



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Vliv změny klimatu na nepříznivé meteorologické podmínky pro
letectví v ČR**

**Climate Change Effect on Adverse Meteorological Conditions in
Aviation in CZ**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Letecká doprava

Vedoucí práce: Mgr. Iveta Kameníková

Vilém Merta

Praha 2022

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):

Vilém Merta

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Vliv změny klimatu na nepříznivé meteorologické podmínky pro letectví v ČR**

Název tématu (anglicky): Climate Change Effect on Adverse Meteorological Conditions in Aviation in CZ

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zhodnocení vlivu změny klimatu na výskyt nepříznivých meteorologických podmínek pro letectví v České republice na základě dostupných meteorologických informací, předpovědí a zpráv.
- Popište proces, příčiny a důsledky změny klimatu.
- Identifikujte nepříznivé meteorologické podmínky pro letectví.
- Popište způsoby informování o nepříznivých meteorologických podmínkách pro letectví v ČR.
- Analyzujte dostupná data o změně klimatu v ČR.
- Na základě meteorologických předpovědí a zpráv za uplynulé desetiletí zpracujte statistiku výskytu nepříznivých meteorologických podmínek pro letectví v ČR.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: WALD Andreas, GLEICH Ronald , et. al. Introduction to Aviation Management . Berlin: LIT Verlag, 2010
KURZ Manfred, Synoptic Meteorology. German Meteorological Service, 1998
Oxford Aviation Training, Meteorology, CAE

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

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **30. listopadu 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Vilém Merta
jméno a podpis studenta

V Praze dne 9. srpna 2022



Abstrakt

Tato práce se věnuje zhodnocení vlivu změny klimatu na výskyt nepříznivých meteorologických podmínek pro letectví v České republice. Meteorologické podmínky mají zásadní vliv na bezpečnost a proveditelnost letu, přičemž tyto aspekty mohou být narušeny jakýmkoli zvýšením četnosti výskytu, rozsahu nebo intenzity meteorologických podmínek nepříznivých pro letectví. Práce identifikuje meteorologické jevy, které tyto nepříznivé podmínky způsobují, a zaměřuje se na různé způsoby informování o nich. Práce také poskytuje základní přehled o změně klimatu v souvislosti s letectvím a analyzuje vývoj klimatu v České republice. K tomu jsou použity data za uplynulých 60 let naměřené na meteorologické stanici Praha – Ruzyně. Výsledkem práce je statistika doby trvání nepříznivých meteorologických podmínek pro letectví na Letišti Václava Havla Praha, která využívá záznamy pravidelných a speciálních meteorologických zpráv vydávaných pro toto letiště za uplynulých 10 let. Pro vybrané meteorologické jevy práce sleduje jejich vazbu na změnu klimatu a snaží se predikovat jejich budoucí četnost v souvislosti s měnícím se klimatem.

Klíčová slova: letecká meteorologie, meteorologické zprávy, význačné počasí, změna klimatu



Abstract

This thesis focuses on the evaluation of the effect climate change effect on the occurrence of adverse meteorological conditions for aviation in the Czech Republic. Meteorological conditions have a major impact on the safety and feasibility of flight, and these aspects can be disrupted by any increase in the frequency, magnitude, or intensity of meteorological conditions adverse for aviation. This thesis identifies the meteorological phenomena that cause these adverse meteorological conditions and focuses on the different ways of reporting them. The thesis also provides a basic overview of climate change in the context of aviation and analyses the evolution of climate in the Czech Republic. For this purpose, data for the past 60 years measured at the Prague-Ruzyně meteorological station are used. The result of this work is statistics of the duration of adverse meteorological conditions for aviation at the Václav Havel Airport Prague, which uses records of regular and special meteorological reports issued for this airport for the past 10 years. For selected meteorological phenomena, the thesis examines their relation to climate change and tries to predict their future frequency in relation to the changing climate.

Keywords: aviation meteorology, climate change, meteorological reports, significant weather



Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Ivetě Kameníkové za odborné vedení, cenné rady, vstřícný přístup a trpělivost v celém průběhu tvoření bakalářské práce. Mé poděkování patří také Mgr. Pavlu Provinskému, Ph.D. za ochotu, laskavost a pomoc se statistickým zpracováním. V neposlední řadě děkuji své rodině a blízkým za jejich podporu v průběhu celého studia.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Vliv změny klimatu na nepříznivé meteorologické podmínky pro letectví v ČR 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 30. listopadu 2022.

.....
Podpis



Obsah

Úvod	16
1. Nepříznivé meteorologické podmínky pro letectví.....	17
1.1 Bouřky	17
1.1.1 Cumulonimbus	17
1.1.2 Vývoj bouřky	19
1.1.3 Druhy bouřek	21
1.1.4 Nebezpečí související s bouřkou.....	21
1.2 Srážky	23
1.2.1 Vznik srážek.....	23
1.2.2 Druhy srážek.....	23
1.2.3 Nebezpečí související se srážkami	24
1.3 Námraza.....	24
1.3.1 Druhy námrazy.....	25
1.3.2 Vliv námrazy na letadlo a nebezpečí s tím spojené	26
1.4 Vítr.....	27
1.4.1 Typy větru	28
1.4.2 Nebezpečí spojené s větrem.....	29
1.5 Turbulence	30
1.5.1 Typy turbulence	30
1.5.2 Nebezpečí související s turbulencemi	32
1.6 Dohlednost	32
1.6.1 Příčiny snížené dohlednosti	33
1.6.2 Nebezpečí související se sníženou dohledností	34
2. Způsoby informování o nepříznivých meteorologických podmínkách	36
2.1 Zpráva METAR.....	36
2.1.1 Kódování typu, lokalizace a času vydání zprávy	37
2.1.2 Kódování přízemního větru	37
2.1.3 Kódování dohlednosti.....	38
2.1.4 Kódování dráhové dohlednosti (RVR).....	39
2.1.5 Kódování současného počasí	40
2.1.6 Kódování oblačnosti.....	41



2.1.7	Kódování teploty vzduchu a rosného bodu.....	42
2.1.8	Kódování tlaku vzduchu	43
2.2	Zpráva SPECI.....	43
2.3	Předpověď TREND.....	44
2.4	Předpověď TAF	44
2.4.1	Specifika kódování.....	45
2.4.2	Používané operátory	46
2.5	Informace SIGMET	46
2.6	Předpovědi a informace pro lety v nízkých hladinách.....	48
2.6.1	Informace AIRMET.....	49
2.6.2	Předpověď GAMET	50
2.7	Mapy význačného počasí	51
3.	Změna klimatu a letectví	53
3.1	Klima a klimatický systém.....	53
3.2	Proces a příčiny změny klimatu	53
3.2.1	Emise z leteckých motorů	55
3.2.2	Kondenzační stopy.....	55
3.3	Důsledky změny klimatu	55
3.3.1	Zvyšující se teplota a hladina oceánů.....	56
3.3.2	Výskyt konvektivních bouří a srážek.....	56
3.3.3	Změny v proudění větru	56
3.3.4	Změny v biodiverzitě a desertifikaci.....	56
4.	Vývoj klimatu v České republice	58
4.1	Klima České republiky	58
4.2	Vývoj základních meteorologických prvků.....	59
4.2.1	Vývoj teploty.....	60
4.2.2	Vývoj srážek.....	62
4.2.3	Vývoj vlhkosti vzduchu	63
4.2.4	Vývoj rychlosti větru	64
4.2.5	Vývoj tlaku vzduchu	65
5.	Statistika výskytu nepříznivých meteorologických podmínek.....	66
5.1	Zpracování dat.....	66



5.2	Vyhodnocení dat.....	68
5.2.1	Déšť	70
5.2.2	Sněžení.....	71
5.2.3	Mlha	73
5.2.4	Bouřky.....	74
5.2.5	Námraza	76
5.2.6	Nárazový vítr.....	77
5.3	Zhodnocení vlivu změny klimatu	79
6.	Závěr	87
	Seznam použité literatury.....	89
	Přílohy	92
A.	Přehled měsíční doby trvání vybraných meteorologických jevů	92
B.	Kompletní statistika doby trvání všech zkoumaných jevů	96

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Cumulonimbus calvus [5].....	18
Obrázek 1.2: Cumulonimbus capillatus [5]	18
Obrázek 1.3: Cumulonimbus invus [5]	19
Obrázek 1.4: Počáteční fáze vývoje bouřky [6]	19
Obrázek 1.5: Fáze zralosti vývoje bouřky [6, upraveno].....	20
Obrázek 1.6: Fáze rozpadu vývoje bouřky [6, upraveno]	21
Obrázek 1.7: Zrnitá námraza [15, upraveno].....	25
Obrázek 1.8: Průsvitná námraza [15, upraveno]	26
Obrázek 1.9: Subtropický a polární jet-stream [17]	29
Obrázek 1.10: Termická turbulence [6, upraveno].....	31
Obrázek 1.11: Mechanická turbulence [6].....	31
Obrázek 2.1: Příklad informace SIGMET [25]	48
Obrázek 2.2: Příklad předpovědi GAMET [26]	50
Obrázek 2.3: Příklad mapy význačného počasí [27].....	52
Obrázek 4.1: Průměrná roční teplota vzduchu v ČR v roce 2021 [34].....	59
Obrázek 4.2: Vývoj průměrné teploty pro LKPR.....	60
Obrázek 4.3: Vývoj maximální teploty pro LKPR.....	61
Obrázek 4.4: Vývoj minimální teploty pro LKPR.....	61
Obrázek 4.5: Vývoj úhrnu srážek pro LKPR.....	62
Obrázek 4.6: Vývoj vlhkosti vzduchu pro LKPR	63
Obrázek 4.7: Vývoj rychlosti větru pro LKPR	64



Obrázek 4.8: Vývoj tlaku vzduchu pro LKPR.....	65
Obrázek 5.1: Roční vývoj doby trvání deště pro LKPR.....	70
Obrázek 5.2: Měsíční průběh doby trvání deště pro LKPR.....	71
Obrázek 5.3: Vývoj doby trvání sněžení pro LKPR	72
Obrázek 5.4: Měsíční průběh doby trvání sněžení pro LKPR.....	72
Obrázek 5.5: Roční vývoj doby trvání mlhy pro LKPR.....	73
Obrázek 5.6: Měsíční průběh doby trvání mlhy pro LKPR.....	74
Obrázek 5.7: Roční vývoj doby trvání bouřek pro LKPR	75
Obrázek 5.8: Měsíční průběh doby trvání bouřek pro LKPR	75
Obrázek 5.9: Roční vývoj doby trvání námrazy pro LKPR.....	76
Obrázek 5.10: Měsíční průběh doby trvání námrazy pro LKPR.....	77
Obrázek 5.11: Roční vývoj doby trvání nárazového větru pro LKPR.....	78
Obrázek 5.12: Měsíční průběh doby trvání nárazového větru pro LKPR.....	78
Obrázek 5.13: Porovnání průměrné měsíční teploty a doby trvání bouřek pro LKPR.....	79
Obrázek 5.14: Závislost doby trvání bouřek na teplotě pro LKPR	80
Obrázek 5.15: Predikce roční doby trvání bouřek na příštích 10 let pro LKPR	85
Obrázek 5.16: Predikce měsíční doby trvání bouřek v roce 2030 pro LKPR	86



Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Příklady kódování typu, místa a času vydání zprávy METAR	37
Tabulka 2.2: Příklady kódování přízemního větru ve zprávě METAR.....	38
Tabulka 2.3: Příklady kódování dohlednosti ve zprávě METAR	39
Tabulka 2.4: Příklady kódování dráhové dohlednosti ve zprávě METAR.....	39
Tabulka 2.5: Přehled kódů jevů současného počasí ve zprávě METAR [2, upraveno]	40
Tabulka 2.6: Příklady kódování současného počasí ve zprávě METAR.....	41
Tabulka 2.7: Přehled kódů používaných pro vyjádření množství oblačnosti ve zprávě METAR [2, upraveno].....	42
Tabulka 2.8: Příklady kódování oblačnosti ve zprávě METAR	42
Tabulka 2.9: Příklady kódování teploty vzduchu a rosného bodu ve zprávě METAR	43
Tabulka 2.10: Příklady kódování tlaku vzduchu ve zprávě METAR.....	43
Tabulka 2.11: Seznam jevů a jejich kódových označení vydávaných v informaci SIGMET [21, upraveno].....	47
Tabulka 2.12: Seznam jevů a jejich kódových označení vydávaných v informaci AIRMET [21, upraveno].....	49
Tabulka 5.1: Celkový počet zpráv v jednotlivých měsících a letech pro LKPR	67
Tabulka 5.2: Celková roční doba trvání srážkových jevů pro LKPR	68
Tabulka 5.3: Celková roční doba trvání jevů ovlivňujících dohlednost pro LKPR.....	68
Tabulka 5.4: Celková roční doba trvání ostatních jevů pro LKPR.....	69
Tabulka 5.5: Výsledné korelační koeficienty a p-hodnoty pro závislost bouřek na teplotě	81
Tabulka 5.6: Výsledné korelační koeficienty a p-hodnoty pro závislost ostatních zkoumaných jevů na teplotě	82



Tabulka 5.7: Výsledné p-hodnoty pro ověření normality a závislosti ostatních zkoumaných jevů na teplotě.....	82
Tabulka 5.8: Výsledné korelační koeficienty a p-hodnoty pro závislost bouřek na tlaku vzduchu a rychlosti větru.....	83
Tabulka 5.9: Výsledné p-hodnoty pro ověření normality a závislosti bouřek na tlaku vzduchu a rychlosti větru.....	83
Tabulka 5.10: Predikovaná teplota a doba trvání bouřek v příštích 10 letech pro LKPR.....	84



Seznam symbolů a zkratek

Symbol Význam

t	doba trvání jevu
n	četnost výskytu jevu
D	počet dní v měsíci
Z	počet zpráv v měsíci
H_0	nulová hypotéza
r	Spearmanův korelační koeficient
p	p-hodnota

Zkratka Český význam

AIRMET *nepoužívá se*

BR Kouřmo

CAT Turbulence v bezoblačném prostředí

CB, Cb Cumulonimbus (kumulonimbus)

Ci Cirrus (řasa)

ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav

ČR Česká republika

DS Prachová vichřice

DU Prach

DZ Mrholení

FC Nálevkovitý oblak

FG mlha

FL Letová hladina

FU Kouř

FZ Namrzající, námraza

G Nárazový vítr

GAMET Předpověď pro všeobecné letectví

GR Kroupy

GS Krupky

HZ Zákal

Anglický význam

Airmen's Meteorological
Information

Mist

Clear Air Turbulence

Cumulonimbus

Cirrus

Czech Hydrometeorological
Institute

Czech Republic

Dust Storm

Dust

Drizzle

Funnel Cloud

Fog

Flight Level

Fume, Smoke

Freezing, Icing

Gusty Wind

General Aviation Meteorological
Forecast

Hail

Graupel, Small Hail

Haze



ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví	International Civil Aviation Organization
IFR	Let podle přístrojů	Instrument Flight Rules
LKPR	Letiště Václava Havla Praha	Václav Havel Airport Prague
METAR	Meteorologická letištní zpráva	Meteorological Aerodrome Report
PL	Zmrzlý déšť	Ice Pellets
PO	Prachové / písečné víry	Dust / Sand Whirls
QFE	Tlak na vztažném bodu letiště	Pressure at Aerodrome Reference Point
QNH	Tlak přepočtený na střední hladinu moře	Pressure at Mean Sea Level
RA	Déšť	Rain
RVR	Dráhová dohlednost	Runway Visual Range
SA	Písek	Sand
SIGMET	<i>nepoužívá se</i>	Significant Meteorological Phenomena Information
SN	Sněžení	Snow
SG	Sněhová zrna	Snow Grains
SPECI	Mimořádná letištní zpráva	Special Aerodrome Report
SQ	Húlava	Squall
SS	Písečná vichřice	Sand Storm
SW	Význačné počasí	Significant Weather
TAF	Letištní předpověď počasí	Terminal Aerodrome Report
TCU	Věžatý cumulus (kumulus)	Towering Cumulus
TS	Bouřka	Thunderstorm
TURB	Turbulence	Turbulence
UTC	Koordinovaný světový čas	Coordinated Universal Time
VA	Vulkanický popel	Volcanic Ash
VFR	Let za viditelnosti	Visual Flight Rules
WS	Střih větru	Wind Shear



Úvod

Změna klimatu je v současné době ze široka probíraným tématem. Stále častěji kolem sebe slycháváme pojmy jako globální oteplování, skleníkový efekt, skleníkové plyny, emise, fosilní paliva apod. O změně klimatu se mluví jako o klimatické krizi, v níž se teď nacházíme. Zkoumají se její příčiny, zjišťují se následky. Kvůli změně klimatu se konají celosvětové konference. Scházejí se političtí představitelé, vědci, ekologové, aktivisté apod. a bijí na poplach. Změna klimatu se zkrátka týká každého z nás. Dopadá totiž na celou naši planetu a veškeré aspekty lidské činnosti, letectví nevyjímaje.

V kontextu změny klimatu se v leteckém průmyslu mluví zejména o těch procesech letectví, které ke změně klimatu aktivně přispívají. Řeší se především znečištění ovzduší v podobě emisí z leteckých motorů. Velmi probírané jsou také kondenzační stopy za letícími letadly. V menší míře se pak mluví o důsledcích pro leteckou dopravu, které ze změny klimatu přímo vyplývají. Ještě méně se však zmiňují důsledky změny klimatu, které leteckou dopravu ovlivňují nepřímo, tzn. důsledky změny klimatu, které ovlivňují nějaké jiné odvětví, jež je však s letectvím propojené nebo na něj má vliv. Takovým odvětvím je mimo jiné i meteorologie. Meteorologické podmínky jsou důležitým aspektem letectví, protože bezprostředně ovlivňují letadlo ve všech fázích letu. Pokud jde o negativní vliv, mluvíme o nepříznivých meteorologických podmínkách. Nepříznivé meteorologické podmínky tedy označují takové meteorologické jevy, které v jakékoli formě mohou narušit bezpečnost a proveditelnost letu. Častější výskyt nepříznivých meteorologických jevů pak představuje ještě větší zásah do leteckého provozu a další prohlubování bezpečnostních rizik.

Cílem práce je identifikovat tyto nepříznivé meteorologické podmínky, popsat způsoby informování o nich a představit změnu klimatu v kontextu letectví. Dále pak sledovat vývoj změny klimatu a zpracovat statistiku výskytu nepříznivých meteorologických podmínek se zaměřením na Českou republiku. Práci zakončuje zhodnocení vlivu změny klimatu na zkoumané meteorologické jevy.



1. Nepříznivé meteorologické podmínky pro letectví

V této kapitole se zaměříme na meteorologické jevy a počasí, které nepříznivě ovlivňují letecký provoz zejména pak jeho bezpečnost. Vybrány jsou ty jevy, které jsou považovány jako nejnebezpečnější. Povíme si o bouřkách, srážkách, námraze, větru, turbulencích a o jevech snižujících dohlednost. U každého z těchto jevů se zmíníme o vzniku, typech a nebezpečích s nimi spojených. Největší pozornost bude věnována bouřkám, které v letectví bývají považovány za vůbec nejnebezpečnější meteorologický jev.

1.1 Bouřky

Bouřkou (anglicky *thunderstorm*) se rozumí souhrn elektrických, optických a akustických jevů doprovázející výskyt blesků. Bouřky vznikají v oblacích cumulonimbus a jsou součástí konvektivní bouře (anglicky *convective storm*). Ta zahrnuje i další jevy jako tornádo, kroupy, nárazový vítr a přivalové deště, které mohou, ale nemusí, bouřky doprovázet. Bouře (anglicky *storm*) je pak souhrnné označení pro jakékoliv vybočení nebo zesílení přírodních jevů z normálu a zahrnuje kromě konvektivních bouří dále prachové bouře, písečné bouře, sněhové bouře a větrné bouře. V této části se zaměříme na bouřky, které jsou pro letectví nejrelevantnější. [1]

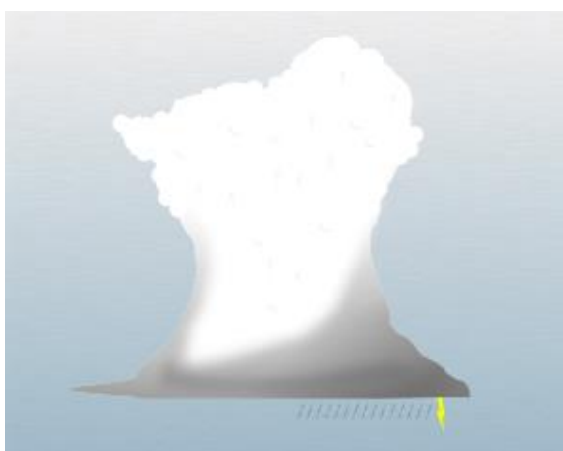
1.1.1 Cumulonimbus

Cumulonimbus (Cb) je mohutný a hustý oblak s výrazným vertikálním rozsahem zasahující do všech pater oblaků (nízké, střední a vysoké) v podobě hory nebo velké věže. Základna oblaku bývá velice tmavá a nachází se obvykle několik stovek metrů až 2 km nad povrchem, vrchol oblaku zasahuje až do troposféry. Je to typický srážkový oblak, který vzhledem ke svému rozsahu obsahuje jak vodu, tak zmrzlé částice. Srážky bývají většinou velmi intenzivní. S oblakem jsou dále spojeny velmi silné sestupné a vzestupné proudy. Právě v oblacích Cb vznikají bouřky, nicméně ne každý oblak Cb vyprodukuje bouřku. [2]

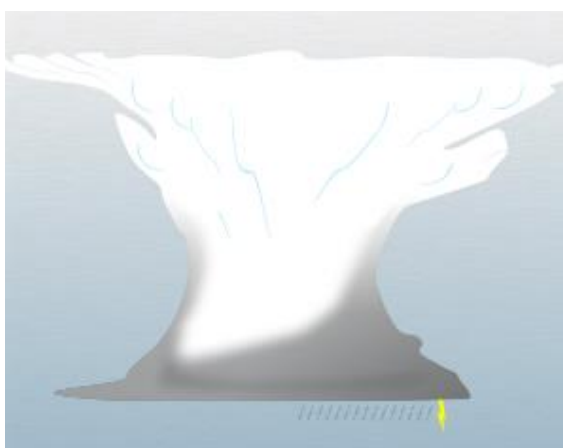
Oblak Cb se utváří z oblaků druhu cumulus za následujících podmínek: ve vzduchu se vyskytuje velká vrstva nestabilní vzduchové hmoty, vzduch je teplý a vlhký a tento vzduch je konvekcí vytlačován vzhůru, například intenzivní termikou, vlivem orografie nebo postupem frontálního rozhraní. Oblaky Cb se mohou vyskytovat izolovaně v podobě jednotlivých oblaků,

organizovat se do skupinek jako tzv. multicely nebo mohou vytvořit tzv. supercelu. Od toho se odvíjí i délka trvání těchto oblaků, která se pohybuje od jedné hodiny (jednotlivé oblaky) až po několik jednotek až desítek hodin (multicely, resp. supercely). [2,3]

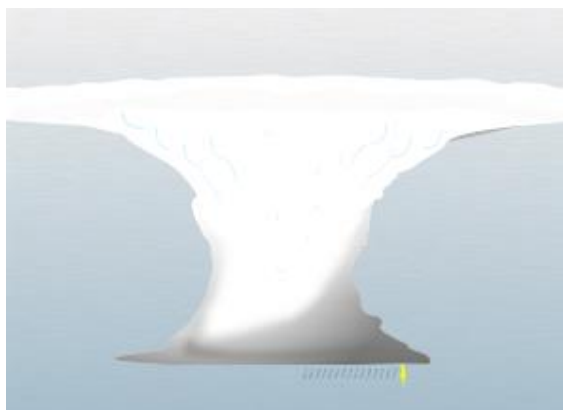
Oblak Cb má 3 hlavní podoby popisující vzhled vrcholu oblaku. **Cumulonimbus calvus** má vrchol oblaku načechraný podobně jako oblak cumulus. **Cumulonimbus capillatus** má vrchol oblaku vláknitý ale stále vcelku uzavřený. **Cumulonimbus incus** má vrchol oblaku také vláknitý, ale protože oblak dále roste i po dosáhnutí vrcholu troposféry, neroste dále do výšky, ale do šířky a formuje se do ikonického tvaru kovadliny (incus). Tyto hlavní podoby oblaku Cb jsou zobrazeny na obrázcích 1.1, 1.2. a 1.3. [4]



Obrázek 1.1: Cumulonimbus calvus [5]



Obrázek 1.2: Cumulonimbus capillatus [5]

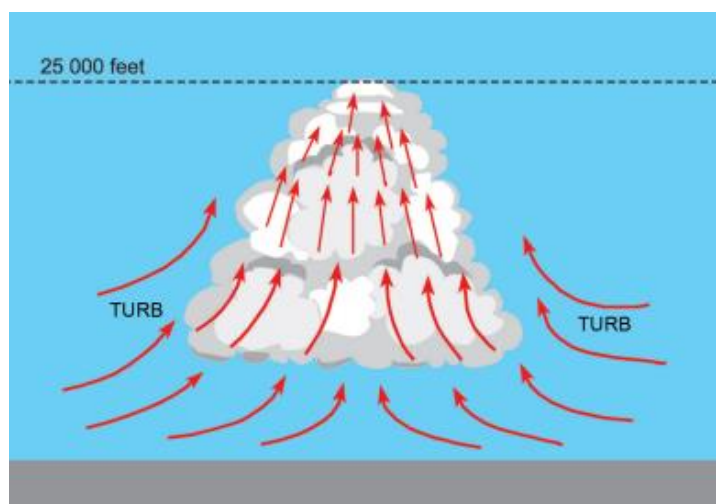


Obrázek 1.3: Cumulonimbus invus [5]

1.1.2 Vývoj bouřky

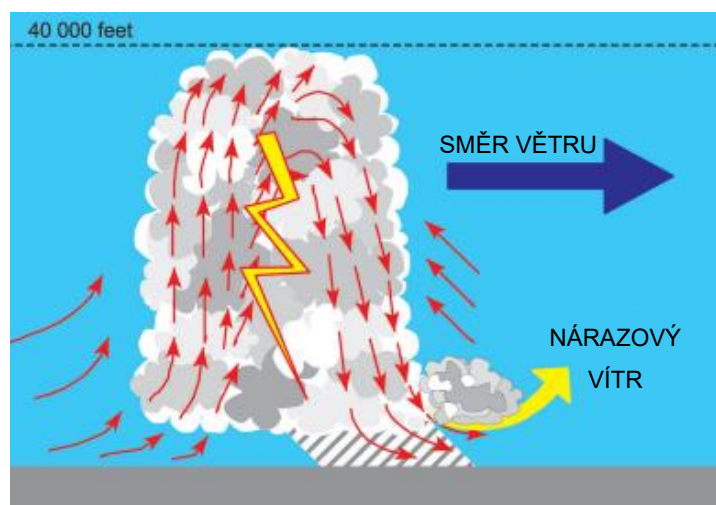
Vývoj bouřky je rozdělen do 3 specifických fází: počáteční fáze, fáze zralosti a fáze rozpadu.

V **počáteční fázi** se spojí několik malých oblaků cumulus a vytvoří jednu velkou buňku o velikosti asi 5 NM. Vyskytují se zde silné stoupavé proudy dosahující rychlosti až 6000 fpm nebo 30 m/s, které způsobují rychlý růst oblaku do výšky, jenž přechází do tvaru, v letecké meteorologii označovaném Towering Cumulus nebo věžatý cumulus (TCU). Vzduch je ze stran a zespodu oblaku nasáván dovnitř oblaku, aby nahradil stoupající vzduch, což způsobuje turbulence. Počáteční fáze trvá přibližně 15 až 20 minut. Průběh počáteční fáze je zobrazen na obrázku 1.4. Červené šipky představují proudění vzduchu, označení TURB symbolizuje oblast s vyskytujícími se turbulencemi. [2,6]



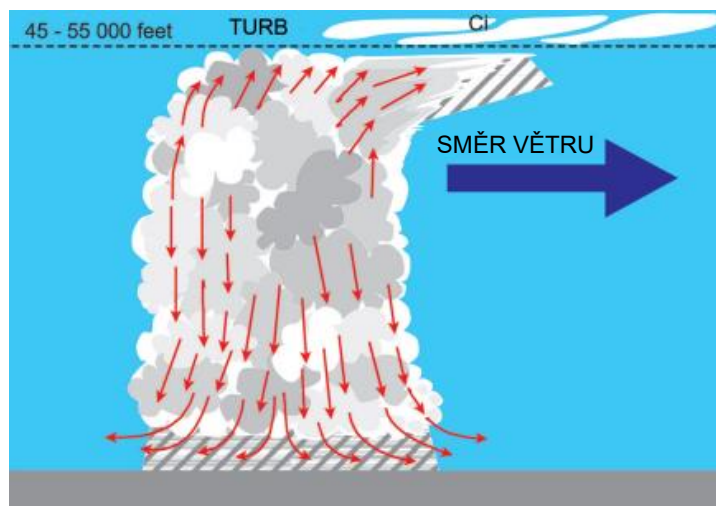
Obrázek 1.4: Počáteční fáze vývoje bouřky [6]

Fáze zralosti začíná uvolňováním a vypadáváním srážek z oblaku. Srážky přináší studený vzduch do nižších vrstev oblaku, přičemž se zároveň částečně vypařují, což ještě více ochlazuje okolní vzduch a způsobuje ještě silnější klesavé proudy, které dále způsobují frontu nárazového větru. V tuto chvíli se v oblaku vyskytují vedle sebe protichůdné proudy, silný stoupavý a silný klesavý, což opět způsobuje silné turbulence, které jsou ale navíc doprovázeny ještě blesky. Fáze zralosti podobně jako počáteční fáze trvá přibližně 15 až 20 minut. Průběh fáze zralosti je zobrazen na obrázku 1.5. Červené šipky představují proudění vzduchu, žlutá šipka znázorňuje směr pohybu fronty nárazového větru a modrá šipka představuje směr proudění svrchního větru. [2,6]



Obrázek 1.5: Fáze zralosti vývoje bouřky [6, upraveno]

Postupně začíná bouřka slábnout a nastává **fáze rozpadu**. To je důsledkem zeslábnutí stoupavé proudy, který přestává bouřku zásobovat teplým a vlhkým vzduchem. To je zapříčiněno například vyčerpáním zásoby vlhkosti nebo tím, že ochlazený klesající vzduch u země způsobí takové ochlazení, až ustane konvekce. Silné turbulence však přetrvávají, stále jsou doprovázeny srážkami a někdy také i v této fázi blesky. V oblaku přetrvává klesavý proud, který vede k úplnému rozpuštění oblaku. Ve vrchní části oblaku v oblasti tropopauzy je oblak rozptýlen svrchním větrem a přechází v oblak typu cirrus. Fáze rozpadu běžně trvá dalších 30 až 60 minut. Průběh fáze rozpadu je zobrazen na obrázku 1.6. Červené šipky představují proudění vzduchu, modrá šipka znázorňuje směr proudění svrchního větru a označení TURB symbolizuje oblast s vyskytujícími se turbulencemi. Na obrázku je dále vidět formování oblaku cirrus (Ci). [2,6]



Obrázek 1.6: Fáze rozpadu vývoje bouřky [6, upraveno]

1.1.3 Druhy bouřek

Bouřky se dělí na 2 typy: tzv. bouřky z tepla a bouřky frontální.

Bouřky z tepla se nejčastěji vyskytují v létě a jak jejich název napovídá, hlavním spouštěčem je teplý vzduch nad pevninou. Většinou vznikají v průběhu dne v odpoledních a večerních hodinách a následně zanikají v průběhu noci (výjimečně mohou přetrvat i do dalšího dne). Utváří se v již slabé, rozpadající se oblasti nízkého tlaku vzduchu nebo v tzv. barickém sedle, které se nachází v průsečíku brázdy nízkého tlaku vzduchu a hřebene vysokého tlaku vzduchu, jinými slovy v bodě s nejnižším relativním tlakem mezi dvěma tlakovými výšemi a zároveň s nejvyšším relativním tlakem mezi dvěma tlakovými nížemi. [6,7]

Frontální bouřky jsou více časté v zimě a na rozdíl od bouřek z tepla se mohou vyskytovat jak nad pevninou, tak vodní plochou. Mohou vznikat v jakoukoli denní dobu. Nejčastěji se tvoří na čele studené, případně okluzní fronty, a zároveň uvnitř oblasti nebo brázdy nízkého tlaku vzduchu. Frontální bouřky se pohybují rychleji než bouřky z tepla. Mohou také tvořit zvláštní útvar označovaný jako čára instability, který představuje řadu vzájemně propojených frontálních bouřek. To vede k delšímu trvání a vyšší intenzitě bouřkové činnosti. [6,7]

1.1.4 Nebezpečí související s bouřkou

Bouřky jsou v letectví považovány jako nejnebezpečnější jev počasí a pilot jakéhokoli letadla by se jim měl vždy vyhnout. Nebezpečných jevů doprovázejících bouřky je celá řada: blesky, turbulence, námraza, silné srážky, kroupy, tornáda, microburst a s tím spojený stříh větru.



V této podkapitole je kladen důraz hlavně na specifika výskytu těchto jevů v bouřkách a nebezpečích s tím spojených. Většina těchto jevů se totiž může vyskytovat i mimo bouřky a bude popsána i v dalších částech práce.

Blesky se objevují nejčastěji v oblasti s teplotou vzduchu kolem bodu mrazu, od +10 do -10 °C, přičemž se mohou vyskytovat i 15 km mimo samotnou bouřku. Hlavními nebezpečími spojenými s blesky jsou oslepení pilota, poškození konstrukce letadla, ovlivnění fungování magnetických kompasů a narušení elektrického vybavení letadla. [6,8]

Turbulence může být nebezpečná jak uvnitř bouřky, tak pod ní, kde ovlivňuje především vzlet a přistání. Turbulence mohou silně ovlivnit výkonnost letadla, postihnout fungování tlakových přístrojů a zranit cestující na palubě. [3,6]

Silné srážky představují nebezpečí v podobě stejné nebo vyšší rychlosti stoupavých proudů v bouřce, než je rychlost klesání padajících kapek, což zvyšuje koncentraci vody v místě průletu letadla. Motory letadla tuto vodu nasávají ve větší míře, než je obvyklé, což může vést až k poškození nebo výpadku motorku. Nebezpečím jsou také srážky v podobě krup. **Kroupy** se mohou vyskytovat v celém vertikálním rozsahu bouřky a mohou způsobit silné poškození konstrukce letadla. [6]

Námraza se obvykle vyskytuje v celém rozsahu bouřkového mraku, kde je teplota vzduchu pod bodem mrazu. Nejčastější formou námrazy v bouřce je tzv. námraza průsvitná, která je tvořena velkými kapkami přechlazené vody. Tato forma námrazy dokáže při delším trvání narušit aerodynamický profil křídla a nezanedbatelně zvýšit celkovou hmotnost letadla. [7,8]

Microburst je silný klesavý proud vzduchu (tzv. downburst) uvnitř bouřky o rychlosti dosahující od 5 m/s do 30 m/s, který se při kontaktu se zemí rozprskne do všech směrů a přemění se v silné horizontální proudy větru o rychlosti od 50 kt až 90 kt. Tato rychlá změna směru (případně rychlosti) větru je označována jako **střih větru**. Microburst má horizontální rozsah do 4 km, nad tuto hodnotu je řeč o macroburstu. Microburst představuje největší nebezpečí v nízkých hladinách, zejména při vzletu a přistání. Letadlo, které se k microburstu přiblíží, nejprve narazí na silný protivítr, což vede ke zvýšení indikované rychlosti letu a většímu vztlaku, tedy letadlo rychleji stoupá. Pilot ale nesmí rychlost potlačit a výšku snížit, protože při prolétnutí středem microburstu letadlo narazí na sestupný proud, který rychle přechází v zadní vítr, a indikovaná rychlost letu i vztlak tak náhle klesnou, což by v případě předcházejícího snížení výšky pilotem mohlo vést k letu nebezpečně blízko zemi nebo až nárazu letadla do země. [6,9,10]



Tornádo označuje prudký rotující vzdušný vír o průměru několik jednotek až stovek metrů. Předpokladem pro vznik tornáda je velká nestabilita atmosféry, proto stejně jako bouřky vzniká výhradně v oblaku typu cumulonimbus. Spouštěčem tornáda je nejspíše vertikální stříh větru teplého vlhkého vzduchu, který se potká se studeným suchým vzduchem proudícím z jiného směru. Tornádo má obvykle malý horizontální dosah a krátkou životnost, přičemž platí, že čím větší rozsah, tím delší životnost. Tornádo může způsobit značné poškození na zemi a v její blízkosti, tedy v letectví představuje hrozbu hlavně pro infrastrukturu letiště, navigační zařízení i samotná letadla. [6,11]

1.2 Srážky

Za srážky jsou označovány všechny vodní částice, ať už v kapalné nebo pevné formě nebo v kombinaci obou, které díky gravitaci padají k zemi. Za srážky jsou považovány i ty vodní částice, které se vypaří dříve, než dopadnou na zem. [7,12]

1.2.1 Vznik srážek

Primární podmínkou pro vznik srážek je nasycení vzduchu vodní párou. To nastává, když je vzduch ochlazen na teplotu rosného bodu. V tomto stavu dochází k shlukování jednotlivých molekul vody a formování vodních kapek. Vodní kapky postupně narůstají až do fáze, kdy jsou natolik velké a těžké, že se nedokážou v oblaku udržet a vlivem gravitace začínají padat k zemi. K narůstání vodních kapek dochází 2 různými způsoby. V prvním případě je nutná přítomnost ledových krystalků. Aby mohly ledové krystalky vzniknout, musí se část oblaku nacházet v oblasti s podnulovou teplotou. Ledové krystalky narůstají pohlčováním okolních vodních kapek, které k nim při kontaktu přimrznou. K druhému případu dochází v oblacích s nadnulovou teplotou. Jednotlivé vodní kapky do sebe narážejí a spojují se do větších kapek. K tomu dochází kvůli rozdílným velikostem, a tedy rozdílným rychlostem pohybu jednotlivých kapek v oblaku. [2,12]

1.2.2 Druhy srážek

Srážky můžeme klasifikovat především podle intenzity, délky trvání a typu srážek. Podle intenzity se dělí na slabé, mírné a silné, přičemž konkrétní číselná specifika těchto kategorií se liší podle typu srážek. Co se týče délky trvání, rozlišujeme srážky na:

- a. **trvalé** – padají nepřetržitě alespoň hodinu;
- b. **občasné** – jako trvalé, ale jejich intenzita kolísá a chvílemi nemusí padat vůbec;



- c. **přeháňky** – krátkého trvání a přesouvají se, ale většinou velké intenzity. [2]

Podle typu rozlišujeme srážky na:

- a. **mrholení** – velmi malé vodní kapky (do 0,5 mm), často doprovázeno mlhou a nízkými oblaky typu stratus;
- b. **děšť** – větší kapky (od 0,5 do 5 mm), které padají rychleji, proto intenzivnější než mrholení;
- c. **namrzající děšť nebo mrholení** – stejný princip jako děšť, resp. mrholení, ale vodní kapky namrzají při kontaktu se zemí;
- d. **sníh** – stejný princip jako děšť, ale obsahuje ledové krystalky místo vodních kapek;
- e. **zmrzlý děšť** – průhledné kousky ledu (do 0,5 mm), které vznikají zmrznutím vodních kapek ještě ve vzduchu;
- f. **kroupy** – kulové nebo nepravidelné kusy ledu větších rozměrů (od 0,5 mm), vyskytující se převážně při bouřkách. [12]

1.2.3 Nebezpečí související se srážkami

Srážky samy o sobě nepředstavují pro současná letadla za letu velké nebezpečí, často ale jsou příčinou dalších jevů, které už vážné nebezpečí představovat mohou. Srážky mohou být například původcem námrazy nebo omezené dohlednosti. Mohou být také důvodem nesprávné indikace některých letadlových přístrojů. U malých letadel mohou způsobit poškození nebo vypnutí motoru a jiných elektrických zařízení na letadle kvůli nadměrnému nasátí vody dovnitř motoru. Dalším nebezpečím za letu mohou být kroupy, které dokážou při kontaktu s letadlem značně poškodit jeho konstrukci. Ještě větší nebezpečí však představují srážky na zemi, kde mohou způsobit nepříznivé podmínky pro vzlet a přistání na dráze letiště. Voda na dráze sníží brzdné účinky letadla a může způsobit aquaplaning. Sníh dráhu kontaminuje, oslabí fungování dráhových světel a celkově sníží rozeznatelnost dráhy od okolních ploch. [2,13]

1.3 Námraza

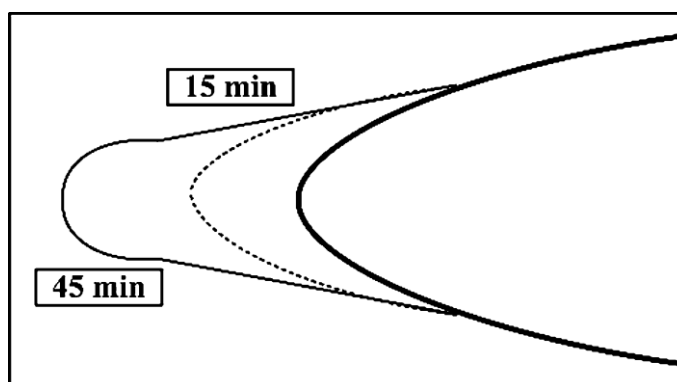
Námraza obecně představuje jakoukoli formu povlaku nebo nánosu ledu na předmětu, který vznikl zmrznutím kapalných vodních částic při kontaktu s daným předmětem. Přestože bod mrazu, tedy hranice přechodu vody z kapalného do pevného skupenství je 0 °C, v atmosféře při této teplotě vodní částice ještě většinou nezamrzají, ale zůstávají v kapalném stavu v podobě tzv. přechlazené vody. Pokud se tato přechlazená voda dostane do kontaktu

s předmětem, jehož povrchová teplota je pod bodem mrazu, skoro instantně na předmětu zmrzne. Tento princip je pro podstatu vzniku námrazy velice důležitý, protože pokud by voda v atmosféře automaticky zmrzla po překročení teploty bodu mrazu, námraza by se nemohla utvořit, protože ledové krystalky by se při kontaktu s předmětem k němu nepřilepily, ale odrazily. [14,15]

1.3.1 Druhy námrazy

Námraza se vyskytuje v podmínkách od 0 °C do -40 °C, přičemž nejčastěji se s ní můžeme setkat od 0 °C do -15 °C. Právě teplota a dále pak velikost kapek přechlazené vody určují typ námrazy, který se na předmětu vytvoří. V letectví se uvažují 3 hlavní druhy námrazy: zrnitá námraza, průsvitná námraza a krystalická námraza. Námrazu můžeme dále klasifikovat podle intenzity, která se udává jako vrstva ledu za jednotku času. Rozlišujeme námrazu slabou (do 0,6 mm/min), mírnou (0,6 - 1 mm/min), silnou (1 - 2 mm/min) a velmi silnou (od 2 mm/min). [2,16]

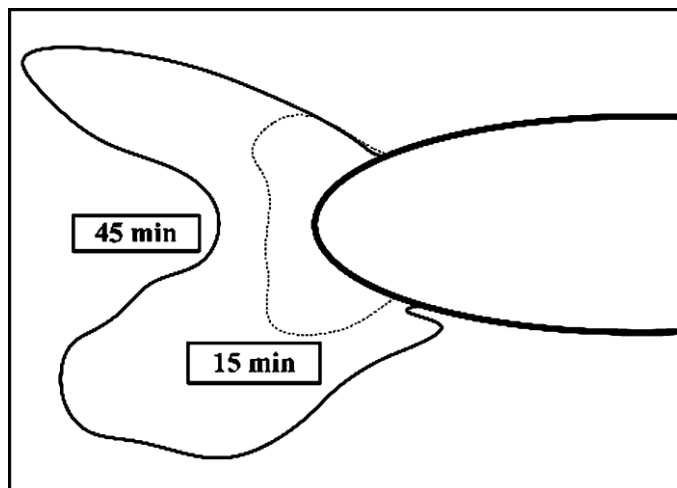
Zrnitá námraza je tvořena malými vodními kapkami, které při kontaktu rychle zmrznou a uvězní vzduch uvnitř ledu, což způsobuje, že je led bílý, neprůsvitný a hrudkovitý. Tvoří se výhradně na náběžné hraně křídla a při teplotě okolního vzduchu od -10 °C do -20 °C. Velká část zrnité námrazy může být odstraněna odmrazovacími prostředky (tzv. de-icing) nebo její vznik může být potlačen protinámrazovými přípravky (tzv. anti-icing). Tvar nárůstu zrnité námrazy na profilu křídla je znázorněn na obrázku 1.7. [16]



Obrázek 1.7: Zrnitá námraza [15, upraveno]

Průsvitná námraza je tvořena vodními kapkami větších rozměrů, vzniká nejčastěji při teplotě od 0 °C do -10 °C a při vyšších rychlostech. Z těchto důvodů namrzá na povrchu pomaleji, takže pokryje větší plochu. V počáteční fázi utvoří hladkou a průsvitnou vrstvu námrazy.

S přibývajícím vrstvou se začne námraza kumulovat a utvářet hřebeny. Průsvitná námraza je přílnavější a hůře odstranitelná než námraza zrnitá. Tvar nárůstu průsvitné námrazy na profilu křídla je znázorněn na obrázku 1.8. [16]



Obrázek 1.8: Průsvitná námraza [15, upraveno]

Krystalická námraza je kombinací obou přechozích typů námraz. Je také nejčastěji se vyskytující, protože v oblacích se běžně vyskytují různě velké vodní kapky, a tvoří se tak oba typy námraz současně. Nejčastěji se objevuje v teplotních podmínkách mezi -10 °C až -15 °C . [16]

1.3.2 Vliv námrazy na letadlo a nebezpečí s tím spojené

Ačkoli námraza, třeba na rozdíl od bouřek, může na první pohled vypadat docela neškodně, představuje jedno z největších nebezpečí pro bezpečný a efektivní provoz letadel. Ovlivňuje totiž všechny důležité aerodynamické vlastnosti letadla. Narušuje proudění vzduchu kolem profilu křidel i trupu, zvyšuje celkový odpor a hmotnost letadla, snižuje vztlak a mezní úhel náběhu a celkově značně narušuje a omezuje výkonnost, říditelnost a stabilitu letadla. Námraza může také omezit správné fungování motoru, v krajním případě vedoucí až k úplnému zastavení chodu motoru, případně poškození konstrukce motoru. Námraza představuje problémy také pro letadlové přístroje měřící důležité letové parametry jako rychlost letu, výšku a vertikální rychlost. Letadlo i letové přístroje tak musí být před námrazou chráněny nebo musí být námraza po jejím vyskytnutí odstraněna. To je docíleno aplikováním protinámrazových (tzv. anti-icing) nebo odmrazovacích prostředků (tzv. de-icing). [15,16]



1.4 Vítr

Jako vítr je dle definice označován horizontální pohyb vzduchu. Pro popis větru je používán vektor rychlosti větru nebo zkráceně vektor větru. Vítr má tedy vždy rychlost, v letectví udávanou převážně v uzlech (kt), a směr, ze kterého proudí, udávaný ve stupních ($^{\circ}$). Vítr vzniká důsledkem tlakového gradientu, tedy rozdílného tlaku mezi dvěma oblastmi. Tlakový gradient je vektor, jehož vertikální složka je rovnovážná s tíhovým zrychlením a horizontální složka směřuje od vyššího tlaku do nižšího tlaku. Touto horizontální složkou tlakového gradientu je právě vítr, který představuje proudění vzduchu snažícího se dostat z oblasti s vyšším tlakem do oblasti s nižším tlakem. [1,2,6]

Vítr je však ovlivňován ještě dalšími složkami nebo silami. První takovou je Coriolisova síla popisující setrvačné síly způsobené rotací Země kolem Slunce. Coriolisova síla působí kolmo na směr větru a vychýlí vítr doprava, pokud jsme na severní polokouli, a doleva, pokud jsme na jižní polokouli. Model větru uvažující pouze tyto 2 síly je označován jako **geostrofický vítr**. V tomto modelu jsou obě síly stejně velké, jen opačně orientované. Rychlost geostrofického větru je přímo úměrná velikosti tlakového gradientu. Ta je udávána hustotou izobar, tedy spojnic míst se stejným tlakem. Čím jsou izobary blíže, tím rychleji geostrofický vítr proudí. Model geostrofického větru je v reálné atmosféře použitelný jen pro volnou atmosféru, tedy tu část atmosféry vyskytující se nad mezní vrstvou atmosféry. [2,6]

Další silou mající vliv na vítr je odstředivá síla, která vyjadřuje sílu kolmo na směr otáčení a se směrem od středu otáčení. Směr odstředivé síly působící na vítr se liší podle toho, jestli vítr proudí kolem tlakové níže nebo tlakové výše. V případě tlakové níže má odstředivá síla opačný směr než tlakový gradient, a proto snižuje rychlost větru. V tlakové výši je to přesně naopak, odstředivá síla má stejný směr jako tlakový gradient, a tak zvyšuje rychlost větru. Směr větru se mění dle velikostí jednotlivých sil. Model větru uvažující tyto 3 síly je označován jako **gradientový vítr**. Model gradientového větru už lépe popisuje proudění v reálné atmosféře a je se zanedbatelnou chybou použitelný na vítr proudící ve vyšších vrstvách troposféry. [2,6]

Vítr v reálné atmosféře je však ještě ovlivňován třetí silou. Ta je nejsilnější u povrchu země a s výškou její síla klesá, přičemž od 1 km nad povrchem země začíná výrazně slábnout a od 2 km nad povrchem země je už zcela zanedbatelná. Tření snižuje původní rychlost větru, což vede k oslabení vlivu Coriolisovy síly a posílení tlakového gradientu. To má za následek vychýlení směru větru do strany tlakového gradientu, tedy na severní polokouli je vítr vychýlen



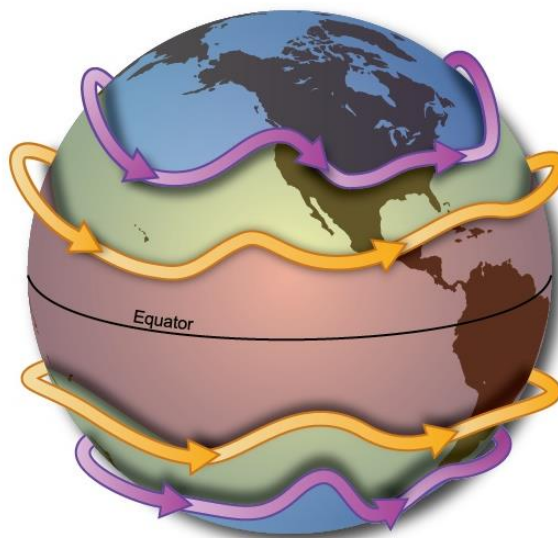
vlevo od směru pohybu a na jižní polokouli vpravo od směru pohybu. Platí, že čím je povrch členitější, tím je vliv třecí síly silnější. [2,6]

1.4.1 Typy větru

Mimo již zmíněné modely lze vítr rozdělit do různých kategorií popisujících různé vlastnosti a specifikace, místa a časy výskytu, procesy vzniku apod. Rozlišujeme např. následující větry: přízemní vítr, termální vítr, výškový vítr, antibarický vítr, místní větry a jet-stream. Místní větry dále dělíme na:

- a. **brízu** – pobřežní vítr, rozlišujeme mořskou a pevninskou brízu;
- b. **anabatický vítr** – výstupný vítr představující teplý vzduch stoupající podél svahu;
- c. **katabatický vítr** – sestupný vítr představující studený vzduch klesající podél svahu;
- d. **větry v ose údolí** – cirkulace vzduchu v horských údolích a přilehlých rovinách, rozlišujeme horský a údolní vítr;
- e. **föhn** – vítr stoupající k vrcholku hory a po jeho překonání opět klesající k zemi na opačné straně, specifický pro Alpy, v jiných částech světa se nazývá jinak;
- f. **bóru** – studený nárazový vítr sestupující podél svahu hor k moři, specifický pro jadranské pobřeží, v jiných částech světa se nazývá jinak;
- g. **mistrál** – chladný, suchý nárazový vítr s ničivými účinky vanoucí v údolí Rhôny. [1,2]

Za samostatnou zmínku stojí velmi specifický vítr nazývaný **jet-stream** neboli tryskové proudění. Jedná se o pás velmi silných větrů vyskytujících se těsně pod tropopauzou. Jet-stream je klasifikován rychlostí od 60 kt, ale může dosáhnout až 300 kt. Typický jet-stream je přibližně 1500 NM dlouhý, 200 NM široký a 2 NM hluboký a vane od západu k východu. Je způsoben velkým teplotním rozdílem mezi dvěma vzduchovými hmotami. Známe dva hlavní typy jet-streamu: subtropický jet-stream a polární jet-stream. Jejich umístění a sezónní fluktuační jsou zobrazeny na obrázku 1.9. Fialové šipky znázorňují polární jet-stream, oranžové šipky subtropický jet-stream. [6,12]



Obrázek 1.9: Subtropický a polární jet-stream [17]

1.4.2 Nebezpečí spojené s větrem

Pro letadla za letu nepředstavuje vítr velké nebezpečí. Moderní letadla jsou během letu schopná dobře odolávat povětrnostním vlivům a největší starosti pilotům nebo spíše aerolinkám způsobuje možné zpoždění zapříčiněné protivětrém. Více problému však může nastat při vzletu nebo přistání. Protivítr je preferovaným větrem při vzletu i přistání, protože zpomaluje letadlo, poskytuje větší vztlak a tím zkracuje potřebnou délku dráhy. V případě zadního větru se jednoduše otočí směr používané dráhy a ze zadního větru se stává preferovaný protivítr (samozřejmě za předpokladu, že otočení směru používané dráhy není z nějakého důvodu nemožné). Problém ale nastává, pokud vítr fouká z boku dráhy. Takovému větru říkáme **boční vítr**. Všechna letadla mají stanovený limit pro maximální velikost složky bočního větru při přistání. Pokud síla bočního větru tento limit přesáhne, nemůže letadlo přistát a musí vyčkávat na snížení rychlosti větru na přijatelnou úroveň nebo změny směru větru. Pokud se povětrnostní podmínky nezlepší, nezbyvá mu nic jiného než divertovat na záložní letiště.

Ještě nebezpečnějším než boční vítr je však jev nazývaný **stříh větru**. Ten je definován jako náhlá změna v rychlosti a/nebo směru větru. Může být horizontální, vertikální i kombinací obou. Může se objevit v jakékoli výšce, nejnebezpečnější je však v blízkosti země, protože může rychle narušit výkonnost letadla, změnit rychlost letu a způsobit nežádané klesání letadla. V hornatých terénech se vyskytují vcelku běžně stříhy větru se změnou směru o 90° a změnou rychlosti o 25 kt. To je způsobeno velkým rozdílem mezi větrem vanoucím v údolí



a nad ním. Často se také vykytují v blízkosti klesavých a stoupavých proudů a kolem frontálního pásma. Nejintenzivnější však bývají v bouřkách. Často je střih větru doprovázen silnými turbulencemi, kterým je věnována následující kapitola. [10,18]

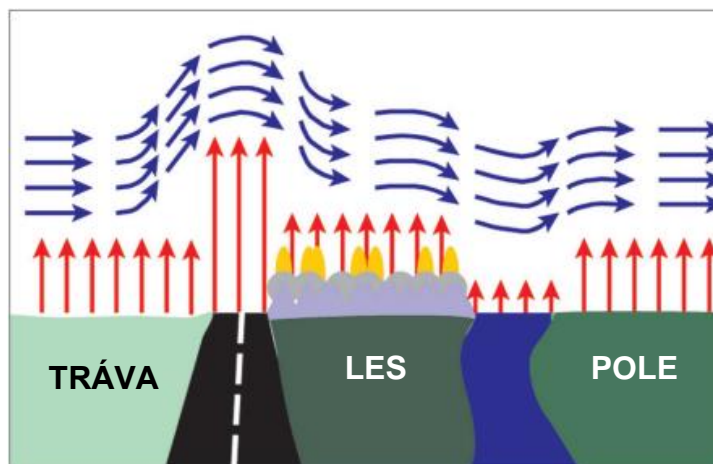
1.5 Turbulence

Z fyzického hlediska označuje pojem turbulence turbulentní proudění, které popisuje rychle a nepravidelně se měnící proudění. Z meteorologického hlediska jde o proudění vzduchu v zemské atmosféře s turbulentními víry o rozměrech od několika milimetrů do několika stovek metrů. V letectví bývá často za turbulenci považováno jakékoli „drncání“ letadla za letu nezávisle na příčině, můžeme tedy o turbulenci mluvit jako o neklidném či rozbouřeném vzduchu. Hlavním původcem takového stavu je vítr a jeho různorodé chování, náhle změny (střih větru) a další specifika. [1,6,12]

1.5.1 Typy turbulence

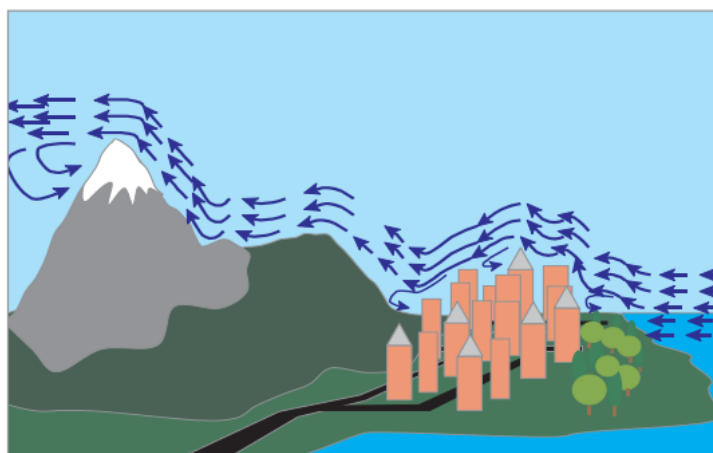
Známe několik druhů turbulencí lišících se v místě vzniku, jejich původu, intenzitě apod. Dle těchto parametrů se dají klasifikovat do různých kategorií. Podle místa vzniku můžeme turbulence rozdělit na turbulence vyskytující se v blízkosti hor, v bouřkách nebo blízko nich, v nízkých hladinách a ve volné atmosféře. Dle intenzity se dají turbulence klasifikovat jako slabé, mírné, silné a extrémně silné. Podle původu můžeme rozdělit turbulence na termické (někdy také konvekční), mechanické a dynamické. Dalším specifickým typem je turbulence v úplavu. [2,12,19]

Termická turbulence, někdy tako označovaná jako konvekční, je způsobená konvekcí, především konvekcí insolační (neboli termickou), tedy konvekcí, která je způsobena přehřátím vzduchu u zemského povrchu vlivem dopadajícího slunečního záření. Různé druhy zemského povrchu se zahřívají jinak rychle, a tím způsobují jinak silné proudy. Například kamení a beton se zahřívají rychle a vyvolávají silné proudy, zatímco tráva, dřevo a voda se zahřívají pomalu a vyvolávají slabé proudy. Vzduch nad takovýmto různorodým povrchem je tedy ovlivňován jinak silnými vertikálními proudy, což vede právě k turbulenci. Termická turbulence je nejsilnější během odpoledne slunečného dne. Princip termické turbulence je znázorněn na obrázku 1.10. [1,6]



Obrázek 1.10: Termická turbulence [6, upraveno]

Mechanická turbulence je způsobena mechanickým ovlivněním proudění vzduchu členitým terénem. To je následkem vlivu třecí síly u povrchu země. Překážky pro proudící vítr představují hory, kopce, stromy, mořský břeh nebo také budovy. Platí, že čím je větší rychlost větru a terén je nepravidelnější, tedy rozdíly mezi překážkami jsou vyšší, vzniklá turbulence je intenzivnější. Princip mechanické turbulence je znázorněn na obrázku 1.11. [2,6]



Obrázek 1.11: Mechanická turbulence [6]

Dynamická turbulence je vlastně mechanická turbulence, které ale vzniká bez vlivu zemského povrchu. Specifickým typem dynamické turbulence je tzv. **Clear Air Turbulence** (CAT, česky také turbulence v bezoblačném prostředí) označující turbulenci, která se vyskytuje bez zjevné příčiny, tedy ve volné atmosféře, mimo jakoukoli oblačnost. Hlavní příčinou turbulence CAT je stříh větru v blízkosti jet-streamu. Turbulence je ještě intenzivnější v jet-streamu v blízkosti vysokých hor. Největším úskalím této turbulence je její malá rozpoznatelnost a předvídatelnost



a dále fakt, že se vyskytuje především v horních částech troposféry, kde letadla letí blízko limitům maximální i minimální rychlosti, a jakýkoli zásah by mohl vést k jejich překročení. [1,2,19]

Turbulence v úplavu je specifický typ turbulence, který vzniká za letícím letadlem. Princip vzniku je podobný jako u mechanického typu turbulence, ale v tomto případě se vzduch nepohybuje kolem překážek, ale překážka, tedy letící letadlo, se pohybuje vzduchem. Turbulence v úplavu funguje na stejném principu jako generování vztlaku. Aby letadlo vzlétlo a udrželo se ve vzduchu, potřebuje vytvořit dostatečný vztlak. Ten je produkován zejména obtékáním vzduchu kolem křídla. Stejně tak vzniká i turbulence v úplavu, která se tvoří na koncích křídel. Dá se říct, že turbulence v úplavu je přímo úměrná vyprodukovanému vztlaku, tedy platí, že čím je letadlo těžší a pomalejší, tím potřebuje vyprodukovat více vztlaku, což zároveň vede k silnější turbulenci v úplavu za tímto letadlem. [12]

1.5.2 Nebezpečí související s turbulencemi

Hlavní nebezpečí, které turbulence představuje, je nevyžádaná manipulace s letadlem při letu. Tím je myšleno ono poskakování letadla za letu, které může vést k vážným zraněním cestujících nebo posádky letadla. Při delším časovém trvání má turbulence za následek rychlejší únavu pilotů a celkově obtížnější řízení letadla. Při silné intenzitě může turbulence vést k mechanickému poškození letadla, v krajním případě i k úplnému rozlomení trupu letadla. Další nebezpečí představuje turbulence v úplavu, vždy tedy musí být dodržovány dostatečné rozestupy mezi jednotlivými letadly. Turbulence jsou stále nedostatečně probádané a těžko předvídatelné. I proto jsou považovány jako jedny z největších hrozeb současného letectví. [19]

1.6 Dohlednost

Dohlednost má několik přívlastků a podob, přičemž pokud mluvíme pouze o dohlednosti bez dalšího upřesnění, máme na mysli většinou meteorologickou dohlednost. Meteorologická dohlednost je nejdelší vzdálenost, na kterou jsme schopni spolehlivě rozeznat černý objekt za denního světla nebo v noci s umělým osvětlením podobné svítivosti. Další důležitou a hojně používanou dohledností je dráhová dohlednost, známá spíše pod zkratkou RVR (z anglického *Runway Visual Range*). Ta udává maximální vzdálenost, na kterou je schopen pilot letadla nacházejícího se 15 ft nad dráhou stále vidět na dráhové označení ve dne nebo návěstidla v noci. Mezi další méně používané dohlednosti patří letová, šikmá, vertikální a technická



dohlednost. Občas se jako synonymum dohlednosti nesprávně používá také viditelnost (nejspíše z anglického významu dohlednosti - *visibility*). Viditelnost však udává, jestli je vůbec možné vidět nějaký předmět, a nemá nic společného s dohledností. V letectví se tento pojem vůbec nevyužívá. [1,2]

1.6.1 Příčiny snížené dohlednosti

Dohlednost sama o sobě nepředstavuje žádný problém nebo nepříznivou meteorologickou podmínku. To se ale změní, pokud dojde k jejímu snížení. To je způsobeno částicemi v atmosféře, které pohlcují, rozptylují a odrážejí světlo. Ty se v atmosféře vyskytují vždy, ale za normálního stavu je jejich velikost nebo koncentrace příliš malá, aby dokázaly omezit dohlednost. Rozlišujeme dva druhy částic dle jejich složení: vodní částice (v kapalném i pevném skupenství) a pevné (tuhé) částice, mezi které řadíme prach, písek, kouř a vulkanický popel. Známe tři typy snížené dohlednosti, liší se především v množství a složení částic: kouřmo, mlha a zákal. [12]

Kouřmo označuje sníženou dohlednost, způsobenou malými vodními kapkami s rozsahem dohlednosti mezi 1000 m až 5000 m, přičemž relativní vlhkost obvykle přesahuje 95 %. [6]

Mlha označuje snížení dohlednosti pod 1000 m, způsobené vodními kapkami nebo ledovými krystalky. Relativní vlhkost dosahuje 100 %. Podle příčiny vzniku nebo typu převažujících částic rozlišujeme následující typy mlhy:

- a. **radiční** – je způsobena vyzařováním tepla z povrchu země především v noci, jsou nejčastějším typem mlhy ve vnitrozemí, tedy i v České republice;
- b. **advекční** – vzniká pohybem teplého vlhkého vzduchu přes studený povrch, zejména vodní plochu;
- c. **svahová** – vyskytuje se většinou v podobě mraku typu stratus nebo stratokumulus, jejichž základna je nižší než vrcholky hor, a vzniká zejména vytlačením vlhkého stabilního vzduchu přes vrcholky hor;
- d. **z vypařování** – tvoří se pohybem studeného vzduchu přes teplejší vodní plochy, tedy především v zimě nebo v arktických oblastech;
- e. **frontální** – vzniká při vypařování srážek z teplé nebo okluzní fronty a posouvá se spolu s frontou;
- f. **namrzající** – obsahuje přechlazené vodní kapky, které při kontaktu s předmětem instantně zmrznou, tedy tvoří námrazu;



- g. **zmrzlá** – vyskytuje se v oblastech s extrémně nízkou teplotou (pod $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) a je tvořena výhradně ledovými krystalky. [2,6]

Zákal označuje snížení dohlednosti, způsobené, na rozdíl od kouřma a mlhy, převážně malými pevnými částicemi. Relativní vlhkost při zákalu je obvykle pod 60 až 70 %. Pokud dojde k jejímu zvýšení nad tuto hranici, začíná docházet ke kondenzaci a zákal přechází v kouřmo, případně mlhu. [2,12]

Dohlednost může být snížena také vysokou koncentrací pouze jednoho druhu pevné částice, kdy nemluvíme o kouřmu, mlze či zákalu, ale pro pojmenování jevu použijeme název dané částice. Mezi tyto částice patří:

- a. **kouř** – označuje částice vzniklé při spalování nebo hoření, tedy saze;
- b. **smog** – označuje kombinaci kouře a mlhy;
- c. **prach** – představuje malinkaté částice především z půdy;
- d. **písek** – představuje malé částice především z pouští a polopouští;
- e. **vulkanický popel** – pochází se sopečné činnosti. [2]

1.6.2 Nebezpečí související se sníženou dohledností

Snížená dohlednost sama o sobě je tím nebezpečím. Moderní letadla jsou však schopná vykonat všechny fáze letu i s nízkou dohledností – letí podle přístrojů (IFR) a ty žádnou dohlednost nepotřebují. Problém může však nastat při přistání, pokud letiště není vybaveno potřebnými přístroji a není certifikováno pro potřebná minima. Snížená dohlednost také představuje velké nebezpečí pro menší letadla, která nejsou schopna létat podle přístrojů (případně toho není schopen pilot). Pro tyto letadla, létající za viditelnosti (VFR), je dostatečná dohlednost klíčová a neočekávané snížení dohlednosti například před přistáním, představuje velké nebezpečí. Piloti těchto letů by vždy měly věnovat dostatečnou pozornost předletové přípravě, aby se této situaci vyhnuli a v případě hrozby snížené dohlednosti let odložili.

Další nebezpečí představují pevné částice. Ty mimo snížení dohlednosti mohou způsobit i mechanické problémy letadlu, zejména při jejich nasátí do motoru. Těmto podmínkám je tedy vždy dobré se vyhnout. Největší nebezpečí představuje vulkanický popel. Nasátí vulkanického popela do motoru způsobí jak dočasnou ztrátu výkonu, v krajním případě až úplně zastavení chodu motoru, tak trvalé neodstranitelné poškození motoru, které má za následek nižší specifickou spotřebu palivu, což ztlačně snižuje životnost motoru. Vulkanický popel také poškodí vnější konstrukci letadla, která je pak ztlačně náchylnější ke korozi. Pokud je někde



zaznamenán výskyt vulkanického popela, létání v této oblasti je přerušeno, dokud to není opět bezpečné. To ale může mít dlouhého trvání, jako jsme byli svědky v dubnu roku 2010, kdy vybuchla sopka Eyjafjallajokull na Islandu, vulkanický popel se dostal nad Evropu a způsobil nejrozsáhlejší přerušování leteckého provozu od druhé světové války, které trvalo od 15. do 23. dubna a ekonomická škoda byla odhadnuta na 5 miliard \$. [2,20]



2. Způsoby informování o nepříznivých meteorologických podmínkách

V této kapitole se podíváme na různé způsoby informování o počasí a meteorologických jevech popsanych v předchozí kapitole, které se využívají v letectví. Zaměříme se na předpovědi, zprávy a informace používané především v České republice. Povíme si o zprávách METAR a SPECI, předpovědích TREND a TAF a informaci SIGMET. Dále se zaměříme na způsoby informování pro lety v nízkých hladinách, do kterých patří informace AIRMET a předpověď GAMET, a na závěr zmíníme také mapy význačného počasí. Největší pozornost bude věnována zprávám METAR, i vzhledem k tomu, že budou dále využívány v pozdějších částech práce.

2.1 Zpráva METAR

METAR (z anglického *Meteorological Aerodrome Report*) je pravidelná meteorologická zpráva o aktuálním počasí na letišti. Je standardně vydávána každých 30 minut, na menších a méně používaných letištích může být interval prodloužen na 60 minut. Obsahuje kódované zprávy o aktuálním počasí na daném letišti v daný čas. V České republice musí zpráva METAR dle předpisu L3 obsahovat následující prvky (v tomto pořadí):

- a. identifikaci typu zprávy;
- b. směrovací značku;
- c. čas pozorování;
- d. identifikaci automatické nebo chybějící zprávy (pokud k ní dojde);
- e. směr a rychlost přízemního větru;
- f. dohlednost;
- g. dráhovou dohlednost;
- h. současné počasí;
- i. množství, druh a výšku základny oblačnosti;
- j. teplotu vzduchu a rosného bodu;
- k. tlak QNH a QFE;
- l. případné doplňující informace. [21]

Zpráva METAR patří mezi kódované zprávy. Kódy jsou rozděleny do skupin kopírující požadavky předpisu. Každá skupina kódů je oddělena mezerou. Konkrétní zpráva METAR je



vždy ukončena symbolem =. Na následujících stránkách si vysvětlíme jednotlivé kódy postupně, jak jdou ve zprávě za sebou. Zpráva METAR může vypadat třeba následovně:

*METAR LKPR 152130Z 34003KT 310V010 1800 -DZ BR BKN002 OVC004 03/03 Q1010
TEMPO 1200 BR=.* [22]

2.1.1 Kódování typu, lokalizace a času vydání zprávy

Zpráva METAR vždy začíná identifikací typu zprávy, tedy v tomto případě označením METAR. Následuje lokalizace, tedy označení letiště, pro které je zpráva vydávána. Používá se ICAO kód letiště, např. LKPR (Letiště Václava Havla Praha). Identifikaci zprávy doplňuje čas pozorování. Ten se udává jako pořadí dne v měsíci, hodina a minuta vydání, vždy v čase UTC (symbolizován písmenem Z). Následuje označení automatické nebo chybějící zprávy. Pokud je zpráva vytvořena automaticky bez zásahu pozorovatele, je doplněna kódem AUTO, v případě úplně chybějící zprávy se udává označení NIL. V ostatních případech není uvedeno nic a toto označení je vynecháno. Příklady indikace těchto údajů jsou znázorněny v tabulce 2.1. [23]

Tabulka 2.1: Příklady kódování typu, místa a času vydání zprávy METAR

Kódové označení	Význam
METAR LKPR 151630Z	zpráva METAR pro letiště Václava Havla Praha, v 15. dni měsíce, v 16 hodin a 30 minut UTC
METAR LKKV 012000Z AUTO	zpráva METAR pro letiště Karlovy Vary, v 1. dni měsíce, ve 20 hodin UTC, sestavena automaticky
METAR LKPR NIL	chybějící aktuální zpráva METAR pro letiště Václava Havla Praha

2.1.2 Kódování přízemního větru

Přízemní vítr je dán směrem a rychlostí větru. Směr větru je udáván po 10 stupních (°), rychlost větru po 1 uzlu (kt). Používají se průměrné hodnoty za posledních 10 minut před vydáním. Pokud se v tomto čase liší maximální rychlost od průměrné rychlosti o více jak 10 kt, je označení doplněno symbolem G a rychlostí tohoto nárazového větru. Podobně, pokud v tomto čase dojde ke změně směru větru alespoň o 60°, ale ne více než o 180°, a rychlost je 3 kt



nebo vyšší, je označení doplněno symbolem V vloženým mezi oba směry, mezi kterými vítr kolísá. Pokud směr větru kolísá (od 60° do 180°), ale rychlost je nižší než 3 kt, případně je vyšší, ale vítr kolísá o více jak 180°, pak se používá označení pro proměnlivý vítr, tedy symbol VRB. Pokud je rychlost větru nižší než 1 kt, směr i rychlost větru je nahrazena 0. Pokud rychlost větru přesahuje 100 kt, používá se symbol P následován 99. Příklady kódování přízemního větru jsou znázorněny v tabulce 2.2. [21,24]

Tabulka 2.2: Příklady kódování přízemního větru ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
28016KT	průměrný směr větru 280°, průměrná rychlost větru 16 kt
19010KTG27KT	průměrný směr větru 190°, průměrná rychlost větru 10 kt, nárazový vítr o rychlosti 27 kt
31015KT 100V250	průměrný směr větru 310°, průměrná rychlost větru 15 kt, směr kolísá mezi 100° až 250°
VRB02KT	proměnlivý vítr o rychlosti 2 kt
VRB28KT	proměnlivý vítr o rychlosti 28 kt
00000KT	rychlost větru je nižší než 1 kt, tedy bezvětří
240P99KT	průměrný směr větru 240°, rychlost větru přesahuje 100 kt

2.1.3 Kódování dohlednosti

Za dohlednost je uvažována převládající dohlednost v prostoru letiště, tedy dohlednost dosažená nejméně na polovině letištní plochy. Pokud však taková dohlednost nelze stanovit, liší se v různých směrech nebo se rychle mění, uvažuje se nejnižší naměřená dohlednost. Ta je doplněna ještě o její orientaci. Dohlednost je do 800 m udávána po krocích o 50 m, mezi 800 m a 5 km po krocích o 100 m, mezi 5 a 10 km po krocích o 1 km, a označením 9999, pokud je vyšší než 10 km. Příklady kódování dohlednosti jsou znázorněny v tabulce 2.3. [1,21,24]



Tabulka 2.3: Příklady kódování dohlednosti ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
0150	dohlednost 150 m
1100	dohlednost 1100 m
7000	dohlednost 7000 m
9999	dohlednost 10 km nebo vyšší
1600 1300NW	převažující dohlednost 1600 m, nejnižší dohlednost je 1300 m v severozápadním směru

2.1.4 Kódování dráhové dohlednosti (RVR)

Dráhová dohlednost (RVR) se udává vždy, pokud je dohlednost nebo dráhová dohlednost nižší než 1500 m. Je označována symbolem R a orientací dané dráhy, následuje samotná dohlednost oddělená /. Do 400 m je udávána po krocích o 25 m, mezi 400 m a 800 m po krocích o 50 m a od 800 m po krocích o 100 m. Rozmezí udávané dráhové dohlednosti se pohybuje od 50 m do 2000 m. Pokud je nižší než 50 m, používá se symbol M, pokud vyšší než 2000 m, používá se symbol P. Na konec kódu může být také přidáno označení tendence. Symbol D označuje snižování dohlednosti, symbol U zvyšování dohlednosti a symbol N udává neměnicí se tendenci. Příklady kódování dráhové dohlednosti jsou znázorněny v tabulce 2.4. [21,24]

Tabulka 2.4: Příklady kódování dráhové dohlednosti ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
R16/0375	RVR 375 m na dráze 16
R08/M0050	RVR nižší než 50 m na dráze 08
R20/P2000U	RVR vyšší než 2000 m a zvyšuje se na dráze 20
R32/1300N	RVR 1300 m a nemění se na dráze 32
R27/1100D	RVR 1100 m a snižuje se na dráze 27



R02R/1200 R02L/0900U	RVR 1200 m na dráze 02R, RVR 900 m a zvyšuje se na dráze 02L
----------------------	--

2.1.5 Kódování současného počasí

Současné počasí pojednává o význačných jevech počasí, jako jsou srážky, bouřky, jevy snižující dohlednost a další. Každému jevu nebo popisu počasí je přiřazen 2 písmenný kód pocházející z anglického (případně francouzského) označení. Jev je dále doplněn indikací intenzity, případně také upřesňujícím označením udávajícím podobu nebo místo výskytu jevu. Označení se tedy skládá z druhu jevu, popisu jevu a jeho intenzity, přičemž indikace a popis vždy předcházejí druhu jevu. Rozlišujeme tři stupně intenzity jevu: slabou (-), mírnou (bez označení) a silnou (+). V případě výskytu vícero jevů současně mohou být jednotlivé kódy kombinovány, maximálně se však najednou udávají 3 jevy. Všechny kódy pro indikaci současného počasí jsou znázorněny v tabulce 2.5. Příklady kódování a kombinování jsou pak znázorněny v tabulce 2.6. [21,24]

Tabulka 2.5: Přehled kódů jevů současného počasí ve zprávě METAR [2, upraveno]

Upřesňující popis		Srážky		Jevy ovlivňující dohlednost		Ostatní jevy	
Kód	Význam	Kód	Význam	Kód	Význam	Kód	Význam
MI	přízemní	DZ	mrholení	BR	kouřmo	TS	bouřka
BC	chuchvalce	RA	děšť	FG	mlha	PO	prachové nebo písečné víry
PR	částečný	SN	sněžení	HZ	zákal	SQ	húlava
DR	nízko zvířený	SG	sněhová zrna	DU	prach	FC	nálevkovitý oblak (tornádo nebo vodní smršť)
BL	zvířený						
SH	přeháňky	PL	zmrzlý déšť	SA	písek		
FZ	namrzající	GR	kroupy	FU	kouř	DS	prachová vichřice



VC	v blízkosti letišť	GS	krupky (malé kroupy)	VA	vulkanický popel	SS	písečná vichřice
RE	minulé počasí					WS	střih větru

Tabulka 2.6: Příklady kódování současného počasí ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
BLSN	vysoko zvržený sníh
+TSRA	silná bouřka s deštěm
-SN MIFG	slabé sněžení, nízká mlha
-FZDZ FZFG	slabé mrznoucí mrholení, mrznoucí mlha
DZ FG	mrholení, mlha
RA HZ VCFG	děšť, zákal, v blízkosti letiště mlha
REFZRA	mrznoucí déšť vyskytující se mezi posledním pozorováním a současným stavem, nikoli však teď
WS R24	střih větru na dráze 24

Informace o minulém počasí (RE) a střihu větru (WS) patří mezi doplňkové informace udávané na závěr zprávy, pro zjednodušení však byly tyto jevy zařazeny do kategorie o současném počasí.

2.1.6 Kódování oblačnosti

U oblačnosti se udává především množství a výška základny. Druh oblačnosti se neuvádí, vyjma oblaku cumulonimbus (CB) a věžatý cumulus (TCU). Množství je uváděno formou míry pokrytí oblohy, rozdělenou na osminy. Použité kódování pro vyjádření množství oblačnosti je znázorněno v tabulce 2.7. Výška oblačnosti je uvedena ve stopách (ft) krát sto a v krocích po 100 ft, přičemž je měřena od výšky letiště. Pokud se vyskytuje více vrstev oblačnosti, udávají se dle následujících pravidel: první vrstva vždy; druhá vrstva, pokud pokrývá více než 2/8 oblohy; třetí vrstva, pokud pokrývá více než 4/8 oblohy. Pokud nelze pozorovat druh nebo výšku oblačnosti, nahradí se ///. Pokud vůbec nelze oblačnost detekovat, používá se zkratka NCD. Pokud není zřetelná základna oblačnosti, ale přitom není vidět obloha, používá se



označení vertikální dohlednosti (VV). Ta se vyjadřuje od země až do 2000 ft v krocích po 100 ft. Speciálním údajem je CAVOK (z anglického *cloud and visibility OK*), který se dle předpisu používá tehdy, když je dohlednost 10 km nebo vyšší, není pozorována žádná oblačnost provozního významu a zároveň se nevyskytuje žádné význačné počasí pro letectví. Příklady kódování oblačnosti jsou znázorněny v tabulce 2.8. [2,21,24]

Tabulka 2.7: Přehled kódů používaných pro vyjádření množství oblačnosti ve zprávě METAR [2, upraveno]

Kód	Množství	Význam
SKC	0/8	jasno, nahrazováno označením NSC nebo CAVOK
FEW	1/8 nebo 2/8	skoro jasno
SCT	3/8 nebo 4/8	polojasno
BKN	5/8 nebo 6/8 nebo 7/8	skoro zataženo
OVC	8/8	zataženo
NSC	žádné	žádná význačná oblačnost

Tabulka 2.8: Příklady kódování oblačnosti ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
FEW021	1/8 nebo 2/8 oblačnosti ve výšce 2100 ft
SCT040TCU	3/8 nebo 4/8 oblačnosti typu TCU ve výšce 4000 ft
BKN///	5/8 nebo 6/8 nebo 7/8 oblačnosti v nezjištěné výšce
VV004	Vertikální dohlednost 400 ft
FEW005 SCT030	1/8 nebo 2/8 oblačnosti ve výšce 500 ft (první vrstva), 3/8 nebo 4/8 oblačnosti ve výšce 3000 ft (druhá vrstva)

2.1.7 Kódování teploty vzduchu a rosného bodu

Teplota vzduchu i rosného bodu se udává v celých stupních Celsiovy stupnice (°C). Pokud je teplota záporná, dodává se před číslo symbol M. První se udává teplota vzduchu, pak teplota



různého bodu oddělená symbolem /. Příklady kódování teploty vzduchu a rosného bodu jsou znázorněny v tabulce 2.9. [21,24]

Tabulka 2.9: Příklady kódování teploty vzduchu a rosného bodu ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
17/13	teplota vzduchu 17 °C, teplota rosného bodu 13 °C
05/M07	teplota vzduchu 5 °C, teplota rosného bodu -7 °C
M12/M16	teplota vzduchu -12 °C, teplota rosného bodu -16 °C

2.1.8 Kódování tlaku vzduchu

Tlak vzduchu je měřen přístrojově v úrovni letiště, tedy zjišťuje se tlak QFE. Do zprávy je však udáván tlak QNH v celých hPa. Změřený tlak je tak přepočítáván na střední hladinu moře. Konkrétní hodnotě tlaku předchází symbol Q. Příklady kódování tlaku vzduchu jsou znázorněny v tabulce 2.10. [2,21,24]

Tabulka 2.10: Příklady kódování tlaku vzduchu ve zprávě METAR

Kódové označení	Význam
Q1012	tlak QNH 1012 hPa
Q0997	tlak QNH 997 hPa

2.2 Zpráva SPECI

SPECI (z anglického *Special Aerodrome Report*) je nepravidelná meteorologická zpráva o aktuálním počasí na letišti. Formou je totožná zprávě METAR, používá stejné kódy a poskytuje stejné informace. Od zprávy METAR se liší akorát svou nepravidelností a označením SPECI na začátku zprávy. Je vydávána pouze při náhlé význačné změně počasí, tedy pokud nastane alespoň jedna z následujících podmínek:

- změna průměrného směru přízemního větru o 60° nebo více, pokud byla rychlost větru alespoň 10 kt;



- b. změna průměrné rychlosti přízemního větru o 10 kt a více, pokud byla rychlost větru alespoň 15 kt;
- c. změna rychlosti nárazového větru o 10 kt a více, pokud byla rychlost větru alespoň 15 kt;
- d. začátek, konec nebo změna intenzity těchto jevů: namrzající srážky, mírné nebo silné srážky (včetně přeháněk) a bouřka (se srážkami);
- e. začátek nebo konec těchto jevů: namrzající mlha a bouřka (beze srážek);
- f. následující změna množství oblačnosti pod výškou 1500 ft: z polojasna (SCT) nebo méně na skoro zataženo (BKN) nebo zataženo (OVC) a ze skoro zatažena (BKN) nebo zatažena (OVC) na polojasno (SCT) nebo méně. [21]

2.3 Předpověď TREND

Předpověď TREND obsahuje stručné vyjádření očekávaných významných změn v meteorologických podmínkách na letišti. Je vydávána na 2 hodiny a připojuje se k zprávě METAR nebo SPECI. Předpověď TREND se vydává při očekávané změně ve směru nebo rychlosti přízemního větru, převládající viditelnosti, oblačnosti nebo jevů počasí, přičemž zahrnuty jsou pouze ty prvky, u kterých se očekává významná změna. Rozlišujeme tři typy předpovědí TREND. BECMG (z anglického *becoming*) udává očekávané změny, které budou trvat nepřetržitě po určitou dobu platnosti předpovědi. TEMPO (z anglického *temporary*) se používá k popisu předpovědi dočasných výkyvů počasí, které trvají kratší dobu než 1 hodina. NOSIG (z anglického *no significant change*) se používá, pokud se nepředpokládají žádné významné změny během následujících 2 hodin. Předpokládaný začátek, konec nebo specifický čas je popsán doplňujícími zkratkami (FM, TL, AT) s daným časem. [24]

2.4 Předpověď TAF

TAF (z anglického *Terminal Aerodrome Forecast*) je pravidelná meteorologická předpověď počasí pro konkrétní letiště. Předpověď TAF je vydávána s platností 9, 24 nebo 30 hodin. V případě, že je platnost 9 hodin, vydává se každé 3 hodiny, pokud je platnost 24 nebo 30 hodin, vydává se každých 6 hodin. V České republice se standardně vydává předpověď TAF každých 6 hodin s platností 30 hodin a musí dle předpisu L3 obsahovat následující prvky (v tomto pořadí):

- a. identifikaci typu zprávy;
- b. směrovací značku;



- c. datum a čas vydání předpovědi;
- d. identifikaci chybějící předpovědi (pokud k ní dojde);
- e. datum a období platnosti předpovědi;
- f. identifikaci zrušené předpovědi (pokud k ní dojde);
- g. přízemní vítr;
- h. dohlednost;
- i. počasí;
- j. oblačnost;
- k. očekávané význačné změny jednoho nebo více z těchto meteorologických prvků v období platnosti;
- l. případné doplňující informace. [21]

Podobně jako zprávy METAR a SPECI patří i předpověď TAF mezi kódované zprávy a používá stejná pravidla a kódování. V následující podkapitole jsou proto zmíněny pouze specifika jednotlivých kódových skupin předpovědi TAF. Pro úplné dekódování předpovědi poslouží vysvětlení kódů v kapitole o zprávě METAR. Předpověď TAF může vypadat třeba následovně:

TAF LKPR 151700Z 1518/1700 VRB02KT 0300 FG VV001

TEMPO 1518/1608 0600 FG VV002

BECMG 1608/1611 24005KT 1200 BR OVC002

TEMPO 1611/1700 2000 RA BR BKN003 OVC005

PROB30 TEMPO 1618/1700 VRB02KT 0500 FG OVC001=. [22]

2.4.1 Specifika kódování

Do předpovědi se udává předpokládaný převládající směr větru. Pokud je předpokládá rychlost větru nižší než 3 kt, používá se označení pro proměnlivý vítr (VRB). V případě rychlosti větru pod 1 kt se uvádí bezvětří. Jsou uvedeny také předpokládané nárazy větru přesahující odchylku od průměrné rychlosti vyšší než 10 kt. Dohlednost je udávána dle stejných pravidel jako u zprávy METAR. Pokud se očekává různá dohlednost v různých směrech, uvede se nejnižší předpokládaná dohlednost. I oblačnost je udávána dle stejných pravidel jako u zprávy METAR, přičemž skupina oblačnosti je omezena na použití oblačnosti provozního významu. Rovněž se v předpovědi TAF používá pojem CAVOK, pokud jsou pro to splněny všechny podmínky. Údaje o teplotě a rosném bodě se neuvádí. V předpovědi jsou zmíněné následující



jevy počasí, včetně jejich kombinací (maximálně však 3 jevy): namrzající srážky, namrzající mlha, mírné nebo silné srážky, nízko zvěřený prach, písek nebo sníh, písečná a prachová vichřice, bouřka, húlava, a nálevkovitý oblak. Změny intenzity jevů počasí a změny větru jsou uváděny podle stejných pravidel jako u zprávy SPECI. [2,21]

2.4.2 Používané operátory

Pro časové vymezení začátku, konce a změny intenzity meteorologických podmínek v průběhu období platnosti předpovědi se používají stejné operátory jako u předpovědi TREND, tedy operátor BECMG pro vyjádření trvalého stavu a operátor TEMPO pro vyjádření dočasného stavu. Stejně tak jsou tyto operátory doplněny znaky FM pro vyjádření začátku, TL pro vyjádření konce a AT pro vyjádření specifického času výskytu. Nad rámec předpovědi TREND se v předpovědi TAF používá ještě operátor PROB (z anglického *probability*), který značí pravděpodobnost, s jakou nastane jev počasí popsáný pouze za operátorem TEMPO. Pravděpodobnost se udává v procentech, přičemž se používají pouze 2 hodnoty, PROB30 a PROB40. PROB30 indikuje pravděpodobnost menší než 30 %, PROB40 pak indikuje pravděpodobnost mezi 30 a 40 %. Vyšší pravděpodobnost než 40 % je považována za natolik významnou, že je místo toho uvedena operátorem BECMG. Celkový počet skupin těchto operátorů, tedy skupin změn jevů a jejich pravděpodobností výskytu, by za normálních okolností neměl přesáhnout počtu 5. [2,21]

2.5 Informace SIGMET

SIGMET (z anglického *Significant Meteorological Phenomena Information*) je vydávaná informace o výskytu význačného počasí (např. bouřky, turbulence, námraza apod.). Obsahem informace SIGMET je stručný a výstižný popis výskytu nebo očekávaného výskytu význačných meteorologických jevů na trati nebo v atmosféře, které představují nebezpečí pro let. Platí pro střední a vysoké hladiny (od FL100). Běžně je vydávána na 4 hodiny (v případě výskytu vulkanického popela nebo tropické cyklóny je platnost prodloužena na 6 hodin) a musí být zrušena, pokud dojde k ukončení výskytu příslušného jevu. Dle druhu jevu, o kterém informuje, rozlišujeme následující 3 typy informace SIGMET: WC SIGMET (tropická cyklóna), WV SIGMET (vulkanický popel) a WS SIGMET (ostatní jevy). Informace SIGMET používá kódové označení. Všechny jevy, na které informace SIGMET upozorňuje, i s jejich kódovým označením, jsou znázorněny v tabulce 2.11. [21]



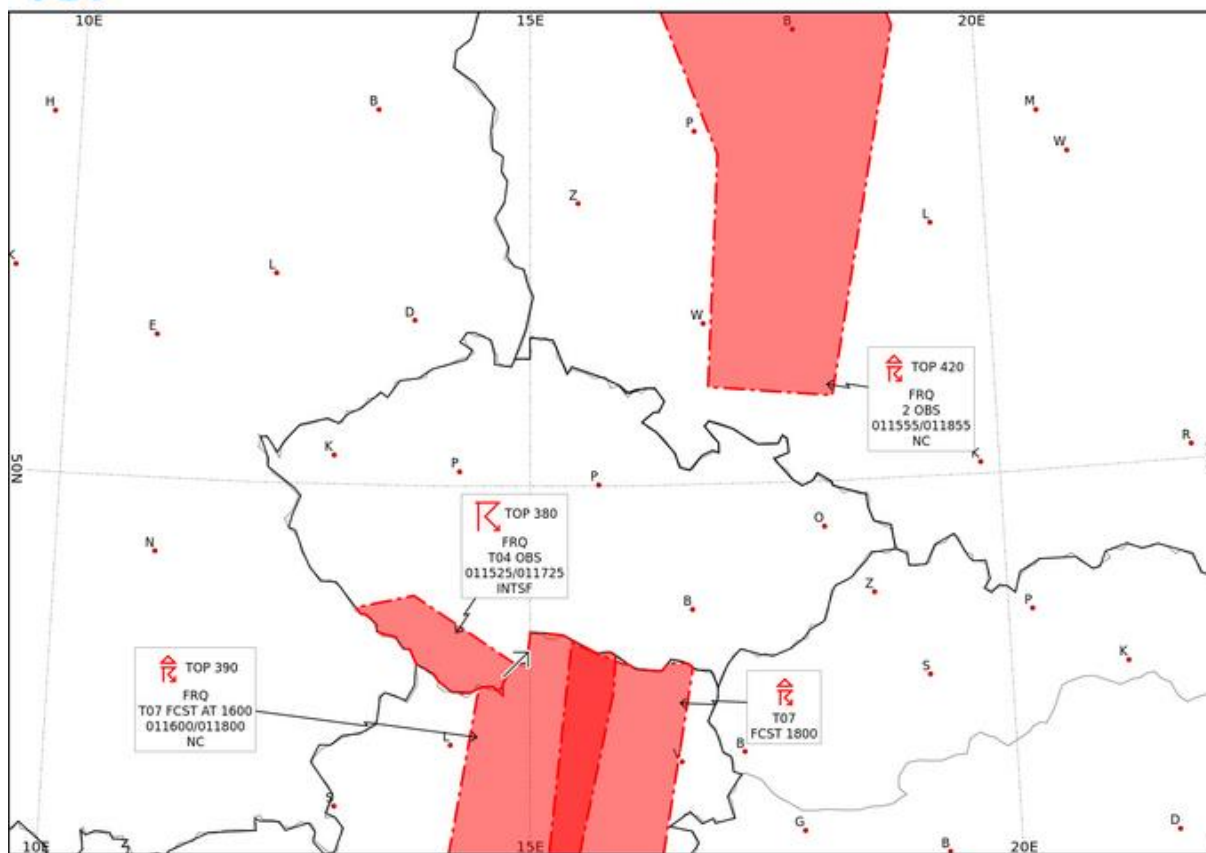
Tabulka 2.11: Seznam jevů a jejich kódových označení vydávaných v informaci SIGMET [21, upraveno]

Kódové označení	Význam
OBSC TS	zastřená bouřka
EMBD TS	bouřka prorůstající vrstevnatou oblačností
FRQ TS	četné bouřky
SQL TS	bouřka na čáře instability
OBSC TSGR	zastřená bouřka s kroupami
EMBD TSGR	bouřka prorůstající vrstevnatou oblačností s kroupami
FRQ TSGR	četné bouřky s kroupami
SQL TSGR	bouřka na čáře instability s kroupami
TC (+ jméno cyklóny)	tropická cyklóna s průměrem (za 10 min) rychlosti přízemního větru 34 kt a vyšší
SEV TURB	silná turbulence
SEV ICE	silná námraza
SEV ICE (FZRA)	silná námraza vzniklá v důsledku namrzajícího deště
SEV MTW	silná horská vlna
HVY DS	silná prachová vichřice
HVY SS	silná písečná vichřice
VA (+ název sopky)	vulkanický popel
RDOACT CLD	radioaktivní oblak

Příklad reálné informace SIGMET i s mapou výskytu pro Českou republiku z 1. července 2022 je zobrazen na obrázku 2.1.



SIGMET zpracováno: 01.07.2022 16:00 UTC



LKAA SIGMET T04 VALID 011525/011725 LKPW-
LKAA PRAHA FIR FRQ TS OBS WI N4828 E01425 - N4909 E01306 - N4915
E01347 - N4845 E01456 - N4828 E01425 TOP FL380 MOV NE INTSF

LOVV SIGMET T07 VALID 011600/011800 LOWW-
LOVV WIEN FIR FRQ TSGR FCST AT 1600Z WI N4833 E01427 - N4901 E01437
- N4858 E01554 - N4836 E01552 - N4700 E01521 - N4703 E01404 - N4833
E01427 TOP FL390 NC FCST AT 1800Z WI N4847 E01642 - N4720 E01619 -
N4719 E01510 - N4856 E01526 - N4847 E01558 - N4847 E01642

EPWW SIGMET 2 VALID 011555/011855 EPWA-
EPWW WARSAW FIR FRQ TSGR OBS WI N5450 E01525 - N5215 E01705 - N5040 E01655 - N5035 E01815 - N5305 E01905 - N5545 E01730 -
N5450 E01525 TOP FL420 MOV NE NC

Obrázek 2.1: Příklad informace SIGMET [25]

2.6 Předpovědi a informace pro lety v nízkých hladinách

Předpovědi a informace pro lety v nízkých hladinách jsou vydávány pro letový provoz do letové hladiny 100 (FL100), případně do letové hladiny 150 (FL 150) v horských oblastech (nebo jinde, kde je to nutné). Předpokladem pro vydání je hustota letového provozu v těchto letových hladinách. Do této kategorie řadíme informaci AIRMET a předpověď GAMET.



2.6.1 Informace AIRMET

AIRMET (z anglického *Airmen's Meteorological Information*) je vydávaná informace o výskytu význačného počasí do letové hladiny 100 (FL100). Obsahem informace AIRMET je stručný a výstižný popis výskytu nebo očekávaného výskytu význačných meteorologických jevů, které mohou představovat nebezpečí pro provoz letadel v nízkých hladinách (do FL100). Informace AIRMET je vydávána s délkou platnosti 4 hodiny. Je kódovaná obdobně jako informace SIGMET. Všechny jevy, na které informace AIRMET upozorňuje, i s jejich kódovým označením, jsou znázorněny v tabulce 2.12. [21]

Tabulka 2.12: Seznam jevů a jejich kódových označení vydávaných v informaci AIRMET [21, upraveno]

Kódové označení	Význam
SFC WND (+ směr a rychlost větru)	převládající průměrný směr a rychlost přízemního větru nad 30 kt
SFC VIS (+ hodnota dohlednosti a jev, který je příčinou)	rozsáhlé oblasti se sníženou dohledností pod 5 000 m, včetně jevu počasí, který je příčinou snížení dohlednosti
ISOL TS	jednotlivé (izolované) bouřky
OCNL TS	příležitostné bouřky
ISOL TSGR	jednotlivé (izolované) bouřky s kroupami
OCNL TSGR	příležitostné bouřky s kroupami
MT OBSC	zakryté hory
BKN CLD (+ výška základny a horní hranice)	rozsáhlé oblasti oblačnosti o množství BKN s výškou základny méně než 1000 ft
OVC CLD (+ výška základny a horní hranice)	rozsáhlé oblasti oblačnosti o množství OVC s výškou základny méně než 1000 ft
ISOL CB	jednotlivé (izolované) oblaky typu cumulonimbus
OCNL CB	příležitostné oblaky typu cumulonimbus



FRQ CB	četné oblaky typu cumulonimbus
ISOL TCU	jednotlivé (izolované) oblaky typu věžovitý cumulus
OCNL TCU	příležitostné oblaky typu věžovitý cumulus
FRQ TCU	četné oblaky typu věžovitý cumulus
MOD ICE	mírná námraza
MOD TURB	mírná turbulence
MOD MTW	mírná horská vlna

Informace AIRMET je vydávána nad rámec pravidelné oblastní předpovědi pro lety v nízkých hladinách nebo také předpovědi pro všeobecné letectví, tzv. předpovědi GAMET.

2.6.2 Předpověď GAMET

Předpověď GAMET (z anglického *General Aviation Meteorological Forecast*) je v ČR vydávána pravidelně 4krát denně s platností na 6 hodin a je formulována otevřenou řečí. Příklad předpovědi GAMET je zobrazen na obrázku 2.2. [21]

```
LKAA GAMET VALID 161000/161600 LKPW-
LKAA PRAHA FIR BLW FL100
SECN I
SFC VIS:FRQ 3000M-5000M,LCA 100M-2000M IN FG,BCFG,BR,RADZ
MT OBSC:INC ABV 1500FT AMSL
SIG CLD:LCA BKN/OVC ST 200-800/1000-1200FT AMSL
ICE:NEAR FRONT MOD ABV 6000FT AMSL

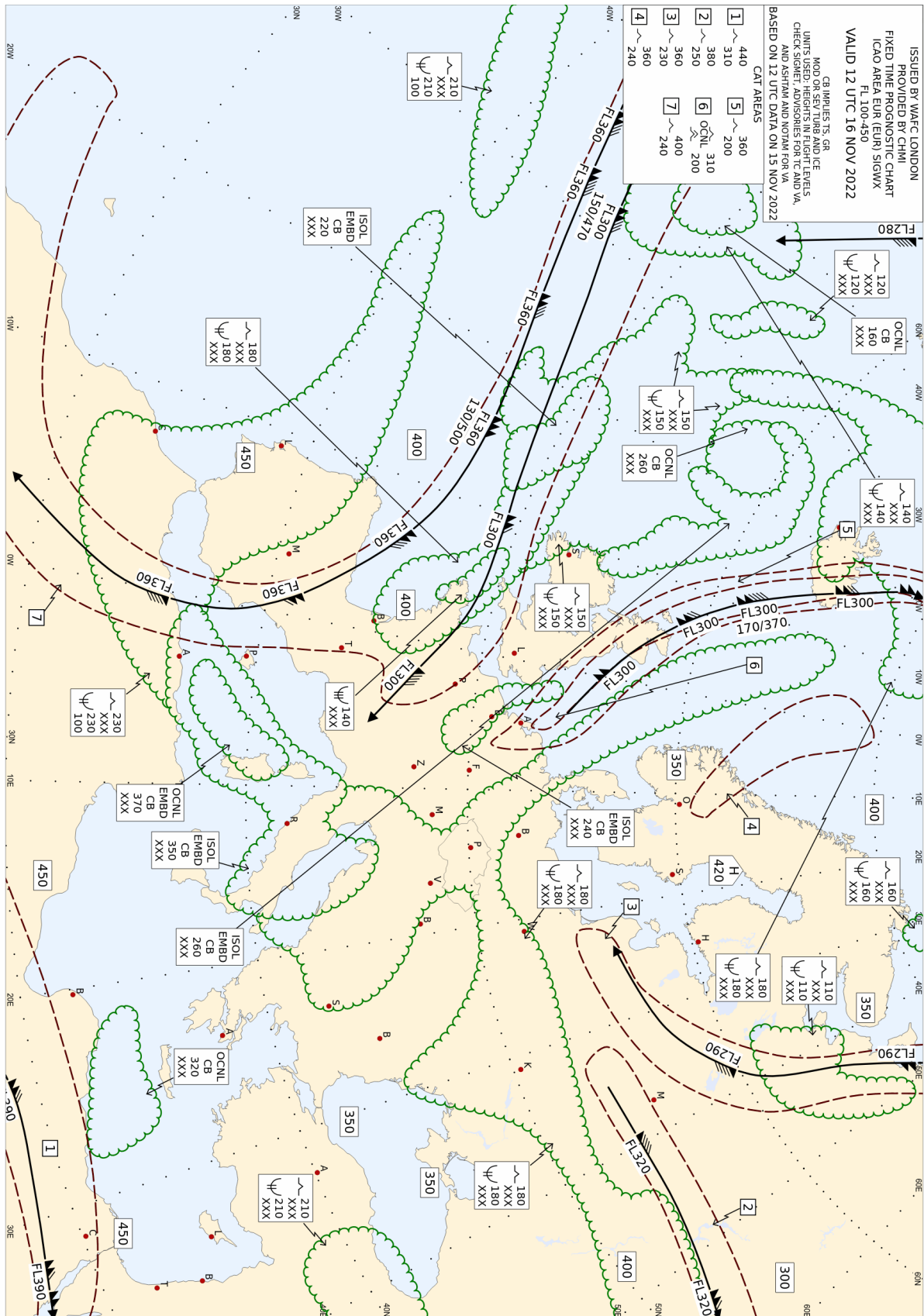
SECN II
PSYS: 12 FM W-NW TROUGH MOV E-SE NC
      12 LINE EDDH-LKKV-LOWS OCCLUSION FRONT MOV NE NC
WIND/T:  W LKAA                E LKAA
2000 FT: 200/05KT PS05   VRB/02KT PS06
5000 FT: 290/12KT PS02   110/08KT PS03
10000 FT: 220/08KT MS05   290/10KT MS05
CLD:BKN/OVC AS,AC 7000-9000/XXXFT AMSL
      BKN/OVC SC,ST BASE SC 3000-4000,ST 2000-3000,TOP SC 6000-8000,
      ST 3000-3500FT AMSL
FZLVL:6000-7500,S MORAVIA 4500-6000FT AMSL
MMN QNH:1000HPA
VA:NIL
=
```

Obrázek 2.2: Příklad předpovědi GAMET [26]



2.7 Mapy význačného počasí

Mapa význačného počasí (anglicky *Significant Weather Chart*) je letecká synoptická (povětrnostní) mapa, které obsahuje grafický popis význačného počasí pro letový provoz. Označují se jako SW mapy. Mapa význačného počasí obsahuje hranice oblasti s význačným počasím, údaje o výšce základny a horní hranice význačných oblaků, o výšce tropopauzy, o vrstvách s výskytem námrazy a turbulence, o oblastech s výskytem tropických, písečných a prachových bouří, o poloze jet-streamu a o poloze vulkanických erupcí. Většinou bývají rozděleny podle letových hladin na mapu SWL (do FL100), SWM (FL100 – FL270) a SWH (od FL270). Příklad mapy význačného počasí je zobrazen na obrázku 2.3. [1]



Obrázek 2.3: Příklad mapy význačného počasí [27]



3. Změna klimatu a letectví

V této kapitole si povíme o změně klimatu se zaměřením na letectví. Nejprve zmíníme klima a klimatický systém. Poté si představíme proces změny klimatu a jeho příčiny, do kterých v rámci letecké dopravy spadají emise z leteckých motorů a kondenzační stopy. V závěru kapitoly se zaměříme na důsledky změny klimatu, které představují zvyšování teploty a hladin oceánů, výskyt konvekčních bouří a srážek, změny v proudění větru a také změny v biodiverzitě a desertifikaci.

3.1 Klima a klimatický systém

Klima (neboli podnebí) označuje dlouhodobý charakteristický režim počasí. Počasím se rozumí okamžitý stav atmosféry nebo také průběh meteorologických jevů v krátkém časovém intervalu a na konkrétním místě. Počasí je vyjádřeno základními meteorologickými prvky, jako je např. teplota vzduchu, oblačnost, vítr, sluneční svit nebo vlhkost vzduchu. Pro počasí jsou charakteristické její výrazné časové i prostorové změny, v dlouhodobějším měřítku (desítky let) však vytváří charakteristický režim počasí v dané oblasti. Tuto skutečnost představuje právě klima. Klima je ovlivněno zejména atmosférickou a oceánskou cirkulací, vlastnostmi zemského povrchu a také činností člověka. Pro pochopení procesů, které utváří klima, musíme zmínit klimatický systém. [1,28]

Klimatický systém zahrnuje 5 základních složek Země: atmosféru, hydrosféru, kryosféru, litosféru a biosféru. Jednotlivé složky mezi sebou vyměňují hmotu i energii, čímž vytváří vzájemné vazby. V každé z těchto složek dále probíhá velké množství fyzikálních, chemických a biologických procesů, které jsou navíc v rámci jednotlivých složek propojeny a navzájem ovlivňovány. Změna v jedné složce vyvolá změnu v jiné složce, která může zpětně působit na původní složku. Pokud je prvotní reakce zesílena, dochází k nárustu nestability klimatického systému, v opačném případě je stabilita posilována. Právě tyto procesy předurčují utváření klimatu. [28,29]

3.2 Proces a příčiny změny klimatu

Podmínky na Zemi se v průběhu času mění a klimatický systém se jim musí přizpůsobovat. Právě tento stav označujeme jako změna klimatu. Klimatický systém se s měnícími podmínkami vyrovnává především formou oteplování planety. Teplota planety zaleží na rovnováze mezi energií přicházející od Slunce a energií vyzářovanou Zemí. Energie od slunce



prochází atmosférou a otepluje povrch Země. Část energie vyzařovaná Zemí je pohlcena atmosférou a opětovně vyzařována jak do kosmického prostoru, tak rovněž zpět k povrchu Země. Jedná se o přirozenou vlastnost atmosféry, kterou nazýváme **skleníkový efekt**. Podílí se na něm zejména vodní pára, oblačnost, oxid uhličitý a metan. Tyto prvky označujeme jako skleníkové plyny přirozeného původu. Známe však také skleníkové plyny antropogenního původu, tedy takové prvky, které vznikají činností člověka. Takto vytvořené skleníkové plyny vedou k nadměrnému skleníkovému efektu, který narušuje přirozenou energetickou rovnováhu a negativně ovlivňuje klimatický systém, zejména v podobě dalšího nežádaného oteplování planety, které je označováno jako **globální oteplování**. [28,29]

Podobně jako u skleníkových plynů rozlišujeme změnu klimatu na přirozenou a způsobenou člověkem. Mezi přirozené změny řadíme zejména změny parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce, změny v toku sluneční energie, změny v rozložení pevnin a oceánů a jejich fyzikálních a chemických vlastnostech, dále také horotvorné procesy, sopečnou činnost, oceánickou cirkulaci a stav biosféry, případně i změnu ve složení atmosféry. Tyto stavy probíhaly vždy, dávno před tím, než se na planetě Zemi objevil první člověk. Postupem času se zvyšoval lidský zásah do přirozené změny klimatu a v současné době je už natolik významný a globální, že musíme rozlišovat také změnu klimatu vyvolanou právě působením člověka. Tyto člověkem vyvolané změny dále rozlišujeme na změny ve složení atmosféry (zejména posilování skleníkového efektu) a na změny ve využívání krajiny (např. odlesňování nebo změna vodních toků). [28]

Změna klimatu způsobená lidskou činností má hlavní příčinu ve vyšší koncentraci skleníkových plynů v atmosféře. K tomu dochází v první řadě změnou ve využívání krajiny, např. v podobě odlesňování. Stromy vždy měly velkou zásluhu na udržování přijatelných hodnot koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, jejich kácením je však tento proces narušen a dochází k zvyšování hladiny oxidu uhličitého, který je významným skleníkovým plynem, nad přirozenou úroveň. Dalším původcem je samotné uvolňování oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů různými činnostmi člověka. Mezi takovéto činnosti patří třeba spalování fosilních paliv, průmyslová výroba, zemědělská výroba, spalování odpadu a ve velké míře také doprava a z toho pramenící vypouštění emisí (škodlivých látek). Letectví jako součást dopravy samozřejmě také přispívá ke klimatické změně, a to zejména v podobě emisí z leteckých motorů a kondenzačních stop. [30]



3.2.1 Emise z leteckých motorů

Emise s leteckých motorů se výrazně neliší od emisí z ostatních druhů motorů, taktéž spalujících fosilní palivo z ropy, používaných například v silniční dopravě. Hlavní složkou je tedy oxid uhličitý. V proudových motorech zejména vlivem nedokonalého spalování vzniká velké množství dalších látek, především částice aerosolů, nespálené uhlovodíky a saze, které pak reagují s látkami v okolní atmosféře. Přestože je množství těchto vyprodukovaných látek menší v porovnání s jinými pozemními zdroji, je vzhledem k výšce, v které letecké motory operují, jejich vliv významnější. To je způsobeno zejména skutečností, že ve vyšších výškách atmosféry tyto látky přetrvávají déle a mají tak na ni větší vliv. Jinými slovy má sice letecká doprava nižší absolutní množství spotřeby paliva než ostatní dopravní odvětví, v přepočtu na jednoho cestujícího je však palivová, a tedy i environmentální zátěž letecké dopravy vyšší. [31]

3.2.2 Kondenzační stopy

Spalovací proces leteckých motorů produkuje také velké množství vodní páry. Kombinace vodní páry a ostatních vyfukovaných plynů představuje horký a vlhký vzduch, který se smísí se sušším a studenějším okolním vzduchem. Při takovémto smísení dojde k překročení mezního nasycení atmosféry a vzniká kondenzační stopa. Kondenzační stopa vede jednak k tvorbě cirrovité oblačnosti a povětšinou také k oteplování atmosféry. To je významné zejména v oblastech s hustým leteckým provozem (především v Evropě a Severní Americe), kde kondenzační stopy mohou mít velký vliv na klima v těchto oblastech. [31]

3.3 Důsledky změny klimatu

Je prokázáno, že změna klimatu má mnoho negativních důsledků na planetu Zemi. Primárním původcem všech problémů vycházejících ze změny klimatu je oteplování planety, tedy globální oteplování. To vede v první řadě k tání sněhu, horských i polárních ledovců, úbytku permafrostu (tzv. trvale zmrzlá půda) a celkově všech zmrzlých ploch, resp. vodních ploch v pevném skupenství. I tyto plochy jsou součástí koloběhu vody a jsou důležité pro tvorbu oblačnosti a srážek, přenosu vlhkosti, odražení světelného záření a udržování teplotní rovnováhy. Jejich úbytkem dochází k narušení všech těchto procesů a tohoto systému jako celku. Tání zmrzlých vodních ploch vede také k zvyšování hladin oceánů. To představuje hrozbu zaplavení pobřežních oblastí a ostrovů. Dále vede také k erozi pobřeží, zničení orné půdy v blízkosti pobřeží a pronikání slané mořské vody do sladkých povrchových vod, a tedy její kontaminace vedoucí k snižování zásob sladké vody. Dalším důsledkem je zvyšování



počtu a frekvence extrémních jevů počasí, jako jsou požáry, povodně, sucha, vlny veder, konvektivní bouře, tropické cyklóny a tornáda. Změna klimatu a její výše zmíněné projevy dopadají také na leteckou dopravu, a proto se na následujících řádcích zaměříme právě na specifika těchto důsledků v letectví. [30]

3.3.1 Zvyšující se teplota a hladina oceánů

Zvyšující se teplota negativně ovlivňuje výkonnost letadla, zejména pak snižuje tah motoru a tím prodlužuje potřebnou délku vzletové a přistávací dráhy. Vyšší teplota způsobuje problém také pro infrastrukturu letiště v podobě poškození asfaltového povrchu drah a odbavovacích ploch. Zvyšování hladiny oceánů pak představuje problém zejména pro letiště a letecký provoz v blízkosti pobřeží, kdy může dojít k trvalému zaplavení letištní a jiné související infrastruktury a také k snížení celkové kapacity letového provozu v dané oblasti. [32]

3.3.2 Výskyt konvektivních bouří a srážek

Změny ve frekvenci, výskytu a intenzitě konvektivních bouří jsou zatím nejisté, předpokládá se však zvýšení intenzity těch nejsilnějších. Potřeba vyhnout se takovému bouřím vede k ještě výraznějšímu prodloužení letu, a tedy i vyšší spotřebě paliva a uhlíkové stopě letadla. Rozsáhlejší bouře mohou také ovlivnit více letišť současně a snížit tak možnost jejich využití jako záložního letiště například při potřebě letadla divertovat. V podobném duchu se předpokládá vyšší četnost intenzivnějších srážek. To představuje problém zejména pro letiště v podobě zvýšené hrozby zaplavení vzletových, přistávacích a pojezdových drah nebo nutnosti zvýšení rozestupů mezi letadly, což mimo jiné vede ke snížení kapacity letiště. [32]

3.3.3 Změny v proudění větru

Změny v proudění větru se týkají zejména jet-streamu, u něž se předpokládá jeho zesílení a mírné vychýlení směrem k pólům. To vede k zvýšení četnosti a intenzity turbulence v bezoblačném prostředí (CAT). Předpokládá se také odchylka ve směru převládajících větrů, což vede k častějšímu výskytu bočního větru a k postupnému snižování vhodnosti stávajícího dráhového systému, především v podobě orientace drah, na daném letišti. [32]

3.3.4 Změny v biodiverzitě a desertifikaci

Změna klimatu způsobuje změny v migraci některých ptáků, což představuje hrozbu v podobě zvýšení četnosti srážky letadla s ptáky (tzv. bird strike) v určité oblasti. Desertifikace zase zejména ve velmi suchých oblastech způsobuje erozi půdy v prostoru letiště a vede k nárůstu



četnosti výskytu písečných bouří, které mohou narušit letecký provoz a poškodit letadlo, zvláště pak jeho motory. [32]



4. Vývoj klimatu v České republice

V této kapitole se zaměříme na vývoj klimatu na území České republiky. Nejprve si povíme něco o klimatu specifickém pro oblast České republiky a poté se podíváme na samotný vývoj základních meteorologických prvků. Budeme se bavit o vývoji teploty vzduchu, úhrnu srážek, vlhkosti vzduchu, rychlosti větru a tlaku vzduchu. K získání potřebných informací pro tuto kapitolu jsou použity data naměřené na meteorologické stanici Praha – Ruzyně.

4.1 Klima České republiky

Klima Česká republiky (ČR) je součástí klimatu střední Evropy. Spadá tedy do mírného podnebného pásu, který je charakteristický střídáním všech ročních období a jejich vzájemnou vyvážeností. Běžně nedochází k dlouhým obdobím silného mrazu ani velkých veder. Není výjimkou velká proměnlivost počasí, především v zimě, kdy se střídá chladnější počasí se sněhovými srážkami a teplejší počasí s deštěm. Klima mírného podnebného pásu je ovlivněno zejména 2 hlavními vlivy: západním oceánským a východním kontinentálním. Pokud v daném období převládá východní kontinentální vliv, je zima mrazivější a s menším počtem srážek (převážně sněhových), léto je pak suché a horké. Naopak, pokud převládá západní oceánský vliv, bývá zima teplejší a s větším počtem srážek (převážně dešťových) a léto pak chladnější a vlhčí. [2]

Na území ČR je mírně převládající západní oceánský vliv. Teplota vzduchu je zpravidla nejnižší v lednu, nejvyšší pak v červenci. Denní minima bývají v noci těsně před východem Slunce, maxima pak odpoledne mezi 14. a 17. hodinou. Srážky se vyskytují celoročně, nejvíce však v létě, především v červenci, nejméně pak na přelomu podzimu a zimy. Převládá západní nebo jihozápadní vítr, nejsilnější je na podzim nebo v zimě (zřídka i na jaře), nejslabší pak v létě. Z hlediska dne fouká vítr nejvíce zpravidla přes den, v noci fouká většinou slabě nebo vůbec. Hodnota vlhkosti souvisí s teplotou. Nejvyšší relativní vlhkost bývá při minimální teplotě, tedy v zimě a v noci, nejnižší pak při maximální teplotě, tedy v létě a přes den. [33]

Povrch ČR je značně členitý. Většina pohoří kopíruje hranice státu, ale nalezneme i členité oblasti ve vnitrozemí, příkladem může být třeba rozsáhlá Českomoravská vrchovina. Pohoří ovlivňují především srážky, kde na návrší hor dochází k jejich zesílení, a naopak na závětrných stranách se tvoří tzv. srážkový stín. Mají však vliv i na průběh dalších meteorologických prvků a jejich hodnoty se liší zejména podle nadmořské výšky. Pohraniční oblasti jsou zpravidla nejvýše položené, nejnižší položené jsou oblasti v povodí velkých řek, především Labe (oblast

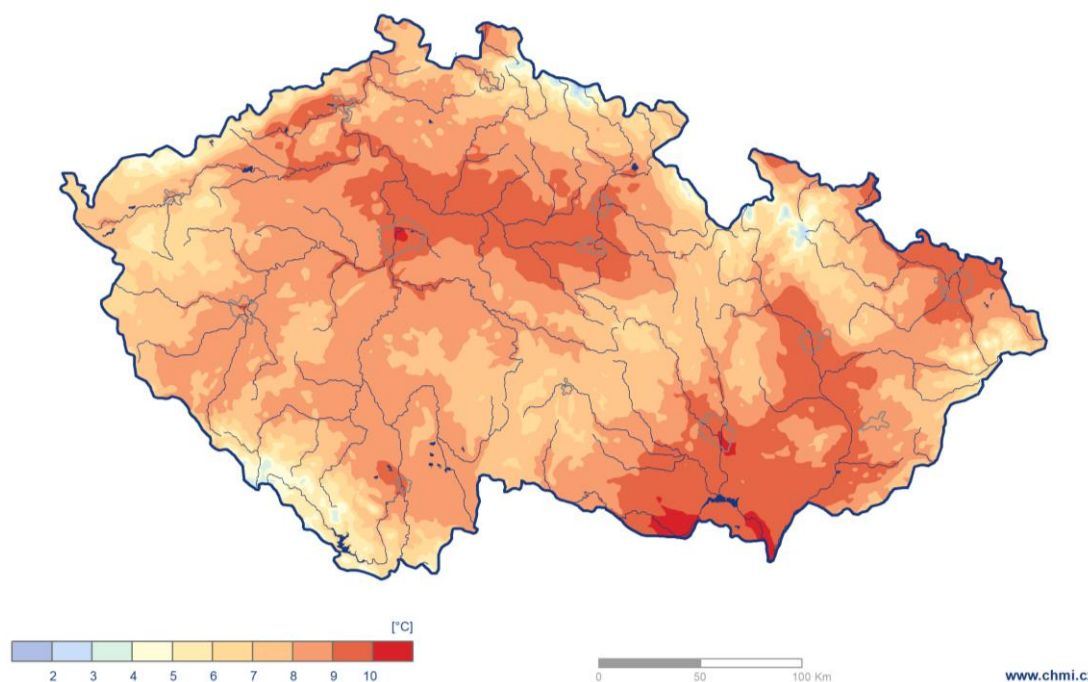
Polabí). S členitým terénem se pojí také údolní oblasti, kde se hromadí studený vzduch a vznikají tzv. mrazové kotliny. Velká města naopak zadržují teplý vzduch a vytváří tzv. tepelné ostrovy. [33]

4.2 Vývoj základních meteorologických prvků

V této podkapitole se zaměříme na vývoj teploty, srážek, rychlosti větru, tlaku a vlhkosti vzduchu za období 1961 až 2021. Podkladem jsou data naměřené na meteorologické stanici Praha – Ruzyně, která jsou dostupná na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Jedná se o meteorologickou stanici s profesionální obsluhou a automatizovaným systémem. Meteorologická stanice Praha – Ruzyně se nachází přímo v areálu Letiště Václava Havla Praha a její nadmořská výška je 364 m n. m. Letiště Václava Havla Praha (LKPR) a tedy i vybraná meteorologická stanice se nachází na severozápadním okraji Prahy asi 15 km od centra města. Důvodem výběru této stanice je právě její umístění na Letišti Václava Havla, protože v dalších částech práce budou využity meteorologické zprávy rovněž z tohoto letiště. Nesmíme také opomenout ovlivnění naměřených dat dané umístěním meteorologické stanice, které se projevuje například vyšší teplotou než ve zbytku ČR. To je zobrazeno na obrázku 4.1, který znázorňuje územní rozložení průměrné roční teploty v roce 2021.

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2021

Český
hydrometeorologický
ústav

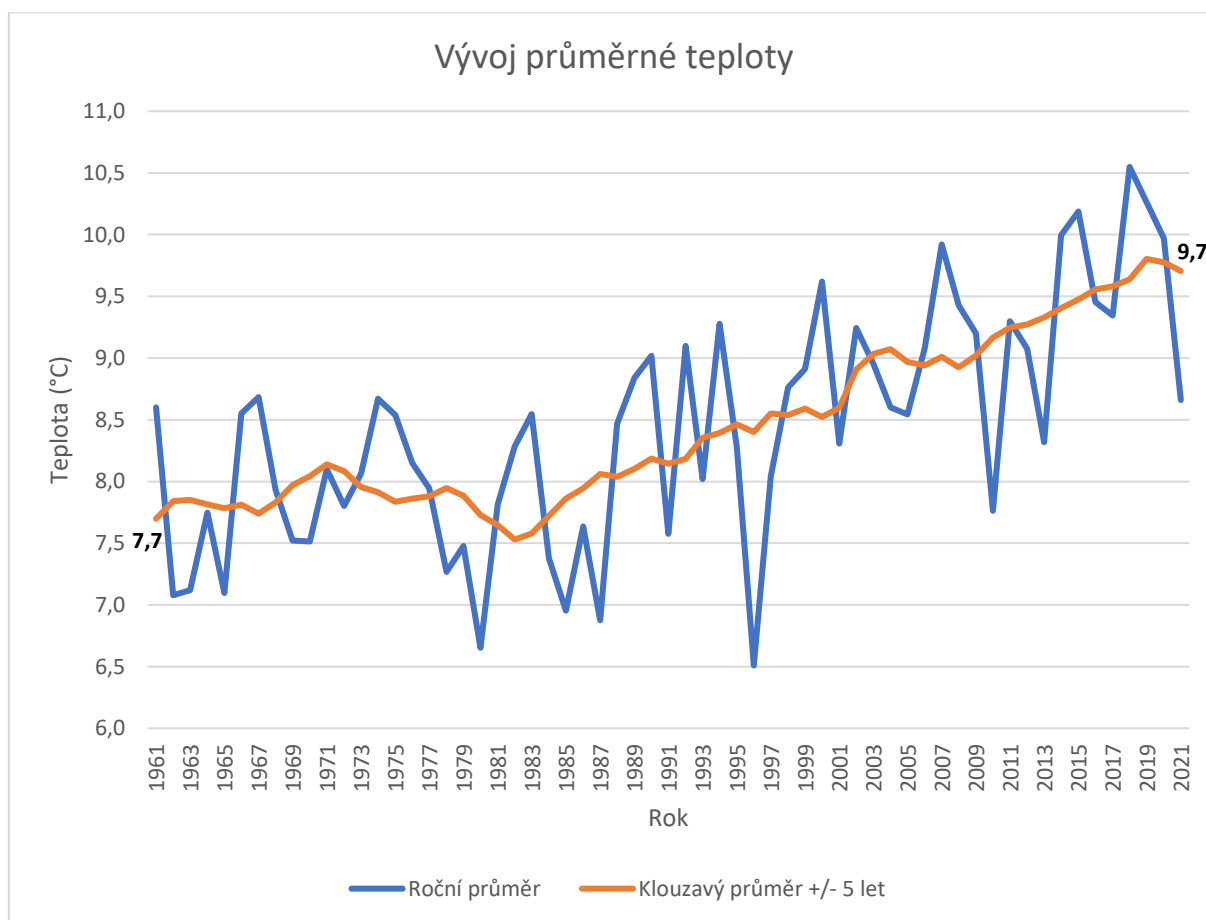


Obrázek 4.1: Průměrná roční teplota vzduchu v ČR v roce 2021 [34]

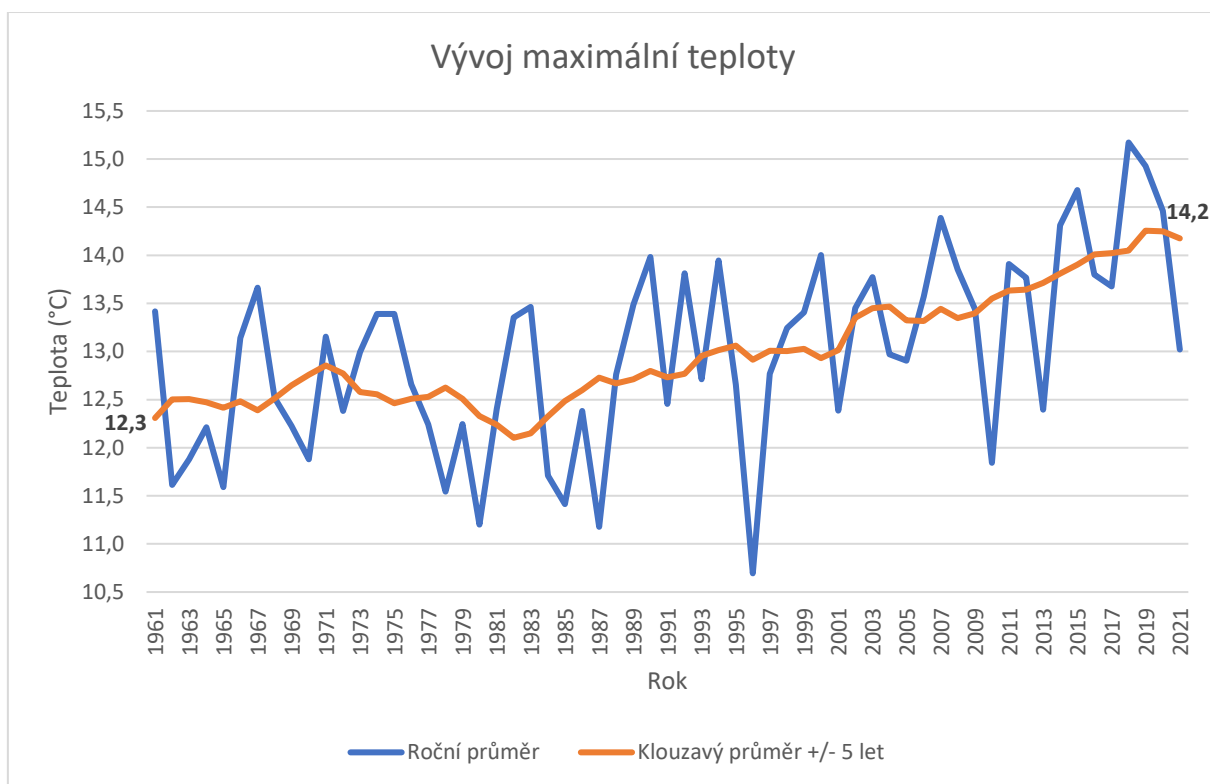


4.2.1 Vývoj teploty

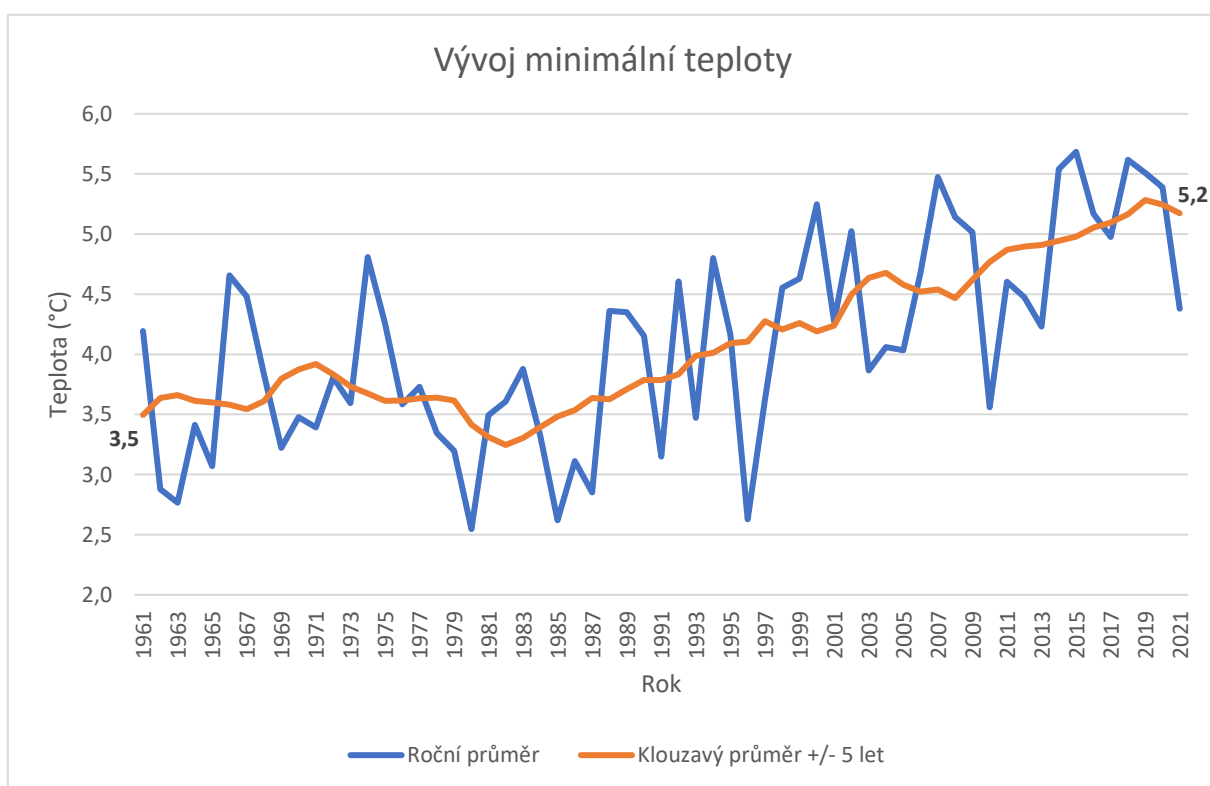
Vývoj průměrné teploty je zobrazen na obrázku 4.2, vývoj maximální a minimální teploty na obrázku 4.3, respektive 4.4. Ze všech grafů je patrné, že průměrná teplota za posledních 60 let relativně stabilně stoupá, zejména pak posledních 30 až 40 let, kde je nárůst nejmarkantnější. Průměrná roční teplota před 60 lety se pohybovala kolem 7,7 °C, přičemž v současné době je to už 9,7 °C, tedy za 60leté období stoupla o celé 2 °C, což činí nárůst vyšší než 0,3 °C na 10 let. Nejnižší roční průměrná teplota byla zaznamenána v roce 1996 a její hodnota činila 6,5 °C. Nejvyšší roční průměrná teplota dosáhla 10,5 °C a byla naměřena v roce 2018. Vývoj průměrné maximální a minimální denní teploty víceméně kopíruje vývoj průměrné roční teploty. Před 60 lety dosahovala průměrná maximální denní teplota 12,3 °C, minimální pak 3,5 °C a v současné době je to 14,2 °C, resp. 5,2 °C, tedy nárůst o 1,9 °C, resp. 1,7 °C. Postupně tedy dochází k zvyšování počtu dní s vysokými teplotami, a naopak ke snižování počtu dní s nízkými teplotami. Nejvýraznější změny v průměrné teplotě se vyskytují v červenci a v srpnu, nejmenší změny naopak pozorujeme v podzimních měsících.



Obrázek 4.2: Vývoj průměrné teploty pro LKPR



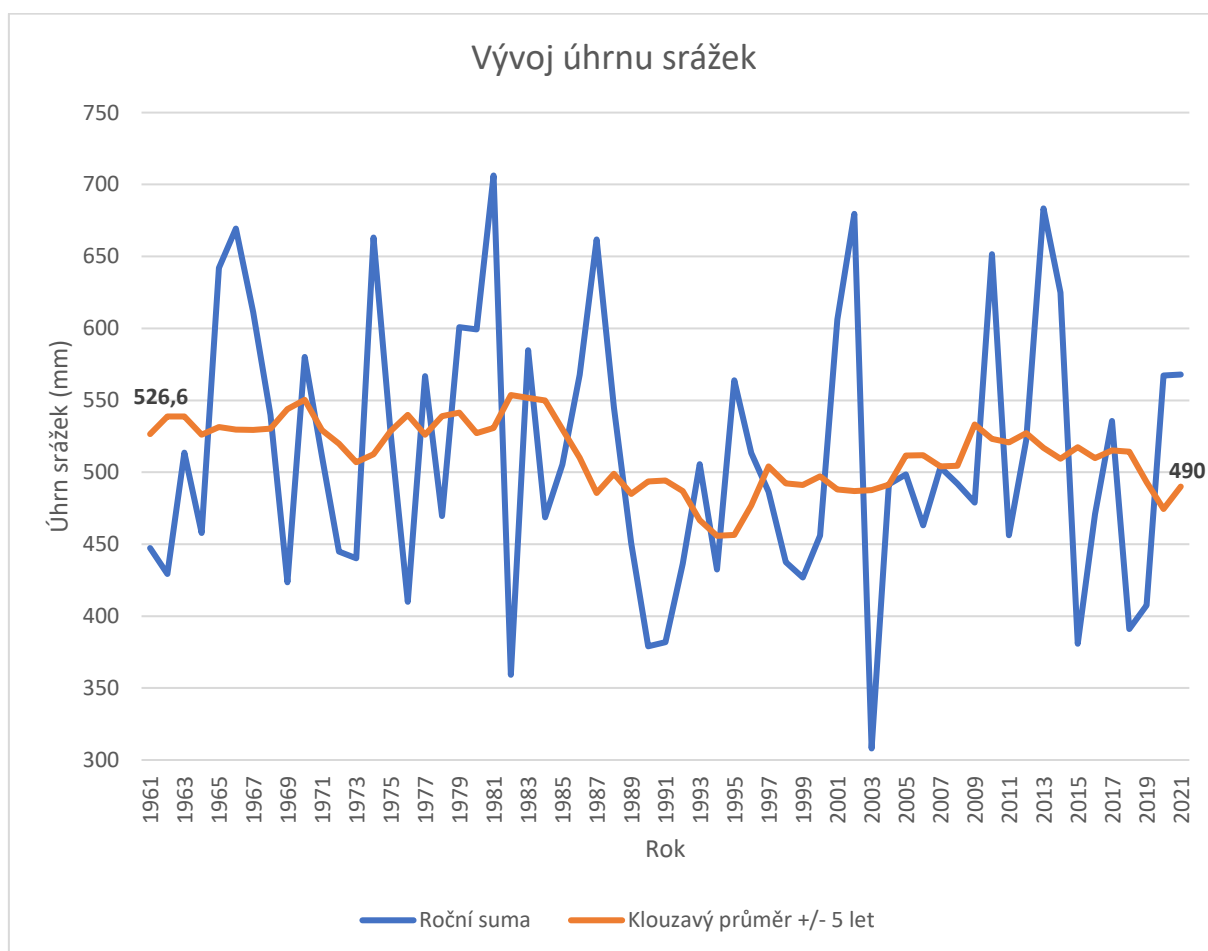
Obrázek 4.3: Vývoj maximální teploty pro LKPR



Obrázek 4.4: Vývoj minimální teploty pro LKPR

4.2.2 Vývoj srážek

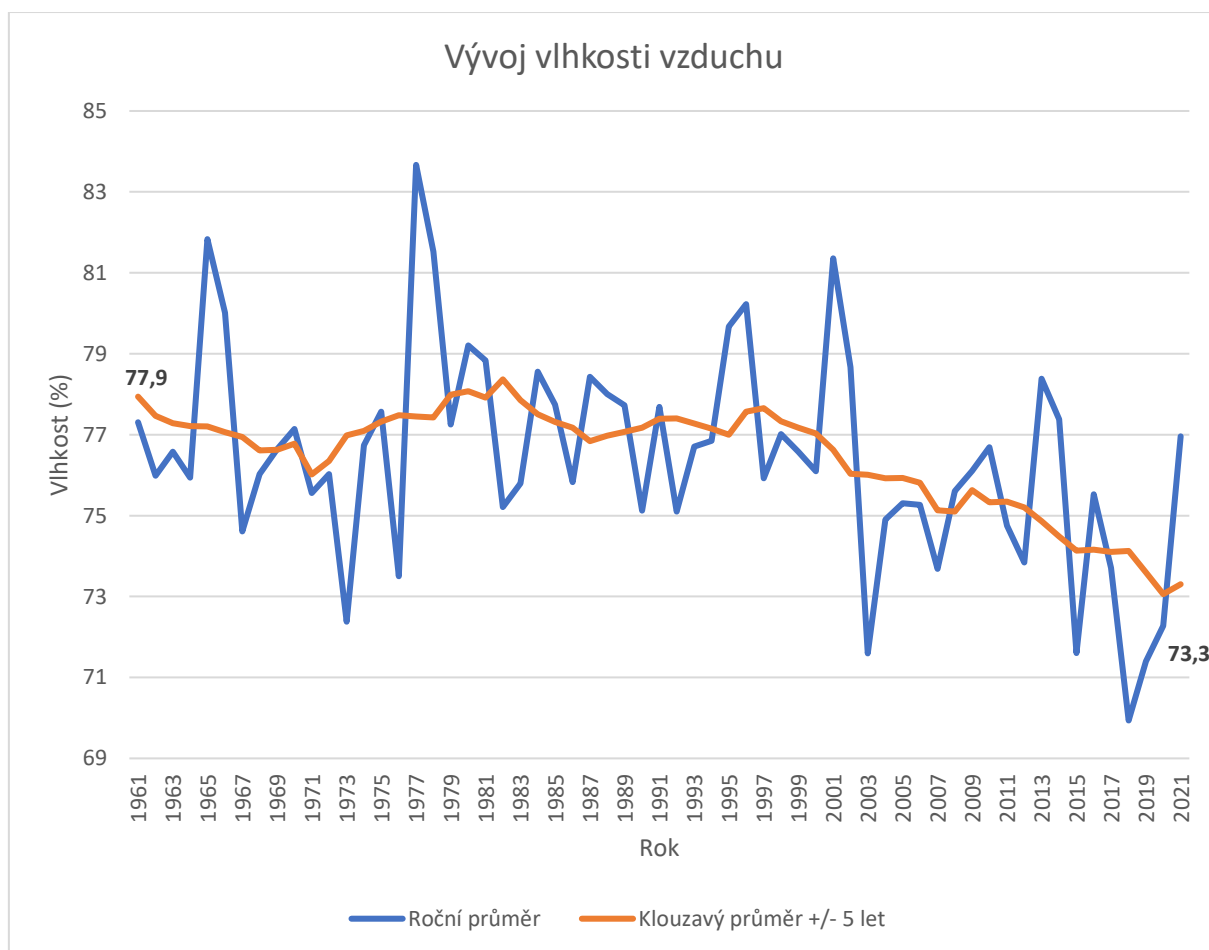
Vývoj úhrnu srážek je zobrazen na obrázku 4.5. Hodnoty v grafu představují celkový úhrn srážek za daný rok. Jak lze z grafu pozorovat, úhrn srážek je velmi proměnlivý a je vcelku běžné, že jeden rok je na srážky velmi bohatý a ten následující je naopak srážkově chudý. V dlouhodobém průměru je však roční úhrn srážek vcelku stabilní a tolik se nemění. Graf sice ukazuje mírný pokles úhrnu srážek za posledních 60 let, kdy průměr srážek před 60 lety dosahoval 526,6 mm a v současné době je 490 mm, můžeme ale očekávat, že v následujících letech bude srážek více a výsledná hodnota se bude opět posouvat blíže k celkovému průměru. Srážkové dny se vyskytují soustavně po celý rok, nejčastější a nejvíce intenzivní jsou však v létě, méně časté a mírnější jsou pak převážně v zimě. Za uplynulých 60 let byl na srážky nejbohatší rok 1981 se 706,3 mm srážek, srážkově nejchudší pak byl rok 2003 s 308 mm srážek. Zde si můžeme všimnout zmiňované proměnlivosti srážek, protože předcházející rok 2002 byl na srážky naopak velmi bohatý a došlo při něm k největším povodním v dějinách ČR.



Obrázek 4.5: Vývoj úhrnu srážek pro LKPR

4.2.3 Vývoj vlhkosti vzduchu

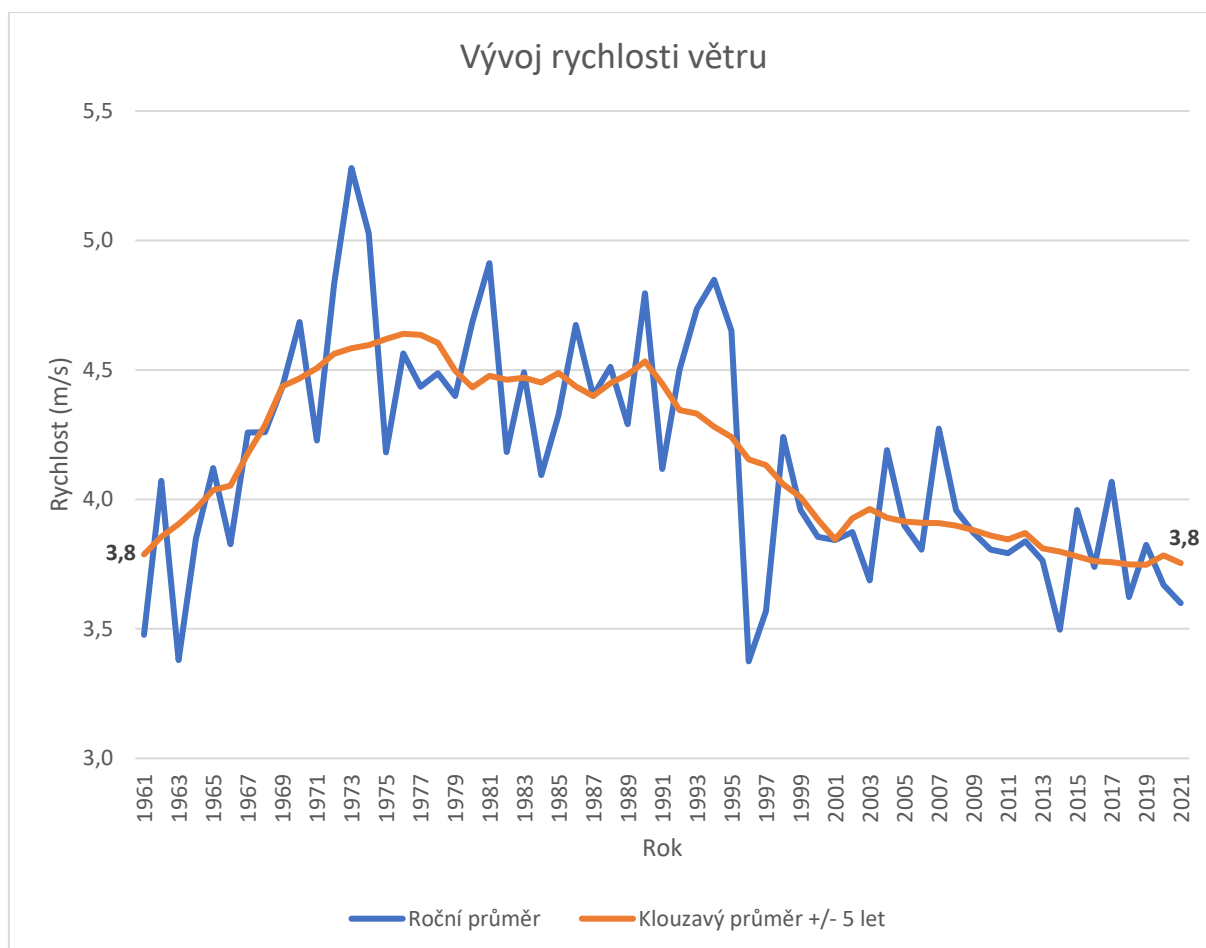
Vývoj vlhkosti vzduchu je zobrazen na obrázku 4.6. Graf udává průměrnou roční vlhkost vzduchu. Můžeme si všimnout mírné klesavé tendence. To je zapříčiněno vazbou vlhkosti na teplotu vzduchu. Vlhkost vzduchu zpravidla roste s klesající teplotou a klesá se stoupající teplotou. A jelikož průměrná teplota za posledních 60 let vcelku výrazně stoupla (o 2 °C), a tedy dny jsou v průměru teplejší než dříve, vlhkost vzduchu naopak klesá. Je zřejmé, že vlhkost vzduchu je nejvyšší v zimě, kdy přesahuje i 90 %, a nejnižší naopak v létě, kdy se obvykle pohybuje kolem 50 - 60 %. Před 60 lety byla průměrná vlhkost 77,9 %, v současné době je to 73,3 %. Nejvyšší průměrná roční vlhkost vzduchu, která dosáhla 83,7 %, byla zaznamenána v roce 1977, nejnižší se pak vyskytla v roce 2018 s hodnotou 69,9 % a poprvé tak klesla pod 70 %. Můžeme si všimnout, že k tomu došlo ve stejném roce, v kterém byla zaznamenána právě nejvyšší průměrná roční teplota.



Obrázek 4.6: Vývoj vlhkosti vzduchu pro LKPR

4.2.4 Vývoj rychlosti větru

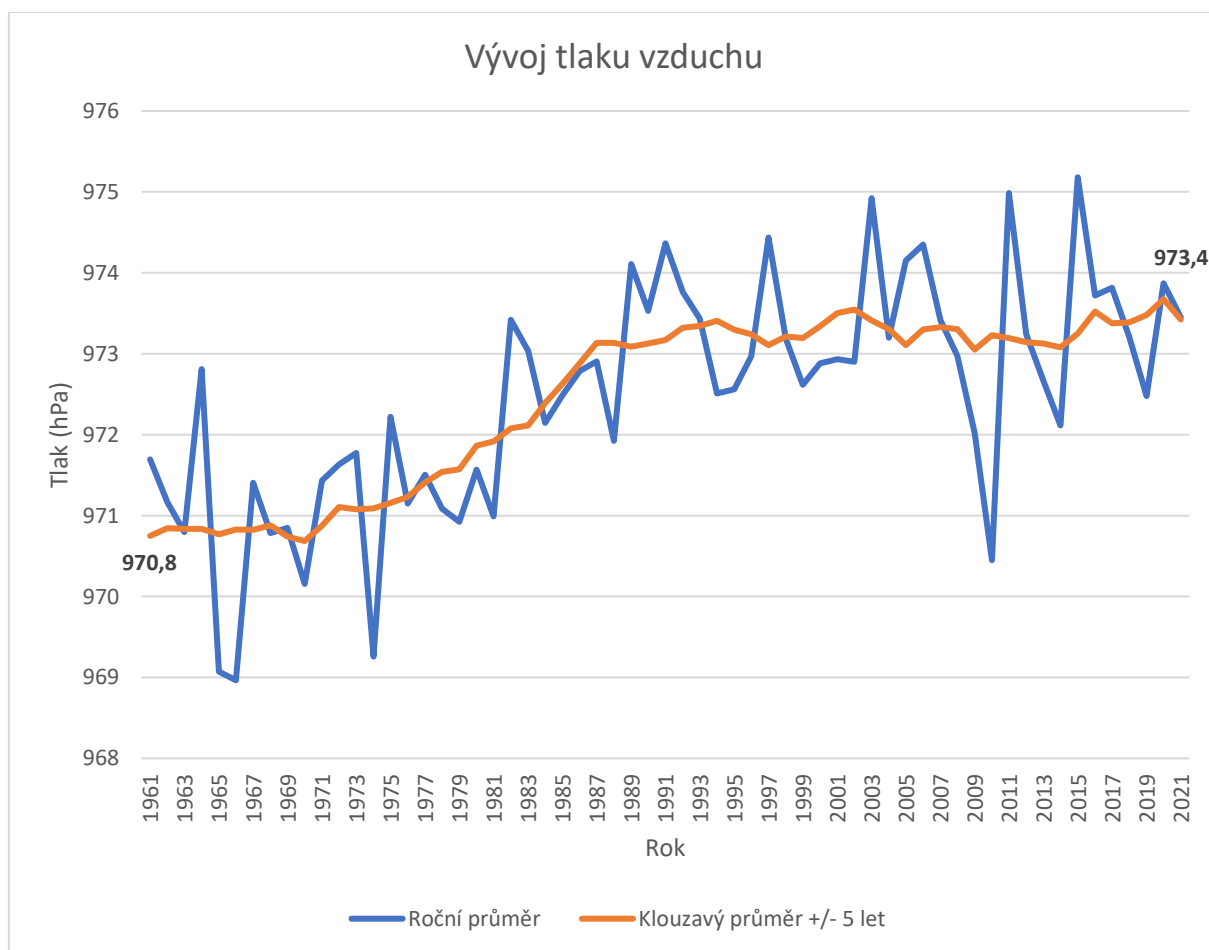
Vývoj rychlosti větru je zobrazen na obrázku 4.7. Graf představuje roční průměr rychlosti větru. Z grafu nejsou patrné nějaké výrazné změny v rychlosti větru v dlouhodobém měřítku. Rychlost větru je spíše stabilní a mění se jen mírně v horizontu desítek let. Můžeme si všimnout, že průměrná rychlost větru v posledních 20 letech je obecně nižší, než byla v předchozích 20 letech, ale je podobná rychlosti větru před 60 lety. Ve skutečnosti je průměr rychlosti v současné době totožný s průměrem před 60 lety s hodnotou 3,8 m/s, to ale můžeme považovat spíše jako náhodu. Žádná výrazná změna v rychlosti větru však ani není očekávána, měnit by se měl spíše směr větru. V roce 1973 byl vítr nejsilnější s průměrnou rychlostí 5,3 m/s, naopak v roce 1996 byl nejslabší s průměrnou rychlostí 3,4 m/s. Během roku bývá průměrně nejsilnější v období podzimu a zimy, průměrně nejslabší naopak v létě, častěji se ale vyskytuje intenzivní nárazový vítr, který doprovází konvekční činnost.



Obrázek 4.7: Vývoj rychlosti větru pro LKPR

4.2.5 Vývoj tlaku vzduchu

Vývoj tlaku vzduchu je zobrazen na obrázku 4.8. Graf představuje roční průměr tlaku vzduchu. Uvažuje se tlak naměřený na místě meteorologické stanice a dále nepřepočítávaný (např. na střední hladinu moře), v letecké meteorologii můžeme tedy takovýto tlak označit jako QFE. Na tlak vzduchu má vliv zejména nadmořská výška, přičemž s rostoucí výškou jeho hodnota klesá. V menší míře má vliv také třeba zeměpisná šířka. Na grafu vidíme, že tlak vzduchu, podobně jako teplota, průběžně stoupá. Můžeme si však všimnout, že k tomuto nárůstu došlo hlavně v první půlce zkoumaného období (tedy před 60 až 30 lety), zejména pak v letech 1972 až 1987, v druhé půlce zkoumaného období (posledních 30 let) naopak už s menšími výkyvy zůstal relativně stabilní. Před 60 lety byla průměrná hodnota tlaku vzduchu 970,8 hPa, v současné době je to 973,4 hPa. Za uplynulých 60 let byl tlak vzduchu nejnižší v roce 1966 o velikosti 969 hPa, nejvyšší pak v roce 2015 o velikosti 975,2 hPa.



Obrázek 4.8: Vývoj tlaku vzduchu pro LKPR



5. Statistika výskytu nepříznivých meteorologických podmínek

Tato kapitola představuje statistiku výskytu zejména těch meteorologických jevů, které nepříznivě ovlivňují letecký provoz. V minulé kapitole jsme se dozvěděli, jak se vyvíjeli základní meteorologické prvky, na které teď touto statistikou navážeme. Nejprve si povíme o používaných datech a jejich zpracování. Poté přejdeme k vyhodnocení dat, kde si představíme samotnou statistiku, a ukážeme si vývoj vybraných meteorologických jevů. Zaměříme se na déšť, sněžení, mlhu, bouřky, námrazu a nárazový vítr. Na závěr pak zhodnotíme vliv změny klimatu na tyto jevy.

5.1 Zpracování dat

Statistika nepříznivých meteorologických podmínek pro letectví je zpracována pro uplynulé desetiletí a pro konkrétní místo, kterým je Letiště Václava Havla Praha (LKPR). Toto letiště bylo zvoleno zejména z toho důvodu, že se jedná o nejfrekventovanější letiště v České republice, a tedy meteorologické jevy, které se vyskytují v oblasti tohoto letiště, mají ze všech letišť v ČR největší vliv na letecký provoz. Statistika může být navíc využita i pro další výzkum, třeba ohledně vlivu těchto jevů na provoz letiště, zpoždění letů, omezení kapacity apod. a pro takovýto výzkum by v kontextu ČR bylo pražské letiště nejrelevantnější. Výhodou je také poloha letiště vzhledem k relativně malé vzdálenosti od většiny ostatních větších letišť v ČR, takže by výsledky mohly být do jisté míry aplikovány i na ně. Poloha letiště a její specifika byly již popsány v předchozí kapitole.

Podkladem pro statistiku jsou záznamy meteorologických zpráv METAR a SPECI vydané pro Letiště Václava Havla Praha v období od 1. 1. 2012 do 31. 12. 2021. Záznamy zpráv byly získány od společnosti Aaltrona a Ogimet. Zkoumány byly meteorologické jevy, které spadají do kategorie současného počasí popsané v podkapitole 2.1.5. Zahrnuty byly všechny typy srážek (DZ, RA, SN, SG, PL, GR, GS), všechny jevy ovlivňující dohlednost (BR, FG, HZ, DU, SA, FU, VA) a všechny ostatní jevy (TS, PO, SQ, FC, DS, SS, WS). Intenzita jevů není rozlišována. Z popisných kódů byla uvažována pouze informace o namrzaní (FZ), která je spojována především se srážkami a mlhou, a může způsobovat námrazu. Pro zjednodušení bude dále namrzaní označováno jednoduše jako námraza. Tyto jevy byly doplněny ještě nárazovým větrem (G), který spadá do kategorie kódování o přízemním větru popsaném



v podkapitole 2.1.2, protože může způsobovat turbulence. Rychlost nárazového větru není rozlišována. Zjišťována byla celková četnost výskytu těchto jevů v meteorologických zprávách v jednotlivých měsících. Celkem bylo zkoumáno 111 483 záznamů zpráv. Počet zpráv v jednotlivých měsících je zobrazen v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1: Celkový počet zpráv v jednotlivých měsících a letech pro LKPR

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Leden	818	885	1606	944	1020	1124	938	1053	906	1181
Únor	765	828	1333	762	821	861	774	828	881	917
Březen	822	825	1610	893	882	812	877	903	833	909
Duben	782	759	1598	849	803	838	755	760	739	825
Květen	814	876	1676	816	822	854	802	879	839	879
Červen	800	823	935	965	829	860	819	789	834	810
Červenec	866	1327	1488	998	831	861	821	855	832	902
Srpen	898	809	880	1002	1037	844	828	858	864	891
Září	803	812	1053	967	1440	807	818	808	785	782
Říjen	1082	1102	919	835	1214	962	873	937	852	820
Listopad	966	1441	862	847	897	922	936	892	870	880
Prosinec	898	1338	816	894	954	940	978	970	878	901
Celkem	10314	11825	14776	10772	11550	10685	10219	10532	10113	10697

Různý počet zpráv v jednotlivých měsících a letech je dán několika důvody. Všechny měsíce nemají stejný počet dnů, takže se liší počet vydaných pravidelných zpráv METAR. Liší se také počet nepravidelných zpráv SPECI, kdy zpravidla nejvíce je jich vydáváno v zimních měsících. Dalším důvodem je pak necelistvost záznamů, kdy z velké většiny databáze obsahuje zprávy METAR vydávané každou hodinu, v některých případech se však objevují zprávy METAR vydávané každou půlhodinu. Některé zprávy také úplně chybí, což je však případ pouze nahodilých výpadků v jednotkách až desítkách zpráv za měsíc, v souvislém úseku zprávy chybí maximálně v řádu několika hodin, což je vzhledem k celkovému objemu dat akceptovatelné. Aby se však četnosti výskytu zkoumaných meteorologických jevů daly vzájemně porovnávat, byly přepočteny na dobu trvání jevů v hodinách za měsíc podle následujícího přepočtu:

$$t = n * \frac{D * 24}{Z},$$

kde t představuje dobu trvání jevu v hodinách za měsíc, n četnost výskytu jevu ve zprávách za měsíc, D počet dní v měsíci a Z počet zpráv v měsíci. Výsledná doba trvání byla zaokrouhlena na 1 desetinné místo. Ke zpracování dat byl použit tabulkový procesor MS Excel.

5.2 Vyhodnocení dat

Kompletní statistika doby trvání všech zkoumaných meteorologických jevů po jednotlivých měsících se nachází v příloze B. Souhrnná statistika pro celkové roční doby trvání je zobrazena v tabulce 5.2, 5.3 a 5.4.

Tabulka 5.2: Celková roční doba trvání srážkových jevů pro LKPR

Doba trvání (hod/rok)	Srážky						
	mrholení	děšť	sněžení	sněhová zrna	zmrzlý déšť	kroupy	krupky
Rok	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS
2012	68,4	920,8	359,5	3,6	4,8	1,7	4,5
2013	95,5	965,7	543,4	0,8	0,8	0,8	0,8
2014	102,8	935,5	164,3	3,7	0,0	2,2	7,4
2015	65,3	940,4	309,0	0,0	0,0	0,7	8,2
2016	89,9	1037,8	371,1	0,8	0,0	0,0	2,6
2017	47,4	1147,4	363,5	6,2	1,3	1,7	12,6
2018	63,3	827,2	343,3	6,0	0,8	0,9	3,2
2019	37,1	1149,8	366,7	4,3	0,0	0,8	13,9
2020	60,8	1280,8	136,0	0,0	0,8	0,0	5,8
2021	54,7	1147,2	745,0	2,2	4,6	0,8	8,5
Průměr	68,5	1035,3	370,2	2,8	1,3	1,0	6,8

Tabulka 5.3: Celková roční doba trvání jevů ovlivňujících dohlednost pro LKPR

Doba trvání (hod/rok)	Jevy ovlivňující dohlednost						
	kouřmo	mlha	zákal	prach	písek	kouř	vulkanický popel
Rok	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA
2012	587,2	244,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	918,8	476,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2014	1186,1	509,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015	473,2	184,7	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
2016	588,3	312,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2017	652,9	427,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0



2018	681,1	285,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2019	484,1	336,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2020	432,0	299,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2021	717,7	415,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Průměr	672,1	349,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1

Tabulka 5.4: Celková roční doba trvání ostatních jevů pro LKPR

Doba trvání (hod/rok)	Ostatní jevy								
	bouřka	prachové nebo písečné víry	hůlava	nálevkový oblak	prachová víchřice	písečná víchřice	stříh větru	námraza	nárazový vítr
Rok	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
2012	125,1	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	6,1	47,9	147,9
2013	113,3	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	2,3	155,9	109,8
2014	174,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	6,0	69,5	127,2
2015	119,7	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	7,9	14,1	396,2
2016	158,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	1,7	136,3	120,5
2017	212,9	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	2,4	146,2	276,4
2018	170,1	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	3,7	47,2	223,8
2019	179,4	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	3,5	89,8	341,4
2020	170,4	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	1,6	120,4	284,5
2021	122,5	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	124,0	174,3
Průměr	154,5	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	95,1	95,1	220,2

Na základě těchto souhrnných dat byly pro další zkoumání vybrány jen ty jevy, které splňovaly obě následující podmínky:

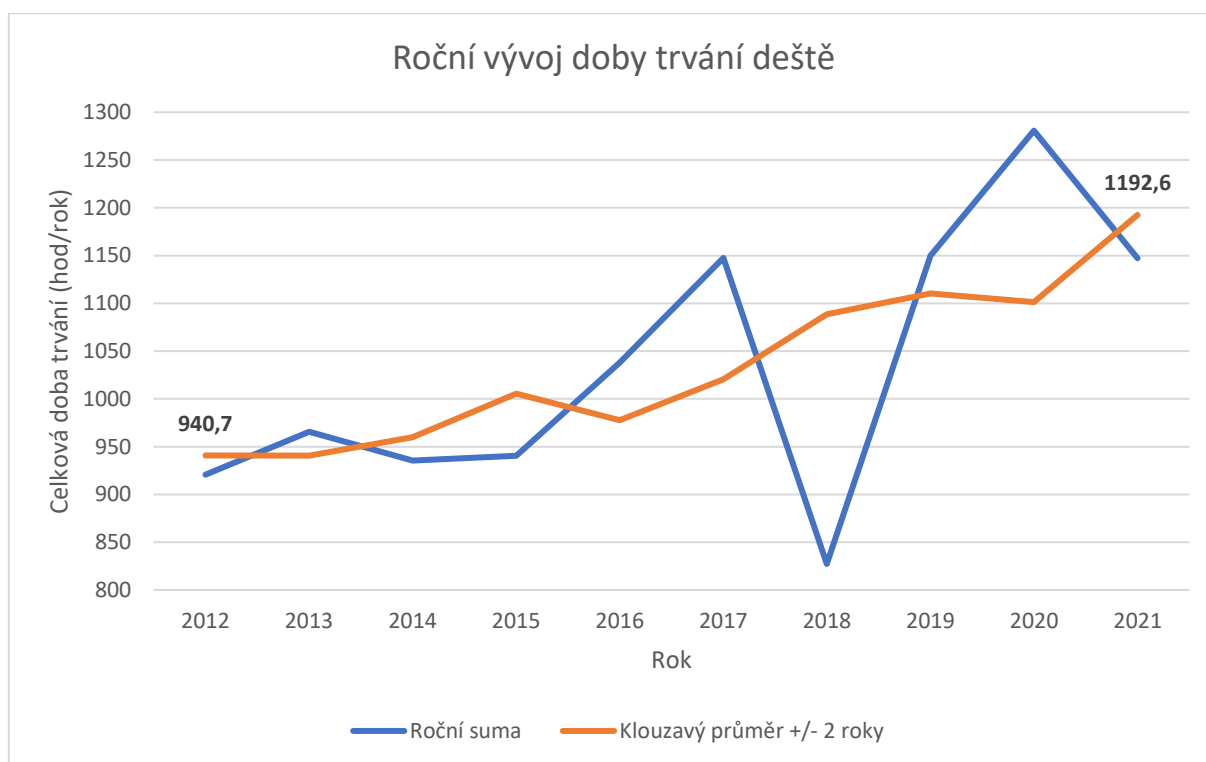
- meteorologický jev dosahuje průměrné doby trvání za rok alespoň 1 ‰ z celkového času v roce (tedy přibližně 8,8 hod/rok);
- meteorologický jev představuje nebezpečí pro letový provoz nebo může způsobit jeho omezení.

Obě tyto podmínky splnily následující jevy: déšť (RA), sněžení (SN), mlha (FG), bouřky (TS), námraza (FZ) a nárazový vítr (G). Přehled doby trvání těchto vybraných jevů v jednotlivých měsících se nachází v příloze A. Nyní se zaměříme na každý vybraný jev zvlášť.

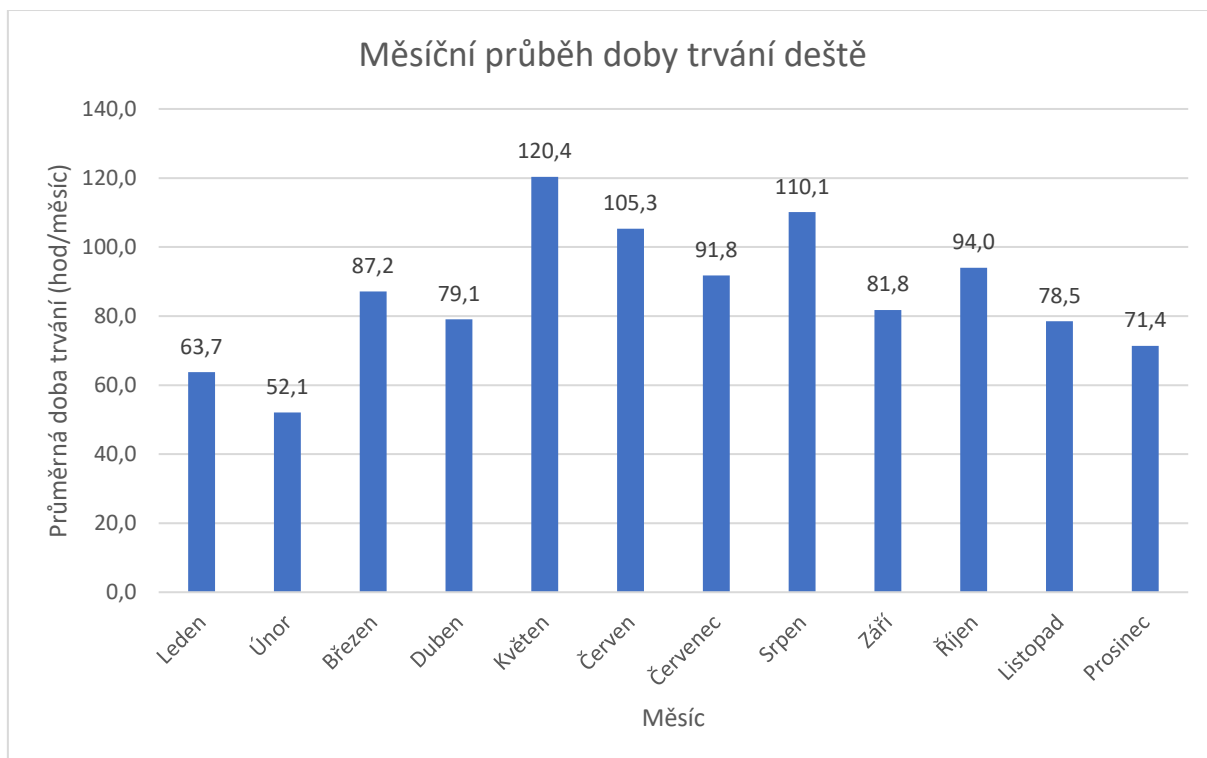
5.2.1 Déšť

Vývoj celkové roční doby trvání deště je zobrazen na obrázku 5.1. Z grafu je patrný trend narůstající doby trvání dešťových srážek. Vidíme, že v posledních 5 letech trvaly dešťové srážky obecně déle než v první polovině zkoumaného období (tedy předchozích 5 letech), vyjma roku 2018, kdy ze všech zkoumaných let přelo nejméně často, a to 827,7 hod/rok. Naopak nejdéle přelo v roce 2020, a to 1280,8 hod/rok. Celkový nárůst doby trvání deště od začátku do konce zkoumaného období byl přibližně 250 hod/rok.

Měsíční průběh doby trvání deště je zobrazen na obrázku 5.2. V grafu jsou použity průměrné měsíční doby trvání za celé zkoumané období (platí rovněž pro grafy stejného typu k ostatním zkoumaným jevům). Vidíme, že dešťové srážky trvají celoročně. Nejčastější jsou na konci jara a v létě, kdy se pohybují kolem 100 hod/měsíc, nejméně časté jsou pak v zimě, kdy je část dešťových srážek nahrazena sněžením a prší tedy kolem 60 hod/měsíc. Ve zkoumaném období byl déšť nejčastější v květnu a v průměru trval 120,4 hod/měsíc, nejméně častý pak byl v lednu, kdy trval 52,1 hod/měsíc.



Obrázek 5.1: Roční vývoj doby trvání deště pro LKPR

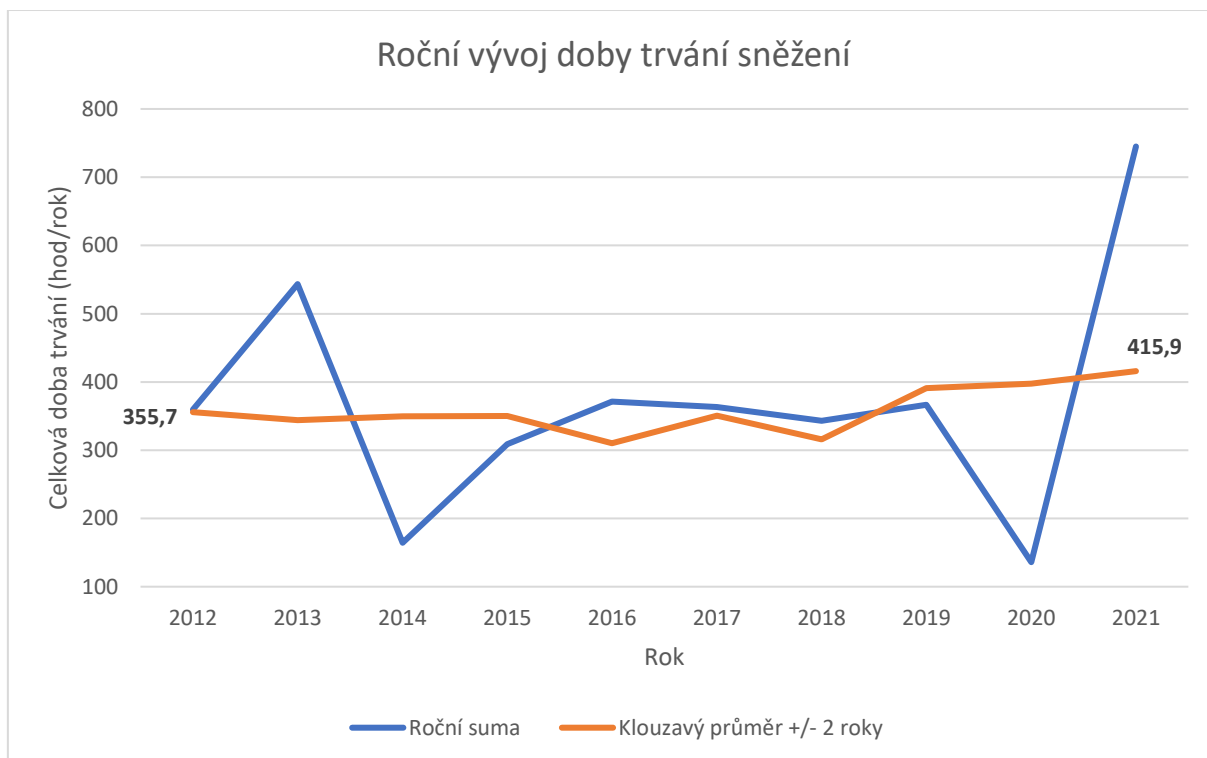


Obrázek 5.2: Měsíční průběh doby trvání deště pro LKPR

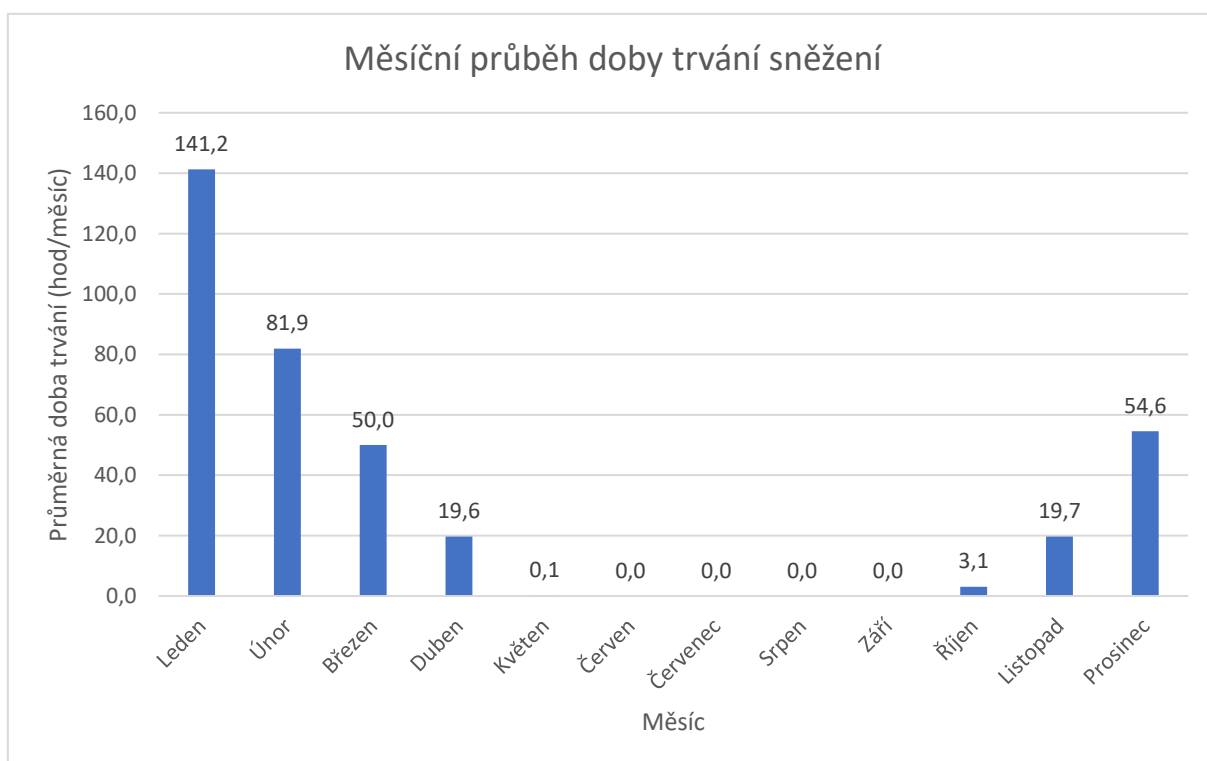
5.2.2 Sněžení

Vývoj celkové roční doby trvání sněžení je zobrazen na obrázku 5.3. Graf nevykazuje žádný významný trend ve vývoji doby trvání sněžení. Můžeme sice pozorovat mírný nárůst celkové doby trvání sněžení od začátku do konce zkoumaného období, který byl přibližně 60 hod/rok, to je však ovlivněno posledním zkoumaným rokem 2021, kdy sněžilo 745 hod/rok, což je zdaleka nejdéle a až 3x déle než v ostatních letech, a dokonce více jak 5x déle než v předcházejícím roce 2020, kdy sněžilo nejméně dlouho, a to 163 hod/rok. Tento trend, kdy jeden rok s dlouhým trváním sněhových srážek (oproti průměru) je následován rokem s kratším trváním (oproti průměru) nebo naopak, můžeme také pozorovat v letech 2013 a 2014.

Měsíční průběh doby trvání sněžení je zobrazen na obrázku 5.4. Nejčastější je sněžení samozřejmě v zimě, především pak od prosince do března, ale občas se vyskytuje i v dubnu a listopadu, úplně výjimečně pak i v říjnu nebo květnu. Ve zkoumaném období trvalo sněžení nejdéle v lednu, a to průměrně 141,2 hod/měsíc.



Obrázek 5.3: Vývoj doby trvání sněžení pro LKPR

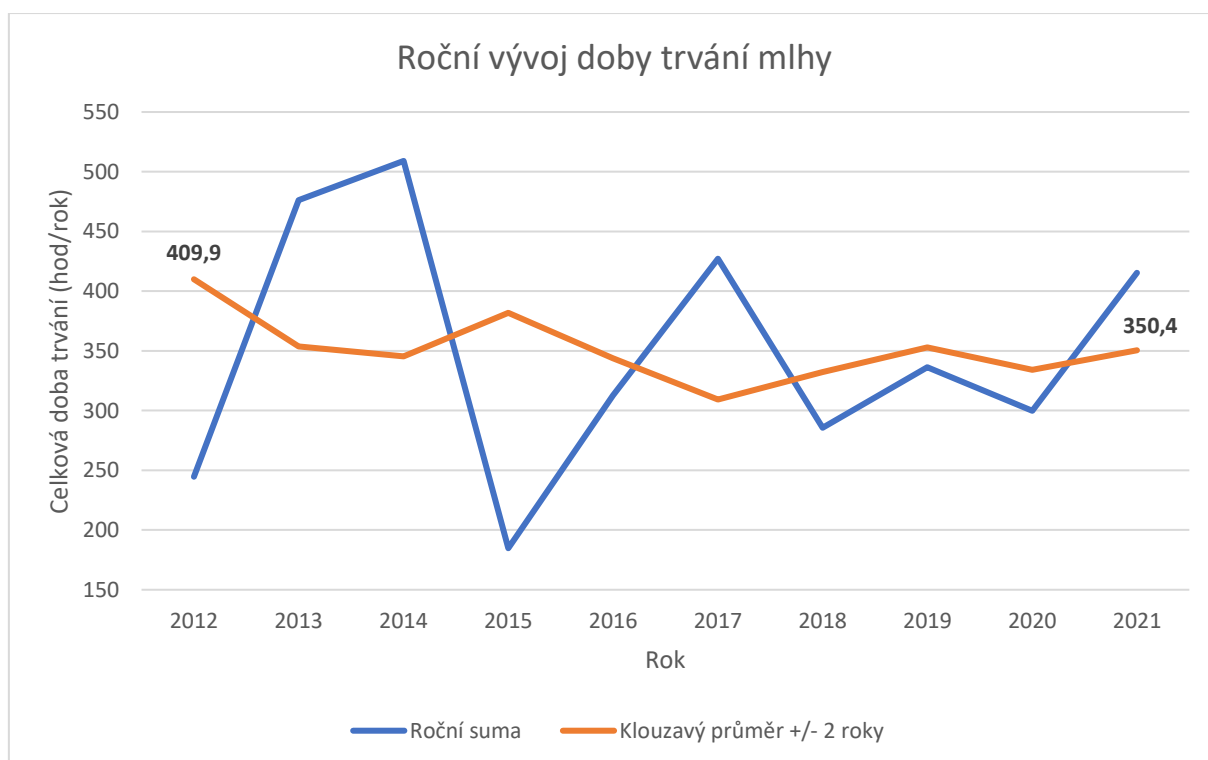


Obrázek 5.4: Měsíční průběh doby trvání sněžení pro LKPR

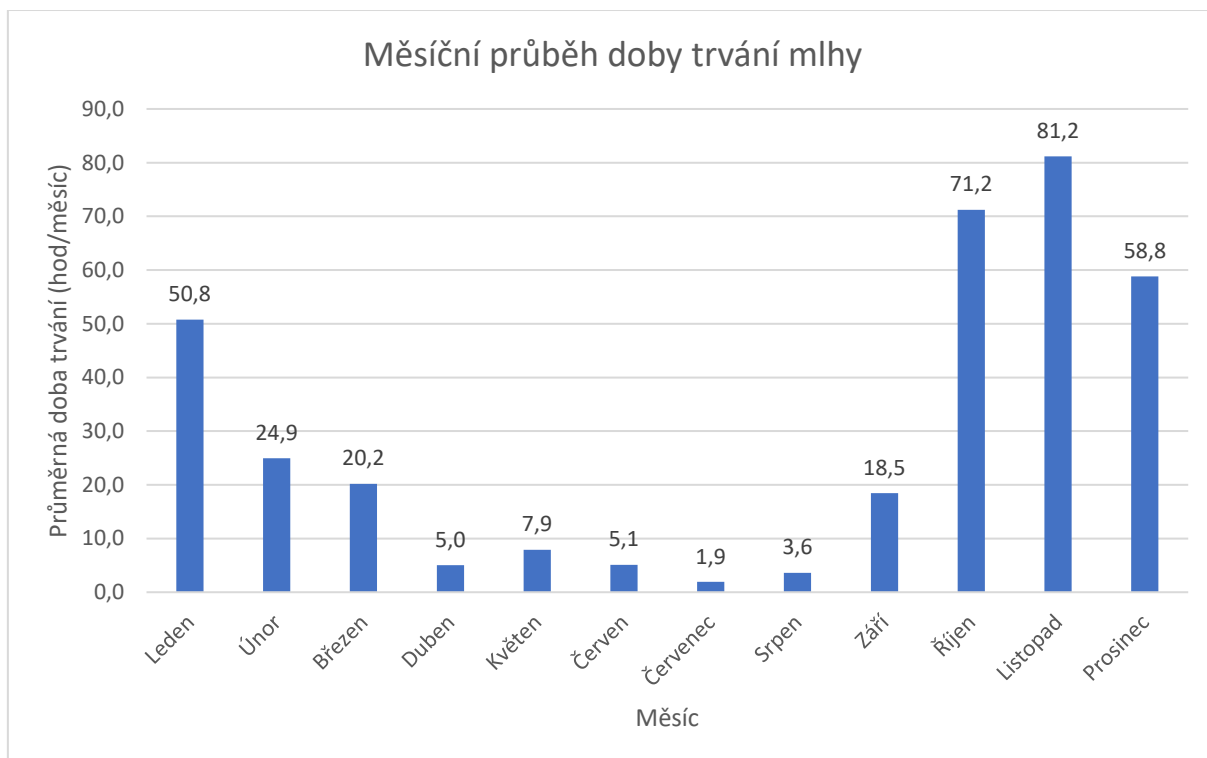
5.2.3 Mlha

Vývoj celkové roční doby trvání mlhy je zobrazen na obrázku 5.5. Graf vykazuje malý klesající trend ve vývoji doby trvání mlh. Můžeme pozorovat pokles celkové doby trvání mlhy od začátku do konce zkoumaného období, který byl přibližně 60 hod/rok, ten je však výrazně ovlivněn lety 2013 a 2014 na začátku zkoumaného období, v kterých mlha trvala v průměru 476,1 hod/rok, respektive 509 hod/rok, což je výrazně více než v ostatních letech. Nejkratší byla mlha v roce 2015, kdy trvala 184,7 hod/rok.

Měsíční průběh doby trvání mlh je zobrazen na obrázku 5.3. Můžeme vidět, že nejčastější jsou mlhy na podzim a začátku zimy, v menší míře se pak vyskytují na konci zimy a zřídka také na jaře a v létě. Můžeme se s nimi tedy setkat celoročně. Nejvýznamnějším měsícem, co do doby trvání mlh, byl ve zkoumaném období listopad s v průměru 81,2 hod/měsíc. Naopak v červenci trvala mlha nejkratší dobu, a to pouhých 1,9 hod/měsíc.



Obrázek 5.5: Roční vývoj doby trvání mlhy pro LKPR

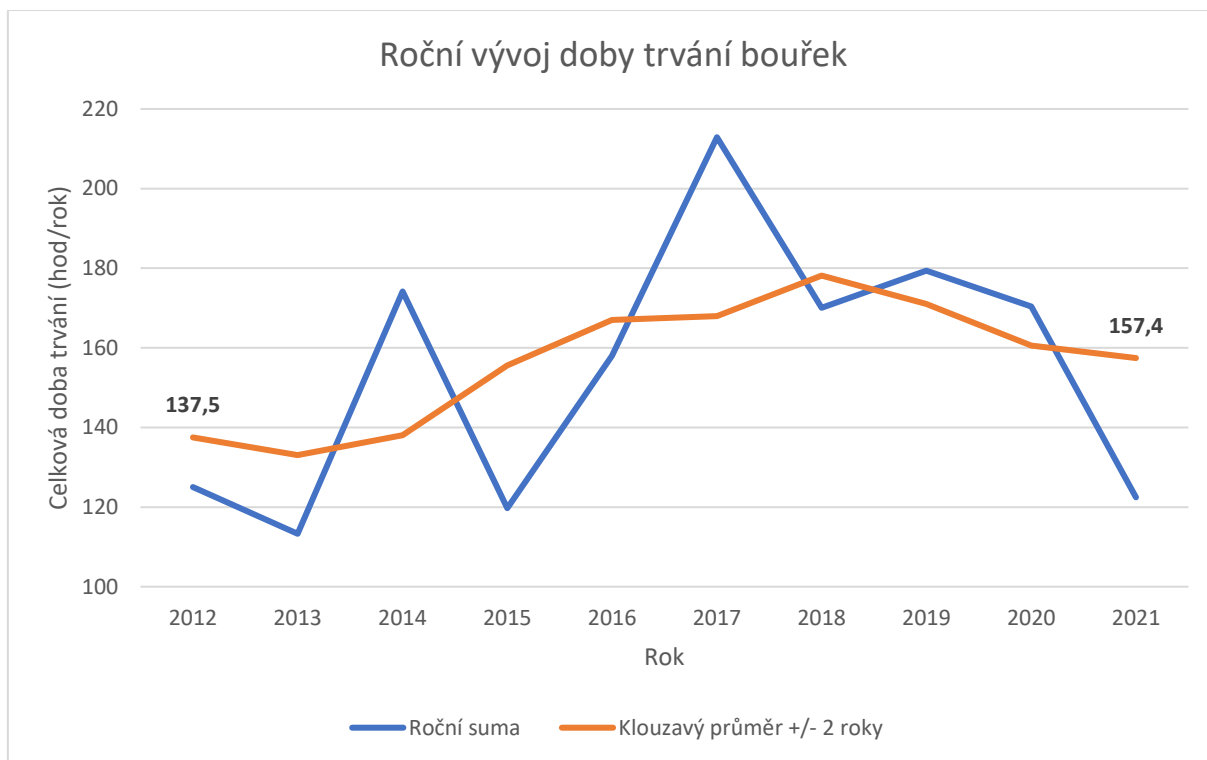


Obrázek 5.6: Měsíční průběh doby trvání mlhy pro LKPR

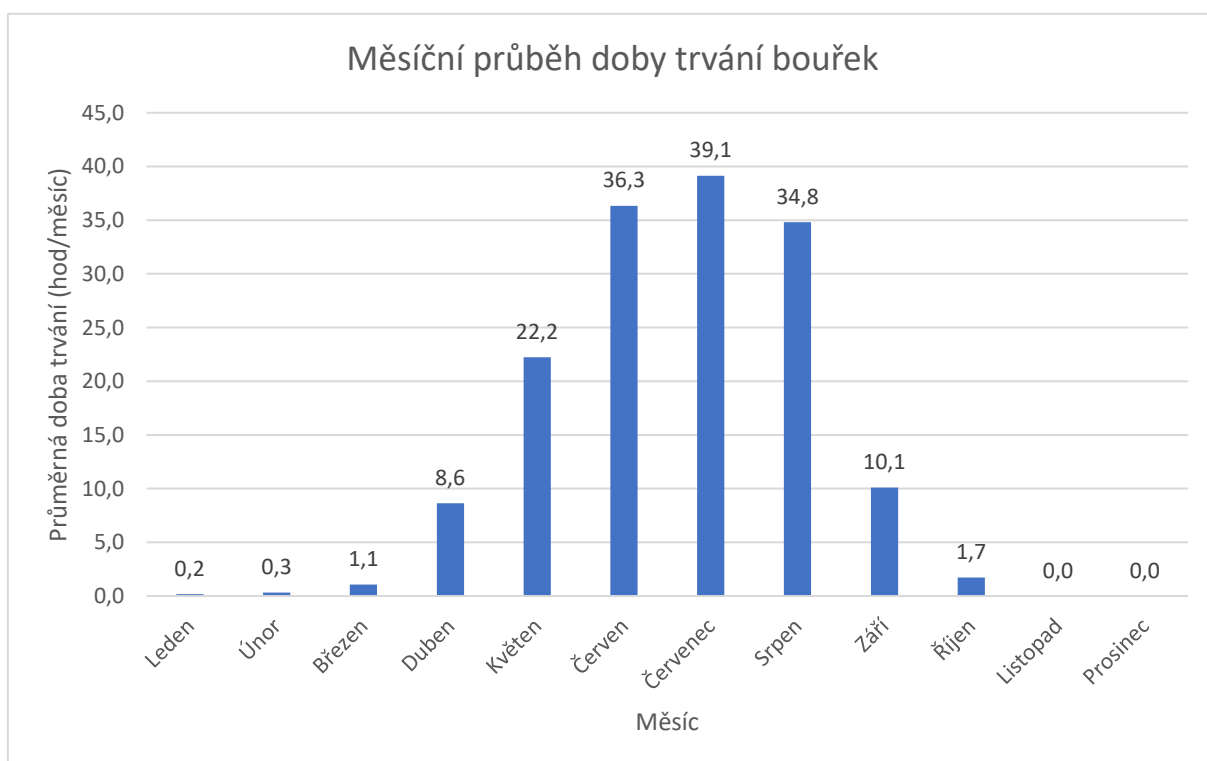
5.2.4 Bouřky

Vývoj celkové roční doby trvání bouřek je zobrazen na obrázku 5.7. Z grafu vyplývá mírný trend narůstající doby trvání bouřek. Celkový nárůst doby trvání bouřek od začátku do konce zkoumaného období byl přibližně 20 hod/rok. Můžeme však pozorovat, že doba trvání bouřek je vcelku proměnlivá. V letech 2012, 2013, 2015 a 2021 trvaly bouřky obecně kratší dobu, nejméně pak 113,3 hod/rok v roce 2013. Ve zbývajících letech bylo pak bouřek výrazně více, resp. trvaly delší dobu, nejdéle pak 212,9 hod/rok v roce 2017, což je skoro 1,5x až 2x déle než v ostatních letech.

Měsíční průběh doby trvání bouřek je zobrazen na obrázku 5.8. Z grafu je patrné, že nejčastější jsou bouřky v létě, nejdéle trvají obvykle v červnu, červenci nebo srpnu, kdy ve zkoumaném období dosahovaly v průměru 35 až 40 hod/měsíc. Bouřky se však běžně vyskytují už na jaře, v dubnu a květnu a také na začátku podzimu, v září. Zřídka se však také můžou objevit i v zimě.



Obrázek 5.7: Roční vývoj doby trvání bouřek pro LKPR

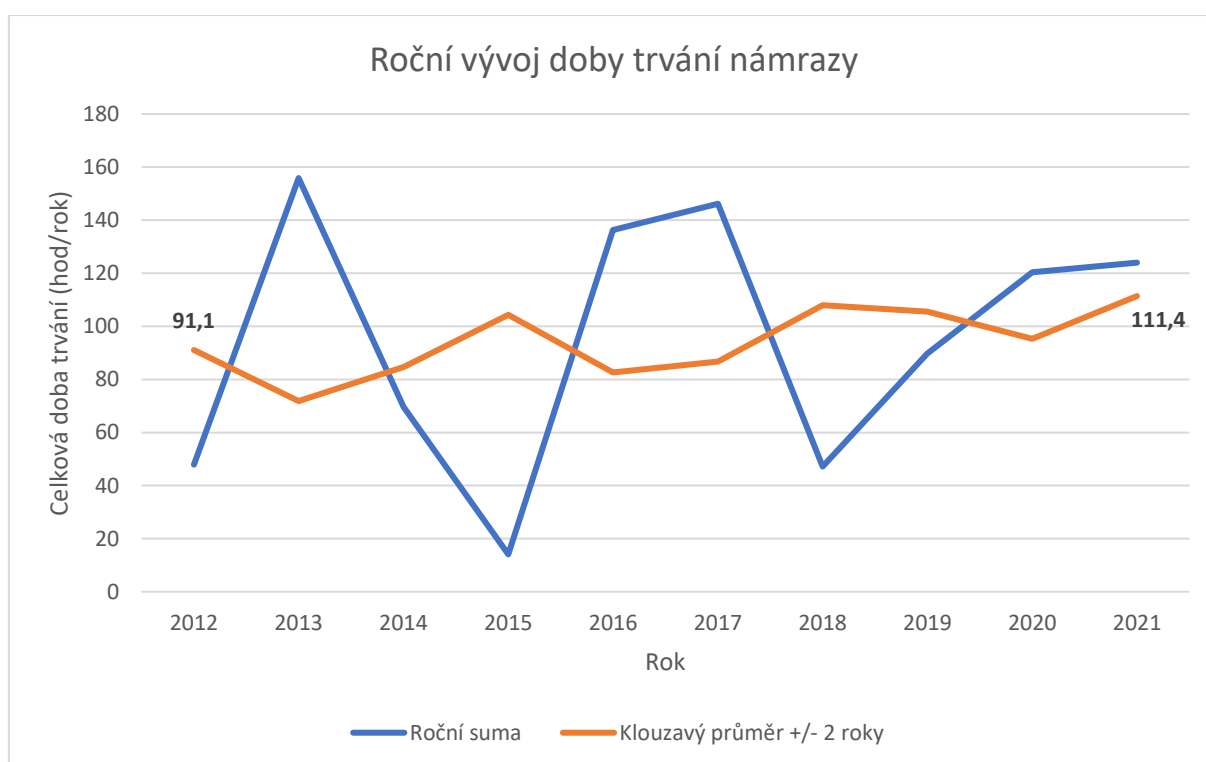


Obrázek 5.8: Měsíční průběh doby trvání bouřek pro LKPR

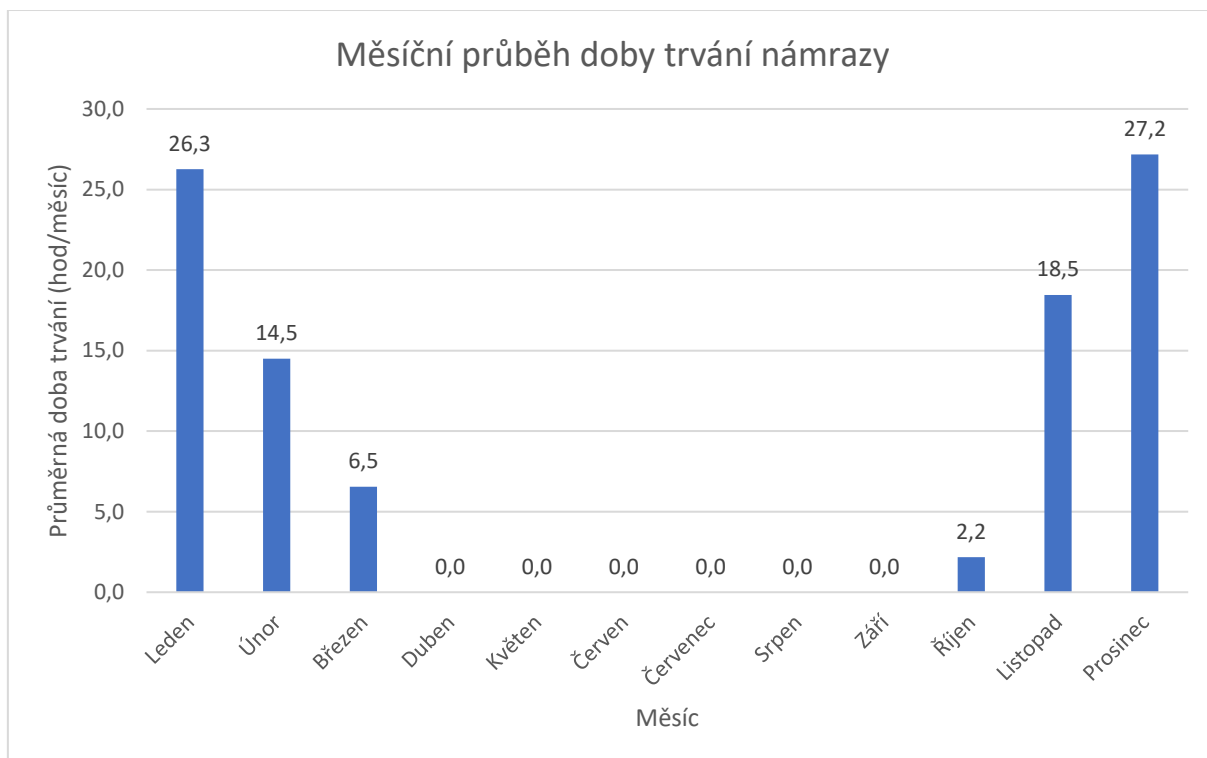
5.2.5 Námraza

Vývoj celkové roční doby trvání námrazy je zobrazen na obrázku 5.9. Z grafu není patrný žádný významný trend ve vývoji doby trvání námrazy. Můžeme sice pozorovat mírný nárůst celkové doby trvání námrazy od začátku do konce zkoumaného období, který byl přibližně 20 hod/rok, to je však dáno spíše velkou proměnlivostí v jednotlivých letech. Nejdéle trvala námraza v letech 2013, 2016 a 2017, s maximem 155,9 hod/rok v roce 2013, nejkratší dobu naopak v letech 2012, 2015 a 2018 s minimem 14,1 hod/rok v roce 2015.

Měsíční průběh doby trvání námrazy je zobrazen na obrázku 5.10. Pro tvorbu námrazy je klíčová teplota vzduchu pod bodem mrazu, proto se samozřejmě objevuje především v zimě. Nejvíce pak v prosinci a lednu, v menší míře také v listopadu a březnu a zřídka také v březnu, případně i v říjnu. Ve zkoumaném období dosahovala doby trvání průměrně kolem 27 hod/měsíc v prosinci a lednu.



Obrázek 5.9: Roční vývoj doby trvání námrazy pro LKPR

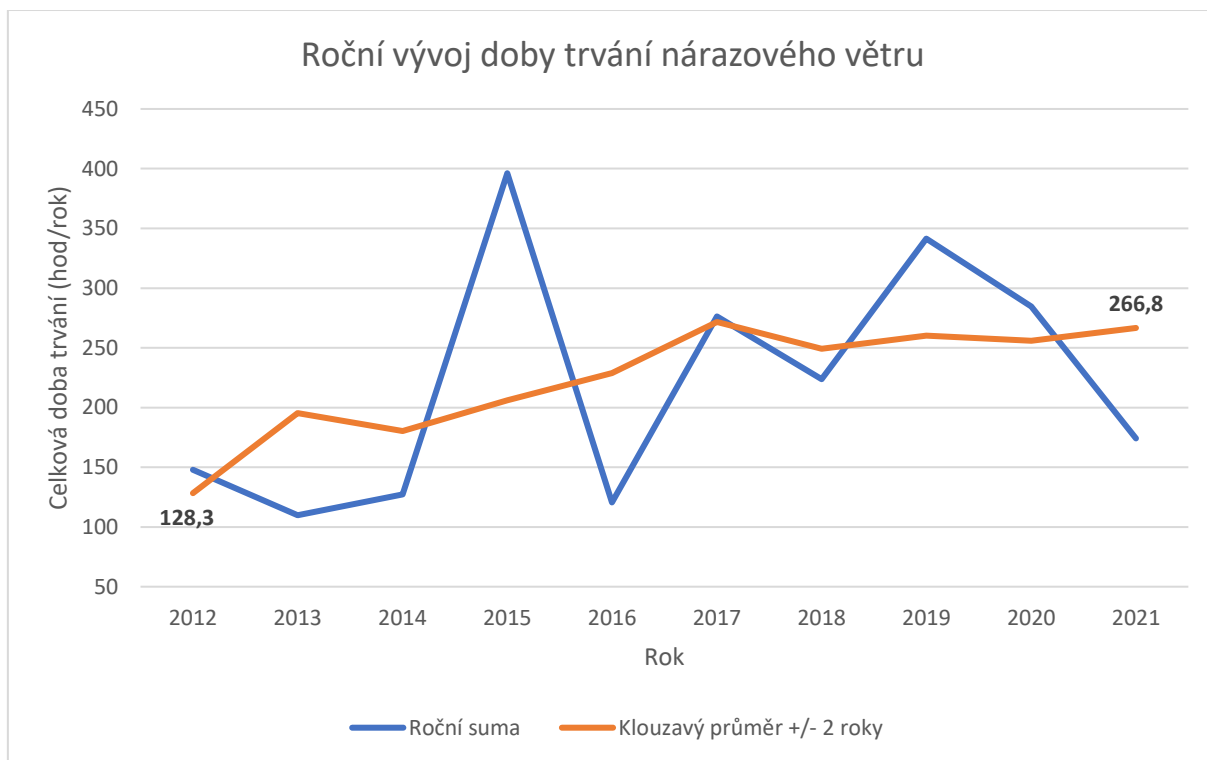


Obrázek 5.10: Měsíční průběh doby trvání námrazy pro LKPR

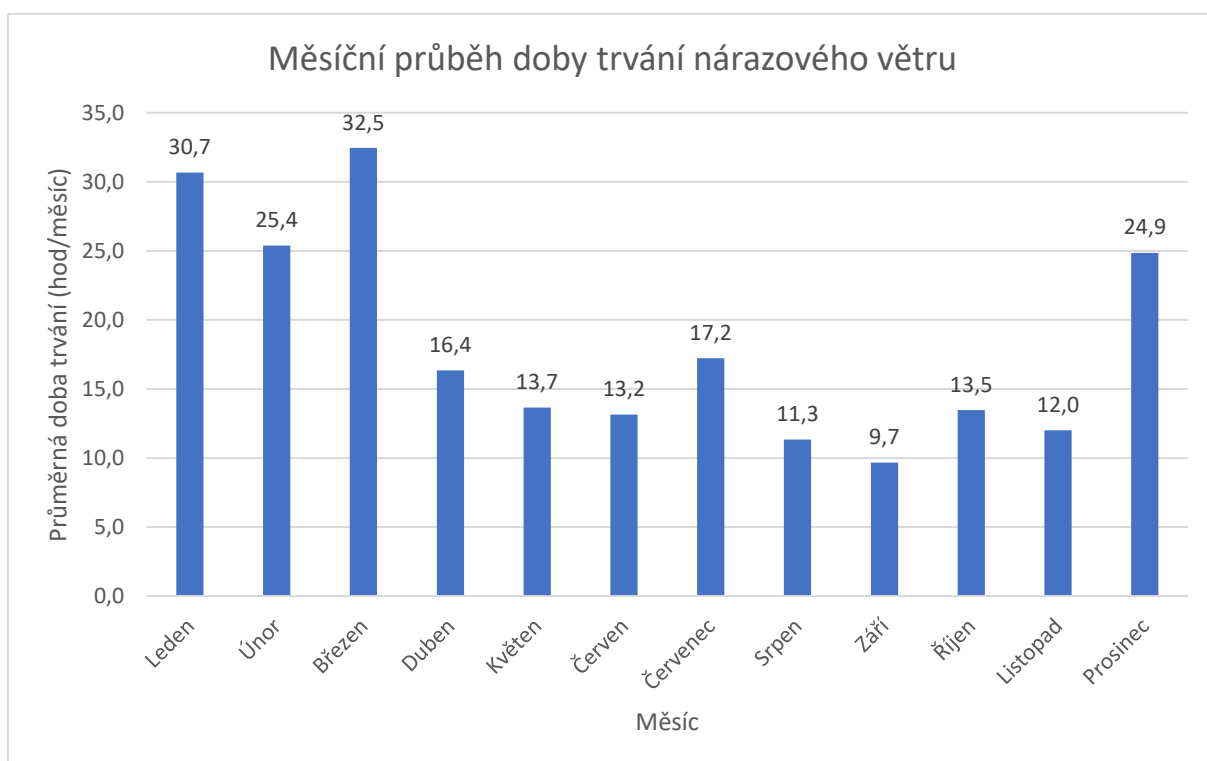
5.2.6 Nárazový vítr

Vývoj celkové roční doby trvání nárazového větru je zobrazen na obrázku 5.11. Graf vykazuje vcelku výrazný trend narůstající doby trvání nárazového větru, kdy celkový nárůst od začátku do konce zkoumaného období byl 140 hod/rok, což přesahuje dvounásobný nárůst. Vůbec nejdéle foukal nárazový vítr v roce 2015, kdy dosahoval 396,2 hod/rok, což je skoro 4x více než v roce 2013, kdy ve zkoumaném období trval nárazový vítr nejméně dlouho, a to 109,8 hod/rok.

Měsíční průběh doby trvání nárazového větru je zobrazen na obrázku 5.12. Je patrné, že nárazový vítr fouká celoročně. Nejvíce však fouká v zimních měsících, kdy dosahuje přibližně 2x delší doby trvání než v ostatních měsících. Ve zkoumaném období dosahoval největších hodnot doby trvání v dubnu, a to 32,5 hod/měsíc, nejmenších pak v září, a to 9,7 hod/měsíc.



Obrázek 5.11: Roční vývoj doby trvání nárazového větru pro LKPR

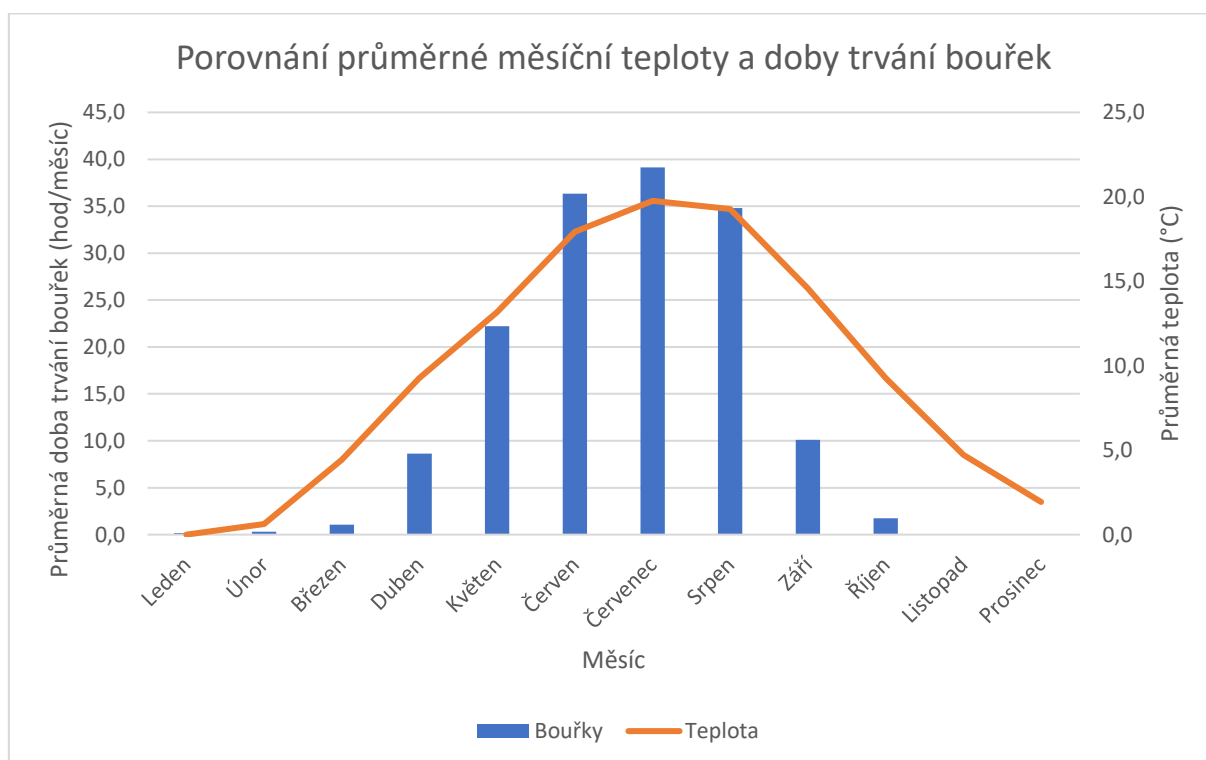


Obrázek 5.12: Měsíční průběh doby trvání nárazového větru pro LKPR

5.3 Zhodnocení vlivu změny klimatu

V předchozí podkapitole 5.2 jsme sledovali vývoj vybraných meteorologických jevů za uplynulých 10 let. U deště, bouřek a nárazového větru pozorujeme alespoň mírný nárůst doby trvání. Námraza a sněžení spíše stagnují a mlhy mají spíše klesající trend. V podkapitole 4.2 jsme sledovali vývoj základních meteorologických prvků. Evidentní je zejména nárůst teploty, kdy za posledních 10 let stoupla teplota v Praze – Ruzyni o skoro 0,5 °C. Tlak vzduchu a celkový úhrn srážek v poslední době spíše stagnuje. Vlhkost vzduchu a rychlost větru pak mají v posledních letech spíše klesající tendenci.

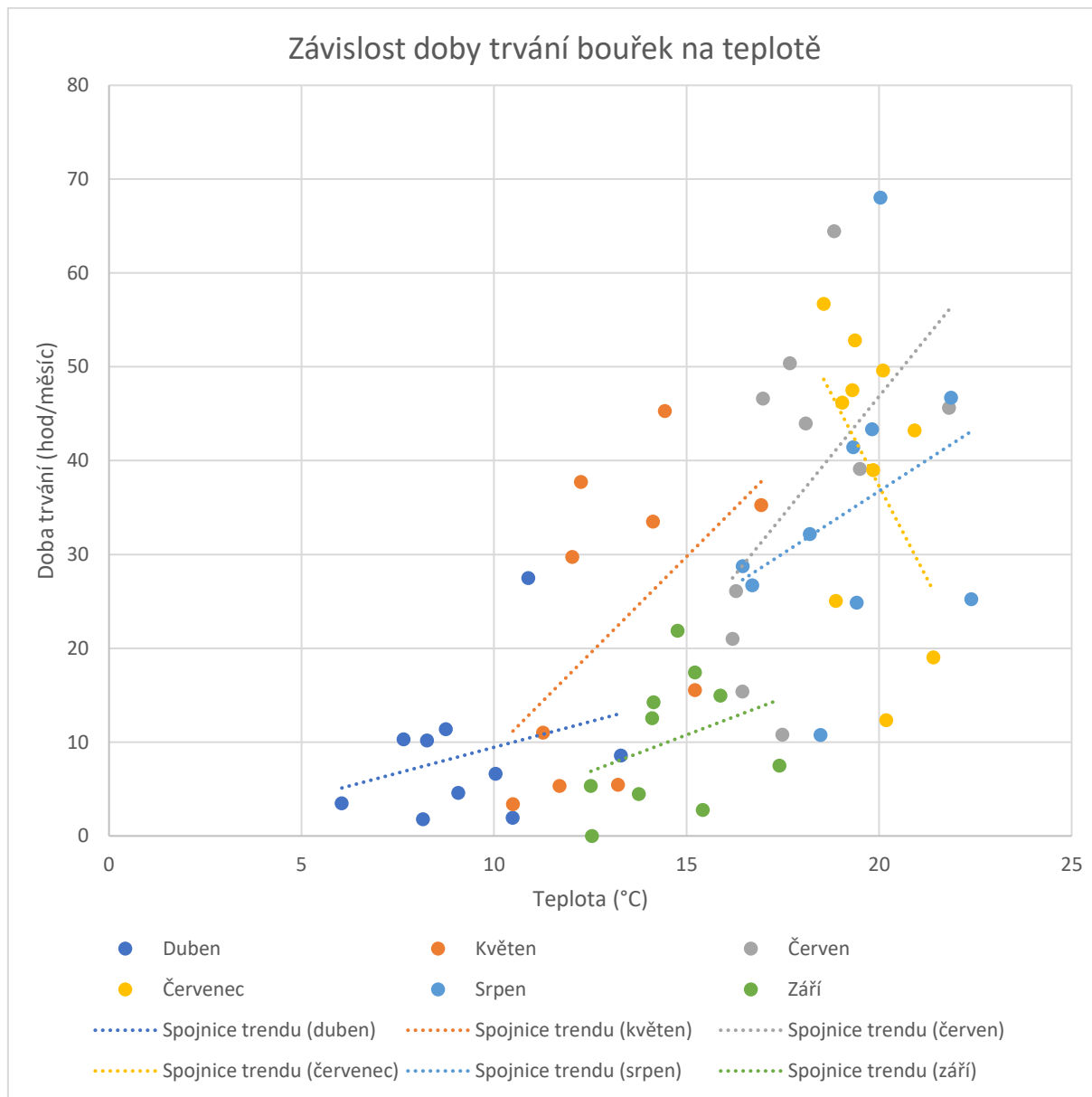
Vidíme tedy, že za posledních 10 let např. mírně stoupla doba trvání bouřek a stejně tak stoupla i průměrná teplota. Z podstaty bouřek víme, že pro jejich vznik je mimo jiné nutný teplý vzduch. Dá se tedy očekávat aspoň nějaký vliv teploty na bouřky. Tomu napovídá i obrázek 5.13, který kombinuje měsíční průběh doby trvání bouřek a měsíční průběh teploty.



Obrázek 5.13: Porovnání průměrné měsíční teploty a doby trvání bouřek pro LKPR

Z grafu je patrné, že doba trvání bouřek v jednotlivých měsících vcelku přesvědčivě kopíruje průměrnou teplotu v daném měsíci, přičemž platí, že čím je průměrná teplota v měsíci vyšší, tím je vyšší i průměrná doba trvání bouřek. To však samo o sobě vliv teploty na dobu trvání

a četnost bouřek nepotvrzuje. Podíváme se proto na vztah průměrné teploty a doby trvání bouřek v daném měsíci a konkrétním roce. Tento vztah je zobrazen na obrázku 5.14. Uvažováno je 6 měsíců, v kterých se bouřky nejčastěji vyskytují (duben až září).



Obrázek 5.14: Závislost doby trvání bouřek na teplotě pro LKPR

Přerušované čáry zobrazují spojnice trendu v jednotlivých měsících. Vidíme, že v 5 měsících doba trvání bouřek v jednotlivých letech stoupala s narůstající teplotou, tedy pokud byla např. v jednom roce průměrná květnová teplota vyšší než v jiném, byla delší i doba trvání bouřek v tomto měsíci. V červenci však pozorujeme opačný trend, kdy při vyšší průměrné teplotě byla doba trvání bouřek v uplynulých 10 letech obecně kratší.



Na základě výše zmíněných skutečností se dá předpokládat jistá závislost teploty a doby trvání bouřek, která indikuje, že s vyšší teplotou by měla přibývat i četnost bouřek. Potvrdit to však zatím s jistotou nemůžeme. Zkusíme proto závislost doby trvání bouřek na teplotě ověřit statistickými metodami. Pro tyto účely budeme používat program Matlab.

Nejprve musíme vybrat data, s kterými budeme pracovat. Abychom eliminovali např. vliv roční doby, budeme závislost zkoumat v jednotlivých měsících. Uvažovat budeme pouze ty měsíce, v kterých se bouřky pravidelně vyskytují, tedy duben až září. Pro každý měsíc máme 10 hodnot (za každý zkoumaný rok 1), dohromady tedy 60 hodnot. Budeme zkoumat Spearmanův korelační koeficient a určíme následující nulovou hypotézou H_0 : Spearmanův korelační koeficient je roven 0. Spearmanův korelační koeficient r nabývá hodnot v uzavřeném intervalu od -1 do 1. Čím blíže se koeficient nachází těmto okrajovým hodnotám, tím je větší závislost daného vzorku. Kladné hodnoty představují přímou úměru, záporné pak nepřímou úměru. Hodnoty blízké 0 naopak představují malou, potažmo žádnou závislost daného vzorku, resp. její neprokázání. Jednotlivé hodnoty korelačního koeficientu jsou ještě doplněny p-hodnotou p , která nabývá hodnot v uzavřeném intervalu od 0 do 1. Výsledné koeficienty r a p-hodnoty p pro jednotlivé měsíce jsou zobrazeny v tabulce 5.5.

Tabulka 5.5: Výsledné korelační koeficienty a p-hodnoty pro závislost bouřek na teplotě

	r	p
Duben	0,21	0,56
Květen	0,65	0,05
Červen	0,52	0,13
Červenec	-0,52	0,13
Srpen	0,32	0,37
Září	0,39	0,26

Pokud by byly zkoumané veličiny statisticky nezávislé, tak by jednotlivé p-hodnoty vycházely rovnoměrně rozdělené mezi 0 a 1. V opačném případě existuje mezi veličinami statistická závislost. Tuto závislost budeme testovat. Použijeme test střední hodnoty a určíme následující nulovou hypotézou H_0 : střední hodnota p-hodnot je větší nebo rovna 0. Abychom však mohli tento test použít, musí mít data normální rozdělení. To zjistíme testem normality, kterých je celá řada. Vybereme si třeba Anderson-Darlingův test a určíme následující nulovou hypotézu H_0 : data mají normální rozdělení. Normalitu budeme zkoumat na hladině významnosti 5 %, tedy abychom ověřili normalitu, musí p-hodnota vycházet vyšší než 0,05. Vyšla nám p-hodnota 0,547, takže nezamítáme nulovou hypotézu, že data mají normální rozdělení. Můžeme tedy použít test střední hodnoty. Abychom ověřili statistickou závislost, tak v tomto případě chceme,



aby p-hodnota vycházela nižší než 0,05. Vyšla nám p-hodnota 0,0115, takže jsme prokázali, že teplota a četnost bouřek spolu statisticky souvisí, přičemž s vyšší teplotou přibývá i četnost bouřek. Pravděpodobnost, že se mýlíme, je 1,15 %.

Obdobně se můžeme pokusit prokázat statistickou závislost teploty i s dalšími zkoumanými jevy. Uvažovat budeme opět pouze relevantní měsíce pro daný jev. Postupovat budeme úplně stejně jako u vztahu teploty a bouřek, tedy nejprve zjistíme Spearmanův korelační koeficient, poté pomocí Anderson-Darlingova testu ověříme normalitu a nakonec pomocí testu střední hodnoty ověříme závislost. Výsledné koeficienty r a hodnoty p pro jednotlivé měsíce jsou zobrazeny v tabulce 5.6. Výsledné p-hodnoty pro Anderson-Darlingův test (AD test) a test střední hodnoty (T-test) jsou zobrazeny v tabulce 5.7.

Tabulka 5.6: Výsledné korelační koeficienty a p-hodnoty pro závislost ostatních zkoumaných jevů na teplotě

	Děšť		Sněžení		Mlha		Námraza		Nárazový vítr	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Leden	-0,07	0,86	-0,76	0,02	-0,27	0,44	-0,49	0,15	0,33	0,35
Únor	0,59	0,08	-0,33	0,35	-0,23	0,52	-0,01	0,99	0,58	0,09
Březen	0,12	0,76	-0,93	0,00	-0,30	0,39	-0,21	0,56	0,65	0,05
Duben	-0,70	0,03	-0,88	0,00	x	x	x	x	0,02	0,97
Květen	-0,95	0,00	x	x	x	x	x	x	-0,78	0,01
Červen	-0,25	0,49	x	x	x	x	x	x	0,31	0,39
Červenec	-0,87	0,00	x	x	x	x	x	x	-0,42	0,23
Srpen	-0,24	0,51	x	x	x	x	x	x	0,35	0,33
Září	-0,24	0,51	x	x	-0,39	0,26	x	x	-0,26	0,47
Říjen	0,05	0,89	x	x	0,49	0,15	0,38	0,28	0,42	0,23
Listopad	0,22	0,54	-0,20	0,58	-0,18	0,63	-0,02	0,97	0,05	0,89
Prosinec	-0,05	0,89	-0,36	0,31	-0,14	0,71	-0,42	0,23	0,27	0,45

Tabulka 5.7: Výsledné p-hodnoty pro ověření normality a závislosti ostatních zkoumaných jevů na teplotě

		Děšť	Sněžení	Mlha	Námraza	Nárazový vítr
AD test	p	0,0666	0,1504	0,9890	0,1817	0,1425
	Normalita	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
T-test	p	0,3687	0,0160	0,2421	0,5725	0,0847
	Závislost	NE	ANO	NE	NE	NE

Statistickou závislost teploty a daného meteorologického jevu se nám podařilo prokázat jen u sněžení. Pravděpodobnost chyby je 1,6 %. Podle záporných korelačních koeficientů vidíme,



že tato závislost je nepřímo úměrná, tedy s rostoucí teplotou ubývá sněžení. Z principu vzniku jednotlivých jevů, by se dalo předpokládat, že teplota má vliv i na ostatní vlivy, zejména pak mlhu a námrazu, tuto souvislost se nám však nepodařilo statisticky prokázat. Prokázali jsme zatím tedy pouze statistickou závislost bouřek na teplotě a sněžení na teplotě.

Na to můžeme dále navázat a s pomocí námi vytvořeného modelu založeném na regresní analýze zkusit predikovat četnost těchto jevů v závislosti na předpokládané teplotě v příštích letech. Vybereme si bouřky, které jsou v kontextu letectví daleko zajímavější než sněžení. Aby byl model přesnější, můžeme do něj zahrnout i vliv dalších meteorologických prvků (tlak vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru, úhrn srážek). Nejprve však musíme stejně jako u teploty prokázat statistickou závislost mezi těmito prvky a četností bouřek. Uvažovat budeme pouze tlak vzduchu a rychlost větru. Vlhkost vzduchu nezahrneme, protože jak bylo popsáno v podkapitole 4.2.3., úzce souvisí s teplotou, jejíž vliv už jsme zkoumali. Rovněž nezahrneme ani úhrn srážek, protože to je spíše důsledek bouřkové činnosti (bouřky produkují srážky). Pro prokázání závislosti tlaku vzduchu a rychlosti větru na četnost bouřek budeme postupovat úplně stejně jako v případě závislosti teploty, tedy nejprve zjistíme Spearmanův korelační koeficient, poté pomocí Anderson-Darlingova testu ověříme normalitu a nakonec pomocí testu střední hodnoty ověříme závislost. Výsledné koeficienty r a hodnoty p pro jednotlivé měsíce jsou zobrazeny v tabulce 5.8. Výsledné p -hodnoty pro Anderson-Darlingův test (AD test) a test střední hodnoty (T-test) jsou zobrazeny v tabulce 5.9.

Tabulka 5.8: Výsledné korelační koeficienty a p -hodnoty pro závislost bouřek na tlaku vzduchu a rychlosti větru

	Tlak vzduchu		Rychlost větru	
	r	p	r	p
Duben	0,16	0,66	0,08	0,83
Květen	0,19	0,61	-0,16	0,66
Červen	-0,27	0,45	0,01	1,00
Červenec	-0,20	0,58	0,61	0,07
Srpen	-0,32	0,37	-0,42	0,23
Září	0,15	0,68	-0,41	0,25

Tabulka 5.9: Výsledné p -hodnoty pro ověření normality a závislosti bouřek na tlaku vzduchu a rychlosti větru

		Tlak vzduchu	Rychlost větru
AD test	p	0,4054	0,4621
	Normalita	ANO	ANO



T-test	p	0,8472	0,5168
	Závislost	NE	NE

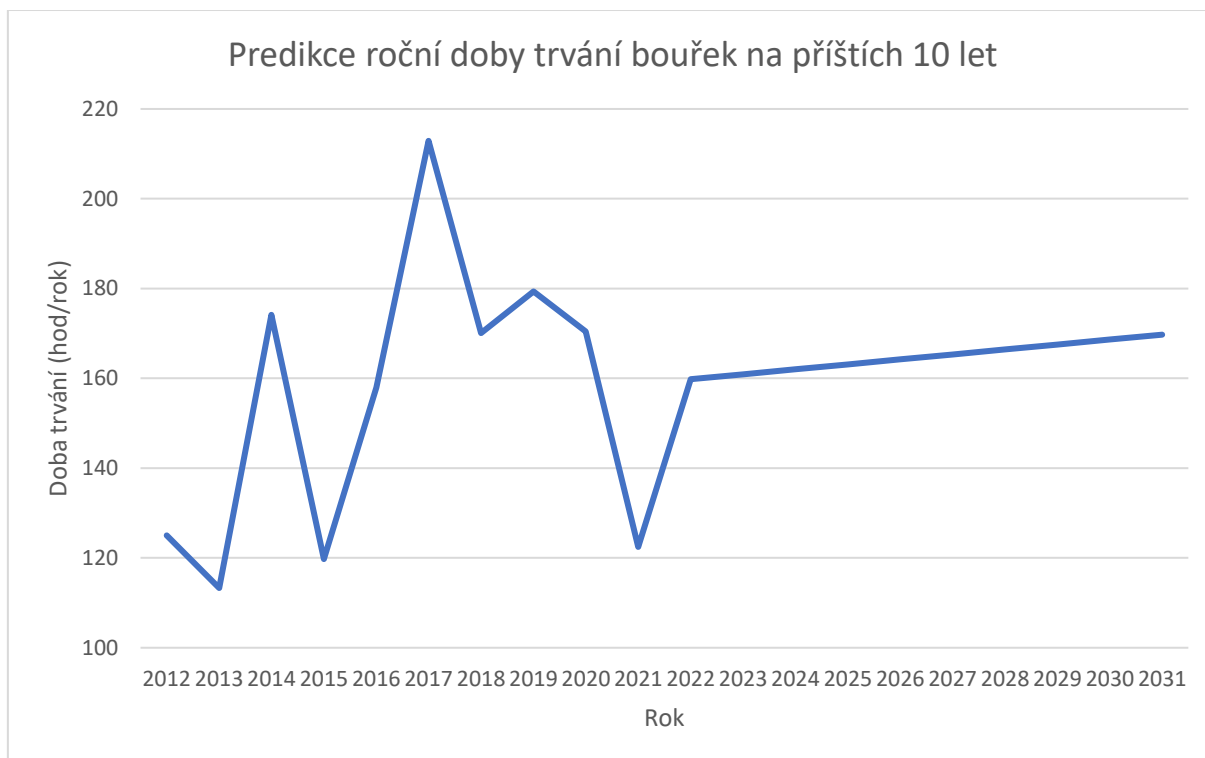
Nepodařilo se nám prokázat statistickou závislost bouřek na tlaku vzduchu ani rychlosti větru. Z podstaty vzniku bouřek bychom předpokládali, že minimálně tlak vzduchu bude mít souvislost s četností bouřek, to se nám ale vzhledem k povaze dat (zejména jejich nízký počet) nepovedlo ověřit. Je důležité si však uvědomit, že přestože jsme závislost nedokázali ověřit, neznamená to, že taková závislost neexistuje, pouze jsme ji statisticky neprokázali (to samé rovněž platí i pro všechny ostatní zkoumané vztahy).

Tlak vzduchu ani rychlost větru tedy v modelu nepoužijeme. Budeme uvažovat pouze vliv teploty, protože ten se nám jako jediný podařilo statisticky dokázat. Pokusíme se predikovat četnost bouřek na příštích 10 let, tedy do roku 2031. Nejprve si zjistíme předpoklad teploty na toto období. Budeme uvažovat průměrnou roční teplotu za uplynulých 20 let (tedy období 2002 až 2021). Pomocí lineární regrese získáme předpokládanou roční průměrnou teplotu pro každý rok zvlášť. Na základě této teploty odhadneme průměrnou roční dobu trvání bouřek. Predikovaná teplota a doba trvání bouřek na příštích 10 let je zobrazena v tabulce 5.10.

Tabulka 5.10: Predikovaná teplota a doba trvání bouřek v příštích 10 letech pro LKPR

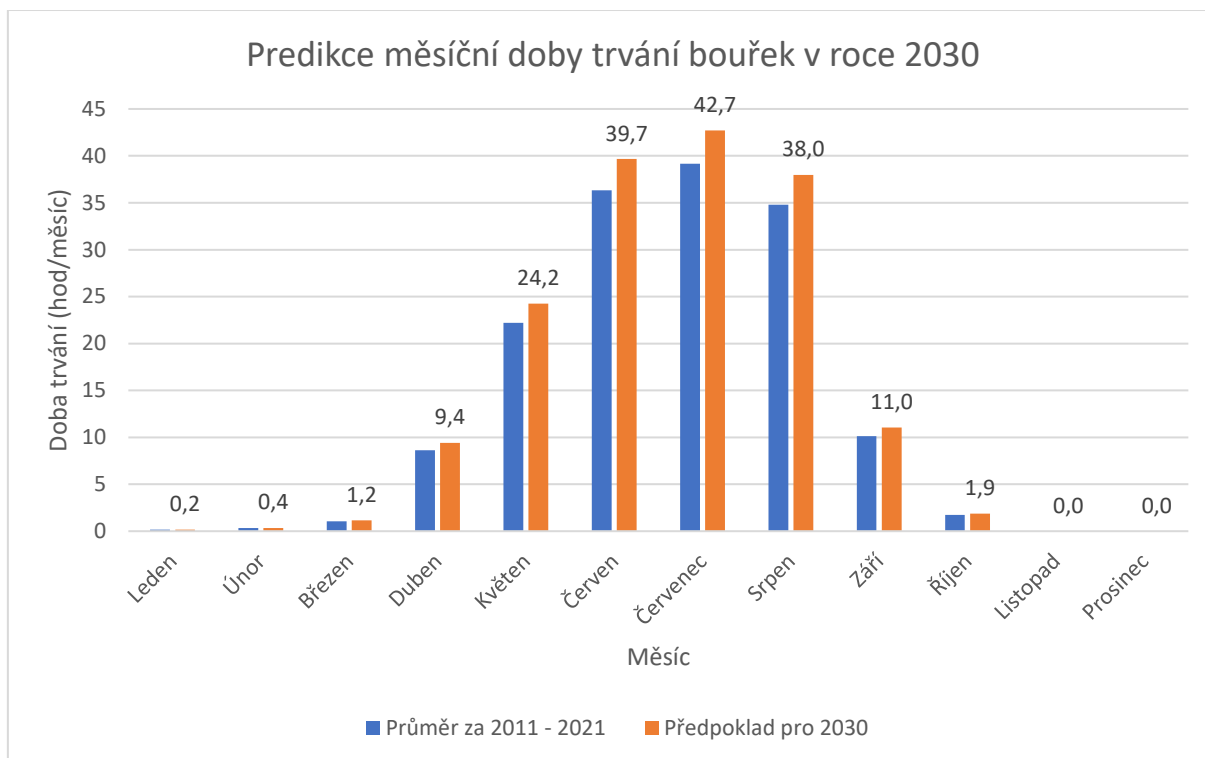
Rok	Předpokládaná průměrná roční teplota (°C)	Predikce doby trvání bouřek (hod/rok)
2022	9,82	159,78
2023	9,87	160,89
2024	9,92	162,00
2025	9,97	163,11
2026	10,02	164,21
2027	10,07	165,32
2028	10,12	166,43
2029	10,17	167,54
2030	10,22	168,64
2031	10,27	169,75

Predikované hodnoty doby trvání bouřek v příštích 10 letech můžeme porovnat s dobou trvání bouřek v uplynulých 10 let. Průměrná roční doba trvání bouřek za uplynulé desetiletí činila 154,54 hod/rok. Predikovaná průměrná roční doba trvání bouřek za příští desetiletí činí 164,77 hod/rok, což je 6,61% předpokládaný nárůst v průměrné roční době trvání bouřek za desetileté období. Predikce doby trvání bouřek v příštích 10 let v porovnání s dobou trvání bouřek v uplynulých 10 letech je znázorněna na obrázku 5.15.



Obrázek 5.15: Predikce roční doby trvání bouřek na příštích 10 let pro LKPR

Pro předpovídané roky můžeme také odhadnout dobu trvání bouřek v jednotlivých měsících. K tomu použijeme hodnoty průměrné měsíční doby trvání bouřek za uplynulé desetiletí, které jsme si představili na obrázku 5.8. Na základě hodnoty podílu doby trvání bouřek v jednotlivých měsících z celkové roční doby trvání bouřek můžeme predikovanou roční dobu trvání bouřek rozdělit právě do jednotlivých měsíců a výsledné hodnoty pak porovnat s hodnotami v uplynulém desetiletí. Příklad predikce měsíční doby trvání bouřek pro rok 2030 je zobrazen na obrázku 5.16.



Obrázek 5.16: Predikce měsíční doby trvání bouřek v roce 2030 pro LKPR

Musíme však tyto predikce brát s jistou rezervou. Uvažovali jsme pouze vliv teploty, protože ostatní vlivy se nám nepodařilo prokázat. Ve skutečnosti jsou však bouřky, ale i jiné meteorologické jevy, závislé na mnoha faktorech, a přesně predikovat jejich budoucí četnost je velice obtížné, ne-li skoro nemožné. I na základě tohoto zjednodušeného modelu však můžeme pozorovat jistý trend, který napovídá, že s měnícím se klimatem ve formě třeba právě zvyšující se teploty bude přibývat četnost bouřek ale i jiných meteorologických jevů.



6. Závěr

Práce se nejprve zabývala nepříznivými meteorologickými podmínkami v letectví. Důraz byl kladen především na jejich vznik, dělení a nebezpečí, které představují pro letectví. Dále byly popsány způsoby informování o nepříznivých meteorologických podmínkách v letectví. Zmíněny byly zejména meteorologické zprávy, předpovědi a informace, které se používají v České republice. Následovala kapitola o změně klimatu. Důraz byl kladen jak na změnu klimatu v obecném hledisku, tak rovněž v kontextu letectví. Poté bylo popsáno klima České republiky a jeho vývoj v uplynulých 60 letech. Sledovány byly základní meteorologické veličiny naměřené na meteorologické stanici Praha – Ruzyně. Následovalo představení statistiky doby trvání nepříznivých meteorologických jevů za uplynulých 10 let na Letišti Václava Havla Praha. Vybrané meteorologické jevy byly podrobeny hlubšímu zkoumání. V poslední části práce byla sledována souvislost mezi změnou klimatu a četností, resp. dobou trvání vybraných meteorologických jevů.

Práce poskytla náhled na vývoj základních meteorologických veličin, kdy evidentní je zejména nárůst teploty, který je navíc čím dál tím výraznější. Výstupem práce je také statistika doby trvání nepříznivých meteorologických podmínek pro letectví, z které plyne mírný narůstající trend doby trvání některých jevů. U vybraných meteorologických jevů byl tento trend porovnáván s nárůstem teploty a byla zjišťována jejich závislost právě na teplotě. Tu se podařilo prokázat u bouřek a sněžení. U bouřek byla sledována jejich závislost ještě na tlaku vzduchu a rychlosti větru. Tyto závislosti se však nepovedlo prokázat. Byl také vytvořen model, jehož účelem bylo predikovat dobu trvání vybraného jevu na příštích 10 let na základě předpovídaného vývoje základních meteorologických veličin. Model byl aplikován na bouřky, přičemž uvažován byl nakonec jen vliv teploty, protože ostatní závislosti se nepodařilo prokázat. Predikce naznačuje vyšší průměrnou dobu trvání bouřek v následujících letech.

Lze předpokládat, že přestože se nepovedlo některé závislosti prokázat, tak ve skutečnosti existují. Neprokázání takovýchto závislostí bylo způsobeno především malým počtem zkoumaných dat, což je hlavní limitací práce. Desetileté období je v kontextu změny klimatu příliš krátké. I přesto však lze pozorovat jistý vliv změny klimatu na výskyt meteorologických jevů a lze očekávat, že v budoucnu bude meteorologických jevů nepříznivých pro letecký provoz přibývat. Pro účely práce by bylo dále vhodnější použití jiných zpráv nebo informací, které jsou, na rozdíl od použitých zpráv, primárně zaměřené právě na informování o výskytu



meteorologických jevů nepříznivých pro letecký provoz. Záznamy těchto informací však nejsou veřejně dostupné a jejich získání je problematické.

Zpracovaná statistika výskytu nepříznivých meteorologických podmínek pro Letiště Václava Havla Praha může být dále využita třeba k analýze důsledků těchto nepříznivých meteorologických vlivů na letecký provoz na letišti, např. v podobě jejich vlivu na dočasné omezení kapacity, na zpoždění letů nebo na nutnosti odklonu letů. Statistické metody pro ověření vlivu měnícího se klimatu na výskyt meteorologických jevů a predikce jejich doby trvání v budoucnosti mohou být použity pro navazující výzkum s větším počtem dat, resp. s daty za delší časové období.



Seznam použité literatury

- [1] Česká meteorologická společnost. *Elektronický meteorologický slovník (eMS)* [online]. 2017 [cit 2022-11-04]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>
- [2] DVOŘÁK, Petr. *Letecká meteorologie*. Cheb: Svět Křidel, 2017, 456 s. ISBN 978-80-7573-014-5.
- [3] SKYbrary Aviation Safety. *Cumulonimbus (Cb)* [online]. 2022 [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/cumulonimbus-cb>
- [4] Met Office. *Cumulonimbus clouds* [online]. [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/clouds/low-level-clouds/cumulonimbus>
- [5] Cumulonimbus Clouds: Thunderstorms. In: *What's this cloud* [online]. [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://whatsthiscloud.com/cloud-types/cumulonimbus/>
- [6] *ATPL Ground Training Series: Meteorology*. Oxford: CAE Oxford Aviation Academy, 2014, 644 s. ISBN 9781906202729.
- [7] American Meteorological Society. *Glossary of Meteorology* [online]. 2020 [cit 2022-11-08]. Dostupné z: <https://glossary.ametsoc.org/wiki>
- [8] HARDING, Ken. Thunderstorm Formation and Aviation Hazards. *The Front, NWS Aviation Weather Safety Updates* [online]. 2016, 1-11 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.weather.gov/media/publications/front/11jul-front.pdf>
- [9] SKYbrary Aviation Safety. *Microburst* [online]. 2022 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/microburst>
- [10] Weather Theory. In: *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* [online]. Washington D.C.: Federal Aviation Administration, 2016 [cit. 2022-11-10]. ISBN 978-1719325905. Dostupné z: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/14_phak_ch12.pdf
- [11] SKYbrary Aviation Safety. *Tornado* [online]. 2022 [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/tornado>
- [12] LESTER, Peter F. *Aviation Weather*. 4th edition. Colorado: Jeppesen, 2013, 612 s. ISBN 978-0-88487-593-2
- [13] World Meteorological Organization (WMO). *Aviation | Hazards | Precipitation* [online]. 2020 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://community.wmo.int/activity-areas/aviation/hazards/precipitation>



- [14] SKYbrary Aviation Safety. *In-Flight Icing* [online]. 2022 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/articles/flight-icing>
- [15] YIUHA, Cao, Tan WENYUAN a Wu ZHENLONG. Aircraft icing: An ongoing threat to aviation safety. *Aerospace Science and Technology* [online]. 2018, **75**(2018), 353-385 [cit. 2022-11-10]. ISSN 1270-9638. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.12.028>
- [16] Bureau of Meteorology: Aviation Weather Services. *Hazardous Weather Fenomena: Airframe Icing* [online]. 2015 [cit. 2022-11-10] Dostupné z: <http://www.bom.gov.au/aviation/data/education/icing.pdf>
- [17] The Jet Stream. In: *National Weather Service: National Atlantic and Oceanic Administration* [online]. [cit. 2022-11-11]. Dostupné z: <https://www.weather.gov/jetstream/jet>
- [18] HUDSON, Ed, David AIHOSHI, Tim GAINES, Gilles SIMMARD a John MULLOCK. *The Weather of Nunavut and the Arctic: Graphic Area Forecast 36 and 37* [online]. 2005 [cit. 2022-11-11]. Dostupné z: <https://www.navcanada.ca/en/lawm-arctic-en.pdf>
- [19] STORER, Luke N., Paul D. WILLIAMS a Phillip G. GILL. Aviation Turbulence: Dynamics, Forecasting, and Response to Climate Change. *Pure and Applied Geophysics* [online]. 2018, **176**(2019), 2081-2095 [cit. 2022-11-11]. ISSN 1420-9136. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1822-0>
- [20] ROSE, Bill, PRATA, Fred. Volcanic Ash Hazards to Aviation. In: SIGURDSSON, Haraldur. *The Encyclopedia of Volcanoes* [online]. 2nd edition. 2015, s. 911-934. ISBN 978-0-12-385938-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00052-3>
- [21] Letecký předpis L3 – Meteorologie. In: *AIM, Letecká informační služba ŘLP ČR* [online]. Ministerstvo dopravy České republiky, 2021 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-3/index.htm>
- [22] Letiste: LKPR. In: *METEO* [online]. ŘLP ČR, 15.11.2022 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: http://meteo.rlp.cz/LKPR_meteo.htm
- [23] HABRNAL, Lukáš. Rozumět řeči METAR a TAF. *AirGuru.cz: Staňte se lepším pilotem* [online]. 30. 1. 2022 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://www.airguru.cz/clanky/metar>
- [24] *Aerodrome Reports and Forecasts: A Users' Handbook to the Codes* [online]. 2022 edition. Geneva: World Meteorological Organization, 2022 [cit. 2022-11-15]. ISBN 978-92-63-10782-4. Dostupné z: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11220
- [25] SIGMET pro CR. In: *METEO* [online]. ŘLP ČR, 1.7.2022 [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: http://meteo.rlp.cz/LKPR_meteo.htm
- [26] Predpoved GAMET pro CR. In: *METEO* [online]. ŘLP ČR, 16.11.2022 [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: http://meteo.rlp.cz/LKPR_meteo.htm



- [27] Mapa význačného počasí. In: *Počasí pro létání* [online]. Český hydrometeorologický ústav, 16.11.2022 [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/predpovedi/predpovedi-pocasi/letecke/sw-mapa>
- [28] KALVOVÁ, Jaroslava, Jiří MIKŠOVSKÝ a Aleš RAIDL. Klima a jeho změny. In: BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. *Atmosféra a klima: Aktuální otázky ochrany ovzduší* [online]. Praha: Karolinum, 2009, s. 280-324 [cit. 2022-11-23]. ISBN 978-80-246-3118-9. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/atmosfera-a-klima-aktualni-otazky-znecistení-ovzduši-1008929/#>
- [29] Český hydrometeorologický ústav. *Změna klimatu* [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace#>
- [30] SINGH, Suruchi, Pardeep SINGH, S. RANGABHASHIYAM a K. K. SRIVASTAVA, ed. *Global Climate Change* [online]. Elsevier, 2021, 444 s. [cit. 2022-11-23]. ISBN 978-0-12-822928-6. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/reader.action?docID=6515000>
- [31] HOSPODKA, Jakub a Stanislav PLENINGER. *Vliv letecké dopravy na atmosféru: Problematika začlenění leteckých společností do EU ETS*. Praha: Česká vysoké učení technické v Praze, 2015, 100 s. ISBN 978-80-01-05824-4.
- [32] BURBIDGE, Rachel. Adapting aviation to a changing climate: Key priorities for action. *Journal of Air Transport Management* [online]. 2018, **71**(2018), 167-174 [cit. 2022-11-23]. ISSN 0969-6997. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.04.004>
- [33] METEO AKTUALITY. *České klima* [online]. 2022 [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://www.pocasimeteoaktuality.cz/klimatologie/podnebi-sveta/klima-v-cr/>
- [34] Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2021. In: *Mapy charakteristik klimatu* [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T_2021.gif



Přílohy

A. Přehled měsíční doby trvání vybraných meteorologických jevů

Doba trvání (hod/měsíc)		Meteorologický jev					
		déšť	sněžení	mlha	bouřka	námraza	nárazový vítr
Rok	Měsíc	RA	SN	FG	TS	FZ	G
2012	Leden	79,1	88,2	0,0	0,0	0,0	40,9
2012	Únor	40,9	108,3	0,0	0,0	0,0	13,6
2012	Březen	48,0	8,1	10,0	0,0	0,0	16,3
2012	Duben	105,9	1,8	0,0	4,6	0,0	7,4
2012	Květen	48,4	0,0	0,0	15,5	0,0	5,5
2012	Červen	81,0	0,0	3,6	10,8	0,0	14,4
2012	Červenec	122,9	0,0	8,6	56,7	0,0	24,9
2012	Srpen	98,6	0,0	0,0	24,9	0,0	1,7
2012	Září	78,9	0,0	1,8	12,6	0,0	9,9
2012	Říjen	63,3	30,9	90,1	0,0	0,0	5,5
2012	Listopad	76,8	12,7	98,4	0,0	31,3	3,7
2012	Prosinec	77,1	109,4	32,3	0,0	16,6	4,1
2012	Celkem	920,8	359,5	244,7	125,1	47,9	147,9
2013	Leden	95,8	147,1	32,8	0,0	37,0	13,5
2013	Únor	42,2	199,7	51,9	0,0	30,0	1,6
2013	Březen	30,7	131,7	46,9	0,0	0,0	1,8
2013	Duben	72,1	18,0	0,0	11,4	0,0	5,7
2013	Květen	171,6	0,0	34,0	29,7	0,0	16,1
2013	Červen	174,1	0,0	7,0	21,0	0,0	3,5
2013	Červenec	33,1	0,0	0,0	12,3	0,0	1,1
2013	Srpen	107,6	0,0	0,9	32,2	0,0	16,6
2013	Září	86,9	0,0	26,6	5,3	0,0	3,5
2013	Říjen	54,7	0,0	89,8	1,4	0,0	9,5
2013	Listopad	67,0	7,5	40,5	0,0	11,0	7,5
2013	Prosinec	30,0	39,5	145,7	0,0	77,8	29,5
2013	Celkem	965,7	543,4	476,1	113,3	155,9	109,8
2014	Leden	46,3	88,5	104,2	0,0	13,4	5,1
2014	Únor	12,1	10,1	0,0	0,0	5,5	0,5
2014	Březen	84,6	6,5	43,0	2,3	12,5	25,0
2014	Duben	71,2	0,0	37,4	27,5	0,0	7,7
2014	Květen	146,0	0,0	8,4	37,7	0,0	8,4



2014	Červen	54,7	0,0	0,0	15,4	0,0	1,5
2014	Červenec	80,5	0,0	6,0	39,0	0,0	5,0
2014	Srpen	120,9	0,0	5,1	28,7	0,0	11,0
2014	Září	125,1	0,0	67,0	21,9	0,0	0,7
2014	Říjen	73,7	0,0	105,2	1,6	8,9	4,0
2014	Listopad	39,3	0,0	104,4	0,0	0,0	0,8
2014	Prosinec	81,1	59,3	28,3	0,0	29,2	57,4
2014	Celkem	935,5	164,3	509,0	174,2	69,5	127,2
2015	Leden	66,2	110,3	15,8	0,0	4,7	62,3
2015	Únor	4,4	63,5	0,0	0,0	0,0	16,8
2015	Březen	117,5	32,5	0,0	5,0	0,0	60,8
2015	Duben	67,0	62,8	8,5	10,2	0,0	42,4
2015	Květen	103,0	0,0	0,9	5,5	0,0	13,7
2015	Červen	86,5	0,0	6,7	26,1	0,0	22,4
2015	Červenec	77,5	0,0	0,0	43,2	0,0	56,7
2015	Srpen	105,4	0,0	0,0	25,2	0,0	11,9
2015	Září	55,8	0,0	23,1	4,5	0,0	17,9
2015	Říjen	99,8	0,0	27,6	0,0	0,0	0,0
2015	Listopad	113,1	37,4	30,6	0,0	9,4	76,5
2015	Prosinec	44,1	2,5	71,6	0,0	0,0	15,0
2015	Celkem	940,4	309,0	184,7	119,7	14,1	396,2
2016	Leden	43,8	175,8	51,1	0,0	38,7	7,3
2016	Únor	107,2	96,6	3,3	0,0	3,3	39,3
2016	Březen	94,5	43,0	28,7	0,0	18,6	8,4
2016	Duben	95,9	9,0	0,0	1,8	0,0	7,2
2016	Květen	80,6	0,0	13,6	33,5	0,0	11,8
2016	Červen	126,8	0,0	6,9	50,4	0,0	5,2
2016	Červenec	116,4	0,0	0,0	52,8	0,0	11,6
2016	Srpen	44,5	0,0	0,0	10,8	0,0	4,3
2016	Září	28,0	0,0	5,0	7,5	0,0	1,5
2016	Říjen	129,3	0,0	29,4	1,2	0,0	1,2
2016	Listopad	85,9	25,7	85,9	0,0	4,8	2,4
2016	Prosinec	85,0	21,1	88,9	0,0	71,0	20,3
2016	Celkem	1037,8	371,1	312,7	158,0	136,3	120,5
2017	Leden	9,9	207,8	100,0	0,0	70,2	22,5
2017	Únor	57,8	17,2	66,3	0,0	46,0	38,2
2017	Březen	88,9	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8
2017	Duben	161,5	3,4	3,4	10,3	0,0	12,9
2017	Květen	61,0	0,0	5,2	45,3	0,0	15,7
2017	Červen	103,0	0,0	9,2	64,5	0,0	39,3
2017	Červenec	121,0	0,0	0,0	47,5	0,0	13,0
2017	Srpen	86,4	0,0	10,6	41,4	0,0	10,6



2017	Září	96,4	0,0	25,9	0,0	0,0	17,0
2017	Říjen	146,2	0,0	104,4	3,9	0,0	46,4
2017	Listopad	163,2	21,1	63,3	0,0	6,2	6,2
2017	Prosinec	52,2	114,0	38,8	0,0	23,7	19,8
2017	Celkem	1147,4	363,5	427,1	212,9	146,2	276,4
2018	Leden	53,1	80,9	19,8	1,6	0,0	44,4
2018	Únor	9,6	61,6	5,2	0,0	1,7	0,9
2018	Březen	95,0	113,7	1,7	0,0	1,7	3,4
2018	Duben	42,0	0,0	1,0	8,6	0,0	36,2
2018	Květen	59,4	0,0	3,7	35,3	0,0	1,9
2018	Červen	107,3	0,0	2,6	44,0	0,0	16,7
2018	Červenec	60,7	0,0	4,5	19,0	0,0	6,3
2018	Srpen	80,0	0,0	0,0	46,7	0,0	13,5
2018	Září	103,0	0,0	12,3	15,0	0,0	19,4
2018	Říjen	58,0	0,0	81,8	0,0	0,0	32,4
2018	Listopad	26,9	31,5	136,9	0,0	33,8	1,5
2018	Prosinec	132,4	55,5	16,0	0,0	9,9	47,2
2018	Celkem	827,2	343,3	285,6	170,1	47,2	223,8
2019	Leden	91,9	233,2	0,0	0,0	3,5	74,2
2019	Únor	50,3	77,9	17,0	2,4	26,8	20,3
2019	Březen	115,3	20,6	3,3	2,5	0,0	115,3
2019	Duben	58,7	0,9	0,0	6,6	0,0	18,9
2019	Květen	189,6	0,8	0,8	11,0	0,0	14,4
2019	Červen	63,0	0,0	0,0	45,6	0,0	11,0
2019	Červenec	79,2	0,0	0,0	49,6	0,0	13,9
2019	Srpen	143,9	0,0	0,9	43,4	0,0	15,6
2019	Září	112,3	0,0	0,0	14,3	0,0	25,8
2019	Říjen	92,1	0,0	126,2	4,0	4,8	8,7
2019	Listopad	92,8	4,8	60,5	0,0	20,2	4,0
2019	Prosinec	60,6	28,4	127,3	0,0	34,5	19,2
2019	Celkem	1149,8	366,7	336,2	179,4	89,8	341,4
2020	Leden	78,8	2,5	75,5	0,0	56,7	29,6
2020	Únor	144,6	81,4	0,0	0,8	0,0	116,1
2020	Březen	125,9	23,2	6,3	0,0	0,0	25,9
2020	Duben	35,1	1,0	0,0	1,9	0,0	6,8
2020	Květen	136,6	0,0	11,5	5,3	0,0	19,5
2020	Červen	166,6	0,0	14,7	46,6	0,0	10,4
2020	Červenec	90,3	0,0	0,0	25,0	0,0	23,3
2020	Srpen	141,2	0,0	4,3	68,0	0,0	21,5
2020	Září	82,5	0,0	10,1	17,4	0,0	0,0
2020	Říjen	161,5	0,0	8,7	5,2	0,0	5,2
2020	Listopad	46,3	0,0	143,2	0,0	63,7	1,7



2020	Prosinec	71,2	28,0	25,4	0,0	0,0	24,6
2020	Celkem	1280,8	136,0	299,7	170,4	120,4	284,5
2021	Leden	72,4	277,8	108,4	0,0	38,4	6,9
2021	Únor	52,0	102,6	105,5	0,0	31,5	6,6
2021	Březen	71,2	120,3	62,2	0,8	32,7	32,7
2021	Duben	81,2	99,5	0,0	3,5	0,0	18,3
2021	Květen	207,4	0,0	0,8	3,4	0,0	29,6
2021	Červen	89,8	0,0	0,0	39,1	0,0	7,1
2021	Červenec	136,1	0,0	0,0	46,2	0,0	16,5
2021	Srpen	172,8	0,0	14,2	26,7	0,0	6,7
2021	Září	48,8	0,0	12,9	2,8	0,0	0,9
2021	Říjen	61,7	0,0	49,0	0,0	8,2	21,8
2021	Listopad	73,6	56,5	48,3	0,0	4,1	15,5
2021	Prosinec	80,1	88,4	14,0	0,0	9,1	11,6
2021	Celkem	1147,2	745,0	415,3	122,5	124,0	174,3



B. Kompletní statistika doby trvání všech zkoumaných jevů

2012	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	0,0	79,1	88,2	3,6	0,0	0,0	3,6	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	40,9
Únor	0,0	40,9	108,3	0,0	0,0	0,0	0,9	55,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	13,6
Březen	3,6	48,0	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,3
Duben	0,0	105,9	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4
Květen	0,9	48,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5
Červen	0,0	81,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,2	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	14,4
Červenec	0,0	122,9	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	23,2	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,9
Srpen	0,0	98,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7
Září	0,0	78,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9
Říjen	37,1	63,3	30,9	0,0	4,8	0,0	0,0	146,5	90,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5
Listopad	20,1	76,8	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	142,4	98,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	31,3	3,7
Prosinec	6,6	77,1	109,4	0,0	0,0	0,0	0,0	96,9	32,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	16,6	4,1

2013	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	21,0	95,8	147,1	0,8	0,8	0,0	0,0	185,8	32,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	13,5
Únor	9,7	42,2	199,7	0,0	0,0	0,0	0,0	214,3	51,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	1,6
Březen	9,9	30,7	131,7	0,0	0,0	0,0	0,0	130,8	46,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
Duben	3,8	72,1	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7
Květen	7,6	171,6	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	56,1	34,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,7	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	16,1
Červen	0,0	174,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,1	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5
Červenec	0,0	33,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
Srpen	0,9	107,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,2	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6
Září	0,0	86,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,1	26,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5
Říjen	5,4	54,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,4	89,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5
Listopad	6,5	67,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	80,4	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	7,5
Prosinec	30,6	30,0	39,5	0,0	0,0	0,0	0,0	92,3	145,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	77,8	29,5

2014	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	13,0	46,3	88,5	3,7	0,0	0,0	0,0	334,5	104,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	5,1
Únor	3,5	12,1	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	43,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,5
Březen	0,0	84,6	6,5	0,0	0,0	0,0	1,4	89,6	43,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	12,5	25,0
Duben	0,9	71,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	64,9	37,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7
Květen	7,1	146,0	0,0	0,0	0,0	2,2	1,3	31,1	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
Červen	0,0	54,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Červenec	0,5	80,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
Srpen	0,0	120,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
Září	8,9	125,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,7	67,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
Říjen	4,0	73,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	185,4	105,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	4,0
Listopad	38,4	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	194,6	104,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Prosinec	26,4	81,1	59,3	0,0	0,0	0,0	1,8	121,3	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	29,2	57,4

2015	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	29,2	66,2	110,3	0,0	0,0	0,0	3,9	65,4	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	4,7	62,3
Únor	0,0	4,4	63,5	0,0	0,0	0,0	0,0	44,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8
Březen	0,0	117,5	32,5	0,0	0,0	0,0	1,7	36,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	60,8
Duben	2,5	67,0	62,8	0,0	0,0	0,0	2,5	5,1	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,4
Květen	0,0	103,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7
Červen	8,2	86,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	22,4
Červenec	0,7	77,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,2	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	56,7
Srpen	5,9	105,4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	25,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9
Září	0,0	55,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	23,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,9
Říjen	6,2	99,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	145,2	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Listopad	0,0	113,1	37,4	0,0	0,0	0,0	0,0	58,7	30,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	76,5
Prosinec	12,5	44,1	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	75,7	71,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0

2016	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	10,9	43,8	175,8	0,0	0,0	0,0	0,0	158,3	51,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,7	7,3
Únor	13,1	107,2	96,6	0,0	0,0	0,0	0,0	58,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	39,3
Březen	5,1	94,5	43,0	0,0	0,0	0,0	1,7	57,4	28,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,6	8,4
Duben	21,5	95,9	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	7,2
Květen	0,0	80,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	12,7	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8
Červen	1,7	126,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2
Červenec	0,0	116,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,8	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6
Srpen	3,6	44,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3
Září	1,0	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Ríjen	17,8	129,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,2	29,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
Listopad	14,4	85,9	25,7	0,0	0,0	0,0	0,0	107,6	85,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	2,4
Prosinec	0,8	85,0	21,1	0,8	0,0	0,0	0,0	86,6	88,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	71,0	20,3

2017	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	0,0	9,9	207,8	4,6	1,3	0,0	0,0	156,9	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,2	22,5
Únor	0,0	57,8	17,2	0,8	0,0	0,0	0,8	172,5	66,3	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	38,2
Březen	3,7	88,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8
Duben	2,6	161,5	3,4	0,0	0,0	0,0	10,3	19,8	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9
Květen	0,0	61,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7
Červen	0,8	103,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	7,5	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,5	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,3
Červenec	1,7	121,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0
Srpen	0,0	86,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
Září	9,8	96,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,1	25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0
Ríjen	12,4	146,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	60,3	104,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,4
Listopad	14,8	163,2	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0	122,6	63,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	6,2
Prosinec	1,6	52,2	114,0	0,8	0,0	0,0	0,0	36,4	38,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	23,7	19,8

2018	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G	
Leden	5,6	53,1	80,9	0,0	0,0	0,0	1,6	107,1	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,4	
Únor	0,0	9,6	61,6	5,2	0,0	0,0	0,0	71,2	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,9
Březen	0,0	95,0	113,7	0,0	0,0	0,0	0,0	98,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	3,4
Duben	0,0	42,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	36,2
Květen	0,0	59,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
Červen	3,5	107,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	14,9	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7
Červenec	0,0	60,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,6	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	6,3	
Srpen	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	13,5
Září	6,2	103,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	22,0	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,4
Říjen	12,8	58,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,6	81,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4
Listopad	23,1	26,9	31,5	0,0	0,0	0,0	0,0	188,5	136,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,8	1,5
Prosinec	12,2	132,4	55,5	0,8	0,8	0,0	0,8	62,4	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	47,2

2019	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G	
Leden	5,7	91,9	233,2	3,5	0,0	0,0	0,0	70,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	74,2
Únor	1,6	50,3	77,9	0,0	0,0	0,0	3,2	68,2	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,8	20,3
Březen	3,3	115,3	20,6	0,0	0,0	0,0	9,9	11,5	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	115,3
Duben	0,0	58,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9
Květen	1,7	189,6	0,8	0,0	0,0	0,8	0,0	19,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4
Červen	0,0	63,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,6	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	11,0	
Červenec	0,0	79,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,6	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	13,9	
Srpen	0,0	143,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,4	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6
Září	0,9	112,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8
Říjen	12,7	92,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,3	126,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	8,7
Listopad	9,7	92,8	4,8	0,8	0,0	0,0	0,0	131,6	60,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	4,0
Prosinec	1,5	60,6	28,4	0,0	0,0	0,0	0,8	62,9	127,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,5	19,2

2020	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	9,0	78,8	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	143,7	75,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	56,7	29,6
Únor	0,0	144,6	81,4	0,0	0,8	0,0	3,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	116,1
Březen	0,0	125,9	23,2	0,0	0,0	0,0	1,8	17,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,9
Duben	0,0	35,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8
Květen	0,0	136,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	20,4	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5
Červen	3,5	166,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,6	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4
Červenec	0,0	90,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3
Srpen	5,2	141,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5
Září	1,8	82,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Říjen	12,2	161,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,1	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2
Listopad	23,2	46,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,6	143,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,7	1,7
Prosinec	5,9	71,2	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,2	25,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,6

2021	DZ	RA	SN	SG	PL	GR	GS	BR	FG	HZ	DU	SA	FU	VA	TS	PO	SQ	FC	DS	SS	WS	FZ	G
Leden	6,9	72,4	277,8	0,6	1,3	0,0	0,0	139,2	108,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4	6,9
Únor	11,7	52,0	102,6	0,7	0,7	0,0	0,0	159,8	105,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,5	6,6
Březen	1,6	71,2	120,3	0,0	0,0	0,0	2,5	57,3	62,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,7	32,7
Duben	0,0	81,2	99,5	0,0	1,7	0,0	5,2	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3
Květen	0,0	207,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6
Červen	0,0	89,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
Červenec	3,3	136,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5
Srpen	6,7	172,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
Září	4,6	48,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,6	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
Říjen	0,9	61,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,8	49,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	21,8
Listopad	7,4	73,6	56,5	0,0	0,0	0,0	0,0	138,3	48,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	15,5
Prosinec	11,6	80,1	88,4	0,8	0,8	0,0	0,0	71,8	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	11,6