



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta dopravní

Yuliya Shirshova

**Vliv bezpilotních prostředků na životní prostředí**

Bakalářská práce

**Praha 2019**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta dopravní**

**d ě k a n**

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621..... Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Yuliya Shirshova**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – TUL – Technologie údržby letadel**

Název tématu (česky): **Vliv bezpilotních prostředků na životní prostředí**

Název tématu (anglicky): UAVs Influence on the Environment

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Historie a vývoj bezpilotních prostředků
- Klasifikace a konstrukce bezpilotních prostředků
- Legislativní podmínky
- Dopady na životní prostředí
- Možnosti omezení negativních vlivů
- Bepilotní prostředky budoucnosti



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: DALY, Mark. Unmanned Aerial Vehicles and Targets  
Letecký předpis L 2  
Vliv letecké dopravy na atmosféru: problematika začlenění leteckých společností do EU ETS / Jakub Hospodka, Stanislav Pleninger.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Hůlek**

Datum zadání bakalářské práce: **20. října 2017**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **26. srpna 2019**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Yuliya Shirshova  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 12. února 2018

### **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda vyjádřila poděkování mému vedoucímu Ing. Bc. Davidovi Hůlkovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat svým rodičům a všem blízkým, kteří mě podporovali nejen při psaní této práce, ale i po celou dobu mého studia.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto písemnou studii bakalářské práce vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího práce Ing. Bc. Davida Hůlka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady a zdroje, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

podpis

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá vlivem UAS na životní prostředí. Po teoretickém úvodu a seznámením se s historií vývoje UAS, jejich klasifikací a konstrukčními prvky je uvedeno, jaké konstrukční prvky UAS ovlivňují hluk, na což navazuje můj vlastní experiment, který je také součástí práce. Součástí praktické části této práce jsou kromě experimentu též výpočty emisí, které se teoreticky mohly do atmosféry dostat v roce 2018 kvůli využití UAS. Na tento výpočet dále navazují předpokládané produkce emise prostřednictvím využití UAS do roku 2022. Na základě dosažených výsledků byl navržen postup pro možné omezení negativních vlivů. Tato práce obsahuje také část ohledně legislativních podmínek pro využití UAS v ČR.

**Klíčová slova:** UAV, UAS, hluk, emise, životní prostředí, konstrukce UAS.

## **Abstract**

This work deals with the determination of the effects of the use of UAS on the surrounding environment. After the theoretical introduction and the familiarization of the history of development of UAS, their classification, and structural parts, in this work it is said which specific structural parts of the UAS are able to influence the noise that it produces. My experiment, which is a part of this work, confirms this claim. In addition to the experimental part, this work presents the emission calculations, which could have already entered the atmosphere in 2018 due to the use of UAS, but also the expected production of emissions because of the use of UAS by 2022. Based on the obtained results, possible solutions to this problem have been suggested. This work also contains information on the legislative conditions for the use of UAS in the Czech Republic.

**Key words:** UAV, UAS, noise, emission, environment, construct of the UAS.

# Obsah

Úvod.....	6
1 Historie a vývoj .....	8
2 Klasifikace a konstrukce.....	13
2.1 Klasifikace.....	13
2.1.1 Rozměr a hmotnost .....	13
2.1.2 Způsob řízení .....	14
2.1.3 Účel použití.....	15
2.1.4 Pohon .....	18
2.2 Konstrukce .....	21
2.2.1 UAS s pevnou nosnou plochou.....	21
2.2.2 UAS s rotující nosnou plochou .....	22
2.2.3 Aerostat.....	24
3 Legislativní podmínky .....	25
4 Dopady na životní prostředí .....	28
4.1 Hluk.....	28
4.2 Emise.....	29
4.3 Záření .....	34
4.3.1 Radiové záření .....	34
5 Možnosti omezení negativních vlivů.....	36
5.1 Hluk.....	36
5.2 Emise.....	41
6 Bezpilotní prostředky budoucnosti.....	43
Závěr .....	47
Citace .....	48
Seznam obrázků.....	52
Seznam tabulek .....	53

## Seznam zkratek a symbolů

<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle	Bezpilotní letoun
<b>UAS</b>	Unmanned Aircraft Systems	Bezpilotní létající systém
<b>UA</b>	Unmanned Aircraft	Bezpilotní letadlo
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
<b>ADS</b>	Air Defence System	Národní raketová obrana
<b>GPS</b>	Global Positioning System	Globální polohový systém
<b>Li-Ion</b>	Lithium-iontová	
<b>Li-Pol</b>	Lithium polymerová	
<b>VTOL</b>	Vertical Take-Off and Landing	Vertikálně vzletět a přistát
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
<b>ÚCL</b>	Úřad pro civilní letectví	
<b>ATZ</b>	Aerodrome traffic zone	Letištní provozní zóna
<b>SLZ</b>	Sportovní létající zařízení	
<b>EASA</b>	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví



# Úvod

Tato práce je založena na zkoumání problémů životního prostředí a hledání jejich řešení. Cílem je zjistit zda, provoz létajících bezpilotních zařízení, má vliv na životní prostředí a navrhnout potřebné opatření.

V dnešní době na trhu je možno najít UAS v různé cenové relace, která závisí, především na účelu použití UAS. Ovšem růst poptávky po UAS způsobil také růst poptávky po energie pro uskutečnění jejich letu. Samozřejmě nelze tvrdit, že všechna energie potřebná pro UAS pochází pouze ze zdrojů, které produkují emise. Ale vzhledem k nízké účinnosti bez-emisních zdrojů, není v současné době možné úplně vysadit z provozu elektrárny, které emise produkují. Proto součástí této práce je též výpočet možných emisí, které přímo a nepřímo způsobuje provoz UAS.

Růst počtu UAS, způsobuje nejen znečištění ovzduší ale také hlukové znečištění, které je, ze strany obyvatel vnímáno mnohem agresivněji než znečištění ovzduší. Proto jsem se ve své práci rozhodla zaměřit také na hlukové aspekty provozu UAS, které v dnešní době řeší také hodně společností, které UAS vyrábí.

S ohledem na výše uvedené informace, jsem tuto práci rozdělila do následujících částí.

V první části práce se budu zabývat popisem historie a vývoje UAS. Zaměřím se zde na prvotní myšlenky vývoje těchto létajících zařízení, až po současný pohled na tyto stroje.

Druhá část této práce je věnovaná klasifikace a konstrukci UAS včetně popisu: rozměrů a hmotností, způsobu řízení, zaměření na oblasti, v jakých se UAS používají a jaké typy pohonu jsou a mohou být využívány. Dále se zabývá popisem typu konstrukce stávajících UAS.

Třetí kapitola je záměrná na legislativní požadavky na využití UAS různých kategorií včetně příslušných požadavků pro jejich provoz v letových prostorech České Republiky, dále zde uvádím informaci ohledně již navržených požadavků, které zatím nebyly aktualizované.

Tři poslední kapitoly jsou věnované problematice vlivu UAS na životní prostředí. Tyto kapitoly obsahují vyjmenování stávajících skupin možného znečištění životního prostředí, posouzení jejich vztahu vůči provozu UAS a jejich následně zkoumání v rámci experimentu, vyhodnocení vlivu a vytvoření prognózy a návrh možných řešení.

Jelikož většina civilních UAS je zatím poháněna elektromotorem, rozhodla jsem se, že by bylo vhodné se zamyslet nad tím, co toto využití obnáší. Jak již bylo řečeno, v dnešní době

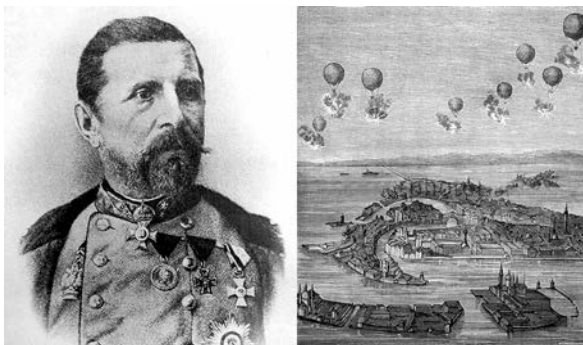
jsou nejúčinnějším zdrojem elektřiny uhelné elektrárny, které jsou zároveň jedním s největších producentů emisních plynů. Na základě této znalosti byla v rámci práce provedena kalkulace emisí, které produkují zdroje energie UAS. Kalkulace byla provedena za účelem stanovení přibližného přínosu emisí, který byl způsoben provozem UAS v roce 2018, dále pro vytvoření prognózy produkce emise až do roku 2022.

Analýza hlukových aspektů UAS, a následné hledání možných řešení jeho omezení, byly realizované pomocí přímého měření hluku vybraných modelů, za různých podmínek, a následném využitím metody mapování tlaku, která byla vynalezena v NASA.

# 1 Historie a vývoj

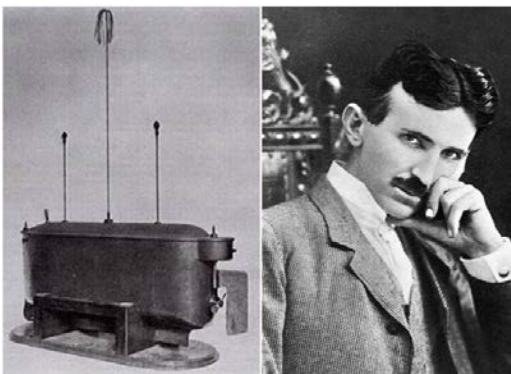
Koncepce UAS (z angl. Unmanned Aircraft Systems) není tak nová, jak se může zdát. K prvnímu dokumentovanému případu využití UAS došlo již v roce 1849, a až do počátku 21. století, výlučně vojenské bezpilotní letouny reprezentovali dějiny UAS.

Jak již bylo zmíněno, historie všech UAS začala v roce 1849. Na vlně buržoazních revolucí v rakouské říši, Benátčané vyhlásili nezávislost. Brzy město bylo obléháno. Dělostřelecký útok nebyl účinný, a poté poručík Franz von Juhatik navrhl bombardovat město pomocí aerostatu a tak 12. července 1849 byly poprvé v historii vypuštěny do vzduchu aerostaty bez posádky. Tento případ je považován za první v historii dokumentovaný důkaz použití leteckých dopravních prostředků bez posádky.<sup>[1]</sup>



**Obr. 1: Bombardování Benátek (vpravo), Franz von Juhatik (vlevo)<sup>[2]</sup>**

Historie UAS řízených prostřednictvím radiových vln začala překvapivě ve vodě. Objev radiových vln v roce 1886 a následný vynález rádia způsobili rozvoj v oblasti dálkového ovládání strojů. Po uplynutí třinácti let od objevu radiových vln, na konci 19. století, v roce 1899, známý vynálezce Nikola Tesla veřejně předvedl první rádiem řízenou loď. Návrh nebyl přehlédnut a dal podnět k dalším vynálezům v oblasti dálkového řízení.<sup>[3]</sup>



**Obr. 2: Rádiem řízená loď (vlevo), Nikola Tesla (vpravo)<sup>[2]</sup>**

O 18 let později, v roce 1917, inspirovaný úspěchem bratrů Wrightů, americký vojenský inženýr Charles Kettering navrhl bezpilotní stroj ve tvaru okřídlené bomby. Její schopnosti sice nikdy nebyly ověřeny, ale myšlenka položila základ pro rozvoj bezpilotní letecké techniky.<sup>[4]</sup>



**Obr. 3 :Okřídlená bomba Ketteringa (vlevo), Charles Kettering (vpravo)<sup>[2]</sup>**

Výše uvedený základ byl využit již v době první světové války, kdy se odehrával rozvoj mnoha základních technologií naší doby, včetně dálkového řízení bezpilotních strojů. Zahájení stavby prvních UAS následovalo téměř hned po uplatnění rádiových vysílačů. Současně byly zahájeny experimenty již existujících, ale upravených řídicích systémů starších letounů, řízených posádkou, na systém dálkového ovládání. Testovací lety nebyli příliš úspěšné, a proto žádný stroj se bojových operací během první světové války nezúčastnil.<sup>[3] [4]</sup>

Avšak konec první světové války nezastavil vývoj UAS. Skutečný přelom v dějinách bezpilotního letectví nastal v roce 1933. V tomto roce inženýři Velké Británie vyvinuli první "použitelný" UAS, výhodou kterého oproti předchozím modelům bylo nejen dálkové řízení, ale také možnost opětovného použití. Projekt měl název DH.82B Queen Bee (1935).<sup>[4]</sup>

Druhá světová válka měla zásadní dopad na další vývoj dálkově řízené zbraně. Během tohoto období byly vytvořeny svým způsobem revolučně koncipované protiletadlové řízené střely Fritz X (1939) a Henschel Hs 293 (1940). Na rozdíl od Fritz X, která byla ovládaná pomocí operátora, Henschel Hs 293 byla vybavená také autopilotem, který byl schopen udržovat pouze přímý kurz. Dále následovala výroba letounové střely V-1 (1942), která se považuje za první hromadně vyráběné střely s plochou dráhou letu na světě.<sup>[5]</sup>

Avšak nejen německá armáda měla v době druhé světové války úspěch ve výrobě UAS. Americká společnost Radioplane vyrobila téměř 15 000 UAS, včetně modelů QQ-3 (1939) a QQ-14 (1939), a dále různé modifikace bezpilotního útočného bombardéru TDR-1 (1944).<sup>[6]</sup>

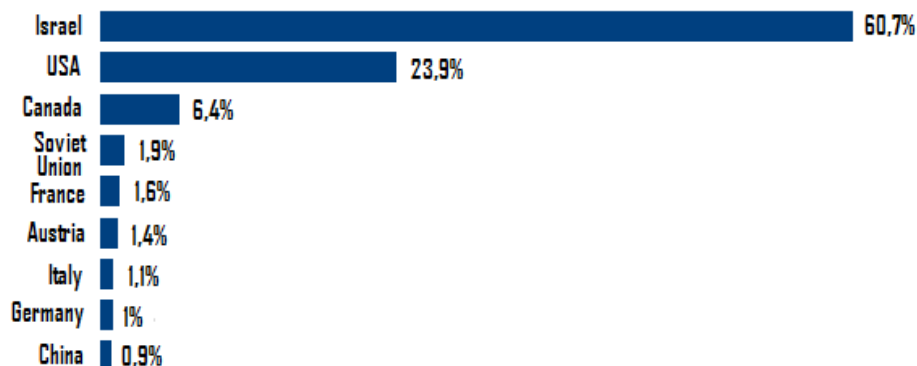
S příchodem studené války vzrostla potřeba účinného sledování a tajných misí. Nové požadavky kladené na UAS poskytly nový impuls pro modernizaci starých strojů a vývoj nových. Na konci 50 let americké letectví, ve spolupráci se společností Ryan, modifikovalo letoun Ryan Q-2/KDA-1 Firebee (1951), který díky své účinnosti brzy nahradil většinu dřívějších verzi bezpilotních letounu Firebee a zůstal v provozu, bez výrazných změn, do roku 2002. Již od počátků 60 let průzkumné UAS mají schopnost natáčet video, sbírat informace o terénních podmínkách apod.<sup>[6]</sup>



Obr. 4: Letouny Firebee (Zepředu: Q-2A, KDA-1 (AQM-34B), XM21, KDA-4 (AQM-34C))<sup>[2]</sup>

Skutečný přelom v dějinách bezpilotního letectví udělal Izrael. Izraelská armáda pomocí RPV Mastiff (1973) a IAI Scout (1979) provedla velice úspěšný průzkum terénu a prostoru nad syrskými letišti, v důsledku kterého Sýrie přišla o 18 jednotek ADS (z angl. Air Defence System) a 86 letadel. Ohromující výsledky nasazení izraelských UAS zaujal Pentagon natolik, že vedl k Ameriko-izraelské dohodě o spolupráci ve vývoji systému RQ-2 Pioneer (1986).<sup>[7]</sup>

Dle výzkumu Stockholmského mezinárodního institutu, mezi rokem 1985 a 2014 bylo v Izraeli vyrobeno zhruba 60% všech exportovaných bezpilotních letounu na světě.<sup>[8]</sup>



Obr. 5 : Celkový export UAS (1985-2014)<sup>[8]</sup>

Rozvoj komunikačních a navigačních systémů na začátku 90 let, především globálního polohového systémů - GPS, způsobil narůst poptávky po UAS. Amerika v té době již nehodlala používat UAS vyrobené pouze ve spolupráci s Izraelem, a začala pracovat samostatně na vlastních projektech, výsledkem kterých byly MQ-1 Predator (1994), později na počátku druhého tisíciletí MQ-9 Reaper (2001) a RQ-4 Global Hawk (2004).<sup>[9]</sup>



**Obr. 6: MQ-1 Predator<sup>[10]</sup>**

Historie vojenských UAS zahrnují skoro 100 let vývoje, a to nejen konstrukce draku, ale v poslední době také hardwaru i softwaru. Oproti nim historie civilních UAS je mnohem jednodušší.

Vznik civilních UAS způsobil technologický pokrok, který přivedl ke snížení výrobních nákladů, hmotnosti a zmenšení rozměru UAS. První civilní UAS se objevily teprve v roce 2000 a výrazně se lišily od svých předchůdců. Zpočátku UAS nebyli určeny pro rekreační použití, jelikož systém jejich řízení byl příliš obtížný pro amatéry. Takové UAS se používali převážně při natáčení filmu.<sup>[11]</sup>

Tvůrcem UAS ve tvaru kvadrokoptery byla německá společnost MikroKopter (2006)<sup>[11]</sup>. Poté, v roce 2010 společnost Parrot prezentovala svůj UAS AR Drone, který bylo možné ovládat pomocí iPhone a iPod Touch.<sup>[11]</sup>



**Obr. 7: Parrot AR.Drone<sup>[12]</sup>**

Od té doby schopnosti UAS se výrazně změnili, v dnešní době civilní využití UAS je poměrně rozsáhlé, UAS jsou schopné nejen letět, ale také provádět různé mise:

- Logistická pro doručování zásilek;<sup>[13]</sup>
- Provádění inspekci;<sup>[14]</sup>
- UAS používají též i v zemědělství<sup>[15]</sup>, a v blízké budoucnosti by mohl vzniknout UAS který bude schopný plnit funkci včel;<sup>[16]</sup>
- Archeologické průzkumy;<sup>[17]</sup>
- Poskytování záznamu z míst, která jsou nepřístupné pro vrtulník, jako například automobilová soutěž Rallye;<sup>[18]</sup>

V budoucnosti bude možno využít UAS nejen ve vzduchu, ale i ve vodě. Vědci ze státní univerzity Severní Karolíny vypracovaly návrh EagleRay XAV - UAS s pevnou nosnou plochou, který je schopný letět i plout pod vodou.<sup>[19]</sup>

Všechny tyto úžasné vynalezly máji ale jednu nevýhodu - ovlivňují životní prostředí.

## 2 Klasifikace a konstrukce

Následující kapitola obsahuje informace o rozdělení UAS, které jsou nezbytné pro analýzu jejich vlivu na životní prostředí.

### 2.1 Klasifikace

Klasifikace UAS může obsahovat více než 10 bodů. Tato rozmanitost vychází z množství konfigurací a součástí UAS. V této kapitole uvádím pouze nejdůležitější z hlediska vztahu k tématu práce.<sup>[20]</sup>

1. Rozměr a hmotnost;
2. Způsob řízení;
3. Účel použití;
4. Maximální rychlost;
5. Dostup;
6. Pohon;
7. Dolet;
8. Užitečné zatížení;
9. Prostředí, v němž bude UAS létat;
10. Tvar konstrukce;
11. Cenová relace;

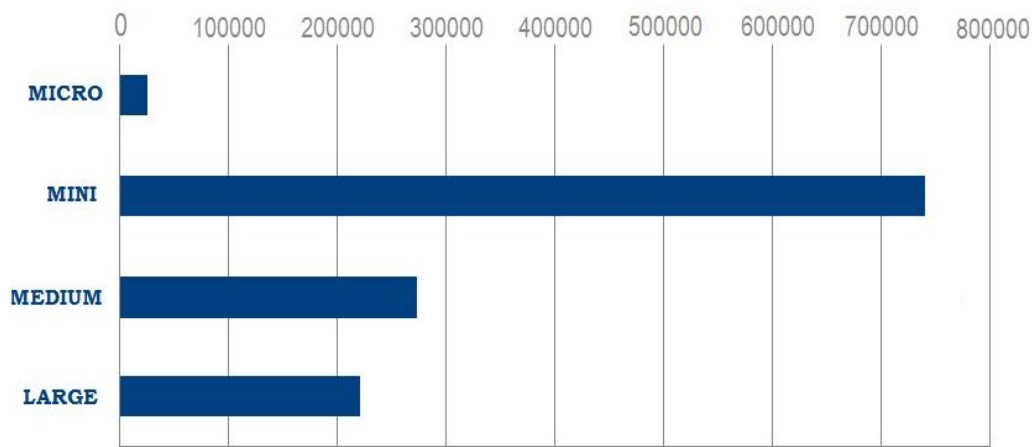
#### 2.1.1 Rozměr a hmotnost

Požadavky kladené na UAS určují jeho hmotnost a rozměr. Dle rozměru civilní UAS je možné rozdělit následujícím způsobem. Nicméně musím zmínit, že rozměry různých UAS, které patří do stejné rozměrové skupiny, se mohou lišit. Proto ve své práci v každé kategorii uvádím zprůměrované velikosti.

- Micro (0,090 m x 0,075 m x 0,03 m);
- Mini (0,088 m x 0,083 m x 0,198 m);
- Medium (0,289 m x 0,289 m x 0,196 m);
- Large (1,66 m x 1,52 m x 0,727 m);



Počty prodaných UAS v roce 2016 jsou rozdělené velmi nerovnoměrně. V následujícím grafu jsou uvedeny počty provozovaných UAS po celém světě.<sup>[21]</sup>



**Obr. 8: Rozměrové kategorie provozovaných UAS v roce 2016 a jejich počet.**<sup>[21]</sup>

Jak je patrné z grafu, lídrem trhu je UAS kategorie Mini. Zájem o toto rozměrové provedení by mohl být způsoben koincencí několika příznivých faktorů.<sup>[20]</sup>

1. Relativní snadnost provozu a dostupnost (včetně nákladů na údržbu);
2. Taková zařízení jsou vhodná pro provádění široké škály úkolů nejen ve vojenské oblasti, ale také v civilní oblasti;
3. Jednoduché výrobní podmínky;

Hmotnostní uspořádání UAS je stanoveno Doplňkem X a obsahuje následující kategorie:<sup>[22]</sup>

- méně než 0,91 kg;
- 0,91 až 7 kg;
- 7 až 25 kg;
- více než 25 kg;

### 2.1.2 Způsob řízení

Řízení UAS může být realizované 3 způsoby:

**Autonomní** je způsob řízení, který neumožňuje zásah pilota do řízení letu. V tomto případě pilot nastaví pouze cíl. Pro případ vzniku technického problému UA by měl být vybaven systémem failsafe, pomocí kterého UA přistane na nejbližším vhodném místě.<sup>[22]</sup>

**Automatický** je způsob řízení, kdy pilot UAS využívá k řízení předprogramované módy, které fungují pomocí GPS, a které pilot může v průběhu letu UAS korigovat manuálně. Mezi základní módy patří:<sup>[23]</sup>

- Follow me (UAS automaticky následuje pilota, aniž by on ho musel ovládat);
- Return home (UAS se vrátí na místo, odkud vzletl);
- Course lock (Předem stanoví kurz, který UAS bude za letu dodržovat);

**Manuální** je takový způsob řízení, kdy jednotka nepomáhá stabilizovat UAS, ale pilot ovládá stroj zcela manuálně pomocí dálkového ovladače.<sup>[23]</sup>

### 2.1.3 Účel použití

UAS jsou již aktivně využívány v obranném průmyslu, možnosti jejich využití se však neustále rozšiřuje. Na obrázku 9 jsou uvedeny sféry, ve kterých se využití UAS za poslední dobu uplatnilo nejvíc.



**Obr. 9: Sféry využití UAS.**<sup>[73]</sup>

#### **Státní služby**

Využití UAS ve státních strukturách je poměrně rozsáhlé. Policejní jednotky některých zemí využívají UAS k udržování pořádku uvnitř státu.<sup>[14]</sup> Záchranáři používají UAS pro nalezení ohniska požáru a vymezení oblasti kouře. Během záchranných operací UAS pomáhá hledat osoby nebo naléhavě dodávat léky.<sup>[24]</sup>

## **Agronomie**

Zemědělství je jednou z nejperspektivnějších oblastí pro využití této technologie. UAS se dá efektivně využívat pro plánování a řízení všech fází zemědělské výroby, jako je hnojení plodin a jiných rostlin, hledání zvířat, která se vymkly ze stáda a pod..<sup>[15]</sup>

## **Infrastruktura**

V tomto odvětví UAS usnadňuje práci architektům a stavebním inženýrům. Za jejich pomoci se dá např. naplánovat rozšiřování silnic, a následně monitorovat průběh stavby. Algoritmy vložené do stavebního systému pomocí informace z kamer UAS, mohou určit povahu poškození: trhliny v betonu, korozi oceli nebo ohyby konstrukčních částí.<sup>[25]</sup>

## **Komunikace a vysílání**

Mediální giganti již aktivně využívají schopnosti UAS, které spolehlivě plní různé úkoly, jako natáčení vojenských akcí a sportovních událostí. Reklama je taky způsobem komunikace. Pro této účely se používá buď samotný UAS, k přenosu reklamních plakátů, nebo skupiny UAS (desítky až stovky), které během různých událostí jsou schopné zobrazit jakékoliv logo.<sup>[18]</sup>

## **Věda a výzkum**

Jak již bylo zmíněno v kapitole číslo 1, Archeologové z University of North Florida a University of Arkansas úspěšně použili UAS k nalezení 1000 let staré vesnice v Mexiku.<sup>[17]</sup> UAS je také velice užitečný během studia hurikánů, tajfunů a jiných přírodních jevů v oblasti meteorologie, také pro vyvolání dešťů v náročných povětrnostních podmínkách.<sup>[26]</sup>

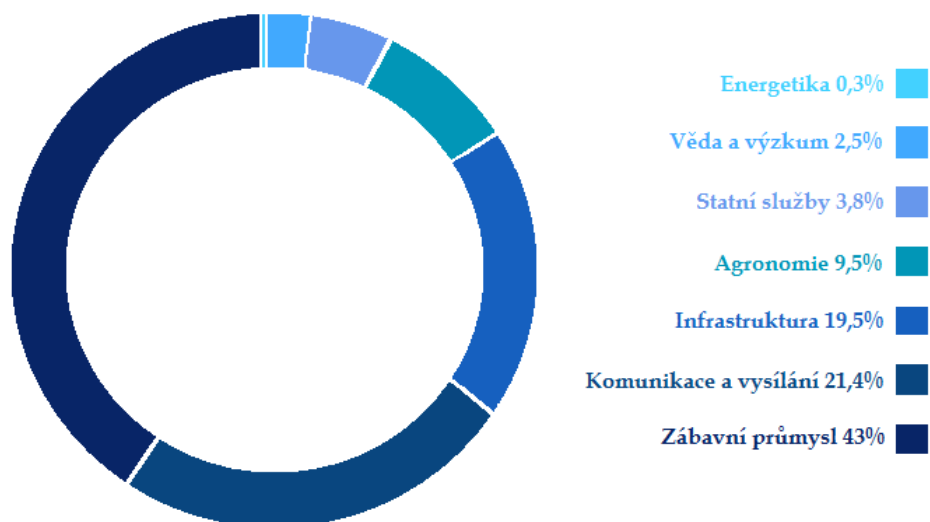
## **Zábavní průmysl**

Rozsah použití UAS v této sféře zahrnuje fotografování objektu ze vzduchu, využití UAS pro sportovní a jiné soutěžní účely jako je jízda na skateboardu, nebo snowboardu.<sup>[27]</sup> Využití během koncertu jako součást dekorace<sup>[28]</sup>, anebo během UAS show, čímž se v dnešní době zabývá společnost Intel.<sup>[29]</sup>

## **Energetika**

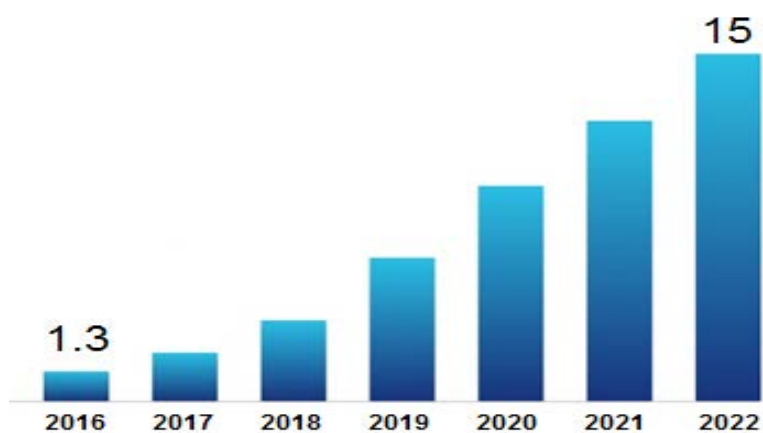
UAS jsou schopny zajistit nepřetržitý monitoring např. plynovodu, vč. monitoringu vzdálených oblastí. Využití těchto zařízení umožňuje sledování stavu potrubí v reálném čase a snižování environmentálních rizik. UAS jsou také nenahraditelné při provedení některých úkolů, které pro zaměstnance jsou buď velice nebezpečné, anebo pokud zajištění bezpečného průběhu výkonu práce vyžaduje zastavení provozu.<sup>[30]</sup>

Vzhledem k odlišnosti zákonu, které řídí využití UAS na různých územích, nelze tvrdit, že níže uvedené rozdělení bude přesně odpovídat poptávce po UAS pro každé území zvlášť. Hodnoty této struktury odpovídají převážně poptávce po UAS ve Spojených Státech Amerických. Jednak tato země patří mezi ty nejvyspělejší státy světa<sup>[31]</sup> a jednak patří mezi světové lídry na trhu s UAS.<sup>[32]</sup>



**Obr. 10: Struktura zájmu o komerční UAS v roce 2016<sup>[19]</sup>**

Rozsah využití UAS se rychle rozšiřuje: analytici společnosti Enterakt Analyse se domnívají, že se poptávka po civilních UAS do roku 2022 zvětší více než desetkrát.<sup>[32]</sup>



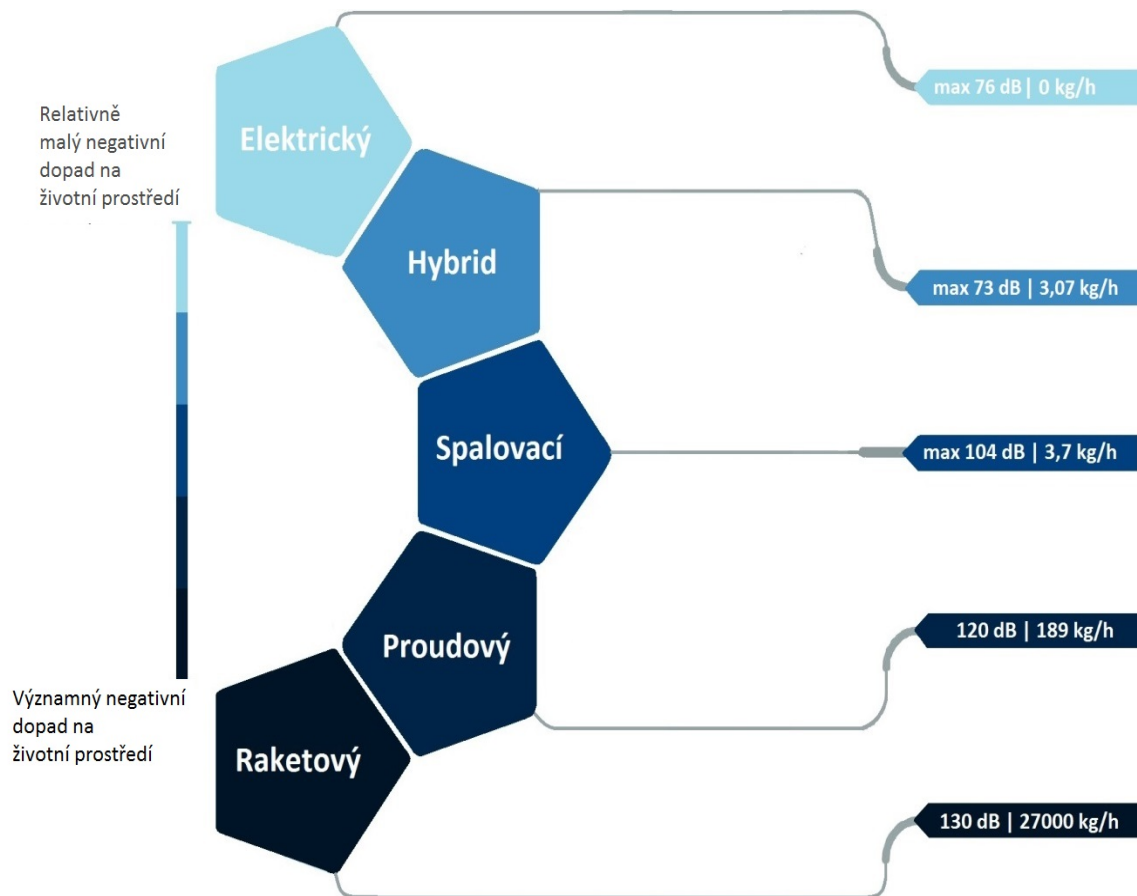
**Obr. 11: Poptávka po civilních UAS<sup>[32]</sup>**

## 2.1.4 Pohon

Nároky, které klade uživatel na UAS, jsou delší doba letu a větší nosnost. Existuje několik klíčových parametrů, na jejichž základě se určuje, jaký motor bude nejlepší vzhledem k účelu UAS.<sup>[20]</sup>

1. Hmotnost;
2. Užitečné zatížení;
3. Konstrukce trupů;

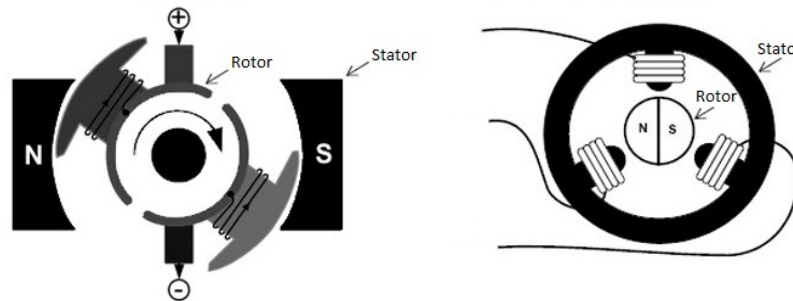
Níže uvádím schéma, kde jsou zobrazené typy pohonu, které mohou být součástí UAS, a jejich rozdělení dle množství vyprodukované CO<sub>2</sub> [kg/h] a hladiny hluku [dB].



Obr. 12: Typy pohonu UAS a jejich rozdělení z hlediska vlivu na životní prostředí.<sup>[35][37][73]</sup>

### 2.1.4.1 Elektrický pohon

Pod pojmem elektromotor se rozumí elektromechanický převodník, ve kterém se elektrická energie přeměňuje na energii mechanickou.<sup>[33]</sup> Většina moderních civilních UAS jsou vybavené elektromotorem, a to buď kolektorovým (kartáčovým) motorem nebo bezkolektorovým (bezkartáčovým) motorem. Kolektorový motor se v poslední době využívá jen výjimečně, a to při postavení UAS svépomocí, kvůli nízké ceně tohoto typu elektromotoru.<sup>[34]</sup> Provedení těchto motorů se od sebe odlišuje především umístěním vinutí víc Obr. 13. Jako napájecí zdroj se používá běžná Li-Ion nebo Li-Pol baterie.<sup>[35]</sup>



**Obr. 13: Schéma elektromotoru. Schéma kolektorového motoru (vlevo), schéma bez kolektorového motoru (vpravo).<sup>[34]</sup>**

Vzhledem k zaměření této práce je důležité uvést, že zdrojem elektřiny jsou např. uhelné, plynové či ropné elektrárny, které jsou rovněž zdrojem emisí. Nulové emise, v tomto případě lze dosáhnout instalací solárních panelů, které fungují na principu sériového zapojení fotoelektrických konvertorů (polovodičových zařízení), která přeměňují solární energii na konstantní elektrický proud. Instalace solárních panelů na UAS již není novinkou, ale zatím se tento typ pohonu vyskytuje výhradně u velkých strojů.<sup>[35]</sup>

### 2.1.4.2 Hybrid

Hybridní pohonný stroj funguje na principu spojení dvou nebo více různých technologií pohonu dohromady. V současné době se provádí zkoušky hybridních motorů pro UAS, které prokazují, že hybridní pohonné jednotky umožňují výrazně prodloužit provozní dobu UAS. V tomto případě zařízení stále používá elektromotory k otáčení vrtule, ale energii čerpá ze spalovacího motoru. Toto schéma se používá z toho důvodu, že fosilní palivo má oproti lithium-iontové baterii mnohem vyšší zásobu energie. Ve výsledku to funguje tak, že spalovací motor dodává potřebný výkon, a elektromotor umožňuje rychlou změnu točivého momentu.<sup>[35]</sup>

### **2.1.4.3 Spalovací pohon**

Tento typ motoru přeměňuje tepelnou energii spalovaného paliva na mechanickou práci, <sup>[36]</sup> zatímco zdrojem energie pro drtivou většinu moderních UAS jsou baterie, jejichž hlavní nevýhodou je nepřilíš vysoký poměr kapacity a hmotnosti, což zkracuje dobu letu. Nevhodný poměr byl hlavním důvodem pro instalaci spalovacího motoru do větších UAS. Výhodou spalovacího pohonu oproti elektromotoru jsou delší doba provozu, a také větší životnost pohonu. Tyto vlastnosti umožňují provádění zvláštních úkolů, jako jsou například záchranné akce, humanitární mise, nebo také dodávka objednávký spotřebitelům. <sup>[35]</sup>

### **2.1.4.4 Proudový pohon**

Proudový pohon se vyskytuje převážně u bojových UAS. Princip funkce tohoto motoru spočívá ve využití třetího Newtonova zákona, o akci a reakci. Spaliny vycházející z motoru působí silou opačným směrem na motor, který tím ženou vpřed. <sup>[36]</sup>

Dle mého názoru nezájem armády o problematiku životního prostředí reprezentuje účel využití vojenských letounů jako zbraně. Hluk motoru je nevýhodou pouze z pohledu skrytosti, nikoli z pohledu dopadu na životní prostředí.

### **2.1.4.5 Raketový pohon**

Raketový motor je typ tepelného motoru, který stejně jako předchozí typ pracuje na principu akce a reakce. Na rozdíl od většiny ostatních reaktivních motorů, funkčnost raketového motoru nezávisí na atmosférickém kyslíku. Mezi jeho výhody také patří možnost využití jak tuhého tak i tekutého paliva. Tento typ pohonu se převážně využívá v kosmickém průmyslu a armádě, proto jako předchozí typ se vyvíjel bez ohledu na životní prostředí. Takové UAS, které poháněny tímto motorem jsou schopny překonat rychlost zvuku, avšak doba letu je velice krátká. <sup>[36][37]</sup> Z informací uvedené v Doplnku X, tedy předpisu, který stanovuje národní požadavky pro provoz UAS, je patrné, že k provozu bezpilotního letadla nesmí být použit pulzační nebo raketový motor, s výjimkou použití raketového pohonu pouze za účelem provedení vzletu. <sup>[22]</sup>

## 2.2 Konstrukce

Konstrukce moderních typů UAS může být jak poměrně jednoduchá, tak i velmi složitá. Ve své bakalářské práci bych se chtěla věnovat problematice vlivu na životní prostředí pouze civilních UAS, které mají jednoduché konstrukční uspořádání. Vojenské letouny nejsou předmětem této práce, jelikož mají velmi složitou konstrukci a měly by být zkoumány samostatně, proto informace ohledně jejich konstrukce uvádím pouze stručně.<sup>[38]</sup>

Všechny stávající UAV (z angl. Unmanned Aerial Vehicle) ve své práci rozdělují do 3 skupin.<sup>[38]</sup>

1. UAS s pevnou nosnou plochou;
2. UAS s rotující nosnou plochou;
3. Aerostat;

Kromě těchto tří skupin, existují také různé podtřídy hybridních strojů, které kvůli principu jejich práce nelze jednoznačně přiřadit k žádné z výše uvedených skupin.<sup>[38]</sup>

### 2.2.1 UAS s pevnou nosnou plochou

Konstrukční uspořádání draku těchto UAS je vzhledově podobná konstrukci dopravního letounu. Od dopravního letounu se konstrukce UAS liší zřízením trupu, kde jsou prostory pro cestující, posádku. Pevná křídla UAS plní stejnou funkci jako pevná křídla např. dopravních letounů - umožňují dosáhnout větší rychlosti a potřebného vztlaku pro vzlet, a také zvětšení doby letu.<sup>[38] [39]</sup>

Na obrázku 14 je průzkumný letoun MQ-1 Predator, kde tvar přední části vznikl umístěním radaru, optického a komunikačního zařízení do přední části letounu.<sup>[10]</sup>



Obr. 14: MQ-1 Predator<sup>[10]</sup>



Do konstrukční skupiny UAS s pevným křídlem také spadá typ samokřídlo. Název samokřídlo reprezentuje konstrukci letounu, která nemá trup. Klasická konstrukce se skládá pouze z křídla, které nahrazuje trup, a ve kterém je zároveň umístěno potřebné zařízení pro let.<sup>[40]</sup>



Obr. 15: Parrot Disco FPV<sup>[41]</sup>

## 2.2.2 UAS s rotující nosnou plochou

Tento typ UAS se také nazývá VTOL UAV (z angl. Vertical Take-Off and Landing Unmanned Aerial Vehicle) a existují 2 typy konstrukce UAS s rotující nosnou plochou:<sup>[34]</sup>

- Jedn rotorové uspořádání;
- Více rotorové uspořádání;

### Jedn rotorové uspořádání

Princip tohoto typu uspořádání je totožný s principem uspořádání vrtulníku. Horizontálně se pohybující rotor poskytuje vrtulníku vztlak. Naklápění kolem horizontálních os se řídí změnou úhlu náběhu listů rotoru. Krouticí moment vzniklý pohonem hlavního rotoru musí být kompenzován pomocným rotorem „vrtulkou“, který také řídí otáčení kolem svislé osy. Pomocný rotor je nejčastěji realizován jako vertikální vrtule umístěná na ocase stroje.<sup>[38][42]</sup> Příkladem jedn rotorového uspořádání je RQ-8A Fire Scout, vyvinutý Northrop Grummanem (2005).



Obr. 16: RQ-8A Fire Scout<sup>[38]</sup>

## Vícerotorové uspořádání (ang. Multicopter)

Tato skupina zahrnuje UAS s více než dvěma rotory. Princip funkce vícerotorového uspořádání spočívá v tom, že protilehlé vrtule se vždy točí stejným směrem a sousedící vrtule se točí opačným směrem. Při stoupaní nebo klesání, všechny vrtule zrychlují nebo naopak zpomalují. Let dopředu nebo do stran umožňuje zpomalení vrtule na té straně, na kterou stroj letí.<sup>[39]</sup>

Tuto skupinu UAS se dá dále rozdělit dle počtu rotorů.<sup>[39]</sup>

- 3 rotorové uspořádání (tricopter);
- 4 rotorové uspořádání (quadcopter);
- 6 rotorové uspořádání (hexacopter);
- 8 rotorové uspořádání (octocopter);

Také se dá setkat s UAV, které mají 12 nebo 16 rotorů.

Samozřejmě každý UAS je svým způsobem jedinečný, ale stále existuje několik základních prvků, které jsou přítomny v konstrukci jakéhokoli UA. Mezi ně patří:

**Rám** je základem každého UAS. Má za účel spojení dalších prvků UAS. Celková životnost stroje závisí na tom, jak moc je rám trvanlivý a spolehlivý. Rám je většinou vyroben z polymerů nebo slitin lehkých kovů. Může být také použit uhlík nebo jiné materiály, které jsou zároveň lehké a odolné.<sup>[34][43]</sup>

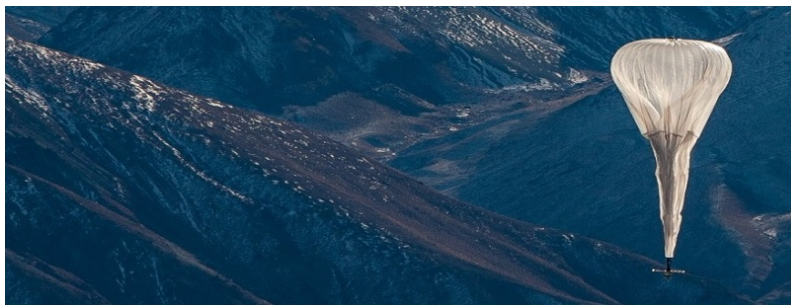
**Motory a vrtule.** Motor je součástí konstrukce UAS, která se stará o roztočení vrtulí, umožňují zvednout rám ze země, vznášet se a létat. Všechny vícerotorové UAS používají pro vzlet vrtule, které nejde nahradit listy rotoru. Vrtule se připevňují k motorům a stejně tak, jako rám, mohou být vyrobeny ze široké škály materiálů. Listy vrtulí s menšími průměry mají vlastnost snadného zrychlení, nebo zpomalení. Větší lopatky jsou vhodnější pro stabilnější lety, protože je naopak zrychlení a zpomalení těžší.<sup>[34][43]</sup>

**Baterie.** Je zřejmé, že tento konstrukční prvek zajišťuje fungování všech prvků UAS. Na kapacitě baterií závisí také dostup. Většina komerčních UAS není příliš velká, a baterie, které jsou do nich vestavěné, jsou též malé, což neumožňuje zajistit dlouhotrvající let. Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, řešení tohoto problému je v současné době prioritou.<sup>[34][43]</sup>

### 2.2.3 Aerostat

Aerostat je kategorie letadel, které jsou lehčí než vzduch, do které spadají také balony a vzducholodě. Vztlak se u těchto zařízení vytváří naplněním pláště plynem (nebo ohřátým vzduchem), jehož hustota je menší než hustota okolního vzduchu. Toto letadlo se obvykle skládá z balónu a koše, ale mohou vyskytovat i jiné konstrukční řešení.<sup>[36]</sup> V následujícím odstavci uvádím několik moderních UAS aerostatu.

Společnost Google v roce 2016 oznámila zahájení projektu s názvem Loon, který se zaměřuje na šíření internetu prostřednictvím balónů s vysokou nadmořskou výškou (20km). Výhodou využití tohoto typu UAS pro tento účel je nízká spotřeba energie. Vysílače na palubě, jsou poháněny dvěma solárními bateriemi, výkon, kterých je dostačující pro let jak přes den, tak následně v noci.<sup>[44]</sup>



Obr. 17: Loon<sup>[38]</sup>

Velice nestandardní vzhled UAS vymyslela společnost Panasonic. Projekt UAS ve tvaru mraku s názvem Ballooncam byl představen veřejnosti v roce 2016. Hlavní odlišnost tohoto UAS, jak je vidět na obrázku níž, je především tvar jeho trupu, který vývojáři využili k umístění nejen kamery, ale také projektoru, který je schopen zevnitř UAS promítnout obraz na povrch jeho trupu.<sup>[45]</sup>



Obr. 18: Ballooncam<sup>[39]</sup>

### 3 Legislativní podmínky

UAS jakož létající stroj spadá do kategorie, která je v České Republice řízená pravidly pro provoz létajících strojů, které jsou uvedeny v zákoně o civilním letectví a novela prováděcí ve vyhlášce 108/1997Sb.<sup>[46]</sup>

Taktéž mezinárodnímu provozu bezpilotních systémů se věnuje předpis mezinárodní organizace pro civilní letectví, zkratka ICAO, z jeho části 3.1.9 následuje že, systém musí splňovat požadavky jeho Doplnku X, který stanovuje národní požadavky na údržbu, změny a provoz bezpilotních systémů, také je doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg. Letecké předpisy rozeznávají několik kategorií bezpilotních strojů.<sup>[22]</sup>

**Model letadla** pojem přiřazuje létajícímu zařízení jedině za následujících podmínek:

- charakter provozu je nekomerční;
- nepřerušovaný přímý vizuální kontakt s pilotem během letu;
- absence vlastních řídicích a navigačních prvků;
- neschopnost nést člověka na palubě;

**Bezpilotní letadlo (UA)** je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě a to, bez ohledu na svou hmotnost podléhá provoznímu povolení ze strany úřadu pro civilní letectví.<sup>[22]</sup>

**Bezpilotní systém (UAS)** Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, počet, kterých nemusí být omezen.<sup>[22]</sup>

*Nejméně přísné podmínky* se vztahují na kategorii model letadla do 25 kg. Pro tyto modely platí pouze omezení, kde je lze provozovat, další předpisy Doplnku X jsou pouze doporučena.<sup>[22]</sup>

*Přísnější podmínky* se vztahují na kategorii bezpilotní letadlo. Důležité je uvést, že rozhodujícím faktorem je již přítomnost automatických systémů řízení letu, která ovšem nezbavují pilota odpovědnosti za bezpečnost provedení celého letu. Pro tyto stroje platí veškeré požadavky vyplývající z Doplnku X.<sup>[22]</sup>

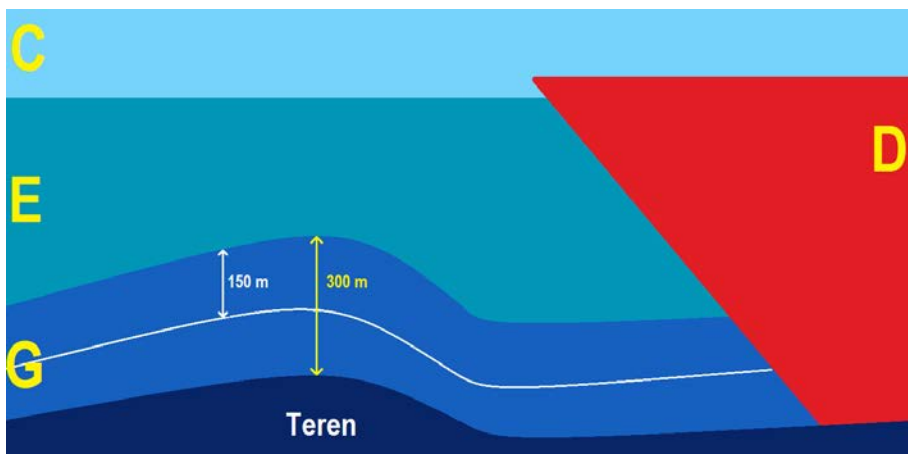
*Nejpřísnější podmínky* platí pro stroje, jež budou využívány k jakýmkoliv jiným než rekreačním, sportovním nebo soutěžním účelům.<sup>[22]</sup>

Hlavní a nejdůležitější podmínkou pro provoz všech kategorií bezpilotních letounů je povolení k létání vydané úřadem pro civilní letectví (ÚCL).<sup>[22]</sup>

Pro provoz letounů v České Republice existují letový prostor, rozdělený do několika základních tříd. Pro provoz bezpilotních letadel je určen prostor třídy G, který je omezen výškou 300 m nad terénem. Provoz v tomto prostoru smí být proveden pouze vně oblaků.

Jak je patrně z obrázku níže, prostor třídy G neslouží jen pro let UAS, v tomto prostoru ve výšce nad 150 m nad terénem se mohou taky pohybovat letouny s posádkou. Nad prostorem G se nachází prostory třídy E a C, kde poslední se nalézají ve velkých výškách a určen pouze pro let velkých letounů. Prostor třídy D se vyskytuje v okolí řízených letišť. Pro případ provozu ve vzdušném prostoru třídy D, je potřeba koordinace s řízením letového provozu a provozovatelem letiště, kolem kterého je provoz zřízen.<sup>[22]</sup>

Výjimku tvoří bezpilotního letadla anebo modely letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg. Tyto lety mohou být prováděna v letištní provozní zóně ATZ (z angl. Aerodrome traffic zone) i bez koordinace, avšak pouze do výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště. V případě provozu ve vzdušném prostoru těchto tříd minimální vzdálenosti od oblaků musí být 1 500 m horizontálně a 300 m vertikálně.<sup>[22]</sup>



**Obr. 19: Prostory pro provoz letounů v České Republice.**<sup>[22]</sup>

Provoz v blízkosti neřízených letišť, je možný pouze na základě povolení ÚCL nebo provozovatele daného letiště. Nepovolí-li jinak, let smí být proveden pouze do výšky 100 metrů nad zemí, a v horizontální vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu řízeného letiště. Pro provoz bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg platí stejná pravidla jak na teritoriích řízených letišť.<sup>[22]</sup>

Kromě letišť existuje také další prostory, které jsou, přímo spojené s létáním, jako prostory na plochách pro Sportovní létající zařízení (SLZ), prostor pro nácvik vojenského letectva, nebo také zakázané prostory (např. pražský hrad, prostory atomových elektráren a místa speciálních výrob).<sup>[22]</sup>

Další důležitou podmínkou je vzdálenost od budov a osob nezúčastněných na provozu. Dle Doplnku X UAS nesmí:<sup>[22]</sup>

- v průběhu vzletu a přistání přiblížit se k jakékoliv osobě na horizontální vzdálenost menší než 50 m;
- za letu přiblížit se k jakékoliv osobě, prostředku nebo stavbě, na horizontální vzdálenost menší než 100 m;
- za letu přiblížit k jakémukoliv hustě osídlenému prostoru na horizontální vzdálenost menší než 150 m, s výjimkou vydání individuálního povolení;

Toto jsou základní podmínky pro letání s UAS v České Republice. Pro UAS, ale platí v různých zemích Evropy různá pravidla.

Dne 12. března 2019 na základě hlasování výboru Evropské agentury pro bezpečnost letectví - EASA, Evropskou komisí byl přijat akt, upravující provoz bezpilotních systémů a systém registraci provozovatelů bezpilotních letadel v Evropě. Prováděcí akt je doplněn aktem, který stanovuje technické požadavky na bezpilotní systémy. V případě, že Evropský parlament nebo Rada EU nevznesou žádné námítky nařízení, bude plně použitelné do roku 2022.<sup>[47]</sup>

Toto nařízení rozdělí provoz bezpilotních systémů v Evropě do 3 hlavních kategorií:<sup>[47]</sup>

- **Open** je kategorie provozu bezpilotních systémů, u kterých není vyžadováno předchozí povolení příslušného úřadu, ani prohlášení provozovatele UAS před uskutečněním provozu;<sup>[47]</sup>
- **Specific** je kategorie provozu bezpilotních systémů, u kterých je vyžadováno povolení příslušného úřadu před uskutečněním provozu, s výjimkou určitých standardních scénářů;<sup>[47]</sup>
- **Certified** je kategorie provozu bezpilotních systémů, u kterých je vyžadována certifikace bezpilotního systému, osvědčení způsobilosti dálkově řídicího pilota a schválení provozovatele příslušným úřadem, aby byla zajištěna odpovídající úroveň bezpečnosti;<sup>[47]</sup>

## 4 Dopady na životní prostředí

Životný prostředí je vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka. Jehož složkami jsou: ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie. Mezi faktory životního prostředí patří:<sup>[48]</sup>

1. Kvalita vody;
2. Odpady a půda;
3. Hluk;
4. Záření;
5. Kvalita ovzduší;

Tato kapitola se věnuje faktorům 3,4,5, která jsou nejvíce ovlivněná provozováním UAS, též součástí této kapitoly je výpočetní experiment zaměřeny na odhalení možných emisi UAS.

### 4.1 Hluk

Existuje několik významů pojmu hluk.

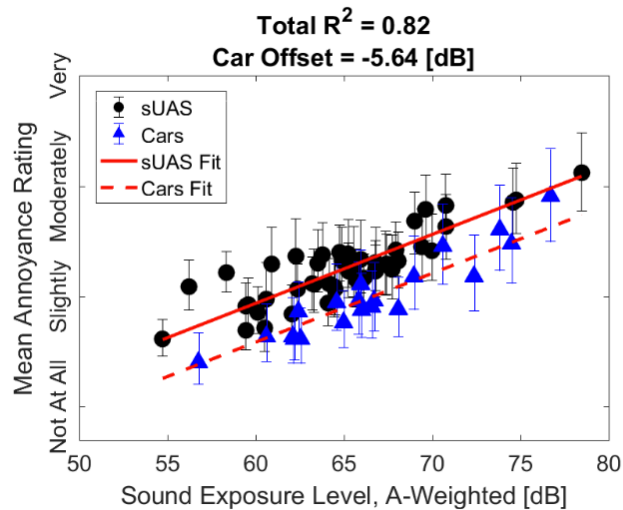
**Fyzikální význam** - Hluk je pojem, který označuje chaotické kombinace zvuku různé síly a frekvence.<sup>[49]</sup>

**Lékařský význam** - Hlukem se rozumí zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis.<sup>[49]</sup>

**Právní význam** - Hluk je zvuk, který člověka poškozuje (na zdraví, majetku, na životním prostředí), ruší anebo obtěžuje.<sup>[50]</sup>

Problém vnímání hluku, který je způsoben provozem motorových letounů, již dlouho patří mezi ty nejdůležitější. Hledání řešení tohoto problému však usnadňuje přesné chování zvuku, dle fyzikálních zákonů, které umožňuje aplikaci výpočtových metod s mnohem větší přesností než např. u prognóz znečištění ovzduší.<sup>[49]</sup> Při hledání řešení problému vnímání hluku je důležité také uvažovat, že každý si toleruje určité intenzity hluku jinak. Míra tolerance většinou závisí na věku, zvycích a dalších specifických vlastnostech organismu. Psychologické posouzení hluku je založeno především na koncepci vnímání. Důraz kladený na zdroj hluku má velký význam, protože určuje, zda je hluk vnímán jako rušivý. Často hluk reprodukován samotnou osobou ji neobtěžuje, zatímco malý šum způsobený sousedy nebo jiným zdrojem má silný dráždivý účinek.<sup>[49]</sup>

V rámci akustického experimentů vědci z NASA (z angl. National Aeronautics and Space Administration) zjistili, jak moc hlukové aspekty provozu UAS vadí respondentům. Studie zahrnovala puštění posluchačům zvuku aut a UAS. Daný experiment prokázal, že z pohledu respondentů zvuk UAS je nejvíc nepříjemný, a to i v případě přehrávání obou zvuků se stejnou hladinou intenzity.<sup>[51]</sup>



**Obr. 20: Výsledky akustického experimentu (Černé kruhy a červená čára vyznačují odpovědi, které respondenti poskytli při poslechu zvuků UAS, modré trojúhelníky a tečkovaná červená čára vyznačují odpovědi, které respondenti poskytli při poslechu zvuků jiných vozidel.)<sup>[51]</sup>**

Hlučnost UAS může ovlivňovat hned několik následujících konstrukčních prvků.<sup>[51]</sup>

- Pohon a kvalita jeho součástí, včetně jejich včasných mazání;
- Délka vrtulového listu a materiál, ze kterého je vyroben, a také jejich počet;
- Tvar rámu a celková hmotnost UAS;

## 4.2 Emise

Pojmem emise se v ochraně ovzduší označuje vnášení látek do ovzduší. Je to děj, který může probíhat ustáleně, nerovnoměrně, cyklický či nahodilě v závislosti na podmínkách procesu. Zdroje znečištění ovzduší se zpravidla člení do tří základních kategorií.<sup>[52]</sup>

- a) bodové zdroje - komíny energetických zařízení;
- b) plošné zdroje - průmyslové zóny, malé spalovací zdroje, vulkanická činnost apod.;
- c) liniové zdroje – automobilová doprava jako jsou dálnice a frekventované silnice;

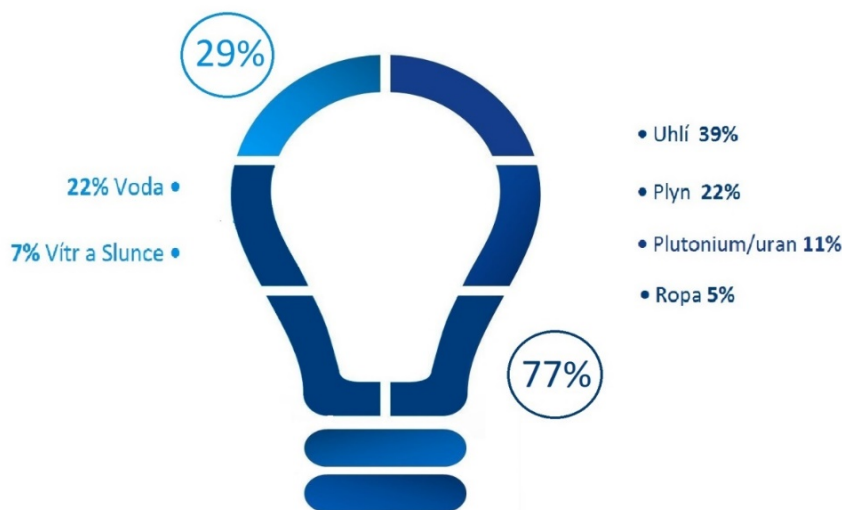


Z rozdělení, které je uvedeno na předchozí stránce se dá odvodit, že pístové motory UAS jsou liniovým zdrojem. Růst zajmu o elektromotorové UAS způsobuje růst poptávky po elektřině, pro jeho nabíjení, čímž zapojuje do procesu emise také plošné zdroje.

Elektřinu lze generovat několika způsoby. Každý stát vyrábí elektřinu nejvhodnějším způsobem z pohledu geopolitiky a množství nerostných surovin. Existuje pouze 2 typy zdroje energie obnovitelný a neobnovitelný.<sup>[53]</sup>

- **Obnovitelnými zdroji** jsou nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, energie vody apod.<sup>[53]</sup>
- **Neobnovitelné zdroje** jsou zdroje, jejichž množství je omezené a hrozí jejich brzké nebo úplné spotřebování (v řádech desítek nebo stovek let). Jedná se o nerostné suroviny - fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn, rašelina a uran);<sup>[53]</sup>

V následujícím schématu uvádím poměr mezi množstvím vyrobené elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů a množstvím elektřiny vyrobené pomocí neobnovitelných zdrojů.<sup>[54]</sup>



**Obr. 21: Poměr množství vyrobené elektřiny (Světle modrá část vyznačuje podíl obnovitelných zdrojů, tmavě modrá část vyznačuje podíl neobnovitelných zdrojů)<sup>[54][75]</sup>**

Může se zdát, že oproti jiným elektrickým zařízením malý UAS nepředstavuje akutní hrozbu. Ale jak jsem již uvedla v kapitole č. 2, v roce 2018 se počet civilních UAS blížil k hodnotě 3 mil kusů, souvislost této hodnoty s množstvím produkované emise uvádím v následující části této podkapitoly.<sup>[32]</sup>

Je zřejmé, že každý stroj má vlastní charakteristiky, jako jsou: baterie, hmotnost UAS, a také účel pro který byl pořízen, letové podmínky a počet využití. Kvůli tomu nelze přesně stanovit roční produkci CO<sub>2</sub>, proto jsem pro ověření vlivu zvolila jedno nabíjení zdroje, kde je klíčovým parametrem jeho výkon.<sup>[34]</sup>

S ohledem na dnešní statistiku, která říká, že přibližně 70% všech civilních UAS jsou elektromotorové, viz tabulka č. 2<sup>[32]</sup>, jsem se pokusila vypočítat možné emise CO<sub>2</sub>, která by mohla být způsobena výrobou elektřiny jen pro jedno nabíjení UAS v roce 2018. Pro tento výpočet jsem využila údaje o výkonu nejvíce populárních UAS společností DJI<sup>[55]</sup> a UAS Hubsan.<sup>[56]</sup> Celkový výkon byl následně určen jednoduchým násobením výkonu strojů a počtu kusů UAS dané kategorii a následným sečtením všech hodnot.

**Tab. 1: Přehled výkonu UAS jejich počtu a celkového výkonu.** <sup>[21][32][55][56]</sup>

Rozměr	Název UAS	Výkon stroje [W]	Počet UAS [kus] <sup>[21]</sup>	Výkon [W]
Micro	Hubsan x4	9	42000	378000
Mini	DJI Mavic Pro	17	1200000	20400000
Medium	DJI Phantom 3	100	441000	44100000
Large	DJI F550	450	357000	160650000
				<b>225528000</b>

Dále za podmínky, že producentem emise je výrobní proces, postavený na spalování uhlí, plynu nebo ropy, jsem určila, že celosvětové množství elektřiny získané pomocí těchto zdrojů tvoří cca 66%.<sup>[54]</sup> Jaderné elektrárny rovněž jako neobnovitelné zdroje neemitují během své činnosti žádný škodlivý plyn. Ovšem jaderné elektrárny nejsou zcela bezpečné, proto podrobný popis vlivů jaderného záření na životní prostředí uvádím v následující podkapitole.

Vzhledem k této informaci byly provedeny výpočty za předpokladu, že 66% celkové elektřiny využívané pro nabíjení elektromotorových UAS nepřímo souvisí s produkcí emise.

K vyrobení energie ekvivalentní hodnotě **100 kW** průměrná elektrárna spotřebuje přibližně:<sup>[54]</sup>

- 150 kg uhlí;
- 66 kg plynu;
- 25 kg ropy;

Za předpokladu, které byly uvedeny na předchozí stránce jsem připustila, že k vyrobení energie o velikosti **126295680W (66%)**, elektrárny budou potřebovat přibližně **93799 t** paliva, z toho činí:

- cca 73883 t uhlí (39%);
- cca 18338 t plynu (22%);
- cca 1578 t ropy (5%);

Následně jsem využila tyto hodnoty pro výpočet množství emise, které vyprodukuje elektrárna během výroby této energie.

Výpočet emisí CO<sub>2</sub> byl proveden podle vzorce:<sup>[57]</sup>

$$E = M \times K1 \times TH3 \times K2 \times 44/12 \quad (4-1)$$

Kde

- E - roční emise CO<sub>2</sub> (t/rok);
- M - skutečná spotřeba paliva (t/rok);
- K1 - koeficient oxidace uhlíku v palivu (udává podíl spáleného uhlíku);
- TH3 – výhřevnost (J/t);
- K2 - emisní faktor uhlíku (t/J);
- 44/12 - konverzní faktor uhlíku vůči oxidu uhličitému (molekulové hmotnosti: uhlík- 12 g/mol, O<sub>2</sub> = 2 x 16 = 32 g/mol, CO<sub>2</sub> = 44 g/mol);

**Tab. 2: Emise CO<sub>2</sub>, která byla vyprodukována během výroby energie.**<sup>[54]</sup>

Zdroj	Poměr [%]	Spotřebované množství paliva [t/rok]	Množství emise [t/rok]
Uhlí	39	73883	119659855
Plyn	22	18338	34996442
Ropa	5	1578	4846639
			<b>159502936</b>

Výsledná hodnota emise, která by mohla být vyprodukována elektrárnami, ve kterých pro výrobu elektřiny používají uhlí, plyn a ropu činí **0,2.10<sup>9</sup> t (CO<sub>2</sub>)/rok**.

Zbýlých 30% tvoří UAS pohaněné spalovacím motorem, a jejich počet se blíží hodnotě 900000.<sup>[32]</sup> Pro tento výpočet jsem vyloučila údaje o objemu palivové nádrže UAS společnosti Yeair<sup>[58]</sup> a následně spočítala jaké množství CO<sub>2</sub> se vyprodukuje přímo během jednoho letu UAS. Je potřeba dodat, že UAS pohaněné spalovacím motorem spadají do rozměrové skupiny Large. Emise CO<sub>2</sub> byla opětovně vypočítána pomocí stejného vzorce.<sup>[57]</sup>

**Tab. 3: Přehled objemu paliva spotřebované UAS, počtu UAS a celkové emise CO<sub>2</sub>.** <sup>[32][58]</sup>

Rozměr	Název UAV	Objem nádrže [l]	Počet UAV [kus]	Celkový objem benzínu [l]	Množství emise [t/rok]
Large	Goliath MKII	1,5	900000	1350000	<b>5596047518</b>

Výsledná hodnota po dosazení činí **5,6.10<sup>9</sup> t (CO<sub>2</sub>)/rok.**

Celková hodnota přímé a nepřímé produkce CO<sub>2</sub> v roce 2018 mohla činit **6.10<sup>9</sup> t (CO<sub>2</sub>)/rok.**

Předpokládá se, že roční emise CO<sub>2</sub> produkovaná leteckou dopravou činí přibližně 800 mil tun, což jsou cca dvě procenta všech emisí oxidu uhličitého, za které zodpovídá člověk, a cca 12 procent z množství vyprodukovaného dopravou celkem.<sup>[59]</sup> Na základě výpočtu přínosu emise jen ze strany UAS, a to pouze jedním použitím, je možné připustit, že přínos UAS představuje víc než 1% celkového přínosu letecké dopravy, což z mého pohledu je poměrně velká hodnota a vzhledem k podobnému podílu je potřeba vzít v úvahu že 43% všech UAS se používají pro zábavu<sup>[32]</sup>, zatímco ostatní letecké prostředky plní nějaký úkol.

## 4.3 Záření

Pod pojmem záření v první části této podkapitoly se rozumí radiové záření, tudíž elektromagnetické vlnění.<sup>[60]</sup> Druhá část je věnovaná jadernému záření tzv. záření vznikající při jaderných přeměnách.

### 4.3.1 Radiové záření

Pro ovládání UAS a přenos obrazu se používají frekvence v pásmu od 433 MHz do 5,8 GHz:<sup>[37]</sup>

- 433 MHz;
- 900 MHz;
- 1,2 GHz;
- 1,3 GHz;
- 2,4 GHz;
- 5,8 GHz.

Použití frekvenci 900 MHz je možné kupříkladu ve Velké Británii<sup>[61]</sup>, ale pouze pro telemetrické účely. Ve většině zemi, jako například Singapur, platí zákaz pro využití této frekvenci pro UAS.<sup>[54]</sup> Využití frekvence 433 MHz a 1,2 GHz je v některých státech buď zakázáno<sup>[61][62]</sup> anebo podobně jako frekvence 1,3 GHz<sup>[63]</sup> mohou být využívány, za podmínky, že pilot UA má na takový provoz licenci. Rozmezí frekvence 2,4 GHz a 5,8 GHz jsou povolené všude a jsou proto nejčastěji používány.<sup>[34]</sup>

Pásmo 2,4 GHz je, oproti pásmu 5,8 GHz je technologicky starší platforma, a to včetně Wi-Fi. Nevýhodou 2,4 GHz je relativně malý rozsah pásma, do kterého se musí „vejít“ nejen všechny Wi-Fi sítě v okolí, ale také například bluetooth zařízení. Jejich vzájemným působením dochází k rušení, které má zpravidla za následek výrazné kolísání přenosové rychlosti nebo výpadky spojení.<sup>[64]</sup> Pásmo 5,8 GHz je novější, a má také větší rozsah pro vysílání, včetně Wi-Fi, má také více kanálů, které se vzájemně nepřekrývají. K rušení pak dochází výhradně tehdy, pokud sousední 5GHz sítě vysílají na stejném kanálu.<sup>[64]</sup>

Z pohledu vlivu na životní prostředí, a na základě znalosti frekvence, která se využívá v mikrovlnných troubách (2,45 GHz),<sup>[65]</sup> je možné předpokládat, že kdyby UAS měl několikanásobně větší vysílací výkon, mohlo by dojít k ohřátí živých organismů v jeho blízkém okolí.

Opravdu nebezpečný může být signál v pásmu infrazvuku v rozsahu od 2 Hz do 20 Hz, což odpovídá rozsahu fluktuace některých orgánů jako srdce a mozek. Při vystavení silnému elektromagnetickému poli začnou nabitě molekuly oscilovat, což může vést k určitým změnám v organismu.<sup>[66]</sup>

Na základě výše uvedené informace se dá tuto podkapitolu shrnout tvrzením, že frekvence, která se využívá k ovládní UAV nebo přenos obrazu nemůže způsobit poškození organismu ani zvýšit jeho teplotu.

### **4.3.2 Jaderné záření**

Na základě grafu 22, kde je uvedeno, že 11% celosvětové elektřiny byly vyrobeny v jaderných elektrárnách a předchozích výpočtu (viz tabulka 1), kde jsem uvedla, že celkový výkon všech elektromotorových UAS může činit 225528000 W, se dá předpokládat, že každý 10 UAS teoreticky může být nabíjen elektřinou, která byla vyrobena pomocí jaderné energie. Proto považují za nezbytné uvedení informací ohledně vlivu jaderné energie na životní prostředí, i když problematika jaderného záření není předmětem této práce.

Základem produkce jaderné energie je proces rozpadu uranového jádra. Do výroby elektřiny jsou zapojeny nejen jaderné elektrárny, ale i mnoho dalších zařízení a instalací. V důsledku jejich činnosti vzniká velké množství jaderného odpadu, který je radioaktivní a nebezpečný. Tyto odpady obsahují atomová jádra, která se postupem času transformují (v důsledku rozkladu nebo štěpné reakce) na další atomová jádra. Během těchto změn se uvolňuje radioaktivní odpad ionizující záření, což jsou tzv.  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - nebo neutronové záření, které má schopnost pronikat jakoukoliv látkou a ionizovat ji. Pojem ionizace znamená, že dochází k redistribuci elektrického náboje v buňkách. Toto přerozdělení způsobuje řadu chemických reakcí v organické tkáni, které mohou vést jak k hromadné smrti buněk, tak k mutagenézi. Určité dávky ionizujícího záření mají intenzivní nepříznivý vliv na živé organismy, který může způsobit jejich smrt.<sup>[67]</sup>

## 5 Možnosti omezení negativních vlivů

Již prokázáno, že hluk a emise mají negativní vliv na správné fungování nejen organismu člověka ale také systému celé planety. V této kapitole uvedu několik opatření, které by z mého pohledu mohli být účinné. Popis možných řešení je rozšířen o můj experiment, kde se zabývám zjištěním příčin hlučnosti u UAS.

### 5.1 Hluk

Vzhledem k již známým charakteristikám hluku, by bylo správné se zamyslet nad daným problémem již teď, pokusit se odhadnout možné následky, a jejich případné řešení. Řešení hlukového znečištění, jsem v této práci rozdělila na 3 kroky.

Prvním a pravděpodobně nejdůležitějším krokem k vyřešení současných a budoucích problémů bude studium zdrojů hluku a to jak UAS tak i elektráren:

- Vytvoření informační základny o hladinách hluku, která může být využita při rozhodování a tvorbu projektů rozvoje měst, jakož i při řešení stížností obyvatel;

Druhý krok by byl spojen se zavedením nových norem a zákonů s ohledem na zvětšení popularity bezpilotních dopravních prostředků a zavedením s tím souvisejících podmínek jejich využití jako:

- Vývoj systému restriktivních opatření, pokud jde o provoz v noci v okolí obytných oblastí města;
- Zákon o omezení počtu provozovaných UAS za den;
- Zavedení mechanismů pro administrativní odpovědnost jak pro ochranu obyvatelstva, tak i majitele UAS;

Třetím krokem by bylo zavedení opatření, které budou přímo spojené se změnami provozních podmínek letounu:

- Vývoj trati v závislosti na účelu použití tohoto UAS;
- Realizace opatření pro ochranu proti nadměrnému vystavení hluku státních institucí (nemocnice, kliniky, sanatoria, apod.) vzdělávací instituce (školy a předškolní instituce, internátní školy apod.);
- Používání stejné základny k odhalování případů nadměrného hluku ve městě, a to vytvořením sítě automatizovaných stanic pro řízení leteckého hluku ve městě;

Použití jen některých opatření nebo jejich kombinace do značné míry závisí na stupni a povaze požadovaného snížení hluku, a to s ohledem na hospodářské a provozní omezení.

Jak již bylo řečeno, jakýkoli pokus o kontrolu hluku by měl začít určením zdrojů tohoto hluku. V případě využití velkého množství UAS různých rozměrů a typů v jedné lokalitě bude poměrně obtížné určit relativní přínos každého UAS zvláště i přes existenci významné analogie různých zdrojů. Pokud tedy vznikne cíl snížení hluku daného typu dopravního prostředku, cenné informace lze získat na základě pochopení mechanismu generování hluku.

Vzhledem k tomu, že celkový hluk UAS, jak již bylo uvedeno v kapitole 3 je určen řadou zdrojů, je potřeba se pokusit získat údaje o charakteristikách každého z těchto zdrojů zvláště a stanovit nejefektivnější způsoby snižování hluku z určitého zdroje, jakož která z metod redukce celkového hluku v tomto případě bude nejekonomičtější. Redukce hluku UAS je jedná z nejtěžších otázek, protože nejdůležitější části jeho konstrukce jako motor a vrtule jsou jeho hlavním zdrojem. Zbavit se hluku na 100% je zcela nereálné, jelikož i vítr o rychlosti vyšší než 5 m/s způsobí hluk,<sup>[68]</sup> ale v závislosti na požadavky kladené na UAS je možné provést nějaké změny.

Mezi rozhodující vlastností, které mohou ovlivnit hlučností UAS jsem uvedla hmotnost a aerodynamiku rámu. Pro ověření tohoto tvrzení, jsem provedla měření hladiny intenzity hluku vybraných UAS za jejího provozu.

Toto měření vzniklo v průběhu jiného experimentu. Původně cílem experimentů bylo ověření, zda využití UAS je v rozporu s předepsanou hygienickou normou pro základní limity pro venkovní hluk. Dále v jaké vzdálenosti od obytné zóny dojde k překročení limitu apod.

Experiment začal tak, že jsem zafixovala hlukoměr Voltcraft SL-100 ve vzdálenosti přibližně 0,5 m od místa startu UAS ve výšce cca 1m. Během kontroly hlukoměrů, letící UAS se nacházel cca ve stejné výšce v jaké byl zafixován hlukoměr. Po provedení kontroly několika UAS se ukázalo, že dva UAS odlišné formy a rozměrů produkují hluk o cca stejné velikosti.

Tyto hodnoty jsem poznamenala a rozhodla jsem se, že zjistím zda je to jen chybou hlukoměru nebo tato podobnost je způsobená něčím jiným. Po zjištění více informací, které uvádím na dalších stránkách, jsem se rozhodla změnit původní cíl experimentů na cíl zjistit jaký má vliv na hlučnost UAS každá jeho součást zvláště.



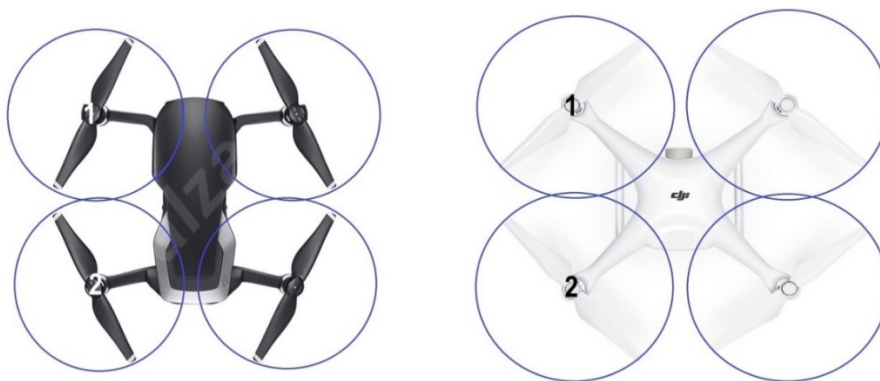
V následující tabulce uvádím souvislost mezi hmotností UAS<sup>[55]</sup> a jeho hlučností.

**Tab. 4: Závislost hlučnosti UAS na jeho hmotnosti<sup>[49]</sup>**

Hmotnost [kg]	Název UAS	Max hodnota hladiny intenzity zvuku [dB]
0,3	DJI Spark	74
0,43	DJI Mavic Air	<b>76,9</b>
1,3	DJI Phantom 4 Pro	<b>77,1</b>
3,4	DJI Inspire 2	81,7

Jak je patrně z výsledku, hmotnost je rozhodujícím faktorem. Ukázalo se však, že existují případy, kdy UAS o menší hmotnosti produkuje hluk o skoro stejné hladině intenzity jako UAS, jehož hmotnost je třikrát větší.

Podobný výsledek souvisí s parametry aerodynamických tvarů ramů UAS. Pro vysvětlení vlivu tvaru rámu na hladinu intenzity hluku UAS, budu v této kapitole využívat metodu NASA, která spočívá v tzv. mapování zón nízkého tlaku. Zóny nízkého tlaku se nachází nad horní částí vrtule, zóny vysokého tlaku pod ní. Rotující vrtule vytváří nad sebou oblast nízkého tlaku, která je na obrázku vyznačená modrou barvou. Vrtule číslo (2) oproti vrtuli (1) je zpožděna o půl otáčky. Po nárazu vrtuli (2) do oblasti, kterou již vytvořila vrtule (1), vznikne vlnění, které lidské ucho vnímá jako hluk UAS.<sup>[69]</sup>



**Obr. 22: Mapování zón nízkého tlaku**

(Obrázek vlevo: DJI Mavic Air<sup>[60]</sup>, obrázek vpravo: DJI Phantom 4 Pro<sup>[61]</sup>)

Z porovnání, které je uvedeno na obr.22 je patrné, že tyto UAS mají podobnou tlakovou mapu. V obou případech hluk je způsoben blízkou vzdáleností vrtulí, která takový náraz umožňue.

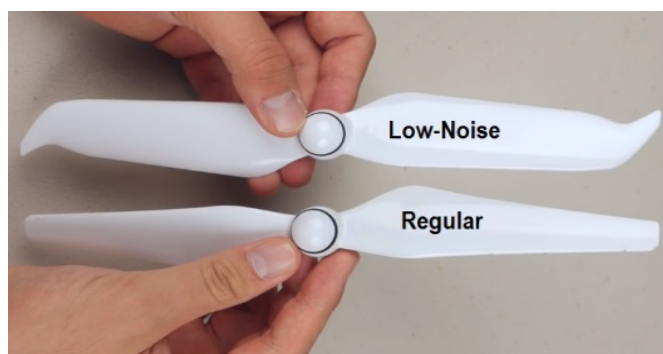
Aspektem, který vysvětluje, proč máji tyto UAS podobné hodnoty hladiny intenzity hluku, je také odlišný tvar trupu. Na rozdíl od tvarů DJI Mavic AIR tvar DJI Pantom 4 Pro eliminuje prudké nárazy vzduchu způsobené vrtuli a umožňuje jeho pлавný pohyb kolem trupu. Však nejen tvar rámu, ale i tvar vrtule mohl způsobit podobný rozdíl. Chceme-li eliminovat hluk ještě víc, musíme jít cestou zvýšení velikosti vrtule a zmenšení jejich rychlosti, zatímco hmotnost vrtule by měla zůstat poměrně nízká. Je také možno inspirovat se dutým tvarem kostí ptáků, a vyrobit dutou vrtuli. Jako materiál pro jejich výrobu může být využit karbon. Podobné radikální změny vrtule však žádným způsobem nevylepší, ale naopak zhorší říditelnost, což dělá návrh takové vrtuli hodně nepraktickým.

V dnešní době existují tzv. Low-Noise vrtule, ověření ucinnosti které proběhlo po ukončení měření hladiny intenzity hluku všech UAS. V průběhu měření se ukázalo, že po této výměně větší UAS měl nižší hladinu intenzity hluku, než UAS malých rozměru.

Tento výsledek vysvětluje to, že oproti standardní vrtuli typu Regular, vrtule Low-Noise jsou tenčí a o něco málo delší. Zakřivení konec těchto vrtulí snižuje odpor vzduchu, a tím i hlučnost UAS. Jejich účinnost jsem ověřila během experimentu, kde jsem vyměnila vrtuli z Low-Noise na Regular u UAS DJI Phantom 4 Pro. Foto tvaru těchto vrtulí jsou spolu s výslednými hodnotami měření uvedeny níže.

**Tab. 5: Intenzity hladiny zvuku vrtulí typu Low-Noise a Regular**

Název UAS	Hladina intenzity zvuku (low-noise) [dB]	Hladina intenzity zvuku (regular) [dB]
DJI Phantom 4 Pro	77,1	79,8



**Obr. 23: Vrtule Low-Noise a Regular**

Pak pro kompletní představu o vlivu konstrukčních součástí UAS na jeho hlučnost, byla také provedena zkouška hlučností motoru. UAS, který byl použit pro provedení výměny neměl žádnou značku, jelikož byl postaven svépomocí a patřil do rozměrové kategorie mini.

Během experimentu bylo zjištěno, že větší hlučnost měl kolektorový motor, cca o 2dB. Příčiny větší hlučnosti je potřeba hledat v konstrukci toho motoru, kterému se také říká kartáčový. Kartáče, které jsou součástí motoru, jsou vždy v těsném kontaktu s kolektorem. Za práci, v důsledku vysokých otáček, vzniká tření v místě jejich kontaktu, což způsobuje vyšší hladinu hluku. Bez-kolektorový motor ve své konstrukci nemá ani kartáče ani kolektor a jeho rotor neprichází do přímého kontaktu se statorem. Z čehož vyplývá, že volba bez-kolektorového motoru samozřejmě hluk neeliminuje ale snižuje.

Hodnoty těchto měření se mohou však lišit od hodnot, které byly naměřeny v rámci jiných experimentů. Tento rozdíl se dá vysvětlit rozdílem vzdálenosti mezi UAS a měřicím přístrojem a také kvalitou samotného přístroje. Moje měření bylo provedeno hlukoměrem Voltcraft SL-100. Také na výsledek mají vliv podmínky, za kterých bylo měření provedeno. Tento experiment byl proveden na otevřeném prostoru za podmínek teploty okolí 3,2°C, relativní vlhkosti vzduchu 84 %, slabého větru o rychlosti 3,1 m/s a tlaku vzduchu 1001,8 hPa.

Z výše uvedeného je možno vyvodit závěr, že zatím neexistuje způsob, kterým by se dalo radikálně zmenšit hluk UAS. Obrovský pokrok udělalo NASA, když odhalilo existenci tlakových map, které v budoucnu pomohou designérům, navrhnout méně hlučný UAS. V kombinaci se zavedením účinných opatření a zavedením nových norem a zákonů by dalo dosáhnout značného snížení hluku UAS.

Plánování omezování hluku elektráren není předmětem této práce, proto zde uvádím pouze možné opatření. Úroveň hluku průmyslových zařízení, které vyrábí energii pro nabíjení UAS je zpravidla způsobená kombinací hluku několika zdrojů umístěných v průmyslovém areálu, jako jsou: hydraulické zařízení, drtiče, větrací jednotky apod.:

- Snížení hluku zdroje, například pomocí speciálních technologických procesů, úpravy konstrukcí zařízení, akustické úpravy součástek a povrchů zařízení nebo použitím nového a méně hlučného vybavení;
- Ukončení provozu hlučného zařízení je nejradikálnějším způsobem. Existuje také méně radikální způsob jako zkrácení provozní doby hlučného zařízení;

## 5.2 Emise

Najít řešení problému znečištění ovzduší v rámci jedné bakalářské práce je hodně složitý úkol, proto zde uvádím pouze návrhy, které z mého pohledu by mohly být účinné pro řešení daného problému.

Územní a technologické problémy zahrnují jak problematiku umístění zdrojů znečištění ovzduší, tak i omezení nebo odstranění řady negativních účinků. Hledání optimálních řešení k omezení znečištění ovzduší souběžně s růstem technických znalostí a průmyslovým rozvojem přivedlo k vytvoření řady zvláštních opatření pro ochranu atmosféry. Z mého pohledu ochrana atmosféry nemůže být úspěšná pomocí jednostranných a částečných opatření, které budou namířené jen proti konkrétním zdrojům znečištění.

Dle mého názoru, nejlepších výsledků lze dosáhnout pouze objektivním, mnohostranným přístupem k určení příčin znečištění ovzduší, přínosem jednotlivých zdrojů a určením skutečných možností omezení těchto emisí. Jak jsem již zmínila v předchozí kapitole, provoz UAS přináší do atmosféry určité množství CO<sub>2</sub>. Na základě výsledku je možné připustit, že UAS s elektropohonem vypouští méně CO<sub>2</sub>, že UAS s elektropohonem vypouští méně CO<sub>2</sub>, než UAS pohaněny spalovacím.

Nulových emisí se dá docílit, například instalací solárních panelů na UAS, což v dnešní době je prozatím nemožné, Jelikož pro docílení vhodných výkonu pro provoz UAS je potřeba instalovat velkoplošné solární panely, které ale neumožní malý rozměr některých UAS.<sup>[35]</sup>

Dalším způsobem jak docílit nulových emisí je využití vodíkového pohonu. Tento pohon nezpůsobuje žádné znečištění, a ani neprodukuje žádný hluk. Ve srovnání s ostatními pohony má obrovský výkon, a poměrně jednoduchou konstrukci.

Tento pohon zatím není moc populární a to kvůli drahému a komplikovanému způsobu výroby paliva a také zatím nejsou připraveny normy pro přepravu, skladování a používání tohoto paliva.<sup>[35]</sup>

Nulové emise ve sféře výroby elektřiny se dá docílit vyžitím obnovitelných zdrojů energie nebo jaderné energie. Bohužel obnovitelné zdroje nemohou plně nahradit ani uhelné elektrárny, jelikož taková výroba hodně závisí na počasí, proto lídrem ve výrobě elektřiny zůstávají elektrárny, které využívají neobnovitelné zdroje a vypouští obrovské množství CO<sub>2</sub> do atmosféry.<sup>[54]</sup>

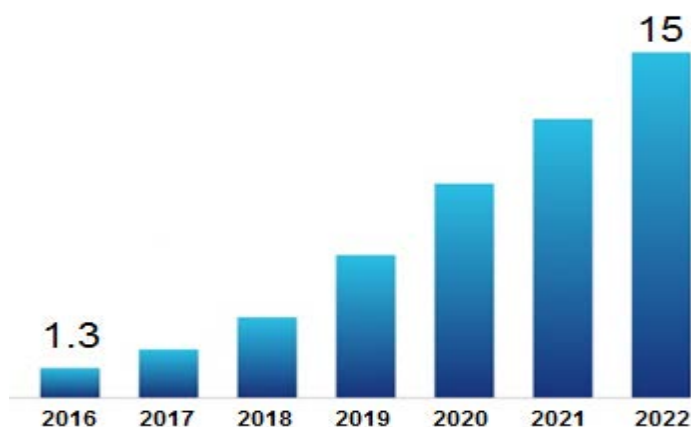
V souvislosti s tím v současné době přichází na trh několik společností s návrhem na použití oxidu uhličitého jako recyklovatelného materiálu neboli suroviny pro výrobu leteckého paliva, které by bylo získáno z plynných emisí průmyslových čínských podniků. Je zřejmé, že hořící palivo uvolní zase oxid uhličitý. Zařízení však znovu a znovu zachytí CO<sub>2</sub>, takže se uskuteční "technogenní cyklus oxidu uhličitého". Navzdory všem zdánlivým výhodám jsou takové návrhy zatím ekonomicky neúčinné. Bohužel cesta k ziskovosti je velmi dlouhá. Produkce je schopna "stáhnout" pouze cca 150 tun oxidu uhličitého za rok, když roční množství emisí této látky, které se dostává do atmosféry je 30-40 gigatun.<sup>[70]</sup>

Je zřejmé, že v dnešní době je poměrně těžké ovlivnit množství oxidu uhličitého, které se každý rok dostává do atmosféry. Otázkou je, jestli je vůbec možné snížit emise CO<sub>2</sub>, aniž by tyto změny byly na úkor celosvětové ekonomiky. Z mého pohledu nelze. Vzhledem ke všem výše uvedeným předpokladům lze připustit, že zatím neexistuje zdroj energie nebo dopravní prostředek, který nebude mít žádný vliv na životní prostředí, jelikož provoz i stavba obnovitelných zdrojů ovlivňuje existenci volně žijících zvířat a rostlin.

## 6 Bezpilotní prostředky budoucnosti

Již nedávno přítomnost auto-pilotního systému u civilních UAS mohla překvapit, a schopnost automatického přistání nebo udržování výšky ohromovala zájemci o tyto letouny. Dnešní požadavky pro návrh, vývoj a provozování zařízení vychází z poptávky po zcela autonomních zařízeních, kde klíčovým parametrem provozu UAS by byla, jeho vydrž ve vzduchu, a s tím související parametry jako dostup a dolet. Řešení tohoto problému v současné době hledá velké množství výrobců a vědců. Například Federální polytechnická škola v Lausanne vyvíjí technologii pro nabíjení bezpilotních leteckých prostředků ve vzduchu pomocí laseru. Klíčovým prvkem systému je malý umělý diamant, který se pěstuje v jejích vlastní laboratoři, díky čemuž se laserový paprsek stává dostatečně výkonným pro nabíjení vzdáleného UAS. Výhodou tohoto paprsku je nejen velký dosah, ale i jeho neškodnost pro lidské zdraví (laser nezpůsobuje popáleniny kůže).<sup>[71]</sup> Další vynález, který může výrazně zvětšit dobu letu UAS je aluminium-iontová baterie. Její hlavní výhody oproti lithiové baterie jsou odolnost vůči vznícení, a to i v případě prudkého nárazu, a také trvanlivost (hliníková baterie oproti lithiové vydrží větší počet nabíjecích a vybíjecích cyklů).<sup>[72]</sup>

Podobné návrhy však mohou způsobit ještě větší nárůst zájmu o UAS a jejich počet. Jak již bylo uvedeno v kapitole 4, dle předpokladu analytika společnosti BI Interact trh civilních UAS v se do roku 2022 rozšíří o 12 mil nových strojů, což následně způsobí růst emise a hluku též.<sup>[32]</sup>

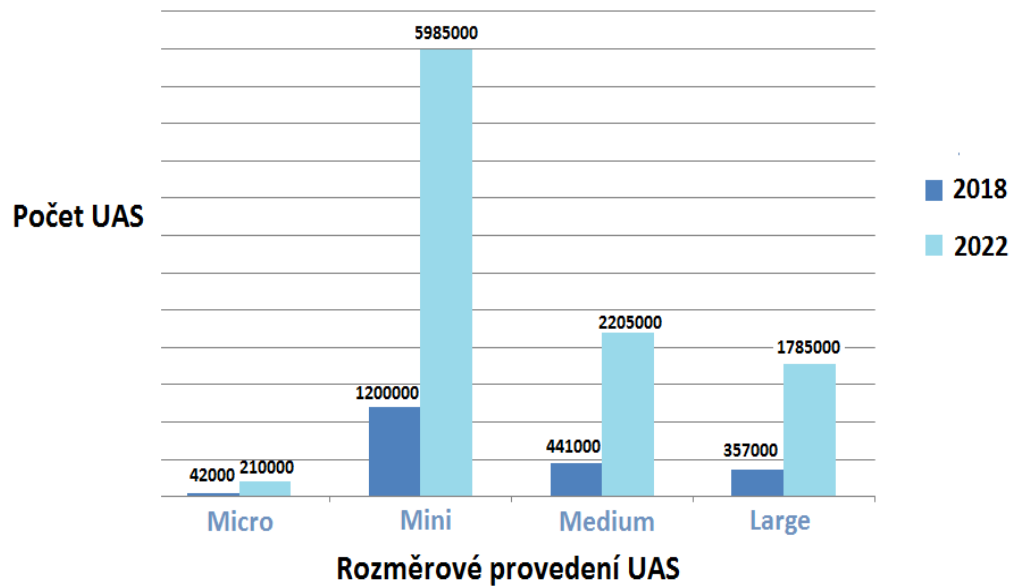


Obr. 24: Poptávka po civilních UAS<sup>[32]</sup>

Na základě tohoto předpokladu, jsem opětovně provedla výpočet emise, za stejného předpokladu jako v kapitole 4.

Cílem tohoto výpočtu je zjistit jaké množství CO<sub>2</sub> může být vypuštěno do atmosféry v roce 2022 pouze v důsledku výroby elektřiny pro jedno nabíjení UAS a porovnat s výsledky předchozího výpočtu a tím se pokus odhadnout rychlost přírůstu CO<sub>2</sub>.

V následujícím schématu je uvedeno porovnání počtu elektromotorových UAS z roku 2018 a prognózované množství pro rok 2022.<sup>[32]</sup>



**Obr. 25: Porovnání množství UAS různých rozměrových kategorií<sup>[32]</sup>**

Takový přírůst UAS zvětší spotřebu elektřiny a paliva, které se používá pro její výrobu. Na základě již známého počtu UAS pro rok 2022<sup>[32]</sup> a jejich výkonu<sup>[55][56]</sup> jsem se opětovně pokusila odhadnout hodnotu celkového výkonu.

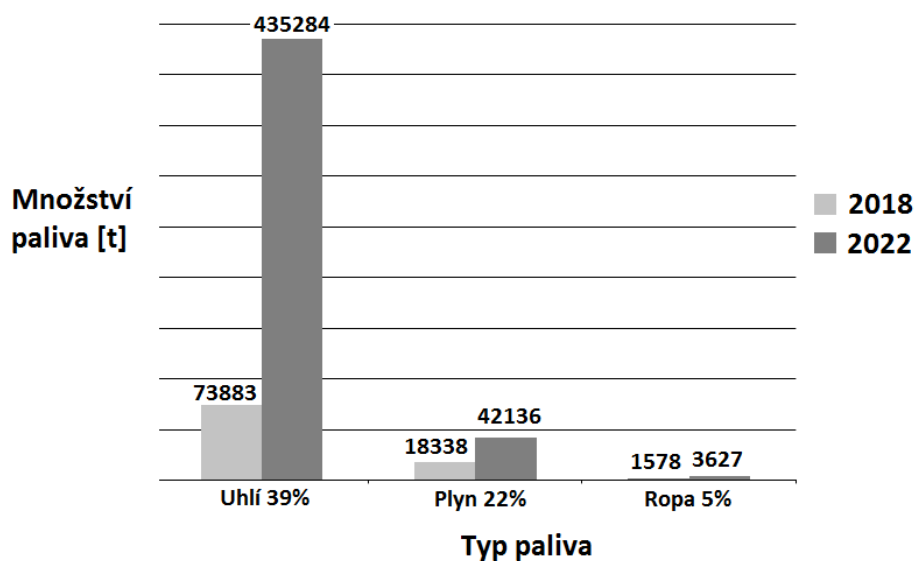
**Tab. 6: Přehled výkonu UAS jejich počtu a celkového výkonu<sup>[34][55][56]</sup>**

Rozměr	Název UAS	Výkon stroje [W]	Počet UAS [kus]	Výkon [W]
Micro	Hubsan x4	9	210000	1890000
Mini	DJI Mavic Pro	17	5985000	101745000
Medium	DJI Phantom 3	100	2205000	220500000
Large	DJI F550	450	1785000	803250000
				<b>1127385000</b>

Předpokládám, že množství paliva potřebné k vyrobení **100 kW** energie zůstane stejné jako v roce 2018:<sup>[54]</sup>

- 150 kg uhlí;
- 66 kg plynu;
- 25 kg ropy;

Dále při zachování stejného poměru obnovitelných a neobnovitelných zdrojů energie, kde podíl emitujících zdrojů energie by se zachoval na úrovni 66%, pro výrobu množství energie ekvivalentní **1127385000 W** by byla potřeba, využít cca **481047 t** paliva. V následujícím schématu uvádím rozdíl mezi potřebným množstvím paliva pro výrobu energie, potřebnou pro jednorázový provoz UAS v roce 2018 a 2022.



Obr. 26: Porovnání množství potřebného paliva pro výrobu energie potřebnou pro jedno využití UAS<sup>[54]</sup>

Výpočet emisí CO<sub>2</sub> v této kapitole byl proveden podle vzorce:<sup>[57]</sup>

$$E = M \times K1 \times TH3 \times K2 \times 44/12 \quad (4-1)$$

Výsledná hodnota po dosazení činí **0,4.10<sup>9</sup> t (CO<sub>2</sub>)/rok.**



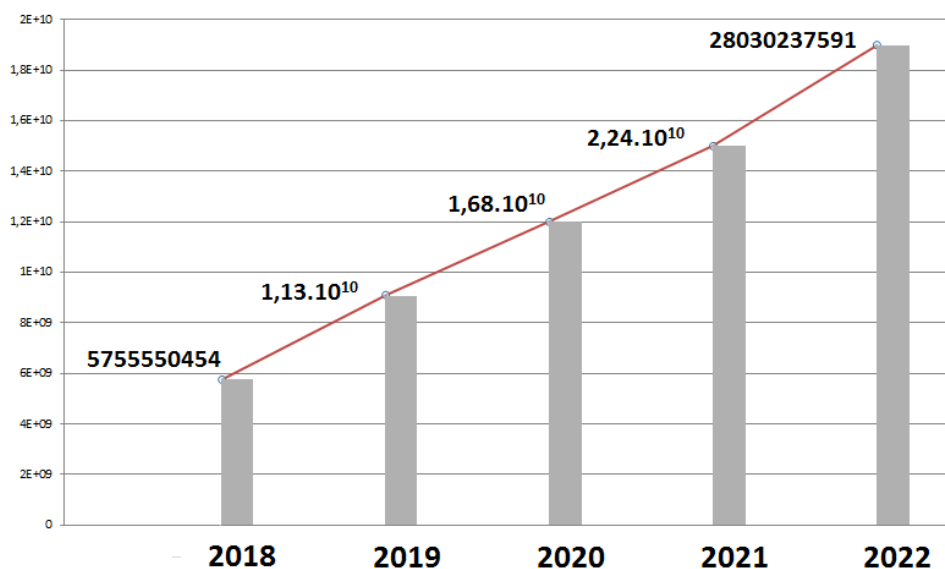
Rozvoj v oblasti UAS se spalovacím motorem především způsobuje jejich vhodnost pro logistické účely. Přibližný počet UAS pohaněné spalovacím motorem v roce 2022, by mohl odpovídat hodnotě 4500000<sup>[32]</sup>. Pro tento výpočet opětovně vyluzují UAS Year<sup>[58]</sup> a následně spočítám jaké množství CO<sub>2</sub> se vyprodukuje přímo břehem jednoho letu UAS.

**Tab. 7: Přehled objemu paliva spotřebované UAS, počtu UAS a celkové emise CO<sub>2</sub><sup>[32][58]</sup>**

Rozměr	Název UAV	Objem nádrže [l]	Počet UAV [kus]	Celkový objem benzínu [l]	Množství emise [t/rok]
Large	Goliath MKII	1,5	4500000	9000000	28030237591

Výsledná hodnota po dosažení činí  $2,7 \cdot 10^{10}$  t (CO<sub>2</sub>)/rok

Hodnota celkové emise CO<sub>2</sub> v roce 2022 by mohla činit  $2,8 \cdot 10^{10}$  t (CO<sub>2</sub>)/rok.



**Obr. 27: Růst množství CO<sub>2</sub> při přímé a nepřímé produkce energii**

Z výsledku je patrné, že množství vyprodukované emise během výroby energie pro využití UAS v roce 2022 může být cca 3 krát větší než množství, které se mohlo dostat do atmosféry v roce 2018. Samozřejmě jsem si vědoma toho, že tento odhad není 100% přesný, je zcela teoretický. Účelem této prognózy je pouze ukázat co může způsobit provoz UAS, jelikož málo kdo si zamysli nad tím, že i elektromotor může být, sice nepřímým, ale pořád zdrojem emise.

## Závěr

Hlavní cíl práce, tedy analýza vlivu UAS na životní prostředí byl splněn. Nejdřív jsem se zaměřila na emise, a pokusila se odhadnout, jaké množství emisních plynů se dostane do atmosféry, kvůli provozu UAS. Dále byly provedeny několik experimentů, pro zjištění hlučnosti UAS. Výsledky těchto experimentů a jejich vzájemný vliv na hlučnost byly prozkoumané za cílem hledání možnosti jejich omezení.

V kapitole číslo 4 jsem vypočítala množství emise, na základě informace poskytnuté provozovatelem a předpokladu o množství UAS v roce 2018. Ukázalo se, že množství emise, které přímo a nepřímo produkuje UAS tvoří cca jen 1% celkového množství emisí způsobených dopravními prostředky.

V následující kapitole jsem se v rámci experimentu, zabývala měřením hluku vybraných modelů UAS nejprve vzhledem k jejich váze a potom i typu vrtulí. V rámci experimentu bylo prokázáno, že nejen váha UAS určuje jeho hlučnost, ale také i tvar jeho rámu a tvar vrtulí. Na základě dosažených výsledků, je možno tvrdit, že zatím nelze značně ovlivnit velikost hluku UAS.

Je zřejmě patrné, že pokud jde o prognózu emisí, je docela snadné vytvořit předpoklad na základě informace uvedené výrobcem UAS, což je ale velmi těžké, tak to je předpoklad velikosti hlukového zatížení životního prostředí. A to z důvodu, že zatím není známo, jaké provozní podmínky budou stanovené, pro případ, kdy, například, počet UAS se přiblíží počtu obyvatel obce ve kterém se UAS bude provozovat. Zatím je pouze známo, že z pohledu obyvatelstva hluk UAS, v porovnání s ostatními dopravními prostředky, je nejnepříjemnější. Takovou reakci se dá vysvětlit tím, že na hluk dopravních prostředků si obyvatelstvo již stihlo zvyknout.

Hluk UAS je pro lidi nový, proto zatím neměli čas si na něj zvyknout. Proto pro kvalitní analýzu vlivu za 3-10 let je potřeba mít nejenom hodnoty hladiny intenzity, ale i informaci ohledně adaptační schopnosti organismu, které zatím nejsou známy, a které lze zvyšovat pouze opakovaným vystavováním.

# Citace

- [1] THE MORNING CHRONICLE. In: *newspapers.com* [online]. [cit. 13. 11. 2018].  
Dostupné z: [https://www.newspapers.com/title\\_7810/the\\_morning\\_chronicle/](https://www.newspapers.com/title_7810/the_morning_chronicle/)
- [2] DRONOMANIA. Istoriya razvitiya dronov. In: *dronomania.ru* [online]. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://dronomania.ru/faq/istoriya-razvitiya-dronov.html>
- [3] DAILY NEWS. In *newspapers.com* [online]. [cit.13.11.2018].  
Dostupné z: <https://www.newspapers.com/image/390588858/?terms=Tesla%2Btorpedo&match=5>
- [4] EVERETT, H. R., TOSCANO, Michael. *Unmanned Systems of World Wars I and II* [online]. Massachusetts Institute of Technology, 2015. [cit.13.11.2018]. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=fNjgCgAAQBAJ&pg=PA282&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?id=fNjgCgAAQBAJ&pg=PA282&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [5] SOLLINGER, Gunther. *The Development of Unmanned Aerial Vehicles in Germany (1914 – 1918)* [online]. Scientific Journal of Riga Technical University, 2010. [cit.13.11.2018]. Dostupné z: <https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/8968/fulltext>
- [6] FONTAINE, Yves, HENGST, Paul, JEZIOR, Barbara, LASHER, William, MOTSEK, Garry, SOSA, Arthur, WELLS, Billy. *AY 97 Compendium: Army After Next Project*. [online]. USA. CreateSpace Independent Publishing Platform, 1998. [cit.13.11.2018] Dostupné z: <https://books.google.ru/books?id=2IfDkT7-BzQC&pg=PA53#v=onepage&q&f=false>
- [7] LEVISON, Charles. Israeli Robots Remake Battlefield. In: *wsj.com* [online]. 13.01.2010 [cit. 25.12.2018].  
Dostupné z: <https://www.wsj.com/articles/SB126325146524725387>
- [8] ARNETT, George. The numbers behind the worldwide trade in drones. In: *theguardian.com* [online]. 16.03.2015 [cit. 25.12.2018]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/news/datablog/2015/mar/16/numbers-behind-worldwide-trade-in-drones-uk-israel>
- [9] BONE, Elizabeth, BOLKCOM, Christopher. *Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress* [online]. 2003 [cit.13.11.2018]. Dostupné z: <http://fas.org/irp/crs/RL31872.pdf>
- [10] WEEBLY. Modern Warfare. In: *weebly.com* [online]. [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <https://mq-1predator.weebly.com/mq-1-predator.html>
- [11] MICROKOPTER DRONES USER MANUAL. In: *dronesusermanuals.com* [online]. [cit.9.03.2019].  
Dostupné z: <https://www.dronesusermanuals.com/mikrokopter/>
- [12] NEEDLEMAN, Rafe. Parrot AR.Drone quadcopter gets better specs and software In: *cnet.com* [online]. 07.01.2010 [cit. 09.03.2019]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/ar-drone-helicopter-controllable-by-iphone/>
- [13] AMAZON. Amazon Prime Air. In: *amazon.com* [online]. 2013 [cit. 25.12.2018]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>
- [14] BRITISH BROADCASTING CORPORATION. First UK police drone unit launched in Devon, Cornwall and Dorset. In: *bbc.com* [online]. 14.07.2017 [cit. 09.03.2019]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-england-devon-40595540>
- [15]BLAIR, Robert. I was the first farmer in the US to use a drone. In: *virgin.com* [online] 2016. [cit. 02.12.2018].Dostupné z: <https://www.virgin.com/virgin-unite/business-innovation/i-was-first-farmer-us-use-drone>
- [16] KELLY Matt. Pollinating drones: Cool patent. Wise investment. In: *thebeereport.com* [online]. 03.04.2018. [cit. 02.12.2018]. Dostupné z: <https://thebeereport.com/2018/04/03/pollinating-drones-cool-patent-wise-investment/>
- [17] CABLE NEWS NETWORK. Drone finds 1,000-year-old village. In: *cnn.com* [online]. 17.04.2014 [cit. 02.12.2018]. Dostupné z: <https://edition.cnn.com/videos/us/2014/04/17/dnt-drone-discovers-village-in-new-mexico.krqe>
- [18] FRALING, Michelle. Drones Are Revolutionizing Journalism, but Congress Could Curb This New Tool. In: *aclu.org* [online]. 04.09.2018 [cit. 02.12.2018]. Dostupné z: <https://www.aclu.org/blog/free-speech/photographers-rights/drones-are-revolutionizing-journalism-congress-could-curb-new>

- [19] MARGARITOFF Marco. The EagleRay XAV Amphibious Drone Can Dive and Fly. In: thedrive.com [online]. 15.02. 2018 [cit. 02.02.2019]. Dostupné z: <https://www.thedrive.com/tech/18512/the-eagleray-xav-amphibious-drone-can-dive-and-fly>
- [20] JOSHI, Divya. Exploring the latest drone technology for commercial, industrial and military drone uses. In: businessinsider.com [online]. 13.7. 2017 [cit. 02.12.2018]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-2017-7>
- [21] MEOLA, Andrew. Drone Technology and Usage. In: businessinsider.com [online]. 15.04.2016 [cit.02.12.2018]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/drone-usage-is-thriving-in-these-three-us-states-2016-4>
- [22] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY .PŘEDPIS L 2* [online]. 2018 [cit. 1.03.2019]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [23] IVANOV, Andrej. Kak ustrojen dron. In: iot.ru [online] 08.11.2016 [cit. 06.12.2018]. Dostupné z: <https://iot.ru/gadzhety/kak-ustroen-dron>
- [24] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Drones and Wildfires Don't Mix-Period. In: *faa.gov* [online]. 15.08.2018 [cit. 15.11.2018]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=91287&omniRss=news\\_updatesAoc&cid=101\\_N\\_U](https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=91287&omniRss=news_updatesAoc&cid=101_N_U)
- [25] CARSON, Erin. Autonomous drones map historic landmark, could save construction industry billions. In: *techrepublic.com* [online]. 26.05.2016 [cit. 15.11.2018]. Dostupné z: <https://www.techrepublic.com/article/autonomous-drones-map-historic-landmark-could-save-construction-industry-billions/>
- [26] CHINA PLUS. China successfully tests artificial rain enhancement using drones. In: *chinaplus.cri.cn* [online]. 24.12.2017 [cit. 15.11.2018]. Dostupné z: <http://chinaplus.cri.cn/news/china/9/20171224/69155.html>
- [27] HUMAN FLYING DRONE. In: Youtube [online]. 20. 12. 2016 [cit.01.03.2019]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=At3xcj-pTjg>. Kanál uživatele CaseyNeistat.
- [28] MUSE- DRONES TOUR. In: Youtube [online]. 17. 4. 2016 [cit.01.03.2019]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ygtB53PVFA>. Kanál uživatele Trancealien1.
- [29] INTEL. Drone Light Shows Powered by Intel. In: *intel.com* [online]. 2006 [cit. 01.03.2019]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/technology-innovation/aerial-technology-light-show.html>
- [30] BOJKO, Andrej. Gazprom neft budet ispolzovat drony dlja nabljudeniya za nefteprovodami. In: *neftegaz.ru* [online]. 05.10.2015 [cit. 05.03.2019]. Dostupné z: [https://neftegaz.ru/news/aviatehnika/227048-gazprom-neft-budet-ispolzovat-drony-dlya-nabljudeniya-za-nefteprovodami/#\\_scoop\\_post=bc1daef0-6bb6-11e5-ffba-00221934899c&\\_scoop\\_topic=981914](https://neftegaz.ru/news/aviatehnika/227048-gazprom-neft-budet-ispolzovat-drony-dlya-nabljudeniya-za-nefteprovodami/#_scoop_post=bc1daef0-6bb6-11e5-ffba-00221934899c&_scoop_topic=981914)
- [31]EUROZPRÁVY.CZ. Nejmocnější země světa. Situace se vyvíjí hodně na Východ. In: *eurozpravy.cz* [online]. 19.03.2017 [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <https://eurozpravy.cz/zahranicni/eu/185025-nejmocnejsi-zeme-sveta-situace-se-vyviji-hodne-na-vychod/>
- [32] INTERACT ANALYSIS. Commercial Drones in 2022 – Our Predictions. In: *eurozpravy.cz* [online]. [cit. 06.12.2018]. Dostupné z: <https://www.interactanalysis.com/drones-market-2022-predictions/>
- [33] VRÁNA, Václav. ZÁKLADY ELEKTRICKÝCH POHONŮ [online]. 2004 [cit.06.03.2019]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FS/prednasky/sylab\\_pohony\\_bc%20FS.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_pohony_bc%20FS.pdf)
- [34] DRONEGEEK. Kvadrokopter svojimi rukami. In: *drongeek.ru* [online]. 09.03.2018 [cit.02.04.2019]. Dostupné z: <https://drongeek.ru/profi/kvadrokopter-svoimi-rukami>
- [35] SCHROTH, Frank. Drone Energy Sources – Pushing the Boundaries of Electric Flight. In: *dronelife.com* [online]. 06.06.2017 [cit. 06.03.2019]. Dostupné z: <https://dronelife.com/2017/06/06/drone-energy-sources-pushing-boundaries-electric-flight/>
- [36] HANUS, Daniel. Pohon letadel. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02706-6.
- [37] IGOR, EGOROV. Termoyadernyje raketnyje dvigateli. In: *popmech.ru* [online]. 27.12.2017 [cit.02.04.2019]. Dostupné z: <https://www.popmech.ru/technologies/13946-zvezdnye-korabli/#part3>
- [38] FETISOV, NEUGODNIKOV, ADAMOVSII, KRASNOPEROV. Bepilotnaya aviacia. In: *arsenal-info.ru* [online]. [cit.21.12.2018]. Dostupné z: <https://arsenal-info.ru/b/book/3398882726/1>

- [39] ČORBA, Stanislav. Aerodynamika, konstrukce a systémy letadel: studijní modul 13. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-7204-395-1.
- [40] LNĚNIČKA, Jaroslav. Samokřídla. In: [airspace.cz](http://airspace.cz) [online] 16.11.2011 [cit. 06.12.2018]. Dostupné z: [https://www.airspace.cz/akademie\\_letectvi/2011/12/samokridla/](https://www.airspace.cz/akademie_letectvi/2011/12/samokridla/)
- [41] DIGITEC.CH. Parrot Disco FPV. In: [digitec.ch](http://digitec.ch) [online] . [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: <https://www.digitec.ch/en/s1/product/parrot-disco-fpv-14mp-full-hd-drones-5885572>
- [42] NEŠTRÁK, Dušan, PÍLA, Ján. Aerodynamika, konstrukce a systémy vrtulníků: studijní modul 12. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-484-2.
- [43] SVĚT DRONU. VELKÝ PRŮVODCE: Základy pro stavbu dronu. In: [airspace.cz](http://airspace.cz) [online] [cit. 06.12.2018]. Dostupné z: <https://svetdronu.net/velky-pruvodce-zaklady-pro-stavbu-dronu/>
- [44] LOON. Balloon-Powered Internet. In: [loon.co](http://loon.co) [online] 2013 [cit. 06.12.2018]. Dostupné z: <https://loon.co/technology>
- [45] PANASONIC. Develops ballooncam(TM) Prototype, A Drone System for Staging Sports And Events. In: [news.panasonic.com](http://news.panasonic.com) [online]. 22.06.2016 [cit. 06.12.2018]. Dostupné z: <https://news.panasonic.com/global/topics/2016/45314.html>
- [46] ČESKO. Zákon č. 49/1997 Sb. ze dne 28.03.1997, zákon o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb. In: [zakonyprolidi.cz](http://zakonyprolidi.cz) [online]. [cit. 31. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49>
- [47] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Příprava společných evropských pravidel. In: [caa.cz](http://caa.cz) [online]. 14.03.19 [cit. 26.03.2019]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/priprava-spolecnych-evropskych-pravidel>
- [48] ČESKO. Zákon č. 17/1992 Sb., ze dne 16.01.1992, Zákon o životním prostředí. In: [zakonyprolidi.cz](http://zakonyprolidi.cz) [online]. [cit. 31. 10. 2018]. Dostupné z: <https://zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>
- [49] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Co je to hluk. In: [mzcr.cz](http://mzcr.cz) [online]. 01.12.2015 [cit. 31.10.2018]. Dostupné z: [http://www.mzcr.cz/hlukovemapy/obsah/co-je-to-hluk\\_3416\\_30.html](http://www.mzcr.cz/hlukovemapy/obsah/co-je-to-hluk_3416_30.html)
- [50] DOUCHA, Pavel, BERNARD, Michal, FADRŇÝ, Martin, MATĚJKA, Lukáš. *Hluk ve vnějším prostředí. Právní rádce občana obtěžovaného hlukem.* [online]. 31.08. 2007 [cit. 31.10.2018]. Dostupné z: [http://hluk.eps.cz/files/Hluk\\_brozura.pdf](http://hluk.eps.cz/files/Hluk_brozura.pdf)
- [51] CHRISTIAN, Andrew, CABELLY, Randolph. Initial Investigation into the Psychoacoustic Properties of Small Unmanned Aerial System Noise. In: [ntrs.nasa.gov](http://ntrs.nasa.gov) [online] 05.06.2017 [cit. 23.02.2019]. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170005870>
- [52] BRANIŠ, Martin, HŮNOVÁ Iva. *Atmosféra a klima. Aktuální otázky znečištění ovzduší.* [online] Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2009. ISBN 978-80-246-3118-9. [cit.20.11.2018]. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=t7LbDAAAQBAJ&pg=PA254&lpg=PA254&dq=liniov%C3%A9+zdroje&source=bl&ots=301kdG9T\\_d&sig=ACfU3U0\\_oTVOHkWRDGDZCWXCkqvlvc4LvQ&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwjG44Hj4b3hAhXD16QKHdXkCfkQ6AEwBnoECAkQAO](https://books.google.cz/books?id=t7LbDAAAQBAJ&pg=PA254&lpg=PA254&dq=liniov%C3%A9+zdroje&source=bl&ots=301kdG9T_d&sig=ACfU3U0_oTVOHkWRDGDZCWXCkqvlvc4LvQ&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwjG44Hj4b3hAhXD16QKHdXkCfkQ6AEwBnoECAkQAO)
- [53] ČESKO. Zákon č. 165/2002 Sb., ze dne 31.01.2002, Zákon o podporovaných zdrojích energie a související předpisy. In: [tzb-info.cz](http://tzb-info.cz) [online] [cit. 31. 10. 2018]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-165-2002-sb-a-souvisejici-predpisy>
- [54] ANALITIČESKIJ CENTR PRI PRAVITĚLSTVĚ ROSSIJSKOJ FERERACII. Dinamika potreblenija elektroenergii kak indikator ekonomiceskoj aktivnosti. In: [ac.gov.ru](http://ac.gov.ru) [online] 2016 [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/7945.pdf>
- [55] DJI. In: [dji.com](http://dji.com) [online] [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/products>
- [56] HUBSAN. In: [hubsan.com](http://hubsan.com) [online] [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: [https://www.hubsan.com/eur/index.php?main\\_page=index&country=Czech%20Republic&lang=English%20%2F%E2%82%AC%20EUR&origin=Europe&spt\\_lang=uk&zenid=mvctb3l672hqvivi29d12igf77](https://www.hubsan.com/eur/index.php?main_page=index&country=Czech%20Republic&lang=English%20%2F%E2%82%AC%20EUR&origin=Europe&spt_lang=uk&zenid=mvctb3l672hqvivi29d12igf77)
- [57] RUSKÁ FEDERACE. Metodika rasčeta vybrosov parnikovych gazov. In: [sro150.ru](http://sro150.ru) [online] 2012 [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rasčeta-vybrosov-parnikovych-gazov>
- [58] YEAIR. Table of Specs. In: [yeair.de](http://yeair.de) [online] [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://yeair.de/specs/>

- [59] GLOBE24.CZ. Největší škůdce ovzduší: auto, letadlo, nebo sopka. In: *globe24.cz* [online] 07.05.2017 [cit. 2.4.2019]. Dostupné z: <https://globe24.cz/technika/33221-nejvetsi-skudce-ovzdusi-auto-letadlo-nebo-sopka>
- [60] MALÁ, ZUZANA, NOVÁKOVÁ, DANUŠE, NOVÁK RUDOLF. Fyzika II. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04365-3.
- [61] CIVIL AVIATION AUTHORITY. Unmanned aircraft and drones. In: *caa.co.uk* [online] 2015 [cit. 10.4.2019]. Dostupné z: <https://www.caa.co.uk/Consumers/Unmanned-aircraft-and-drones/>
- [62] CIVIL AVIATION AUTHORITY OF SINGAPORE. Types of UA permits. In: *caas.gov.sg* [online] 04.10.2018 [cit. 10.4.2019]. Dostupné z: <https://www.caas.gov.sg/public-passengers/unmanned-aircraft-systems/permit-application>
- [63] LUFTFASRTSTILSYNET. Frequently asked questions about drones/remotely piloted aircraft systems (RPAS). In: *luftfartstilsynet.no* [online] 23.05.2018 [cit. 10.4.2019]. Dostupné z: <https://luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/RPAS-FAQ/>
- [64] UPC. Která wi-fi je lepší. In: *upc.cz* [online] [cit. 20.4.2019]. Dostupné z: <https://www.upc.cz/pece-o-zakazniky/sluzby/internet/pruvodce-nastaveni-wi-fi/ktera-wifi-sit-je-lepsi-2-GHz-nebo-5-GHz/>
- [65] SCHNEIDER, Jennifer. Mikrowelle: Schädlich oder nicht. In: *praxistipps.focus.de* [online] 25.04.2017 [cit. 09.04.2019]. Dostupné z: [https://praxistipps.focus.de/mikrowelle-schaedlich-oder-nicht\\_29958](https://praxistipps.focus.de/mikrowelle-schaedlich-oder-nicht_29958)
- [66] PEREL'MUTER, ČA, ČUPRIKOVA. MEDIKO-BIOLOGIČESKIJE ASPEKTY VZAIMODĚJSTVIJA ELEKTROMAGNITNYCH VOLN S ORGANIZMOM. Tomsk: Tomskij Politechničeskij universitet, 2009. In: *docplayer.ru* [online] 2018 [cit. 22.12.2018]. Dostupné z: <https://docplayer.ru/67170325-Mediko-biologicheskie-aspekty-vzaimodeystviya-elektromagnitnyh-voln-s-organizmom.html>
- [67] WOLFGANG, NEUMANN. Utilizacija jadernych ochodov. [online]. 2011 [cit.23.04.2019]. Dostupné z: [https://gef.eu/wp-content/uploads/2017/01/GEF-11\\_12\\_RU\\_Nuclear\\_waste\\_management\\_web.pdf](https://gef.eu/wp-content/uploads/2017/01/GEF-11_12_RU_Nuclear_waste_management_web.pdf)
- [68] GIDROMETCENTR ROSSII. Škala Bofola dl'a vizual'noj ocenky sily (skorosti) vetra. In: *meteoinfo.ru* [online] [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://meteoinfo.ru/bofort>
- [69] SHARGHI, Kayvon. Exploring Drone Aerodynamics with Computers. In: *nasa.gov* [online] 07.09.2017 [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/image-feature/ames/exploring-drone-aerodynamics-with-computers>
- [70] MADROBOTS. Kompanija, kotoraja utilizirujet atmosfernyj uglekislyj gaz, zapuskajet proizvodstvo metana. In: *habr.com* [online] 07.10. 2018 [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/425621/>
- [71] TASS. V Švejcarii razrabatyvajut tehnologiju zarjadky bespilotnikov v vozduche pri pomoši lazera. In: *news.rambler.ru* [online] 09.11. 2018 [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: [https://news.rambler.ru/tech/41240872/?utm\\_content=rnews&utm\\_medium=read\\_more&utm\\_source=copylink](https://news.rambler.ru/tech/41240872/?utm_content=rnews&utm_medium=read_more&utm_source=copylink)
- [72] SUN, Haobo, WANG, Wei, YU, Zhijing, YUAN Yan, WANGA, Shuai, JIAO, Shuqiang. A new aluminium-ion battery with high voltage, high safety and low cost. *Chemical Communications. The Royal Society of Chemistry*, 2015. In: *pubs.rsc.org* [online] 2015 [cit. 26.2.2019]. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2015/CC/C5CC00542F#!divAbstract>
- [73] DRONEII ONLINE, COMERCIAL UAV EXPO. 7 Commercial Drone Predictions for 2017. In: *i2.wp.com* [online] 2017 [cit.04.02.19]. Dostupné z: <https://i2.wp.com/www.droneii.com/wp-content/uploads/2017/01/7-Commercial-Drone-Predictions-for-2017-comp.png?w=2398&ssl=1>. Vlastní úprava.
- [74] DEPOSITPHOTO. Lorem Ipsum. In: *st3.depositphotos.com* [online] [cit. 09.02.19]. Dostupné z: [https://st3.depositphotos.com/1000618/13496/v/1600/depositphotos\\_134965976-stock-illustration-web-template-of-a-chart.jpg](https://st3.depositphotos.com/1000618/13496/v/1600/depositphotos_134965976-stock-illustration-web-template-of-a-chart.jpg). Vlastní úprava.
- [75] INFOGRAPHICS. Six Element PowerPoint Strategy Infographic Presentation Diagram. In: *drnm.me* [online] [cit. 12.09.19]. Dostupné z: <https://drnm.me/product-roadmap-infographic/six-element-powerpoint-strategy-infographic-presentation-diagram-3/>. Vlastní úprava.

## Seznam obrázků

<u>Obr. 1: Bombardování Benátek (vpravo), Franz von Juhatik (vlevo),<sup>21</sup></u>	8
<u>Obr. 2: Rádiem řízenou loď (vlevo), Nikola Tesla (vpravo)<sup>[2]</sup></u>	8
<u>Obr. 3 :Okřídlená bomba Ketteringa (vlevo), Charles Kettering (vpravo)<sup>[2]</sup></u>	9
<u>Obr. 4:Letouny Firebee(Zepředu: Q-2A, KDA-1 (AQM-34B), XM21, KDA-4 (AQM-34C))<sup>[2]</sup></u>	10
<u>Obr. 5 : Celkový export UAS (1985-2014)<sup>[8]</sup></u>	10
<u>Obr. 6: MQ-1 Predator<sup>[10]</sup></u>	11
<u>Obr. 7: Parrot AR.Drone<sup>[12]</sup></u>	11
<u>Obr. 8: Rozměrové kategorie provozovaných UAS v roce 2016 a jejich počet.<sup>[21]</sup></u>	14
<u>Obr. 9: Sféry využití UAS.<sup>[73]</sup></u>	15
<u>Obr. 10: Struktura zajmu o komerční UAS v roce 2016<sup>[19]</sup></u>	17
<u>Obr. 11: Poptávka po civilních UAS<sup>[32]</sup></u>	17
<u>Obr. 12: Typy pohonu UAS a jejich rozdělení z hlediska vlivu na životní prostředí.<sup>[35][37][74]</sup></u>	18
<u>Obr. 13: Schéma elektromotoru. Schéma kolektorového motoru (vlevo), schéma bezkolektorového motoru (vpravo).<sup>[34]</sup></u>	19
<u>Obr. 14: MQ-1 Predator<sup>[10]</sup></u>	21
<u>Obr. 15: Parrot Disco FPV<sup>[41]</sup></u>	22
<u>Obr. 16: RQ-8A Fire Scout<sup>[38]</sup></u>	22
<u>Obr. 17: Loon<sup>[38]</sup></u>	24
<u>Obr. 18: Ballooncam<sup>[39]</sup></u>	24
<u>Obr. 19: Prostory pro provoz letounu v České Republice.<sup>[22]</sup></u>	26
<u>Obr. 20: Výsledky akustického experimentu (Černé kruhy a červená čára vyznačují odpovědi, které respondenti poskytli při poslechu zvuků UAS, modré trojúhelníky a tečkovaná červená čára vyznačují odpovědi, které respondenti poskytli při poslechu zvuků jiných vozidel.)<sup>[51]</sup></u>	29
<u>Obr. 21: Poměr množství vyrobené elektřiny (Světle modrá část vyznačuje podíl obnovitelných zdrojů, tmavě modrá část vyznačuje podíl neobnovitelných zdrojů)<sup>[54][75]</sup></u>	30
<u>Obr. 22: Mapování zón nízkého tlaku</u>	38
<u>Obr. 23: Vrtule Low-Noise a Regular.</u>	39
<u>Obr. 24: Poptávka po civilních UAS<sup>[32]</sup></u>	43
<u>Obr. 25: Porovnání množství UAS různých rozměrových kategorií<sup>[32]</sup></u>	44
<u>Obr. 26: Porovnání množství potřebného paliva pro výrobu energie potřebnou pro jedno využití UAS.<sup>[54]</sup></u>	45
<u>Obr. 27: Růst množství CO<sup>2</sup> při přímé a nepřímé produkce energii.</u>	46

## Seznam tabulek

<u>Tab. 1: Přehled výkonu UAS jejích počtu a celkového výkonu.</u> <sup>[34][55][56]</sup> .....	31
<u>Tab. 2: Emise CO<sub>2</sub>, která byla vyprodukovaná během výroby energie.</u> <sup>[54]</sup> .....	32
<u>Tab. 3: Přehled objemu paliva spotřebované UAS, počtu UAS a celkové emise CO<sub>2</sub>.</u> <sup>[32][58]</sup> ..	33
<u>Tab. 4: Závislost hlučnosti UAS na jeho hmotnosti</u> <sup>[49]</sup> .....	38
<u>Tab. 5: Intenzity hladiny zvuku vrtuli typu Low-Noise a Regular.</u> .....	39
<u>Tab. 6: Přehled výkonu UAS jejích počtu a celkového výkonu.</u> <sup>[34][55][56]</sup> .....	44
<u>Tab. 7: Přehled objemu paliva spotřebované UAS, počtu UAS a celkové emise CO<sub>2</sub>.</u> <sup>[32][58]</sup> .	46