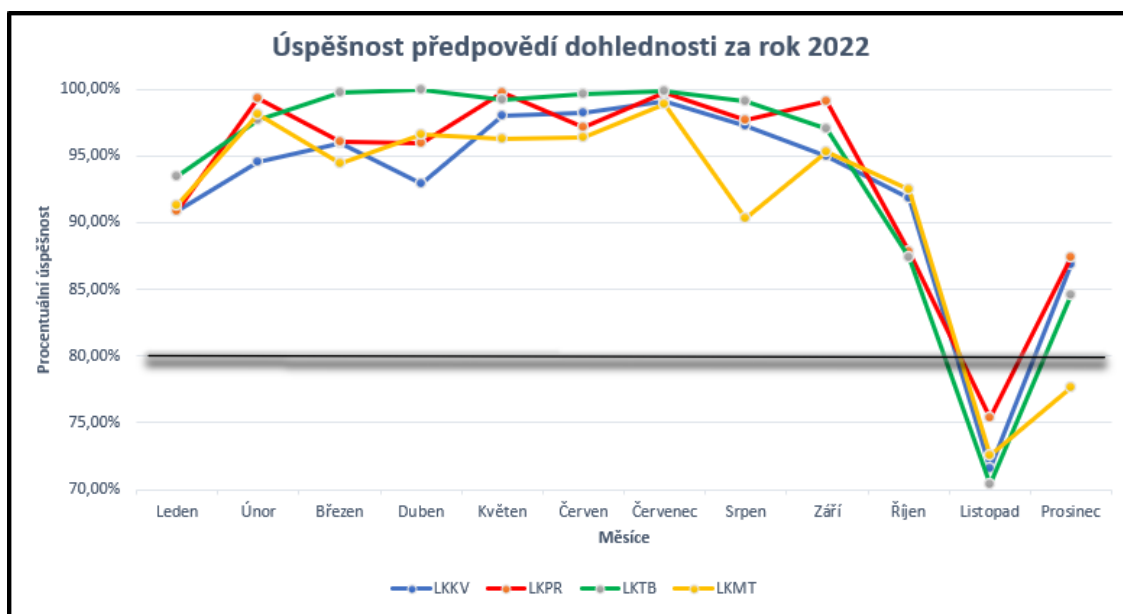
modus skutečných hodnot odpovídá modu pouze pro úspěšné předpovědi. Modus skutečných hodnot pro neúspěšné předpovědi je vždy 2 kt.

Odchyška je rozdělena do skupiny: pod, přes a žádná odchyška. Odchyška "pod" zachycuje situaci, kdy hodnota ze zprávy METAR je nižší než hodnota z předpovědi TAF. U odchyšky "přes" je hodnota naopak vyšší než v předpovědi a "žádá odchyška" zachycuje nulové odchyšky. Průměrná odchyška "pod" nastane na všech letištích v přibližně 54 % předpovědí a jejich průměrná hodnota je přibližně -2,3 kt. Průměrná odchyška "přes" nastane na všech letištích v přibližně 27 % předpovědí a jejich průměrná hodnota je přibližně 1,9 kt. Odchyška "pod" se vyskytla 2x častěji než odchyška "přes" a dosahuje větší odchyšky než odchyška "přes". Úspěšné předpovědi vztahují odchyšku k předpovídané hodnotě a neúspěšné k hranici intervalu pro úspěšnou předpověď. Úspěšné předpovědi mají stejné hodnoty odchyšek jako ty celkové. Neúspěšné předpovědi mají odchyšku "pod" v 74 % až 82 % a odchyšku "přes" v 17 % až 25 %. Nejvíce neúspěšných předpovědí s odchyškou "pod" mají Karlovy Vary a nejvíce neúspěšných předpovědí s odchyškou "přes" je

na letišti v Praze. Neúspěšné předpovědi mají až o 1 uzel větší hodnotu odchylky. Odchylka "pod"by měla být teoreticky lepší pro pilota než odchylka "přes", ale neplatí to ve všech případech. Předpověď bez jakékoliv odchylky se vyskytuje na všech letištích v 16 % až 18 % předpovědí.

3.1.3 Výsledky pro dohlednost

Celková úspěšnost předpovědí pro dohlednost je dle grafu 3.3 na všech letištích ve všech měsících nad hranicí úspěšnosti kromě listopadu a prosince. Úspěšnosti mají na všech letištích stejný průběh v rámci roku. Nejnižší úspěšnost je na letišti v Ostravě a nejvyšší úspěšnost je na letišti v Brně. Jedná se však pouze o rozdíl 2 %. Na žádném letišti nejsou příliš velké výkyvy, když se nebere v potaz listopad. V tomto měsíci došlo k poklesu a následně nárůstu o 15 až 20 %. Kromě zimního období se úspěšnost vyskytuje mezi 90 % a 100 %.



Obrázek 3.3: Graf úspěšnosti předpovědí dohlednosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 80 %.

Detailnější rozbor vychází z tabulky 3.5. Průměrný rozptyl se na všech letištích pohybuje mezi 4 100 m a 4 800 m. Nejnižší rozptyl je na letišti v Brně a nejvyšší je na letišti v Karlových Varech. Pro úspěšné a neúspěšné předpovědi jsou hodnoty průměrného rozptylu v rámci 200 m stejné. Modus a medián rozptylu je 3 000 m, což je hodnota, která odpovídá situaci, kdy je pouze 9 999 m v předpovědi. Nejčastěji byla tedy předpovídána dohlednost na všech letištích 10 km a více.



Tabulka 3.5: Tabulka úspěšnosti dohlednosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Úspěšné předpovědi (Y), neúspěšné předpovědi (N), hodnota v metrech (m), hodnota v procentech (%) a diagonální přeškrtnutí (záměrně vynecháno)

Období:	Dohlednost											
2022												
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (m)	ROZPTYL modus (m)	ROZPTYL medián (m)	HODNOTA průměr (m)	HODNOTA modus (m)	HODNOTA medián (m)	ODCHYLKA pod (m)	ODCHYLKA pod (%)	ODCHYLKA přes (m)	ODCHYLKA přes (%)	ODCHYLKA žádná (%)
LKKV	93,15%	4 840	3 000	3 000	9 282	9 999	9 999	-1 550	5,72%	2 094	11,25%	83,03%
	Y	4 856	3 000	3 000	9 453	9 999	9 999	-1 414	4,29%	1 365	6,58%	
	N	4 620	3 000	4 300	6 953	9 999	8 000	-1 864	25,15%	2 967	74,85%	
LKPR	94,13%	4 347	3 000	3 000	9 110	9 999	9 999	-1 280	7,72%	1 649	9,94%	82,34%
	Y	4 348	3 000	3 000	9 306	9 999	9 999	-1 167	6,09%	1 198	6,44%	
	N	4 337	3 000	4 200	5 965	9 999	6 000	-1 605	33,92%	2 354	66,08%	
LKTB	94,42%	4 113	3 000	3 000	9 409	9 999	9 999	-1 324	5,23%	2 111	8,63%	86,14%
	Y	4 124	3 000	3 000	9 558	9 999	9 999	-1 252	4,24%	1 161	4,55%	
	N	3 925	3 600	3 600	6 895	9 999	8 000	-1 560	22,11%	3 054	77,61%	
LKMT	92,03%	4 468	3 000	3 000	8 993	9 999	9 999	-1 308	9,80%	1 761	12,80%	77,40%
	Y	4 465	3 000	3 000	9 173	9 999	9 999	-1 295	8,31%	1 219	7,59%	
	N	4 502	3 000	4 200	6 914	9 999	8 000	-1 357	27,02%	2 414	72,98%	

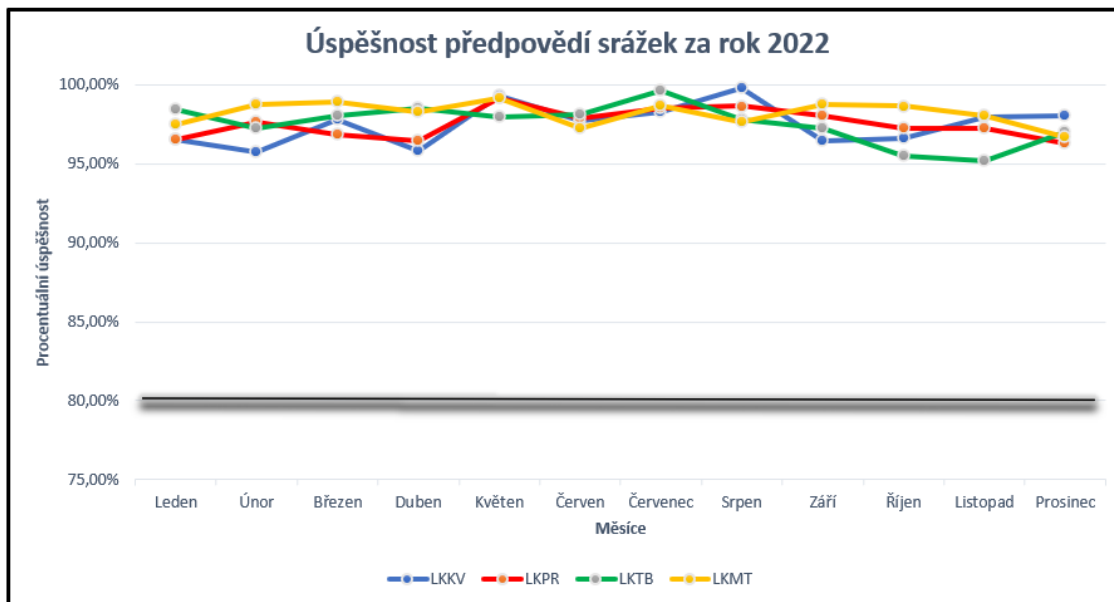
Průměr skutečných hodnot dohlednosti se pohyboval od 9 000 m do 9 400 m. Nejvyšší hodnoty se průměrně vyskytovaly v Brně a nejnižší v Ostravě. Skutečné hodnoty pro úspěšné předpovědi odpovídají celkovému průměru. Hodnoty pro neúspěšné předpovědi se pohybují od 6 000 m do 7 000 m (nejnižší v Praze). Modus a medián skutečných hodnot dohlednosti je 9 999 m pro všechna letiště. Stejných hodnot dosahují skutečné hodnoty pouze pro úspěšné/neúspěšné předpovědi. Tato hodnota souvisí s modem a mediánem u rozptylu, a také mírou úspěšnosti.

Odchylka je opět rozdělena na tři části: pod, přes a žádná odchylka. Odchylka "pod" má vždy menší procentuální výskyt, než odchylka "přes". Odchylku "přes" lze považovat za zlepšení dohlednosti a odchylku "pod" lze považovat za zhoršení dohlednosti. Odchylka "pod" se vyskytla v 5 až 9 % předpovědí (nejméně v Brně a nejvíce v Ostravě). Úspěšné předpovědi obsahují odchylku "pod" ve 4 až 8 % předpovědí a neúspěšné předpovědi obsahují odchylku "pod" ve 25 až 33 % předpovědí. Odchylka "přes" má stejné zastoupení v úspěšných předpovědích, ale v neúspěšných se výskyt pohybuje od 66 % do 77 %. Průměrná hodnota odchylky "pod" je v rámci 200 m na všech letištích přibližně -1 400 m. Úspěšné předpovědi mají odchylku přibližně o 500 m menší, než mají

neúspěšné předpovědi. Průměrná hodnota odchylky "přes" se pohybuje od 1 600 m do 2 100 m (nejnižší v Praze a nejvyšší v Brně). Úspěšné předpovědi mají odchylku "přes" na všech letištích přibližně 1 200 m a neúspěšné předpovědi mají odchylku 1 000 až 1 500 m (nejvyšší odchylku mají Karlovy Vary a Brno). Žádná odchylka byla v 77 % až 86 % předpovědí. Nejvíce předpovědí bez odchylky je na letišti v Brně a nejméně na letišti v Ostravě (stále se však jedná o velké procento případů).

3.1.4 Výsledky pro srážky

Celková úspěšnost předpovědí pro srážky je dle grafu 3.4 na všech letištích ve všech měsících nad hranicí úspěšnosti v rozmezí 95 až 100 %. Celková úspěšnost je na všech letištích v rámci půl procenta stejná. V žádném měsíci se nevyskytují závažné výkyvy. Celkově jde o velmi přesné předpovědi.



Obrázek 3.4: Graf úspěšnosti předpovědí srážek za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 80 %.

Podrobnosti k velmi dobrým výsledkům úspěšnosti lze zjistit z tabulky 3.6. V předpovědi srážky mohou buď být, nebýt nebo obojí, a proto se rozptyl rozděluje do dvou skupin. Rozptyl je 0 %, pokud je v předpovědi pouze jedna hodnota. V případě, že v předpovědi srážky jsou i nejsou, tak je rozptyl 100 %, protože výsledná úspěšnost bude vždy správná. Rozptyl 0 % má na všech letištích



přibližně 2x větší výskyt (pohybuje mezi 63 až 73 %). Nejméně předpovědí s nulovým rozptylem bylo v Karlových Varech a nejvíce jich bylo v Brně. Na všech letištích byl stejný výskyt (v rámci 1 %) úspěšných (96,5 %) a neúspěšných (3,5 %) předpovědí s nulovým rozptylem. Předpovědi se 100% rozptylem se vyskytly v 27 až 37 % předpovědí. Nejvíce zaručeně správných předpovědí bylo na letišti v Karlových Varech a nejméně na letišti v Brně.

Tabulka 3.6: Tabulka úspěšnosti srážek za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Úspěšné předpovědi (Y), neúspěšné předpovědi (N), hodnota v procentech (%) a diagonální přeškrtnutí (záměrně vynecháno)

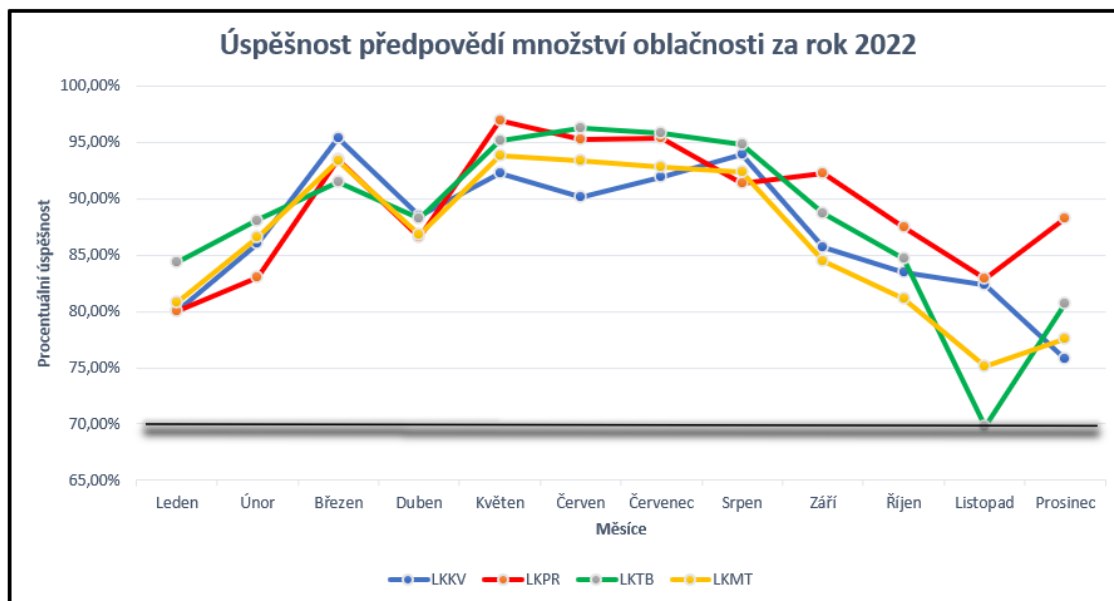
Období:	Srážky						
2022							
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL 0 (%)	ROZPTYL 100 (%)	HODNOTA ANO (%)	HODNOTA NE (%)	ODCHYLKA horší (%)	ODCHYLKA lepší (%)
LKKV	97,55%	63,17%	36,83%	11,66%	88,34%	1,21%	1,24%
	Y	96,12%	/	89,65%	98,59%	/	/
	N	3,88%	/	10,35%	1,41%	/	/
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL 0 (%)	ROZPTYL 100 (%)	HODNOTA ANO (%)	HODNOTA NE (%)	ODCHYLKA horší (%)	ODCHYLKA lepší (%)
LKPR	97,62%	71,78%	28,22%	10,90%	89,10%	1,36%	1,02%
	Y	96,68%	/	87,51%	98,86%	/	/
	N	3,32%	/	12,49%	1,14%	/	/
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL 0 (%)	ROZPTYL 100 (%)	HODNOTA ANO (%)	HODNOTA NE (%)	ODCHYLKA horší (%)	ODCHYLKA lepší (%)
LKTB	97,62%	72,78%	27,22%	9,06%	90,94%	1,87%	0,51%
	Y	96,74%	/	79,38%	99,44%	/	/
	N	3,26%	/	20,62%	0,56%	/	/
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL 0 (%)	ROZPTYL 100 (%)	HODNOTA ANO (%)	HODNOTA NE (%)	ODCHYLKA horší (%)	ODCHYLKA lepší (%)
LKMT	98,14%	68,34%	31,66%	8,07%	91,93%	0,97%	0,90%
	Y	97,27%	/	88,03%	99,02%	/	/
	N	2,73%	/	11,97%	0,98%	/	/

Skutečná hodnota srážek je buď výskyt nebo není výskyt. Procentuální hodnota výskytu srážek se na všech letištích pohybuje mezi 8 % a 12 %. Nejméně srážek bylo na letišti v Ostravě a nejvíce srážek na letišti v Karlových Varech. Na všech letištích kromě Brna zahrnují úspěšné předpovědi v přibližně 88 % případů výskyt srážek a v Brně pouze v 79 % případů. Skutečnost beze srážek nastane na všech letištích v 99 % úspěšných předpovědí a v 1 % neúspěšných předpovědí.

Odchylnka lze posoudit pouze z hlediska zlepšení nebo zhoršení. Za zlepšení se považuje výskyt srážek v předpovědi a skutečnost bez výskytu (analogicky pro zhoršení). Na letišti v Karlových Varech a Ostravě dochází ke zhoršení a zlepšení v poměru 1:1. Na letišti v Praze je poměr zhoršení a zlepšení 1,4:1 a v Brně je poměr 3,6:1. Je třeba vzít v potaz, že vzhledem k vysoké úspěšnosti se odchylnky předpovědí řeší u 2 až 3 % případů.

3.1.5 Výsledky pro množství oblačnosti

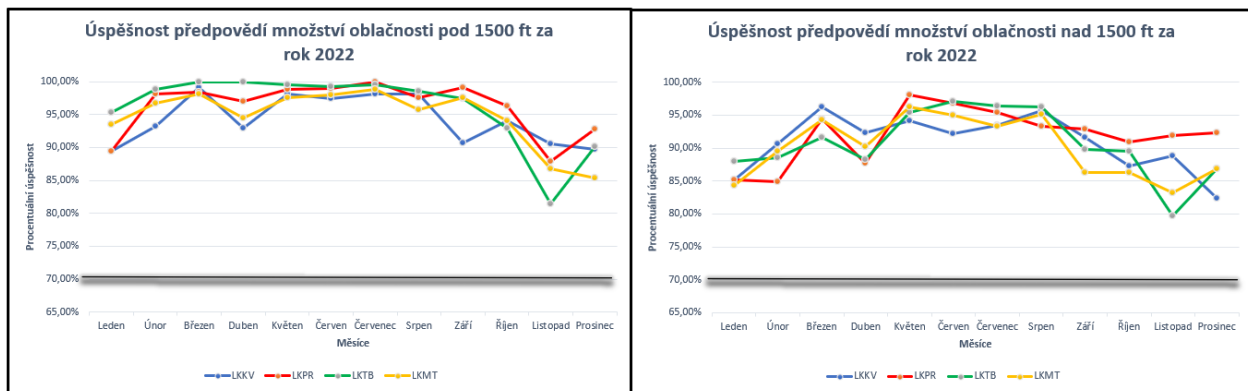
Celková úspěšnost předpovědí pro množství oblačnosti je dle grafu 3.5 na všech letištích ve všech měsících nad minimální hranicí úspěšnosti. Všechna letiště mají obdobný průběh úspěšnosti v průběhu roku. Nejvyšší úspěšnost je v letních měsících a nejnižší úspěšnost je v zimních měsících (konkrétně v listopadu). Letiště s nejvyšší úspěšností předpovědí je v Praze a nejnižší úspěšnost má letiště v Ostravě a Karlových Varech. S výjimkou letních měsíců se vyskytují značné výkyvy mezi jednotlivými měsíci.



Obrázek 3.5: Graf úspěšnosti předpovědí množství oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 70 %.

Předpověď pro množství oblačnosti je celkově úspěšná, pokud je úspěšná předpověď pod i nad 1 500 ft. V grafu 3.4 jsou jednotlivé úspěšnosti pro množství oblačnosti pod i nad 1 500 ft. Na první pohled mají křivky podobný průběh a pro obě platí, že ve všech měsících se drží nad

hranicí úspěšnosti v rozmezí 80 až 96 %. Množství oblačnosti pod 1 500 ft však neobsahuje takové výkyvy v průběhu roku a má celkově přibližně o 4 % vyšší úspěšnost předpovědi. Ve stejných měsících dochází k propadu úspěšnosti. Neúspěšné prvky předpovědi pod 1 500 ft se nevždy protnou s neúspěšnými prvky předpovědi nad 1 500 ft, a proto je celková úspěšnost nižší, než jsou ty dílčí.



Obrázek 3.6: Graf úspěšnosti předpovědí množství oblačnosti pod (vlevo) a nad (vpravo) 1 500 ft (stop) za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 70 %.

Podrobnosti k výsledkům úspěšnosti množství oblačnosti lze zjistit z tabulky 3.7. Rozptyl je uváděn v procentech. Je to poměr prvků z předpovědi, pro které vyjde předpověď správně ku všem možným prvkům. Průměrný rozptyl pod 1 500 ft se pohybuje od 42 % do 52 % (nejméně v Brně a nejvíce v Karlových Varech). Neúspěšné předpovědi mají o 15 až 25 % vyšší výskyt, než ty úspěšné, jejichž hodnota odpovídá celkovému průměrnému rozptylu. Průměrný rozptyl nad 1 500 ft se vyskytuje ve 24 až 28 % předpovědí. Průměr rozptylu pro úspěšné předpovědi je cca o 2 % vyšší oproti celkovému rozptylu.

U skutečných hodnot množství oblačnosti se určoval výskyt nebo absence oblačnosti. Výskyt oblačnosti pod 1 500 ft nastal v 5 až 14 % předpovědí (nejvíce v Karlových Varech a nejméně v Brně). Výskyt oblačnosti pouze u úspěšných předpovědí odpovídá celkovému výskytu a u neúspěšných předpovědí je výskyt přibližně o 10 % vyšší na všech letištích. Výskyt oblačnosti nad 1 500 ft nastal v 15 až 21 % případů (nejméně v Praze a nejvíce v Karlových Varech). Pouze úspěšné předpovědi zaznamenávají výskyt oblačnosti v 15 % (± 2 %) předpovědí a pouze neúspěšné mají výskyt oblačnosti v 50 % případů až na letiště v Karlových Varech,



Tabulka 3.7: Tabulka úspěšnosti množství oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Úspěšné předpovědi (Y), neúspěšné předpovědi (N), hodnota v procentech (%) a diagonální přeškrtnutí (záměrně vynecháno)

Období:	Množství oblačnosti															
	OBOJÍ	POD									NAD					
2022	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (%)	HODNOTA ANO (%)	HODNOTA NE (%)	HODNOTA nelze určit (%)	ODCHYLKA horší (%)	ODCHYLKA lepší (%)	VŽDY SPRÁVNĚ (%)	ÚSPĚŠNOST (%)	ROZPTYL průměr (%)	HODNOTA ANO (%)	HODNOTA NE (%)	ODCHYLKA horší (%)	ODCHYLKA lepší (%)	VŽDY SPRÁVNĚ (%)	
Letiště:	87,39%	94,56%	52,12%	14,08%	83,29%	2,63%	1,18%	2,29%	22,06%	90,94%	28,91%	21,00%	79,00%	6,78%	2,28%	28,91%
LKKV	Y		51,17%	13,64%	83,79%						31,80%	15,64%	84,36%			
	N		68,52%	21,69%	74,65%		21,69%	42,12%			74,79%	25,21%	74,79%	25,21%		
Letiště:	90,12%	96,52%	44,47%	9,09%	88,38%	2,53%	0,65%	1,25%	15,13%	92,59%	24,15%	15,87%	84,13%	3,91%	3,50%	24,15%
LKPR	Y		43,62%	8,75%	89,02%						26,09%	12,92%	87,08%			
	N		67,99%	18,54%	70,40%		18,54%	35,98%			52,71%	47,29%	52,71%	47,29%		
Letiště:	88,81%	96,29%	42,05%	5,70%	93,39%	0,91%	0,60%	1,80%	14,27%	91,13%	24,53%	17,20%	82,79%	4,52%	4,35%	24,53%
LKTB	Y		40,94%	5,30%	93,88%						26,91%	13,91%	86,08%			
	N		71,03%	16,12%	80,60%		16,12%	48,50%			50,98%	49,02%	50,98%	49,02%		
Letiště:	87,06%	94,95%	46,10%	9,37%	89,63%	1,01%	1,21%	2,05%	17,99%	90,45%	27,75%	20,53%	79,47%	4,54%	5,00%	27,75%
LKMT	Y		44,96%	8,59%	90,53%						30,68%	17,67%	82,33%			
	N		67,61%	23,93%	72,73%		23,93%	40,54%			47,60%	52,40%	47,60%	52,40%		

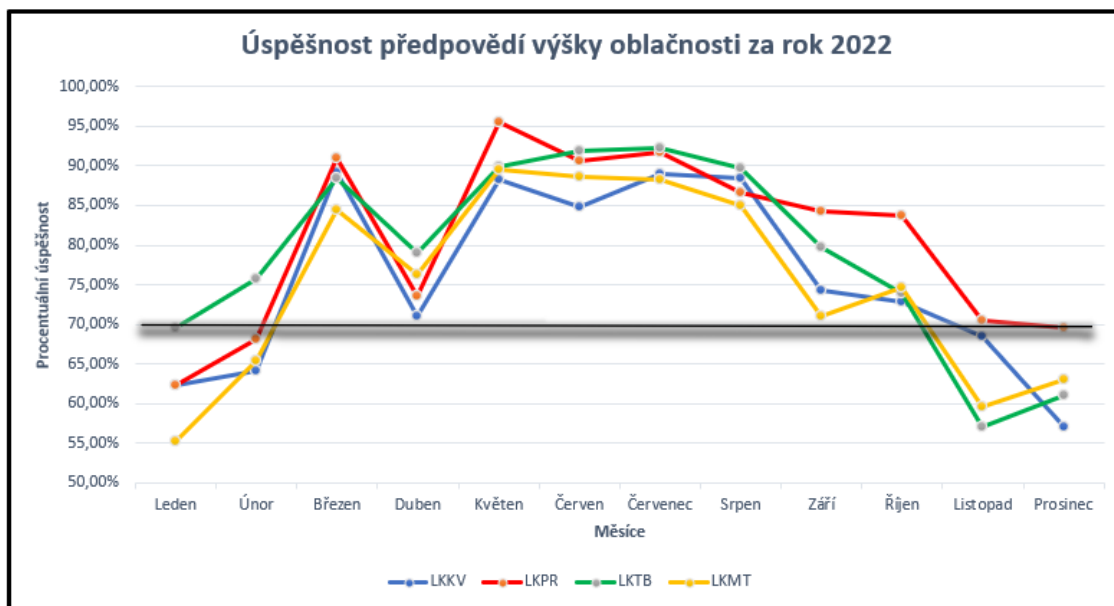
kde hodnota výskytu dosahuje 75 %. Pro předpovědi bez oblačnosti platí v opačném smyslu to samé a procentuální výpočty v součtu dávají 100 %. Skutečná hodnota nelze určit, pokud se ve skutečnosti vyskytuje na letišti oblačnost ve více vrstvách a některé vrstvy jsou považovány za oblačnost a některé nejsou. Tato situace mohla vzniknout pouze pod 1 500 ft. Na letištích v Brně a Ostravě se tato situace vyskytla v 1 % případů a v Praze a Karlových Varech se vyskytla ve 2,5 % případů.

Odchylka může být buď k lepšímu nebo k horšímu. Odchylka k lepšímu znamená, že dle předpovědi měla být oblačnost, ale ve skutečnosti nebyla. Opačně to platí pro odchylku k horšímu. Odchylka pro oblačnost pod 1500 ft má u všech letišť přibližně 2x více odchylek k lepšímu než k horšímu (v rozmezí 1 až 2 %). Pouze neúspěšné předpovědi mají odchylku v 16 až 23 % předpovědí. Odchylka k lepšímu se na opak vyskytuje v rozmezí 1 až 2 % (Praha má nejmenší odchylku a Karlovy Vary mají největší odchylku) a hodnota odchylky pouze pro neúspěšné předpovědi je v rozsahu 35 až 48 % (nejméně v Praze a nejvíce v Brně). Odchylka pro oblačnost nad 1500 ft je na všech letištích přibližně 1:1 zlepšení a zhoršení kromě Karlových Varů, kde má odchylka k horšímu 3x větší výskyt než odchylka k lepšímu. Odchylka k lepšímu se pohybuje od 2 % do 5 % a odchylka k horšímu od 4 % do 7 %. Neúspěšné předpovědi s odchylkou

k horšímu a lepšímu jsou na všech letištích 1:1 kromě Karlových Varů, kde je odchylka k horšímu u neúspěšných předpovědí 75 %.

3.1.6 Výsledky pro výšku oblačnosti

Celková úspěšnost předpovědí pro výšku oblačnosti je dle grafu 3.7 na všech letištích nad hranicí úspěšnosti v měsících březen až říjen. V měsících listopad až únor jsou úspěšnosti pod minimální hranicí úspěšnosti. Jedná se tedy převážně o zimní období. Data mají stejný průběh pro všechna letiště. V rámci jednotlivých měsíců dochází ke značným výkyvům až o 30 %. Průměrně nejúspěšnější je letiště v Praze a v Brně (81 %) a nejméně úspěšná jsou letiště v Ostravě a Karlových Varech (76 %).



Obrázek 3.7: Graf úspěšnosti předpovědí výšky oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Minimální hranice úspěšnosti je 70 %.

Podrobnosti k výsledkům úspěšnosti výšky oblačnosti lze zjistit z tabulky 3.8. Průměrný rozptyl je na všech letištích přibližně 6,8 FL kromě Ostravy, kde je průměr 8 FL. Úspěšné předpovědi mají průměrný rozptyl 5 FL a neúspěšné předpovědi mají rozptyl 15 FL na všech letištích kromě Karlových Varů, které mají hodnotu 11 FL. Nejčastější hodnota rozptylu je 0 FL, což odpovídá předpovědi, ve které je pouze jeden prvek a to "—", což znamená, že není předpovídána žádná



oblačnost. Pro "žádnou oblačnost" je předpověď správná pouze pokud není žádná oblačnost také ve skutečnosti. Medián dosahuje hodnot 0 až 2 FL. Medián rozptylu pro neúspěšné předpovědi je 12 až 15 FL.

Tabulka 3.8: Tabulka úspěšnosti výšky oblačnosti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT). Úspěšné předpovědi (Y), neúspěšné předpovědi (N), letová hladina = 100 stop (FL), hodnota v procentech (%) a diagonální přeškrtnutí (záměrně vynecháno)

Období:	Výška oblačnosti													
2022														
Letiště:	ÚSPĚŠNOST	ROZPTYL průměr (FL)	ROZPTYL modus (FL)	ROZPTYL medián (FL)	HODNOTA průměr (FL)	HODNOTA modus (FL)	HODNOTA medián (FL)	ODCHYLKA pod (FL)	ODCHYLKA pod (%)	ODCHYLKA přes (FL)	ODCHYLKA přes (%)	ODCHYLKA žádná (%)	ODCHYLKA nebyly (%)	ODCHYLKA byly (%)
LKKV	76,62%	6,71	0	2	17,82	4	15	-2,37	9,21%	6,79	17,94%	63,09%	7,06%	2,70%
	Y	5,21	0	0	13,29	3	12	-2,30	8,01%	2,57	9,65%			
	N	11,63	0	12	22,85	5	21	-2,53	13,15%	9,74	45,13%			
LKPR	81,93%	6,81	0	0	19,91	2	16	-2,73	7,25%	6,69	12,16%	72,08%	6,44%	2,07%
	Y	5,00	0	0	15,32	2	12	-2,66	5,65%	3,00	6,37%			
	N	15,02	0	15	25,44	40	26	-2,83	14,53%	9,47	38,39%			
LKTB	80,00%	6,84	0	0	24,53	2	24	-3,32	6,27%	8,00	12,10%	70,73%	8,37%	2,54%
	Y	4,90	0	0	19,87	2	19	-3,06	5,55%	3,89	6,05%			
	N	14,57	0	15	29,10	40	31,5	-3,94	9,13%	10,73	36,33%			
LKMT	76,18%	8,03	0	2	23,72	2	22	-2,87	8,34%	7,88	16,18%	63,82%	8,85%	2,81%
	Y	5,85	0	0	18,50	2	17	-2,76	7,88%	3,79	8,35%			
	N	15,00	0	15	28,92	49	31	-3,16	9,81%	10,53	41,23%			

Průměrná skutečná výška oblačnosti je 17 až 19 FL pro letiště v Praze a v Karlových Varech. Pro letiště v Ostravě a Brně dosahuje průměrně výšky 24 FL. Neúspěšné předpovědi dosahují vyšších hodnot (o 10 FL) než u úspěšných předpovědí. Nejčastější hodnota na všech letištích je 2 až 4 FL, což platí i pouze pro úspěšné předpovědi. Neúspěšné předpovědi obsahují nejčastěji výšku 40 až 49 FL (kromě Karlových Varů, kde je hodnota 5 FL). Medián hodnot se pohybuje od 16 do 24 FL. Pro neúspěšné předpovědi je medián vždy větší než pro ty úspěšné (cca o 10 FL).

Odchylka je rozdělena do pěti skupin: pod, přes, žádná odchylka, nebyly (měla být oblačnost, ale nebyla) a byly (neměla být oblačnost, ale byla). Odchylka "přes" by se dala považovat za zlepšení situace. Odchylka "přes" se vyskytuje přibližně 2x více, než odchylka pod. U odchylky "pod" jde o rozmezí 6 až 9 % a u odchylky "přes" jde o rozmezí 12 až 17 %. V obou případech mělo Brno nejmenší a Karlovy Vary měly největší odchylku. Pro úspěšné předpovědi s odchylkou



"pod" vychází obdobné hodnoty jako pro celkovou odchylku pod, ale u neúspěšných předpovědí se pohybují hodnoty mezi 9 FL a 14 FL. Pro úspěšné odchylky "přes" platí stejný interval jako u odchylky "pod" a u neúspěšných se pohybuje kolem 40 % (v rámci 2 %). Odchylky "pod" mají hodnotu -2,5 až -3,0 (pro úspěšné i neúspěšné), zatímco hodnota "přes" dosahuje hodnot 6 až 8 FL. Neúspěšné předpovědi mají 3x vyšší hodnotu než ty úspěšné. Žádná odchylka nebyla v 63 % až 72 % případů (nejvíce v Praze a nejméně v Karlových Varech). Všechna letiště mají v rámci 1 % stejné výsledky pro změnu oblačnosti. Situace, kdy oblačnost měla být, ale nebyla (změna k lepšímu), se vyskytuje v 7 % případů a situace, kdy oblačnost neměla být, ale byla, je v 2,5 % případů.

3.2 Korelace

V této kapitole jsou rozebrány korelace mezi jednotlivými prvky a letišti. Následující tabulky zkoumají: korelace hodnot, korelace rozptylů, korelace skutečných hodnot a korelace odchylek.

Pearsonova korelace je základem analýzy. Předpokladem Pearsonovy korelace je linearita dat, pro kterou není problém Pearsonovu korelaci využít. Je to tedy lineární závislost mezi dvěma veličinami. Jak je v tabulce 3.9 znázorněno, korelační koeficient nabývá hodnot od -1 do 1. Tím je vyjádřena míra závislosti. Pokud se v datech vyskytuje velké množství extrémních hodnot, tak může snadno dojít ke zkreslení dat, pokud se například extrémní hodnoty nevyloučí. [18, 19]

Pozitivní statistický vztah však není podmínkou kauzality. I přes silnou míru korelace však nemusí jedna veličina ovlivňovat tu druhou. Je následně třeba komplexních znalostí v problematice, aby se dala odhalit falešná příčina nebo s určitou pravděpodobností určit, že se jedná o veličiny ve vztahu příčina-účinek. [20]

Tabulka 3.9: Tabulka míry korelace a jejího barevného škálování

	+	KORELACE	-	
0		NEUTRÁLNÍ		0
0 až 0,19		VELMI SLABÁ		0 až -0,19
0,20 až 0,39		SLABÁ		-0,20 až -0,39
0,40 až 0,59		STŘEDNÍ		-0,40 až -0,59
0,60 až 0,79		SILNÁ		-0,60 až -0,79
0,80 až 1,00		VELMI SILNÁ		-0,80 až -1,00



Tabulka 3.10 zahrnuje míry pozitivní i negativní korelace a její příslušné barevné škálování. Levé dva sloupce zahrnují kladné závislosti a pravé dva sloupce obsahují záporné závislosti. Hodnota 0 značí neutrální vztah veličin. Hodnotě, přibližující se 1 nebo -1, roste míra závislosti. V následujících tabulkách obsahují jednotlivé hodnoty závislosti toto barevné škálování.

Tabulka 3.10: Tabulka korelace úspěšnosti v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)

KORELACE ÚSPĚŠNOSTI V RÁMCI PRVKŮ NAPŘÍČ LETIŠTI - 2022						
Prvky / Letiště	KV-PR	PR-TB	TB-MT	MT-KV	KV-TB	PR-MT
Směr větru	0,19	0,11	0,11	0,07	0,09	0,09
Rychlost větru	0,15	0,04	0,07	0,07	0,09	0,05
Dohlednost	0,25	0,13	0,18	0,15	0,16	0,14
Srážky	0,28	0,05	0,10	0,02	0,04	0,05
Množství oblačnosti	0,21	0,09	0,15	0,07	0,12	0,12
Výška oblačnosti	0,32	0,22	0,24	0,17	0,19	0,19

Tabulka 3.10 obsahuje korelace úspěšností v rámci prvků napříč letišti za rok 2022. Všechny vztahy jsou kladné, avšak většina má velmi slabou závislost a některé slabou. Na základě takto slabé míry závislosti nelze určit žádné spojitosti.

Tabulka 3.11: Tabulka korelace rozptylů v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)

KORELACE ROZPTYLŮ V RÁMCI PRVKŮ NAPŘÍČ LETIŠTI - 2022						
Prvky / Letiště	KV-PR	PR-TB	TB-MT	MT-KV	KV-TB	PR-MT
Směr větru	0,42	0,25	0,22	0,21	0,30	0,25
Rychlost větru	0,51	0,37	0,38	0,32	0,35	0,31
Dohlednost	0,55	0,32	0,42	0,29	0,30	0,32
Srážky	0,42	0,25	0,56	0,41	0,40	0,44
Množství oblačnosti	0,46	0,32	0,40	0,24	0,29	0,31
Výška oblačnosti	0,56	0,48	0,56	0,39	0,41	0,44

Tabulka 3.11 obsahuje korelace rozptylů v rámci prvků napříč letišti za rok 2022. Všechny vztahy jsou kladné. Přibližně polovina vztahů má slabou závislost a ta druhá polovina střední závislost. Slabou závislost nelze považovat za relevantní, avšak střední závislost už prokazuje jisté spojitosti. Pro všechny prvky předpovědi je střední závislost mezi letištem v Karlových Varech



a v Praze. U většiny prvků je pak střední závislost mezi letištěm v Brně a v Ostravě. Střední závislost je téměř na všech letištích pro srážky a výšku oblačnosti.

Tabulka 3.12: Tabulka korelace hodnot v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)

KORELACE HODNOT V RÁMCI PRVKŮ NAPŘÍČ LETIŠTI - 2022						
Prvky / Letiště	KV-PR	PR-TB	TB-MT	MT-KV	KV-TB	PR-MT
Směr větru	0,52	0,42	0,25	0,40	0,46	0,26
Rychlost větru	0,63	0,45	0,35	0,43	0,50	0,46
Dohlednost	0,47	0,38	0,34	0,23	0,22	0,35
Srážky	0,52	0,42	0,23	0,12	0,17	0,18
Množství oblačnosti	0,50	0,19	0,24	0,18	0,15	0,19
Výška oblačnosti	0,46	0,35	0,37	0,23	0,23	0,32

Tabulka 3.12 obsahuje korelace skutečných hodnot v rámci prvků napříč letišti za rok 2022. Všechny vztahy jsou kladné. Většina prvků obsahuje slabou nebo velmi slabou závislost. Střední závislost se vyskytuje téměř u všech prvků mezi letištěm v Karlových Varech a v Praze. Střední závislost je téměř mezi všemi letišti u směru a rychlosti větru. Skutečná hodnota rychlosti větru mezi letišti v Karlových Varech a v Praze má dokonce silnou závislost. Lze tedy předpokládat, že skutečná rychlost větru je na všech letištích velmi podobná a meteorologické podmínky v Karlových Varech a v Praze budou relativně podobné.

Tabulka 3.13: Tabulka korelace odchylek v rámci prvků napříč letišti za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (KV), Praha (PR), Brno (TB) a Ostrava (MT)

KORELACE ODCHYLEK V RÁMCI PRVKŮ NAPŘÍČ LETIŠTI - 2022						
Prvky / Letiště	KV-PR	PR-TB	TB-MT	MT-KV	KV-TB	PR-MT
Směr větru	0,19	0,13	0,14	0,14	0,14	0,16
Rychlost větru	0,19	0,08	0,10	0,08	0,10	0,09
Dohlednost	0,21	0,09	0,11	0,05	0,09	0,07
Srážky	0,19	0,13	0,05	0,02	0,02	0,06
Množství oblačnosti	0,18	0,09	0,13	0,03	0,03	0,09
Výška oblačnosti	0,19	0,06	0,11	0,06	0,06	0,08

Tabulka 3.13 obsahuje korelace odchylek v rámci prvků napříč letišti za rok 2022. Všechny vztahy jsou sice kladné, avšak téměř všechny prvky mají velmi slabou závislost. Na základě takto slabé míry závislosti nelze určit žádné spojitosti.



Tabulka 3.14: Tabulka korelace úspěšnosti v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT), kde Sm je směr větru, Ry je rychlost větru, Do je dohlednost, Sr jsou srážky, Mn je množství oblačnosti a Vý je výška oblačnosti

KORELACE ÚSPĚŠNOSTI V RÁMCI LETIŠŤ NAPŘÍČ PRVKY - 2022															
Letiště / Prvky	Sm-Ry	Sm-Do	Sm-Sr	Sm-Mn	Sm-Vý	Ry-Do	Ry-Sr	Ry-Mn	Ry-Vý	Do-Sr	Do-Mn	Do-Vý	Sr-Mn	Sr-Vý	Mn-Vý
LKKV	0,17	-0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,03	0,16	0,12	0,12	0,13	0,12	0,54
LKPR	0,11	-0,02	0,00	-0,04	-0,06	0,00	0,03	0,04	0,05	0,10	0,13	0,12	0,08	0,10	0,57
LKTb	0,20	-0,06	-0,01	0,00	-0,02	-0,03	0,01	0,01	0,02	0,08	0,24	0,25	0,09	0,08	0,63
LKMT	0,21	-0,04	0,00	0,00	0,04	-0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,21	0,17	0,13	0,13	0,59

Tabulka 3.14 obsahuje korelace úspěšností v rámci letišť napříč jednotlivými meteorologickými prvky předpovědi za rok 2022. Většina prvků má kladný vztah a některé mají záporný vztah. Všechny vztahy mají velmi slabou závislost kromě vztahu množství a výšky oblačnosti, který je pro všechna letiště kladný. V tomto vztahu mají všechna letiště střední závislost kromě letiště v Brně, kde je silná závislost. Lze tedy předpokládat, že při neúspěšné předpovědi pro množství oblačnosti bude neúspěšná i předpověď výšky oblačnosti. V praxi může být předpověď bez oblačnosti a při výskytu oblačnosti je hned neúspěšné jak množství oblačnosti, tak výška oblačnosti.

Tabulka 3.15: Tabulka korelace rozptylů v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTb) a Ostrava (LKMT), kde Sm je směr větru, Ry je rychlost větru, Do je dohlednost, Sr jsou srážky, Mn je množství oblačnosti a Vý je výška oblačnosti

KORELACE ROZPTYLŮ V RÁMCI LETIŠŤ NAPŘÍČ PRVKY - 2022															
Letiště / Prvky	Sm-Ry	Sm-Do	Sm-Sr	Sm-Mn	Sm-Vý	Ry-Do	Ry-Sr	Ry-Mn	Ry-Vý	Do-Sr	Do-Mn	Do-Vý	Sr-Mn	Sr-Vý	Mn-Vý
LKKV	-0,36	-0,12	-0,26	-0,21	-0,26	0,23	0,37	0,25	0,23	0,57	0,39	0,42	0,46	0,51	0,77
LKPR	-0,30	0,01	-0,12	-0,10	-0,10	0,23	0,36	0,26	0,28	0,51	0,37	0,39	0,50	0,56	0,71
LKTb	-0,32	0,04	-0,10	-0,07	-0,11	0,18	0,29	0,14	0,11	0,57	0,46	0,42	0,53	0,56	0,69
LKMT	-0,36	-0,03	-0,19	-0,14	-0,19	0,18	0,29	0,21	0,20	0,51	0,42	0,39	0,54	0,59	0,65

Tabulka 3.15 obsahuje korelace rozptylů v rámci letišť napříč jednotlivými meteorologickými prvky předpovědi za rok 2022. Vztahy směru větru s ostatními prvky jsou záporné a ostatní vztahy jsou kladné. Záporné vztahy pro rozptyl směru větru mohou být dány variabilním větrem a způsobem vyhodnocování směru větru až od rychlosti 5 uzlů. Všechny z nich jsou ovšem slabé, takže nelze předpokládat žádné souvislosti. Střední závislost je na všech letištích pro vztah srážek a oblačnosti (množství i výšky). Silná závislost rozptylů je mezi množstvím a výškou oblačnosti, což má stejnou logiku jako u úspěšnosti.



Tabulka 3.16: Tabulka korelace hodnot v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT), kde Sm je směr větru, Ry je rychlost větru, Do je dohlednost, Sr jsou srážky, Mn je množství oblačnosti a Vý je výška oblačnosti

KORELACE HODNOT V RÁMCI LETIŠŤ NAPŘÍČ PRVKY - 2022															
Letiště / Prvky	Sm-Ry	Sm-Do	Sm-Sr	Sm-Mn	Sm-Vý	Ry-Do	Ry-Sr	Ry-Mn	Ry-Vý	Do-Sr	Do-Mn	Do-Vý	Sr-Mn	Sr-Vý	Mn-Vý
LKKV	0,20	0,05	-0,11	-0,05	0,07	0,04	-0,15	-0,08	0,07	0,26	0,55	0,51	0,28	0,08	0,80
LKPR	0,20	0,12	-0,05	0,08	0,25	0,15	-0,11	0,07	0,29	0,26	0,60	0,59	0,22	0,07	0,82
LKTB	0,16	0,09	-0,08	0,09	0,26	0,18	-0,02	0,11	0,31	0,21	0,60	0,60	0,14	0,00	0,75
LKMT	0,14	0,11	0,00	0,14	0,23	0,14	-0,09	-0,03	0,10	0,24	0,54	0,56	0,21	0,11	0,78

Tabulka 3.16 obsahuje korelace skutečných hodnot v rámci letišť napříč jednotlivými meteorologickými prvky předpovědi za rok 2022. Většina vztahů je kladných. Vztahy, které jsou záporné, mají velmi slabou závislost. Jediné střední a silnější závislosti jsou mezi dohledností a oblačností, a také mezi množstvím a výškou oblačnosti. Při změně dohlednosti lze předpokládat změnu výšky nebo množství oblačnosti. Stejně tak se v praxi většinou se změnou množství oblačnosti změní i její výška. Z toho důvodu je pro tento vztah na polovině letišť silná závislost a na druhé polovině velmi silná závislost.

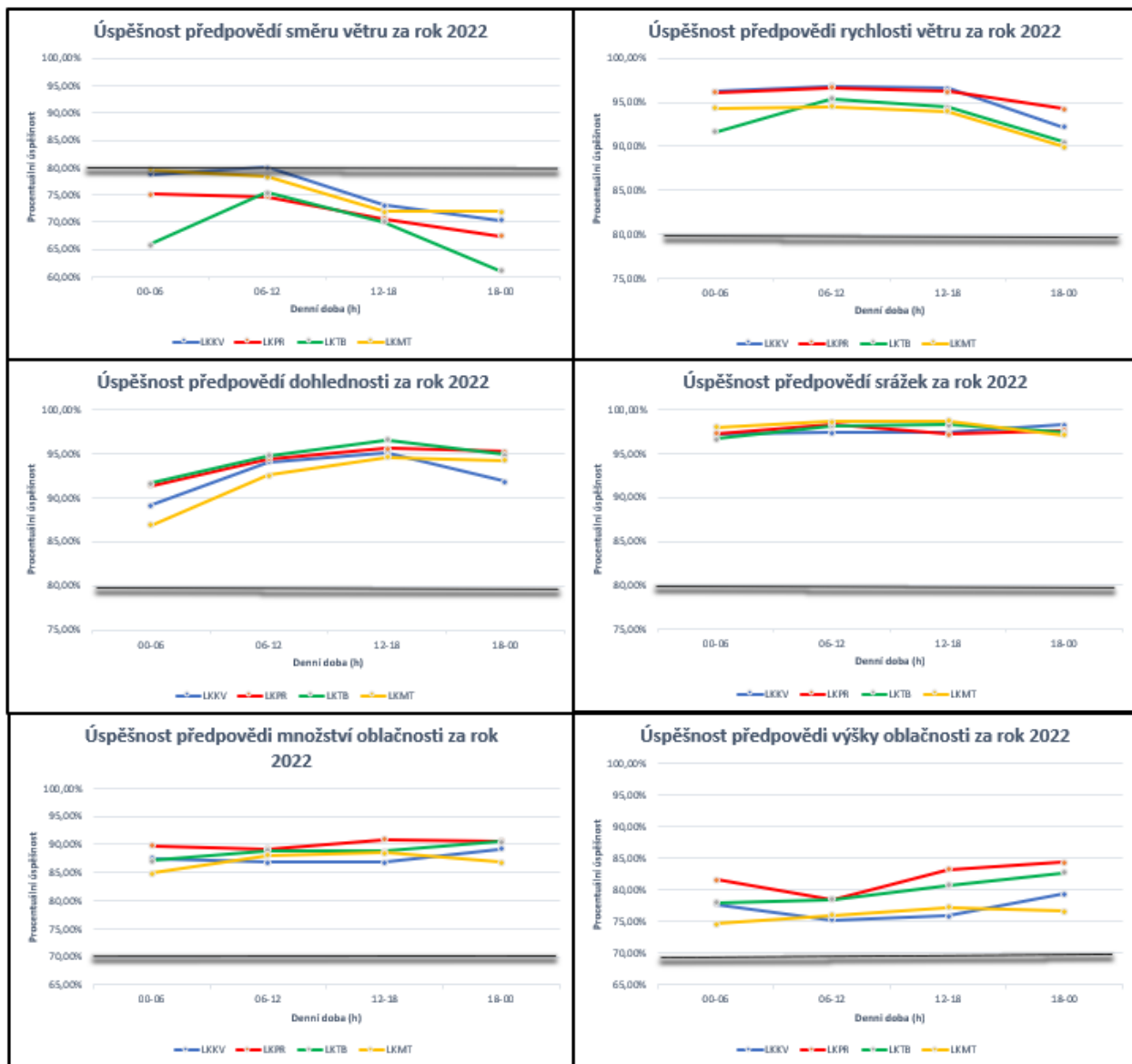
Tabulka 3.17: Tabulka korelace odchylek v rámci letišť napříč prvky za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT), kde Sm je směr větru, Ry je rychlost větru, Do je dohlednost, Sr jsou srážky, Mn je množství oblačnosti a Vý je výška oblačnosti

KORELACE ODCHYLEK V RÁMCI LETIŠŤ NAPŘÍČ PRVKY - 2022															
Letiště / Prvky	Sm-Ry	Sm-Do	Sm-Sr	Sm-Mn	Sm-Vý	Ry-Do	Ry-Sr	Ry-Mn	Ry-Vý	Do-Sr	Do-Mn	Do-Vý	Sr-Mn	Sr-Vý	Mn-Vý
LKKV	-0,01	0,01	0,01	0,02	-0,01	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01	0,18	-0,05	0,07	0,00	0,03	-0,48
LKPR	-0,05	-0,05	-0,03	-0,01	-0,03	0,03	-0,05	0,00	0,00	0,10	-0,05	0,10	0,01	0,01	-0,42
LKTB	-0,05	-0,01	-0,01	0,02	-0,03	0,07	-0,06	-0,02	0,04	0,06	-0,09	0,17	0,02	-0,01	-0,56
LKMT	-0,09	0,00	-0,03	-0,02	0,00	0,04	-0,01	0,00	0,01	0,10	-0,07	0,08	0,05	0,04	-0,48

Tabulka 3.17 obsahuje odchylky skutečných hodnot v rámci letišť napříč jednotlivými meteorologickými prvky předpovědi za rok 2022. Přibližně polovina vztahů je kladných a polovina záporných (některé jsou neutrální). Všechny vztahy mají velmi slabou závislost až na množství a výšku oblačnosti. V tomto vztahu je na všech letišťích střední záporná závislost. Plyne z toho, že když se množství oblačnosti zmenší, tak se výška oblačnosti zvýší. Obě dvě odchylky lze považovat za zlepšení. Kvůli opačné logice zde vychází záporná závislost. Střední míra závislosti

by v tomto případě nemusela být daleko od pravdy, jelikož v praxi, když je oproti oblačnosti v 1 000 ft nad letištěm ve skutečnosti CAVOK, tak je odchylka přesně dle uvedené závislosti.

3.3 Předpovědi v průběhu dne



Obrázek 3.8: Grafy úspěšností předpovědí zkoumaných prvků předpovědí za rok 2022 na letišti Karlovy Vary (LKKV), Praha (LKPR), Brno (LKTB) a Ostrava (LKMT)



V této kapitole je posuzována přesnost předpovědí z hlediska jednotlivých předpovědí vydaných v průběhu dne. Když se neberou v potaz TAF AMD, tak jsou v průběhu dne vydány 4 předpovědi TAF. První je vydán o půlnoci a další jsou následně vydávány po 6 hodinách. Předpovědi publikovány o půlnoci jsou v této práci označovány jako ranní, předpovědi publikované v 6 hodin jsou označeny jako dopolední, předpovědi publikované ve 12 hodin jsou označeny jako odpolední a předpovědi publikovány v 18 hodin jsou označeny jako večerní. V prosinci je v Praze perioda 3 hodiny, ale jsou považovány za předpovědi s periodou 6 hodin, takže mohou být tyto výsledky mírně úspěšnější.

Úspěšnost směru větru je na všech letištích pro všechny denní doby pod minimální hranicí úspěšnosti. Nejvyšší úspěšnost je dopoledne a nejnižší je odpoledne a večer. Všechny zbylé prvky předpovědi se ve všech denních dobách pohybují nad minimální hranicí úspěšnosti na všech letištích a mají relativně podobný průběh. Úspěšnost předpovědí rychlosti větru je relativně konstantní až na večerní období, ve kterém je úspěšnost nižší. Úspěšnost dohlednosti je nejnižší ráno a v průběhu dne roste. K večeru úspěšnost dohlednosti lehce klesá. Úspěšnost srážek je v průběhu dne na všech letištích víceméně stabilní. Stejně stabilní úspěšnost je v průběhu dne i u množství oblačnosti. Úspěšnost výšky oblačnosti je konstantní až na pokles v dopoledním období.

3.4 Shrnutí kapitoly

V této kapitole byly detailně popsány výsledky dat. Výsledná data byla prezentována pomocí tabulek, grafů a k nim příslušným komentářům. Prezentace zahrnovala pouze výsledky za rok 2022, jelikož se jedná o nejdůležitější období. V příloze práce jsou uvedeny kompletní výsledky za jednotlivá roční období, měsíce a denní dobu. V této práci jsou uvedeny alespoň úspěšnosti jednotlivých období ve formě grafů.



4 Diskuze výsledků

Tato kapitola se zabývá rozbořem prezentovaných výsledků uvedených v kapitole 3. Kompletní výsledky verifikace předpovědí TAF pomocí zpráv METAR jsou uvedeny v příloze k této práci. V práci byl rozebrán detailně rok 2022 pouze jako celek, protože je to nejdůležitější období.

Všechny předpovídané prvky splnily požadované minimální procento případů v požadovaném rozpětí až na směr větru. Úspěšnost směru větru se pohybovala na mezi 68 % a 75 %, takže požadovaný limit nebyl dodržen o 5 % až 12 %, což není příliš velká odchylka. Největší pokles byl zaznamenán během jarního a letního období, kdy bývá velký výskyt bouřek. Největší pokles úspěšnosti byl zaznamenán v druhé polovině dne (odpoledne a večer), což bude způsobeno narůstající rychlostí větru v tomto denním období. Požadované rozpětí je $\pm 20^\circ$, což je velmi přísné. Je těžké předpovědět směr větru, pokud má malou rychlost, protože má velmi proměnlivý směr. Proměnlivý vítr se vyskytl ve čtvrtině až třetině předpovědí, což je značná část. Jelikož použitý program pro syntaktickou analýzu neuměl vyhodnocovat proměnlivý vítr, tak byl směr větru vyhodnocován až od rychlosti větru 5 kt a více. Tento fakt mohl lehce zlepšit výsledky, ačkoliv proměnlivý vítr nad 5 kt byl vyhodnocen jako neúspěšný, takže ve výsledku by to zkreslení mělo být opravdu malé. Šlo by spekulovat o vyhodnocování až od rychlosti 10 kt, jelikož nižší rychlosti nemají takový provozní význam a případné změny jsou opravovány až od vyšších rychlostí. V takovém případě by zaručeně bylo dodrženo minimální procento úspěšnosti. Rozptyl vychází v průměru relativně veliký, ale může být zkreslen průměrně 30 % vždy správných odpovědí, které mají rozptyl 360° . Rozptyl pro neúspěšné předpovědi je v průměru 46° stupňů, což je lehce nad minimálním rozptylem. Dalším důvodem, proč předpověď směru větru má nižší úspěšnost jsou kritéria pro opravu předpovědi TAF. Předpověď TAF je opravena nebo jsou do ní zařazeny skupiny změn, pokud je očekávána změna o více než 60° při změně rychlosti o 10 kt nebo více. Je to tedy jeden z důvodů, proč je směr větru s nižší rychlostí předpovídan relativně nepřesně.

U ostatních prvků není třeba takto podrobně rozebírat výsledky, jelikož všechny splnily požadavky. Předpovědi všech prvků měly značný pokles v dubnu a v listopadu. Lze tedy předpokládat, že každoročně špatné a proměnlivé počasí v tyto měsíce bylo příčinou poklesu v úspěšnosti. Rozptyl u dohlednosti je poměrově o dost vyšší, než je u rychlosti větru a výšky oblačnosti. Důvodem je rozdílný přístup pro vyhodnocování. U dohlednosti se skutečná hodnota mezi dvěma předpovídanými hodnotami považuje vždy za správnou, ale u rychlosti větru a výšky



oblačnosti musí být hodnota v požadovaném rozptylu od předpovídané hodnoty. Tento faktor by mohl velmi zkreslit výsledky u dohlednosti, ale je třeba vzít v potaz, že předpověď neměla žádnou odchylku v průměru přes 80 %, což je velmi velké procento úplně přesných předpovědí. Při špatné předpovědi se ve většině případů odchýlila k lepšímu, takže lze říci, že jsou výsledné hodnoty validní a úspěšnosti odpovídají realitě. Výška oblačnosti byla vyhodnocována pouze do výšky 5 000 ft oproti původním 10 000 ft dle požadavků na přesnost. Tato skutečnost mohla zlepšit celkovou úspěšnost předpovědi výšky oblačnosti, jelikož by se zdvojnásobil pozorovaný interval. Tím by se mohla snížit i úspěšnost množství oblačnosti, jelikož dílčí úspěšnost nad 1 500 ft měla nižší úspěšnost, takže lze předpokládat, že by se rozšířením intervalu úspěšnost ještě snížila. Srážky mají sice nejvyšší a nejstabilnější úspěšnost předpovědi, ale průměrně ve třetině případů jsou předpovědi vždy úspěšné, což je relativně velké množství. Vysoké úspěšnosti také pomohlo, že průměrně 90 % času na letištích nebyl výskyt srážek.

Pokud je předpověď konstruována tak, že má rozptyl 100 %, tak to pro pilota v praxi nemá příliš velkou vypovídající hodnotu. Bylo by ideální, kdyby meteorolog při tvorbě předpovědi vůbec nepomýšlel na to, jestli budou následně splněny minimální podmínky. To bohužel v praxi nelze moc zařídit. Lze sice vypočítat rozptyl hodnot, pro které je předpověď úspěšná, ale není jednoznačné, zda to byl záměr meteorologa, nebo šlo o velmi těžko předpovídatelnou situaci.

Pilot si navíc musí předpověď interpretovat trochu jinak. Dle letecké společnosti se řídí pokyny, které vycházejí z Annexu 3 a uvažuje v předpovědi změnové skupiny trochu jinak, než v této práci, kde jsou všechny na stejné úrovni (stejně jako pravděpodobnostní skupiny). Alternativním přístupem vyhodnocování předpovědí by byl pohled pilota (místo legislativního) a rozlišovat například VMC a IMC.

Z výsledků korelací nelze dělat příliš mnoho závěrů. Největší míra závislosti byla zaznamenána mezi množstvím a výškou oblačnosti, což je logický výsledek. Vzhledem k nastavení vyhodnocování jsou všechny dílčí vztahy v rámci oblačnosti validní, ale nelze předpokládat, že je tento pozitivní vztah důkazem kauzality. Například korelace hodnot v rámci srážek napříč letišti mají střední míru závislosti pouze západní letiště. Šlo by tedy předpokládat, že na západě České republiky se většinu času vyskytovaly plošné trvalé srážky a na východě se mohly vyskytovat například konvektivní přeháňky, které se hůře předpovídají. Jelikož se jedná pouze o střední míru korelace, tak to není velmi průkazné. Podrobné rozборы jsou uvedeny u prezentování výsledků.



Přesnějších výsledků by bylo dosaženo, kdyby program využitý pro syntaktickou analýzu uměl zpracovat i zprávy SPECI. Taktéž by pomohlo celkovému přehledu, kdyby se zkoumala přesnost jiných jevů, než srážek i s jejich intenzitou a například i nárazy větru. Tato vyhodnocení se nedělají, jelikož pro ně nejsou stanoveny požadavky na přesnost a zároveň by bylo jejich vyhodnocení velmi komplikované, ale za to opravdu přínosné.

Report přiložený k této práci pro rok 2022 by šel automaticky vygenerovat pomocí aplikace. Velkým zádrhelem je, že v aktuální době neexistuje žádná databáze, ze které by se data snadno nahrála do aplikace, která by vygenerovala výsledný report. Tato aplikace by mohla fungovat například v programu Microsoft Excel nebo Microsoft Power BI. V programu od IBL Software Engineering dochází při zpracování dat ke spoustě chyb. Například nepřizpůsobení na změnu periody vydání zprávy METAR, kvůli čemu bylo v Karlových Varech označeno 4 356 z 18 930 předpovědí jako správné, což zásadně změnilo celkové úspěšnosti. Dále by bylo třeba odstranit bugy jako opakování předpovědí, náhodné změny intervalů validace nebo prázdné předpovědi. Nejlepším řešením by bylo naprogramovat vlastní program pro vytvoření databáze předpovědí a skutečností.



5 Závěr

Cílem této práce bylo stanovit přesnost letištních meteorologických předpovědí TAF na letištích v České republice pomocí zpráv METAR pro rok 2022. Zkoumána byla čtyři civilní letiště (v Karlových Varech, v Praze, v Brně a v Ostravě) pomocí dat poskytnutých od ČHMÚ. Data jsou certifikována, zcela relevantní a na základě dohody o spolupráci ČHMÚ s vědeckými a vzdělávacími institucemi ČR, a podle interní směrnice ČHMÚ o nakládání s daty bylo povoleno data publikovat.

Cíl práce byl dodržen v plné míře. Výsledná přesnost letištních meteorologických předpovědí TAF byla zjištěna a podrobně rozebrána v práci. Výsledky byly pro všechny pozorované meteorologické prvky nad minimálním procentem případů v požadovaném rozpětí, kromě směru větru. Důvody, proč předpověď směru větru byla nižší jsou uvedeny v diskuzi.

Dalším cílem práce bylo navrhnout vhodnou metodiku k dané problematice. Zvolená metodika může mít sice za následek úspěšnější předpovědi, kvůli přístupu k prvkům počasí a kvůli změnovým skupinám, ale zase poskytuje ke každému období komplexní přehled všech důležitých dopočítaných veličin jako je rozptyl hodnot, pro které je předpověď úspěšná nebo míra odchylky v případě neúspěšné předpovědi. Je také zohledněna míra nepřesnosti zpráv METAR a interpretace samotných pilotů, kteří musí v dané předpovědi "číst mezi řádky" a jsou velmi důležité jejich všeobecné znalosti v oblasti meteorologie.

Využitý program pro syntaktickou analýzu byl sice nejjednodušším řešením, ale zajisté nebyl tím neoptimalnějším. Jelikož program neuměl přesně to, co bylo požadováno, tak bylo třeba zbylé věci nastavit a dopočítat vlastnoručně. Pokud by existovala vhodná meteorologická databáze, nebylo by problematické z tohoto reportu pro rok 2022 udělat aplikaci pro jednodušší zpracování.

Na základě této práce lze soudit, že by bylo vhodné zařídit meteorologickou databázi (pro letištní data) na ČHMÚ. V takovém případě by následně bylo vhodné zakomponovat do výsledného reportu další prvky počasí nebo zprávy SPECI. Reporty podobné tomuto by bylo vhodné dělat každoročně. Tato práce bude mít zajisté určitý přínos pro Český hydrometeorologický ústav a Řízení letového provozu. Není totiž zavedeno pravidelné vyhodnocování předpovědí TAF v podobném provedení a je velmi důležité vědět, zda jsou dodržovány všechny legislativní požadavky. I v případě splnění legislativních požadavků je důležité zlepšovat přesnost předpovědí TAF. Tato práce pomohla odhalit potenciální slabá místa předpovědí pro jejich případné vylepšení.



Seznam použité literatury

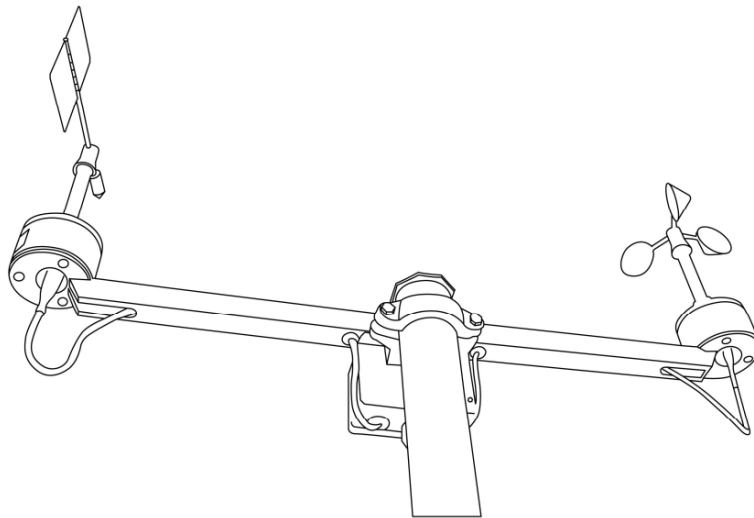
1. AIP GEN 3.5 METEOROLOGICKÉ SLUŽBY [online][cit. 13.7.2023]. *Řízení letového provozu České republiky*. 2023, s. 12. Dostupné také z: https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/g3-5.pdf.
2. PRENTICE, Robert A. *Aviation Weather Services: Advisory Circular AC 00-45F, Change 2 (March 2009)*. National Weather Service, 2010.
3. CZECH REPUBLIC (CAA), Civil Aviation Authority of the. *Letecký Předpis Meteorologie L3*. Praha: Ministerstvo Dopravy České Republiky, 2018.
4. LETECKÝ PŘEDPIS METEOROLOGIE L3 - HLAVA 6 [online][cit. 1.8.2023]. *Úřad pro civilní letectví*. 2020, s. 2. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/data/effective/hl6.pdf>.
5. TAF (Terminal Aerodrome Forecast) how to decode [online][cit. 01.8.2023]. *Aviation weather center*. 2023. Dostupné také z: <https://www.aviationweather.gov/taf/decoder>.
6. (ICAO), International Civil Aviation Organization. *Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation*. 20. vyd. International Civil Aviation Organization: Montréal, QC, Canada, 2018.
7. ACADEMY, CAE Oxford Aviation. *Meteorology*. 2014. ISBN 1906202729.
8. PAVEL LIPINA Ivan Kain, Dušan Židek. *Návod pro pozorovatele automatizovaných meteorologických stanic / ČHMÚ*. 2. vyd. Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4: Český hydrometeorologický ústav, 2014.
9. SOBIŠEK, B. *Meteorologický slovník vykladový a terminologický*. Akademia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, ss. 1993, roč. 594.
10. KUMARAN, Yashmitha; NAGARAJAN, S. Aviation meteorology. *Int. J. Latest Technol. Eng., Manag. Appl. Sci. VI*. 2017, s. 90–94.
11. VASQUEZ, Tim. All About Precipitation [online][cit. 1.8.2023]. *IFR Magazine*. 2017, s. 10. Dostupné také z: <https://www.ifr-magazine.com/technique/all-about-precipitation/>.
12. PANDHARINATH, Navale. *Aviation Meteorology*. BS Publications, 2014.



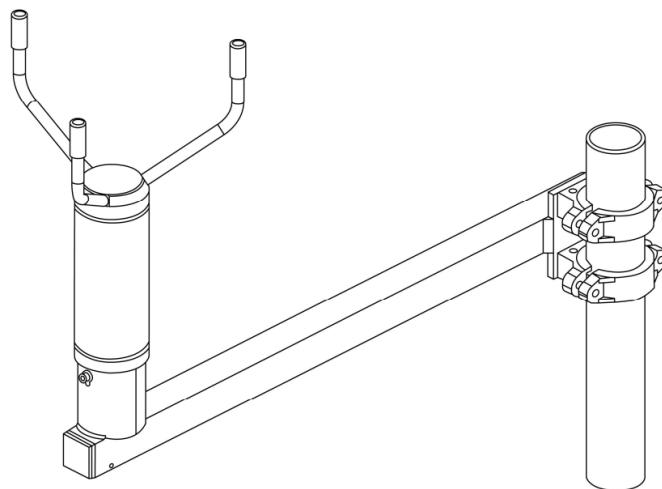
13. ŠVANCÁROVÁ, Nikola; JAROŠOVÁ, Miriam. Impact of clouds on the aviation. 2022.
14. MAHRINGER, Guenter. Terminal aerodrome forecast verification in Austro Control using time windows and ranges of forecast conditions. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*. 2008, roč. 15, č. 1, s. 113–123.
15. NOVOTNY, Josef; DEJMAL, Karel; REPAL, Vladimír; GERA, Martin; SLADEK, David. Assessment of TAF, METAR, and SPECI reports based on ICAO ANNEX 3 regulation. *Atmosphere*. 2021, roč. 12, č. 2, s. 138.
16. VIADEMONTÉ, Sérgio; BURSTEIN, Frada; DAHNI, Robert; WILLIAMS, Scott. Discovering knowledge from meteorological databases: a meteorological aviation forecast study. In: *International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery*. Springer, 2001, s. 61–70.
17. JAMMALAMADAKA, S Rao; SENGUPTA, Ashis. *Topics in circular statistics*. Sv. 5. world scientific, 2001.
18. NÉMETH, Richard. Pearsonův korelační koeficient a jeho využití ve statistice. 2015.
19. JARKOVSKÝ, Jiří; LITTNEROVÁ, Simona. Vícerozměrné statistické metody. *Ordinační analýzy–přehled metod*. 2008.
20. JASTRZEMBSKÁ, Zdeňka. Pravděpodobnostní teorie kauzality. *Pro-Fil–An Internet Journal of Philosophy*. 2005, roč. 6, č. 2.

Přílohy

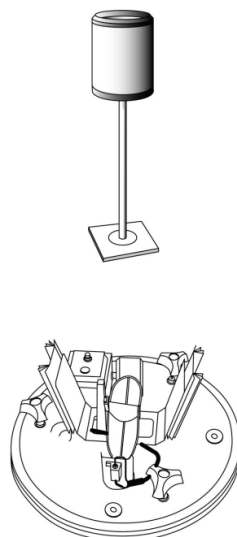
A Systémy meteorologických stanic ČHMÚ



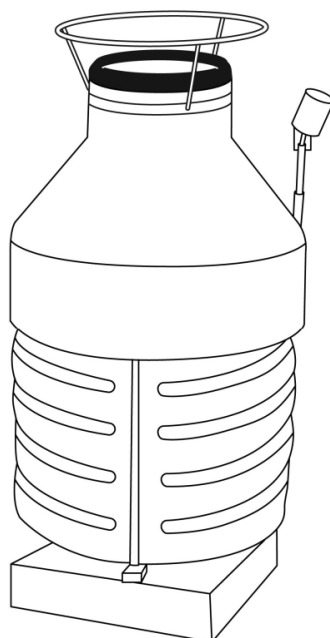
Obrázek A.1: Větroměrný systém řady WA15 a WA25 používaný na stanicích ČHMÚ



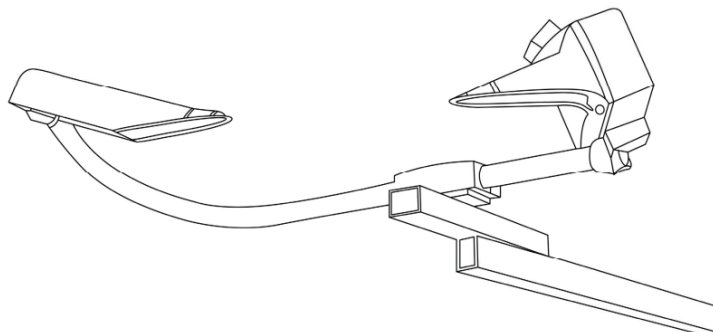
Obrázek A.2: Ultrazvukové měření větru řady WMT700 používaný na stanicích ČHMÚ



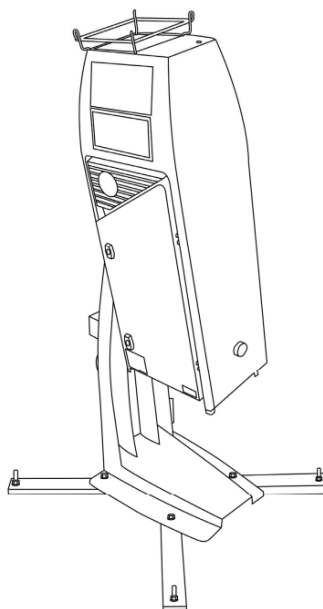
Obrázek A.3: Automatický člunkový srážkoměr MR3H-F používaný na stanicích ČHMÚ



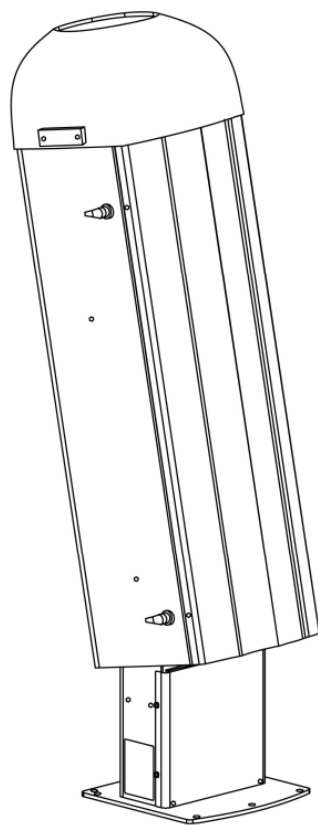
Obrázek A.4: Váhový srážkoměr MRW500 používaný na stanicích ČHMÚ



Obrázek A.5: Detektor stavu počasí PWD22 používaný na stanicích ČHMÚ



Obrázek A.6: Ceilometr CT25K používaný na stanicích ČHMÚ



Obrázek A.7: Ceilometr CL31 používaný na stanicích ČHMÚ