

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ



Česká zemědělská univerzita v Praze  
**Fakulta životního  
prostředí**

**Kolik dní v roce se dají sbírat data pomocí bezpilotních leteckých systémů?**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Jan Komárek, Ph.D.

Bakalant: Martin Vávra

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Vávra

Územní technická a správní služba

Název práce

**Kolik dní v roce se dají sbírat data pomocí bezpilotních leteckých systémů?**

Název anglicky

**How many days are suitable to collect data using Unmanned Aerial Systems during a year?**

---

### Cíle práce

Cílem práce je ověřit maximální temporální rozlišení bezpilotních systémů s ohledem na meteorologické aspekty jejich provozu. Autor na základě analýzy volně dostupných meteorologických dat zhodnotí využitelnost bezpilotních systémů s ohledem na časové hledisko. Autor zodpoví otázku, kolik dní v roce jsou přijatelné meteo-podmínky pro provoz bezpilotních systémů na území ČR.

### Metodika

Autor využije meteorologických dat z volně dostupných archivů. Po získání a vhodné úpravě pozorovacích dat stanoví meteo-podmínky provozu na základě poznatků z vědecké literatury. Autor s využitím stanovených podmínek analyzuje a vyhodnotí data v tabulkovém procesoru MS Excel. Zpracovaná data autor prostorově vizualizuje v programu ArcGIS Online, kde vytvoří odpovídající mapové výstupy.

**Doporučený rozsah práce**

30-50 normostran

**Klíčová slova**

UAV, počasí, vítr, srážky, teplota

---

**Doporučené zdroje informací**

DUFFY, J. P., et al. Location, location, location: considerations when using lightweight drones in challenging environments. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2018, 4.1: 7-19.  
PAJARES, G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2015, 81.4: 281-330.  
RATNOO, A.; SUJIT, P. B.; KOTHARI, M. Adaptive optimal path following for high wind flights. *IFAC Proceedings Volumes*, 2011, 44.1: 12985-12990.  
TICHÝ, T. – KARAS, J. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

**Konzultant**

Ing. Kateřina Gdulová (ArcGIS Online)

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

**doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 19. 03. 2019

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Janu Komárkovi, Ph.D. za věnovaný čas, odborné rady, konzultace a věcné připomínky během vedení této bakalářské práce. Také děkuji Ing. Kateřině Gdulové za konzultace ohledně ArcGIS Online. Mé poděkování patří také poskytovatelům meteorologických dat ze společnosti Rospisaniye Pogodi Ltd., bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

Zvláště pak děkuji svojí rodině za veškerou podporu během celého studia.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Jana Komárka, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a zdroje, ze kterých jsem čerpal v souladu s metodickými pokyny vydanými Fakultou životního prostředí v Praze.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí elektronickou odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

-----  
Martin Vávra  
Jméno a podpis studenta

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá působením a vlivem náročných klimatických a povětrnostních podmínek na provoz dronů a sbírání dat. Primárním záměrem je posoudit míru využitelnosti bezpilotních systémů k celodennímu sběru dat v ročním měřítku. Použitá metodika k dosažení požadovaných výsledků spočívá v získání volně dostupných historických dat, posbíraných na jednadvaceti meteorologických stanicích, rozmístěných na území České republiky a jejich následnému rozboru. K analýze byl zvolen rok 2017, který byl posuzován na základě šesti stanovených podmínek v tabulkovém softwaru MS Excel. Z výsledků práce je patrné, že existuje poměrně významná relace mezi meteorologickými aspekty a provozem dronů, respektive sběrem dat. V uvažovaném roce se v průměru ve 186 dnech dalo nasadit dron pro celodenní sbírání dat. Ostatní dny byly největší mírou ovlivněny podmínkou zaměřenou na maximální hodnoty mokré atmosférické depozice.

**Klíčová slova:** UAV, počasí, vítr, srážky, teplota

## **Abstract**

The topic of this bachelor thesis is the impact and influence of severe climatic and weather conditions on the operation of UAS and data collection. The primary aim is to assess the level of applicability of UAS for continuous data collection on a year scale. Used methodology to achieve desired conclusion comprises of accomplishment and evaluation of accessible historical data collected in 21 meteorological stations located in the Czech Republic. Analysed data was from year 2017 which was assessed according to 6 established limiting conditions in MS Excel. From the results of the thesis it is obvious that there is a strong relation between the meteorological aspects and the operation of UAS and the collection of data respectively. In the year concerned, there was 186 days on average when the UAS could be used for a daylong collection of data. The other days were strongly affected by the fact that the meteorological conditions were above limits of the wet atmospheric deposition.

**Keywords:** UAV, weather, wind, precipitation, temperature

# Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>10</b>
<b>3. LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>11</b>
3.1 BEZPILOTNÍ SYSTÉMY V HISTORII .....	11
3.2 DRUHY BEZPILOTNÍCH LETECKÝCH SYSTÉMŮ .....	13
3.3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ UAS .....	15
3.3.1 UAS a životní prostředí.....	17
3.4 POČASÍ A JEHO VLIV NA UAS .....	20
3.5 LEGISLATIVA UPRAVUJÍCÍ UAS V ČR.....	22
3.5.1 Doplněk X – Bezpilotní systémy .....	23
3.5.1.1 Vzdušné prostory.....	23
3.5.1.2 Vybrané podmínky provozu UAS.....	24
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>26</b>
4.1 POUŽITÁ DATA A JEJICH ÚPRAVA .....	26
4.2 VYHODNOCENÍ DAT .....	27
4.3 VIZUALIZACE DAT .....	28
<b>5. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ</b> .....	<b>29</b>
5.1 KLIMATICKÉ OBLASTI ČR .....	31
5.2 PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VĚTRU V 10 M .....	33
5.3 PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VĚTRU V 100 M .....	34
<b>6. VÝSLEDKY PRÁCE</b> .....	<b>35</b>
6.1 ZHODNOCENÍ LIMITNÍCH PODMÍNEK.....	36
6.2 ÚZEMÍ S NEJPŘIJATELNĚJŠÍMI A NEJMÉNĚ VHODNÝMI PODMÍNKAMI .....	37
<b>7. DISKUZE</b> .....	<b>39</b>
<b>8. ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE</b> .....	<b>41</b>
<b>9. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>42</b>
<b>10. PŘÍLOHY</b> .....	<b>46</b>

#### Seznam obrázků:

Obr. 1.: Jeden z prvních UAV - Kettering bug

Obr. 2.: Rozdělení dronů podle typu křídel

Obr. 3.: Oktokoptéra Agras MG-1S

Obr. 4.: Rozmístění použitých meteorologických stanic v ČR

Obr. 5.: Klimatické oblasti ČR

Obr. 6.: Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí

Obr. 7.: Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad zemí

Obr. 8.: Ukázka prostorové vizualizace zpracovaných dat

Obr. 9.: Zastoupení limitních podmínek

#### Seznam tabulek:

Tab. 1.: Porovnání skupin dronů rozdělených podle velikosti

Tab. 2.: Stanice s počty dní vhodných k použití UAS

Tab. 3.: Podrobné výsledky ze stanice v Českých Budějovicích

Tab. 4.: Podrobné výsledky ze stanice z obce Mošnov



## 1. Úvod

Bezpilotní letecké systémy (UAS), nebo-li drony, se stávají stále více přitažlivější pro odborníky, vědce a také pro běžné uživatele. Nepříliš finančně náročné systémy s možností vysoké frekvence sběru dat v detailním rozlišení a schopností flexibilního a přesného zaměření se na požadovanou lokalitu, nabízejí jakousi revoluci v oblasti sběru dat. Bezpilotní systémy jsou nyní běžně užívány jako součást metodiky dálkového průzkumu země a vědecká literatura nabízí plno příkladů využití této metody. Čím dál častěji se můžeme setkat s možnostmi jejich využití složkami integrovaného záchranného systému a v oblasti transportu a logistiky. Aby ale bezpilotní letecké systémy mohli vůbec vzlétnout, jsou zapotřebí vhodné meteorologické podmínky, které mohou dobu jejich potenciální aplikace zásadně ovlivnit.

Sbírání dat pomocí dronů je často označováno jako způsob, který lze realizovat téměř kdykoliv. Takové tvrzení je ale vzhledem k vysokým nárokům na vhodné okolní podmínky značně nadsazené. Vyhovující podmínky hrají zvláště důležitou roli pro lety, při nichž je hlavním cílem získat kvalitní a použitelná data. Déšť má například negativní vliv na elektroniku přístroje a kvalitu obrazu. Silné poryvy větru potom mohou ovlivnit přesnost předem nastavené trasy a ostrost snímků nebo videa.

Práce se snaží zmapovat míru aplikovatelnosti bezpilotních leteckých systémů na území České republiky (ČR) s ohledem na potřebu plnění určitých meteorologických minim, k čemuž byla přizpůsobena i struktura práce. Část literární rešerše byla věnována rozboru možných limitních meteo-podmínek a jejich vlivu na provoz bezpilotních systémů, na základě čeho byly stanoveny maximální denní přípustné hodnoty pro provoz a sběr dat. Odpověď na otázku, kolik dní v roce se dají sbírat data pomocí leteckých bezpilotních systémů na území České republiky, je zodpovězena v praktické části.

Práce je strukturována do kapitol, ve kterých je podrobněji rozebrán právě probíraný úsek problematiky. Většina zdrojů, ze kterých bylo čerpáno, pochází z vědecké literatury. V praktické části bylo pracováno pouze s volně dostupnými meteorologickými daty.

## 2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je především zhodnotit, jak velký vliv mají meteorologické podmínky na nasazení leteckých bezpilotních systémů ke sběru dat.

Díličními otázkami jsou:

- Kolik dní v roce 2017 byly na území ČR přijatelné meteorologické podmínky pro využití leteckých bezpilotních systémů k celodennímu sběru dat?
- Jaký z meteorologických faktorů byl nejvíce limitující?
- Na jakých studovaných lokalitách panovaly v roce 2017 nejhorší a naopak nejlepší podmínky pro nasazení dronů?

Dalšími cíli jsou:

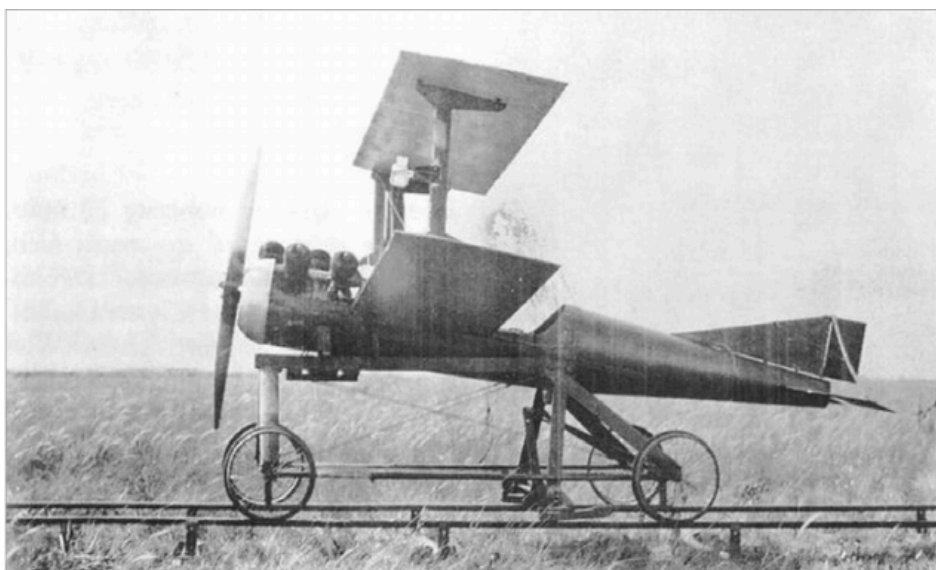
- Vypracovat kvalitní literární rešerši o současných typech a možnostech bezpilotních systémů.
- Vymezit možné meteorologické aspekty ovlivňující nasazení dronů.
- Vizualizovat zpracovaná data v programu ArcGIS Online.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Bezpilotní systémy v historii

Kořeny dnešních bezpilotních letounů sahají mnohem hlouběji, než se na první pohled může zdát. Autoři Wagner a Sloan posouvají počátky historie UAS do období před 2000 lety. Byl to mladý muž v Číně, který podle nich jako první dokázal ovládat létající předmět na dálku. Stačil mu k tomu létající drak, správný vítr a provázek, kterým řídil směr a výšku. Zanedlouho Číňané dokázali použít své draky proti nepřátelům (Wagner a Sloan 1992). Od té doby byly zaznamenány pouze pokusy o sestrojení tzv. kluzáků, ale o další rozvoj v této oblasti se postarali až horkovzdušné balony. V polovině 19.století Rakousko-Uherské vojsko vypustilo ze svých lodí více než 100 balonů plné výbušnin za účelem zničit město Benátky (Brook 2016). Známý vynálezce Nikola Tesla, mozek mnoha revolučních nápadů, stál také u počátku vývoje moderních bezpilotních letounů. V roce 1898 si nechal patentovat dálkové ovládání na motorovou loďku, nebo-li teleautomatizaci. Sice se nejednalo o bezpilotní letoun, ale jeho poznámky později prozradily vynálezci myšlenky nad jeho sestrojením (Karas a Tichý 2016). Na přelomu 19. a 20. století, krátce po vynalezení lehké a zmenšené kamery s integrovanou časovou spouští, napadlo německého lékárníka využít holuba pro jeden z prvních dálkových průzkumů země. Holub byl vypouštěn ze vzdálenosti až šedesáti mil a při cestě domů automaticky pořizoval fotografie. (Anonym 2013)

Vývoj dronů podmiňovaly především válečné konflikty a snaha nemrhat životy vojáků při průzkumných a bojových misích. Právě proto se dostáváme do období první světové války, kde započal rozmach moderních leteckých bezpilotních prostředků (UAVs). Jako první opravdový dron by se dal označit Angličany zkonstruovaný letoun z roku 1916, který nesl název Aerial Target (Vzdušný cíl). Primární úloha těchto letounů byla sloužit jako vhodný letící terč pro nácvik střelby (Karas a Tichý 2016). Sofistikovanější bezpilotní letadlo známé jako `Kettering Bug`, sestrojeno Charlesem F. Ketteringem na zakázku pro Americkou armádu, sloužilo jako dálkově ovládané torpédo. Američany neodradila ani ta skutečnost, že využití bylo možné pouze na poměrně krátké vzdálenosti (Oliver a Ryan 2000). Vývoj tryskových a raketových motorů během druhé světové války umožnil bezpilotně naváděným letounům létat na větší vzdálenost. Jako příklad lze uvést dálkově ovládané bomby V-1 vyvinuté v Německu. Dokázali létat na vzdálenost 250 km s maximální rychlostí 640 km/h. Vylepšený model V-2, s kterým přišli němečtí vývojáři o pár let později, měl maximální dolet až 320 km (Brook 2016).



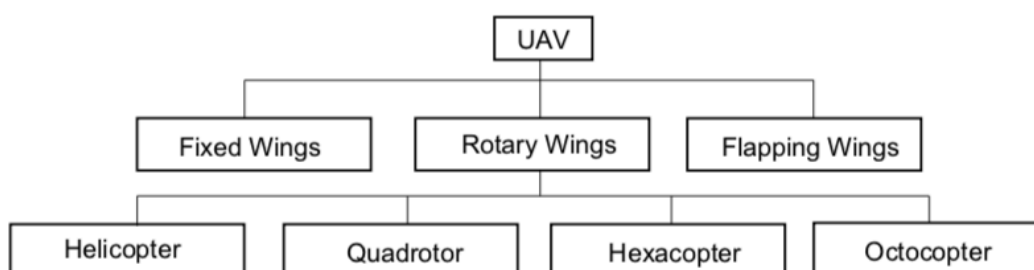
Obr. 1.: Jeden z prvních UAV - Kettering bug (Karas a Tichý 2016)

Po vzletu se většina létajících strojů spoléhá na senzory, počítače a další nástroje, které je udrží v požadované letové hladině a ve správném kurzu. V srdci těchto zařízení se nachází jednoduchý točící se přístroj s názvem gyroskop. Toto průlomové zařízení využívané k navigaci začalo vznikat zejména v 70. letech 20. století. Moderní UAVs používají gyroskopové čipy, které umí vyhodnotit a regulovat drobné pohyby dronů s vynikající přesností (Brook 2016). V druhé polovině 20. století se začaly drony používat jako průzkumná zařízení. Aktuální data získána ve velkém rozlišení byla cenným zdrojem informací. Využity byly například během války ve Vietnamu a následně v devadesátých letech při válečném konfliktu v Bosně (Karas a Tichý 2016). Za relativně snadnou dostupnost dronů, kterou v dnešní době disponujeme, vděčíme především pokroku uskutečněného za poslední dvě dekády. Miniaturizace elektroniky, zvětšení kapacit akumulátorů a zdokonalení ovládacích softwarů stojí za bleskovým rozšířením a s tím spojeným využitím napříč různými obory (Karas a Tichý 2016).

### 3.2 Druhy bezpilotních leteckých systémů

Existuje celá škála navržených UAV platform. Samotné rozdělení, s ohledem na jejich schopnosti a náročnost ovládání, závisí na fyzické velikosti, síle, operační nadmořské výšce a dosahu. Velikost a síla dronu rovněž vymezuje využitelnost každé kategorie UAV (Anderson a Gaston 2013).

Na začátek je potřeba zmínit, že bezpilotní systémy lze členit podle různých kritérií. Nejvýznamnější dělení je na UAV určené pro běžné uživatele a na UAV, které používají profesionálové. Mezi hlavní odlišnosti těchto dvou kategorií se řadí velikost, hmotnost, materiál konstrukce, absence či dovednost pokročilých funkcí a především pořizovací cena (Karas a Tichý 2016). Autoři Anderson K. a Gaston K. dělí platformy dle velikosti. Konkrétněji na velké, střední, malé, mini, micro a nano (Anderson a Gaston 2013). Zaměříme-li se nejprve na kategorii velkých dronů, zjistíme, že hlavním provozním omezením těchto UAV jsou finanční náklady. Důvodem vysokých výloh jsou kromě samotné pořizovací investice i režijní náklady, kam patří například provoz dráhy potřebné pro vzlet a přistání. Dále je zapotřebí vysoce specializovaného personálu, který dohlíží na každou misi. Srovnatelné omezení se vztahuje i na střední třídu dronů (Fladeland et al. 2008). Malé, mini, micro a nano drony zahrnují kromě standardních modelů i doma vyrobené bezpilotní systémy. Díky svým vlastnostem, je tato kategorie UAVs hojně využívána pro ekologické výzkumy. Většina ekologických studií byly provedeny právě za pomoci těchto menších bezpilotních systémů, které obvykle váží méně než 20kg, mají omezený dosah a doba letu nepřekročí pár hodin (Hardin a Jensen 2011).



Obr. 2.: Rozdělení dronů podle typu křidel (Norouzi Ghazbi et al. 2016)

Velikost UAV	Charakteristika	Provozní zatížení	Provozní omezení	Příklad
<b>Velký</b>	<b>Operativní dosah:</b> přibližně 500 km <b>Operativní nadmořská výška:</b> 3-20 km <b>Délka letu:</b> až 2 dny	Uvnitř UAV přibližně 200 kg Pod křídly přibližně 900 kg	Vysoké investiční a provozní náklady. Nutnost vysoké pozemní podpory. Dlouhá dráha pro vzlet a přistání. Hangár pro uskladnění. Operační nadmořská výška nad komerční leteckou dopravou.	Nasa Ikhana
<b>Střední</b>	<b>Operativní dosah:</b> přibližně 500 km <b>Operativní nadmořská výška:</b> < 4 km <b>Délka letu:</b> přibližně 10 hodin	Přibližně 50 kg	Podobné požadavky jako na velké UAV, menší celkové náklady, snížené požadavky na vzlet a přistání, snadnější ovládání.	Nasa SIERRA
<b>Malý a mini</b>	<b>Operativní dosah:</b> < 10 km <b>Operativní nadmořská výška:</b> < 1 km <b>Délka letu:</b> < 2 hodiny	Méně než 30 kg (malý) Do 5 kg (mini)	Potřeba udržovat vyzuální kontakt. Minimální požadavky na vzlet a přistání.	Quest UAV
<b>Micro a nano</b>	<b>Operativní dosah:</b> < 10 km <b>Operativní nadmořská výška:</b> < 250 m <b>Délka letu:</b> < 1 hodina	Méně než 5 kg	Potřeba udržovat vyzuální kontakt. Minimální požadavky na vzlet a přistání.	AR-Drone Parrot

Tab. 1.: Porovnání skupin dronů rozdělených podle velikosti (upraveno), (Anderson a Gaston 2013)

Další možnost členění je podle mobility křídel, s čímž je úzce spjat kromě průběhu vzletu a přistání, i způsob udržení se vzduchu. Můžeme zde nalézt tři typy bezpilotních letounů, mezi které patří fixed wings, rotary wings a flapping wings (Norouzi Ghazbi et al. 2016). Fixed wings, jak už název napovídá, označuje letoun s fixními křídly. U tohoto typu UAV se o vznik energie potřebné pro pohyb stará vrtule umístěná na trupu letounu a nikoliv křídla samotná (Hassanalian a Abdelkefi 2017). Drony tohoto typu jsou především využívány pro meteorologický průzkum, monitorování a mapování. Opodstatnění jejich využití vyplývá ze schopnosti létat na větší vzdálenosti, delší dobu a možnosti operovat ve větších nadmořských výškách. Limitujícími faktory jsou zde cena, právní omezení a nutnost přítomnosti certifikovaného pilota (McEvoy et al. 2016). Existují dva možné způsoby vzletu těchto UAV. Jedna z možností je start z odpalovací rampy a druhá hod z ruky. Valná většina letá za pomoci letových plánů. Problém může nastat při výběru vhodné lokality pro přistání, poněvadž i to je provedeno v majoritě případů automaticky. Při zvolení nevyhovující oblasti pro přistání by se letoun mohl vážně poškodit (Karas a Tichý 2016). Druhý z výše zmíněných, rotary wings, jsou drony využívající vertikální vzlet a přistání. Považuje se to za jednu z hlavních předností, neboť tyto drony můžou vzlétnout téměř všude. Toto zařízení je ovládané pomocí regulace rychlosti

otáček na jejich určitém počtu rotorů. V praxi se tyto drony využívají v misích, které vyžadují let ve visu. Oproti dronům typu fixed wings mají rotary wings všeobecně menší pravděpodobnost výskytu potíží s turbulencemi (Bouabdallah a Siegwart 2007). Často zmiňovaným příkladem jsou dvourotorové helikoptéry, kde hlavní rotor dodává tah a ocasní rotor slouží k potlačení reakčního momentu hlavního rotoru (Peng et al. 2014). Dalším známým exemplářem je kvadrokoptéra. Model, který těží z činnosti čtyř motorů a vrtulí. I další typy jsou pojmenovány podle tohoto ukazatele. Hexakoptéra disponuje šesti motory a oktokoptéra má motorů osm. Všeobecně platí, že výkonnost dronu vzrůstá s počtem vrtulí a stejně tak se i zlepšuje stabilita pohybu v letu. Takto konstruované platformy jsou povětšinou využívány k manuálnímu létání, nejedná se ale o výjimku v případě létání podle letového plánu či jejich kombinaci (Karas a Tichý 2016). Poslední, které patří pod tento způsob členění, jsou drony známé jako flapping wings. Snaha o jejich sestavení byla velkou výzvou, jelikož aerodynamická účinnost těchto UAV je podmíněna složitými pohyby křídel, které závisí na stupni interakci mezi morfologickými (např. plocha křídel) a kinematickými parametry (např. frekvence mávání). Podstatným rysem tohoto bezpilotního prostředku je snaha napodobení způsobu letu ptáku nebo hmyzu. Jako jejich zásadní vlastnost lze uvést nízkou spotřebu energie a možnost vertikálního vzletu a přistání. Na druhou stranu nemají téměř žádnou možnost provozního zatížení a mají slabou výdrž (De Margerie et al. 2007).

### **3.3 Možnosti využití UAS**

Nové a inovativní nápady na využití dronů přibývají každým dnem a přicházejí z celého světa. I tato skutečnost je jedním z důvodů, proč bychom měli bezpilotní systémy efektivně využívat a to především tam, kde má jejich nasazení smysl (Karas a Tichý 2016). Bepilotní letecké prostředky pomalu nahrazují dříve používané technologie pro mapování a monitoring, kterými bylo snímkování pomocí charterových letů nebo menších letadel a satelitní snímkování. Příčiny přechodu k využívání bezpilotních systémů jsou především časová náročnost a vysoké náklady, které vedly často k získání příliš obecného a nekvalitního rozlišení (Hackney a Clayton 2015).

Letecká fotografie nebo letecké video patří k jedněm z nejčastějších výstupů, jejichž cílem je ukázat cílový bod z jiné perspektivy. Využití těchto záběrů může sloužit pro marketingové účely nebo pro dokumentaci stavu zájmového území. V případě leteckého videa je nejčastější využití pro filmové účely z důvodu schopnosti přidání

na dynamičnosti výsledného videa. Velmi důležitým prvkem je kvalitní kamerový závěs zvaný gimbal, který se postará o potřebnou stabilizaci záběru (Karas a Tichý 2016). Bezpilotní systémy najdou své opodstatnění i jako prostředek pro transport a logistiku. Za pár let by nám drony mohly dopravovat poštu a zásilky, čímž dojde k odlehčení silniční dopravě (Boysen et al. 2018). Dalšími předměty nad jejichž transportem se uvažuje, jsou potřebné vakcíny, které by nám mohly být posílány až domů nebo na místo, kde se budeme zrovna nacházet (Haidari et al. 2016). Eventuální využití může spočívat v přepravě mikrobiologických vzorků, což je zejména v západní Africe velkým problémem z důvodu nedostatečného přístupu k dopravní infrastruktuře (Amukele et al. 2016). Že se tento způsob využití ubírá správným směrem, dokazuje nedávná studie, ve které se zkoumal vliv transportu prostřednictvím dronů na krevní produkty, která neprokázala žádný nepříznivý vliv na přepravovanou tekutinu (Amukele et al. 2017). UAS s kamerami mohou být užitečné při pátracích či záchranných misích a jejich dokumentaci (Van Tilburg 2017). Vysokou efektivnost využití dronů při záchranných a pátracích misích potvrzuje i simulační studie z Turecka. Tento výzkum porovnával dvě různé metody hledání osob v bezvědomí na zasněžené půdě. Jednou z metod bylo použití klasické rojnice a dohledání osoby pěšky, zatímco při druhé metodě se pro lokalizaci osoby v bezvědomí využilo dronu, který posléze nasměroval záchranáře na sněžném skútru na přesné místo, kde se osoba nacházela. Z výsledků studie lze konstatovat, že nasazení dronů v těchto situacích prokazatelně umožňuje prohledávání rozsáhlejší oblasti v kratším časovém intervalu (Karaca et al. 2018). Díky zvýšené dostupnosti komerčních dronů narůstá i zájem o jejich pořízení za účelem zábavy. Mezi nejčastější záměry koupě s tímto účelem patří – využití k letecké akrobacii, závodění dronů nebo získání fotografie či videa z ptačí perspektivy (Karas a Tichý 2016). S přihlédnutím k rozmanitým schopnostem a způsobům využití, které drony nabízejí, je nutné podotknout, že existuje i možnost zneužití. Příkladem může být jejich využití jako nástroj k páčání terorismu, k pašování nezákonných materiálů, špionáži nebo k pořizování snímků a záznamů za účelem poškodit jiné osoby nebo instituce (Afxentiou 2018; Casasanta et al. 2018).



### 3.3.1 UAS a životní prostředí

Drony, které se teprve nedávno ukázaly, jako vhodný nástroj pro vzdálený průzkum země, mohou být skvělými pomocníky pro ekology, odborníky na ochranu přírody a vědce působící v institucích zaměřených na životního prostředí (Duffy et al. 2018). Bezpilotní vzdušné prostředky nabízejí slibnou cestu k efektivnímu sledování environmentálních jevů. Přístroje vzniknuté z vojenské iniciativy zaznamenávají rostoucí počet civilních subjektů a organizací, které si jsou vědomi jejich potenciálu účinného a bezpečného získání dat z těžko dosažitelných míst na planetě. Takto získané údaje mohou poskytnout indicie pro pochopení klíčových procesů na zemi (NOAA 2012). V následujících odstavcích bude uvedeno několik možných aplikací bezpilotních prostředků v oblasti životního prostředí.

Velice populárními jsou drony mezi zemědělci. Své uplatnění v tomto odvětví našli třeba jako prostředek pro získání informací o stavu škody na zemědělských plodinách, způsobených zejména divokými prasaty. Je to prosté řešení, jak předejít vstupu do pole, čímž by se mohlo poškození plodin ještě zvýšit. Získaná data jsou následně použita pro odhad poškozené plochy a pro vyčíslení ztrát za účelem získání finančních náhrad (Michez et al. 2016; Kuželka a Surový 2018; Rutten et al. 2018). Díky monitoringu zemědělsky využívaných pozemků, za použití různých senzorů, je možné zjistit potřebné dávky pesticidů, hnojiv a vody pro konkrétní části obhospodařovaného území, což vede k zvýšení kvality péče o plodiny a k narůstajícímu zisku. Pomocí infračervených a multispektrálních senzorů je možné jednoduše sledovat stav úrody v pravidelných časových intervalech. Bez nasazení bezpilotních systémů, by bylo získání těchto dat časově velmi náročné (Puri et al. 2017). UAS jsou čím dál víc spojovány s termínem precizní zemědělství. Význam tohoto slovního spojení spočívá v nízkoenergetickém, vysoce efektivním a udržitelném zemědělství, které vede ke zlepšení všech zemědělských procesů (Huuskonen a Oksanen 2018; Mogili a Deepak 2018). Velký význam v precizním zemědělství mají globální polohové systémy a geografické informační systémy v kombinaci s již zmíněným dálkovým snímáním pomocí dronů (Vuran et al. 2018). S řešením, jak předejít utužení půdy, poškození porostu a celkově zefektivnit aplikaci postřiku a pesticidů na zemědělskou půdu, přišli tvůrci z firmy DJI. Jejich oktokoptéra Agras MG-1S je konstruovaná pro potřeby zemědělství. Za jeden den zvládne stejnoměrně nanášet postřik na 20 – 45 hektarů porostu (Novák 2018). Intenzita a směr větru ale může kvalitu aplikace živin a látek na ochranu proti hmyzu a plísním výrazně ovlivnit (Faiçal et al. 2014).



Obr. 3.: Oktokoptéra Agras MG-1S (Novák 2018)

Stávající aplikace bezpilotních prostředků v lesním hospodářství jsou ve většině případech stále v experimentální fázi. Hlavní výhody plynoucí z využití UAS v lesnictví jsou téměř totožné s využitím v zemědělství. Zahrnují nízké provozní náklady, flexibilní řízení prostorového a časového rozlišení a vysokou intenzitu sběru dat. Získané informace mohou vést k podpoře intenzivního lesního hospodářství (Tang a Shao 2015). V tropických deštných pralesech slouží monitoring pomocí dronů k průzkumu volně žijících druhů živočichů nebo k odhalení nezákonných lidských činností, jako může být vypalování lesů, nepovolená těžba nebo pytláctví. Pro pracovníky ochrany přírody to je skvělý způsob, jak uspořit čas a finanční zdroje (Koh a Wich 2012). Bepilotní prostředky mohou být lesními hospodáři využity k měření plochy vegetačního krytu, zjištění struktury porostů, monitoringu škodlivých činitelů a k celkové inventarizaci lesů včetně monitoringu zvěře (Lefsky et al. 2002; Puliti et al. 2015). Také mohou být užitečné pro zmapování velikosti a rozložení mezer, které vznikají nepřekrývajícími se korunami stromů (Getzin et al. 2014). Malé mezery nelze změřit pomocí satelitních snímků, a proto jsou pro tyto účely primárně využívány bepilotní systémy. Tvorba mezer, ať už je vyvolána řízeným kácením nebo přírodními příčinami (vítr, sníh, hmyz), ovlivňuje přístup slunečních paprsků, vody a živin. Hrají tedy klíčovou roli v regeneraci stromů, pokrytí půdní vegetace, produktivitě lesa a druhové rozmanitosti (Bagaram et al. 2018). Díky svým schopnostem, by bepilotní prostředky mohly být také nasazovány na detekci lesních požárů (Cruz et al. 2016), monitoring již spálených vegetací, hodnocení regenerace po požáru (Fernández-Guisuraga et al. 2018) a v neposlední řadě na shromažďování údajů o lesních požárech v reálném čase a být tak užitečným asistentem hasičským

jednotkám (Tang a Shao 2015). Jeden futuristický nápad na využití bezpilotních prostředků v lesnictví přichází z Ameriky. Drony by tam mohly nahradit lesní dělníky při zalesňování a správě krajiny zničené lesními požáry. Pomocí stlačeného vzduchu by se přímo z dronu nastřelovaly sazenice i s živinami do země. Tento plán je ale v současnosti neuskutečnitelný (Novák 2019).

Vodní hospodářství nabízí další potenciální a již aplikované využití bezpilotních systémů. Jedním z nich je měření rychlosti průtoku vody v přírodním prostředí za pomoci optického snímání. Předejde se tak mnohokrát složitému měření v terénu, které obnáší tradiční metody. Výhodou je usnadnění práce hydrologům a možnost měření průtoku v těžko dosažitelných místech (Tauro et al. 2016). Drony by se tak mohly stát klíčovou součástí souboru nástrojů pro správu vodních toků. V tomto ohledu ale existuje ještě spousta nevyřešených otázek, aby bylo dosaženo efektivního využití pro tyto účely (DeBell et al. 2016). Bepilotní systémy ve spolupráci s digitální fotogrammetrií poskytují alternativní způsob sledování říčních biotopů a hydromorfologie (Woodget et al. 2017). Srovnatelný postup by se dal použít i pro mapování a klasifikaci mořských pobřežních stanovišť. Data ve vysokém rozlišení umožňují snadnou detekci klíčových a citlivých stanovišť, ve kterých by se mělo zaměřit na zlepšení kvality biotopů a na udržení nebo zvýšení biologické rozmanitosti (Ventura et al. 2018). Ukázkový případ může být ochrana rybích stanovišť, které v mělkých vodách nabízejí bohaté potravinové zdroje a poskytují útočiště a ochranu před dravci (Ventura et al. 2016). Bepilotní systémy v kombinaci s vhodnými snímači, se čím dál více využívají pro studium vodní fauny a flory. Při vhodných podmínkách je možné odhadovat hustoty populací zkoumaných živočišných a rostlinných druhů (Flynn a Chapra 2014; Kiszka et al. 2016). Korálové útesy vysoce reagují na klimatickou změnu a na míru antropogenního znečištění oceánů. Je to jeden z důvodů, proč je důležité monitorovat jejich stav. Za předpokladu klidných, mělkých a čistých vod je možné pro tento účel nasadit bezpilotní letecký prostředek, a to nejlépe v kombinaci se systémem LiDAR (Casella et al. 2017; Collin et al. 2018). Zařízení LiDAR používá laserový paprsek pro měření vzdálenosti a mapování terénu. Je to velmi přesný nástroj pro měření v oblasti topografie (Lefsky et al. 2002).

### 3.4 Počasí a jeho vliv na UAS

Počasí je jedním z nejdůležitějších faktorů, který ovlivňuje výkonost dronu. Sledování předpovědi počasí může být užitečné při výběru optimálního místa a času pro uskutečnění letu. Obzvláště nás zajímá teplota, vítr, srážky a stav oblačnosti. Důležité je však zkontrolovat podmínky i na místě, kde bude let probíhat. Zejména vítr, který se může rychle změnit (Duffy et al. 2018). Vítr vzniká na základě rozdílů tlaků způsobených nerovnoměrným ohříváním povrchu Země. Za tohoto předpokladu se vzduch začne přemísťovat z místa s největším tlakem do místa s nejmenším tlakem ve vodorovném směru. Svou roli hraje i rotace Země a morfologie krajiny (Škorpík 2018). Problém začíná v případě, kdy bezpilotní prostředek nemá sílu překonat odpor větru. Optimální provozní rychlost větru je u většiny dronů pod hranicí 7-9 m/s (DeBell et al. 2016). Například dron AirRobot AR 100-B může bezpečně létat do maximální rychlosti větru 8 m/s (Neumann a Bartholmai 2015). Pokud tedy rychlost větru přesáhne maximální stanovené hodnoty, může mít pilot potíže s ovládáním zařízení, to by mohlo vést k nebezpečí srážky s lidmi, letadly nebo překážkami. Úroveň rezistence vůči účinkům větru závisí na typu bezpilotního systému. Především na velikosti vrtulí, rychlosti otáček motoru a hmotnosti zařízení (ANAC 2018). U letounů, které jsou řízeny pomocí předem nastavených letových plánů, může nastat problém v podobě vychýlení z předem nastavené trasy. Vychýlení z trasy může vzniknout již při hodnotách okolo 15 uzlů, což odpovídá 7,7 m/s (Long et al. 2006). Zvýšená rychlost větru může způsobit problémy i při automatickém přistání dronu (Eng et al. 2010). S rostoucí výškou letu se může rychleji měnit i rychlost větru z důvodu poklesu atmosférického tlaku (ANAC 2018). Při vysokých rychlostech větru lze předpokládat použití většího výkonu během letu, menší stabilitu přístroje ve vzduchu a sníženou kvalitu sbíraných dat (Dandois et al. 2015).

Létání během dešťových nebo sněhových srážek může způsobit zničení zařízení, protože většina dronů není voděodolná. Dešťová kapka, stejně jako sněhová vločka, vzniká kondenzací vodní páry na tzv. kondenzačních jádrech. I jedna vločka nebo kapka deště může zkratovat motor a způsobit pád zařízení, který se v tu chvíli stane potenciálně nebezpečným pro majetek a osoby nacházející se v blízkosti. Další nebezpečí, které sebou srážky přináší, je možnost snížení dosahu ovládání, zhoršení vizuálního kontaktu s přístrojem a ovlivnění kvality sbíraných dat (Suzuki et al. 2013; Evans et al. 2017; ANAC 2018). Létání při sněhových srážkách sebou nese ještě jedno riziko pro drony, které využívají kameru pro stabilitu a navigaci. Důvodem je to, že bílý sníh poskytuje malý až žádný kontrast pro kamery k rozpoznání pohybu (LaFay 2018).

Neustále vzrůstající zájem o využití bezpilotních systémů k vědeckým a výzkumným činnostem je důvod jejich častějšího provozu v nepříliš příznivých klimatických podmínkách a regionech (Rashid et al. 2013). Riziko vzniku námrazy na dálkově ovládaném zařízení, nejčastěji na vrtulích, je možné již při teplotě pohybující se okolo 0°C a při relativní vlhkosti vyšší než 95% (Fikke et al. 2007). Námraza se potom může negativně projevit na letových vlastnostech zařízení. Začnou se měnit aerodynamické vlastnosti vrtulí, dron začne být těžší, možnosti ovládání se zhorší a motory budou muset vynaložit více energie pro udržení přístroje ve vzduchu (Očadlý 2017). V důsledku nízkých teplot se může snížit i životnost baterie a rychleji se vybit v průběhu letu (Bernard et al. 2017). Lithium-iontové a častěji používané lithium-polymerové baterie trpí silnou ztrátou kapacity při teplotách pod bodem mrazu, což omezuje jejich použití, a tedy i celkové nasazení dronů v takových podmínkách (Wang et al. 2016; Shcherban et al. 2018). Za poklesem kapacity akumulátorů stojí zpomalení chemických reakcí způsobené právě sníženou teplotou. Chladné počasí může mít negativní vliv i na kvalitu pořízených dat. Při přechodu mezi výrazně rozdílnými teplotami je vysoká pravděpodobnost zamlžení čočky, které povede k pořízení nekvalitního záznamu (Očadlý 2017). Naopak na místech s vyššími teplotami se můžeme setkat s přehřátím baterie a celkově celého zařízení (Fornace et al. 2014). V příliš horkých prostředích jsou motory donuceny vytvářet vyšší výkon, aby překonaly menší odpor řidšího vzduchu a to může vést ke kratším letovým časům (Aeromotus 2017).

Pro provoz bezpilotních systémů je limitující také výskyt mlhy. Příznivé podmínky pro tvorbu mlhy jsou slabé povrchové větry, vysoká relativní vlhkost a hojnost kondenzačních jader. Zvýšený výskyt mlhy můžeme očekávat v horských oblastech a na místech nedaleko vodních toků, rybníků a jezer. Mlha způsobuje náhlý pokles viditelnosti a ztěžuje nám tak potřebný vizuální kontakt s dronem (ANAC 2018). Dále může způsobit kondenzaci vody. Vlhkost a voda se mohou začít hromadit a vstupovat do elektrických prvků a obvodů, přičemž můžou způsobit zkraty a koroze, které mohou negativně ovlivnit přístroj a průběh letu (Kramar a Määttä 2018). Při mlze nám také vzrůstá možnost výskytu námrazy (Očadlý 2017).

Další ukazatel, který je třeba brát v úvahu, je samotná relativní vlhkost vzduchu. Jedná se o množství vodní páry, která je přítomna ve vzduchu. Pokud se dron používá průběžně ve vlhkém prostředí, mohlo by to ovlivnit jeho funkčnost, a proto je třeba tuto hodnotu sledovat v dlouhodobém horizontu (Aeromotus 2017).

### 3.5 Legislativa upravující UAS v ČR

Z důvodu zvyšujícího se počtu bezpilotních systémů, především s rekreačně sportovním použitím, je nezbytné, aby byl jejich provoz a veškerá pravidla legislativně upravena. Za pramen práva v oblasti letectví, by se dal označit dokument z roku 1944. Dne 7. prosince byla sjednána Úmluva o mezinárodním civilním letectví v Chicagu. Tento dokument se dá považovat za jakýsi odrazový můstek pro další právní regulaci v letectví (Grošpic 2017b). Podmínky využívání vzdušného prostoru a podmínky provozování leteckých činností upravuje zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů. Ve výše zmíněném zákoně v § 52 lze najít informaci o létání letadel bez pilota. *„Letadlo způsobilé létat bez pilota může létat nad územím České republiky jen na základě povolení vydaného Úřadem a za podmínek v tomto povolení stanovených. Úřad povolení vydá, nebudou-li ohroženy bezpečnost létání ve vzdušném prostoru, stavby a osoby na zemi a životní prostředí.“* Dle § 2 odstavce 2 se model letadla nepovažuje za letadlo, pokud jeho maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 25 kg (Zákon č. 49/1997 Sb.). Důkladněji se o užívání bezpilotních letadel a modelů zabývá mezinárodní letecký předpis L 2 – pravidla létání. Konkrétně jde o Dodatek 4 – Systémy dálkově řízeného letadla a zvláště Doplněk X – Bepilotní systémy, kterému se budeme v této práci věnovat podrobněji. Svým způsobem se k této problematice vztahuje i Dodatek 5 – Volné balony bez pilota na palubě se zátěží a Doplněk R – Podmínky pro provoz balonu bez pilota na palubě (Grošpic 2017b). Na úrovni evropské unie je užívání bezpilotních systémů v tuto chvíli ošetřeno Nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139, které vstoupilo v platnost 11. září 2018 (ÚCL 2018). Ani další platné právní předpisy jako například: Zákon o nakládání s bezpečnostním materiálem č. 310/2006 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb., Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích č. 356/2003 Sb., Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., Zákon o požární ochraně č. 133/1985 Sb., Zákon o vodách č. 254/2001 Sb., a Zákon o životním prostředí č. 17/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů nesmí provoz bezpilotního letadla porušit (Doplněk X). Zpracováním osobních údajů prostřednictvím záznamu z kamer připevněných na bezpilotních systémech, které může být vnímáno jako omezování soukromí se věnuje stanovisko Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013 (Grošpic 2017a).

### **3.5.1 Doplněk X – Bezpilotní systémy**

Rozsah působnosti tohoto doplňku zahrnuje bezpilotní systémy splňující kritéria přílohy II nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 v platném znění, pro které jsou požadavky stanovené tímto doplňkem závazné. Dalo by se říct, že Doplněk X stanovuje závazná pravidla pro provoz všech bezpilotních systémů a modelů letadel se vzletovou hmotností vyšší než 25 kg. Pro bezpilotní systémy a modely letadel nepřesahující vzletovou hmotnost 25 kg jsou tato pravidla doporučeným postupem, vyjma ustanovení 7., v němž jsou vymezeny prostorové podmínky létání, které je závazné i pro modely s nižší vzletovou hmotností (Doplněk X).

#### **3.5.1.1 Vzdušné prostory**

Provoz bezpilotního letadla a modelu letadla smí být prováděn ve vzdušném prostoru třídy G, což představuje výšku 300 m nad úrovní země a to pouze vně oblaků. Pro vzdušné prostory jiné třídy platí pravidlo, že se ovládaný přístroj musí pohybovat v minimální vzdálenosti od oblaků 300 m vertikálně a 1 500 m horizontálně (Doplněk X). Letecký předpis L 2 ve svém Doplněku O ustanovení 2.2.12 zmiňuje letovou dohlednost v prostoru třídy G, která by neměla být menší jak 3 km. To se však u bezpilotních letadel s maximální vzletovou hmotností menší jak 25 kg neuplatňuje (Doplněk O). Rozdílná pravidla platí pro pohyb dálkově řízených letounů v blízkosti letišť. V letištní provozní zóně neřízeného letiště, která tvoří kružnici o poloměru 5,5 km od středu letiště a sahá až do 1200 metrů nad mořem, mohou drony létat pouze v případě splnění podmínek stanovených provozovatelem letiště a na základě souladu s letištní letovou informační službou nebo s provozovatelem letiště. Existuje výjimka, která platí v provozní zóně pro bezpilotní letadla nepřesahující maximální vzletovou hmotnost 0,91 kg. Takto konstruované bezpilotní prostředky mohou létat do výšky 100 m nad úrovní země a mimo ochranná pásma letiště i bez koordinace (Doplněk X). Totožná výjimka platí i v řízeném okrsku letiště, jehož vertikální vymezení sahá maximálně do 1500 metrů nad mořem. Horizontální hranice jsou individuální a jsou vyznačeny v letecké mapě Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) nebo v aplikaci AisView (ÚCL nedatováno). V tomto prostoru lze také provozovat bezpilotní systémy s větší maximální vzletovou hmotností než 0.91 kg a to pouze do výšky 100 metrů nad zemí a horizontální vzdáleností větší než 5,5 km od vztažného bodu, kterým je myšlen geometrický střed letiště. Minimálními výškami letu nejsou bezpilotní letadla a modely letadel omezovány (Doplněk X).

### 3.5.1.2 Vybrané podmínky provozu UAS

Za veškeré úkony spojené s provedením bezpečného letu, je odpovědná osoba, která bezpilotní letadlo dálkově ovládá nebo osoba která jej vpustila do vzdušného prostoru. Pilot je povinen provozovat pouze takový bezpilotní systém, jehož technické parametry jsou v souladu s nároky Doplnku X a v případě žádosti Úřadu pro civilní letectví musí poskytnout bezpilotní prostředek k provedení kontroly. Jako příklad nesouladu s nároky na technické požadavky lze uvést použití pulzačních nebo raketových motorů. Nicméně pro potřebu vzletu je možno využít raketový motor. Příprava letu a samotný let by se měl odehrávat takovým postupem, aby se předešlo ohrožení zdraví osob, poškození majetku či škodě na životním prostředí. Také by nemělo dojít k narušení bezpečnosti ostatních účastníků letového provozu. Další požadavek vyplývající z legislativy je schopnost pilota udržet bezpilotní prostředek v přímém dohledu z důvodu nutnosti posuzování okolního letového provozu a vzdálenosti od překážek. Tato podmínka by měla být dodržena bez současného pohybu pilota pomocí technického zařízení, neboť je takové počínání zakázáno. Nepovolené je i létání v noci, nebo-li před občanským svítáním a po občanském soumraku. Bepilotní letadlo s maximální vzletovou hmotností větší než 0,91 kg musí být opatřeno integrovaným systémem, které je schopno provést automatické ukončení letu v případě nouze. V ochranných pásmech jako jsou například: okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obranu státu, podél nadzemních dopravních staveb, tras nadzemních inženýrských sítí, tras nadzemních telekomunikačních sítí a uvnitř zvláště chráněných území není povoleno provozovat bezpilotní letecké prostředky, pokud Úřad pro civilní letectví (ÚCL) nerozhodne jinak. Transport nebezpečného nákladu pomocí bezpilotního letadla je zakázán. Toto nařízení se nevztahuje na provozní kapaliny, které jsou v omezeném množství povoleny. V Doplnku X lze nalézt ještě jedno omezení spojené s přepravou nákladu, které zakazuje pilotům bezpilotních prostředků shazování nákladu za letu, to ale neplatí pro případ veřejných vystoupení a soutěží (Doplněk X).

Legislativní předpis České republiky upravující létání s bezpilotními systémy rozčlenil drony do kategorií podle maximální vzletové hmotnosti a podle účelu použití. Na základě tohoto rozdělení jsou na majitelích dronů a pilotech požadovány další nezbytnosti. Třídy dle maximální vzletové hmotnosti jsou:  $\leq 0,91$  kg;  $> 0,91$  kg a  $< 7$  kg;  $7 - 25$  kg;  $> 25$  kg a použití bezpilotních prostředků může být za účelem rekreačně sportovním nebo výdělečně, experimentálně výzkumným. Pokud jsou bezpilotní systémy provozovány k výdělečně, experimentální nebo výzkumné činnosti, tak bez ohledu na maximální vzletovou hmotnost podléhají evidenci letadla,



které musí být opatřeno ID štítkem a poznávací značkou. V takovém případě je evidován i sám pilot, který musí splnit praktický a teoretický test, sjednat si pojištění a získat povolení k létání. Při rekreačně sportovním využití bezpilotního systému je zapotřebí splnit výše uvedené požadavky pouze při překročení maximální vzletové hmotnosti 25 kg. Jedinou odlišností je zde nutnost označení dronu poznávací značkou, kterou nemusí mít žádná váhová kategorie dronu při rekreačně sportovním využití. Minimální vzdálenosti pro vzlet a přistání jsou stanovena pro bezpilotní prostředky které jsou těžší než 7 kg. Všechny vzdálenosti by měli být bezpečné ale ty minimální jsou vymezeny na 50 m od osob, 100 m od staveb a 150 m od osídlených prostor (Doplněk X).

## 4. Metodika

### 4.1 Použitá data a jejich úprava

Při zpracování bakalářské práce bylo čerpáno z volně dostupných dat získaných na webové stránce [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru). Tento internetový portál byl navržen a je podporován společností Rospisaniye Pogodi Ltd., sídlící v ruském Petrohradu, která vlastní licenci pro činnost v hydrometeorologii a v příbuzných oborech. Mimo jiné webová stránka poskytuje předpovědi počasí, informace o aktuálním počasí a pozorovací data, která jsou pro účel této práce rozhodující. Data jsou poskytována v souborových formátech XLS a CSV, které lze stáhnout pro více než 16 000 stanic po celém světě. Pro potřebu vypracování bakalářské práce bylo vybráno 21 meteorologických stanic umístěných na území České republiky. Výběr stanic probíhal způsobem, kterým bylo dosaženo co možná nejvíce rovnoměrného rozmístění po celém území ČR. Avšak z důvodu omezeného množství stanic, poskytujících archiv s historickými daty, to nebylo zcela možné. Výzkum byl prováděn pro časové období od 1.1. 2017 do 31.12. 2017.

Po stažení dat ve formátu XLS bylo potřeba vzhledem k množství poskytovaných meteorologických jevů vyselektovat pouze potřebné informace. V upraveném dokumentu zůstaly údaje o teplotě (°C) měřené ve výšce 2 metry nad zemským povrchem, množství srážek (mm) a průměrné rychlosti větru ve výšce 10-12 metrů nad zemí, která byla měřena v deseti minutových intervalech. Data jsou poskytována v denním kroku a pro každou hodinu zvlášť. Proto bylo zapotřebí provést úpravy u všech hodnot v každém jednotlivém dni a pro každý sledovaný jev, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků za každý den. Úpravami je myšlen výpočet aritmetického průměru (teplota, vítr, srážky) a výběr nejvyšších hodnot (teplota, vítr) v rozmezí od 7.00 do 19.00 hodin z důvodu umožnění letu UAS českou legislativou pouze v době od občanského svítání do občanského soumraku. Nejprve byla vytvořena kontingenční tabulka, jako filtr byl označen sloupec s jednotlivými hodinami a jako řádky dny v roce. Následně byla vybrána u meteorologických jevů požadovaná operace (výpočet aritmetického průměru nebo zvolení maximální denní hodnoty) a časový interval (7.00 – 19.00), ze kterého se denní hodnoty vypočetly. Úpravy byly provedeny v prostředí programu Microsoft Excel (MS Excel).

## 4.2 Vyhodnocení dat

Upravená data byla vyhodnocena na bázi šesti podmínek. Níže uvedené limitní podmínky byly stanoveny dle možnosti rezistence vůči nepříznivým meteorologickým podmínkám stroje sbírajícího data během celého dne.

Limitními podmínkami jsou:

- S1-Průměrná denní hodnota srážek nesmí být větší než 0,1 mm.
- V1-Průměrná denní hodnota větru nesmí být větší než 5 m/s.
- V2-Maximální denní hodnota větru nesmí být větší než 8 m/s.
- T1-Průměrná denní teplota, za předpokladu žádných srážek, nesmí být menší než -5 °C.
- T2-Průměrná denní teplota, za předpokladu jakýchkoli srážek, nesmí být menší než 5 °C.
- T3-Maximální denní teplota nesmí být větší než 30 °C.

V případě nesplnění jakékoliv podmínky, byl jednotlivý den automaticky považován za nevyhovující pro nasazení bezpilotního prostředku. Hodnota určující limitující hodnotu srážek byla vymezena na základě téměř žádné odolnosti většiny dronů proti kapkám deště a jiným formám mokré atmosférické depozice. U většiny leteckých bezpilotních prostředků platí, že optimální provozní rychlost větru je pod hranicí 7-8 m/s. Proto byla maximální denní hodnota větru stanovena na 8 m/s a průměrná denní na 5 m/s. V případě nulových srážek byla nejnižší denní hodnota určena na -5 °C z důvodu menší pravděpodobnosti výskytu námrazy. Při výskytu i minimálních srážek lze předpokládat větší výskyt kondenzačních jader a vodní páry ve vzduchu, proto je možno očekávat větší náchylnost ke vzniku námrazy, a tak minimální denní teplota byla posunuta na 5 °C. Při vysokých teplotách s ohledem na vlastní výhřevnost elektroniky uvnitř stroje hrozí, že se snadno dostaneme na mezní teplotu použitelnosti. Maximální denní hodnota byla proto stanovena na 30 °C.

Samotné vyhodnocení, jak již bylo zmíněno výše, probíhalo v tabulkovém procesoru MS Excel. V tomto případě byla využita podmínková funkce. Jedná se o logickou funkci, která zapíše buď jednu nebo druhou variantu podle toho, jestli je splněna požadovaná podmínka. Po nastavení správné podmínkové funkce pro každý sloupec, se zjistilo, zda daná podmínka byla splněna v určený den či ne. Posléze proběhlo vyhodnocení všech podmínek v jednotlivých dnech opět za pomoci podmínkové funkce. Nakonec byly sečteny hodnoty ve výsledných řádcích použitím

funkce COUNTIF. Jedná se o součet polí odpovídajících nastavenému kritériu. Tento postup se opakoval pro všech 21 vybraných stanic. Následující kroky probíhaly prostým porovnáváním výsledných hodnot.

### **4.3 Vizualizace dat**

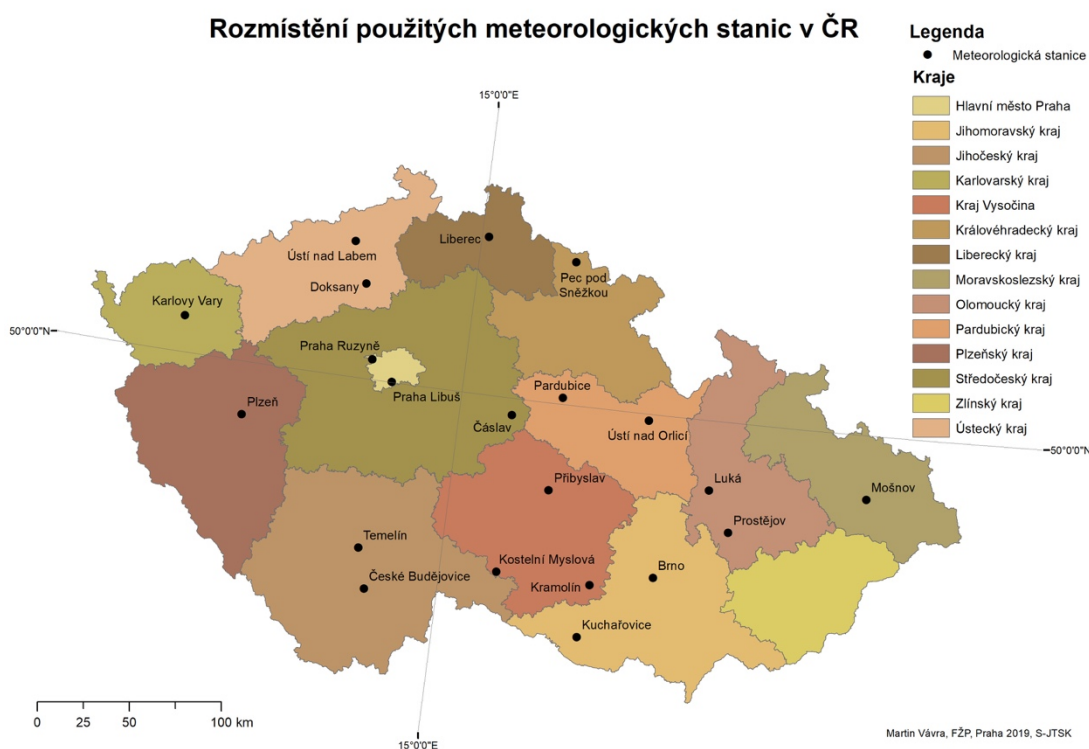
Upravená data jsou zpracována časovou řadou v programu ArcGIS Online. Použita byla klasifikace dat za pomoci proportional symbols a time lapse. Aby se tak mohlo stát, data musela být nejprve upravena v desktopové verzi systému ArcGIS 10.5.1 od firmy Esri. Na začátek bylo třeba vytvořit bodovou vrstvu měst a obcí, ve které se nacházejí použité meteorologické stanice. Do atributové tabulky nově vytvořené vrstvy se přidaly dva nové sloupce, do kterých se vypočítaly souřadnice x a y měst a obcí. Mezi tím se zkopírovaly hodnoty ze všech stanic do jednoho souboru formátu XLS a následně převedly do souborového formátu CSV, který je určený pro výměnu tabulkových dat. Tento soubor se poté vložil do programu ArcGIS a exportoval do formátu DBF, aby byla zajištěna potřebná kompatibilitnost. Do nově exportované tabulky byly přidány, přes funkci JOIN, souřadnice z bodové vrstvy měst a obcí. Informace obsažené v tabulce se nakonec převedly na body, které byly uloženy do vrstvy ve formátu SHP. Vzniklou vrstvou bylo třeba komprimovat a vložit do ArcGIS Online, kde proběhla výsledná vizualizace.

## 5. Charakteristika studijního území

Charakteristika studijního území se zabývá stručným popisem geografické polohy České republiky a lokalizací měst, ve kterých se nacházejí použité meteorologické stanice. V kapitole jsou charakterizovány jednotlivé zájmové území s ohledem na klimatické oblasti, v nichž se nacházejí, a na průměrné hodnoty povětrnostních podmínek v 10 a 100 metrech nad zemí. Dále jsou zde uvedeny řízené okrsky letišť, nebezpečné či zakázané prostory a provozní zóny neřízených letišť, které by mohly teoreticky ovlivnit použití bezpilotních systémů v okolí zájmového území. Uvedené prostory jsou převzaty z letecké mapy ICAO, vydané podnikem Řízení letového provozu České republiky (2019).

Česká republika se nachází na 15. poledníku východní délky a na 50. rovnoběžce severní šířky, tedy na severní polokouli v přechodné oblasti mezi oceánským a kontinentálním klimatem (Bufon 2019). ČR je vnitrozemským státem v mírném podnebném pásu a je rozdělena do 14 krajů. Z celkového počtu 21 stanic se dvě nacházejí v hlavním městě Praha. Konkrétně v pražské Ruzyni a Libuši. Provoz bezpilotních systémů v blízkosti obou stanic je limitován řízenými okrsky letišť Ruzyně, Kbely a Vodochody. Omezení ve formě zakázaného prostoru k využití dronů platí pro vzdušný prostor nad Pražským hradem. Uskutečnění letu je zde možné pouze s povolením ÚCL. Ve Středočeském kraji najdeme meteorologickou stanici ve městě Čáslav, která spadá do okresu Kutná Hora. V okolí města Čáslavi se nachází také řízený okrsek letiště. Mezi Prahou a Čáslaví je vyhlášen nebezpečný prostor poblíž Kostelce nad Černými lesy z důvodu vypouštění plynu a možného nebezpečí výbuchu. Provoz bezpilotního letadla v tomto prostoru je opět možný po povolení ÚCL. Další dvě stanice jsou v Jihočeském kraji ve městě České Budějovice a obci Temelín. Nad jadernou elektrárnou v Temelíně je zakázaný prostor. Severně od Temelínu je také zakázaný prostor nad územím střediska družicových spojů Měšetice. Po jedné stanici je v krajích Plzeňském, Karlovarském, Libereckém, Královohradeckém a Moravskoslezském. Nad obcí Mošnov a Karlovými Vary jsou řízené okrsky letišť. Poslední stanice ze severní části republiky jsou v Ústí nad Labem a Doksanech. V Ústí nad Labem v oblasti nad chemickou výrobou se nachází další zakázané území. Nejvíce využitých meteorologických stanic je v kraji Vysočina. Najdeme je v obcích Kostelní Myslová, Kramolín a ve městě Přebyslav. Nad vzdušný prostor obce Kramolín sahá řízený okrsek vojenského letiště Náměšť nad Oslavou. Poblíž Kramolína je i druhá česká jaderná elektrárna Dukovany, nad kterou je také zakázaný prostor. V ostatních krajích jsou vždy dvě stanice. V Pardubickém kraji jsou ve městech Pardubice

a Ústí nad Orlicí. Vzdušný prostor nad městem Pardubice je z části omezen vyhlášením zakázaného území ze stejného důvodu jako v Ústí nad Labem. V Olomouckém kraji najdeme stanice v Prostějově a v obci Luká. Jihomoravský kraj má použité stanice nacházející se v Brně a v Kuchařovicích. Přičemž v okolí měst Pardubice a Brno jsou řízené okrsky letišť. Vyjma obcí Temelín, Kostelní Myslová a Luká se nad všemi zmíněnými městy a obcemi nebo v jejich blízkém okolí nachází provozní zóny neřízených letišť, které jsou, jak již bylo zmíněno v kapitole vzdušné prostory, také limitující pro provoz bezpilotních systémů. Ve Zlínském kraji nejsou žádné použité stanice.



Obr. 4.: Rozmístění použitých meteorologických stanic v ČR

## 5.1 Klimatické oblasti ČR

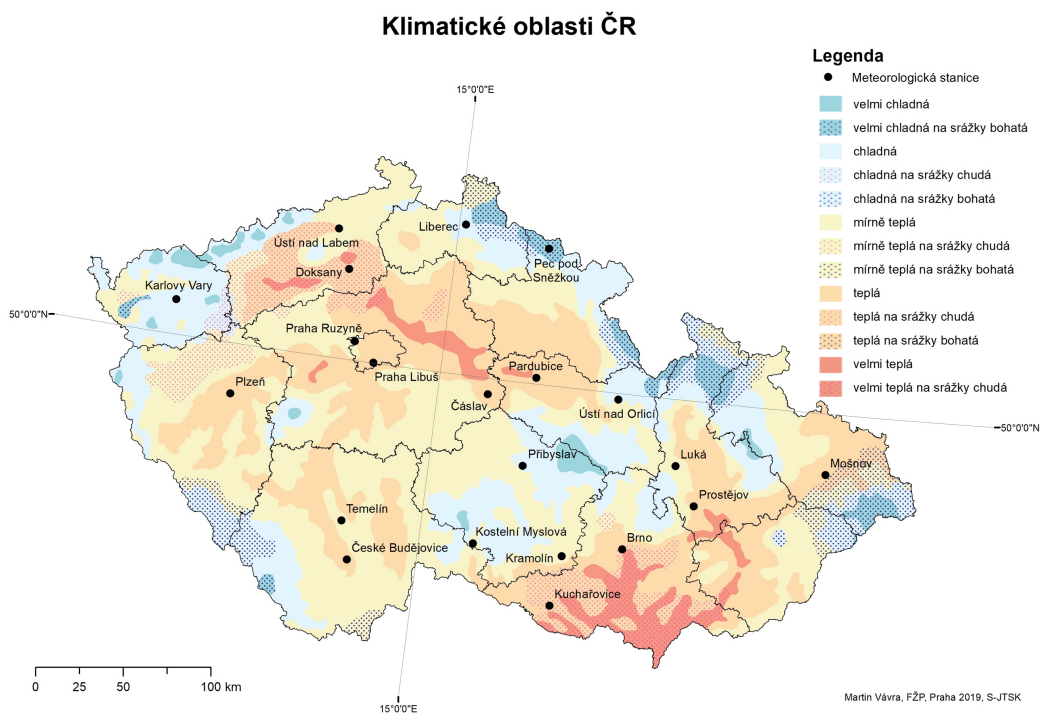
Česká republika je rozčleněna do pěti klimatických oblastí na základě délky ročního období podle počtu dnů s charakteristickými teplotami a jejich podskupin dle hojnosti srážek. Klimatické oblasti vycházejí z pozorování v letech 1961-2000. Nejvíce měst, ve kterých se nacházejí použité meteorologické stanice, spadají do teplé klimatické oblasti, jsou to Čáslav, České Budějovice, Mošnov, Pardubice, Plzeň, Praha Libuš a Prostějov. Pro tuto oblast je typické dosažení 40-50 letních dnů a průměrné teploty v létě 15-16°C. Během léta spadne okolo 200-400 mm, přičemž ve 100-140 dnech spadne více než 1 mm. V přechodném období můžeme očekávat 100-140 dnů, kdy nejnižší denní teplota klesne pod 0 °C a průměrnou teplotu během jara a podzimu okolo 8°C. V zimě spadne více než 400 mm srážek, teploty se pohybují okolo -2 až -3 °C a je dosaženo přibližně 50-60 ledových dnů.

Podobné území, do kterého patří Brno, Doksany a Kuchařovice, se nazývá teplá na srážky chudá oblast. Rozdílem je úhrn srážek menší než 200 mm a méně než 100 dnů se srážkami většími než 1 mm v letním období. V zimě pak spadne okolo 200-400 mm. Kostelní Myslová, Kramolín, Luká, Praha Ruzyně, Temelín a Ústí nad Labem jsou v mírně teplé klimatické oblasti. Léto je zde mírně teplé s průměrnou teplotou 13-15 °C a 20-40 letními dny, ve kterých nejvyšší denní teplota přesáhne 25 °C. Srážky jsou v letním období totožné s teplou oblastí. V průběhu jara a podzimu se teploty pohybují okolo 6,5 °C se 140-160 mrazovými dny. Zimní období se shoduje s teplou klimatickou oblastí s rozdílem menšího srážkového úhrnu u mírně teplé oblasti.

Poměrné velké zastoupení použitých meteorologických stanic je v chladné klimatické oblasti. Nachází se v ní Karlovy Vary, Liberec, Přebyslav a Ústí nad Orlicí. Léto je krátké s 10-20 letními dny a průměrnou teplotou 12-13 °C. Srážky se pohybují v rozmezí 200-400 mm a padají ve více než 140 dnech v množství větším než 1 mm. Přechodné období je velmi dlouhé s více než 180 mrazovými dny a průměrnou teplotou 3,5 °C. V zimě můžeme očekávat více než 70 dnů, kdy se teplota bude držet během celého dne pod bodem mrazu, průměrnou teplotu menší než -4 °C a srážkový úhrn v rozmezí 200-400 mm.

Poslední stanice z Pece pod Sněžkou se nachází ve velmi chladné a na srážky bohaté oblasti. Léto je zde ještě kratší než u chladné oblasti. Letních dnů je méně než 10 a průměrná teplota je menší než 12 °C. Padá zde více než 400 mm srážek a během více než 140 dnů je srážkový úhrn větší jak 1 mm. Počet mrazových dnů a průměrné teploty během jara a podzimu jsou stejné s chladnou oblastí.

Stejný je i počet ledových dnů, průměrná teplota a délka celé zimy. Odlišností jsou bohaté srážky, které přesahují v zimním období 400 mm. K získání informací o klimatických oblastech a jejich grafickému zobrazení v programu ArcGIS 10.5.1 byly využity mapové podklady od CzechINSPIRE dostupné na stránce [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).

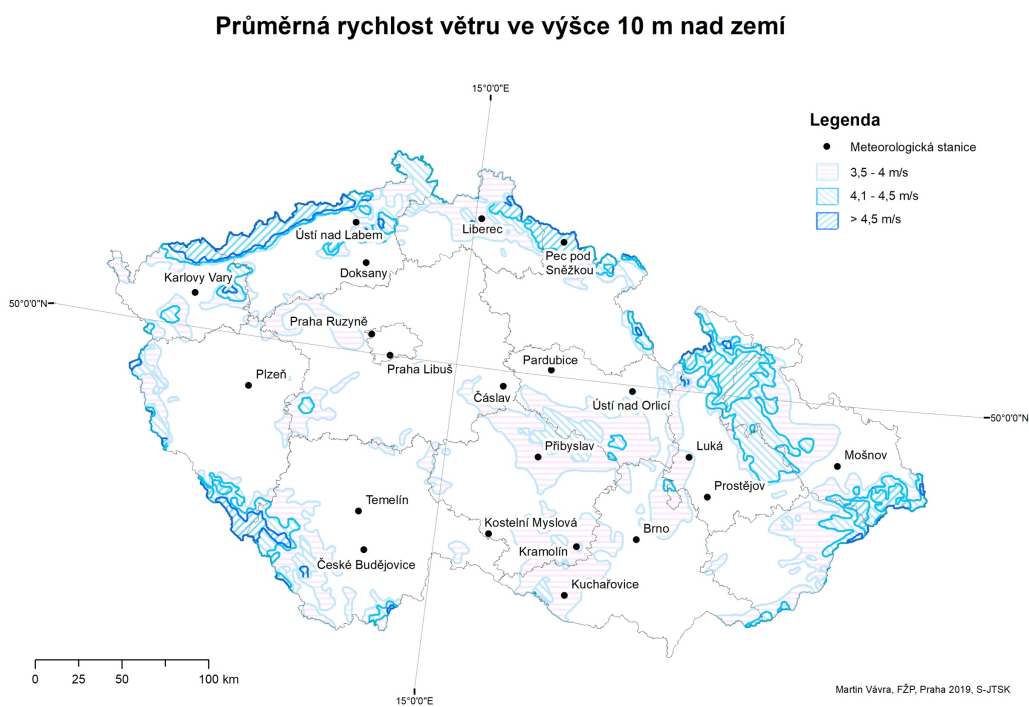


Obr. 5.: Klimatické oblasti ČR



## 5.2 Průměrná rychlost větru v 10 m

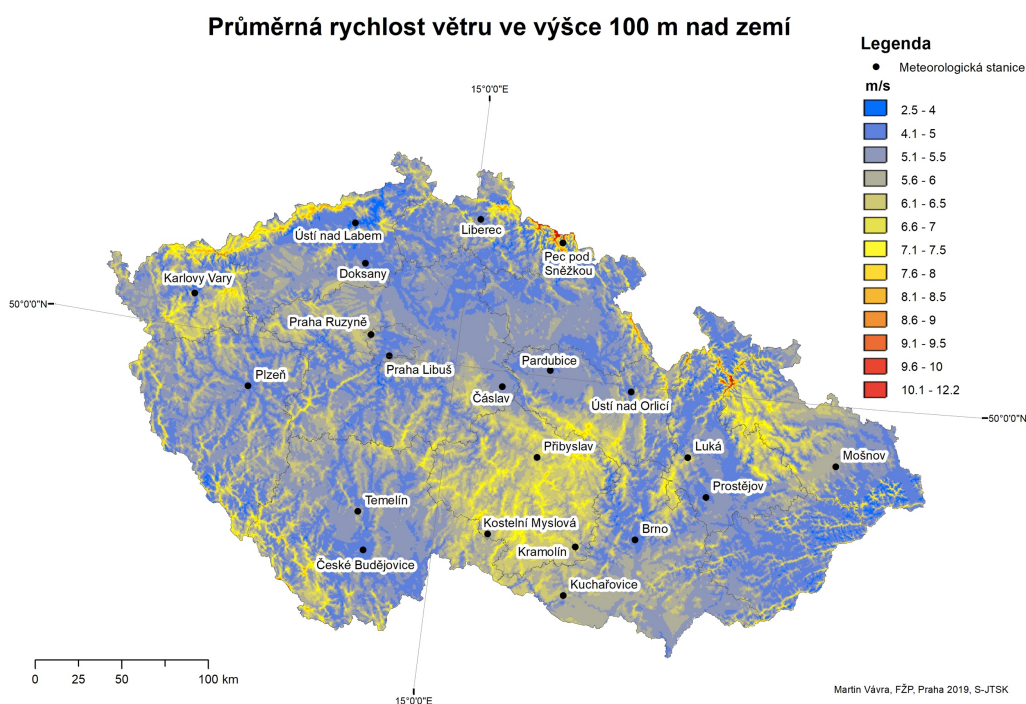
Data, která byla použita k charakterizaci zájmového území podle průměrné roční rychlosti větru v 10 m nad zemí, jsou výsledkem projektu zpracovaného v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR v letech 2003-2004. Valná většina měst a obcí (Brno, Čáslav, České Budějovice, Doksany, Karlovy Vary, Kostelní Myslová, Mošnov, Pardubice, Plzeň, Praha Libuš, Praha Ruzyně, Prostějov, Temelín, Ústí nad Labem a Ústí nad Orlicí) spadají do skupiny s průměrnou roční rychlostí větru menší než 3,5 m/s. Nepatrně více fouká v obcích Kuchařovice, Luká a ve městech Liberec a Přibyslav. Průměrná roční rychlost větru se tam pohybuje v rozmezí 3,5-4 m/s. Nejvyšší průměrná rychlost větru bývá dosažena na českých hranicích s Polskem v Peci pod Sněžkou a téměř na druhé straně republiky v obci Kramolín. Vítr zde přesahuje 4,5 m/s. Ke grafickému zobrazení průměrné rychlosti větru v 10 m nad zemí, v programu ArcGIS 10.5.1, byly využity mapové podklady od CzechINSPIRE dostupné na stránce [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).



Obr. 6.: Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí

### 5.3 Průměrná rychlost větru v 100 m

Autorem těchto dat je opět Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR, který je poskytl prostřednictvím Ministerstva životního prostředí. Nejmenší průměrnou rychlost ve 100 m nad zemí dosahuje vítr nad územím Ústí nad Labem. Hodnoty v rozmezí 4-5 m/s můžeme očekávat nad Českými Budějovicemi, Doksany, Libercem, Plzní, a Prostějovem. Trošku silněji fouká v Čáslavi a Karlových Varech. Nejčastější síla větru nad zájmovými územími se pohybuje okolo 5,5-6 m/s a odpovídají tomu Brno, Kostelní Myslová, Kramolín, Luká, Mošnov, Pardubice, Praha Libuš, Přibyslav a Ústí nad Orlicí. Nejsilnější průměrnou rychlost větru ve 100 metrech můžeme očekávat nad Kuchařovicemi, Temelínem, Prahou Ruzyní a Pecí pod Sněžkou. Ke grafickému zobrazení průměrné rychlosti větru ve 100 m nad zemí, v programu ArcGIS 10.5.1, byly využity mapové podklady od CzechINSPIRE dostupné na stránce [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com).



Obr. 7.: Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad zemí

## 6. Výsledky práce

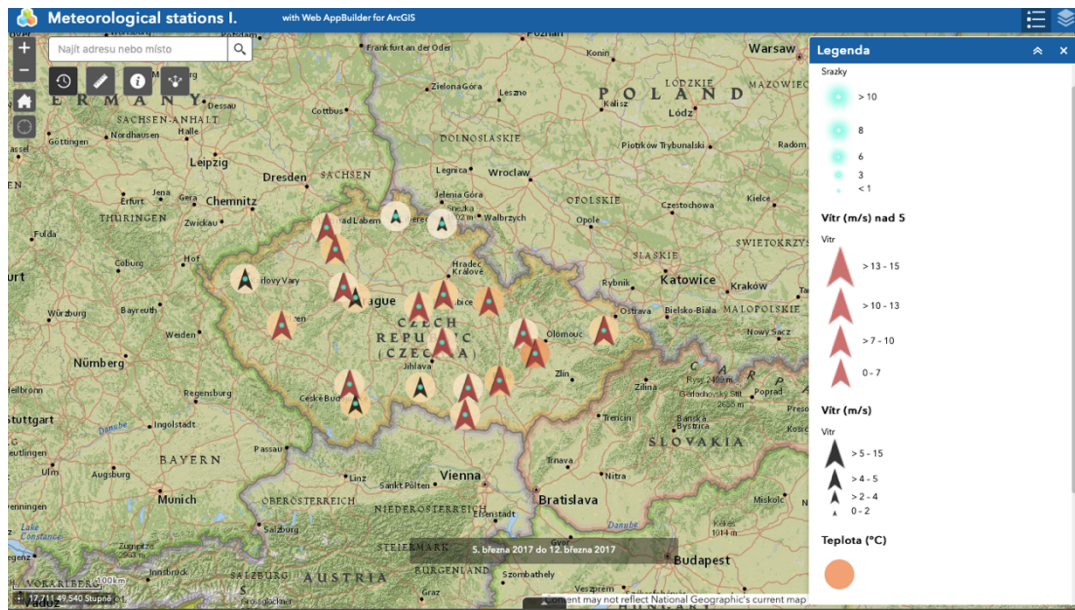
Použitá metodika, pro získání počtu vhodných dní k aplikaci UAS k celodennímu sbírání dat, byla realizována pro celý rok 2017. Shromážděné údaje byly zpracovány a analyzovány v tabulkovém procesoru MS Excel. Ukázka prostorové vizualizace zpracovaných dat je znázorněna na obrázku č. 8.

Na základě výše popsané metodiky bylo provedeno porovnání mezi všemi zájmovými územími. Výsledky byly určeny na základě šesti stanovených podmínek, které vymezují použitelnost dálkově ovládaných strojů s ohledem na povětrnostní podmínky, srážky a teplotu. Aby se jednotlivé dny mohly považovat za vyhovující, nesměla být průměrná denní hodnota větru vyšší než 5 m/s (podmínka V1), maximální denní vyšší než 8 m/s (podmínka V2) a průměrná denní hodnota srážek vyšší než 0,1 mm (podmínka S1). Další tři podmínky zohledňují minimální a maximální provozní teploty vzduchu. Pokud v uvažovaný den byly naměřené i minimální hodnoty jakékoliv formy srážek, tak průměrná denní teplota nesměla klesnout pod 5 °C (podmínka T2). V případě žádných srážek nesměla být průměrná teplota menší než -5 °C (podmínka T1). Maximální denní teplota pak nesměla být vyšší než 30 °C (podmínka T3).

Výsledná data mimo jiné demonstrují průměrnou použitelnost leteckých bezpilotních prostředků na všech zahrnutých územích, která se pohybuje okolo 51 %, to odpovídá 186 dnům v roce. Z celkové počtu 21 meteorologických stanic pět překročilo hranici dvou seti vyhovujících dní a pouze dvě se nedostaly nad sto padesát dní. Převládajícím trendem tedy byla roční použitelnost pohybující se v rozmezí 150-200 dní v roce. Konkrétní počty dní pro všechny meteorologické stanice s přepočtem na procentuální použitelnost jsou sepsány v tabulce č. 2.

Město / Obec	Počet dní v roce 2017, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	(%)	Město / Obec	Počet dní v roce 2017, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	(%)
České Budějovice	226	62	Praha Ruzyň	178	49
Prostějov	223	61	Temelín	178	49
Praha Libuš	221	61	Čáslav	175	48
Kostelní Myslová	216	59	Pec pod Sněžkou	173	47
Karlovy Vary	213	58	Brno	169	46
Doksany	198	54	Ústí nad Orlicí	168	46
Kramolín	194	53	Luká	159	44
Liberec	194	53	Kuchařovice	158	43
Ústí na Labem	194	53	Přibyslav	142	39
Pardubice	190	52	Mošnov - Ostrava	137	38
Plzeň	190	52			

Tab. 2.: Stanice s počty dní vhodných k použití UAS



Obr. 8.: Ukázka prostorové vizualizace zpracovaných dat

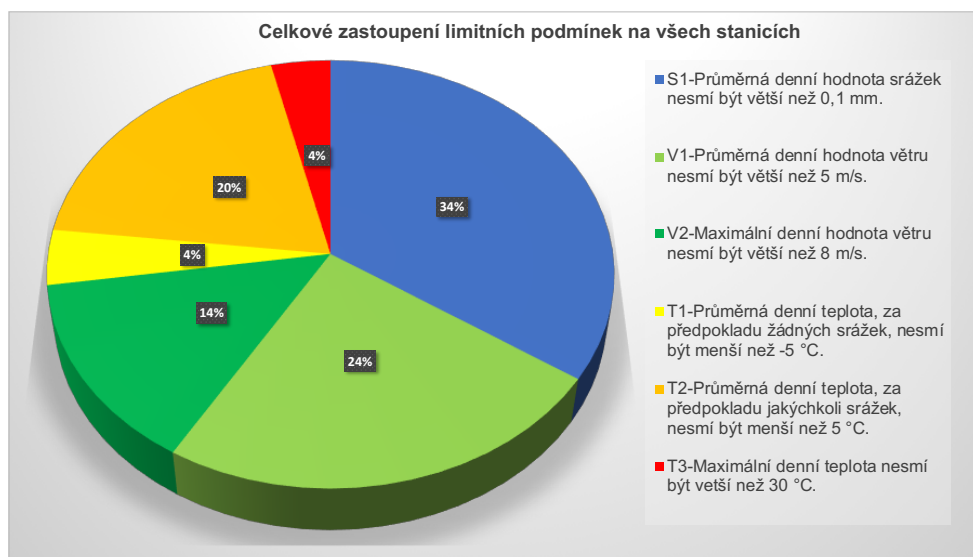
Kompletní animace grafické vizualizaci zpracovaných dat je dostupná na odkazu: <http://arcg.is/1iqnOu0>.

## 6.1 Zhodnocení limitních podmínek

Hned třináct zájmových území bylo nejvíce ovlivněno parametrem srážek, proto byla podmínka S1, určující maximální průměrné denní srážky, vyhodnocena jako nejvíce limitující faktor provozu UAS. Ve 34 % ze všech případů mohl za označení dne jako nevyhovující právě tento faktor. Nejmarkantnější ovlivnění bylo pozorováno na stanici v Peci pod Sněžkou, kde nebyla tato podmínka splněna ve 148 dnech. Nejméně zasáhl parametr srážek do potenciálního provozu UAS v Prostějově, podmínka zde ovlivnila 41 dní.

Podmínka V1, vymezující maximální průměrnou hodnotu větru na 5 m/s, s celkovým zastoupením 24 % dní ze všech neuspokojivých se ukázala jako nejvíce limitní na 8 stanicích. Nejvyšší počet dní omezených tímto ukazatelem byl v Přibyslavi, kde se počet dní vyšplhal na 144. Průměrný denní vítr v daném rozmezí zde celoročně dosahuje 4,73 m/s. V Peci pod Sněžkou nebyla tato podmínka splněna v pouhých třech dnech. Druhá podmínka zohledňující povětrnostní limity vymezuje maximální denní hodnoty větru. Stejně jako u první zmíněné podmínky se i tady nejvyšší počet limitních dnů (86) objevil na stanici v Přibyslavi. Rozdílné hodnoty jsme pozorovali v jižních Čechách ve městě České Budějovice. Maximální denní hodnota větru zde nesplňovala požadovanou hodnotu pouze v jednom případě, vítr ten den dosahoval 12 m/s. Průměrný počet dní, ovlivněný podmínkou V2, je však 39.

Při zohlednění posledních třech podmínek upravujících maximální a minimální přípustné teploty jako celku, zjistíme, že parametr teploty omezoval provoz bezpilotních systému ve 28 % všech nevyhovujících dní. Lze tedy konstatovat, že teplota pojatá z obou hledisek měla v roce 2017 zhruba stejný vliv na provoz bezpilotních systémů jako srážky a vítr. Z požadavků na teplotu byla jako nejvíce limitní vyhodnocena podmínka T2, která byla uvažovaná pouze v případě výskytu jakýchkoliv srážek. Ve většině případech byl tedy posuzovaný den označený jako nevyhovující i z pohledu podmínky omezující denní srážky na maximálních 0,1 mm. Průměrný počet dní omezených minimální teplotou za předpokladu žádných denních srážek, tedy podmínkou T1, byl 12. Maximální naměřená teplota v denním rozsahu 7-19 hod ovlivnila nejvíce výsledky na stanici v Brně, přičemž v průměru se počet omezených dní pohyboval kolem 10. Tabulka s celkovými výsledky je dostupná v příloze č. 1. Grafické zobrazení zastoupení limitních podmínek viz. obrázek č. 9.



Obr. 9.: Zastoupení limitních podmínek

## 6.2 Území s nejpříjemnějšími a nejméně vhodnými podmínkami

Nejpříjemnější podmínky pro celodenní sběr dat pomocí UAS převládaly na území Českých Budějovic, kde všechny limitní podmínky splnilo 226 dní. Pro tuto oblast se ukázalo jako nejvíce limitující výskyt srážek. Teplotní parametry v zájmovém území v součtu neumožnily potenciální nasazení bezpilotních systému v 71 případech. Z výsledku je patrné, že provoz dronů na území není příliš omezován z pohledu limitů nastavených na průměrné denní a maximální denní hodnoty větru, což koresponduje s výsledky průměrné rychlosti větru v 10 m nad zemským povrchem zpracovanými Ústavem fyziky atmosféry AV ČR. Viz tabulka č.3.

České Budějovice	
Počet vhodných dní	Počet nevhodných dní + nesplněná podmínka
226 dní	S1 - 83 dní Průměrná denní hodnota srážek nesmí být větší než 0,1 mm.
	T2 - 45 dní Průměrná denní teplota, za předpokladu jakýchkoli srážek, nesmí být menší než 5 °C.
	T3 - 19 dní Maximální denní teplota nesmí být větší než 30 °C.
	V1 - 13 dní Průměrná denní hodnota větru nesmí být větší než 5 m/s.
	T1 - 7 dní Průměrná denní teplota, za předpokladu žádných srážek, nesmí být menší než -5 °C.
	V2 - 1 den Maximální denní hodnota větru nesmí být větší než 8 m/s.

Tab. 3.: Podrobné výsledky ze stanice v Českých Budějovicích

Naopak nejhorší podmínky pro provoz bezpilotních leteckých systémů panovaly v obci Mošnov, nedaleko Ostravy. Při porovnání výsledných hodnot se stanicí v Českých Budějovicích si můžeme všimnout, co se parametrů teploty a srážek týče, že se hodnoty na obou stanicích příliš nelišily. Rozhodující je zde mnohonásobně vyšší překročení limitů vymezujících povolené rychlosti větru. Podmínka určující maximální denní průměrnou rychlost větru byla na této stanici překročena ve 129 dnech, z toho v 64 případech byla překročena i maximální nárazová rychlost větru 8 m/s. Ve zbylých šesti dnech byla překročena maximální denní rychlost větru i bez vzájemného porušení maximální průměrné denní rychlosti větru. Podrobné výsledky ze stanice v obci Mošnov jsou dostupné v tabulce č. 4.

Mošnov - Ostrava	
Počet vhodných dní	Počet nevhodných dní + nesplněná podmínka
137 dní	V1 - 129 dní Průměrná denní hodnota větru nesmí být větší než 5 m/s.
	S1 - 91 dní Průměrná denní hodnota srážek nesmí být větší než 0,1 mm.
	V2 - 70 dní Maximální denní hodnota větru nesmí být větší než 8 m/s.
	T2 - 45 dní Průměrná denní teplota, za předpokladu jakýchkoli srážek, nesmí být menší než 5 °C.
	T3 - 16 dní Maximální denní teplota nesmí být větší než 30 °C.
	T1 - 13 dní Průměrná denní teplota, za předpokladu žádných srážek, nesmí být menší než -5 °C.

Tab. 4.: Podrobné výsledky ze stanice z obce Mošnov

## 7. Diskuze

V bakalářské práci byly řešeny otázky týkající se náchylnosti provozu bezpilotních leteckých prostředků na vhodné okolní podmínky. Výsledky práce ukázaly, že téměř v polovině dní z roku 2017 nebyly splněny všechny stanovené limity pro úspěšný celodenní sběr dat na území ČR.

Značný vliv na konečné výsledky měla pravděpodobně i samotná lokace České republiky potažmo umístění všech stanic v mírném podnebném pásu. Při pohledu na výsledná data se ale nabízí otázka, kde jsou použité stanice položeny v rámci zájmového území z hlediska morfologie krajiny. Sbírané údaje ze dvou stanic v jednom zájmovém území (obec, město) by mohly vykazovat diametrálně odlišných hodnot v případě umístění jedné ze stanic například v údolí a druhé na místě vystupující nad okolní terén. To nám v podstatě dokazují i výrazně se lišící hodnoty větru na dvou stanicích v Praze ale vzhledem k rozloze města a vzájemné vzdálenosti obou stanic, není tento příklad zcela vypovídající. Za výše zmíněného předpokladu je zřejmé, že by některé z měřících stanic nemusely být vhodně umístěny, což by mohlo vést ke zkreslení výsledků. Potenciální ovlivnění výsledků tímto faktorem můžeme pozorovat na stanici v Peci pod Sněžkou. Vzhledem k poloze horské obce v rámci ČR je vysoce nepravděpodobné, že by zde byl parametr určující maximální a průměrné hodnoty větru překročen pouze v celkových sedmi případech. Otázkou ale je, zda-li je tento rozpor způsobený opravdu nevhodným umístěním stanice, nebo jestli za tím stojí něco jiného, jako například chyba při poskytování dat.

Z důvodu nenalezení vhodného zdroje dat metodika práce nezohledňuje vliv relativní vlhkosti vzduchu a dohlednosti, která by mohla být ovlivněna třeba výskytem mlhy. Dá se tedy předpokládat, že míra využitelnosti bezpilotních systémů na území ČR je ve skutečnosti ještě o pár dní menší. Meteorologické aspekty ale nejsou jediným faktorem, které mohou mít vliv na provoz dronů. Před každým uskutečněním letu je důležité zkontrolovat i aktuální hodnoty elektromagnetického rušení, způsobeného proměnlivou sluneční aktivitou nebo vlivem změn geomagnetického pole země pro danou lokalitu provozu, které by mohlo způsobit snížení signálu a tím ovlivnit přístup k některým satelitům. Sluneční bouře může mít taky neblahé účinky na elektroniku přístroje (Groves et al. 2012).

Podle zhodnocení celého roku 2017 z pohledu množství srážek, vypracovaného pobočkou Českého hydrometeorologického ústavu v Ústí nad Labem, nebyl tento rok nijak abnormální nebo extrémní. Celkový úhrn srážek na většině území ČR vykazoval převážně normálních hodnot. Nadnormální hodnoty se ale ukázaly při vyhodnocení

roční průměrné teploty vzduchu a to téměř na celém uvažovaném území (ČHMUUL 2018). Tato skutečnost mohla ovlivnit výsledky určené na základě parametru teploty z hlediska minimálních i maximálních stanovených limitů.

Svůj vliv na vyhodnocená data měl i výběr podmínek a stanovení konkrétních limitních hodnot větru, srážek a teplot. Jiný výběr omezujících meteorologických faktorů a zároveň i třeba nepatrně odlišné stanovení limitních hodnot by mohlo znamenat výrazně jiné výsledky.

V současné době již existují platformy rezistentní vůči srážkové vodě, silným poryvům větru nebo námrazám. Práce se ale na tuto problematiku dívá i z pohledu kvality a použitelnosti sbíraných dat a především z celodenního hlediska, které je uvažováno v rozmezí 7.00 – 19.00 hod. Možné tedy je, že by se potenciální použití mnohonásobně zvýšilo, za využití stroje schopného odolat extrémním podmínkám a za předpokladu nízkých nebo žádných požadavků na sbíraná data nebo v případě potřeby sběru dat v menších časových intervalech.

V průběhu práce s programem ArcGIS Online, se ukázalo, že tento software není zcela vyhovující pro zpracování grafické vizualizace v podobě časové osy. Program neumí v rámci jednoho roku promítat dané hodnoty v denním kroku. Z tohoto důvodu je vizualizace zobrazována v týdenních intervalech, kde jsou v případě srážek a rychlosti větru znázorňovány vždy největší dosažené hodnoty v daném týdnu. Teplota je v konkrétním týdnu zobrazena vždy jen za poslední den. V případě budoucího navázání na bakalářskou práci by bylo vhodné využít jiný software pro přehlednější a přesnější vizualizaci.

Na větší problém při zpracování práce jsem narazil hned na začátku při hledání volně dostupného zdroje dat. Při prvním pokusu získání historických dat od Českého hydrometeorologického ústavu jsem neuspěl. Ústav sice nabízí volně dostupná data, která jsem pro svou práci potřeboval ale pouze pro 10 meteorologických stanic. Potřebná data v požadovaném množství jsem nakonec získal od ruské společnosti. Co se literárních zdrojů týče, tak v dnešní době je k dispozici spousta článků o bezpilotních leteckých systémech a jejich možnostech využití, bohužel ale málokterý z nich se zabývá podrobněji vlivem meteorologických podmínek na provoz UAS a na kvalitu sbíraných dat.



## 8. Závěr a přínos práce

Použití leteckých bezpilotních systémů pro sběr dat je bez pochyb velmi efektivní řešení, ať už se na to díváme z pohledu finanční nenáročnosti, efektivnosti nebo časové úspory. Svými výsledky ale práce poukazuje na poměrně vysokou závislost bezpilotních systémů na vhodných povětrnostních podmínkách, teplotě vzduchu a na výši srážek. Zpracované výsledky z různých meteorologických stanic se mezi sebou v extrémních případech lišily i o více než jednu třetinu. Takové rozdíly byly pravděpodobně nejvyšší mírou způsobené geografickou polohou použité stanice v rámci České republiky a jejím umístěním v kontextu místní morfologie krajiny.

V roce 2017 se průměrná potenciální možnost celodenního sbírání dat pomocí bezpilotních systémů na území vybraných meteorologických stanic stěží dostala přes hranici padesáti procent dní. Pro sběr dat a samotný provoz dronů se jako nejvíce limitující ukázala podmínka určující maximální denní srážky. Nutno ale podotknout, že rozdíly mezi počty dní ovlivněných jednotlivými meteorologickými faktory nebyly nijak výrazné. Nejpříjemnější podmínky převládaly na území Českých Budějovic. Naopak nejméně vhodných dní jsme zaznamenali v okolí obce Mošnov.

Bakalářská práce byla tvořena retrospektivně a její přínos spočívá především pro možné budoucí piloty, kterým představuje stávající možnosti bezpilotních leteckých prostředků z více pohledů. Zvláště poukazuje na závislost dronů na přijatelných meteorologických podmínkách a na potřebu ucelené přípravy před každým letem. Práce má svůj přínos i pro stávající piloty, kteří si budou moci uvědomit možné hrozby a rizika při nasazení bezpilotního leteckého prostředku za nevhodných podmínek.

V budoucnu by bylo dobré navázat na tuto práci zhodnocením více historických dat ve více letech jdoucích po sobě, přičemž by bylo možné vyloučit abnormální hodnoty a získat tak přesnější výsledky. Vhodné by bylo také použít informace z více stanic a pracovat s hustější sítí zdrojů dat, což by pomohlo zpřesnit výsledky z pohledu celé České republiky.

## 9. Přehled literatury a použitých zdrojů

1. AEROMOTUS, 2017. *How Weather Affects Your Drone's Performance* [online] [vid. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.aeromotus.com/information-for-drone-users/how-weather-affects-your-drone-s-performance/>
2. AFXENTIOU, Afxentis, 2018. A history of drones: moral(e) bombing and state terrorism. *Critical Studies on Terrorism* [online]. B.m.: Routledge, **11**(2), 301–320. ISSN 17539161. Dostupné z: doi:10.1080/17539153.2018.1456719
3. AMUKELE, Timothy K., Jeff STREET, Karen CARROLL, Heather MILLER a Sean X. ZHANG, 2016. Drone transport of microbes in blood and sputum laboratory specimens. *Journal of Clinical Microbiology* [online]. **54**(10), 2622–2625. ISSN 1098660X. Dostupné z: doi:10.1128/JCM.01204-16
4. AMUKELE, Timothy, Paul M. NESS, Aaron A.R. TOBIAN, Joan BOYD a Jeff STREET, 2017. Drone transportation of blood products. *Transfusion* [online]. **57**(3), 582–588. ISSN 15372995. Dostupné z: doi:10.1111/trf.13900
5. ANDERSON, Karen a Kevin J. GASTON, 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* [online]. **11**(3), 138–146. ISSN 15409295. Dostupné z: doi:10.1890/120150
6. ANONYM, 2013. Object Lessons: Dr. Julius Neubronner's Miniature Pigeon Camera 1903. *Aperture* [online]. B.m.: Aperture Foundation, Inc., **212**, 128 [vid. 2018-11-30]. Dostupné z: doi:10.2307/24474838
7. BAGARAM, Martin B., Diego GIULIARELLI, Gherardo CHIRICI, Francesca GIANNETTI a Anna BARBATI, 2018. UAV remote sensing for biodiversity monitoring: Are forest canopy gaps good covariates? *Remote Sensing* [online]. **10**(9), 1–28. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10091397
8. BERNARD, J. M. FRIEDT, F. TOLLE, Ch MARLIN a M. GRISELIN, 2017. Using a small COTS UAV to quantify moraine dynamics induced by climate shift in Arctic environments. *International Journal of Remote Sensing* [online]. B.m.: Taylor & Francis, **38**(8–10), 2480–2494. ISSN 13665901. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2016.1249310
9. BOUABDALLAH, Samir a Roland SIEGWART, 2007. Full control of a quadrotor. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems* [online]. (1), 153–158. ISSN 2153-0858. Dostupné z: doi:10.1109/IROS.2007.4399042
10. BOYSEN, Nils, Dirk BRISKORN, Stefan FEDTKE a Stefan SCHWERDFEGGER, 2018. Drone delivery from trucks: Drone scheduling for given truck routes. *Networks* [online]. **72**(4), 506–527. ISSN 10970037. Dostupné z: doi:10.1002/net.21847
11. BROOK, Henry, 2016. *Drones*. London: Usborne Publishing Ltd. ISBN 9781409593607.
12. BUFON, Milan, 2019. CENTRAL AND SOUTH-EASTERN EUROPE: AN AREA OF GEOPOLITICAL AND GEOCULTURAL CONTACT. 1–14.
13. CASASANTA, Giampietro, Igor PETENKO, Giangiuseppe MASTRANTONIO, Simone BUCCI, Alessandro CONIDI, Andrea M. DI LELLIS, Giulio SFOGLIETTI a Stefania ARGENTINI, 2018. Consumer Drones Targeting by Sodar (Acoustic Radar). *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* [online]. B.m.: IEEE, **15**(11), 1692–1694. ISSN 1545598X. Dostupné z: doi:10.1109/LGRS.2018.2858930
14. CASELLA, Elisa, Antoine COLLIN, Daniel HARRIS, Sebastian FERSE, Sonia BEJARANO, Valeriano PARRAVICINI, James L. HENCH a Alessio ROVERE, 2017. Mapping coral reefs using consumer-grade drones and structure from motion photogrammetry techniques. *Coral Reefs* [online]. B.m.: Springer Berlin Heidelberg, **36**(1), 269–275. ISSN 07224028. Dostupné z: doi:10.1007/s00338-016-1522-0
15. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV-POBOČKA ÚSTÍ NAD LABEM(ČHMUUL), 2018. *Množství srážek a průměrná teplota vzduchu v roce 2017* [online] [vid. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://www.chmuul.org/aktuality/2018-02-srazky-2017/>
16. COLLIN, Antoine, Camille RAMAMBASON, Yves PASTOL, Elisa CASELLA, Alessio ROVERE, Lauric THIAULT, Benoît ESPIAU, Gilles SIU, Franck LEROUVREUR, Nao NAKAMURA, James L. HENCH, Russell J. SCHMITT, Sally J. HOLBROOK, Matthias TROYER a Neil DAVIESK, 2018. Very high resolution mapping of coral reef state using airborne bathymetric lidar surface-intensity and drone imagery. *International Journal of Remote Sensing* [online]. B.m.: Taylor & Francis, **39**(17), 5676–5688. ISSN 13665901. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2018.1500072
17. CRUZ, Henry, Martina ECKERT, Juan MENESES a José Fernán MARTÍNEZ, 2016. Efficient forest fire detection index for application in Unmanned Aerial Systems (UASs). *Sensors (Switzerland)* [online]. **16**(6), 1–16. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s16060893
18. DANDOIS, Jonathan P., Marc OLANO a Erle C. ELLIS, 2015. Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision uav estimates of forest structure. *Remote Sensing* [online]. **7**(10), 13895–13920. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs71013895
19. DE MARGERIE, E., J. B. MOURET, S. DONCIEUX a J. A. MEYER, 2007. Artificial evolution of the morphology and kinematics in a flapping-wing mini-UAV. *Bioinspiration and Biomimetics* [online]. **2**(4), 65–82. ISSN 17483182. Dostupné z: doi:10.1088/1748-3182/2/4/002
20. DEBELL, L., K. ANDERSON, R.E. BRAZIER, N. KING a L. JONES, 2016. Water resource management at catchment scales using lightweight UAVs: current capabilities and future perspectives. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* [online]. **4**(1), 7–30. ISSN 2291-3467. Dostupné z: doi:10.1139/juvs-2015-0026
21. DOPLNĚK, O, 2016. *LETECKÝ PŘEDPIS L 2*. 2016.

22. DOPLNĚK, X, 2012. *LETECKÝ PŘEDPIS L 2*. 2012.
23. DUFFY, James P., Andrew M. CUNLIFFE, Leon DEBELL, Chris SANDBROOK, Serge A. WICH, Jamie D. SHUTLER, Isla H. MYERS-SMITH, Miguel R. VARELA a Karen ANDERSON, 2018. Location, location, location: considerations when using lightweight drones in challenging environments. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* [online]. **4**(1), 7–19. ISSN 20563485. Dostupné z: doi:10.1002/rse2.58
24. ENG, Pillar, Luis MEJIAS, Xi LIU a Rodney WALKER, 2010. Automating human thought processes for a UAV forced landing. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications* [online]. **57**(1–4), 329–349. ISSN 09210296. Dostupné z: doi:10.1007/s10846-009-9389-8
25. EVANS, T.C., E. GAVRILOVICH, R.C. MIHAL, I. ISBASESCU, L. EASYG, Darryl THELEN, J. A. MARTIN, S. M. ALLEN a S.A. SLANE, 2017. Patent Application Publication [online]. 2017. Dostupné z: doi:10.1037/t24245-000
26. FAIÇAL, Bruno S., Fausto G. COSTA, Gustavo PESSIN, Jó UEYAMA, Heitor FREITAS, Alexandre COLOMBO, Pedro H. FINI, Leandro VILLAS, Fernando S. OSÓRIO, Patrícia A. VARGAS a Torsten BRAUN, 2014. The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor networks for spraying pesticides. *Journal of Systems Architecture* [online]. **60**(4), 393–404. ISSN 13837621. Dostupné z: doi:10.1016/j.sysarc.2014.01.004
27. FERNÁNDEZ-GUISURAGA, José Manuel, Enoc SANZ-ABLANEDO, Susana SUÁREZ-SEOANE a Leonor CALVO, 2018. Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges. *Sensors (Switzerland)* [online]. **18**(2), 1–17. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s18020586
28. FIKKE, S., P.E. P.-E PERSSON, Brian WAREING, J. CHUM, Lasse MAKKONEN, Göran RONSTEN, Alain HEIMO, Stefan KUNZ, M. OSTROZLIK, J. SABATA, Bodo WICHURA, Timo LAAKSO a Kristiina SÄNTTI, 2007. *COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art*.
29. FLADELAND, M. M., R. BERTHOLD, L. MONFORTON, R. KOLYER, B. LOBITZ a M. SUMICH, 2008. The NASA SIERRA UAV: A new unmanned aircraft for earth science investigations. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract id. B41A-0365* [online]. [vid. 2018-11-30]. Dostupné z: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2008AGUFM.B41A0365F>
30. FLYNN, Kyle F a Steven C CHAPRA, 2014. Remote sensing of submerged aquatic vegetation in a shallow non-turbid river using an unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing* [online]. **6**(12), 12815–12836. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs61212815
31. FORNACE, Kimberly M., Chris J. DRAKELEY, Timothy WILLIAM, Fe ESPINO a Jonathan COX, 2014. Mapping infectious disease landscapes: Unmanned aerial vehicles and epidemiology. *Trends in Parasitology* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **30**(11), 514–519. ISSN 14715007. Dostupné z: doi:10.1016/j.pt.2014.09.001
32. GETZIN, Stephan, Robert S. NUSKE a Kerstin WIEGAND, 2014. Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sensing* [online]. **6**(8), 6988–7004. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs6086988
33. GROŠPIC, Pavel, 2017a. *Právní aspekty provozu dronů II* [online] [vid. 2019-01-24]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/195-pravni-aspekty-dronu-ii>
34. GROŠPIC, Pavel, 2017b. *Právní aspekty provozu dronů v ČR I* [online] [vid. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/193-pravni-aspekty-provozu-dronu-v-cr>
35. GROVES, K. M., C. E. VALLADARES, P. H. DOHERTY, A. O. AKALA a C. S. CARRANO, 2012. Impacts of ionospheric scintillations on GPS receivers intended for equatorial aviation applications. *Radio Science* [online]. **47**(4), 1–11. Dostupné z: doi:10.1029/2012rs004995
36. HACKNEY, C. a A.I. I CLAYTON, 2015. Unmanned Aerial Vehicles ( UAVs ) and their application in geomorphic mapping. *Geomorphological Techniques* [online]. **7**, 1–12. ISSN 2047-0371. Dostupné z: [http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom\\_tech\\_chapters/2.1.7\\_UAV.pdf](http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.1.7_UAV.pdf)
37. HAIDARI, Leila A., Shawn T. BROWN, Marie FERGUSON, Emily BANCROFT, Marie SPIKER, Allen WILCOX, Ramya AMBIKAPATHI, Vidya SAMPATH, Diana L. CONNOR a Bruce Y. LEE, 2016. The economic and operational value of using drones to transport vaccines. *Vaccine* [online]. **34**(34), 4062–4067. ISSN 18732518. Dostupné z: doi:10.1016/j.vaccine.2016.06.022
38. HARDIN, Perry J. a Ryan R. JENSEN, 2011. Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *GIScience & Remote Sensing* [online]. **48**(1), 99–111. ISSN 1548-1603. Dostupné z: doi:10.2747/1548-1603.48.1.99
39. HASSANALIAN, M. a A. ABDELKEFI, 2017. Methodologies for weight estimation of fixed and flapping wing micro air vehicles. *Meccanica* [online]. B.m.: Springer Netherlands, **52**(9), 2047–2068. ISSN 15729648. Dostupné z: doi:10.1007/s11012-016-0568-y
40. HUUSKONEN, Janna a Timo OKSANEN, 2018. Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. B.m.: Elsevier, **154**(August), 25–35. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2018.08.039
41. KARACA, Yunus, Mustafa CICEK, Ozgur TATLI, Aynur SAHIN, Sinan PASLI, Muhammed Fatih BESER a Suleyman TUREDİ, 2018. The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations. *American Journal of Emergency Medicine* [online]. B.m.: Elsevier Inc., **36**(4), 583–588. ISSN 15328171. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajem.2017.09.025
42. KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ, 2016. *Drony*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4680-4.
43. KISZKA, Jeremy J., Johann MOURIER, Kirk GASTRICH a Michael R. HEITHAUS, 2016. Using unmanned aerial vehicles (UAVs) to investigate shark and ray densities in a shallow coral lagoon. *Marine Ecology Progress Series* [online]. **560**, 237–242. Dostupné

- z: doi:<https://doi.org/10.3354/meps11945>
44. KOH, Lian Pin a Serge A. WICH, 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science* [online]. **5**(2), 121–132. Dostupné z: doi:[10.1177/194008291200500202](https://doi.org/10.1177/194008291200500202)
  45. KRAMAR, Vadim a Harri MÄÄTTÄ, 2018. UAV Arctic Challenges and the First Step: Printed Temperature Sensor. In: *Proceedings of the 23rd IEEE Conference of FRUCT Assosiation*. s. 483–490.
  46. KUŽELKA, Karel a Peter SUROVÝ, 2018. Automatic detection and quantification of wild game crop damage using an unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with an optical sensor payload: A case study in wheat. *European Journal of Remote Sensing* [online]. B.m.: Taylor & Francis, **51**(1), 241–250. ISSN 22797254. Dostupné z: doi:[10.1080/22797254.2017.1419442](https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1419442)
  47. LAFAY, Mark, 2018. *Tips for Flying Your Drone in Sub-Optimal Weather Conditions* [online] [vid. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.dummies.com/consumer-electronics/drones/tips-for-flying-your-drone-in-sub-optimal-weather-conditions/>
  48. LEFSKY, Michael A., Warren B. COHEN, Geoffrey G. PARKER a David J. HARDING, 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience* [online]. **52**(1), 19. ISSN 0006-3568. Dostupné z: doi:[10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0019:LRSFES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0019:LRSFES]2.0.CO;2)
  49. LONG, Lyle, Anthony DELULLO, Brian GEIGER, Joseph HORN a Albert NIESSNER, 2006. *Optimal Path Planning of UAVs Using Direct Collocation with Nonlinear Programming* [online]. Dostupné z: doi:[10.2514/6.2006-6199](https://doi.org/10.2514/6.2006-6199)
  50. MCEVOY, John F., Graham P. HALL a Paul G. MCDONALD, 2016. Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *PeerJ* [online]. **4**, e1831. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:[10.7717/peerj.1831](https://doi.org/10.7717/peerj.1831)
  51. MICHEZ, Adrien, Kevin MORELLE, François LEHAIRE, Jérôme WIDAR, Manon AUTHELET, Cédric VERMEULEN a Philippe LEJEUNE, 2016. Use of unmanned aerial system to assess wildlife ( *Sus scrofa* ) damage to crops ( *Zea mays* ). *Journal of Unmanned Vehicle Systems* [online]. **4**(4), 266–275. ISSN 2291-3467. Dostupné z: doi:[10.1139/juvs-2016-0014](https://doi.org/10.1139/juvs-2016-0014)
  52. MOGILI, Um Rao a B. V. L. DEEPAK, 2018. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **133**, 502–509. ISSN 18770509. Dostupné z: doi:[10.1016/j.procs.2018.07.063](https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063)
  53. NÁRODNÍ ÚŘAD PRO OCEÁN A ATMOSFÉRU (NOAA), 2012. State of the Science Fact Sheet - Emerging Technologies for Mobile Earth Observations [online]. (March). ISSN 00224928. Dostupné z: [http://nrc.noaa.gov/sites/nrc/Documents/SoS\\_Fact\\_Sheets/SoS\\_AandR\\_Platforms\\_FINAL.pdf](http://nrc.noaa.gov/sites/nrc/Documents/SoS_Fact_Sheets/SoS_AandR_Platforms_FINAL.pdf)
  54. NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY OF BRAZIL (ANAC), 2018. *Drones and Meteorology* [online] [vid. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://www.anac.gov.br/en/safety/aeronautical-meteorology/drones-and-meteorology>
  55. NEUMANN, Patrick P. a Matthias BARTHOLMAI, 2015. Real-time wind estimation on a micro unmanned aerial vehicle using its inertial measurement unit. *Sensors and Actuators, A: Physical* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **235**, 300–310. ISSN 09244247. Dostupné z: doi:[10.1016/j.sna.2015.09.036](https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.09.036)
  56. NOROUZI GHAZBI, S., Y. AGHLI, M. ALIMOHAMMADI a A. A. AKBARI, 2016. Quadrotors unmanned aerial vehicles: A review. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems* [online]. **9**(1), 309–333. ISSN 11785608. Dostupné z: doi:[10.21307/ijssis-2017-872](https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-872)
  57. NOVÁK, Jan, 2018. *Dron Agras MG-1S: průškovací letadlo pro každého* [online] [vid. 2019-01-27]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/civilni-drony/item/268-drony-zemedelstvi-agras>
  58. NOVÁK, Vítek, 2019. *Drony místo lesních dělníků?* [online] [vid. 2019-01-27]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/civilni-drony/item/280-drony-misto-lesnich-delniku>
  59. OČADLÝ, Tomáš, 2017. *Jak létat s dronem v zimě a na co si dát pozor?* [online] [vid. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/letani-s-dronem-v-zime/>
  60. OLIVER, David a Mike RYAN, 2000. *Warplanes of the Future*. Shepperton: MBI Publishing Company. ISBN 0760309043.
  61. PENG, Yan, Wenqing GUO, Mei LIU a Shaorong XIE, 2014. Active modeling based yaw control of unmanned Rotorcraft. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems* [online]. **7**(1), 380–399. ISSN 11785608. Dostupné z: doi:[10.21307/ijssis-2017-661](https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-661)
  62. PULITI, Stefano, Hans Ole ØRKA, Terje GOBAKKEN a Erik NÆSSET, 2015. Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sensing* [online]. **7**(8), 9632–9654. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:[10.3390/rs70809632](https://doi.org/10.3390/rs70809632)
  63. PURI, Vikram, Anand NAYYAR a Linesh RAJA, 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems* [online]. **20**(4), 507–518. ISSN 17423953. Dostupné z: doi:[10.1080/09720510.2017.1395171](https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171)
  64. RASHID, Taimur, Umair N. MUGHAL a Muhammad S. VIRK, 2013. Atmospheric icing sensors for UAV's. In: *4th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2013 - Proceedings* [online]. B.m.: IEEE, s. 725–728. ISBN 9781479915439. Dostupné z: doi:[10.1109/CogInfoCom.2013.6719194](https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2013.6719194)
  65. RUTTEN, Anneleen, Jim CASAER, Marjolein F.A. VOGELS, Elisabeth A. ADDINK, Jeroen VANDEN BORRE a Herwig LEIRS, 2018. Assessing agricultural damage by wild boar using drones. *Wildlife Society Bulletin* [online]. **42**(4), 568–576. ISSN 19385463. Dostupné z: doi:[10.1002/wsb.916](https://doi.org/10.1002/wsb.916)
  66. SHCHERBAN, Anastasia, Vitalii LARIN, Volodymyr MASLOV, Nataliya KACHUR a Tatiana TURU, 2018. Intelligent System for Temperature Control of Li-Pol Battery. *International Journal of Automation, Control and Intelligent systems*. **4**(2), 24–28.

67. ŠKORPÍK, Jiří, 2018. Využití energie větru. *Transformační technologie* [online]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/04.html>
68. SUZUKI, Kentaroh, Graeme L. STEPHENS a Matthew D. LEBSOCK, 2013. Aerosol effect on the warm rain formation process: Satellite observations and modeling. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* [online]. **118**(1), 170–184. ISSN 21698996. Dostupné z: doi:10.1002/jgrd.50043
69. TANG, Lina a Guofan SHAO, 2015. Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research* [online]. B.m.: Northeast Forestry University, **26**(4), 791–797. ISSN 19930607. Dostupné z: doi:10.1007/s11676-015-0088-y
70. TAURO, Flavia, Maurizio PORFIRI a Salvatore GRIMALDI, 2016. Surface flow measurements from drones. *Journal of Hydrology* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **540**, 240–245. ISSN 00221694. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2016.06.012
71. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ (ÚCL), 2018. *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139* [online]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/predpisy/narizeni-evropskeho-parlamentu-a-rady-eu-2018-1139>
72. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ (ÚCL), nedatováno. *Kde se nachází jaký druh vzdušného prostoru? (TMA, CTR, ATZ, zakázané, nebezpečné, vyhrazené, atd.)* [online]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/kde-se-nachazi-jaky-druh-vzdusneho-prostoru-tma-ctr-atz>
73. VAN TILBURG, Christopher, 2017. First Report of Using Portable Unmanned Aircraft Systems (Drones) for Search and Rescue. *Wilderness and Environmental Medicine* [online]. B.m.: Elsevier Inc., **28**(2), 116–118. ISSN 10806032. Dostupné z: doi:10.1016/j.wem.2016.12.010
74. VENTURA, Daniele, Andrea BONIFAZI, Maria Flavia GRAVINA, Andrea BELLUSCIO a Giandomenico ARDIZZONE, 2018. Mapping and classification of ecologically sensitive marine habitats using unmanned aerial vehicle (UAV) imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA). *Remote Sensing* [online]. **10**(9), 1–23. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10091331
75. VENTURA, Daniele, Michele BRUNO, Giovanna JONA LASINIO, Andrea BELLUSCIO a Giandomenico ARDIZZONE, 2016. A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **171**, 85–98. ISSN 02727714. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecss.2016.01.030
76. VURAN, Mehmet C., Abdul SALAM, Rigoberto WONG a Suat IRMAK, 2018. Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects. *Ad Hoc Networks* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **81**, 160–173. ISSN 15708705. Dostupné z: doi:10.1016/j.adhoc.2018.07.017
77. WAGNER, William a W SLOAN, 1992. *Fireflies and other uav*. Shepperton: Midland Publishing Limited. ISBN 9780942548556.
78. WANG, Chao-Yang, Shanhai GE, Terrence XU, Guangsheng ZHANG, Yongjun LENG, Yan JI a Xiao-Guang YANG, 2016. Lithium-ion battery structure that self-heats at low temperatures. *Nature* [online]. B.m.: Nature Publishing Group, **529**(7587), 515–518. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature16502
79. WOODGET, Amy S., Robbie AUSTRUMS, Ian P. MADDOCK a Evelyn HABIT, 2017. Drones and digital photogrammetry: from classifications to continuums for monitoring river habitat and hydromorphology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* [online]. **4**(4), 1–20. ISSN 20491948. Dostupné z: doi:10.1002/wat2.1222
80. ZÁKON Č. 49/1997 SB., 1997. *o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů* [online]. 1997. [vid. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49>

## 10. Přílohy

Příloha č. 1: Tabulka s celkovými výsledky

Město	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat	Nejvíce limitující faktor a počet dní	Druhý nejvíce limitující faktor a počet dní	Třetí nejvíce limitující faktor a počet dní	Čtvrtý nejvíce limitující faktor a počet dní	Pátý nejvíce limitující faktor a počet dní	Šestý nejvíce limitující faktor a počet dní
Brno	169	V1 - 94 dní	S1 - 70 dní	V2 - 62 dní	T2 - 32 dní	T3 - 23 dní	T1 - 14 dní
Čáslav	175	V1 - 94 dní	S1 - 89 dní	V2 - 65 dní	T2 - 34 dní	T3 - 13 dní	T1 - 12 dní
České Budějovice	226	S1 - 83 dní	T2 - 45 dní	T3 - 19 dní	V1 - 13 dní	T1 - 7 dní	V2 - 1 dní
Doksany	198	S1 - 97 dní	V1 - 58 dní	T2 - 36 dní	V2 - 31 dní	T3 - 16 dní	T1 - 5 dní
Karlovy Vary	213	S1 - 96 dní	T2 - 63 dní	V1 - 47 dní	V2 - 16 dní	T1 - 11 dní	T3 - 2 dní
Kostelní Mlýnská	216	S1 - 90 dní	T2 - 63 dní	V1 - 29 dní	T1 - 15 dní	T3 - 8 dní	V2 - 6 dní
Kramolín	194	S1 - 104 dní	T2 - 69 dní	V1 - 56 dní	V2 - 22 dní	T1 - 12 dní	T3 - 5 dní
Kuchařovice	158	V1 - 106 dní	V2 - 74 dní	S1 - 69 dní	T2 - 43 dní	T3 - 25 dní	T1 - 12 dní
Liberec	194	S1 - 134 dní	T2 - 66 dní	V1 - 37 dní	V2 - 14 dní	T1 - 8 dní	T3 - 1 dní
Luká	159	V1 - 114 dní	S1 - 88 dní	V2 - 80 dní	T2 - 63 dní	T1 - 16 dní	T3 - 4 dní
Mošnov - Ostrava	137	V1 - 129 dní	S1 - 91 dní	V2 - 70 dní	T2 - 45 dní	T3 - 16 dní	T1 - 13 dní
Pardubice	190	S1 - 105 dní	V1 - 64 dní	T2 - 36 dní	V2 - 35 dní	T3 - 14 dní	T1 - 13 dní
Pec pod Sněžkou	173	S1 - 148 dní	T2 - 107 dní	T1 - 13 dní	V2 - 4 dní	V1 - 3 dní	T3 - 0 dní
Praha Libuš	221	S1 - 98 dní	T2 - 45 dní	T3 - 14 dní	V1 - 10 dní	T1 - 7 dní	V2 - 3 dní
Praha Ruzyň	178	V1 - 110 dní	S1 - 83 dní	V2 - 55 dní	T2 - 42 dní	T1 - 14 dní	T3 - 6 dní
Pízeň	190	S1 - 96 dní	V1 - 52 dní	T2 - 50 dní	V2 - 20 dní	T3 - 14 dní	T1 - 13 dní
Prostějov	223	V1 - 51 dní	S1 - 41 dní	V2 - 40 dní	T2 - 32 dní	T3 - 21 dní	T1 - 13 dní
Příbryslav	142	V1 - 144 dní	S1 - 103 dní	V2 - 86 dní	T2 - 64 dní	T1 - 10 dní	T3 - 3 dní
Temelín	178	S1 - 91 dní	V2 - 74 dní	V1 - 73 dní	T2 - 58 dní	T1 - 13 dní	T3 - 5 dní
Ústí na Labem	194	S1 - 120 dní	T2 - 70 dní	V1 - 43 dní	V2 - 18 dní	T1 - 7 dní	T3 - 3 dní
Ústí nad Orlicí	168	S1 - 114 dní	V1 - 81 dní	T2 - 73 dní	V2 - 48 dní	T1 - 15 dní	T3 - 4 dní
Průměrný počet dní v roce, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat	186	51%					

podmínka S1	průměrná hodnota srážek nesmí být větší než 0,1 mm
podmínka V1	průměrná hodnota větru nesmí být větší než 5 m/s
podmínka V2	maximální hodnota větru nesmí být větší než 8 m/s
podmínka T1	teplota (v případě nulových srážek) nesmí být menší než -5 stupňů
podmínka T2	teplota (v případě jakýchkoli srážek) nesmí být menší než +5 stupňů
podmínka T3	Teplota nesmí být větší než 30 stupňů