

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD



# **Temporální využitelnost bezpilotních leteckých prostředků pro sběr prostorových dat**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Autor práce: Bc. Martin Vávra

Praha, 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Vávra

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

Název práce

**Temporální využitelnost bezpilotních leteckých prostředků pro sběr prostorových dat**

Název anglicky

**Temporary usability of unmanned aerial vehicles for spatial data collection**

---

### Cíle práce

Cílem práce je stanovit míru využitelnosti bezpilotních leteckých prostředků pro sbírání prostorových dat se zřetelem na jejich provozní omezení meteorologickými podmínkami. Cílem je stanovení provozních meteorologických podmínek bezpilotních leteckých prostředků a jejich vyhodnocení pomocí volně dostupných meteorologických dat i naměřenými údaji vlastní meteorologickou stanicí. Dílčím cílem je stanovení závislosti vlastních naměřených dat a volně dostupných meteorologických dat.

### Metodika

Autor zjistí dostupnost volných meteorologických dat území České republiky a nainstaluje vlastní meteorologickou stanicí na vybranou lokalitu. Z volně dostupných dat i naměřených dat autor vytvoří vhodné datové sady, které vyhodnotí podle stanovených podmínek v několika časových intervalech. Pro vyhodnocení dat autor použije vhodné statistické metody ve statistickém prostředí R. Výsledky práce autor vizualizuje prostřednictvím map, grafů a tabulek v aplikaci ArcGIS Insights, kde své výsledky bude sdílet.

**Doporučený rozsah práce**

50-60 stran

**Klíčová slova**

UAV, počasí, vítr, srážky, teplota

---

**Doporučené zdroje informací**

- CLARK, D. G., J. D. FORD a T. TABISH, 2018. What role can unmanned aerial vehicles play in emergency response in the Arctic: A case study from Canada. PLoS ONE. 13(12), 1–16. ISSN 19326203.
- COLEFAX, A. P., P. A. BUTCHER, D. E. PAGENDAM a B. P. KELAHER, 2019. Reliability of marine faunal detections in drone-based monitoring. Ocean and Coastal Management. 174, 108–115. ISSN 09645691.
- 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.
- DUNSTAN, A., K. ROBERTSON, R. FITZPATRICK, J. PICKFORD a J. MEAGER, 2020. Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for mark-resight nesting population estimation of adult female green sea turtles at Raine Island. PLoS ONE [online]. 15(6), 1–18. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0228524
- 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.
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2021

**doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 3. 2021

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2021

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Temporální využitelnost bezpilotních leteckých prostředků pro sběr prostorových dat, vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, dne 28. 3. 2021

.....  
Martin Vávra

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Janu Komárkovi, Ph.D. za odborné vedení a vynaložený čas při tvorbě mé diplomové práce. Poděkování patří také poskytovatelům volně dostupných meteorologických dat ze společností ČHMÚ, NASA a Reliable Prognosis.

Upřímně děkuji i svým nejbližším a přátelům za podporu během studia.

## **Abstrakt**

Bezpilotní letecké systémy představují slibnou cestu k efektivnímu monitorování environmentálních jevů. Jejich aplikace je ale podmíněna příznivým počasím, které využívání dronů často limituje. Analýzou meteorologických dat z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), amerického Národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA) a portálu Reliable Prognosis (rp5.ru) se posuzovaly možnosti nasazení bezpilotních leteckých prostředků s ohledem na rychlost větru, úhrn srážek a teplotu vzduchu v rámci 31 lokalit napříč Českou republikou. Při vyhodnocení čtyřletého období (2016-2019) dat ze zdroje NASA se ukázalo, že během intervalu 7.00 – 19.00 hodin byly vhodné podmínky pro sbírání leteckých dat v průměru 110 dní v roce. Zatímco vyhodnocení celého dne ve stejném období z dat ČHMÚ poukazuje na nižší aplikovatelnost bezpilotních leteckých prostředků, která se pohybuje okolo 90 vhodných dní za rok. Naměřená data z vlastní meteorologické stanice během druhé poloviny roku 2020 vykazují více než 60% splnění stanovených meteorologických podmínek během hodnocených dní, což představuje průměrně 19 vhodných letových dní za měsíc. Práce nabízí detailní zhodnocení volně dostupných meteorologických dat a informuje tak o využitelnosti dronů pro systematický sběr prostorových dat s ohledem na meteorologickou situaci. Výsledky upozorňují na problematiku meteorologických aspektů ovlivňujících let dronů a poukazují na zjevné rozdíly mezi poskytovanými meteorologickými údaji z odlišných zdrojů.

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

## **Abstract**

UAS are a promising new way to an effective monitoring of environmental phenomenon. Their application is however dependent on favorable weather conditions which may be often limiting. The possibilities of the use of UAS were assessed by analyzing data from the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI), the American National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the portal of Reliable Prognosis (rp5.ru) focusing on wind speed, precipitation and air temperature in 31 localities across the Czech Republic. Evaluating four-year period (2016-2019) data from NASA source it was discovered that during 07:00 – 19:00 interval the weather conditions were suitable in 110 days on average. Based on the data from the Czech Hydrometeorological Institute, in 24-hour interval, the data show that UAS use is significantly reduced and can be operated only in about 90 days per year. Data from our own meteorological station from the second half of year 2020 show more than 60% of meteorological limits are met during evaluated days which is approximately 19 suitable days in a month. Thesis offers a detailed assessment of accessible meteorological data and informs about UAS serviceability for a systematic collection of spatial data with respect to the meteorological situation. The results outline the problematics of meteorological aspects that influence the flight of UAS and point out to significant differences between provided meteorological data from different sources.

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

# Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>3</b>
3.1 DRON A JEHO SOUČÁSTI.....	3
3.2 SNÍMAČE A SENZORY .....	7
3.2.1 <i>LiDAR</i> .....	7
3.2.2 <i>Multispektrální kamery</i> .....	7
3.2.3 <i>Červeno-zeleno-modré snímače</i> .....	7
3.2.4 <i>Tepelné senzory</i> .....	8
3.2.5 <i>Panoramatické kamery</i> .....	8
3.3 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ.....	9
3.4 LEGISLATIVNÍ RÁMEC PROVOZU .....	11
3.5 MOŽNOSTI ENVIRONMENTÁLNÍ APLIKACE DRONŮ .....	13
3.6 VLIV APLIKACE BEZPILOTNÍCH LETECKÝCH PROSTŘEDKŮ NA VOLNĚ ŽIJÍCÍ ŽIVOČICHY .....	15
3.7 METEOROLOGICKÉ ASPEKTY .....	16
3.7.1 <i>Dešťové a jiné typy srážek</i> .....	16
3.7.2 <i>Rychlost větru</i> .....	17
3.7.3 <i>Teplota vzduchu</i> .....	19
3.7.4 <i>Solární energie</i> .....	20
<b>4. METODIKA .....</b>	<b>22</b>
4.1 ANALÝZA VOLNĚ DOSTUPNÝCH DAT.....	23
4.1.1 <i>Zdroj volně dostupných dat</i> .....	23
4.1.2 <i>Stanovení limitních podmínek</i> .....	24
4.1.3 <i>Úprava a vyhodnocení volně dostupných dat</i> .....	25
4.2 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT.....	26
4.2.1 <i>Instalace a specifikace meteorologické stanice</i> .....	26
4.2.2 <i>Stanovení limitních podmínek</i> .....	28
4.2.3 <i>Úprava a vyhodnocení naměřených dat za půl roku</i> .....	28
4.3 STATISTICKÉ POROVNÁNÍ DAT .....	29
4.4 VIZUALIZACE VÝSLEDKŮ .....	30
<b>5. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ.....</b>	<b>31</b>
5.1 CHARAKTERISTIKA ČR .....	31
5.2 CHARAKTERISTIKA LOKALITY S VLASTNÍ METEOROLOGICKOU STANICÍ .....	35



<b>6.</b>	<b>VÝSLEDKY PRÁCE .....</b>	<b>37</b>
6.1	VOLNĚ DOSTUPNÁ DATA .....	38
6.1.1	<i>Základní charakteristiky výsledků ze zdroje NASA pro období 2016-2019.....</i>	<i>38</i>
6.1.2	<i>Základní charakteristiky výsledků ze zdroje ČHMÚ pro období 2016-2019 .....</i>	<i>40</i>
6.1.3	<i>Porovnání výsledných dat za rok 2017.....</i>	<i>42</i>
6.1.4	<i>Základní charakteristiky výsledků ze zdroje NASA pro období 1.7.2020 – 31.12.2020 ...</i>	<i>45</i>
6.2	NAMĚŘENÁ DATA.....	47
6.2.1	<i>Základní charakteristiky výsledků první datové sady z naměřených dat .....</i>	<i>47</i>
6.2.2	<i>Porovnání výsledků první datové sady z naměřených dat s výsledky ze zdroje NASA za období 1.7.2020 – 31.12.2020 a statistické porovnání výchozích dat .....</i>	<i>49</i>
6.2.3	<i>Základní charakteristiky výsledků druhé datové sady z naměřených dat .....</i>	<i>51</i>
6.2.4	<i>Vizualizace výsledků.....</i>	<i>52</i>
<b>7.</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>54</b>
7.1	VOLNĚ DOSTUPNÁ DATA .....	56
7.1.1	NASA.....	56
7.1.2	ČHMÚ.....	57
7.2	NAMĚŘENÁ DATA.....	58
<b>8.</b>	<b>ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE.....</b>	<b>59</b>
<b>9.</b>	<b>PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>61</b>
<b>10.</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>77</b>

## **Seznam obrázků:**

**Obrázek 1:** Nákres přístroje kombinujícího výhody multikoptéry a UAS s pevnými křídly

**Obrázek 2:** Ukázka odběru vzorků vydechované vody u kytovců pomocí UAS

**Obrázek 3:** Schéma metodického postupu

**Obrázek 4:** Rozmístění vybraných lokalit v rámci ČR

**Obrázek 5:** Použitá meteorologická stanice

**Obrázek 6:** Umístění vlastní meteorologické stanice v rámci ČR

**Obrázek 7:** Rozmístění vybraných lokalit v rámci krajů ČR

**Obrázek 8:** Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí

**Obrázek 9:** Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad zemí

**Obrázek 10:** Umístění vlastní meteorologické stanice v rámci Libereckého kraje

**Obrázek 11:** Digitální model terénu lokality s meteorologickou stanicí

**Obrázek 12:** Severovýchodní pohled na střechu domu s umístěnou meteorologickou stanicí a pohled na okolní pozemky

**Obrázek 13:** Rozmístění porovnávaných lokalit za rok 2017 v rámci ČR

**Obrázek 14:** Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě dat z NASA v období 1.7.2020 – 31.12.2020

**Obrázek 15:** Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě dat z NASA v období 1.7.2020 – 31.12.2020 v rámci měsíců

**Obrázek 16:** Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě vlastního měření v období 1.7.2020 – 31.12.2020

**Obrázek 17:** Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě vlastního měření v období 1.7.2020 – 31.12.2020 v rámci měsíců

**Obrázek 18:** Ukázka vizualizace výsledků z volně dostupných dat ze zdroje ČHMÚ v programu ArcGIS Insights

**Obrázek 19:** Ukázka vizualizace výsledků z naměřených dat v programu ArcGIS Insights

## **Seznam tabulek:**

**Tabulka 1:** Tabulka s provozními limity vybraných bezpilotních prostředků

**Tabulka 2:** Stanovené limitní podmínky pro vyhodnocení volně dostupných dat

**Tabulka 3:** Stanovené limitní podmínky pro vyhodnocení naměřených dat

**Tabulka 4:** Klimatické charakteristiky

**Tabulka 5:** Součty počtů vhodných dní za roky 2016-2019 podle zdroje NASA

**Tabulka 6:** Průměrný počet letových dní v jednotlivých letech podle zdroje NASA

**Tabulka 7:** Průměrný počet nesplněných dní podmínkami v jednom roce a procentuální zastoupení (zdroj dat NASA)

**Tabulka 8:** Součty počtů vhodných dní za celé čtyři roky podle zdroje ČHMÚ

**Tabulka 9:** Průměrný počet letových dní v jednotlivých letech podle zdroje ČHMÚ

**Tabulka 10:** Průměrný počet nesplněných dní v jednom roce a procentuální zastoupení (zdroj dat ČHMÚ)

**Tabulka 11:** Porovnání počtu vhodných letových dní podle zdrojů rp5 a NASA

**Tabulka 12:** Porovnání průměrného počtu nesplněných dní hodnocenými podmínkami

**Tabulka 13:** Výsledky dat ze zdroje NASA pro období 1.7.2020 – 31.12.2020

**Tabulka 14:** Počty letových dní v rámci měsíců na základě vyhodnocení dat z NASA v období 1.7.2020 – 31.12.2020

**Tabulka 15:** Výsledky první datové sady z vlastního měření

**Tabulka 16:** Počty letových dní v rámci měsíců na základě vyhodnocení první datové sady z naměřených údajů

**Tabulka 17:** Výsledky porovnání konečných dat mezi zdrojem NASA a vlastním měřením

**Tabulka 18:** Porovnání počtu letových dní v měsících mezi zdrojem NASA a vlastním měřením

**Tabulka 19:** Výsledky statistického porovnání

**Tabulka 20:** Počty letových dní v rámci měsíců a tří hodinových intervalů

## 1. Úvod

Monitorování životního prostředí hraje důležitou roli při studiu antropogenních a přírodních vlivů na ekosystémy. Zisk většiny relevantních dat o stavu přírody byl před rokem 2000 založen výhradně na kombinaci pozemních měření, senzorech z pilotovaných letadel a satelitních pozorování. Takto sbíraná data mají ale pro každý příslušný sběrný systém svá vlastní omezení a limity. Překlenutí těchto prostorových a časových omezení je klíčem k získání kvalitních dat a zlepšení našeho porozumění environmentálním pochodům a cyklům. V této souvislosti mají bezpilotní letecké systémy značný potenciál k zásadnímu zlepšení monitorování životního prostředí (Manfreda et al. 2018).

Bezpilotní letecký systém je cenově dostupný nástroj, který je schopný sbírat systematická data s vysokým prostorovým a časovým rozlišením. Nasbíraná data jsou považována za zdroj přesných informací o různých jevech životního prostředí, a proto se bezpilotní letecký prostředek nebo ve zkratce UAV často používá například ke sledování vegetace, vod a dalších krajinných prvků (Frey et al. 2018), nebo k monitoringu a studiu fauny (Christiansen et al. 2020). Ale i tato relativně nová technologie sběru dat má svá úskalí v podobě závislosti na stav převládajícího počasí (Colefax et al. 2019). Cílem diplomové práce je zjistit, jak velké omezení mohou představovat meteorologické aspekty na časovou využitelnost dronů pro sběr prostorových dat.

Vzhledem k návaznosti na bakalářskou práci se přistoupilo k víceúrovňovému rozvinutí použitých postupů a metod, které vedly k získání nových poznatků. Zájmové území představovala celá Česká republika, kde se hodnotila data na 31 lokalitách. Stěžejními a hodnocenými meteorologickými aspekty byly teplota vzduchu, úhrn srážek a rychlost větru. Literární rešerše je věnována obecnému popisu bezpilotních leteckých prostředků a jejich členění, aktuální legislativní úpravě, možnostem uplatnění, popisu možných vlivů na volně žijící živočichy a především rozboru klimatických aspektů, na základě čeho byly stanoveny limitní podmínky pro vyhodnocení.

Diplomová práce se zabývá aktuální problematikou, proto majoritní část zdrojů pochází z vědecké literatury. Pro analýzu a následné vyhodnocení byla použita volně dostupná meteorologická data, která byla stažena pro období čtyř let (2016-2019) a také vlastní naměřená data za půl roku (1.7.2020-31.12.2020).

## 2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je zjistit využitelnost bezpilotních leteckých prostředků pro sběr prostorových dat v závislosti na meteorologických podmínkách. Práce má za cíl získat přehled o rozdílech mezi zkoumanými daty, popisující vybrané meteorologické ukazatele na 31 lokalitách v rámci České republiky, z různých zdrojů. Dílčím cílem je vizualizace zjištěných počtů vyhovujících dní v programu ArcGIS Insights. Konkrétní otázky, které se staly předmětem diplomové práce, jsou uvedeny níže.

Stěžejní otázky:

- Kolik dní v letech 2016-2019 bylo možné aplikovat bezpilotní letecké systémy k celodennímu sběru dat na základě získaných informací ze zdrojů amerického Národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA) a Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ)?
- Jak velké rozdíly vykazují výsledky za rok 2017 vyhodnocené ze zdroje NASA s výsledky bakalářské práce, ve které se pracovalo s daty pro stejný rok od ruského poskytovatele Reliable Prognosis (rp5.ru)?
- Kolik dní a v jakých časových intervalech ve vybraném období (1.7.2020 - 31.12.2020) bylo možné aplikovat bezpilotní letecké systémy pro sbírání prostorových dat na základě vlastního měření pomocí meteorologické stanice?
- Jaké rozdíly vykazují naměřené hodnoty pomocí vlastní meteorologické stanice a volně dostupná data ze zdroje NASA v období od 1.7.2020 do 31.12.2020?

Další otázky:

- Který rok z hodnoceného období 2016-2019 dopadl nejlépe v počtu vhodných letových dní?
- Které limitní podmínky nejvíce omezovaly sbírání dat pomocí bezpilotních prostředků?
- Bylo možné v období od 1.7.2020 do 31.12.2020 použít bezpilotní letecký prostředek na solární pohon pro sbírání dat v lokalitě s umístěnou meteorologickou stanicí?
- V jakém měsíci byly nejlepší podmínky pro létání na základě vlastního měření?

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Dron a jeho součásti

Správné označení dronu je bezpilotní letecký prostředek (UAV) nebo lépe dálkově ovládaný letecký prostředek. Slovo dron vzniklo z anglického slova „drone“, které je mimo jiné označení pro trvale vrčící zvuk. Podobnost vrčícího zvuku se zvukem vydávaným letem dronu je patrně důvodem tohoto označení. Dron je letecký prostředek, který umožňuje let bez posádky na palubě a je řízen operátorem na dálku (Karas a Tichý 2016). Jedny z prvních opravdových bezpilotních leteckých prostředků přišly s vývojem vyspělých technologií, miniaturizací elektroniky a vylepšení komunikačních systémů v kombinaci s GPS navigací. Masivní provozní využití a systematické uvádění na trh dronů s rotačními křídly začalo po roce 2000. Svou pozornost si získaly díky mechanické jednoduchosti, hbitosti, stabilitě, vynikající autonomii při provádění složitých manévrů a především ceně. Vývoj a využití dronů s pevnými křídly začal již dříve (Tsach et al. 2010).

Mezi základní součásti a prvky dronů s rotačními křídly patří rám, vrtule, motory, řídicí elektronika, dálkové ovládání, baterie a nabíječka, gimbal a plánovací software (Karas a Tichý 2016). Podle potřeby se dá na jednotlivé drony připevnit ještě snímač nebo jiný senzor (Shatat a Tutunji 2014; Davies 2016). Doplnujícím vybavením může být například padák nebo světelné diody. Padák má za úkol v případě výskytu poruchy a pádu, zbrzdit rychlost dopadu a snížit možné škody na minimum (Hasan et al. 2019). Led diody pomáhají operátorovi s identifikací orientace nebo upozorňují na nízký stav baterie či poruchu (Laird 2017).

Rám bezpilotního leteckého prostředku je tvořen z trupu, krytu, ramen a podvozku. Jedná se o nosnou část, která spojuje všechny ostatní komponenty. Rámy se dělí na skořepinové a trubkové (Juračka et al. 2017). Kryt a kapota je na rotační bezpilotní letecké prostředky instalována především za účelem ochrany elektronických součástí před srážkami, prašnými částicemi a jinými cizorodými látky. Navíc podstatně zlepšuje aerodynamiku při letu a celkový vzhled zařízení (Karas a Tichý 2016). Konstrukce ramen je velmi namáhaná z důvodu vysokých otáček motorů, které jsou umístěny na jejich koncích. Z tohoto důvodu je věnována značná pozornost konstrukci a typu použitého materiálu. Skrze ramena vede elektrické propojení mezi řídicí jednotkou a jednotlivými motory. Pro snadnější transport bývají některé drony vybaveny skládacími rameny, které zajistí jejich kompatibilitu (Patel et al. 2018). Podvozek se používá pro tlumení nárazů při přistání. Materiály používané při konstrukci podvozků se vybírají pomocí kritéria minimální hmotnosti při zachování

maximální odolnosti při otřesech. Nutnost vybavení dronu podvozkem je v případě použití kamer a senzorů, pro zamezení kontaktu se zemí a jejich poškození. Pro zachování rovnováhy dronu jsou snímače obrazu zpravidla umístěovány na střed dronu, což způsobuje snížení zorného pole u dronů s pevným podvozkem. Při potřebě snímání v maximálním možném rozpětí se používají drony se zatahovacím podvozkem (Luculescu et al. 2016). Jednou z největších nevýhod vertikálních vzletových a přistávacích dronů je nutnost ploché stabilní plochy pro bezpečný vzlet a přistání. Proto konstruktéři vynalezli i bezpilotní vzdušné prostředky, které jsou schopné přistávat na nerovném terénu díky adaptivní přistávací plošině s klouby. Dron, který disponuje touto funkcí, výrazně zvyšuje svůj potenciál pro plnění náročných úkolů a předchází se tak případným škodám při přistání (Yashin et al. 2020).

Vrtule dronu přeměňují elektrickou energii na kinetickou a generují tak dynamický vztlak, čímž je kompenzována váha dronu vůči gravitační síle. Síla vytvářeného vztlaku je dána tvarem vrtule, úhlem natočení, rychlostí letu a atmosférickými podmínkami včetně hustoty vzduchu. Aby vrtule správně fungovaly, jsou speciálně zakřivené. Materiál pro výrobu vrtulí a rozměrové parametry jsou určeny na základě typu použitého motoru a především celkové hmotnosti dronu. Nejčastěji využívaným materiálem pro výrobu je plast. U lepších dronů se můžeme setkat s vrtulami vyrobenými z uhlíkového kompozitu či dřeva (Juračka et al. 2017; Laird 2017). Často řešeným problémem v souvislosti s nežádoucím rušením je aerodynamický hluk generovaný rotací vrtulí. Na možnosti snížení hluku pomocí změny tvaru vrtule pracuje několik výzkumných týmů (Ning et al. 2017; Wie et al. 2017).

Od motoru vhodného pro bezpilotní letecké systémy se očekává efektivnost, kompatibilita, spolehlivost, malá váha a nízká hlučnost. Proto je nejčastěji používanou pohonnou jednotkou elektrický motor (Haitao et al. 2019). Běžně využívaný elektromotor se skládá ze statoru s vynutím z měděných vodičů a z rotoru s magnety. Taková konfigurace zajišťuje dobrou výkonnost, trvanlivost a efektivnost (Laird 2017). Elektro-motory jsou také využívány z důvodu produkce minimálních vibrací při chodu a absence výfukových spalin. Předchází se tak možnému znehodnocení sbíraných dat. Pro větší bezpilotní prostředky musí být použity elektromotory disponující dostatečným počtem otáček a kroutícím momentem (Karas a Tichý 2016), jelikož v závislosti na počtu otáček motorů se mění tah vrtulí (Juračka et al. 2017). Úplně pozadu nezůstávají ani bezpilotní letecká vozidla s pohonem na palivo, které jsou v poslední době také v jisté míře využívána. Jedním z důvodů je snaha o prodloužení

trvání doby letu, která se postupně stává klíčovým technickým ukazatelem pro hodnocení výkonu UAV. Doba letu je v tomto případě ovlivněna mírou spotřeby paliva leteckého motoru, jelikož drony mohou nést pouze omezené množství paliva. Podstatným rozdílem mezi výše zmíněnými typy motorů je, že elektrické UAV udržují svou hmotnost po celou dobu letu nezměněnou, čímž se liší od dronů se spalovacími motory (Wang et al. 2019c).

S použitým elektromotorem úzce souvisí i typ a kapacita akumulátoru. V současné době jsou lithium-polymerové (Li-Pol) baterie jedním z nejpoužívanějších systémů skladování energie pro malé UAV s elektrickým pohonným systémem. Ve srovnání s olověnými nebo nikel-kovovými bateriemi mají Li-Pol baterie výhodu vysoké specifické energie, dlouhé životnosti, nízké rychlosti samovybití, žádného paměťového efektu a nulového znečištění při provozu. Doba vybití baterie souvisí s různými faktory, včetně výkonu a napětí. V praktických aplikacích vykazují ale tyto baterie stále nedostatky. Jsou náchylné na ovlivnění teplotou a životnost baterie se snižuje z důvodu hlubokého vybití a počtu nabíjecích cyklů. Při kontaktu s jakoukoliv kapalinou, může dojít k chemické reakci a následnému vznícení akumulátoru nebo explozi. Jedním z předmětů stávajícího výzkumu u Li-Pol baterií je práce na přesném odhadu stavu nabití baterie, což může pomoci maximalizovat využití energie a zlepšit výdrž letu (Eleftheroglou et al. 2019; Haitao et al. 2019). Další možností prodloužení doby letu je využití automatického dobíjení baterií pomocí bezdrátového přenosu energie (Junaid et al. 2017) nebo využívání fotovoltaického systému pro získávání sluneční energie během letu (Duy a Kim 2020).

Řídící elektronika, řídicí jednotka či kontrolér se u většiny systémů skládá ze souboru senzorů, které pomáhají vyhodnocovat a řídit průběh letu na základě příjmu z dálkového ovládání. Kontrolér obsluhu dronu usnadňuje řízení letu a umožňuje mu věnovat více pozornosti sbírání dat. Mezi senzory většinou patří gyroskop, akcelerometr, barometrický výškoměr, kompas, polohové systémy GNSS, optická či ultrasonická čidla a některý z druhů dálkoměru. Veškerá zmíněná elektronika je zpravidla rozdělena do více dílů a vzájemně propojena. Řídící jednotka je soustředována do prostředka mezi ramena dronu a je chráněna krytem před poškozením (Karas a Tichý 2016; Juračka et al. 2017)

Dálkové ovládání slouží pro řízení letu lidským operátorem. Kromě určování pohybu je možné díky ovladači přepínat i různé letové módy nebo sledovat přenos obrazu. Přenos informací je uskutečněn díky elektromagnetické vlně šířící se v prostoru v obou směrech. Odborně se technologie, na jejímž základě probíhá komunikace



mezi dronem a jeho pozemní jednotkou, nazývá telemetrie. Pro přenos telemetrických údajů se používá Bluetooth, Wi-Fi nebo rádiového signálu. Firma DJI vymyslela vlastní přenosovou technologii OcuSync. Díky přenosu informací může pilot posílat signály přímo do řídicí elektroniky, která posléze předává impulzy do dalších částí dronu. V opačném směru získává operátor provozní informace jako jsou údaje o stavu baterie, rychlosti letu a vzdálenosti od pilota. Aktuálně řešeným problémem je prodleva časové odezvy vznikající během ovládání dronu kvůli problému s přenosem nebo sběrem a zpracováním signálu. Zpoždění způsobuje opožděný přenos a zobrazení dat na zobrazovacím zařízení a špatnou odezvu pohybu platformy (Juračka et al. 2017; Laird 2017; Zhang 2018; Jurevičius et al. 2019).

Operátoři dronu si mohou vybírat z mnoha nástrojů pro plánování letu, které lze použít před mapovacími misemi. Díky plánovacímu procesu je možné detailně naplánovat oblast monitorování, rychlost a výšku letu, velikost zorného pole a třeba i rychlost otáčení. Možnost plánování trasy je umožněna díky GPS přijímači a předem nadefinovaných bodů v podobě souřadnic. Oblast plánovaného letu může představovat tvar mřížek nebo mnohoúhelníků pro snímání určité plochy, kruhovou oblast pro snímání vysokých objektů nebo koridorovou linii pro mapování liniových prvků (Karas a Tichý 2016; Alsadik a Remondino 2020). Stále větší pozornost a poptávka po různých aplikacích nutí vědecké týmy k optimalizaci času pro monitorování velkých oblastí. Jedním z řešení může být návrh webové aplikace pro řízení více UAV současně (Musmeci et al. 2019).

Gimbal je široce používán ke stabilizaci pozorovacích systémů. Odstraňuje vibrace z vrtulí a motorů, umožňuje stabilizovat senzor a zaměřit se na požadovaný objekt, zatímco samotný dron, kompenzuje náklonem silný vítr nebo pohyb způsobený změnou směru letu. Díky stabilizačnímu závěsu lze zajistit přesná a citlivá měření všech možných senzorů, čímž minimalizujeme pravděpodobnost získání dat ovlivněných vnějšími vlivy (Juračka et al. 2017; Altan a Hacıoğlu 2020).

Tělo dronu s pevnými křídly se skládá z křidel a trupu, které jsou nejčastěji vyrobeny z extrudovaného polystyrenu, pohonné soustavy a baterie, řídicí elektroniky, letovými stabilizátory (ocasní plochy), řídicími plochami (výškovka, směrovka a křídélka) a vztakovými klapky pro možnost snížení rychlosti letu. Externím vybavením je potom dálkové ovládání a plánovací software. Pro některé typy je nezbytná ještě startovací plošina (Karas a Tichý 2016).

## **3.2 Snímače a senzory**

### **3.2.1 LiDAR**

LiDAR (Light Detection and Ranging), nebo také laserový radiolokátor, je laserová technologie dálkového průzkumu Země, které se používá k monitorování zemského povrchu ve vysokém rozlišení. LiDAR lze použít pro měření výšky krajinných prvků, terénní mapování a měření jevů v prostředí (Pinton et al. 2020). Naměřené body lze převádět do 3D modelů nebo do digitálního modelu povrchu (Maesano et al. 2020). Tato snímací technologie je široce využívána v precizním zemědělství k pozorování variability plodin (Shendryk et al. 2020), v lesnictví pro reprezentaci struktury lesa (Webster et al. 2020), nebo ji lze využít jako prostředek pro modelování klíčových charakteristik městské krajiny včetně sklonu, orientace a nadmořské výšky, v závislosti na plánování využití sluneční energie a umístění solárních panelů (Nelson a Grubestic 2020).

### **3.2.2 Multispektrální kamery**

Multispektrální kamery se v posledních letech staly poměrně běžnou výbavou dronu (Zhou et al. 2020b). Zpravidla se jedná o snímání ve více spektrech (modrém, zeleném, červeném, okrajovém červeném a blízkém infra-červeném) (Modica et al. 2020). Princip snímání je založen na odrazivosti od rostlin za kolmého svitu slunce. Na základě získaných dat lze určit, v jaké kondici jsou rostliny (Zhou et al. 2020b). Své využití najde tento druh snímání především v precizním zemědělství například pro vyhodnocení poškození plodin (Jełowicki et al. 2020) nebo monitorování růstu plodin (Zhang et al. 2020a). Uplatnění najdou i v lesním hospodářství jako nástroj k detekci fyziologického stresu lesních stromů způsobeným biotickými či abiotickými faktory (Dash et al. 2018), nebo jako nástroj pro monitorování kvality vody v nádržích (Olivetti et al. 2020).

### **3.2.3 Červeno-zeleno-modré snímače**

Při výběru správného snímače nám použití bezpilotních leteckých systémů umožňuje pořizovat letecké červeno-zeleno-modré (RGB) snímky s ultra vysokým prostorovým rozlišením (Poblete-Echeverría et al. 2017). Nedávná studie prokázala, že obrazy RGB lze použít ke sledování prostorové variability biofyzikálních parametrů rostlin (dos Santos et al. 2020). RGB snímky je možné použít i k identifikaci plážových zón podél pobřeží (Su a Gibeaut 2017) nebo mapování degradace půdy v suchých oblastech (Krenz et al. 2019).

### **3.2.4 Tepelné senzory**

Termální kamery se hodí ve výzkumech, které využívají drony v oblasti ochrany zvířat a biodiverzity (Santangeli et al. 2020), zemědělství (Raeva et al. 2019) nebo záchranných misích (Silvagni et al. 2016). Termální senzor se používá k zobrazení tepelného vyzařování. Měřené záření je emitováno všemi objekty s teplotou nad absolutní nulou. Problém při výzkumu může představovat identifikace druhů, hustota prostředí a nedostatečný rozdíl mezi tepelným podpisem studovaného objektu a tepelným podpisem pozadí (Witczuk et al. 2017).

### **3.2.5 Panoramatické kamery**

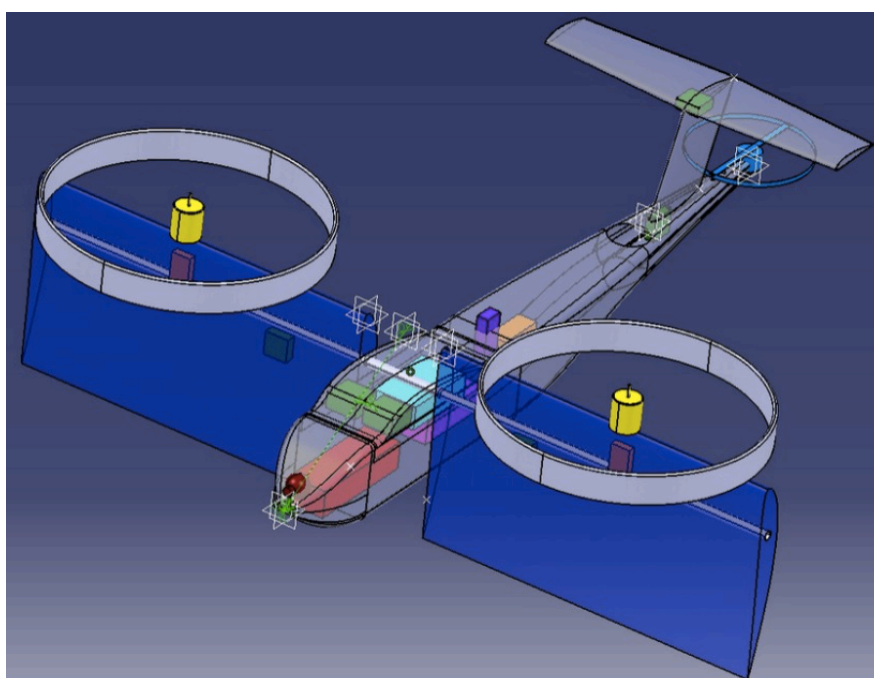
Panoramatické fotoaparáty se staly populárními díky svým schopnostem komplexního rozsahu zobrazování všech úhlů pohledu v jednom záběru ve srovnání s klasickými kamerami. Panoramatický snímek lze transformovat na několik perspektivních snímků, které jsou podobné běžným snímkům (Zhang et al. 2020b). Snímky jsou bohaté na informace, levné a efektivní (Zhang et al. 2019). Jejich využití je spojováno například s tvorbou 3D modelů nebo digitální ortofotomapy (Zhang et al. 2020b).

### 3.3 Základní dělení bezpilotních prostředků

Drony se dají rozdělit na dva základní typy – na prostředky s pevnými a rotačními křídly. UAV s pevnými křídly mohou v každé letové misi dosáhnout velké vzdálenosti a tedy nasbírat i velké množství dat, ale je zde nezbytné počítat s dostatečně velkým místem pro vzlet či přistání a značnou plochou pro provádění polohovacích manévru (Lungu 2019). Mohou létat velmi vysokou rychlostí a naplno využívají svého aerodynamického tvaru. Navzdory pořizovací ceně a náročnosti provozu, oproti rotačním dronům, můžeme pozorovat stále rostoucí zájem o jejich služby (Yang et al. 2020). Zvyšující se zájem pravděpodobně souvisí i s rostoucí multifunkčností. V těle dronu byly dříve fixně umístěny fotoaparáty nebo jiné senzory, které většinou nešlo vyměnit za jiné, což snižovalo možnost jiného využití. Nyní se výroba adaptovala na možnost výměny sensorů, která je u novějších modelů možná, stejně jako u multikoptér (Karas a Tichý 2016).

V civilním kruhu jsou drony s rotačními křídly oblíbené pro svou příznivou cenu a snadnou manévrovatelnost. Tyto modely jsou známé jako vícerotorové UAV a jsou hojně využívány ve velkém množství oborů (Grenzdörffer et al. 2008). Navíc si spousta pilotů dokáže takový dron sestavit doma. Výroba výkonného dronu je možná i s použitím běžných součástek a levné elektroniky (Laird 2017). Drony s rotačními křídly můžeme dále klasifikovat podle počtu rotorů na vrtulník, kvadrokoptéru, hexakoptéru a oktokoptéru. S počtem vrtulí stoupá výkon dronu a zvyšuje se jeho stabilita a bezpečnost při provozu a přistání (Karas a Tichý 2016). Nejčastěji se můžeme setkat s dronem vybaveným čtyřmi rotory, tedy kvadrokoptérou (Ferdaus et al. 2019). Ve srovnání s jinými bezpilotními vzdušnými prostředky má čtyřmotorové letadlo výhodu relativně nízké pořizovací ceny, výběru z velké škály velikostí a dobré manévrovatelnosti. Proto je široce využíváno při inspekcích a snímání leteckých fotografií (Zheng et al. 2020). Zvyšující se zájem o tento druh letadel odůvodňuje jejich možnost vzlétnout a přistát svisle a to i v místech s obtížným přístupem a na minimálním prostoru; vznášet se s možností změny orientace; posunout se dopředu, dozadu nebo do strany při zachování nadmořské výšky; úplně změnit směr letu, nebo náhle zastavit svůj pohyb a zůstat ve visu (Pizetta et al. 2016). Nevýhodou je nižší maximální rychlost letu a především doba letu. Obecně se doba letu pohybuje okolo 12-30 minut, což znamená, že můžou pokrývat pouze omezenou oblast. Je tomu tak dáno větší hmotností, náročnějším pohybem ve vzduchu a potřebou vytvářet aktivní zdvih během celého letu (Cai et al. 2014).

Zajímavou alternativou je přístroj kombinující výhody multikoptéry a UAS (bezpilotní letecký systém) s pevnými křídly (viz obrázek 1). Díky své konstrukci může tento hybridní dron vzlétnout a bezpečně přistát jako UAV s více rotory, čímž se eliminuje potřeba dlouhé dráhy pro potřebné manévry dronů typu fixedwing. Kombinace předností obou typů dronů také umožňuje bez problému použít drahé senzory a kamery, aniž bychom se báli o jejich poškození během jinak náročného přistání. Tato varianta dále nabízí vynikající klouzavé a horizontální letové vlastnosti; vysokou rychlost letu; dlouhou výdrž ve vzduchu a v jakémkoliv okamžiku možnost přerušit let a zůstat nad bodem zájmu pro podrobné a delší monitorování (Thamm et al. 2015).



*Obrázek 1: Nákres přístroje kombinujícího výhody multikoptéry a UAS s pevnými křídly (Thamm et al. 2015)*

O zmínku stojí také drony zvané flapping wings. Způsob letu je výsledkem snahy o napodobení letového režimu hmyzu či kolibříka. Silnými stránkami těchto leteckých prostředků jsou malá velikost, nízká spotřeba energie a velká flexibilita během letu. Všechny tyto jedinečné vlastnosti poskytují skvělé podmínky pro vojenské průzkumy, pátrání při katastrofách a záchranných misích. Pokročilý výzkum přitahuje pozornost vědců z celého světa (He et al. 2017; Jafferis et al. 2019).

### 3.4 Legislativní rámec provozu

Právní rámec pro bezpilotní letecké prostředky představuje víceúrovňovou a komplexní oblast práva EU. Absence jasného regulačního rámce představovala významnou bariéru pro pokrok této technologie. Nová jednotná pravidla závazná pro členské státy Evropské unie, nahrazují dříve v ČR platný doplněk X leteckého předpisu L2. Legislativní rámec vypracovala Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) sídlící v Německu. Nová legislativní úprava vstoupila v platnost 31.12.2020 a přinesla sjednocená a přehledná pravidla do všech zemí EU. S příchodem nových pravidel lze očekávat zjednodušení pohybu dronů na trhu zboží a s tím související rozvoj celého odvětví a vznik nových pracovních pozic. Velký přínos má sjednocená legislativa i pro udržení a zlepšení bezpečnosti leteckého provozu, zachování životního prostředí a ochranu lidí a jejich soukromí (Bassi 2019).

Nová nařízení upravují všechny druhy provozů a jejich úroveň rizika prostřednictvím kategorií provozu. Pravidla se týkají všech typů bezpilotních prostředků, včetně leteckých modelů. Pojem dron tak zahrnuje všechna letadla bez pilota na palubě (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139).

Nové znění jednotné evropské legislativy přineslo změny i v dělení bezpilotních leteckých prostředků. Zatímco původní doplněk X určoval pravidla pro provoz dronů na základě účelu použití (rekreačně sportovní nebo výdělečně, experimentálně výzkumným) a samotné drony dělil do čtyř tříd podle hmotnosti, evropská legislativa zavádí tři kategorie, tři podkategorie a pět tříd, které se navzájem prolínají. Nejnižší, otevřená kategorie (open) se dělí do tří podkategorií. Podkategorie A1, se dále člení na třídy C0 a C1, podkategorie A2, která by se dala přirovnat k dronům nad 0,91 kg u doplňku X, zahrnuje třídu C2 a podkategorie A3 obsahuje třídy C3 a C4. Střední, specifická kategorie (specific) umožňuje provoz těm, kteří svým výkonem představují určitou míru rizika. U této kategorie je potřeba oprávnění k provozu vydaného Úřadem pro civilní letectví. Při podávání žádosti k získání provozního povolení je provozovatel povinen předložit i posouzení rizik provozu a návrh zmírňujících opatření. Nejvyšší, certifikovaná kategorie (certified), je navržena jako kategorie pro nasazení komplexnějších dronů například pro převoz nebezpečných věcí nebo přepravu osob. K provozu je zde potřeba certifikace bezpilotního systému, osvědčení způsobilosti dálkově řídicího pilota a schválení provozovatele úřadem. Ve všech případech nesmí být provoz bezpilotních letadel v konfliktu s omezeními vyplývajícími z uspořádání vzdušného prostoru (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139).

Otevřená kategorie je dělena na základě odlišných provozních a technických omezení. Do otevřené kategorie spadají výlučně drony poháněné elektřinou s výjimkou třídy C4. Piloti, vlastníci drony, patřící do otevřené kategorie jsou oprávněni létat s dronem i bez předchozího provozního prohlášení a povolení úřadu. Maximální povolená výška letu je 120 m nad bodem vzletu. Měření vzdálenosti se přizpůsobuje geografickým charakteristikám v místě provádění letu. Pilot také udržuje bezpilotní prostředek ve vizuálním dohledu a průběžně kontroluje okolní vzdušný prostor. Třída C0, spadající do podkategorie A1, zahrnuje stroje do hmotnosti 249 g včetně užitečného zatížení. Jedná se o jedinou třídu, ve které majitelé předmětných dronů nepodléhají povinné registraci. Od třídy C1, která představuje drony o hmotnostech 250 g až 900 g s dopadovou energií menší než 80 J, je majitel povinen registrovat se u úřadu pro civilní letectví a označit svůj přístroj jedinečným registračním číslem provozovatele. Pilot je dále povinen absolvovat online školení a úspěšně složit online test. Pro celou podkategorii A1 je maximální rychlost letu stanovena na 19 m/s. Létání nad shromážděním osob je zakázáno a pilot by se měl vyhnout i přelétávání nezapojených osob do provozu. Podkategorie A2 upravuje pravidla pro bezpilotní systémy o maximální vzletové hmotnosti do 4 kg. U této podkategorie se předpokládá uskutečňování letů v blízkosti lidí. Minimální vzdálenosti od osob se pohybují od 5 m do 50 m. Bepilotní systémy tříd C3 a C4 musí mít maximální vzletovou hmotnost nižší než 25 kg, u třídy C3 musí být ještě splněn maximální charakteristický rozměr, který je menší než tři metry. V průběhu letu s drony této kategorie by neměli být ohroženy žádné osoby nezapojené do provozu. Kromě toho musí být provoz prováděn v bezpečné horizontální vzdálenosti minimálně 150 m od obytných, obchodních, průmyslových nebo rekreačních oblastí (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139).

### 3.5 Možnosti environmentální aplikace dronů

Vývoj dronů a rozmach jejich aplikací zásadně ovlivnil způsob péče a sbírání dat o životním prostředí. Rostoucí zájem o tyto aplikace se odráží i v počtu výzkumných prací založených na bezpilotních leteckých prostředcích (Manfreda et al. 2018). Technologie UAS umožňuje integrovanější a optimalizovanější přístup k různým zemědělským úkolům, jako je mapování zemědělských plodin, detekce stresu rostlin, odhad biomasy, monitoring šíření plevelů, počítání zásob a stříkání hnojiv (Hassler a Baysal-Gurel 2019). Sledování rychlosti růstu plodin v průběhu jejich biologického cyklu je velmi důležité, protože přispívá k dosažení optimální produkce, správného plánování sklizně a spolehlivého odhadu výnosu. Získané informace také přispívají nebo poskytují zpětnou vazbu o rozhodnutích k množství aplikovaného hnojiva. Lze tak předcházet finančním ztrátám a negativním dopadům jako je eutrofizace vod (Norasma et al. 2019). Důvodem pro mapování polí je například monitorování eroze půdy (Meinen a Robinson 2020). Častým způsobem využití dronů, kterou používají většinou jen farmáři a zemědělci, je aplikace pesticidů. Vyzkoušenou metodou je použití insekticidů proti hmyzu v bažinách. Malá velikost a omezená doba letu většiny UAS se promítá do velikosti ošetřených oblastí ve srovnání s tradičními letadly, což je ale naopak vyváženo vyšší přesností. Bepilotní letadla mohou aplikovat pesticidy a jiné látky na mnohem menší plochy, čímž se zásadně sníží objem použitého materiálu a zásah do prostředí. V nevhodných oblastech pro využití letadel může být použití UAS jedinou možností (Williams et al. 2020). Mimo hubení nežádoucího hmyzu insekticidy se můžeme setkat i s rozprašováním fungicidů (Wang et al. 2019b) a herbicidů (Castaldi et al. 2016).

Bepilotní letecké systémy vidí i vědci a výzkumníci zaměřující se na mořské, oceánské a jiné vodní biotopy, jako vhodný nástroj na podporu environmentálního managementu. Drony používají k mapování a monitorování na širém moři (Garcia-Garin et al. 2020), ale i pobřežních stanovištích jako jsou mangrovy (Yaney-Keller et al. 2019), korálové útesy (Collin et al. 2018) a skalnatá pobřeží (Castellanos-Galindo et al. 2019). Tématem výzkumu může být například zkoumání hustoty populace mořské fauny (Kelaher et al. 2019) nebo pohyb plážového sedimentu, který může představovat ohrožení pro pobřežní společenství (Jayson-Quashigah et al. 2019). V souvislosti s vodním prostředím se drony využívají i pro detekci a kvantifikaci znečištění vody mikroplasty (Themistocleous et al. 2020), makroplasty (Hengstmann a Fischer 2020) a ropou (Bukin et al. 2020).



V Číně se drony používají k detekci požárů opuštěných uhelných dolů, které při vzplanutí představují vážné problémy v oblasti životního prostředí (He et al. 2020). Vážný problém představují i lesní požáry. Během požáru se ničí velké množství přírodních zdrojů a způsobuje znečištění ovzduší. Pro ochranu a zachování přírodních a environmentálních zdrojů v podobě lesního ekosystému se hojně používá bezpilotních leteckých prostředků, které zajišťují vizuální a infračervené snímky potřebné k detekci a posouzení postupu požáru (Sudhakar et al. 2020). Mezi mnoha oblastmi použití bezpilotních vzdušných prostředků má lesnictví i další možnosti využití, mezi které patří hodnocení kvality a kvantity lesních porostů a klasifikace druhů. Takto získané informace jsou důležité pro plnění mezinárodních standardů (Habitamu a Burud 2018). Drony se dále mohou využívat k monitorování obnovy lesní vegetace po disturbanci (Hird et al. 2017) nebo efektivní správě a ochraně lesní zvěře (Witczuk et al. 2017). V Tanzánských lesích pak drony používají ke snížení pytláctví zvířat (Hambrecht et al. 2019).

Drony mohou také pomáhat při hledání a monitorování hnízd ptactva, což je klíčovou součástí ornitologických výzkumů (Bushaw et al. 2020). Své využití najdou i při získávání údajů o rozšíření a velikosti populací ohrožených živočichů nezbytných k jejich ochraně, jako jsou například tibetské antilopy v Číně (Hu et al. 2020). Drony jsou obecně upřednostňovány před pozemními průzkumy i při určování počtu a struktury populace krokodýlů. Důvodem není pouze zdokonalení průzkumu, špatná dostupnost, ušetření času a nižší náklady, ale i zvýšená bezpečnost pozorovatelů (Ezat et al. 2018). Ze stejného důvodu je přístupováno k aplikaci bezpilotních leteckých prostředků i v případě studování agresivních jaků v poušti (Su et al. 2018). V národních parcích v Norsku se používají drony jako nástroj pro sledování dopadů člověka na chráněné území. Shromažďování údajů o dopadech člověka na ochranu tamějšího prostředí je velmi náročné, a proto vyžaduje účinné nástroje, které umožňují kvalitní a dlouhodobá měření. Předmětem pozorování jsou například změny stavu stezky (šířka a hloubka), vegetační struktura a její poškození, šíření stezek do zakázaných oblastí a množství pohozených odpadků kolem cesty (Ancin-Murguzur et al. 2020). Bepilotní prostředky mohou sloužit například i k detekci znečištění a sledování kvality ovzduší (Pochwała et al. 2020). Tento přístup může být velmi užitečný při měření emisí lodí na otevřené vodě (Zhou et al. 2020a). Další alternativou je využití dronů k měření světelného znečištění nad hustě osídlenými oblastmi (Li et al. 2020).

### **3.6 Vliv aplikace bezpilotních leteckých prostředků na volně žijící živočichy**

Používání bezpilotních leteckých prostředků může představovat nežádoucí a nepředvídatelné dopady pro živočichy, jejichž rizika vzhledem k poměrně krátké době využívání této metody sběru dat málo chápeme (Christiansen et al. 2020). Různé populace volně žijících živočichů mohou reagovat na provoz dronu v jejich blízkosti v závislosti na mnoha faktorech. Dopady UAS na jednotlivé druhy mohou být velmi proměnlivé a měly by být pečlivě sledovány. Svůj vliv zde hraje kromě konkrétního živočišného druhu i typ prostředí (Hodgson a Koh 2016). Je to jeden z důvodů, proč je nutné provádět studie, které povedou k doporučeným a osvědčeným postupům provádění letových misí (Bech-Hansen et al. 2020). Ditmer a kolektiv použili GPS obojky a snímače srdeční aktivity k hodnocení účinku letů UAV na volně žijící jedince medvědů. Všichni testovaní medvědi vykazovali stresovou odezvu, o čemž svědčila zvýšená srdeční frekvence (Ditmer et al. 2015). Skotská studie zaznamenala měnící se reakce tuleňů na lety UAS, které pravděpodobně souvisely se zkušenostmi zvířat s předchozím setkáním s daným typem rušení (Pomeroy et al. 2015). Jiný výzkum z Francie testoval vliv barvy, rychlosti a úhlu letu dronu na behaviorální reakce kachen divokých, plameňáků růžových a vodoušů šedých. Výsledky ukázaly, že testovaní jedinci měli zvýšené reakce na drony, které se k nim blížily ze svislého směru (Vas et al. 2015). Hluk generovaný drony má i prokazatelný vliv na hnízdění sokolů (Ning et al. 2017), změny chování delfínů při přiblížení dronu blíže než na 10 metrů (Fettermann et al. 2019), nebo zvýšení ostražitosti a rušení hus během stravování (Bech-Hansen et al. 2020). Ani to ale nemění nic na tom, že použití bezpilotních leteckých prostředků je považováno a prezentováno za jednu z nejpřesnějších a nejméně invazivních metod sběru dat (Christiansen et al. 2020). Jako příklad lze uvést zkoumání způsobů chování a sociálního soužití delfínů či měření tělesného stavu velryb a jiných savců bez nutnosti odchytu a uvádění zvířat do zbytečně velkého stresu (Christiansen et al. 2016; Orbach et al. 2020).

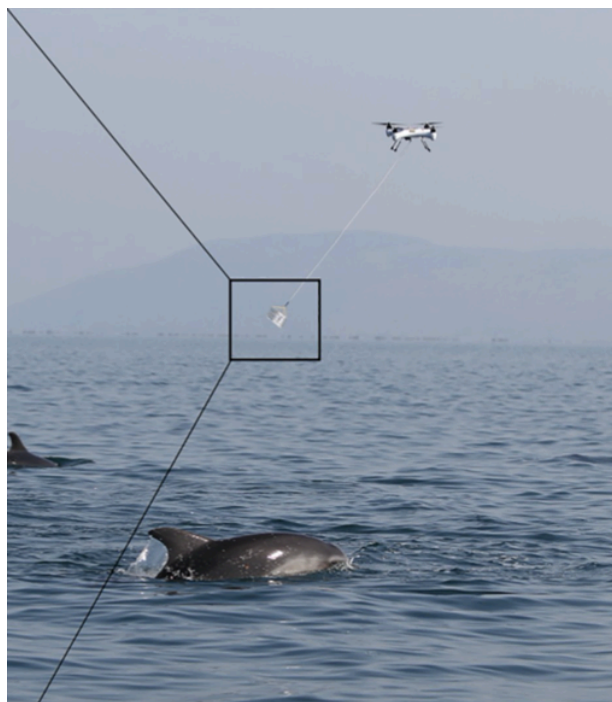
Existují ale i situace, ve kterých se za pomoci UAS účelně vyvolávají fyziologické reakce u volně žijících živočichů. V reakci na potřebu zmírnit degradaci plodin ptactvem, je UAS používán k ovlivnění jejich chování. Pro tento účel se jako více užitečný ukázal dron s rotačními křídly (Wandrie et al. 2019). Je to dáno tím, že jsou multikoptéry mnohem hlučnější. Navíc zvuk dronu připomíná letící roj včel, čehož využívají i ochránci přírody v Keni. Sloni před tímto zvukem utíkají a lze tak ovlivnit jejich polohu (Karas a Tichý 2016).

### **3.7 Meteorologické aspekty**

Pro bezpečnost provozu bezpilotních prostředků jsou zásadní vhodné meteorologické podmínky. Hlavním rizikem používání UAV je pád platformy z velké výšky, který může být způsoben vybitím baterie; poškozením způsobeným extrémní teplotou vzduchu, vysokou rychlostí větru nebo srážkami způsobujícími zkrat elektroniky (Kardasz et al. 2016).

#### **3.7.1 Dešťové a jiné typy srážek**

Srážky jsou nejdůležitější proměnnou v klimatickém systému a dominujícím činitelem hydrologických podmínek povrchu země (Hamal et al. 2020). Bepilotní prostředky jsou náchylné k poškození vodou, proto by se většina těchto platform neměla v deštivých a jinak vlhkých podmínkách používat (Bupe et al. 2015). Během deště se také snižuje telekomunikační dosah, který má vliv na ovladatelnost platformy (Tarihi et al. 2020). Důležitou informací může být i tzv. rosný bod. Pro jeho určení je potřeba znát teplotu prostředí a relativní vlhkost vzduchu. Teplota rosného bodu je významným ukazatelem vyžadovaným zejména v různých hydrologických, agronomických a hlavně klimatologických výzkumech (Mohammadi et al. 2015). Jedná se o stav, kdy je vzduch zcela nasycen vodní párou a počet molekul vody vypařujících se z povrchu je v rovnováze s počtem kondenzovaných molekul. Díky kondenzaci se vodní pára ve vzduchu přeměňuje do podoby srážek, vzniká například rosa nebo mlha (Naganna et al. 2019). Ačkoli vodotěsné drony již existují (Raudino et al. 2019), pravděpodobně by se jejich využitelnost pro sbírání prostorových dat nijak znatelně nezvýšila, jelikož déšť výrazně snižuje viditelnost a tím kvalitu sbíraných dat (Bloom et al. 2019). Navíc je i vysoká pravděpodobnost ulpění vodních kapek na objektivu senzoru, čímž se pořízená data znehodnotí ještě více (Karas a Tichý 2016). Voděodolné drony své využití mohou najít jako zařízení pro odběr vzorků ve vlhčím prostředí, kde nezáleží na kvalitě sbíraných dat ale na tom, aby použitá platforma dokázala svůj úkol bezpečně splnit a nezřítit se. Jako příklad lze uvést odběr vzorků vydechované vody malých a velkých kytovců za účelem analýzy respiračních bakterií (viz obrázek 2). Jedná se tak o minimálně invazivní metodu pro spojení odběru vzorků s vizuálním hodnocením (Raverty et al. 2017; Centelleghé et al. 2020).



Obrázek 2: Ukázka odběru vzorků vydechované vody u kytovců pomocí UAS (Centelleghé et al. 2020)

### 3.7.2 Rychlost větru

Vítr patří mezi neproměnlivější meteorologické prvky (Tolasz et al. 2007). Vítr je charakterizován jako tok plynů v atmosféře, který je způsoben změnou tlaku podél zemského povrchu. Horký vzduch stoupá a způsobuje, že studený vzduch putuje z oblastí s vysokým tlakem do oblastí s nízkým tlakem (Freitas et al. 2018). Rychlost větru ovlivňuje v přízemní vrstvě drsnost povrchu. Nejmenší drsnost má vodní hladina, louky a pole. Největší drsnost má pak lesní porost a městská zástavba. S rostoucí drsností se obecně snižuje rychlost větru v přízemní vrstvě (Tolasz et al. 2007). Vznik a výskyt větru má nežádoucí vliv na odhad polohy bezpilotního vzdušného vozidla a zhoršuje jeho ovladatelnost (Zheng et al. 2020). Vítr je považován za největšího možného narušitele předem plánovaného letu UAV pomocí GPS, protože ovlivňuje polohu přístroje, dráhu letu, spotřebu energie, rychlost a tedy i čas potřebný k dokončení sběru dat (Rhudy et al. 2013; Luo et al. 2018). Řešení problému kontroly polohy bezpilotních letounů s pevnými křídly za silných větrů je předmětem častého výzkumu (Yong et al. 2019). Přistání patří mezi nejdůležitější fáze letu. Statistiky ukazují, že jednou z nejčastějších příčin nehod při přistání je právě nevhodná rychlost větru. A to buď v podobě větrné turbulence, nárazu větru, nebo průměrné rychlosti větru. Řízené ale především autonomní přistání za nevhodných větrných podmínek je jedním ze současných překážek

v oblasti vývoje UAV. Kontrola dronu během jakékoli letové fáze za nepříznivých externích rušení je stále častěji předmětem teoretického a praktického zájmu výzkumníků (Lungu a Lungu 2015; Lungu 2019).

Faktor rychlosti větru má vliv i na kvalitu sbíraných dat. Ovlivnění kvality může nastat ze dvou důvodů. Prvním je přímé ovlivnění pohybu a stability bezpilotního leteckého prostředku a snímače na něm připevněném a druhým důvodem je neovlivnitelný pohyb monitorovaného či snímaného území, například pohyb a kývání stromů. V obou případech může dojít k získání nedostatečně kvalitních dat a jejich následné nevyužitelnosti (Frey et al. 2018).

V posledních pár letech můžeme pozorovat několik technologických pokroků, mezi nimiž můžeme vyzdvihnout použití UAV k plnění velkého množství úkolů. Na základě těchto pokroků se vyvinulo několik výzkumných linií, které dále rozšiřují oblasti použití UAV. Jedním z rozvíjejících se směrů je využití dronů pro postřik insekticidů v zemědělství a biologická kontrola. Faktory prostředí, jako je vítr, však mohou bezpilotním leteckým prostředkům bránit v úspěšném plnění těchto úkolů. V případě biologické kontroly, kde jsou vypouštěny z dronu přirození nepřátelé škůdců, může vítr ovlivnit trajektorii vypouštěného biologického materiálu, což způsobí, že k pádu dojde jinde od předem určených míst (Freitas et al. 2018). Totožný problém řeší i zemědělci při aplikaci různých postřiků. Požadovaný výsledek aplikace pesticidů je ovlivněn kromě rychlosti větru i pozicí trysek, výškou a rychlostí letu a také velikostí vypouštěných kapiček zvolené látky (Richardson et al. 2020).

Podle autorů zaměřujících se ve své práci na počítání jedinců želv, je pro získání kvalitních dat nutné, aby vítr nepřesahoval hodnotu 8–13 m/s a nepadaly žádné srážky (Dunstan et al. 2020). V dalším výzkumu zaměřeném na transport vody pro hašení požárů pomocí dronů pak autoři stanovují nemožnost létání při rychlosti větru 10 m/s a více (Yakushiji et al. 2020). Při využívání bezpilotních prostředků pro postřik bylo zjištěno ve více než polovině případech unášení kapiček do necílených oblastí při větru okolo 3 m/s (Wang et al. 2020). V případě že poryvy větru začnou překračovat 9 m/s je schopnost stabilního letu ohrožena a kamera na závěsu dosahuje svého maximálního prahu stabilizace proti náklonu (Colefax et al. 2019).

### 3.7.3 Teplota vzduchu

Teplota prostředí představuje pro piloty bezpilotních leteckých prostředků velmi důležitý ukazatel. Se zvýšenou poptávkou po využití bezpilotních vzdušných systémů pro civilní a komerční aplikace roste i náročnost na výdrž systémů v různých podmínkách. Jednou z problémových situací je let za podmínek vhodných pro tvorbu námrazy (Armanini et al. 2016). To, zda se námraza vytvoří nebo ne, přirozeně do značné míry závisí na atmosférických podmínkách na daném místě. Námraza je meteorologický jev, který vzniká zpravidla při mlze, větru a teplotě mírně pod bodem mrazu. A právě křídla a vrtule jsou považovány za velmi náchylné povrchy pro tvorbu námrazy (Tang et al. 2020). Dalšími důležitými faktory kromě teploty vzduchu jsou tvar a drsnost nárazové plochy, rychlost vozidla a relativní vlhkost (Rotondo et al. 2015). K úplnému pochopení námrazy a její důsledků, je nutné být obeznámen se složitými jevy v atmosféře. Výskyt námrazy na bezpilotním leteckém systému je velmi nebezpečný, a to jak pro přístroj samotný, tak pro osoby a majetek, nacházející se v místě provádění letu. Výskyt námrazy za letu zhoršuje výkon, kontrolu letadla a zvyšuje hmotnost letadla. Hromadění ledu také významně zvyšuje odpor vzduchu a může způsobit ztrátu vztlaku, a to i ve velmi krátkých časech expozice. Zvýšený odpor poté ovlivňuje parametr zdvihu a má za následek sníženou stabilitu přístroje (Armanini et al. 2016). K předcházení vzniku námrazy jsou navrhovány a vylepšovány různé typy aktivních systémů ochrany a detekce (Tran et al. 2012; Rotondo et al. 2015)

Za nízkých okolních teplot a při používání dronu poháněným benzínovým motorem, může vznikat problém i při startování (Hooper 2017). Dalším nežádoucím účinkem chladného počasí může být snížená výdrž baterie. Délka doby letu se může měnit v závislosti na různých okolních teplotách. Je nutné věnovat pozornost stavu baterie, aby se zabránilo ztrátě napětí u studených baterií. Pro trvalý provoz v chladném podnebí se doporučuje používat několik baterií a náhradní baterie udržovat v teple (Alfredsen et al. 2018). Stejný účinek na výdrž baterií má i vysoká teplota. Baterie dosáhnou svého limitu životnosti rychleji, když jsou používány při extrémních teplotách (Liu et al. 2012). Teplota má značný vliv i na chlazení motorů a regulátorů. V případě dlouhodobé expozici vysokým teplotám můžou tyto náchylné součástky zkratovat (Karas a Tichý 2016). Dle analýzy poruch malých UAV bylo shledáno selhání baterie a poruchy motoru jako nejčastější závady při létání s drony, což potvrzují i výzkumy vedené za účelem zlepšení autonomie bezpilotních leteckých systémů pro nouzové přistání při mimořádných událostech jako je právě přehřátí baterie a selhání motoru (Arantes et al. 2017; Wang et al. 2019a).

### 3.7.4 Solární energie

Solární energie je kategorizována jako obnovitelný zdroj, který může nahradit nebo snížit využití fosilních energií. Vývoj a využití obnovitelné energie můžeme pozorovat v různých sektorech, včetně odvětví bezpilotních leteckých prostředků (Ridwan a Alfindo 2019). Dlouhá výdrž UAV se stala klíčovým faktorem pro úspěšné dokončení misí. Z tohoto důvodu si drony využívající sluneční energii, jako zdroj energie k letu, začaly získávat značnou pozornost (Kim et al. 2019). Solární dron shromažďuje energii ze slunečního záření během dne a ukládá přebytečnou energii do baterie. Celková nashromážděná energie je vysoce závislá na intenzitě slunečního záření, čase, místě provozu a provozní výšce (Tan a Rajendran 2019). Dalším důležitým aspektem je typ použitého solárního panelu. Účinnost solárních článků spočívá v tom, do jaké míry je schopen solární panel přeměnit sluneční energii na elektrickou (Amorosi et al. 2019). Solárně poháněná bezpilotní vzdušná letadla slibují výrazně vyšší dobu letu oproti běžným dronům. Výzkum a vývoj solárních UAV probíhá jak v průmyslové (Hwang et al. 2016), tak v akademické sféře (Amorosi et al. 2019). Solární drony se dají rozdělit do dvou kategorií. V první kategorii jsou zařízení, které jsou primárně vyrobeny, aby byla poháněna solární energií (Jiajan et al. 2019), zatímco do druhé kategorie patří drony, které byly přizpůsobeny přidáním solárních panelů a dalšími potřebnými úpravami (Ridwan a Alfindo 2019). Výzkum zaměřený na problematiku solární energie pro bezpilotní letecké prostředky dosáhl úspěšného letu dronu poháněným čistě solární energií za podmínek slunečního záření  $882 \text{ W/m}^2$  (Goh et al. 2019). Dodatečně přidělané solární panely na bezpilotní letecký prostředek dokáží produkovat výkon okolo  $15,14 \text{ W}$  s průměrnou intenzitou slunečního záření  $929,46 \text{ W/m}^2$ . Takto vyprodukovaný výkon dokáže zvýšit dobu letu v rámci minut (Ridwan a Alfindo 2019). Pozitivní vliv na prodloužení délky letu pak prokazuje i práce chorvatských výzkumníků a to při hodnotách od  $1000 \text{ W/m}^2$  (Kranjec et al. 2018). Všechna solární letadla však vyžadují vhodné meteorologické podmínky pro plnohodnotné uplatnění svého potenciálu k dlouhodobé výdrži ve vzduchu. Oblačnost a silný vítr mohou výrazně snížit příjem solární energie nebo zvýšit potřebnou hnací sílu. Proto je u těchto dronů předoperační plánování ještě důležitější, než u misí, které využívají drony s běžným pohonem. Bezpečný a efektivní let vyžaduje zohlednění terénu, vnitřních vlastností systému a stěžejních jevů počasí, které v tomto případě představuje intenzita slunečního záření a oblačnost (Oettershagen et al. 2019). Důležitou související informací je výskyt neobvyklé solární aktivity, která ovlivňuje geomagnetické pole a družice, což může znamenat výskyt chyb v GPS pozici (Karas a Tichý 2016). Snímky a záznamy získané pomocí dronů

z nízkých nadmořských výšek mohou být zdrojem přesných informací. Tyto informace mohou být ale často zkreslené různými faktory. Každý objekt má odlišné reflexní vlastnosti, které se převádějí do výstupních dat s určitými hodnotami pixelů. Získané hodnoty jsou výsledkem množství světla, které se odráží od objektu. Výsledek může být zkreslen náklonem a chybou senzorů, vlhkostí, mlhou nebo změnou směru slunečního záření a s tím spojenými stíny (Sekrečka et al. 2020).

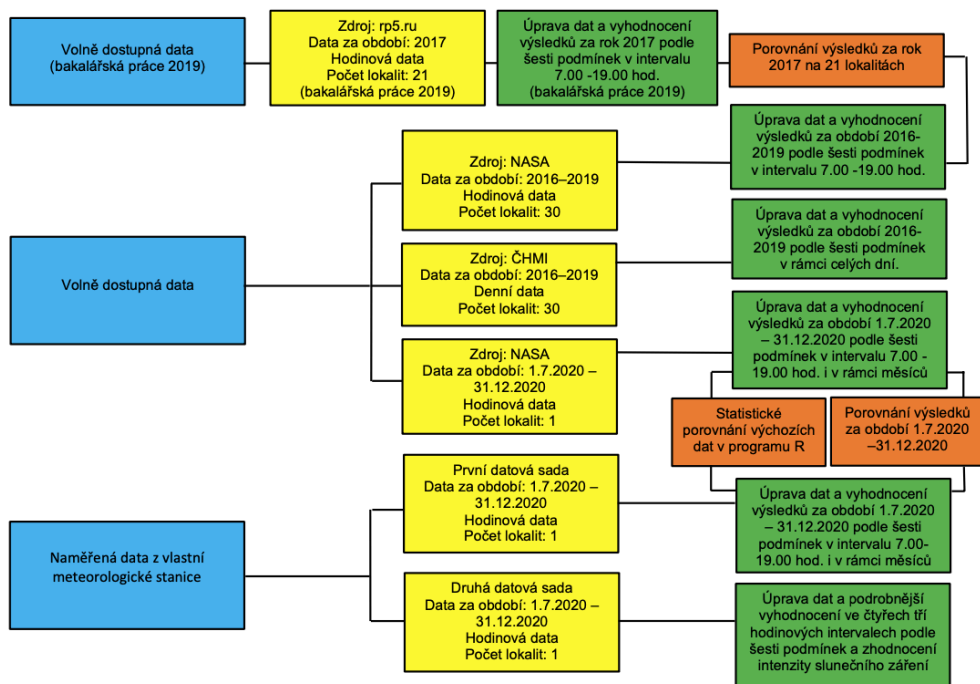


## 4. Metodika

Metodický postup k dosažení stanovených cílů se skládal z několika částí. První z částí byla analýza volně dostupných dat ze dvou zdrojů (NASA a ČHMÚ) v časovém horizontu čtyř let (2016-2019) a jejich vyhodnocení dle šesti stanovených podmínek na 30 lokalitách. U zdroje NASA se ještě navíc analyzovalo období 1.7.2020-31.12.2020 v Lomnici nad Popelkou. Další částí bylo porovnání výsledných dat za rok 2017 od poskytovatele NASA s výsledky bakalářské práce, kde se hodnotila data ze zdroje rp5.ru. Následujícím krokem byla instalace vlastní meteorologické stanice a měření dat ve druhé polovině roku 2020. Navazující činností bylo:

- vyhodnocení naměřených dat v intervalu 7.00 – 19.00 hodin podle šesti stanovených podmínek;
- vyhodnocení jednotlivých měsíců;
- vyhodnocení ve čtyřech tří hodinových intervalech a
- zhodnocení intenzity sluneční energie pro možnost nasazení dronu poháněného solární energií.

Závěrečnou částí je statistické porovnání naměřených dat s volně dostupnými daty od poskytovatele NASA, porovnání konečných výsledků v období od 1.7.2020-31.12.2020 na lokalitě Lomnice nad Popelkou a vizualizace výsledných dat. Schéma metodického postupu je vyobrazeno na obrázku 3.



Martin Vávra, FŽP, 2021

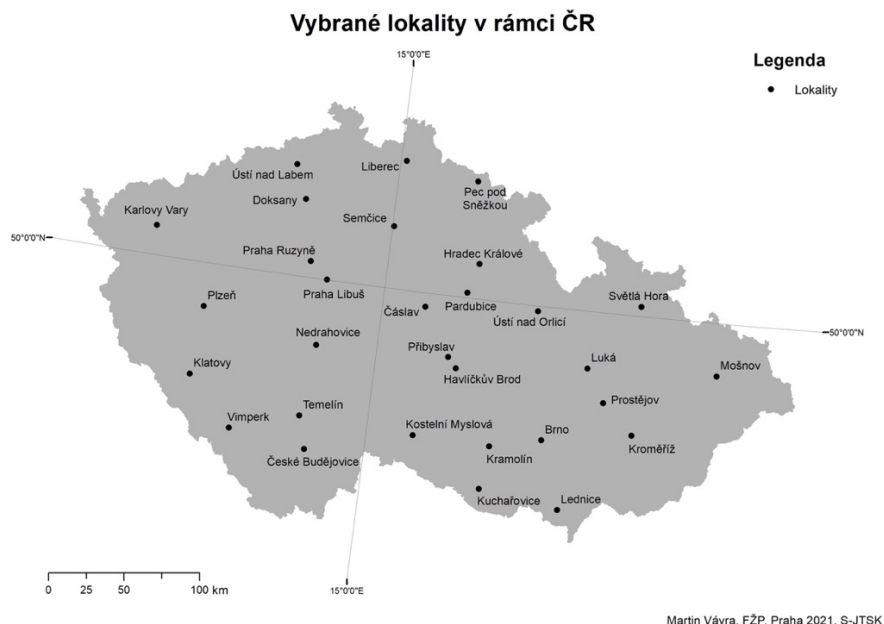
Obrázek 3: Schéma metodického postupu

## 4.1 Analýza volně dostupných dat

### 4.1.1 Zdroj volně dostupných dat

Jedna skupina meteorologických dat byla získána z celosvětově dostupné databáze poskytované hlavním výzkumným střediskem NASA – Goddardova kosmického střediska dostupné na stránce <http://www.soda-pro.com>. Poskytované údaje jsou získávány pomocí numerického modelu předpovědí počasí. Předpovězené hodnoty jsou porovnávány s daty naměřenými z meteorologických pozemních stanic a satelitů. Pokud se předpovězené hodnoty liší od naměřených, následuje jejich korekce. Prostorové rozlišení je přibližně 50 km. Webová služba MERRA – 2 poskytuje časové řady hodnot teploty, relativní vlhkosti a atmosférického tlaku ve výšce 2 metry nad zemským povrchem. Dále poskytuje rychlost a směr větru ve výšce 10 metrů nad zemí, srážky, sněhové srážky a hloubku sněhu v časových krocích s intervalem 10 minut, 15 minut, 30 minut, hodina, den a měsíc. Data jsou k dispozici od ledna 1980 a jsou pravidelně aktualizována. Informace je možné stáhnout ve formátu csv (Gelaro et al. 2017).

Další meteorologická data byla stažena na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu – <https://www.chmi.cz>. Nabízená data je možné stáhnout v denních, měsíčních a ročních intervalech ve formátu csv. Hodinová data poskytuje ČHMÚ jako placenou službu. Pro potřeby práce byla stažena denní data o průměrné denní teplotě vzduchu, maximální denní teplotě vzduchu, denním úhrnu srážek, průměrné denní rychlosti větru a maximální denní rychlosti větru. Průměrné denní teploty vzduchu a rychlosti větru jsou počítány jako průměr naměřených hodnot v časech 7.00, 14.00 a 21.00 hod. místního středního slunečního času. U průměrné teploty je večerní hodnota počítána dvakrát. Maximální denní teplota vzduchu udává maximální teplotu vzduchu, která byla dosažena od 21.00 hod. místního středního slunečního času předchozího dne do 21.00 hod. místního středního slunečního času dne aktuálního. Maximální denní rychlost větru představuje maximální rychlost větru naměřenou v daný den. K této informaci jsou poskytovány i údaje o směru a čase, kdy byla dosažena maximální rychlost větru. Denní úhrn srážek je množství srážek, které spadlo za 24 hodin. ČHMÚ poskytuje i další charakteristiky jako jsou minimální teplota vzduchu, průměrná relativní vlhkost vzduchu, celková výška sněhové pokrývky, úhrn doby trvání slunečního svitu a průměrný tlak vzduchu. U jednotlivých stanic chybí informace o výšce umístění měřících senzorů. Data z obou zdrojů byla stažena pro 30 lokalit. Názvy lokalit i s jejich polohou v rámci ČR jsou zobrazeny na obrázku 4.



Obrázek 4: Rozmístění vybraných lokalit v rámci ČR

#### 4.1.2 Stanovení limitních podmínek

Při určování limitních podmínek nebylo přihlíženo pouze k možnosti samotné rezistence vůči meteorologickým podmínkám, ale i k důležitosti zajištění kvalitního sběru dat. V tabulce 1 jsou uvedeny příklady provozních limitů z provozních příruček a technických listů vybraných dronů. Pro potřeby diplomové práce byla limitní hodnota průměrné denní rychlosti větru stanovena na 5 m/s a maximální dosažená hodnota na 8 m/s. V zájmu zachování potřebné kvality sbíraných dat a absence voděodolných prvků u většiny dronů je maximální denní součet srážek vymezen na 0,1 mm pro každé řešené mezidobí. Z důvodu náchylnosti provozu na extrémní teploty vzduchu byly určeny celkem tři podmínky zaměřené na tento ukazatel. Pokud byla v řešené době naměřena jakákoliv hodnota srážek, nesměla průměrná denní teplota klesnout pod 5 °C. Za takových podmínek je vznik námrazy možný i za vyšší teploty. Pro případ žádných naměřených srážek nesmí být průměrná denní teplota v řešeném intervalu menší než -5 °C. Za účelem ochrany bezpilotních prostředků před přehřátím nesmí maximální denní hodnota překročit 30 °C. Nastavení limitních podmínek a jejich přehled je uveden v tabulce 2.

Typ dronu	Provozní teplota	Rezistence vůči větrům	Rezistence vůči srážkám
DJI Mavic Mini	0 °C ~ 40 °C	8 m/s	Žádné srážky
DJI Mavic 2	0 °C ~ 40 °C	10 m/s	Žádné srážky
DJI Phantom 4	-10 °C ~ 40 °C	8-10 m/s	Žádné srážky
eBee X	-15 °C ~ 35 °C	12 m/s	Žádné srážky

Tabulka 1: Tabulka s provozními limity vybraných bezpilotních prostředků ([www.dji.com/cz](http://www.dji.com/cz); [www.sensefly.com](http://www.sensefly.com))

Podmínka S1	Součet denních srážek nesmí být vyšší než 0,1 mm
Podmínka V1	Srůměrná denní rychlost větru nesmí být vyšší než 5 m/s
Podmínka V2	Maximální denní rychlost větru nesmí být vyšší než 8 m/s
Podmínka T1	Průměrná denní teplota (v případě nulových srážek) nesmí být menší než -5 °C
Podmínka T2	Průměrná denní teplota (v případě jakýchkoli srážek) nesmí být menší než 5 °C
Podmínka T3	Maximální denní teplota nesmí být vyšší než 30 °C

*Tabulka 2: Stanovené limitní podmínky pro vyhodnocení volně dostupných dat*

#### **4.1.3 Úprava a vyhodnocení volně dostupných dat**

Všechny níže popsané kroky probíhaly v programu Microsoft Excel. Stažená data od NASA pro konkrétní lokalitu byla třeba nejprve převést z formátu csv. do formátu xls., dalším krokem byla selekce potřebných dat a promazání dat nepotřebných. Údaje o teplotě jsou poskytovány v jednotce Kelvin. Proto následujícím krokem bylo převedení hodnot teploty na stupně Celsia. K tomuto kroku byla využita funkce CONVERT. Data o dešťových a sněhových srážkách jsou udávány zvlášť, pro potřeby diplomové práce nás ale zajímají srážky jako celek, a proto se údaje sečetly. Pro výpočet a zjištění denních součtů, průměrů a maximálních hodnot v požadovaném intervalu 7.00 – 19.00 byla využita kontingenční tabulka. Upravená data byla poté vyhodnocena pomocí předem naformátovaného souboru s nadefinovanými podmínkami. Vyhodnocení bylo docíleno díky funkci KDYŽ a následného sečtení výsledků. Výsledná data se poté přepsala do konečných tabulek. Totožný postup se uplatnil u všech 30 lokalit během hodnocení čtyř letého období a také u půlročního období při hodnocení lokality Lomnice nad Popelkou.

Trošku rozdílný postup probíhal u dat poskytovaných ČHMÚ. Na rozdíl od přechozí datové sady jsou tato data jinak strukturována. Data lze stáhnout pro konkrétní ukazatel a konkrétní stanici, přičemž se data stáhnou za celé období provozu dané stanice. Prvním krokem po stažení dat příslušného ukazatele bylo vyjmutí pouze potřebného intervalu dat (2016-2019) a následně do souboru přidat stejným způsobem upravené další ukazatele počasí. Konečný soubor se vyhodnocoval ve stejně naformátovaném souboru s nadefinovanými podmínkami jako v prvním případě. Z důvodu poskytování informací už jako součtů, průměrů a maximálních hodnot za konkrétní den nebylo možné použít kontingenční tabulku pro vymezení preferovaného intervalu hodnocení, a tak se hodnotil celý den včetně noci.

## 4.2 Analýza naměřených dat

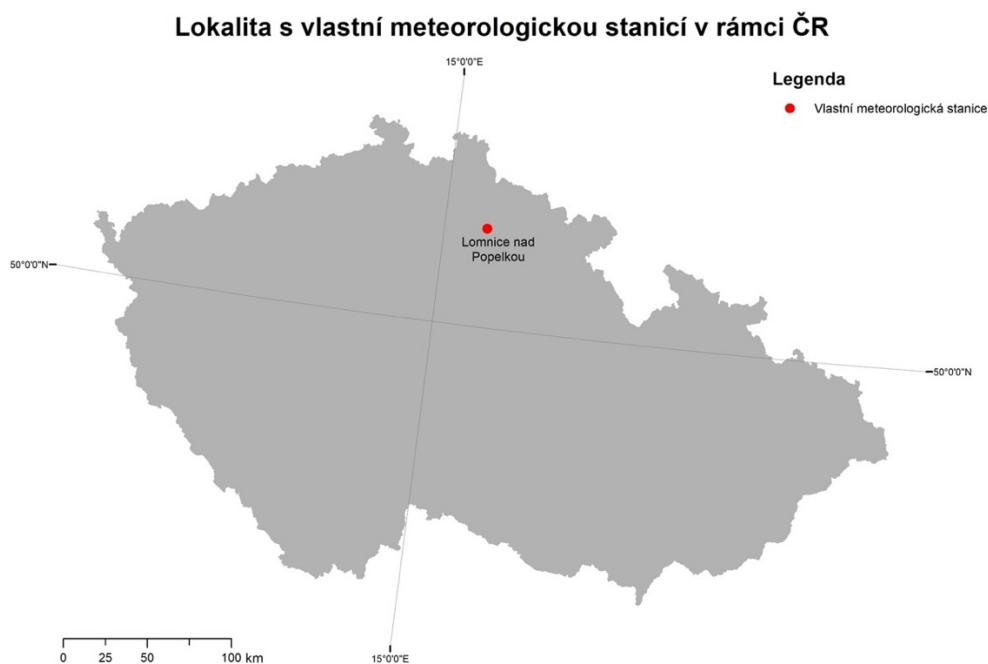
### 4.2.1 Instalace a specifikace meteorologické stanice

K měření vlastních dat byla použita profesionální meteorologická stanice GoGen ME 3900 (viz obrázek 5). Příklad se skládá ze dvou částí, hlavní jednotky a externí jednotky s měřicími prvky, které společně poskytují ucelený přehled o počasí. Venkovní jednotka je opatřena senzory pro měření teploty vzduchu; intenzity srážek; vlhkosti; barometrického tlaku; rychlosti a směru větru; UV záření a intenzity slunečního svitu. Interval měření venkovních senzorů je 16 sekund a získané údaje jsou odesílány na server [www.ecowitt.net](http://www.ecowitt.net), kde se ukládají v pěti minutových průměrech. Nahraná data je možné vyhledávat zpětně, prohlížet v grafech a exportovat do souboru k další analýze.

Pro získání přesných údajů patří umístění meteorologické stanice mezi nejdůležitější součásti instalace. Stanice byla umístěna v Libereckém kraji na střechu rodinného domu v Lomnici nad Popelkou (viz obrázek 6) přibližně do výšky 10 m nad zemským povrchem. Pro zamezení přenosu sálavého tepla byla sada senzorů instalována cca 1,5 m od střechy objektu. Sběrač deště byl umístěn ve vodorovné poloze pomocí vodováhy, aby bylo umožněno správné fungování kolektoru. Venkovní jednotka je umístěna cca 20 metrů od nejvyšších překážek, čímž je splněna obecná podmínka, že má být senzor pro měření větru instalován nejméně ve čtyřnásobné vzdálenosti, než je rozdíl výšky mezi stanicí a okolními vyššími předměty. Níže jsou rozebrány konkrétní limity a specifikace využitých senzorů stanice převzaté z provozní příručky.



Obrázek 5: Použitá meteorologická stanice



*Obrázek 6: Umístění vlastní meteorologické stanice v rámci ČR*

Pro měření bodového objemu srážek je použita technologie samočinného překlopného srážkoměru. Srážky jsou sbírány přibližně dvaceti centimetrovými sběrnými oblastmi, ze které spadane srážky ztečou do dešťového sběrače ve tvaru houpačky. Pro přesné měření a udržení přístroje v čistotě je použito několik filtrů, které se pravidelně čistí. Zobrazení objemu srážek je v rozmezí 0–6000 mm. Přesnost naměřeného objemu je  $\pm 10\%$ . Přístroj disponuje odděleným pohárovým anemometrem k měření rychlosti větru a větrnou korouhví k identifikaci směru větru. Použitý anemometr se skládá ze tří pohárků, přičemž taková dispozice zajišťuje, že je jeden z pohárků vždy v úhlu  $45^\circ$  ke směru větru. Výpočet skutečné rychlosti větru je nakonec přepočítáván na základě velikosti pohárků a celkové rotace anemometru. Údaje jsou měřeny do 50 m/s. Přesnost je  $\pm 1$  m/s při rychlosti větru menší jak 5 m/s a při větší rychlosti je přesnost  $\pm 10\%$ . Čidlo pro měření teploty vzduchu je umístěno v radičním štítu, který ho chrání před přímými vlivy počasí jako je déšť a sluneční záření. Rozsah měřené teploty je  $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ . Přesnost měření se pohybuje okolo  $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  a rozlišení je  $0,1\text{ }^\circ\text{C}$ . K dispozici jsou také údaje o solární energii, které nám poskytuje světelný senzor. Kromě měření sluneční energie nám dokáže tento senzor poskytovat i informace o intenzitě UV záření. Senzor měří solární energii do hodnoty  $1580\text{ W/m}^2$  (200k Lux) s přesností  $\pm 15\%$ .

#### 4.2.2 Stanovení limitních podmínek

K již stanoveným podmínkám pro vyhodnocení volně dostupných dat bylo přidáno další kritérium, které nebylo možné přidat do původního vyhodnocení z důvodu absence potřebných dat. Do vyhodnocení vstupuje nově vzniklá podmínka zaměřená na intenzitu slunečního záření. Tato podmínka byla stanovena za účelem zjištění, jakou využitelnost by v České republice měly drony využívající solární energii k pohonu. Na základě rozebrání vědecké literatury v rešerší části práce byla stanovena potřebná intenzita slunečního záření na 1000 W/m<sup>2</sup> a více. Přehled stanovených podmínek je dostupný v tabulce 3.

Podmínka S1	Součet srážek v hodnoceném intervalu nesmí být vyšší než 0,1 mm
Podmínka V1	Průměrná rychlost větru v hodnoceném intervalu nesmí být vyšší než 5 m/s
Podmínka V2	Maximální rychlost větru v hodnoceném intervalu nesmí být vyšší než 8 m/s
Podmínka T1	Průměrná teplota v hodnoceném intervalu (v případě nulových srážek) nesmí být menší než -5 °C
Podmínka T2	Průměrná teplota v hodnoceném intervalu (v případě jakýchkoli srážek) nesmí být menší než 5 °C
Podmínka T3	Maximální teplota v hodnoceném intervalu nesmí být vyšší než 30 °C
Podmínka SE1	Potřebná intenzita slunečního svitu v daném intervalu musí být průměrně vyšší než 1000 W/m <sup>2</sup>

Tabulka 3: Stanovené limitní podmínky pro vyhodnocení naměřených dat

#### 4.2.3 Úprava a vyhodnocení naměřených dat za půl roku

Vyhodnocení probíhalo totožně jako u volně dostupných dat v tabulkovém procesoru Excel od firmy Microsoft. Po stažení dat z webové aplikace, kam se data po celou dobu měření ukládala, bylo potřeba vyselektovat pouze ta potřebná. Z naměřených dat byly vytvořeny dvě datové sady. První sada obsahovala totožné ukazatele a byla vyhodnocena podle stejných podmínek jako sady vytvořené z volně dostupných dat, aby bylo možné statistické porovnání se zdrojem NASA. Tato data byla ještě navíc vyhodnocena v rámci měsíců. Druhá datová sada obsahovala navíc ještě naměřenou intenzitu slunečního záření. Tato objemnější datová sada byla vyhodnocena v kratších intervalech v každém měřeném dni. Zatímco volně dostupná data od poskytovatele NASA a první datová sada vytvořená z údajů naměřených vlastní meteorologickou stanicí byly vyhodnocovány v intervalu 7.00 – 19.00 hodin a dané hodnocení se vztahovalo k celému dni, vyhodnocení druhé datové sady se zaměřuje na hodnocení jednotlivých dní ve čtyřech tří hodinových intervalech. Intervaly byly stanoveny na 8.00 – 10.00, 11.00 – 13.00, 14.00 – 16.00, 17.00 – 19.00. K tomuto kroku bylo přistoupeno z důvodu zahrnutí možnosti sbírání dat v kratších časových úsecích než v celém dni.

### 4.3 Statistické porovnání dat

Statistika se používá jako důležitý nástroj získávání informací a k řešení specializovaných problémů (Neubauer et al. 2012). Do statistiky vstupují data naměřená pomocí vlastní meteorologické stanice v lokalitě Lomnice nad Popelkou a data od poskytovatele NASA. Statistické porovnání dat slouží k validaci a posouzení, jak moc se data od sebe liší. ČHMÚ neposkytuje data pro oblast umístění vlastní meteorologické stanice, tudíž jejich statistické porovnání možné není. Porovnávané sady dat jsou hodnoceny pro každý ukazatel zvlášť v daném intervalu 7.00 – 19.00 hod. (průměrná denní teplota, maximální denní teplota, průměrná rychlost větru, maximální denní rychlost větru a úhrn srážek). Výpočet probíhal ve statistickém programu R. Výchozí data, která vstupovala jak do vyhodnocení v tabulkovém procesoru Excel, tak i do statistického programu R, musela být nejprve převedena do textového souboru odděleného tabulátory. U každého testu byla stanovena nulová hypotéza, která se následně testovala. V případě že byla nulová hypotéza zamítnuta, nebo-li když dosažená hladina významnosti při testu byla menší jak 5 %, byla přijata hypotéza alternativní, která je vždy negací té nulové. Pro tento případ testování dvou skupin dat, kde jsou obě proměnné kvantitativní, byl vytvořen skript, který zahrnoval potřebné příkazy k provedení testů. Jako první proběhla vždy zkouška na normální rozdělení dat, která byla provedena pomocí Shapiro–Wilkova testu. V závislosti na výsledku se pak rozhodovalo, zda se přistoupí k parametrickým testům či jejich neparametrické obdobě. Parametrickými testy je myšlen F-test pro hodnocení rozptylů a T-test pro porovnání průměrných hodnot. Tyto testy připadají v úvahu v případě zjištění normálního rozdělení dat. Neparametrickým testem je pak myšlen Wilcoxonův test, který se zaměřuje na medián porovnávaných skupin dat.



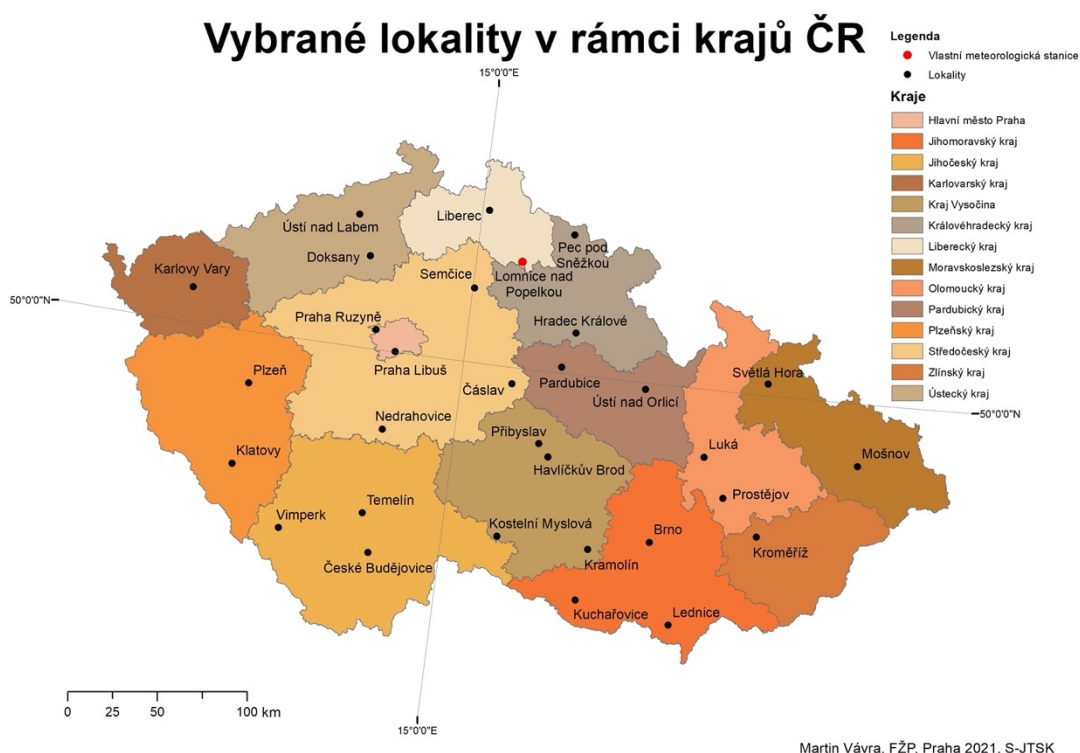
#### **4.4 Vizualizace výsledků**

Výsledky práce byly vizualizovány v aplikaci ArcGIS Insights od firmy Esri. Pro vytvoření tabulek a grafů byla do aplikace připojena data s výsledky ve formátu xlsx. a pro vytvoření mapových výstupů data ve formátu shapefile, která byla komprimována do formátu zip. Soubory ve formátu shapefile byly vytvořeny v programu Arcmap. Po vytvoření byly soubory opatřeny souřadnicemi hodnocených lokalit a informacemi s výsledky.

## 5. Charakteristika studijního území

### 5.1 Charakteristika ČR

V rámci České republiky probíhalo vyhodnocení dat celkem na 31 lokalitách. Rozložením míst bylo dosaženo pokrytí všech krajů v ČR (viz obrázek 7). Při jejich výběru muselo být přihlíženo k dostupnosti meteorologických dat, a tak byla výše rovnoměrného rozmístění do určité míry ovlivněna. Až na dva případy spadají na každý kraj dvě a více zájmových lokalit. Kapitola popisuje meteorologické poměry v České republice a charakterizuje lokality s ohledem na hodnocení klimatu podle Quittovi klasifikace podnebí.



Obrázek 7: Rozmístění vybraných lokalit v rámci krajů ČR

Klima České republiky patří do oblasti mírného klimatického pásma severní polokoule (Kopp a Němec 2009). Počet dnů s ranním minimem pod nulou se v ČR pohybuje mezi 60 a 230 dny. Tento počet je ovlivněn především nadmořskou výškou a svou roli hraje i vliv terénu. Počet dní s teplotou 30 °C a vyšší se v 21. století výrazně zvyšuje. Průměrná roční teplota v České republice se ve druhé polovině 20. století pohybovala mezi 5 °C ~ 9 °C. Po roce 2010 se ale průměrná teplota dostává vysoko nad 10 °C (Míková et al. 2018). Nejnížší průměrné teploty se vyskytují v pohraničních horských oblastech. Nejtepleji je v nížinách na jihovýchodě republiky a Polabí, což odpovídá nadmořským výškám okolo 200 metrů. Specifickou oblastí je Praha,

kde se nacházejí dvě zájmové lokality. Tepelný ostrov zde zvyšuje průměrnou roční teplotu o 1 až 2 °C nad hodnoty odpovídající její geografické poloze (Kopp a Němec 2009). Největřnějším místem je na území ČR Milešovka v Českém středohoří. Průměrná roční rychlost větru zde dosahuje přes 8 m/s (Míková et al. 2018). Nejbližšími zájmovými lokalitami tomuto největřnějšimu místu jsou Ústí nad Labem a Doksany. Za průměrnou rychlost větru pro celou Českou republiku se považuje 2-4 m/s. Rychlost pod 2 m/s se vyskytuje především v údolích řek a pánevních oblastech na jihozápadě a jihu Čech. Rychlost větší než 5 m/s se vyskytuje na plošně větřším území v horských oblastech a na Českomoravské vrchovině. Nejnižší rychlost větru můžeme očekávat v letním období a nejvyšší v zimní sezóně (Tolasz et al. 2007). Průměrné rychlosti větru v ČR ve výšce 10 m a 100 m nad zemí vypracované v letech 2003-2004 Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR jsou zobrazeny na obrázku 8 a 9. Na naše území spadne během roku přibližně 650 litrů vody na jeden m<sup>2</sup>. V horských oblastech může napřšet až 2,5krát víc. Takové hodnoty spadaných srážek můžeme očekávat v zájmové lokalitě Pec pod Sněžkou, Světlá Hora, Klatovy a Vimperk. Naopak nejsušší místa s ročním úhrnem srážek okolo 400 mm jsou oblasti Chomutovska a Žatecka (Míková et al. 2018). Do těchto oblastí nepatří žádná ze zájmových lokalit. Počet srážkových dní s úhrnem větřším než 0,1 mm se pohybuje mezi 130 a 210 dny (Tolasz et al. 2007).

Quittova klasifikace podnebí vznikla pro regionální, respektive státní úroveň. Její aktualizovaná verze bere v úvahu meteorologické údaje z období 1961–2000. Klasifikace rozděluje území ČR do 23 jednotek rozdělených do třech oblastí – teplá, mírně teplá a chladná. Jednotky představují charakteristiky 14 klimatických ukazatelů, mezi které patří počet letních, mrazových a ledových dní; počet zamračených a jasných dní; počet dní se sněhovou pokrývkou; počet dní se srážkami 1mm a více, průměrná teplota vzduchu v lednu, v dubnu, v červenci a v říjnu; srážkový úhrn za vegetační období (duben až září) a za zimní období (říjen až březen); a početní dní s průměrnou teplotou 10 °C a více (Tolasz et al. 2007). Nejvíce zájmových lokalit spadá do teplých oblastí. Celkem čtrnáct lokalit reprezentují jednotku W2, jedná se o lokality Brno, Čáslav, Doksany, Hradec Králové, Kroměříž, Kuchařovice, Luká, Mošnov, Pardubice, Praha Libuš, Praha Ruzyně, Prostějov, Semčice a Ústí nad Labem. Zájmová lokalita Lednice potom jako jediná zastupuje jednotku W4. Do mírně teplých oblastí spadá lokalit dvanáct. Kramolín zastupuje jednotku MW3. Havlíčkův Brod, Kostelní Myslová, Lomnice nad Popelkou a Přibyslav spadají do jednotky MW4 a další čtyři lokality Klatovy, Nedrahovice, Temelín a Ústí nad Orlicí svými klimatickými poměry patří do jednotky MW7. České Budějovice jako jediné patří

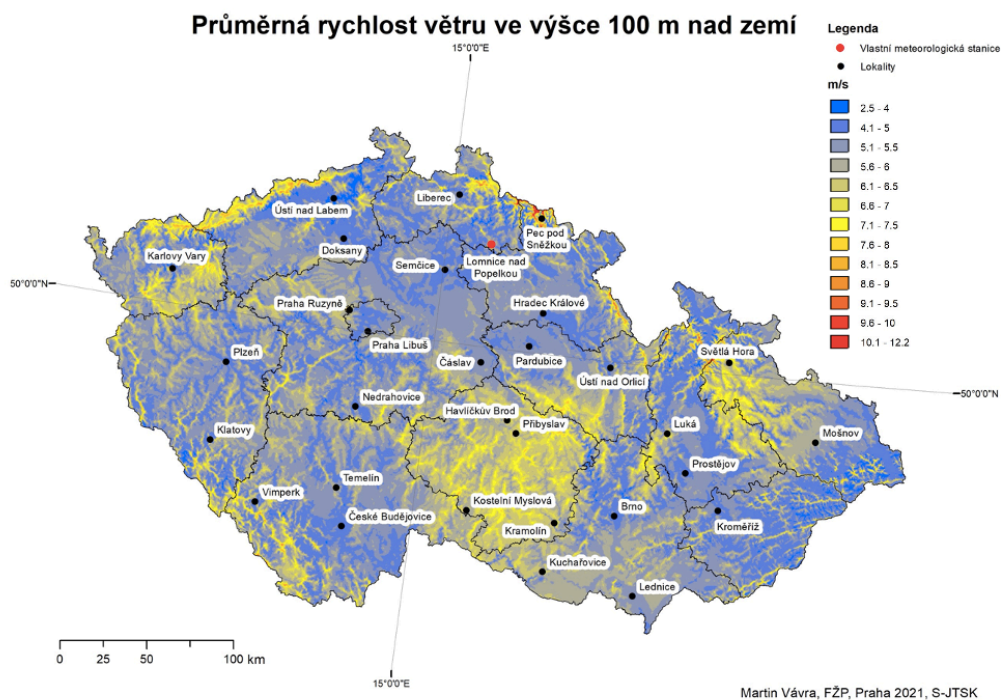
pod jednotku MW8 a lokality ze západu republiky Karlovy Vary a Plzeň reprezentují jednotku MW11. Nejmenší zastoupení mají lokality v chladných oblastech. Jednotku C7 zastupuje Liberec a Světlá Hora. O něco chladněji je potom v jednotce C5 zastoupenou Vimperkem a nejchladnější počasí můžeme očekávat v Peci pod Sněžkou spadající pod jednotku C4. Podrobnou tabulku s danými charakteristikami pro všechny zastoupené jednotky jsou uvedeny v tabulce 4.

Parametr	Klimatické charakteristiky chladných oblastí			Klimatické charakteristiky mírně teplých oblastí					Klimatické charakteristiky teplých oblastí	
	C4	C5	C7	MW3	MW4	MW7	MW8	MW11	W2	W4
Počet letních dní	0–20	10–30	10–30	20–30	20–30	30–40	40–50	40–50	50–60	60–70
Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více	80–120	100–120	120–140	120–140	140–160	140–160	140–160	140–160	160–170	170–180
Počet dní s mrazem	160–180	140–160	140–160	130–160	110–130	110–130	130–140	110–130	100–110	100–110
Počet ledových dní	60–70	60–70	50–60	40–50	40–50	40–50	40–50	30–40	30–40	30–40
Průměrná lednová teplota [°C]	-7 – -6	-5 – -6	-3 – -4	-3 – -4	-2 – -3	-2 – -3	-4 – -5	-2 – -3	-2 – -3	-2 – -3
Průměrná červencová teplota [°C]	12–14	14–15	15–16	16–17	16–17	16–17	17–18	17–18	18–19	19–20
Průměrná dubnová teplota [°C]	2–4	2–4	4–6	6–7	6–7	6–7	7–8	7–8	8–9	9–10
Průměrná říjnová teplota [°C]	4–5	5–6	6–7	6–7	6–7	7–8	7–8	7–8	7–9	9–10
Průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	120–140	120–140	120–130	110–120	110–120	100–120	100–120	90–100	90–100	80–90
Suma srážek ve vegetačním období [mm]	600–700	500–600	500–600	350–450	350–450	400–450	400–450	350–400	350–400	300–350
Suma srážek v zimním období [mm]	400–500	350–400	350–400	250–300	250–300	250–300	250–300	200–250	200–300	200–300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	140–160	120–140	100–120	60–100	60–80	60–80	60–80	50–60	40–50	40–50
Počet zatažených dní	130–150	140–150	150–160	120–150	150–160	120–150	120–150	120–150	120–140	110–120
Počet jasných dní	30–40	30–40	40–50	40–50	40–50	40–50	40–50	40–50	40–50	50–60

Tabulka 4: Klimatické charakteristiky (upraveno), (Tolasz et al. 2007)



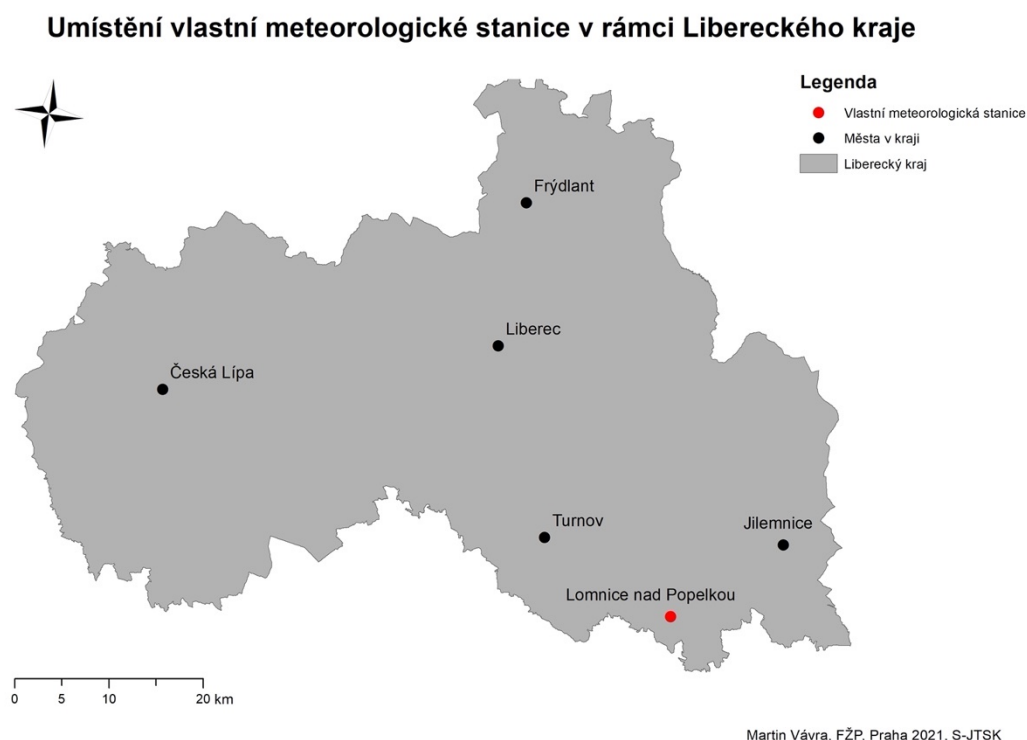
Obrázek 8: Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí



Obrázek 9: Průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad zemí

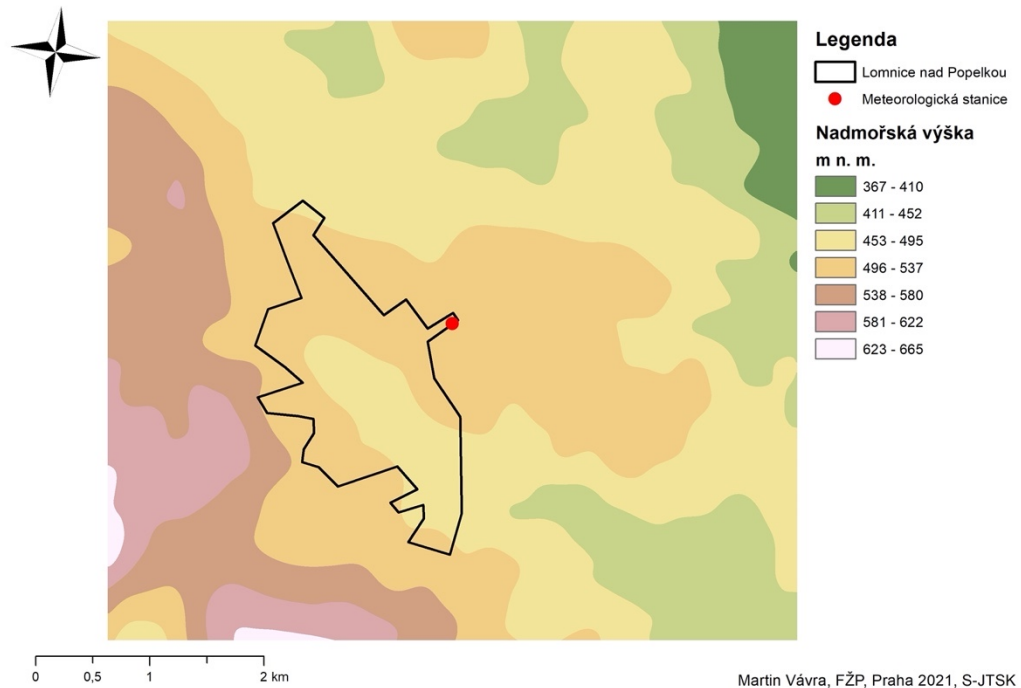
## 5.2 Charakteristika lokality s vlastní meteorologickou stanicí

Sbírání dat pomocí vlastní meteorologické stanice probíhalo ve městě Lomnice nad Popelkou v Libereckém kraji (viz obrázek 10). Lokalita se nachází v nadmořské výšce přibližně 500 metrů nad mořem (viz obrázek 11) a je přechodovým územím mezi chráněnou krajinnou oblastí Český ráj a Podkrkonoším. Z geomorfologického hlediska spadá město do tzv. Lomnické vrchoviny, které má členitý charakter s nepravidelnými tvary vrcholů a hřebenů s širokými údolími a roklemi (Kesner et al. 2010). Podnebí spadá lokalita do mírně teplé klimatické oblasti a do jednotky MW4 s průměrnými lednovými teplotami vzduchu v rozmezí od  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a v červenci od  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměrné roční srážkové úhrny dosahují hodnot 600–750 mm s průměrným počtem 110–120 dnů se srážkami 1mm a více (Tolasz et al. 2007). Další klimatické charakteristiky pro předmětnou oblast jsou uvedeny v tabulce 4. Občas se na této lokalitě můžeme setkat s teplotními inverzemi, ke kterým dochází z důvodu stékání studeného vzduchu z okolních kopců do údolí města, kde se hromadí. K tomuto jevu dochází především v mrazivých dnech, kdy je pak teplota na vrškách okolo města výrazně vyšší než v údolí (Kesner et al. 2010). Meteorologická stanice se konkrétně nachází na okraji severovýchodní části města, která je specifická nízkou mírou zástavby. Okolní pozemky představují především zemědělský půdní fond viz. obrázek 12.



Obrázek 10: Umístění vlastní meteorologické stanice v rámci Libereckého kraje

### Digitální model terénu lokality s meteorologickou stanicí



Obrázek 11: Digitální model terénu lokality s meteorologickou stanicí



Obrázek 12: Severovýchodní pohled na střechu domu s umístěnou meteorologickou stanicí a pohled na okolní pozemky

## **6. Výsledky práce**

Výsledky práce odpovídají na cílové otázky stanovené v úvodních kapitolách. Ve stanovených obdobích byly hodnoceny jednotlivé dny pro možnost sbírání dat bezpilotními leteckými prostředky. Vyhodnocení probíhalo na základě stanovených provozních limitů. Pokud v daném intervalu nebyla splněna kterákoliv z limitních podmínek, byl hodnocený den posouzen jako nevhodný pro létání a sbírání dat. Zároveň jsou u vhodných datových sad porovnávány získané výsledky a počáteční data.



## 6.1 Volně dostupná data

### 6.1.1 Základní charakteristiky výsledků ze zdroje NASA pro období 2016-2019

Meteorologické údaje ze zdroje NASA byly staženy pro 30 lokalit na území České republiky a byly vyhodnoceny na základě šesti podmínek v intervalu 7.00 – 19.00 hod. Hodnoceny byly čtyři roky, pro které byla stažena data s hodinovými odstupy. V příloze 1 jsou zobrazeny počty vhodných dní v jednotlivých letech, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat, neboli také dny, ve kterých nebyla porušena ani jedna z limitních podmínek. Průměrný počet dní za rok, ve kterých byly vhodné podmínky pro nasazení bezpilotních prostředků za všechny čtyři roky je 110 dní/rok. Takový počet odpovídá téměř jedné třetině za celé vyhodnocené období. Vůbec nejmenší počet vhodných dní, konkrétně 79, byl v lokalitě Přebyslav v roce 2017. Naopak nejvíce vhodných dní k letu bylo v roce 2019 v Českých Budějovicích (142 dní). Obě lokality obsadily stejná místa i při vyhodnocení celkového počtu vhodných dní za celé čtyři roky. Pro České Budějovice to je 519 dní a pro Přebyslav 360 dní. Vyhodnocení pro další lokality je zobrazeno v tabulce 5. Nejvíce vhodných letových dní bylo v roce 2019 a nejméně v roce 2017. Odchylka mezi jednotlivými lety ale není nijak výrazná a pohybuje se v rozmezí do 19 dní (viz tabulka 6).

Lokalita	Počet dní za čtyři roky, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	(%)	Lokalita	Počet dní za čtyři roky, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	(%)
České Budějovice	519	36	Brno	436	30
Temelín	508	35	Kroměříž	424	29
Vimperk	504	34	Pardubice	424	29
Klatovy	496	34	Čáslav	421	29
Doksany	492	34	Kramolín	421	29
Plzeň	485	33	Kostelní Myslová	417	29
Karlovy Vary	480	33	Liberec	410	28
Praha Ruzyně	473	32	Hradec Králové	408	28
Kuchařovice	466	32	Luká	405	28
Nedrahovice	465	32	Prostějov	403	28
Praha Libuš	458	31	Ústí nad Orlicí	402	28
Ústí nad Labem	456	31	Světlá Hora	401	27
Lednice	454	31	Pec pod Sněžkou	398	25
Mošnov	442	30	Havlíčkův Brod	368	25
Semčice	440	30	Přebyslav	360	25

Tabulka 5: Součty počtů vhodných dní za roky 2016-2019 podle zdroje NASA

Rok	Průměrný počet letových dní
2016	113
2017	100
2018	110
2019	119

*Tabulka 6: Průměrný počet letových dní v jednotlivých letech podle zdroje NASA*

Nejvíce ze všech limitních podmínek narušovala možnost letu bezpilotních leteckých prostředků podmínka vymezující maximální přípustný denní úhrn srážek v rozmezí 7.00 – 19.00 hodin. Tato podmínka ovlivňovala využití dronů celkem ve 44 % ze všech překročených limitů, což průměrně odpovídá 201 dnům v roce. Nadlimitní rychlost větru, ať už ve formě průměrné rychlosti nebo maximální denní rychlosti, omezovala létání s drony ve 38 %, přičemž častěji byla překročena průměrná denní rychlost větru 5 m/s. Podmínky zaměřené na teplotu vzduchu mají nejmenší zastoupení v překročení stanovených limitů. Celkem byly tyto tři podmínky nesplněny v 18 %. Nejvíce krát však byla překročena spodní hranice teploty vzduchu – při padání srážek, čili podmínka T2. Procentuální zastoupení všech podmínek a průměrný počet nesplněných dní v jednom roce jsou k dispozici v tabulce 7.

	Průměrný počet nesplněných dní v jednom roce	Procentuální zastoupení
Podmínka S1	201 dní	44%
Podmínka V1	123 dní	27%
Podmínka V2	50 dní	11%
Podmínka T1	5 dní	1%
Podmínka T2	70 dní	15%
Podmínka T3	11 dní	2%

*Tabulka 7: Průměrný počet nesplněných dní podmínkami v jednom roce a procentuální zastoupení (zdroj dat NASA)*

Výsledky také ukázaly, že oproti jiným lokalitám foukalo poměrně méně ve Vimperku, Karlových Varech a Klatovech. Maximální denní teplota byla nejčastěji překročena v Lednici, v roce 2017 tam byla teplota vyšší ve 34 případech. Jedná se o nejčastější překročení maximální teploty v rámci všech lokalit a vyhodnocovaného období z tohoto zdroje. Podrobné zastoupení limitních podmínek na konkrétních lokalitách a v jednotlivých letech je dostupné v příloze 1.

### 6.1.2 Základní charakteristiky výsledků ze zdroje ČHMÚ pro období 2016-2019

Stejně jako u dat ze zdroje NASA byla tato data stažena pro 30 lokalit rozmístěných na území České republiky pro časové období čtyř let. Vyhodnocení proběhlo totožně podle šesti stanovených podmínek. Rozdílem však je interval vyhodnocení, který se v tomto případě vztahuje k celému dnu (viz. kapitola 4.1.1.). Průměrný počet dní, ve kterých se dalo aplikovat bezpilotní letecký prostředek, je podle tohoto zdroje 90 dní. Rozdíly mezi lokalitami jsou zde poměrně výrazné. Nejvhodnější podmínky pro létání panovaly v roce 2018 v Nedrahovicích na jihu Středočeského kraje. Všechny podmínky zde byly splněny celkem ve 167 dnech, tedy téměř v polovině hodnocených dní daného roku. Naopak nejhorší podmínky byly v roce 2017 v Peci pod Sněžkou, kde se tento rok dalo létat pouze 26 dní. Výsledky pro všechny lokality jsou dostupné v příloze 2. Při pohledu na celé čtyřleté období nejlépe dopadla lokalita Nedrahovice a nejhůře lokalita Přibyslav. Rozdíl mezi lokalitami je více než trojnásobný (viz tabulka 8). Průměrný počet letových dní v hodnocených letech nepřekročil ani v jednom roce 100 dní. Konkrétní počty letových dní jsou dostupné v tabulce 9.

Lokalita	Počet dní za čtyři roky, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	(%)	Lokalita	Počet dní za čtyři roky, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	(%)
Nedrahovice	621	43	Karlovy Vary	369	25
Čáslav	555	38	Doksany	349	24
Semčice	510	35	Havlíčkův Brod	323	22
Klatovy	496	34	Temelín	313	21
Praha Libuš	486	33	Brno	299	20
Kroměříž	481	33	Mošnov	297	20
České Budějovice	431	30	Ústí nad Labem	293	20
Prostějov	425	29	Kostelní Myslová	282	19
Lednice	406	28	Vimperk	278	19
Světlá Hora	393	27	Ústí nad Orlicí	228	16
Pardubice	391	27	Kuchařovice	214	15
Plzeň	390	27	Pec pod Sněžkou	214	15
Praha Ruzyně	385	26	Kramolín	197	13
Hradec Králové	370	25	Luká	188	13
Liberec	370	25	Přibyslav	188	13

Tabulka 8: Součty počtů vhodných dní za celé čtyři roky podle zdroje ČHMÚ

Rok	Průměrný počet letových dní
2016	98
2017	77
2018	94
2019	89

*Tabulka 9: Průměrný počet letových dní v jednotlivých letech podle zdroje ČHMÚ*

Na základě analýzy dat ze zdroje ČHMÚ se ukázala jako nejvíce limitující podmínka V2, upravující maximální povolenou rychlost větru v hodnocený den. Společně s podmínkou vymezující maximální průměrnou rychlost představovaly tyto podmínky více než polovinu ze všech překročených limitů. Průměrně v jednom hodnoceném roce byly tyto podmínky překročeny celkem ve 261 dnech (viz tabulka 10). Jako druhý nejvíce limitující meteorologický faktor byly srážky. Výskyt srážek s denním úhrnem větším jak 0,1 mm představoval 30 % zastoupení v překročení veškerých stanovených limitů, což odpovídá průměrně 145 dnům v jednom roce. Nejméně omezovala provoz dronů teplota. Podmínky zaměřené na dolní hranici teploty vzduchu reprezentují společně 13 %. Ve dnech společně představují průměrně 59 nesplněných dní v roce. Překročení maximální teploty vzduchu tvoří tři procentní zastoupení, které odpovídá průměrnému překročení v 17 dnech v roce.

	Průměrný počet nesplněných dní v jednom roce	Procentuální zastoupení
Podmínka S1	145 dní	30%
Podmínka V1	35 dní	7%
Podmínka V2	226 dní	47%
Podmínka T1	8 dní	2%
Podmínka T2	51 dní	11%
Podmínka T3	17 dní	3%

*Tabulka 10: Průměrný počet nesplněných dní v jednom roce a procentuální zastoupení, (zdroj dat ČHMÚ)*

Na pěti lokalitách se alespoň v jednom roce ukázala jako nejvíce limitující podmínka S1 a na lokalitě Nedrahovice tato podmínka omezovala létání nejvíce ve všech hodnocených letech. V ostatních případech létání nejvíce limitovalo překročení maximální rychlosti větru. Podle výsledků byla maximální denní teplota 30 °C v roce 2018 v Doksanech překročena až v 51 dnech. Konkrétní zastoupení limitních podmínek na všech lokalitách a v jednotlivých letech je dostupné v příloze 2.

### 6.1.3 Porovnání výsledných dat za rok 2017

Porovnávané výsledky byly hodnoceny na totožných 21 lokalitách (viz obrázek 13) podle stejně stanovených šesti podmínek v časovém intervalu 7.00 – 19.00 hodin. Jedním ze zdrojů je výše popsán zdroj NASA a druhým je zdroj rp5.ru ([www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)), který byl použit při analýze v mé bakalářské práci. V celkovém počtu vhodných letových dní se porovnávané zdroje liší téměř v 90 případech (viz tabulka 11). Průměrný počet letových dní na všech 21 hodnocených lokalitách je podle zdroje rp5.ru 186 dní, zatímco podle zdroje NASA rovných 100 dní. Interval se podle zdroje rp5.ru pohyboval mezi 226 a 137 dny. Podle dat ze zdroje NASA byl ale interval mnohem nižší a pohyboval se mezi 117 a 79 vhodnými dny. Lokalita s nejvyšším počtem letových dní na základě dat ze zdroje NASA se ani nepřiblížila k hranici lokality s nejnižším počtem letových dní podle zdroje rp5.ru. Zatímco se oba porovnávané zdroje shodují na lokalitě s nejvyšším počtem vhodných letových dní (České Budějovice), tak lokalita s nejmenším počtem splněných podmínek podle zdroje rp5.ru (Mošnov) představuje na základě výsledných dat ze zdroje NASA pomyslný střed ve výsledném intervalu.



Obrázek 13: Rozmístění porovnávaných lokalit za rok 2017 v rámci ČR

Město / Obec	Počet dní v roce 2017, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat (rp5.ru)	(%)	Počet dní v roce 2017, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat (NASA)	(%)
Brno	169	46	102	28
Čáslav	175	48	99	27
České Budějovice	226	62	117	32
Doksany	198	54	114	31
Karlovy Vary	213	58	102	28
Kostelní Myslová	216	59	94	26
Kramolín	194	53	93	25
Kuchařovice	158	43	112	31
Liberec	194	53	93	25
Luká	159	44	93	25
Mošnov - Ostrava	137	38	101	28
Pardubice	190	52	98	27
Pec pod Sněžkou	173	47	87	24
Plzeň	190	52	106	29
Praha Libuš	221	61	106	29
Praha Ruzyně	178	49	109	30
Prostějov	223	61	96	26
Přibyslav	142	39	79	22
Temelín	178	49	116	32
Ústí na Labem	194	53	99	27
Ústí nad Orlicí	168	46	91	25
Průměrný počet dní v roce 2017, ve kterých se dalo použít UAS, pro celodenní sbírání dat	186	51	100	27

Tabulka 11: Porovnání počtu vhodných letových dní podle zdrojů rp5 a NASA

Při pohledu na zastoupení v překročení limitních podmínek je patrné, že se hodnocené podmínky umístily ve stejném pořadí (viz tabulka 12). Velký rozdíl je ale v počtu nesplněných dní hodnocenými podmínkami. Největší odlišnost můžeme pozorovat u podmínky S1. Dle výsledků ze zdroje rp5.ru byl v roce 2017 celkem v 96 dnech úhrn srážek větší než 0,1 mm. Podle zdroje NASA byl tento limit překročen ve 206 dnech. Výsledky se liší o 110 dní. Výrazně častější překročení stanovených limitů výsledky získanými ze zdroje NASA můžeme pozorovat i v případě rychlosti větru. Limit průměrné rychlosti větru byl překročen na základě dat od NASA ve dvojnásobném počtu hodnocených dní a hranice maximální rychlosti větru o více než jednu třetinu. Společně s mnohonásobně vyšším překročením denního úhrnu srážek vzrostlo i překročení podmínky T2, která je hodnocena právě při výskytu srážek. Překročení limitu stanovujícího minimální teplotu vzduchu bez jakýkoliv srážek a limitu určujícího maximální teplotu se v obou případech téměř shodovalo.

	Průměrný počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami v roce 2017 na 21 lokalitách ( <b>rp5.ru</b> )	Průměrný počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami v roce 2017 na 21 lokalitách ( <b>NASA</b> )
Podmínka S1	96 dní	206 dní
Podmínka V1	67 dní	138 dní
Podmínka V2	39 dní	60 dní
Podmínka T1	12 dní	9 dní
Podmínka T2	54 dní	65 dní
Podmínka T3	10 dní	9 dní

*Tabulka 12: Porovnání průměrného počtu nesplněných dní hodnocenými podmínkami*

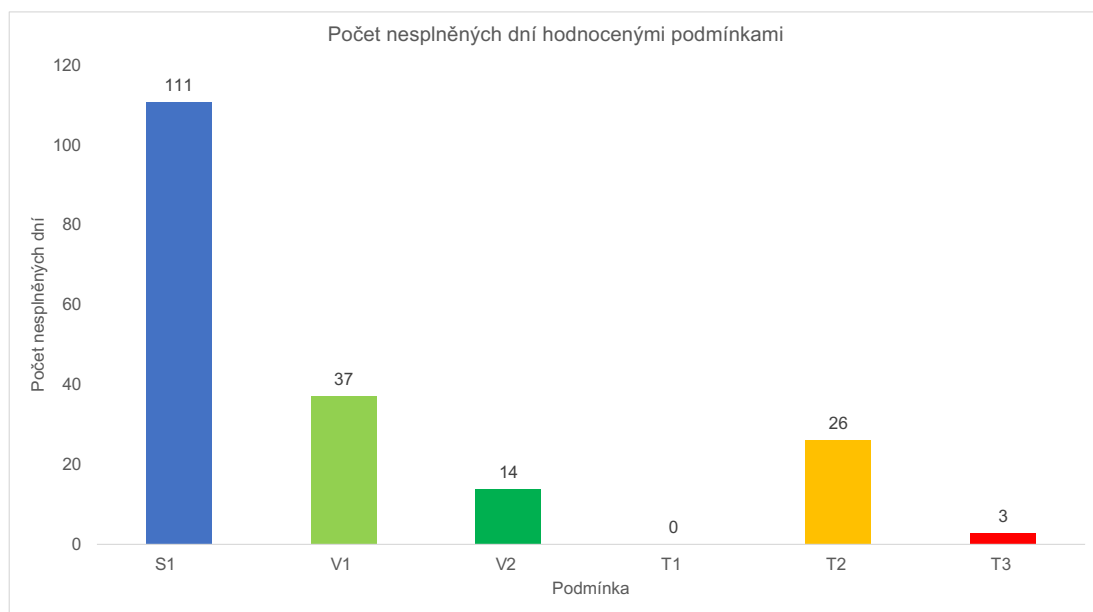
Nejvíce se výsledky shodovaly na lokalitě Mošnov, kde se porovnávaná data lišily pouze ve 36 dnech. Až na neshodu v případě úhrnu srážek se hodnocené parametry výrazně nelišily. Diametrálně rozdílné výsledky se ukázaly při vyhodnocení lokality Prostějov. Výsledná data vyjadřující počty letových dní se zde neshodly ve 127 případech. Vyjma zřejmě jiných výsledků u podmínky S1, se ještě výrazně nesešly výsledky u průměrné rychlosti větru. Podrobné porovnání výsledných dat, včetně počtů nevyhovujících dní danými podmínkám na jednotlivých lokalitách, je dostupné v příloze 3.

#### 6.1.4 Základní charakteristiky výsledků ze zdroje NASA pro období 1.7.2020 – 31.12.2020

Stažení a hodnocení dat ze zdroje NASA pro období 1.7.2020 – 31.12.2020 proběhlo především kvůli porovnání s naměřenými daty a posouzení míry odlišnosti pro stejnou lokalitu. Z celkového počtu 184 hodnocených dní převládaly vhodné podmínky ve 33 %, tedy v 60 dnech (viz tabulka 13). Nejčastěji nedodrženým meteorologickým faktorem byl úhrn srážek, který byl překročen ve 111 dnech. Průměrná denní rychlost větru byla překročena ve 37 dnech a průměrná denní teplota při výskytu srážek klesla pod 5 °C ve 26 případech. Další počty překročení stanovených podmínek jsou dostupné na obrázku 14.

Lokalita	Vyhodnocené období	Zdroj dat	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat	Počet dní vyjádřených v procentech, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat
Lomnice nad Popelkou	1.7.2020 - 31.12.2020 (184 dní)	NASA	60	33%

Tabulka 13: Výsledky dat ze zdroje NASA pro období 1.7.2020 – 31.12.2020



Obrázek 14: Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě dat z NASA v období 1.7.2020 – 31.12.2020

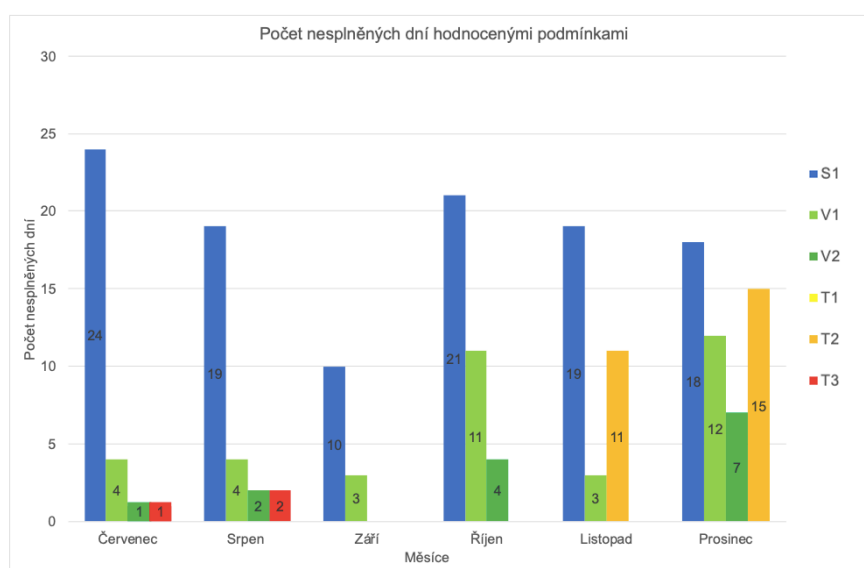


Nejlepší podmínky pro létání nabízel měsíc září, kdy byly všechny podmínky splněny po 19 dní. Jako nejméně vhodné měsíce pro létání se ukázaly říjen, červenec a prosinec. Během hodnoceného období se dalo průměrně s bezpilotním letadlem vzlietnout a pořizovat data v 10 dnech za měsíc (viz tabulka 14).

	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat
Červenec (2020)	7
Srpen (2020)	10
Září (2020)	19
Říjen (2020)	6
Listopad (2020)	10
Prosinec (2020)	8
<b>Průměrný počet dní v měsíci, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat</b>	10

Tabulka 14: Počty letových dní v rámci měsíců na základě vyhodnocení dat z NASA v období 1.7.2020 – 31.12.2020

V měsících červenec a říjen byl naměřen úhrn srážek větší jak 0,1 mm ve více než 20 dnech. Překročení maximální denní teploty bylo vyhodnoceno v měsících červenec a srpen a překročení minimální denní teploty v listopadu a prosinci. Největší rychlosti větru byly zaznamenány v prosinci. Konkrétní počty nesplněných dní pro každý měsíc jsou dostupné na obrázku 15.



Obrázek 15: Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě dat z NASA v období 1.7.2020 – 31.12.2020 v rámci měsíců

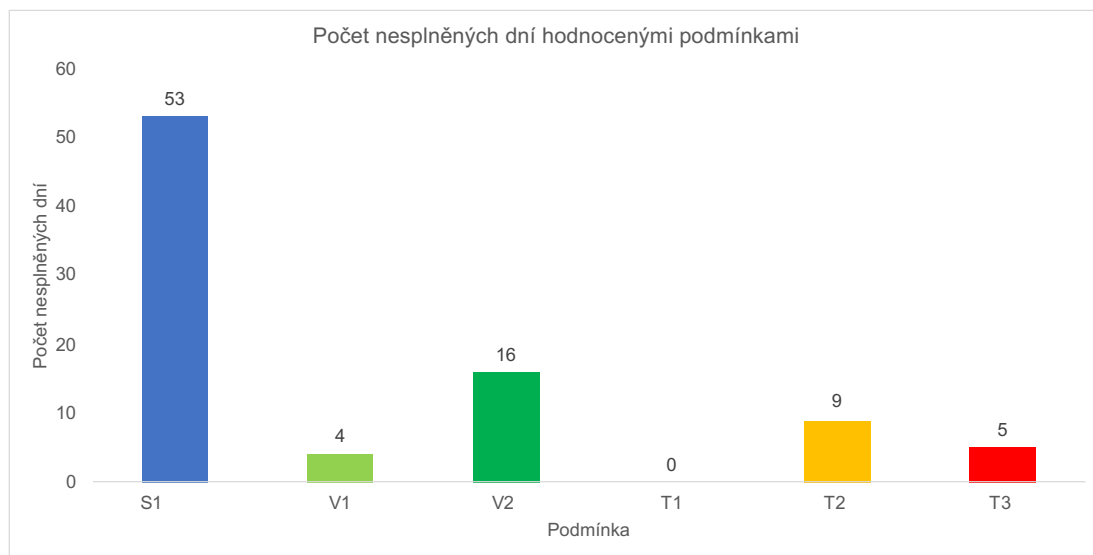
## 6.2 Naměřená data

### 6.2.1 Základní charakteristiky výsledků první datové sady z naměřených dat

Tato datová sada vytvořená z naměřených dat se vyhodnocovala totožně jako volně dostupná data, aby bylo možné porovnání výsledků a výchozích dat s volně dostupným zdrojem NASA. Vyhodnocované období je 1.7.2020 - 31.12.2020. Do analýzy vstupovalo celkem 184 dní. Výsledky ukázaly, že se na předemtné lokalitě dalo využít bezpilotní prostředky k celodenním sbírání dat ve 113 případech. V procentech to představuje 61 %, tedy více jak polovinu hodnocených dní (viz tabulka 15). Nejvíce limitujícím faktorem byly srážky, které omezovaly nasazení dronů v 53 případech. Nadlimitní rychlost větru omezovala létání s drony dohromady ve 20 dnech. V devíti případech byla průměrná teplota vzduchu nižší než 5 °C a pětkrát byla překročena maximální denní teplota stanovená na 30 °C. Počty dnů překročených jednotlivými podmínkami jsou zobrazeny na obrázku 16.

Lokalita	Vyhodnocené období	Zdroj dat	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat	Počet dní vyjádřených v procentech, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat
Lomnice nad Popelkou	1.7.2020 - 31.12.2020 (184 dní)	Vlastní meteorologická stanice	113	61%

Tabulka 15: Výsledky první datové sady z vlastního měření



Obrázek 16: Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě vlastního měření v období 1.7.2020 – 31.12.2020

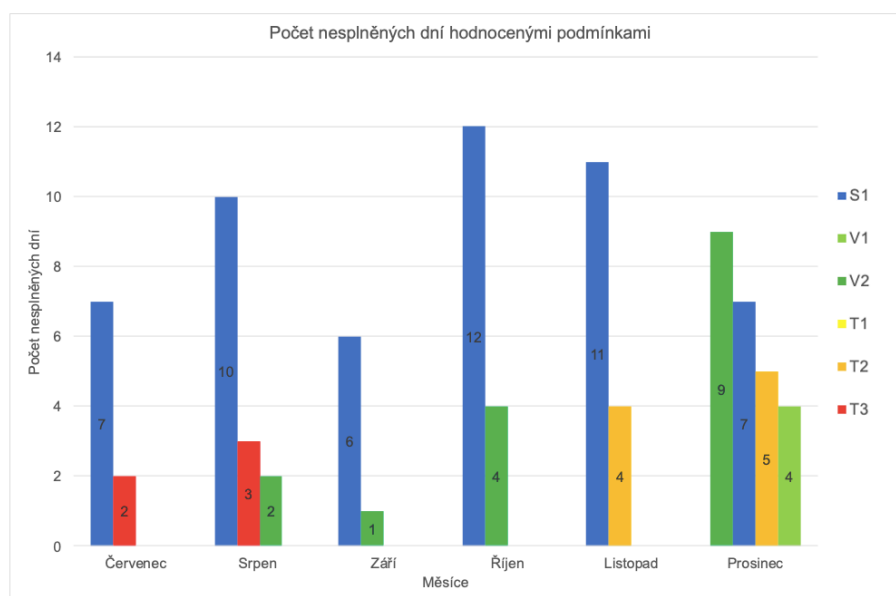
Dalším bodem vyhodnocení této datové sady bylo zjištění počtu vhodných letových dní v rámci měsíců. Nejvhodnější podmínky panovaly v měsících červenec a září. Naopak nejméně vhodné podmínky pro létání byly v prosinci, kdy se dalo létat

v patnácti dnech. Průměrný počet všech splněných podmínek za řešené období odpovídá 19 letovým dnům v měsíci (viz tabulka 16).

	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat
Červenec (2020)	23
Srpen (2020)	16
Září (2020)	23
Říjen (2020)	17
Listopad (2020)	19
Prosinec (2020)	15
<b>Průměrný počet dní v měsíci, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat</b>	19

*Tabulka 16: Počty letových dní v rámci měsíců na základě vyhodnocení první datové sady z naměřených údajů*

Při pohledu na rozdělení počtu nesplněných dní hodnocenými podmínkami lze říct, že nejčastěji padaly srážky o úhrnu větším jak 0,1 mm v měsících srpen, říjen a listopad. Limitní hodnoty rychlosti větru byly překročeny nejčastěji v prosinci. Překročení maximální teploty vzduchu můžeme pozorovat v měsících červenec a srpen, a naopak k překročení dolní hranice teploty vzduchu došlo v listopadu a prosinci. Výsledky pro všechny hodnocené měsíce jsou dostupně na obrázku 17.



*Obrázek 17: Počet nesplněných dní hodnocenými podmínkami na základě vlastního měření v období 1.7.2020 – 31.12.2020 v rámci měsíců*

## 6.2.2 Porovnání výsledků první datové sady z naměřených dat s výsledky ze zdroje NASA za období 1.7.2020 – 31.12.2020 a statistické porovnání výchozích dat

Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat se liší mezi porovnávanými zdroji o 53 dní, což vzhledem k délce vyhodnocovaného období představuje výraznou odchylku (viz tabulka 17). Nejvýraznější neshodu tvoří počet dní překročených podmínkou S1, výsledky se zde liší o 58 dní. Další výraznější odchylka je u počtu dní s překročením průměrné denní rychlosti větru. Zde vyšly výsledky s třiceti tři denním rozdílem. Naopak velmi obdobné výsledky se projeví u maximální denní rychlosti větru, tedy podmínky V2, a u všech podmínek stanovující hranice pro teplotu vzduchu. Sedmnácti denní rozdíl je u podmínky T2, který je ale pochopitelný vzhledem k většímu počtu srážkových dní u dat ze zdroje NASA.

Zdroj dat	Vyhodnocené období	Lokalita	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat	Počet dní vyjádřených v procentech, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat		
Vlastní meteorologická stanice	1.7.2020 - 31.12.2020	Lomnice nad Popelkou	113	61%		
NASA	1.7.2020 - 31.12.2020	Lomnice nad Popelkou	60	33%		
Zdroj 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
Vlastní meteorologická stanice	S1 - 53 dní	V2 - 16 dní	T2 - 9 dní	T3 - 5 dní	V1 - 4 dny	T1 - 0 dní
NASA	S1 - 111 dní	V1 - 37 dní	T2 - 26 dní	V2 - 14 dní	T3 - 3 dny	T1 - 0 dní

Tabulka 17: Výsledky porovnání konečných dat mezi zdrojem NASA a vlastním měřením

Při porovnání jednotlivých měsíců se nejvíce výsledky lišily v červenci. Ze 31 možných dní se podle dat z NASA dalo létat pouze v sedmi dnech, zatímco podle vlastního měření až ve 23 dnech. Tento rozdíl způsobily především nesrovnalosti v denních úhrnech srážek. Největší shodu můžeme pozorovat v měsíci září, kde se výsledky nesešly o čtyři dny. Průměrný počet letových dní za měsíc se mezi porovnávanými zdroji liší téměř v jedné třetině měsíce (viz tabulka 18). Konkrétní počty překročení limitních podmínek v jednotlivých měsících jsou dostupné v příloze 4.

	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat (NASA)		Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat (vlastní měření)
Červenec (2020)	7	Červenec (2020)	23
Srpen (2020)	10	Srpen (2020)	16
Září (2020)	19	Září (2020)	23
Říjen (2020)	6	Říjen (2020)	17
Listopad (2020)	10	Listopad (2020)	19
Prosinec (2020)	8	Prosinec (2020)	15
<b>Průměrný počet dní v měsíci, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat</b>	<b>10</b>	<b>Průměrný počet dní v měsíci, ve kterých se dalo použít UAS pro celodenní sbírání dat</b>	<b>19</b>

Tabulka 18: Porovnání počtu letových dní v měsících mezi zdrojem NASA a vlastním měřením

Součástí tohoto rozboru je i statistické porovnání výchozích dat. Ve statistickém programu R byla hodnocena data podle jednotlivých klimatických ukazatelů. Čili údaje o denním úhrnu srážek z obou zdrojů byly hodnoceny společně a stejným způsobem se pokračovalo s dalšími proměnnými. Testem na normální rozdělení dat neprošla ani jedna datová sada z obou zdrojů. Z tohoto důvodu se data hodnotila pouze Wilcoxonovým testem. Negativní výsledky se ukázaly u datových sad průměrné rychlosti větru a denním úhrnu srážek. Ostatní datové sady se mezi sebou statisticky významně neliší (viz tabulka 19).

	Test normálního rozdělení (Shapiro - Wilk normality test) Příkaz: shapiro.test (X)	Neparametrické porovnání mediánů (Wilcoxonův test) Příkaz: wilcox.test (X, X)	Stanovisko
Teplota	Charakteristiky obou datových sad se statisticky liší od dat s normálním rozdělením Vlastní stanice p-hodnota = 1.062e-05 NASA p-hodnota = 5.418e-07	Mediány dat se od sebe statisticky neliší p-hodnota = 0.5611	Datové sady průměrné denní teploty vzduchu se mezi sebou statisticky významně neliší
Maximální teplota	Charakteristiky obou datových sad se statisticky liší od dat s normálním rozdělením Vlastní stanice p-hodnota = 1.445e-05 NASA p-hodnota = 4.344e-07	Mediány dat se od sebe statisticky neliší p-hodnota = 0.8967	Datové sady maximální teploty vzduchu se mezi sebou statisticky významně neliší
Rychlost větru	Charakteristiky obou datových sad se statisticky liší od dat s normálním rozdělením Vlastní stanice p-hodnota = 2.285e-14 NASA p-hodnota = 8.823e-06	Mediány dat se od sebe statisticky liší p-hodnota < 2.2e-16	Datové sady průměrné rychlosti větru se mezi sebou statisticky významně liší
Maximální rychlost větru	Charakteristiky obou datových sad se statisticky liší od dat s normálním rozdělením Vlastní stanice p-hodnota = 5.543e-09 NASA p-hodnota = 3.224e-06	Mediány dat se od sebe statisticky neliší p-hodnota = 0.1227	Datové sady maximální denní rychlosti větru se mezi sebou statisticky významně neliší
Úhrn srážek	Charakteristiky obou datových sad se statisticky liší od dat s normálním rozdělením Vlastní stanice p-hodnota = 5.543e-09 NASA p-hodnota < 2.2e-16	Mediány dat se od sebe statisticky liší p-hodnota < 2.2e-16	Datové sady denního úhrnu srážek se mezi sebou statisticky významně liší

Tabulka 19: Výsledky statistického porovnání

### 6.2.3 Základní charakteristiky výsledků druhé datové sady z naměřených dat

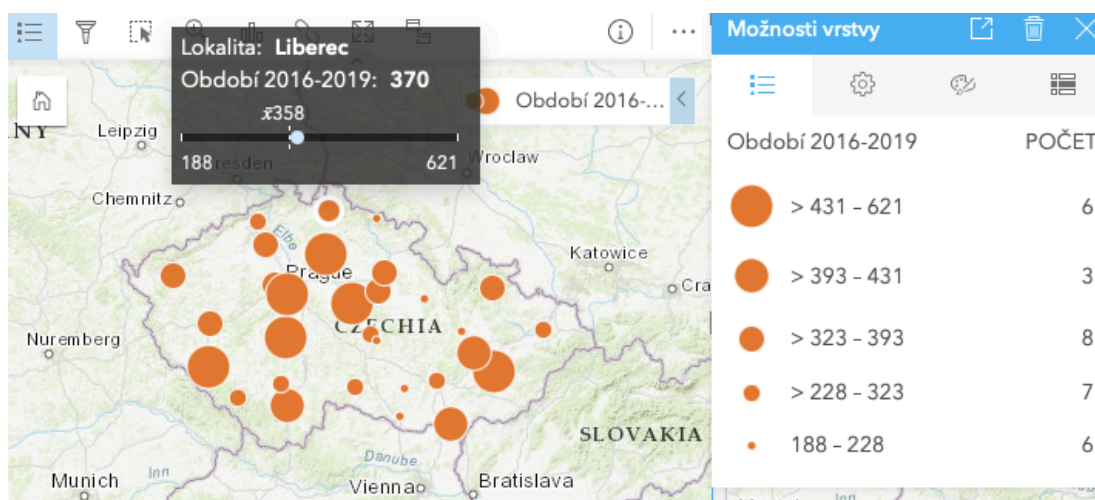
Druhá datová sada byla vyhodnocována v menších časových úsecích v každý řešený den. Jednalo se o tři hodinové intervaly v časovém rozmezí 8.00 – 19.00 hodin. Analyzovaná data byla naměřena v lokalitě Lomnice nad Popelkou v období 1.7.2020 - 31.12.2020. Jako nejvhodnější časový interval pro sbírání dat se ukázalo časové rozpětí mezi 17.00 – 19.00 hod. V tento interval byly příznivé podmínky ve 159 dnech ze 184 možných dní. Jako nejméně vhodné časové rozpětí bylo 11.00 – 13.00 hodin, ve kterém se dalo využít bezpilotní letecký prostředek ve 150 dnech. Rozdíly mezi hodnocenými intervaly nejsou nijak vysoké (viz tabulka 20). V červenci v ranním intervalu 8.00 – 10.00 hod. bylo možné aplikovat drony až ve třiceti dnech. Nejméně vhodných dní nabídl interval 11.00 – 13.00 hod. v měsíci prosinec (21 dní). Téměř ve všech intervalech v jednotlivých měsících bylo nejvíce limitujícím faktorem překročení podmínky S1. V prosinci v intervalech 8.00 – 10.00 a 11.00 – 13.00 hodin se ale nejčastěji překračovala podmínka V2, vymežující maximální povolenou rychlost větru na 8 m/s. V říjnu v intervalu 17.00 – 19.00 hodin se o první příčku dělí obě výše zmíněné podmínky. Podrobné výsledky pro každý měsíc a všechny intervaly jsou dostupné v příloze 5. Součástí tohoto podrobného vyhodnocení bylo i posouzení, zda intenzita slunečního záření dosahovala potřebných hodnot k možnosti aplikace dronu na solární pohon. Dle naměřených dat nedosahovala intenzita slunečního záření ani během jednoho z intervalů v hodnoceném období potřebné síly, která byla stanovena na 1000 W/m<sup>2</sup> (viz příloha 5).

	8.00 - 10.00	11.00 - 13.00	14.00 - 16.00	17.00 - 19.00
Červenec (2020)	30 dní	27 dní	25 dní	28 dní
Srpen (2020)	26 dní	24 dní	25 dní	26 dní
Září (2020)	26 dní	27 dní	27 dní	26 dní
Říjen (2020)	22 dní	27 dní	26 dní	27 dní
Listopad (2020)	25 dní	24 dní	28 dní	27 dní
Prosinec (2020)	23 dní	21 dní	23 dní	25 dní
<b>Celkem vhodných letových dní v intervalu</b>	<b>152 dní</b>	<b>150 dní</b>	<b>154 dní</b>	<b>159 dní</b>

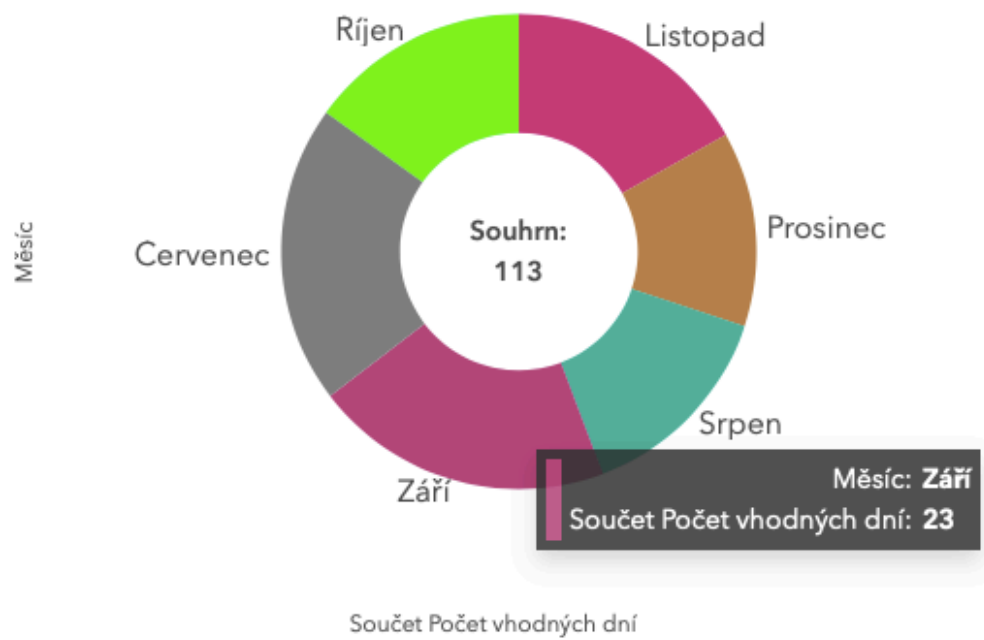
Tabulka 20: Počty letových dní v rámci měsíců a tří hodinových intervalů

## 6.2.4 Vizualizace výsledků

Vizualizace výsledných dat byla v programu ArcGIS Insights uspořádána do jednoho sešitu s názvem – Temporální využitelnost bezpilotních leteckých prostředků pro sběr prostorových dat. Součástí sešitu jsou tři stránky, které obsahují karty s vizualizovanými výsledky. Výsledné počty vhodných dní ze zdroje NASA a ČHMÚ jsou zobrazeny v oddělených stránkách. Obě stránky obsahují sedm karet s mapovými výstupy. Mapové výstupy zahrnují celkový počet vhodných dní v období 2016-2019, roky s nejvyšším počtem vhodných dní pro každou lokalitu, nejčastěji limitující faktor na lokalitách a počet vhodných dní pro každý hodnocený rok zvlášť. Poslední stránka představuje výsledky naměřené meteorologickou stanicí v období 1.7.2020 - 31.12.2020. Kromě vyobrazení lokalizace meteorologické stanice a počtu vhodných dní na dané lokalitě pomocí karty s mapovým výstupem, jsou dále vizualizovány výsledky pro jednotlivé měsíce, počty nesplněných dní hodnocenými podmínkami a počty vhodných dní ve tří hodinových intervalech. V případě naměřených dat byly k vizualizaci použity kromě mapy i tabulky a grafy. Ukázky vizualizace je vyobrazeny na obrázku 18 a 19. Přístup do aplikace ArcGIS Insights pro zobrazení kompletní vizualizace výsledků je dostupný pod odkazem: <https://insights.arcgis.com/#/edit/a409226c1bd54909b325a095d9c1df8d>



Obrázek 18: Ukázka vizualizace výsledků z volně dostupných dat ze zdroje ČHMÚ v programu ArcGIS Insights



Obrázek 19: Ukázka vizualizace výsledků z naměřených dat v programu ArcGIS Insights



## 7. Diskuze

Práce se zabývala časovou využitelností bezpilotních leteckých prostředků pro sběr dat ve vazbě na meteorologické podmínky. Možnost odpovědět na stanovené otázky obnášelo získání a analýzu potřebných dat z více zdrojů. Výsledky se vyznačují poměrně rozdílnými počty letuschopných dní a poukazují na významné rozdíly mezi odlišnými zdroji dat.

Zhang ve své práci zmiňuje, že bezpilotní letecké prostředky mají pro svůj provoz velice nízké meteorologické požadavky a tím naznačuje jejich využitelnost v širokém časovém rozpětí během roku (Zhang 2018). Práce ale ukázala, že na základě všech hodnocených zdrojů je časová využitelnost poměrně nízká. Je ale nutné zmínit, že práce byla hodnocena i v závislosti na možnosti sbírání kvalitních dat, a ne jenom na samotném létání, čemuž byly přizpůsobeny i stanovené limity pro hodnocené meteorologické ukazatele.

Aktuálnost a relevantnost problematiky potvrzují i studie zaměřené na stejnou problematiku. Autoři práce řešící mimo jiné identickou otázku počtu letových dní v Kanadě, stanovili minimální meteorologické parametry pro let bezpilotního prostředku takto: minimální denní teplota vyšší než 0 °C; průměrný denní rychlost větru maximálně 4,2 m/s; maximální denní rychlost větru 9,7 m/s a minimální viditelnost 2 km. Limity vycházely z doporučení výroby, mezí místních zákonů a provedených testů. Dle stanovených podmínek bylo v rámci pěti let vyhodnoceno 38 % dní jako vhodných k provedení letu. Nejběžnějším důvodem pro označení dne jako nevhodného byla překročená rychlost větru a hned potom nízká teplota (Clark et al. 2018). Na rozdíl od mé práce, autoři zohlednili potřebu minimální viditelnost, pro kterou jsem neměl vhodná data. Při porovnání shodných meteorologických faktorů jsme se ve stanovení limitů poměrně shodli. V případě volně dostupných dat mé výsledky poukazují na menší využitelnost. Je ale nutné zmínit, že se studované lokality nacházejí v jiných klimatických oblastech a že autoři porovnávané práce nezohlednili vliv srážek, který v podmínkách České republiky znamená velmi významný faktor. Další studie, která zhodnotila časovou využitelnost dronu, proběhla na několika místech v Austrálii. Z potencionálních 360 letů plánovaných během 12 týdnů bylo uskutečněno 316 letů, přičemž většině letů bránilo nepříznivé počasí jako je déšť a vítr (Colefax et al. 2019). Tato práce nehodnotila možnosti aplikace dronů zpětně na základě naměřených dat ale podle aktuálních podmínek v terénu. Práce také nezohledňuje celodenní létání ale pouze převládající podmínky v danou chvíli.

Na důležitost meteorologických podmínek pro provoz dronů poukazuje i nová evropská legislativa, které klade důraz na potřebu ověření aktuálních meteorologických podmínek a kontrolu předpovědi počasí pro plánovaný čas provozu. Legislativní dokumenty se nejčastěji zmiňují o omezeních souvisejících s rychlostí větru, turbulencemi, dohledností, teplotou vzduchu, námrazou a citlivostí ohledně deště, krup, sněhu a prachu (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139, 2018).

Aktuální legislativa nově umožňuje let v noci (od konce občanského soumraku do začátku občanského svítání) při dodržení nepřetržitého vizuálního kontaktu s bezpilotním prostředkem, což je zajištěno blikajícími světýlky, kterými by měly být drony vybaveny. I přes to bylo primární vyhodnocované období stanoveno na 7.00 – 19.00 hodin, jelikož by za tmy nešlo sbírat většinu potřebných dat. V zimních měsících se ale i tak setkáme se dny, kdy je den, potažmo denní světlo, v kratším intervalu, než vyhodnocovaném, což by mohlo mít za následek ovlivnění sbíraných dat.

Nezohledněným faktorem ve vyhodnocení je možný výskyt oblačnosti nebo rosného bodu, za kterého je možná tvorba rosy nebo mlhy. Takové podmínky představují významnou překážku pro pořízení kvalitních záběrů a bezpečnost letu (Karas a Tichý 2016).

## 7.1 Volně dostupná data

### 7.1.1 NASA

Při pohledu na výsledky volně dostupných zdrojů dat je zvláštní, že počet dní, ve kterých byla překročena podmínka stanovující maximální akceptovatelný úhrn srážek, je značně vyšší u datové sady od poskytovatele NASA. Data od Českého hydrometeorologického ústavu totiž zohledňují úhrn srážek za celých 24 hodin, zatímco data od NASA jsou vyhodnocena ve zhruba polovičním intervalu. Na nepochybné nadhodnocení udávaných srážek poskytovatelem NASA poukazuje i porovnání tohoto zdroje s vlastně naměřenými daty meteorologickou stanicí. Během půlročního období se porovnávané výsledky této proměnné liší v 58 dnech. Vyhodnocovaná data neprošla ani statistickým porovnáním, z jehož výsledků lze konstatovat, že se porovnávané datové sady statisticky významně liší. Na tuto skutečnost upozorňuje i jeden výzkumný tým na základě porovnávání dat v Nepálu. Autoři studie ve své práci zdůrazňují to, že jsou srážky udávané společností NASA nadsazené a to především ve středních a vysokohorských oblastech (Hamal et al. 2020).

Velké odchylky se ukázaly i při porovnávání průměrné rychlosti větru, o čemž svědčí, kromě více než třiceti denního rozdílu v překročení stanoveného limitu z 184 hodnocených dní, i výsledky statistického porovnání, podle kterých se jednalo o další datové sady, které se statisticky významně liší. Studie hodnotící podobnost mezi poskytovanou rychlostí větru od NASA a naměřenými daty byla vypracována i v Pákistánu. Autoři očekávali větší vztah mezi porovnávanými daty a doporučují opatrnost při hodnocení potenciálu větru v regionech s omezenou dostupností pozemních dat. Výsledky dále ukázaly větší shodu na místech, kde vítr dosahuje vyšších rychlostí větru v nižší nadmořské výšce (Rabbani a Zeeshan 2020). Další práce z Polska přináší podobné výsledky o zjištění většího rozdílu mezi daty vyjadřující rychlost větru (Gos et al. 2020). Nejistoty výše uvedených produktů od poskytovatele NASA si ještě zaslouží značnou pozornost vývojářů a uživatelů dat.

Naopak uspokojujivé výsledky přineslo porovnání maximálních rychlostí větrů a teploty vzduchu. Podrobná práce na validaci dat z webové služby MERRA-2 od poskytovatele NASA zaměřená na maximální teplotu vzduchu byla vypracována v Indii. Výsledky práce ukázaly, že se údaje o maximální teplotě poměrně dobře shodují s datovými soubory s naměřenými hodnotami. Větší rozdíl v hodnotách ( $\pm 6$  °C) byl pozorován v kopcovitých oblastech z důvodu nižšího pokrytí měřících stanic a heterogenity topografie (Gupta et al. 2020). Vysokou podobnost mezi

datovou sadou s teplotou vzduchu od NASA a měřícími stanicemi potvrzuje i další výzkum, tentokrát z Polska (Gos et al. 2020).

Velkým omezením je i fakt, že společnost NASA neposkytuje konkrétní polohy meteorologických stanic, se kterými porovnává data z numerického modelu, ale udává pouze informaci o prostorovém rozlišení stanic, které je přibližně 50 km. O tom, že jsou data získávána z numerického modelu, svědčí i menší rozptyl mezi výsledky pro jednotlivé lokality. Rozptyl dat mezi vybranými lokalitami za čtyř leté období se pohyboval v rozmezí 519–360 vhodných dní. Tuto skutečnost potvrzují i dvě lokality v Praze, kterým se výsledky za celé čtyř leté období liší v pouhých patnácti dnech.

### **7.1.2 ČHMÚ**

U dat z Českého hydrometeorologického ústavu je největším omezením poskytování údajů v časovém měřítku celého dne. Tato skutečnost znemožnila výběr požadovaného intervalu, a tím i porovnávání výsledků s dalšími zdroji. Získané informace nám ale poskytují přehled o vhodných letových dnech i v rámci noci, což může být pro spoustu uživatelů zajímavá informace vzhledem k nové možnosti létání i po občanském soumraku. Velkým plusem je možnost získání přesné polohy meteorologické stanice, na které byly data naměřeny. Tento přehled nám nabízí možnost polemizovat o možném ovlivnění naměřených dat vzhledem k místní morfologii terénu. Výsledky dat mezi jednotlivými lokalitami se za celé vyhodnocované období liší až o 433 vhodných dní k létání, čemu mohla mimo jiné přispět i právě poloha jednotlivých stanic.

## 7.2 Naměřená data

Jelikož se sada senzorů nachází pohromadě připevněná na jedné externí jednotce, musela být celá venkovní část zařízení umístěna na jedno místo. Sensory byly usazeny na střechu rodinného domu přibližně do deseti metrové výšky. Tato výška odpovídá běžné výšce pro měření rychlosti větru, ale mohlo zde dojít k ovlivnění měřené teploty vzduchu, která se obvykle měří ve výšce dva metry nad zemí. Tato skutečnost mohla vést k nižší shodnosti počátečních dat a tím k získání zkreslených a odlišných výsledků. Dalším omezením pro měřená data použitou meteorologickou stanicí mohl být výskyt sněhových srážek. Použitý přístroj nedisponuje potřebným ohřevem sběrné nádoby, který by umožnil roztátí sněhu a započítání srážek do správného dne, aby vyhodnocení proběhlo správně. V měřeném období se ale sněhové srážky nevyskytovaly. Velké rozdíly při porovnávání úhrnu srážek mezi naměřenými a staženými údaji mohly být do jisté míry ovlivněny přesností srážkového kolektoru, u kterého je udávána přesnost cca 10 %. Umístění externí jednotky a jednotka samotná už nenaznačuje další možnosti ovlivnění měřených dat a ani morfologie terénu na měřeném území nemá předpoklady k ovlivnění výsledků. Meteorologická stanice se nenachází na žádném hřebeni, vrcholu kopce nebo sedle či údolí.

Využitelnost dronů pro sbírání dat se při vyhodnocení kratších časových úseků zvýšila. I přes to se ale v hodnoceném období (1.7.2020 - 31.12.2020) nenašel ani jeden měsíc, ve kterém by se po všechny dny v měsíci daly sbírat data alespoň v jednom ze tří hodinových intervalů. V intervalu 17.00 – 19.00 hodin panovaly v hodnoceném období nejlepší podmínky pro létání s drony. Nezhledným faktorem ale je, že v měsících zejména na konci roku bývá v tomto čase už tma. Drony sice létat mohou, ale s ohledem na potřebu sbírání kvalitních prostorových dat to není úplně žádoucí.

Ani v jednom tří hodinovém intervalu v hodnoceném 184denním období nedosahovala průměrná intenzita slunečního záření požadovaných hodnot. Nejbližší ke splnění podmínky  $1000 \text{ W/m}^2$  měly dny v letních měsících v odpoledních intervalech, kdy se průměrná hodnota ve tří hodinovém intervalu dostala lehce nad  $800 \text{ W/m}^2$ . Byly ale i okamžiky, kdy se měřený údaj dostal nad požadovanou hodnotu. Například první den měření 1.7.2020 ve 13.40 hodin byla naměřená intenzita slunečního záření  $1031,5 \text{ W/m}^2$ . Se získanými výsledky velmi pravděpodobně souvisí poměrně krátká doba měření, specifikace klimatického pásma a poloha meteorologické stanice v podhorské oblasti.

## 8. Závěr a přínos práce

Bezpilotní vzdušná vozidla, všeobecně známá jako drony, jsou spojena s nesčítelným množstvím aplikací. Jsou užitečným nástrojem k dosažení těžko přístupných míst a získání informací o různých jevech, aniž by se riskovalo lidské zdraví, či významnější narušení životního prostředí (Campo et al. 2020). Většina dronů ale není odolná vůči silným povětrnostním vlivům, srážkám a extrémním teplotám. Při nerespektování daných limitů může dojít ke snížení účinnosti komunikačních a navigačních systémů, havárii nebo omezení kvality sbíraných dat (Watkins et al. 2020). Výhody dálkově řízených bezpilotních prostředků jsou omezeny právními omezeními, výkyvy počasí a nedostatečnou informovaností zapojených osob s těmito skutečnostmi. V této diplomové práci se řešila časová využitelnost bezpilotních leteckých prostředků v rámci několika časových intervalů a v závislosti na tom se posuzovala i kvalita volně dostupných meteorologických dat z více zdrojů.

Výsledky ukázaly, že při vyhodnocení meteorologických faktorů za 24 hodin během let 2016-2019 byla průměrná využitelnost bezpilotních prostředků 90 dnů za rok, přičemž nejvíce limitujícím faktorem bylo překročení maximální rychlosti větru. Nejvhodnější rok pro létání při vyhodnocení podmínek v rámci celého dne byl rok 2016 (zdroj ČHMÚ). V časovém intervalu 7.00 – 19.00 hodin se dalo létat přibližně ve 110 dnech v roce. Na základě výsledků ze zdroje NASA, podle kterého probíhalo vyhodnocení v tomto intervalu v časovém období 2016-2019, nejvíce bránily létání srážky a jako nejvhodnější rok s největším počtem letuschopných dní se ukázal rok 2019. Výsledky za rok 2017 vyhodnocené zdrojem NASA v časovém intervalu 7.00 – 19.00 hodin vykazují poměrně výrazně rozdílné výsledky, než byly zjištěny v bakalářské práci na základě vyhodnocení dat ze zdroje rp5.ru ve stejném roce a v totožném intervalu vyhodnocení. V celkovém počtu letuschopných dní se porovnávané zdroje liší o 86 dní. Největší rozdíly zde představují nesplněné dny podmínkou zaměřenou na úhrn srážek a rychlost větru.

Podle naměřených dat bylo v období 1.7.2020-31.12.2020 v intervalu 7.00 – 19.00 hodin možné aplikovat bezpilotní letecké systémy pro sbírání prostorových dat ve 113 dnech ze 184 hodnocených dní. Nejčastěji byl překročen maximální denní úhrn srážek, tedy podmínka S1. Nejlepší podmínky pro létání a sbírání dat byly v měsících červenec a září (23 vhodných dní). V kratších tříhodinových intervalech se míra využitelnosti o něco zvýšila. Jako nejvhodnější čas pro létání a sbírání dat se ukázal interval mezi 17.00-19.00 hodinou ve kterém se dalo létat ve 159 dnech (naměřená data). Při porovnání naměřených dat se zdrojem NASA pro stejné období na lokalitě

s umístěnou meteorologickou stanicí se výsledky poněkud liší. Podle zdroje NASA byl počet letuschopných dní o 53 dní nižší. Největší neshody byly opět v překročení podmínky V1. V hodnoceném půl ročním období nebylo možné použít bezpilotní letecký prostředek poháněný solární energií ani v jednom celém hodnoceném intervalu. Požadovaná hodnota ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) ale dosažená byla. Výsledky byly vizualizovány a sdíleny v programu ArcGIS Insights prostřednictvím map, tabulek a grafů.

Zdroj NASA se ukázal jako ne zcela vhodný pro analýzu dat s tak citlivým nastavením limitních podmínek jako v tomto případě. Pravděpodobné nadhodnocení úhrnu srážek a nízká míra rozložení kontrolních meteorologických stanic znamenaly velké ovlivnění kvality poskytovaných dat a rozdíly mezi porovnávanými zdroji.

O tom, že jsou bezpilotní letecké systémy velmi oblíbené, svědčí velké množství odborné a populární literatury, ze které lze čerpat. Na aktuálnost tématu ukazují podobné práce zaměřené na totožnou otázku počtu letuschopných dní.

Pro další navázání na téma by bylo vhodné použít data od ověřeného poskytovatele, který poskytuje kromě samotných meteorologických dat i informace o přesné lokalizaci a konkrétních parametrech meteorologických stanic. V rámci České republiky by taková data mohla být získána od Českého hydrometeorologického ústavu, který ale data v potřebných hodinových odstupech poskytuje jako placenou službu. Zajímavým navázáním na práci by bylo určit dvě úrovně limitních podmínek. Model s vysokými limity by se vyhodnocoval pro případ nasazení bezpilotních prostředků, u kterých se očekává sbírání kvalitních dat. Naopak model s nižšími požadavky by se vyhodnocoval například pro využití dronů při záchranných akcích, kde až tolik nezáleží na kvalitě sbíraných dat, ale spíše na poskytnutí základního obrazu o situaci.

Práce má přínos pro zainteresované osoby ve směru bezpilotního letectví, kterým přibližuje problematiku vlivu meteorologických aspektů na let dronů a sbírání dat. Přínos má pak zejména pro stávající i budoucí uživatele bezpilotních leteckých prostředků, které informuje o možných rizicích a reálné využitelnosti dronů pro sběr dat v několika časových ohledech. Práce poukazuje i na možnost, že volně dostupná data nemusí být vždy zcela vypovídající a že se mohou výrazně lišit v závislosti na poskytovateli.

## 9. Přehled literatury a použitých zdrojů

- 1) ALFREDSEN, K., Ch. HAAS, J.A. TUHTAN a P. ZINKE, 2018. Brief Communication: Mapping river ice using drones and structure from motion. *The Cryosphere* [online]. **12**(2), 1–7. ISSN 19940424. Dostupné z: doi:10.5194/tc-12-627-2018
- 2) ALSADIK, B. a F. REMONDINO, 2020. Flight planning for LiDAR-based UAS mapping applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. **9**(6), 1–19. ISSN 22209964. Dostupné z: doi:10.3390/ijgi9060378
- 3) ALTAN, A. a R. HACIOĞLU, 2020. Model predictive control of three-axis gimbal system mounted on UAV for real-time target tracking under external disturbances. *Mechanical Systems and Signal Processing* [online]. **138**, 1–23. ISSN 10961216. Dostupné z: doi:10.1016/j.ymssp.2019.106548
- 4) AMOROSI, L., L. CHIARAVIGLIO a J. GALAN-JIMENEZ, 2019. Optimal energy management of uav-based cellular networks powered by solar panels and batteries: Formulation and solutions. *IEEE Access* [online]. **7**, 53698–53717. ISSN 21693536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2019.2913448
- 5) ANCIN-MURGUZUR, F. J., L. MUNOZ, Ch. MONZ a V. HAUSNER, 2020. Drones as a tool to monitor human impacts and vegetation changes in parks and protected areas. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* [online]. **6**(1), 105–113. ISSN 20563485. Dostupné z: doi:10.1002/rse2.127
- 6) ARANTES, J., M. ARANTES, A. B. MISSAGLIA, E. SIMOES a C. F. MOTTA TOLEDO, 2017. Evaluating hardware platforms and path re-planning strategies for the uav emergency landing problem. In: *International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI* [online]. s. 937–944. ISBN 9781538638767. Dostupné z: doi:10.1109/ICTAI.2017.00144
- 7) ARMANINI, S. F., M. POLAK, J. E. GAUTREY, A. LUCAS a J. F. WHIDBORNE, 2016. Decision-making for unmanned aerial vehicle operation in icing conditions. *CEAS Aeronautical Journal* [online]. **7**(4), 663–675. ISSN 18695590. Dostupné z: doi:10.1007/s13272-016-0215-2
- 8) BASSI, E., 2019. European drones regulation: Today's legal challenges. In: *2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS* [online]. s. 443–450. ISBN 9781728103327. Dostupné z: doi:10.1109/ICUAS.2019.8798173
- 9) BECH-HANSEN, M., R. M. KALLEHAUGE, J. M.S. LAURITZEN, M. H. SØRENSEN, B. LAUBEK, L. F. JENSEN, C. PERTOLDI a D. BRUHN, 2020. Evaluation of disturbance effect on geese caused by an approaching unmanned aerial vehicle. *Bird Conservation International* [online]. **30**(2), 1–7. ISSN 14740001. Dostupné z: doi:10.1017/S0959270919000364



- 10) BLOOM, D., P. A. BUTCHER, A. P. COLEFAX, E. J. PROVOST, B. R. CULLIS a B. P. KELAHER, 2019. Drones detect illegal and derelict crab traps in a shallow water estuary. *Fisheries Management and Ecology* [online]. **26**(4), 311–318. ISSN 13652400. Dostupné z: doi:10.1111/fme.12350
- 11) BUKIN, O., D. PROSCHENKO, A. CHEKHLENOK, D. KOROVETSKIY, I. BUKIN, V. YURCHIK, I. SOKOLOVA a A. NADEZHKIN, 2020. New solutions of laser-induced fluorescence for oil pollution monitoring at sea. *Photonics* [online]. **7**(36), 1–17. ISSN 23046732. Dostupné z: doi:10.3390/PHOTONICS7020036
- 12) BUPE, P., R. HADDAD a F. RIOS-GUTIERREZ, 2015. Relief and emergency communication network based on an autonomous decentralized UAV clustering network. In: *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON* [online]. s. 1–8. ISBN 9781467373005. Dostupné z: doi:10.1109/SECON.2015.7133027
- 13) BUSHAW, J. D., K. M. RINGELMAN, M. K. JOHNSON, T. ROHRER a F. C. ROHWER, 2020. Applications of an unmanned aerial vehicle and thermal-imaging camera to study ducks nesting over water. *Journal of Field Ornithology* [online]. **91**(4), 1–12. ISSN 15579263. Dostupné z: doi:10.1111/jofo.12346
- 14) CAI, G., J. DIAS a L. SENEVIRATNE, 2014. A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends. *Unmanned Systems* [online]. **2**(2), 175–199. ISSN 23013869. Dostupné z: doi:10.1142/S2301385014300017
- 15) CAMPO, L. V., A. LEDEZMA a J. C. CORRALES, 2020. Optimization of coverage mission for lightweight unmanned aerial vehicles applied in crop data acquisition. *Expert Systems with Applications* [online]. **149**, 1–17. ISSN 09574174. Dostupné z: doi:10.1016/j.eswa.2020.113227
- 16) CASTALDI, F., F. PELOSI, S. PASCUCCI a R. CASA, 2016. Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize. *Precision Agriculture* [online]. **18**(1), 76–94. ISSN 15731618. Dostupné z: doi:10.1007/s11119-016-9468-3
- 17) CASTELLANOS-GALINDO, G. A., E. CASELLA, J. C. MEJÍA-RENTERÍA a A. ROVERE, 2019. Habitat mapping of remote coasts: Evaluating the usefulness of lightweight unmanned aerial vehicles for conservation and monitoring. *Biological Conservation* [online]. **239**, 1–10. ISSN 00063207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2019.108282
- 18) CENTELLEGHE, C., L. CARRARO, J. GONZALVO, M. ROSSO, E. ESPOSTI, C. GILI, M. BONATO, D. PEDROTTI, B. CARDAZZO, M. POVINELLI a S. MAZZARIOL, 2020. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to sample the blow microbiome of small cetaceans. *PloS one* [online]. **15**(7), 1–14. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0235537

- 19) CHRISTIANSEN, F., A. M. DUJON, K. R. SPROGIS, J. P. Y. ARNOULD a L. BEJDER, 2016. Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales. *Ecosphere*. **7**(10), 1–18.
- 20) CHRISTIANSEN, F., M. L. K. NIELSEN, C. CHARLTON, L. BEJDER a P. T. MADSEN, 2020. Southern right whales show no behavioral response to low noise levels from a nearby unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science* [online]. **36**(3), 1–11. ISSN 17487692. Dostupné z: doi:10.1111/mms.12699
- 21) CLARK, D. G., J. D. FORD a T. TABISH, 2018. What role can unmanned aerial vehicles play in emergency response in the Arctic: A case study from Canada. *PLoS ONE* [online]. **13**(12), 1–16. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0205299
- 22) COLEFAX, A. P., P. A. BUTCHER, D. E. PAGENDAM a B. P. KELAHER, 2019. Reliability of marine faunal detections in drone-based monitoring. *Ocean and Coastal Management* [online]. **174**, 108–115. ISSN 09645691. Dostupné z: doi:10.1016/j.ocecoaman.2019.03.008
- 23) COLLIN, A., C. RAMAMBASON, Y. PASTOL, E. CASELLA, A. ROVERE, L. THIAULT, B. ESPIAU, G. SIU, F. LEROUVREUR, N. NAKAMURA, J. L. HENCH, R. J. SCHMITT, S. J. HOLBROOK, M. TROYER a N. 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]. **39**(17), 1–13. ISSN 13665901. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2018.1500072
- 24) DASH, J. P., G. D. PEARSE a M. S. WATT, 2018. UAV multispectral imagery can complement satellite data for monitoring forest health. *Remote Sensing* [online]. **10**(8), 1–22. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10081216
- 25) DAVIES, B., 2016. *Build a drone*. New York: Skyhorse Publishing. ISBN 9781510707054.
- 26) DITMER, M. A., J. B. VINCENT, L. K. WERDEN, J. C. TANNER, T. G. LASKE, P. A. LAIZZO, D. L. GARSHELIS a J. R. FIEBERG, 2015. Bears show a physiological but limited behavioral response to unmanned aerial vehicles. *Current Biology* [online]. **25**(17), 1–6. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2015.07.024
- 27) DOS SANTOS, L. M., G. A. S. FERRAZ, B. D. S. BARBOSA, A. V. DIOTTO, D. T. MACIEL a L. A. G. XAVIER, 2020. Biophysical parameters of coffee crop estimated by UAV RGB images. *Precision Agriculture* [online]. **21**(6), 1–15. ISSN 15731618. Dostupné z: doi:10.1007/s11119-020-09716-4
- 28) DUNSTAN, A., K. ROBERTSON, R. FITZPATRICK, J. PICKFORD a J. MEAGER, 2020. Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for mark-resight nesting population estimation of adult female green sea turtles at Raine Island. *PLoS ONE* [online]. **15**(6), 1–18. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0228524

- 29) DUY, V. N. a H. M. KIM, 2020. Review on the hybrid-electric propulsion system and renewables and energy storage for unmanned aerial vehicles. *International Journal of Electrochemical Science* [online]. **15**, 5296–5319. ISSN 14523981. Dostupné z: doi:10.20964/2020.06.13
- 30) ELEFTHEROGLOU, N., S. S. MANSOURI, T. LOUTAS, P. KARVELIS, G. GEORGOULAS, G. NIKOLAKOPOULOS a D. ZAROUCAS, 2019. Intelligent data-driven prognostic methodologies for the real-time remaining useful life until the end-of-discharge estimation of the Lithium-Polymer batteries of unmanned aerial vehicles with uncertainty quantification. *Applied Energy* [online]. **254**, 1–10. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2019.113677
- 31) EZAT, M. A., C. J. FRITSCH a C. T. DOWNS, 2018. Use of an unmanned aerial vehicle (drone) to survey Nile crocodile populations: A case study at Lake Nyamithi, Ndumo game reserve, South Africa. *Biological Conservation* [online]. **223**, 76–81. ISSN 00063207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2018.04.032
- 32) FERDAUS, M. M., M. PRATAMA, S. G. ANAVATTI a M. A. GARRATT, 2019. Online identification of a rotary wing Unmanned Aerial Vehicle from data streams. *Applied Soft Computing Journal* [online]. **76**, 313–325. ISSN 15684946. Dostupné z: doi:10.1016/j.asoc.2018.12.013
- 33) FETTERMANN, T., L. FIORI, M. BADER, A. DOSHI, D. BREEN, K. A. STOCKIN a B. BOLLARD, 2019. Behaviour reactions of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) to multicopter Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Scientific Reports* [online]. **9**, 1–9. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-019-44976-9
- 34) FREITAS, H., L. TOMAZELA, A. V. CARDOSO E SILVA a J. UEYAMA, 2018. Using unmanned aerial vehicle to spread natural enemies for biological control in dynamic environments. In: *Proceedings - 2018 44th Latin American Computing Conference, CLEI* [online]. s. 299–308. ISBN 9781728104379. Dostupné z: doi:10.1109/CLEI.2018.00044
- 35) FREY, J., K. KOVACH, S. STEMMLER a B. KOCH, 2018. UAV photogrammetry of forests as a vulnerable process. A sensitivity analysis for a structure from motion RGB-image pipeline. *Remote Sensing* [online]. **10**(6), 1–12. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10060912
- 36) GARCIA-GARIN, O., A. BORRELL, A. AGUILAR, L. CARDONA a M. VIGHI, 2020. Floating marine macro-litter in the North Western Mediterranean Sea: Results from a combined monitoring approach. *Marine Pollution Bulletin* [online]. **159**, 1–9. ISSN 18793363. Dostupné z: doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111467

- 37) GELARO, R., W. MCCARTY, M. J. SUÁREZ, R. TODLING, A. MOLOD, L. TAKACS, C. A. RANGLES, A. DARMENOV, M. G. BOSILOVICH, R. REICHLER, K. WARGAN, L. COY, R. CULLATHER, C. DRAPER, S. AKELLA, V. BUCHARD, A. CONATY, A. M. DA SILVA, W. GU, G. K. KIM, R. KOSTER, R. LUCCHESI, D. MERKOVA, J. E. NIELSEN, G. PARTYKA, S. PAWSON, W. PUTMAN, M. RIENECKER, S. D. SCHUBERT, M. SIENKIEWICZ a B. ZHAO, 2017. The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate* [online]. **30**(14), 5419–5454. ISSN 08948755. Dostupné z: doi:10.1175/JCLI-D-16-0758.1
- 38) GOH, Ch. S., J. R. KUAN, J. H. YEO, B. S. TEO a A. DANNER, 2019. A fully solar-powered quadcopter able to achieve controlled flight out of the ground effect. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* [online]. **27**(10), 1–10. ISSN 1099159X. Dostupné z: doi:10.1002/pip.3169
- 39) GOS, M., P. BARANOWSKI, J. KRZYSZCZAK, A. KIELISZEK a K. SIWEK, 2020. Dynamics of meteorological time series on the base of ground measurements and retrospective data from MERRA-2 for Poland. *International Journal of Climatology* [online]. **41**(1), 1–22. ISSN 10970088. Dostupné z: doi:10.1002/joc.6787
- 40) GRENZDÖRFFER, G., A ENGEL a B TEICHERT, 2008. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* [online]. **37**, 1207–1214. Dostupné z: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1\\_pdf/206.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/206.pdf)
- 41) GUPTA, P., S. VERMA, R. BHATLA, A. S. CHANDEL, J. SINGH a S. PAYRA, 2020. Validation of Surface Temperature Derived From MERRA-2 Reanalysis Against IMD Gridded Data Set Over India. *Earth and Space Science* [online]. **7**(1), 1–13. ISSN 23335084. Dostupné z: doi:10.1029/2019EA000910
- 42) HABITAMU, T. B. a I. BURUD, 2018. Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: Focus on evaluating potentials for forest monitoring in Ethiopia. *European Journal of Remote Sensing* [online]. **51**(1), 326–335. ISSN 22797254. Dostupné z: doi:10.1080/22797254.2018.1432993
- 43) HAITAO, Z., Z. MING a L. XUDONG, 2019. State of charge estimation of power lithium battery based on extended kalman filter. *Energies* [online]. (12), 1–15. Dostupné z: doi:10.1109/CAC48633.2019.8996745
- 44) HAMAL, K., S. SHARMA, N. KHADKA, B. BANIIYA, M. ALI, M. S. SHRESTHA, T. XU, D. SHRESTHA a B. DAWADI, 2020. Evaluation of MERRA-2 precipitation products using gauge observation in Nepal. *Hydrology* [online]. **7**(3), 1–21. ISSN 2306-5338. Dostupné z: doi:10.3390/hydrology7030040

- 45) HAMBRECHT, L., R. P. BROWN, A. K. PIEL a S. A. WICH, 2019. Detecting 'poachers' with drones: Factors influencing the probability of detection with TIR and RGB imaging in miombo woodlands, Tanzania. *Biological Conservation* [online]. **233**, 109–117. ISSN 00063207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2019.02.017
- 46) HASAN, A., V. TOFTERUP a K. JENSEN, 2019. Model-based fail-safe module for autonomous multirotor UAVs with parachute systems. In: *International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS* [online]. s. 1–7. ISBN 9781728103327. Dostupné z: doi:10.1109/ICUAS.2019.8798308
- 47) HASSLER, S. C. a F. BAYSAL-GUREL, 2019. Unmanned aircraft system (UAS) technology and applications in agriculture. *Agronomy* [online]. **9**(10), 1–21. ISSN 20734395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy9100618
- 48) HE, W., Z. YAN, Ch. SUN a Y. CHEN, 2017. Adaptive neural network control of a flapping wing micro aerial vehicle with disturbance observer. *IEEE Transactions on Cybernetics* [online]. **47**(10), 3452–3465. ISSN 21682267. Dostupné z: doi:10.1109/TCYB.2017.2720801
- 49) HE, X., X. YANG, Z. LUO a T. GUAN, 2020. Application of unmanned aerial vehicle (UAV) thermal infrared remote sensing to identify coal fires in the Huojitu coal mine in Shenmu city, China. *Scientific Reports* [online]. **10**(1), 1–13. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-020-70964-5
- 50) HENGSTMANN, E. a E. K. FISCHER, 2020. Anthropogenic litter in freshwater environments – Study on lake beaches evaluating marine guidelines and aerial imaging. *Environmental Research* [online]. **189**, 1–12. ISSN 10960953. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2020.109945
- 51) HIRD, J. N., A. MONTAGHI, G. J. MCDERMID, J. KARIYEVA, B. J. MOORMAN, S. E. NIELSEN a A. C. S. MCINTOSH, 2017. Use of unmanned aerial vehicles for monitoring recovery of forest vegetation on petroleum well sites. *Remote Sensing* [online]. **9**(5), 1–20. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs9050413
- 52) HODGSON, J. C. a L. P. KOH, 2016. *Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research* [online]. 2016. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2016.04.001
- 53) HOOPER, P., 2017. Experimental experience of cold starting a spark ignition UAV engine using low volatility fuel. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* [online]. **89**(1), 106–111. ISSN 00022667. Dostupné z: doi:10.1108/AEAT-09-2014-0137
- 54) HU, J., X. WU a M. DAI, 2020. Estimating the population size of migrating tibetan antelopes pantholops hodgsonii with unmanned aerial vehicles. *Oryx* [online]. **54**(1), 1–9. ISSN 13653008. Dostupné z: doi:10.1017/S0030605317001673

- 55) HWANG, S. J., S. G. KIM, C. W. KIM a Y. G. LEE, 2016. Aerodynamic design of the solar-powered high altitude long endurance (HALE) unmanned aerial vehicle (UAV). *International Journal of Aeronautical and Space Sciences* [online]. **17**(1), 132–138. ISSN 20932480. Dostupné z: doi:10.5139/IJASS.2016.17.1.132
- 56) JAFFERIS, N. T., E. F. HELBLING, M. KARPELSON a R. J. WOOD, 2019. Untethered flight of an insect-sized flapping-wing microscale aerial vehicle. *Nature* [online]. **570**, 491–507. ISSN 14764687. Dostupné z: doi:10.1038/s41586-019-1322-0
- 57) JAYSON-QUASHIGAH, P. N., A. K. APPEANING, B. AMISIGO a G. WIAFE, 2019. Assessment of short-term beach sediment change in the Volta Delta coast in Ghana using data from Unmanned Aerial Vehicles (Drone). *Ocean and Coastal Management* [online]. **182**, 1–14. ISSN 09645691. Dostupné z: doi:10.1016/j.ocecoaman.2019.104952
- 58) JEŁOWICKI, Ł., K. SOSNOWICZ, W. OSTROWSKI, K. OSIŃSKA-SKOTAK a K. BAKUŁA, 2020. Evaluation of rapeseed winter crop damage using UAV-Based multispectral imagery. *Remote Sensing* [online]. **12**(16), 1–21. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/RS12162618
- 59) JIAJAN, W., J. KAMPOON, J. KLONGTRUJROK a I. YUTHAYANON, 2019. Conceptual design of tactical solar power UAV. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. s. 1–10. ISSN 1757899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/501/1/012011
- 60) JUNAID, A. B., A. KONOIKO, Y. ZWEIRI, M. N. SAHINKAYA a L. SENEVIRATNE, 2017. Autonomous wireless self-charging for multi-rotor unmanned aerial vehicles. *Energies* [online]. **10**(6), 1–14. ISSN 19961073. Dostupné z: doi:10.3390/en10060803
- 61) JURAČKA, P., T. BAČA, M. BULÍNOVÁ, V. DUCHOSLAV, M. HRAZDÍRA, P. LNĚNIČKA, T. LNĚNIČKA, I. MAŠÍK a J. PLZÁK, 2017. *Drony - fotografování z ptačí perspektivy*. Praha: GRADA Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-5787-2.
- 62) JUREVIČIUS, R., N. GORANIN, J. JANULEVIČIUS, J. NUGARAS, I. SUZDALEV a A. LAPUSINSKIJ, 2019. Method for real time face recognition application in unmanned aerial vehicles. *Aviation* [online]. **23**(2), 65–70. ISSN 18224180. Dostupné z: doi:10.3846/aviation.2019.10681
- 63) KARAS, J. a T. TICHÝ, 2016. *Drony*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4680-4.
- 64) KARDASZ, P., J. DOSKOCZ, M. HEJDUK, P. WIEJKUT a H. ZARZYCKI, 2016. Drones and possibilities of their using. *Journal of Civil & Environmental Engineering* [online]. **6**(3), 1–7. ISSN 2165-784X. Dostupné z: doi:10.4172/2165-784x.1000233

- 65) KELAHER, B. P., A. P. COLEFAX, A. TAGLIAFICO, M. J. BISHOP, A. GILES a P. A. BUTCHER, 2019. Assessing variation in assemblages of large marine fauna off ocean beaches using drones. *Marine and Freshwater Research* [online]. **71**(1), 68–77. ISSN 13231650. Dostupné z: doi:10.1071/MF18375
- 66) KESNER, T., J. KŘÍŽEK, L. MORÁVKOVÁ, Z. MRKÁČEK a R. VYBÍRAL, 2010. *Lomnice nad Popelkou a okolí*. Lomnice nad Popelkou: Studio JB. ISBN 978-80-86512-48-8.
- 67) KIM, S. H., G. E. G. PADILLA, K. J. KIM a K. H. YU, 2019. Flight path planning for a solar powered UAV in wind fields using direct collocation. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* [online]. **56**(2), 1–11. ISSN 15579603. Dostupné z: doi:10.1109/TAES.2019.2926654
- 68) KOPP, J. a J. NĚMEC, 2009. *Vodstvo a podnebí v České republice*. Praha: Consult. ISBN 978-80-903482-7-1.
- 69) KRANJEC, B., S. SLADIC, W. GIERNACKI a N. BULIC, 2018. PV system design and flight efficiency considerations for fixed-wing radio-controlled aircraft - A case study. *Energies* [online]. **11**(10), 1–12. ISSN 19961073. Dostupné z: doi:10.3390/en11102648
- 70) KRENZ, J., P. GREENWOOD a N. J. KUHN, 2019. Soil degradation mapping in drylands using unmanned aerial vehicle (UAV) data. *Soil Systems* [online]. **3**(2), 1–19. ISSN 2571-8789. Dostupné z: doi:10.3390/soilsystems3020033
- 71) LAIRD, J., 2017. *Drony - komplexní průvodce*. Praha: Omega Publishing Group, s.r.o. ISBN 2570-589X.
- 72) LI, X., N. LEVIN, J. XIE a D. LI, 2020. Monitoring hourly night-time light by an unmanned aerial vehicle and its implications to satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment* [online]. **247**, 1–20. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2020.111942
- 73) LIU, J., D. GAO a J. CAO, 2012. Study on the effects of temperature on LiFePO4 battery life. In: *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC* [online]. s. 1436–1440. ISBN 9781467309530. Dostupné z: doi:10.1109/VPPC.2012.6422610
- 74) LUCULESCU, D., V. PRISACARIU a O. ISAILA, 2016. Kinematic analysis for multi-copter uav landing gear. *Scientific Research and Education in the Air Force* [online]. **1**, 165–170. ISSN 22473173. Dostupné z: doi:10.19062/2247-3173.2016.18.1.21
- 75) LUNGU, M., 2019. Auto-landing of fixed wing unmanned aerial vehicles using the backstepping control. *ISA Transactions* [online]. **95**, 1–17. ISSN 00190578. Dostupné z: doi:10.1016/j.isatra.2019.05.019

- 76) LUNGU, M. a R. LUNGU, 2015. Application of H<sub>2</sub>/H<sup>∞</sup> technique to aircraft landing control. *Asian Journal of Control* [online]. **17**(6), 2153–2164. ISSN 19346093. Dostupné z: doi:10.1002/asjc.1132
- 77) LUO, H., Z. LIANG, M. ZHU, X. HU a G. WANG, 2018. Integrated optimization of unmanned aerial vehicle task allocation and path planning under steady wind. *PLoS ONE* [online]. **13**(3), 1–24. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0194690
- 78) MAESANO, M., S. KHOURY, F. NAKHLE, A. FIRRINCIELI, A. GAY, F. TAURO a A. HARFOUCHE, 2020. UAV-based LiDAR for high-throughput determination of plant height and above-ground biomass of the bioenergy grass arundo donax. *Remote Sensing* [online]. **12**(20), 1–20. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs12203464
- 79) MANFREDA, S., M. F. MCCABE, P. E. MILLER, R. LUCAS, V. P. MADRIGAL, G. MALLINIS, E. B. DOR, D. HELMAN, L. ESTES, G. CIRAOLO, J. MÜLLEROVÁ, F. TAURO, M. I. DE LIMA, J. L. M. P. DE LIMA, A. MALTESE, F. FRANCES, K. CAYLOR, M. KOHV, M. PERKS, G. RUIZ-PÉREZ, Z. SU, G. VICO a B. TOTH, 2018. On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring. *Remote Sensing* [online]. **10**(4), 1–28. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10040641
- 80) MEINEN, B. U. a D. T. ROBINSON, 2020. Mapping erosion and deposition in an agricultural landscape: Optimization of UAV image acquisition schemes for SfM-MVS. *Remote Sensing of Environment* [online]. **239**, 1–10. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2020.111666
- 81) MÍKOVÁ, T., P. KARAS, A. ZÁRYBNICKÁ a P. ŽÁK, 2018. *Když se blýská na časy*. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-2304-1.
- 82) MODICA, G., G. MESSINA, G. DE LUCA, V. FIOZZO a S. PRATICÒ, 2020. Monitoring the vegetation vigor in heterogeneous citrus and olive orchards. A multiscale object-based approach to extract trees' crowns from UAV multispectral imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. **175**, 1–18. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2020.105500
- 83) MOHAMMADI, K., S. SHAMSHIRBAND, S. MOTAMEDI, D. PETKOVIĆ, R. HASHIM a M. GOCIC, 2015. Extreme learning machine based prediction of daily dew point temperature. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. **117**, 214–225. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2015.08.008
- 84) MUSMECI, R., K. GOSS, S. SILVESTRI a G. L. RE, 2019. A Web Application for the Remote Control of Multiple Unmanned Aerial Vehicles. In: *International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC* [online]. s. 1011–1017. ISBN 9781538692233. Dostupné z: doi:10.1109/ICNC.2019.8685598



- 85) NAGANNA, S. R., P. Ch. DEKA, M. A. GHORBANI, S. M. BIAZAR, N. AL-ANSARI a Z. M. YASEEN, 2019. Dew Point temperature estimation: Application of artificial intelligence model integrated with nature-inspired optimization algorithms. *Water* [online]. **11**(4), 1–17. ISSN 20734441. Dostupné z: doi:10.3390/w11040742
- 86) Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139
- 87) NELSON, J. R. a T. H. GRUBESIC, 2020. The use of LiDAR versus unmanned aerial systems (UAS) to assess rooftop solar energy potential. *Sustainable Cities and Society* [online]. **61**, 1–14. ISSN 22106707. Dostupné z: doi:10.1016/j.scs.2020.102353
- 88) NEUBAUER, J., M. SEDLÁČEK a O. KRÍŽ, 2012. *Základy statistiky - Aplikace v technických a ekonomických oborech*. Praha: GRADA Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-4273-1.
- 89) NING, Z., R. WLEZIEN a H. HU, 2017. An experimental study on small UAV propellers with serrated trailing edges. In: *47th AIAA Fluid Dynamics Conference* [online]. s. 1–17. ISBN 9781624105005. Dostupné z: doi:10.2514/6.2017-3813
- 90) NORASMA, C. Y.N., M. A. FADZILAH, N. A. ROSLIN, Z. W.N. ZANARIAH, Z. TARMIDI a F. S. CANDRA, 2019. Unmanned aerial vehicle applications in agriculture. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. s. 1–10. ISSN 1757899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/506/1/012063
- 91) OETTERSHAGEN, P., J. FÖRSTER, L. WIRTH, G. HITZ, R. SIEGWART a J. AMBÜHL, 2019. Meteorology-aware multi-goal path planning for large-scale inspection missions with solar-powered aircraft. *Journal of Aerospace Information Systems* [online]. **16**(10), 390–408. ISSN 23273097. Dostupné z: doi:10.2514/1.1010635
- 92) OLIVETTI, D., H. ROIG, J. M. MARTINEZ, H. BORGES, A. FERREIRA, R. CASARI, L. SALLES a E. MALTA, 2020. Low-cost unmanned aerial multispectral imagery for siltation monitoring in reservoirs. *Remote Sensing* [online]. **12**(11), 1–21. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs12111855
- 93) ORBACH, D. N., J. EATON, L. FIORI, S. PIWETZ, J. S. WEIR, M. WÜRSIG a B. WÜRSIG, 2020. Mating patterns of dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*) explored using an unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science* [online]. **36**(4), 1–14. ISSN 17487692. Dostupné z: doi:10.1111/mms.12695
- 94) PATEL, B., R. P. SUKHIJA a J. V. S. P. KUMAR, 2018. Structural analysis of arm of multicopter with various loads. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. **8**(4), 215–223.

- 95) PINTON, D., A. CANESTRELLI, B. WILKINSON, P. IFJU a A. ORTEGA, 2020. A new algorithm for estimating ground elevation and vegetation characteristics in coastal salt marshes from high-resolution UAV-based LiDAR point clouds. *Earth Surface Processes and Landforms* [online]. **45**(14), 3687–3701. ISSN 10969837. Dostupné z: doi:10.1002/esp.4992
- 96) PIZETTA, I. H. B., A. S. BRANDÃO a M. SARCINELLI-FILHO, 2016. A hardware-in-the-loop platform for rotary-wing unmanned aerial vehicles. *Journal of Intelligent and Robotic Systems* [online]. **84**(4), 1–19. ISSN 15730409. Dostupné z: doi:10.1007/s10846-016-0357-9
- 97) POBLETE-ECHEVERRÍA, C., G. F. OLMEDO, B. INGRAM a M. BARDEEN, 2017. Detection and segmentation of vine canopy in ultra-high spatial resolution RGB imagery obtained from Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A case study in a commercial vineyard. *Remote Sensing* [online]. **9**(3), 1–14. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs9030268
- 98) POCHWAŁA, S., A. GARDECKI, P. LEWANDOWSKI, V. SOMOGYI a S. ANWEILER, 2020. Developing of low-cost air pollution sensor—Measurements with the unmanned aerial vehicles in Poland. *Sensors* [online]. **20**(12), 1–17. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s20123582
- 99) POMEROY, P., L. O'CONNOR a P. DAVIES, 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* [online]. **3**(3), 102–113. ISSN 2291-3467. Dostupné z: doi:10.1139/jjuvs-2015-0013
- 100) RABBANI, R. a M. ZEESHAN, 2020. Exploring the suitability of MERRA-2 reanalysis data for wind energy estimation, analysis of wind characteristics and energy potential assessment for selected sites in Pakistan. *Renewable Energy* [online]. **154**, 1240–1251. ISSN 18790682. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2020.03.100
- 101) RAEVA, P. L., J. ŠEDINA a A. DLESK, 2019. Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV. *European Journal of Remote Sensing* [online]. **52**(1), 1–10. ISSN 22797254. Dostupné z: doi:10.1080/22797254.2018.1527661
- 102) RAUDINO, H. C., J. A. TYNE, A. SMITH, K. OTTEWELL, S. MCARTHUR, A. M. KOPPS, D. CHABANNE, R. G. HARCOURT, V. PIROTTA a K. WAPLES, 2019. Challenges of collecting blow from small cetaceans. *Ecosphere* [online]. **10**(10), 1–9. ISSN 21508925. Dostupné z: doi:10.1002/ecs2.2901
- 103) RAVERTY, S. A., L. D. RHODES, E. ZABEK, A. ESHGHI, C. E. CAMERON, M. B. HANSON a J. P. SCHROEDER, 2017. Respiratory microbiome of endangered southern resident killer whales and microbiota of surrounding sea surface microlayer in the eastern north Pacific. *Scientific Reports* [online]. **7**(1), 1–12. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-017-00457-5

- 104) RHUDY, M., T. LARRABEE, H. CHAO, Y. GU a M. R. NAPOLITANO, 2013. UAV attitude, heading, and wind estimation using GPS/INS and an air data system. In: *AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference*. s. 1–11. ISBN 9781624102240.
- 105) RICHARDSON, B., C. A. ROLANDO, Ch. SOMCHIT, Ch. DUNKER, T. M. STRAND a M. O. KIMBERLEY, 2020. Swath pattern analysis from a multi-rotor unmanned aerial vehicle configured for pesticide application. *Pest Management Science* [online]. **76**(4), 1282–1290. ISSN 15264998. Dostupné z: doi:10.1002/ps.5638
- 106) RIDWAN, I. a ALFINDO, 2019. The effect of use of solar panels on micro scale fixed-wing UAV type as a power recharging system. In: *AIP Conference Proceedings* [online]. s. 1–7. ISBN 9780735419278. Dostupné z: doi:10.1063/1.5135553
- 107) ROTONDO, D., A. CRISTOFARO, T. A. JOHANSEN, F. NEJJARI a V. PUIG, 2015. Icing detection in unmanned aerial vehicles with longitudinal motion using an LPV unknown input observer. In: *IEEE Conference on Control and Applications, CCA* [online]. s. 984–989. ISBN 9781479977871. Dostupné z: doi:10.1109/CCA.2015.7320740
- 108) SANTANGELI, A., Y. CHEN, E. KLUEN, R. CHIRUMAMILLA, J. TIAINEN a J. LOEHR, 2020. Integrating drone-borne thermal imaging with artificial intelligence to locate bird nests on agricultural land. *Scientific Reports* [online]. **10**(1), 1–8. ISSN 20452322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-020-67898-3
- 109) SEKRECKA, A., D. WIERZBICKI a M. KEDZIERSKI, 2020. Influence of the sun position and platform orientation on the quality of imagery obtained from unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing* [online]. **12**(6), 1–20. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs12061040
- 110) SHATAT, D. a T. A. TUTUNJI, 2014. UAV quadrotor implementation: A case study. In: *IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD* [online]. s. 1–6. ISBN 9781479938667. Dostupné z: doi:10.1109/SSD.2014.6808802
- 111) SHENDRYK, Y., J. SOFONIA, R. GARRARD, Y. RIST, D. SKOCAJ a P. THORBURN, 2020. Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using UAV LiDAR and multispectral imaging. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online]. **92**, 1–14. ISSN 03032434. Dostupné z: doi:10.1016/j.jag.2020.102177
- 112) SILVAGNI, M., A. TONOLI, E. ZENERINO a M. CHIABERGE, 2016. Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* [online]. **8**(1), 1–16. ISSN 19475713. Dostupné z: doi:10.1080/19475705.2016.1238852
- 113) SU, L. a J. GIBEAUT, 2017. Using UAS hyperspatial RGB imagery for identifying beach zones along the South Texas Coast. *Remote Sensing* [online]. **9**(2), 1–14. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs9020159

- 114) SU, X., S. DONG, S. LIU, A. P. CRACKNELL, Y. ZHANG, X. WANG a G. LIU, 2018. Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to study wild yak in the highest desert in the world. *International Journal of Remote Sensing* [online]. **39**(16), 1–14. ISSN 13665901. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2018.1441570
- 115) SUDHAKAR, S., V. VIJAYAKUMAR, K. C. SATHIYA, V. PRIYA, L. RAVI a V. SUBRAMANIASWAMY, 2020. Unmanned aerial vehicle (UAV) based forest fire detection and monitoring for reducing false alarms in forest-fires. *Computer Communications* [online]. **149**, 1–16. ISSN 1873703X. Dostupné z: doi:10.1016/j.comcom.2019.10.007
- 116) TAN, Ch. H. a P. RAJENDRAN, 2019. Flight path pattern of solar-powered UAV-mission around the world. In: *1th International Conference on Knowledge and Smart Technology, KST* [online]. s. 62–66. ISBN 9781538675120. Dostupné z: doi:10.1109/KST.2019.8687525
- 117) TANG, W., L. LIU, Q. RUAN, Z. WU, Ch. YANG, S. CUI, Z. MA, R. K. Y. FU, X. TIAN, P. K. CHU a Z. WU, 2020. Dynamic changes of hydrophobic behavior during icing. *Surface and Coatings Technology* [online]. **397**, 1–8. ISSN 02578972. Dostupné z: doi:10.1016/j.surfcoat.2020.126043
- 118) TARIHI, M., N. M. MAHDINEJAD a M. MADANI, 2020. Improving the performance of HALE UAV communication link through MIMO cooperative relay strategy. *Wireless Personal Communications* [online]. **113**(10), 0–21. ISSN 1572834X. Dostupné z: doi:10.1007/s11277-020-07267-5
- 119) THAMM, H. P., N. BRIEGER, K. P. NEITZKE, M. MEYER, R. JANSEN a M. MÖNNINGHOF, 2015. SONGBIRD-an innovative UAS combining the advantages of fixed wing and multi rotor UAS. In: *International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics* [online]. s. 345–349. ISSN 16821750. Dostupné z: doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-345-2015
- 120) THEMISTOCLEOUS, K., Ch. PAPOUTSA, S. MICHAELIDES a D. HADJIMITSIS, 2020. Investigating detection of floating plastic litter from space using sentinel-2 imagery. *Remote Sensing* [online]. **12**(16), 1–19. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/RS12162648
- 121) TOLASZ, R., T. MÍKOVÁ, A. VALERIÁNOVÁ a V. VOŽENÍLEK, 2007. *Atlas podnebí Česka*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-1626-7.
- 122) TRAN, P., G. BARUZZI, F. TREMBLAY, P. BENQUET, W. G. HABASHI, P. B. PETERSEN, M. W. LIGGETT a S. FIORUCCI, 2012. FENSAP-ICE applications to unmanned aerial vehicles (UAV). In: *42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* [online]. s. 1–12. Dostupné z: doi:10.2514/6.2004-402
- 123) TSACH, S., A. TATIEVSKY a L. LONDON, 2010. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)* [online]. New Jersey: John Wiley & Sons Inc. ISBN 9780470686652. Dostupné z: doi:10.1002/9780470686652.eae385

- 124) VAS, E., A. LESCROËL, O. DURIEZ, G. BOGUSZEWSKI a D. GRÉMILLET, 2015. Approaching birds with drones: First experiments and ethical guidelines. *Biology Letters* [online]. **11**(2), 1–4. ISSN 1744957X. Dostupné z: doi:10.1098/rsbl.2014.0754
- 125) WANDRIE, L. J., P. E. KLUG a M. E. CLARK, 2019. Evaluation of two unmanned aircraft systems as tools for protecting crops from blackbird damage. *Crop Protection* [online]. **117**, 15–19. ISSN 02612194. Dostupné z: doi:10.1016/j.cropro.2018.11.008
- 126) WANG, B., P. H. NG, B. M.N.A.K. ELHADIDI, H. S. ANG a S. K. MOON, 2019a. Failure analysis and finite element simulation for structural systems in an unmanned aerial vehicle. In: *16th International Conference on Ubiquitous Robots, UR* [online]. s. 636–640. ISBN 9781728132327. Dostupné z: doi:10.1109/URAI.2019.8768648
- 127) WANG, G., Y. HAN, X. LI, J. ANDALORO, P. CHEN, W. C. HOFFMANN, X. HAN, S. CHEN a Y. LAN, 2020. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of the Total Environment* [online]. **737**, 1–55. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139793
- 128) WANG, G., Y. LAN, H. QI, P. CHEN, A. HEWITT a Y. HAN, 2019b. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat. *Pest Management Science* [online]. **75**(6), 1546–1555. ISSN 15264998. Dostupné z: doi:10.1002/ps.5321
- 129) WANG, Y., Y. SHI, M. CAI, W. XU, T. PAN a Q. YU, 2019c. Study of fuel-controlled aircraft engine for fuel-powered unmanned aerial vehicle: energy conversion analysis and optimization. *IEEE Access* [online]. **7**, 109246–109258. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/access.2019.2931767
- 130) WATKINS, S., J. BURRY, A. MOHAMED, M. MARINO, S. PRUDDEN, A. FISHER, N. KLOET, T. JAKOBI a R. CLOTHIER, 2020. Ten questions concerning the use of drones in urban environments. *Building and Environment* [online]. **167**, 1–22. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2019.106458
- 131) WEBSTER, C., G. MAZZOTTI, R. ESSERY a T. JONAS, 2020. Enhancing airborne LiDAR data for improved forest structure representation in shortwave transmission models. *Remote Sensing of Environment* [online]. **249**, 1–15. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2020.112017
- 132) WIE, S. Y., H. J. KANG, T. KIM, Y. J. KEE a J. SONG, 2017. High-efficiency propeller development for Multicopter type UAV. *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences* [online]. **45**(7), 581–593. ISSN 1225-1348. Dostupné z: doi:10.5139/jksas.2017.45.7.581

- 133) WILLIAMS, G. M., Y. WANG, D. S. SUMAN, I. UNLU a R. GAUGLER, 2020. The development of autonomous unmanned aircraft systems for mosquito control. *PLoS ONE* [online]. **15**(9), 1–16. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0235548
- 134) WITCZUK, J., S. PAGACZ, A. ZMARZ a M. CYPEL, 2017. Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results. *International Journal of Remote Sensing* [online]. **39**(15), 1–18. ISSN 13665901. Dostupné z: doi:10.1080/01431161.2017.1390621
- 135) YAKUSHIJI, K., H. FUJITA, M. MURATA, N. HIROI, Y. HAMABE a F. YAKUSHIJI, 2020. Short-range transportation using unmanned aerial vehicles (UAVs) during disasters in Japan. *Drones* [online]. **4**(4), 1–8. ISSN 2504446X. Dostupné z: doi:10.3390/drones4040068
- 136) YANEY-KELLER, A., P. S. TOMILLO, J. M. MARSHALL a F. V. PALADINO, 2019. Using unmanned aerial systems (UAS) to assay mangrove estuaries on the pacific coast of Costa Rica. *PLoS ONE* [online]. **14**(6), 1–20. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0217310
- 137) YANG, J., A. G. THOMAS, S. SINGH, S. BALDI a X. WANG, 2020. A semi-physical platform for guidance and formations of fixed-wing unmanned aerial vehicles. *Sensors* [online]. **20**(4), 1–22. ISSN 14248220. Dostupné z: doi:10.3390/s20041136
- 138) YASHIN, G., A. EGOROV, Z. DARUSH, N. ZHERDEV a D. TSETSERUKOU, 2020. LocoGear: Locomotion Analysis of Robotic Landing Gear for Multicopters. *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems* [online]. **1**(2), 138–147. Dostupné z: doi:10.1109/jmass.2020.3015525
- 139) YONG, K., Q. WU a M. CHEN, 2019. Wind estimation-based robust flight control for UAV with active maneuverability limit. In: *IEEE International Symposium on Industrial Electronics* [online]. s. 682–687. ISBN 9781728136660. Dostupné z: doi:10.1109/ISIE.2019.8781111
- 140) ZHANG, J., Ch. WANG, Ch. YANG, T. XIE, Z. JIANG, T. HU, Z. LUO, G. ZHOU a J. XIE, 2020a. Assessing the effect of real spatial resolution of in situ UAV multispectral images on seedling rapeseed growth monitoring. *Remote Sensing* [online]. **12**(7), 1–18. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs12071207
- 141) ZHANG, N., 2018. Research on digital remote control technology of surveying and unmanned aerial vehicle. In: *4th International Conference on Machinery, Materials and Computer* [online]. s. 141–144. Dostupné z: doi:10.2991/macmc-17.2018.32
- 142) ZHANG, S., Ch. LIU a Y. ZHOU, 2019. UAV-based gigapixel panoramic image acquisition planning with ray casting-based overlap constraints. *Journal of Sensors* [online]. **2019**, 1–9. ISSN 16877268. Dostupné z: doi:10.1155/2019/4845104

- 143) ZHANG, X., P. ZHAO, Q. HU, M. AI, D. HU a J. LI, 2020b. A UAV-based panoramic oblique photogrammetry (POP) approach using spherical projection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. **159**, 198–219. ISSN 09242716. Dostupné z: doi:10.1016/j.isprsjprs.2019.11.016
- 144) ZHENG, J., H. WANG a B. PEI, 2020. UAV attitude measurement in the presence of wind disturbance. *Signal, Image and Video Processing* [online]. **14**(7), 1–8. ISSN 18631711. Dostupné z: doi:10.1007/s11760-020-01693-5
- 145) ZHOU, F., L. HOU, R. ZHONG, W. CHEN, X. NI, S. PAN, M. ZHAO a B. AN, 2020a. Monitoring the compliance of sailing ships with fuel sulfur content regulations using unmanned aerial vehicle (UAV) measurements of ship emissions in open water. *Atmospheric Measurement Techniques* [online]. **13**(9), 4899–4909. ISSN 18678548. Dostupné z: doi:10.5194/amt-13-4899-2020
- 146) ZHOU, X., Y. KONO, A. WIN, T. MATSUI a T. S. T. TANAKA, 2020b. Predicting within-field variability in grain yield and protein content of winter wheat using UAV-based multispectral imagery and machine learning approaches. *Plant Production Science* [online]. **18**(10), 1–15. ISSN 13491008. Dostupné z: doi:10.1080/1343943X.2020.1819165







**Příloha 3: Podrobné porovnání výsledných dat ze zdroje NASA a rp5.ru za rok 2017**

Město	Zdroj dat	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	rp5.ru	169	V1 - 94 dní	S1 - 70 dní	V2 - 62 dní	T2 - 32 dní	T3 - 23 dní	T1 - 14 dní
	NASA	102	S1 - 185 dní	V1 - 149 dní	V2 - 64 dní	T2 - 52 dní	T3 - 22 dní	T1 - 7 dní
Čáslav	rp5.ru	175	V1 - 94 dní	V1 - 89 dní	V2 - 65 dní	T2 - 34 dní	T3 - 13 dní	T1 - 12 dní
	NASA	99	S1 - 200 dní	V1 - 149 dní	V2 - 64 dní	T2 - 61 dní	T1 - 12 dní	T3 - 10 dní
České Budějovice	rp5.ru	226	S1 - 83 dní	T2 - 45 dní	T3 - 19 dní	V1 - 13 dní	T1 - 7 dní	V2 - 1 dní
	NASA	117	S1 - 198 dní	V1 - 115 dní	T2 - 62 dní	V2 - 52 dní	T1 - 9 dní	T3 - 6 dní
Doksany	rp5.ru	198	S1 - 97 dní	V1 - 58 dní	T2 - 36 dní	V2 - 31 dní	T3 - 16 dní	T1 - 5 dní
	NASA	114	S1 - 203 dní	V1 - 118 dní	T2 - 59 dní	V2 - 51 dní	T1 - 9 dní	T3 - 4 dny
Karlovy Vary	rp5.ru	213	S1 - 96 dní	T2 - 63 dní	V1 - 47 dní	V2 - 16 dní	T1 - 11 dní	T3 - 2 dní
	NASA	102	S1 - 234 dní	V1 - 106 dní	T2 - 91 dní	V2 - 31 dní	T1 - 10 dní	T3 - 2 dny
Kostelní Mlýnská	rp5.ru	216	S1 - 90 dní	T2 - 63 dní	V1 - 29 dní	T1 - 15 dní	T3 - 8 dní	V2 - 6 dní
	NASA	94	S1 - 205 dní	V1 - 160 dní	V2 - 80 dní	T2 - 63 dní	T1 - 12 dní	T3 - 5 dní
Kramolín	rp5.ru	194	S1 - 104 dní	T2 - 69 dní	V1 - 56 dní	V2 - 22 dní	T3 - 18 dní	T1 - 6 dní
	NASA	93	S1 - 191 dní	V1 - 164 dní	V2 - 75 dní	T2 - 56 dní	T3 - 18 dní	T1 - 12 dní
Kuchařovice	rp5.ru	158	V1 - 106 dní	V2 - 74 dní	S1 - 69 dní	T2 - 43 dní	T3 - 23 dní	T1 - 5 dní
	NASA	112	S1 - 176 dní	V1 - 150 dní	V2 - 73 dní	T2 - 43 dní	T3 - 23 dní	T1 - 5 dní
Liberec	rp5.ru	194	S1 - 134 dní	T2 - 66 dní	V1 - 37 dní	V2 - 14 dní	T1 - 8 dní	T3 - 1 dní
	NASA	93	S1 - 226 dní	V1 - 132 dní	T2 - 76 dní	V2 - 52 dní	T1 - 7 dní	T3 - 2 dny
Luká	rp5.ru	159	V1 - 114 dní	S1 - 88 dní	V2 - 80 dní	T2 - 63 dní	T1 - 16 dní	T3 - 4 dní
	NASA	93	S1 - 208 dní	V1 - 146 dní	T2 - 67 dní	V2 - 54 dní	T3 - 10 dní	T1 - 8 dní
Mošnov - Ostrava	rp5.ru	137	V1 - 129 dní	S1 - 91 dní	V2 - 70 dní	T2 - 45 dní	T3 - 16 dní	T1 - 13 dní
	NASA	101	S1 - 212 dní	V1 - 122 dní	T2 - 76 dní	V2 - 40 dní	T1 - 12 dní	T3 - 11 dní
Pardubice	rp5.ru	190	S1 - 105 dní	V1 - 64 dní	T2 - 36 dní	V2 - 35 dní	T3 - 14 dní	T1 - 13 dní
	NASA	98	S1 - 201 dní	V1 - 140 dní	V2 - 67 dní	T2 - 60 dní	T1 - 14 dní	T3 - 11 dní
Pec pod Sněžkou	rp5.ru	173	S1 - 148 dní	T2 - 107 dní	T1 - 13 dní	V2 - 4 dní	V1 - 3 dní	T3 - 0 dní
	NASA	87	S1 - 230 dní	V1 - 145 dní	T2 - 87 dní	V2 - 57 dní	T1 - 9 dní	T3 - 1 den
Plzeň	rp5.ru	190	S1 - 96 dní	V1 - 52 dní	T2 - 50 dní	V2 - 20 dní	T3 - 14 dní	T1 - 13 dní
	NASA	106	S1 - 224 dní	V1 - 116 dní	T2 - 83 dní	V2 - 53 dní	T1 - 9 dní	T3 - 3 dny
Praha Libuš	rp5.ru	221	S1 - 98 dní	T2 - 45 dní	T3 - 14 dní	V1 - 10 dní	T1 - 7 dní	V2 - 3 dní
	NASA	106	S1 - 196 dní	V1 - 143 dní	V2 - 63 dní	T2 - 52 dní	T3 - 7 dní	T3 - 7 dní
Praha Ruzyně	rp5.ru	178	V1 - 110 dní	S1 - 83 dní	V2 - 55 dní	T2 - 42 dní	T1 - 14 dní	T3 - 6 dní
	NASA	109	S1 - 197 dní	V1 - 139 dní	V2 - 63 dní	T2 - 56 dní	T1 - 8 dní	T3 - 6 dní
Prostějov	rp5.ru	223	V1 - 51 dní	S1 - 41 dní	V2 - 40 dní	T2 - 32 dní	T3 - 21 dní	T1 - 13 dní
	NASA	96	S1 - 198 dní	V1 - 147 dní	T2 - 61 dní	V2 - 58 dní	T3 - 16 dní	T1 - 8 dní
Příbryslav	rp5.ru	142	V1 - 144 dní	S1 - 103 dní	V2 - 86 dní	T2 - 64 dní	T1 - 10 dní	T3 - 3 dní
	NASA	79	S1 - 217 dní	V1 - 174 dní	V2 - 87 dní	T2 - 75 dní	T3 - 9 dní	T3 - 7 dní
Temelín	rp5.ru	178	S1 - 91 dní	V2 - 74 dní	V1 - 73 dní	T2 - 58 dní	T1 - 13 dní	T3 - 5 dní
	NASA	116	S1 - 199 dní	V1 - 119 dní	T2 - 63 dní	V2 - 54 dní	T1 - 10 dní	T3 - 5 dní
Ústí na Labem	rp5.ru	194	S1 - 120 dní	T2 - 70 dní	V1 - 43 dní	V2 - 18 dní	T1 - 7 dní	T3 - 3 dní
	NASA	99	S1 - 221 dní	V1 - 123 dní	T2 - 57 dní	V2 - 57 dní	T1 - 9 dní	T3 - 4 dny
Ústí nad Orlicí	rp5.ru	168	S1 - 114 dní	V1 - 81 dní	T2 - 73 dní	V2 - 48 dní	T1 - 15 dní	T3 - 4 dní
	NASA	91	S1 - 207 dní	V1 - 145 dní	V2 - 75 dní	T2 - 68 dní	T1 - 14 dní	T3 - 11 dní

**Příloha 4:** Podrobné porovnání výsledků první datové sady z naměřených dat s výsledky ze zdroje NASA za období 1.7.2020 – 31.12.2020

Měsíc	Zdroj dat	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
Červenec (2020)	Vlastní meteorologická stanice	23	S1 - 7 dní	T3 - 2 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní
Červenec (2020)	NASA	7	S1 - 24 dní	V1 - 4 dny	V2 - 1 den	T3 - 1 den	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní
Srpen (2020)	Vlastní meteorologická stanice	16	S1 - 10 dní	T3 - 3 dny	V2 - 2 dny	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní
Srpen (2020)	NASA	10	S1 - 19 dní	V1 - 4 dny	V2 - 2 dny	T3 - 2 dny	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní
Září (2020)	Vlastní meteorologická stanice	23	S1 - 6 dní	V2 - 1 den	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní
Září (2020)	NASA	19	S1 - 10 dní	V1 - 3 dny	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní
Říjen (2020)	Vlastní meteorologická stanice	17	S1 - 12 dní	V2 - 4 dny	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní
Říjen (2020)	NASA	6	S1 - 21 dní	V1 - 11 dní	V2 - 4 dny	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní
Listopad (2020)	Vlastní meteorologická stanice	19	S1 - 11 dní	T2 - 4 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní
Listopad (2020)	NASA	10	S1 - 19 dní	T2 - 11 dní	V1 - 3 dny	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní
Prosinec (2020)	Vlastní meteorologická stanice	15	V2 - 9 dní	S1 - 7 dní	T2 - 5 dní	V1 - 4 dny	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní
Prosinec (2020)	NASA	8	S1 - 18 dní	T2 - 15 dní	V1 - 12 dní	V2 - 7 dní	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní

**Příloha 5: Podrobné výsledky naměřených dat v rámci měsíců a tří hodinových intervalů**

	Hodnocení interval	Počet dní, ve kterých se dalo použít UAS pro sbírání dat v hodnoceném intervalu	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	Bylo možné využít solární dron? + počet dní
Červenec	8.00 - 10.00 hod	30	S1 - 1 den	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	11.00 - 13.00 hod	27	S1 - 4 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dny	NE
	14.00 - 16.00 hod	25	S1 - 4 dny	T3 - 2 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T2 - 0 dní	T2 - 0 dní	NE
	17.00 - 19.00 hod	28	S1 - 3 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
Sipen	8.00 - 10.00 hod	26	S1 - 4 dny	V2 - 1 den	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	11.00 - 13.00 hod	24	S1 - 6 dní	V1 - 1 den	V2 - 1 den	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	14.00 - 16.00 hod	25	S1 - 3 dny	T3 - 2 dny	V2 - 1 den	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	NE
	17.00 - 19.00 hod	26	S1 - 4 dny	T3 - 1 den	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	NE
	8.00 - 10.00 hod	26	S1 - 4 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
Září	11.00 - 13.00 hod	27	S1 - 3 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	14.00 - 16.00 hod	27	S1 - 3 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	17.00 - 19.00 hod	26	S1 - 3 dny	V2 - 1 den	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	8.00 - 10.00 hod	22	S1 - 9 dní	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
Říjen	11.00 - 13.00 hod	27	S1 - 4 dny	V2 - 1 den	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	14.00 - 16.00 hod	26	S1 - 4 dny	V2 - 1 den	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	17.00 - 19.00 hod	27	S1 - 2 dny	V2 - 2 dny	V1 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	8.00 - 10.00 hod	25	S1 - 5 dní	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
Listopad	11.00 - 13.00 hod	24	S1 - 6 dní	T2 - 3 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	14.00 - 16.00 hod	28	S1 - 2 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	17.00 - 19.00 hod	27	S1 - 3 dny	V1 - 0 dní	V2 - 0 dní	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	8.00 - 10.00 hod	23	V2 - 5 dní	V1 - 4 dny	S1 - 2 dny	T1 - 0 dní	T2 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
Prosinec	11.00 - 13.00 hod	21	V2 - 7 dní	V1 - 6 dní	S1 - 2 dny	T2 - 2 dny	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	14.00 - 16.00 hod	23	S1 - 4 dny	V1 - 3 dny	V2 - 3 dny	T2 - 3 dny	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE
	17.00 - 19.00 hod	25	S1 - 4 dny	T2 - 3 dny	V1 - 2 dny	V2 - 1 den	T1 - 0 dní	T3 - 0 dní	NE