

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní
Institut dopravy

Měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry pro
hodnocení kvality ovzduší s využitím leteckých
bezpilotních prostředků

Measurement of Atmosphere Ground Layer Parameters
for Air Quality Assessment by UAV Utilization

Student:

Tomáš Zavacký

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Zavacký**

Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy

Téma: **Měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry pro hodnocení kvality ovzduší s využitím leteckých bezpilotních prostředků**
Measurement of Atmosphere Ground Layer Parameters for Air Quality Assessment by UAV Utilization

Zásady pro vypracování:

1. Analyzovat situaci v oblasti bezpilotních prostředků.
2. Analyzovat situaci v oblasti znečištění přízemní vrstvy atmosféry.
3. Analyzovat možnosti měření definovaných znečišťujících látek.
4. Navrhnout možnosti měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry pro hodnocení kvality ovzduší s využitím leteckých bezpilotních prostředků.

Seznam doporučené odborné literatury:

Zákon č. 201/2012 Sb. - o ochraně ovzduší a související předpisy

Informace o kvalitě ovzduší v MSK dostupné např. na adrese:

http://www.mzp.cz/cz/moravskoslezsky_kraj_ovzduši

Informace k provozu bezpilotních prostředků nad územím ČR, dostupných na adrese: <http://uav-uas.cz/provoz-a-povoleni-k-letu-bezpilotnich-leteckych-prostredku-uav-a-uas-nad-uzemim-ceske-republiky/>

Doplněk X k leteckému předpisu L-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Petru Jančíkovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při zpracování této bakalářské práce. Mé poděkování patří také mým spolužákům Kristýně Lešenarové, Janu Bojkovi a Aleši Stuchlíkovi za zkonstruování bezpilotního prostředku, bez kterého by tato práce nemohla vzniknout.

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Zavacký

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Hájenky 610, Orlová, 735 14

Anotace bakalářské práce:

Zavacký, T. *Měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry pro hodnocení kvality ovzduší s využitím leteckých bezpilotních prostředků*. Bakalářská práce. Ostrava: Institut dopravy. Fakulta strojní. VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2014. 49 stran

Vedoucí práce doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Bakalářská práce pojednává o možnosti měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry pomocí bezpilotního prostředku. Na bezpilotní prostředek byly umístěny snímače prachu, oxidu uhelnatého, teploty a vlhkosti. Podle určitého postupu byly naplánovány a provedeny dvě série letů, které jsou následně vyhodnoceny. Bakalářská práce mimo jiné obsahuje popis bezpilotního systému s názvem Stalker.

Anotation of bachelor thesis:

Zavacký, T. *Measurement of Atmosphere Ground Layer Parameters for Air Quality Assesment by UAV Utilization*. Bachelor thesis. Ostrava: Institute of transport, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava. 2014. 49 pages

Thesis head doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Bachelor thesis deals about opportunity to measure atmosphere ground layer parameters by UAV Utilization. In front part of UAV was placed dust sensor, carbon dioxide sensor, temperature and density sensor. According the certain procedure was planned and performed two series of flights. Flights are subsequently evaluated. Part of bachelor thesis is description of UAS named Stalker.

Obsah

Seznam zkratk	9
1. Úvod	10
1.1 Cíl práce	10
2. Bezpilotní prostředky a jejich využití pro měření	11
2.1 Dělení bezpilotních prostředků	11
2.2 Důvody využití	12
2.3 Bepilotní prostředky pro vědecké využití	13
3. Legislativní rámec pro provoz bezpilotních prostředků	16
3.1 Základní pojmy	16
3.2 Proces evidence	17
3.2.1 Evidence bezpilotního prostředku	17
3.2.2 Evidence pilota	17
3.3 Podmínky pro let bezpilotního prostředku	19
4. Popis bezpilotního systému Stalker	21
4.1 Části systému	21
4.1.1 Bepilotní letadlo Stalker	22
4.1.2 Řídící stanice	25
4.1.3 Stanoviště řízení letu	25
5. Návrh měření UAS Stalker	26
5.1 Znečištění ovzduší	26
5.1.1 Charakteristika zájmové oblasti	27
5.1.2 Stav měření znečišťujících látek v ovzduší	27
5.2 Měření vertikálních profilů znečištění	28
5.2.1 Rozptylové podmínky	29
5.2.2 Měřené veličiny	30
5.2.3 Návrh provedení měření vertikálních profilů znečištění	32
6. Provedení měření pomocí UAS Stalker	34
6.1 Příprava měření	34
6.1.1 Výběr plochy	34
6.1.2 Charakteristika meteorologická situace	35
6.2 Provedení měření	37
6.3 Vyhodnocení jednotlivých měření	38

6.3.1 Zpracování dat	40
6.3.2 Grafické výstupy	40
7. Diskuze výsledku, závěr	44
8. Seznam použité literatury	46
9. Seznam příloh	48
Příloha A - Vývojový diagram k evidenci bezpilotního prostředku	49

Seznam zkratek

Zkratka	Český tvar	Anglický tvar
UA	Bezpilotní letadlo	Unmanned Aircraft
UAS	Bezpilotní systém	Unmanned Aerial System
ATZ	Letištní provozní zóna	Aerodrome Traffic Zone
AFIS	Letištní letová informační služba	Aerodrome Flight Information Service
CTR	Řízený okrsek	Control Zone
TRA	Dočasně vymezený prostor	Temporary Restricted Area
TSA	Dočasně vyhrazený prostor	Temporary Segregated Area
GPS	Globální navigační systém	Global Positioning System
PM	Prachové částice	Particulate Matter
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav	Czech Hydro meteorological Institute
GIS	Geografický informační systém	Geographic Information System
MSA	Mezinárodní standardní atmosféra	International Standard Atmosphere

1. Úvod

Bakalářská práce vznikla v rámci projektů: Výzkum vertikálních charakteristik přízemní vrstvy atmosféry SP2013/95 a Výzkum znečišťování životního prostředí SP2014/127, jejichž jsem byl členem. Cílem projektů bylo zkonstruovat bezpilotní letadlo schopné nést požadované snímače. Spolu se svými spolužáky jsme vytvořili tým pod vedením doc. Ing. Petra Jančíka, Ph.D. Tento tým tvořili: Kristýna Lešenarová, která navrhla a zkonstruovala bezpilotní prostředek, Jan Bojko letadlo vybavil palubními zařízeními včetně snímačů a veškeré elektroinstalace a Aleš Stuchlík navrhnul pohonnou jednotku a zabezpečil přenos dat mezi letadlem a zemí. S bezpilotním systémem Stalker jsme uskutečnili několik zalétávacích letů a také lety přímo zaměřené na měření. Mým úkolem bylo měření naplánovat, získaná data zpracovat a vyhodnotit. Závěrečným výstupem jsou vytvořené bakalářské práce jednotlivých členů týmu.

Kvalita ovzduší výrazně ovlivňuje náš každodenní život, naši náladu nebo pracovní výkon. O kvalitě ovzduší na Ostravsku slýcháváme ze sdělovacích prostředků poměrně často, hlavně v zimních měsících. Dnes již víme, kdo jsou naši znečišťovatelé a můžeme je dokonce i jmenovat. Předpokládáme, že v různých vrstvách přízemní atmosféry se nacházejí různé koncentrace znečišťujících látek, které mají původ z odlišných zdrojů. Není zde však žádné měřicí zařízení, které by dokázalo účinně sledovat, jak se koncentrace od zdroje v ovzduší šíří. Vyplývá z toho potřeba takového zařízení navrhnout. Vhodným řešením by mohli být právě bezpilotní prostředky, které se dokáží pohybovat určitou rychlostí na poměrně velké vzdálenosti.

1.1 Cíl práce

Tato bakalářská práce si jako hlavní cíl klade zjistit možnost, změřit vertikální rozložení znečištění přízemní vrstvy atmosféry. Pro tento účel bylo využito zmíněného bezpilotního systému Stalker, který je součástí projektu pro měření kvality ovzduší. V rámci práce bude analyzována situace v oblasti využití bezpilotních prostředků pro vědecké účely. Část práce bude zaměřená na legislativní podmínky provozu bezpilotních prostředků v České republice. Dle navržené metodiky bude provedeno měření, které bude vyhodnoceno. Na základě zhodnocení měření bude zformulován závěr.

2. Bezpilotní prostředky a jejich využití pro měření

Bezpilotní prostředky jsou nejvíce využívány armádami, kde našli velké uplatnění například při průzkumu nepřátelského území nebo při samotném boji. Lze je využít i pro střežení určitého prostoru například podél hranice. Mezi přednosti, které jsou využívány, patří: nižší cena, vytrvalost letu či dolet samotný. Díky tomu, že je bezpilotní prostředek ovládán na dálku, nedochází k riziku ohrožení života pilota. Absence pilota, také znamená, že nemusí být brán zřetel na jeho fyziologické možnosti, ale pouze na manévrovací schopnosti stroje. [1]

Nesmí být opomenuto ani na civilní využití, kde je potenciál obrovský. Oblasti, kterých se to týká, mohou být tyto: [2]

Vědecké mise – výzkum atmosféry, studium sopečné aktivity, oceánografické pozorování, výzkum hurikánů, geologický průzkum, předpovídání počasí

Mise v ohrožení - monitorování sopek, pátrací a záchranné mise, boj s požáry
monitorování radiace

Pozorovací mise – monitorování dopravy, přesné mapování terénu, sledování sklizně

2.1 Dělení bezpilotních prostředků

Dělení bezpilotních prostředků je různé. Lze je dělit podle výdrže nebo dostupu. V naší legislativě, konkrétně podle předpisu L2, Doplnku X jsou bezpilotní prostředky děleny podle určení na rekreačně sportovní, výdělečné, experimentální a výzkumné. Dělení podle hmotnosti ukazuje následující tabulka.

Kategorie	Hmotnost v kg
micro	$\leq 0,91$
mini	$> 0,91 < 7$
malé	7 - 20
střední	> 20

Tabulka 2.1: Rozdělení bezpilotních prostředků podle hmotnosti [3]

2.2 Důvody využití

Technický

Bezpilotní prostředek je složen ze dvou hlavních částí. První část tvoří samotný bezpilotní prostředek, tedy trup, křídla a pohonná jednotka. Druhou část pak senzory, snímače, lze ji nazvat jako užitečné zatížení. Senzory jsou pro bezpilotní prostředek velice důležité, protože nahrazují nepřítomnost člověka na palubě. Na bezpilotních prostředcích jich je umístěno poměrně velké množství, protože zachycují informace důležité pro let nebo poskytují záznamy o měřených látkách či veličinách. Senzory se zdokonalují, zmenšují a s ohledem na vyrobené množství i zlevňují. [1]

Ekonomický

Hlavní úsporou v této oblasti je to, že bezpilotní prostředek je bez pilota. Pilot klasického letadla musí být vycvičen, což je nákladné. Musí mít pracovní prostor, aby mohl ovládat svůj stroj, ale také i prostředí, ve kterém může dýchat. Výhoda tkví hlavně v úspoře místa, velikosti a hmotnosti. Pokud se prostředek delší dobu nepoužívá, lze jej snadno a levně uložit. V neposlední řadě je i vývoj takového stroje levnější. [1]

Výzkumný

Bezpilotní prostředky jsou často používány i pro testovací účely v letectví. Výrobci letadel tak mohou vyrobit prototyp, jinak civilního letadla bez posádky a mohou provádět zkoušky v reálných podmínkách levněji a zároveň s menším nebezpečím. [4]

Environmentální

Na tento aspekt je nevíce poukazováno u civilních letadel. Bezpilotní prostředky nevydávají téměř žádný hluk, pokud je použit elektromotor jako pohonná jednotka, jsou téměř neslyšitelné. Menší je i znečištění životního prostředí, v porovnání s klasickými letadly. Je nutné podotknout, že je to z důvodu menší hmotnosti a spotřebovaného paliva pro let. [4]

2.3 Bezpilotní prostředky pro vědecké využití

Pro účely seznámení se s využitím bezpilotních prostředků byly zpracovány rešerše, které se zaměřují právě na oblast s vědeckým využitím.

[Martin Řehák, VŠB-TU Ostrava, 2013] ve své bakalářské práci Snímače malých frekvencí a malých amplitud zkoumá problematiku měření nízkých frekvencí na dálku pomocí snímačů umístěné na bezpilotním letounu. Autor ve svém pokusu využívá snímač k rozpoznání střelby či vrtule jiného letounu na základě rozsahu frekvence nebo délky trvání. Poukazuje též na multifunkčnost vybraných snímačů.

[Jan Švanda, Hana Hustáková, Vladimír Fišer, Bohumil Šípek, Magazín Třípol, 2011]

V červnu 2011 vyšel článek v magazínu Třípol o radiačním monitorování, kterým se zabývá Oddělení diagnostiky a radiační bezpečnosti Ústavu jaderného výzkumu v Řeži u Prahy. Pracovníci tohoto ústavu zrealizovali pokus, který spočíval v umístění čidel schopných zachytit radioaktivní látky (radioizotopy) na bezpilotní dálkově ovládaný vrtulník.

[Watai, T; Machida, T; Ishizaki, N; Inoue, G, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, květen 2006] ve své práci A light observation system for atmospheric carbon dioxide concentration using a small unmanned aerial vehicle jako jedni z prvních představují možnost použití bezpilotního prostředku při měření CO₂ v mezní vrstvě atmosféry. Jejich bezpilotní prostředek zvaný Kit Plane, dokáže vystoupat do 3000 m. Dokáže nést měřicí zařízení o váze až 3,5 kg po dobu 1 hodiny s prodloužením na 1,5 hodiny. V závěru prezentují své výsledky měření v srpnu 2000 nad lesy v Japonsku. Shodují se, že provoz je ekonomičtější oproti letadlu pilotovaným člověkem.

[van den Kroonenberg, Aline; Martin, Tim; Buschmann, Marco; Bange, Jens; Vörsmann, Peter, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, listopad 2008] prezentují ve své práci Measuring the Wind Vector Using the Autonomous Mini Aerial Vehicle M²AV použití plně automatického bezpilotního prostředku pro měření síly větru. Popisují zde například kalibraci přístroje ve větrném tunelu a také dvou denní měření, které se uskutečnilo v Německu. Na závěr popisují, chybu při měření. Zároveň však dodávají, že chyba je zanedbatelná a nemá vliv na výsledné hodnoty.

[Felipe Gonzalez, Marcos P.G. Castro, Pritesh Narayan, Rod Walker, and Les Zeller, Journal of Field Robotics, říjen 2011] autoři článku Development of an Autonomous

Unmanned Aerial System to Collect Time-Stamped Samples from the Atmosphere and Localize Potential Pathogen Sources navazují na práci Gottwald & Tedders z roku 1985. Zabývají se vývojem autonomního bezpilotního systému, určeného ke sběru spor. Popisují zde jak samotný vývoj UAS, tak vývoj vzorkovacího systému pro odběr spor. V závěru zmiňují nevýhodu tohoto systému, a to že nedokáže monitorovat pohyb spor a jejich zdroj.

[Robert Monroe, Scrips Institution of Oceanography UC Sand Diego, 2008] autor článku *Unmanned Aircraft to Study Southern California Smog and its Consequences* popisuje využití sofistikovaného bezpilotního prostředku pro měření znečištění ovzduší v Jižní Kalifornii. Letoun bude měřit ve výškách od 2000 do 12 000 stop, ale kvůli omezením národního leteckého úřadu, bude bezpilotní prostředek létat pouze ve vojenské oblasti, která nepodléhá regulacím úřadu. Měsíční měření poskytnou bezprecedentní výsledky, jak znečištění ovzduší ovlivňuje regionální kvalitu vzduchu. Vedoucí výzkumu Profesor V. Ramanathan popisuje souvislost mezi změnou klimatu a znečištěním ovzduší. Důsledkem znečištění ovzduší může být například zrychlené tání sněhu. Autor článku se také zmiňuje o již dříve uskutečněných měřeních pomoci letadla na Maledivách a v Asii.

[Eija Honkavaara, Heikki Saari, Jere Kaivosoja, Ilkka Pölönen, Teemu Hakala, Paula Litkey, Jussi Mäkynen and Liisa Pesonen, Remote Sensing — Open Access Journal, 2013] představují v článku Processing and Assessment of Spectrometric, Stereoscopic Imagery Collected Using a Lightweight UAV Spectral Camera for Precision Agriculture další možnost využití bezpilotních prostředků pro „přesné“ zemědělství. Zkoumali možnost dálkového průzkumu země pomocí nové spektrální kamery, kterou připevnili na bezpilotní prostředek.

[Amirreza M. Khaleghi, Dong Xu, Zhenrui Wang, Mingyang Li, Alfonso Lobos, Jian Liu, Young-Jun Son, Elsevier, 2013] navrhli systém monitorování pro efektivní a účinný dohled nad davem lidí za využití bezpilotního prostředku a publikovali ho v práci s názvem A DDDAMS-based planning and control framework for surveillance and crowd control via UAVs and UGVs. Zabývají se rozdílným chováním jedince a skupiny v davu. Dodávají však, že budoucí studie musí jejich závěry potvrdit ve skutečných podmínkách.

[Jonathan Lisein, Marc Pierrot-Deseilligny, Stéphanie Bonnet, Philippe Lejeune, Forests- Open Access Journal, 2013] popisují v článku A Photogrammetric Workflow

for the Creation of a Forest Canopy Height Model from Small Unmanned Aerial System Imagery mapování lesů za pomoci malého bezpilotního letadla. Autoři se v článku zaměřují na použití kombinované fotogrammetrie s cílem modelovat tvar lesu z malé výšky.

[Claude Flener, Matti Vaaja, Anttoni Jaakkola, Anssi Krooks, Harri Kaartinen, Antero Kukko, Elina Kasvi, Hannu Hyypä , Juha Hyypä, Petteri Alho, Forests- Open Access Journal, 2013] tito autoři popisují novou metodiku pro tvorbu terénních modelů říčních koryt. Spojují mobilní laserové skenování spolu s bezpilotním prostředkem. Výsledky své práce publikují v článku s názvem Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography.

[Rndr. Jakub Miřijovský, Univerzita Palackého Olomouc, 2013] autor ve své disertační práci Fotogrammetrický přístup při sběru geodat pomocí bezpilotních leteckých zařízení navrhuje koncept nasazení bezpilotních prostředků pro fotogrammetrii a ověřuje jej na dvou studiích. První studie se zabývá snímkováním koryta vodního toku řeky Moravy a druhá studie sběrem dat z archeologického průzkumu lokality Tepenec, kde se nacházel hrad. Výstupem obou studií jsou například 3D modely terénu, fotoplány nebo mapy. V závěru autor shrnuje získané poznatky a poukazuje na potenciál využití bezpilotních prostředků

[Sebastian d'Oleire-Oltmanns , Irene Marzolff , Klaus Daniel Peter, Johannes B. Ries, Open Access Journal, 2012] publikují ve svém článku Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco využití bezpilotního prostředku Sirisu I pro dálkový průzkum země, konkrétně monitorují erozi půdy v Maroku. Průzkumy jsou prováděny na různých místech a různých výškách. Cílem bylo poskytnout data s vysokým i nižším rozlišením. Autoři tak chtěli plně využít potenciál zvoleného bezpilotního prostředku pro účely mapování.

Těmito rešeršemi bylo potvrzeno, že bezpilotní prostředky mají široké spektrum využití v různých vědeckých disciplínách a hodí se tak i pro náš zamýšlený účel měření znečištění ovzduší.

3. Legislativní rámec pro provoz bezpilotních prostředků

Cílem této kapitoly je popsat legislativní rámec pro provoz bezpilotního letadla v ČR a zároveň vysvětlit proces vydávání povolení k létání od úřadu pro civilní letectví.

Na základě ustanovení § 102 zákona č. 49/1997 Sb. a doplněním zákonem č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání uveřejnilo Ministerstvo dopravy letecký předpis L2 Pravidla létání. Nejnovější součástí je Doplněk X, jehož poslední verze byla vydána 30. 5. 2013. Stanovuje závazné požadavky na projektování, výrobu, údržbu změny a provoz bezpilotních systémů. Je také doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností 20 kg.

Samotným procesem vydávání povolení k létání se zabývá směrnice ÚCL CAA/S-SLS-010-n/2012. Neméně důležité je nařízení č. 785/2004, což je nařízení Evropského parlamentu vztahující se k pojištění leteckých dopravců a provozovatelů letadel.

3.1 Základní pojmy [3]

Provozování bezpilotního prostředku je věnován již zmíněný Doplněk X. Jako první je potřeba rozlišit různé pojmy a definovat tak rozdíly mezi autonomním letadlem, bezpilotním letadlem, bezpilotním systémem a modelem letadla.

Autonomní letadlo (Autonomous Aircraft) – je takové letadlo, které neumožňuje jakýkoliv zásah pilota do řízení letu.

Dálkově řízené letadlo (Remotely Piloted Aircraft) – je bezpilotní letadlo, které pilot ovládá dálkově. Může obsahovat automatický systém pro řízení letu.

Model letadla (Model Aircraft) – za model považujeme letadlo, které není schopné nést člověka na palubě. Je výhradně používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely. Není vybaveno žádným zařízením, které by umožňovalo automatický let na zvolené místo. Jestliže se jedná o dálkově řízený model pomocí vysílače, pak musí být pilotem řízen v jeho vizuálním dohledu.

Bezpilotní letadlo – označované též zkratkou UA (Unmanned Aircraft). To je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě. Jedná se o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, jak autonomních tak i modelů letadel. Doplněk X považuje za

bezpilotní letadlo, takové letadlo, které svou maximální vzletovou hmotností nepřekročí 20 kg.

Bezpilotní systém – označovaný též zkratkou UAS (Unmanned Aircraft System). Je tedy komplet částí včetně bezpilotního letadla. Mezi částí bezpilotního systému řadíme: řídicí stanici, prvky zajišťující komunikační spojení nebo zařízení nutné pro vypuštění a návrat.

3.2 Proces evidence [5]

Dříve než je bezpilotní prostředek provozován, musí být zaevidován. Evidenci podléhá kromě bezpilotního prostředku i ten, kdo ho ovládá. Dokument, podle kterého se proces evidence řídí je Směrnice CAA/S-SLS-010-n/2012.

3.2.1 Evidence bezpilotního prostředku

Pro evidenci je nutné podat žádost. Národní úřad zpracoval formulář, který je přílohou výše uvedené směrnice. K úspěšnému vyřízení žádosti je nutné splnit technické požadavky. Mezi něž patří nároky na výkon, konstrukci, pohonnou jednotku nebo vybavení bezpilotního prostředku. Splnění technických požadavků se prokazuje čestným prohlášením. Jestliže je bezpilotní prostředek těžší než 20 kg, je požadováno pozemní a letové ověření. Do doby než se pilot naučí ovládat bezpilotní prostředek je vydáno povolení s provozními omezeními.

Po dokončení testovacích letů, podá pilot žádost o změnu. V žádosti navrhne datum a místo letového ověření. V případě, že je ověřovací let úspěšný, inspektor vydá protokol o jeho absolvování. Úřad posléze vydá změněné povolení. Povolení je vydáváno na jeden rok, u modelů s hmotností nad 20 kg na roky dva. Evidence nepodléhá správnímu poplatku, vydání povolení k létání ano. Pro přehlednost byl zpracován vývojový diagram, který je přílohou této bakalářské práce.

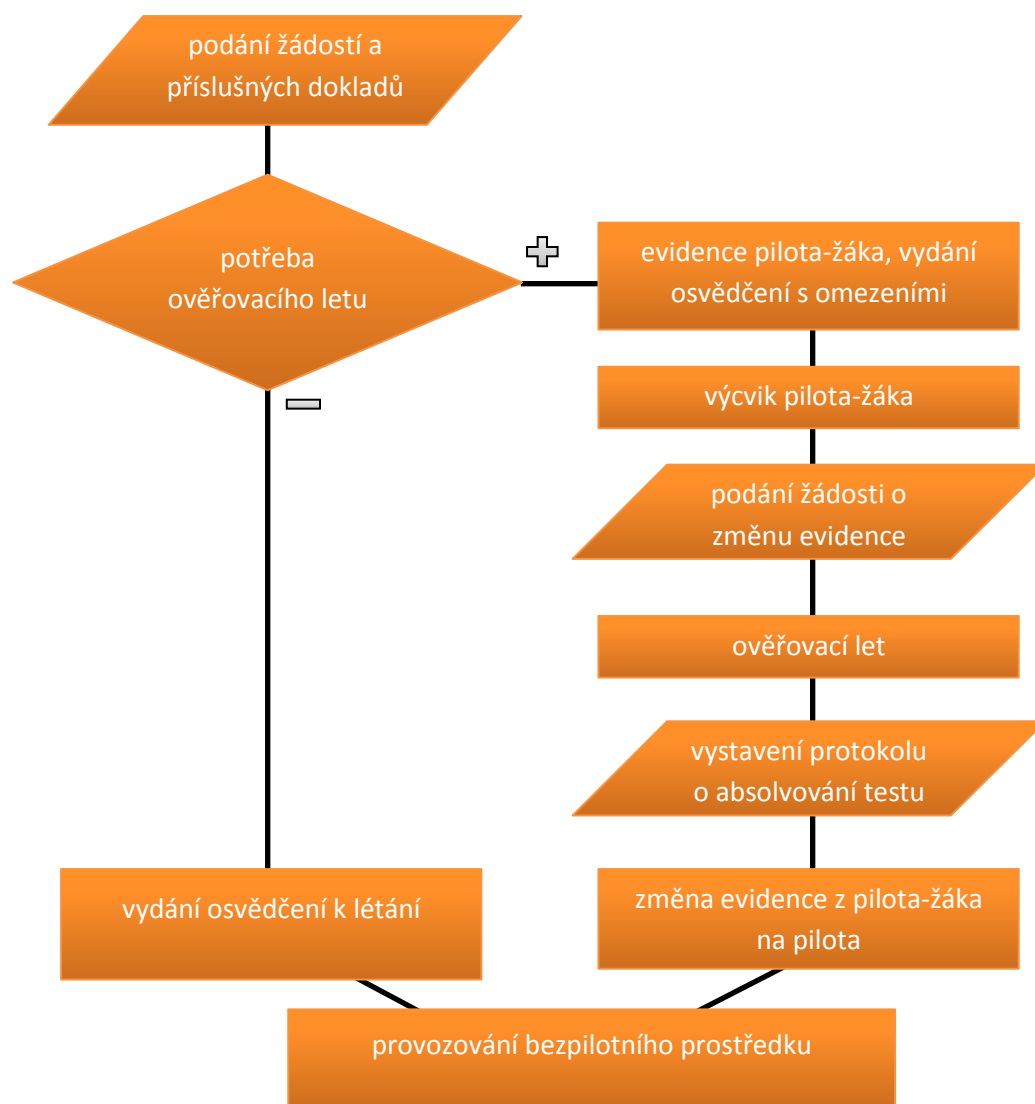
3.2.2 Evidence pilota

Evidence pilota probíhá velice podobně jako evidence bezpilotního prostředku. I zde je nutné podat žádost prostřednictvím formuláře. Existuje tedy jeden společný formulář, kde je rozlišeno, zda se eviduje bezpilotní prostředek nebo pilot. Podmínkou evidence je prokázání teoretických znalostí a praktických dovedností.

Praktické splnění těchto požadavků je odvozeno od hmotnosti bezpilotního prostředku. V případě, že hmotnost bezpilotního prostředku je stanovena nad 7 kg, je

požadován ověřovací let. Let probíhá pod dozorem inspektora národního leteckého úřadu. Z tohoto důvodu je pilotovi vydána omezující licence Pilot-žák. Budoucí pilot, tak může pod dozorem již evidovaného pilota trénovat let s bezpilotním prostředkem. Je časově omezená a před jejím vypršením, musí Pilot-žák podat žádost o přezkoušení. Pokud úspěšně absolvuje teoretický test a praktický let, je mu vydán protokol a úřad provede změnu evidence.

Evidence pilota-žáka a pilota není placená. Vydávané osvědčení pilota-žáka však stojí 5000 Kč. Změna evidence na pilota stojí 1500 Kč. Pro zpřehlednění byl zpracován vývojový diagram.



Obrázek 3.1: Vývojový diagram k procesu evidence pilota [5]

3.3 Podmínky pro let bezpilotního prostředku

Jestliže je vydáno povolení k provozování bezpilotního prostředku a zároveň osoba, která bezpilotní prostředek ovládá má platnou licenci, nic nebrání tomu, aby byly provedeny první lety. Pilot bere na vědomí několik základních věcí, které jsou nutné a měl by je po absolvování teoretického testu znát a být si jich vědom.

Pilot je osobou, která je zodpovědná za provedení celého letu. Neustále musí mít s bezpilotním prostředkem vizuální kontakt, tak aby ho mohl bezpečně řídit. Nesmí přitom použít žádných pomůcek, jako jsou například brýle pro let z pohledu první osoby. Je také povinen zaznamenávat všechny události spojené s provozem bezpilotního letadla a vést tak letový deník. S přípravou k letu bezpilotního prostředku smí pilotovi pomáhat i jiné osoby. Tyto osoby plní funkci pozorovatele. Mohou pilota informovat o okolním provozu nebo o vzdálenosti od překážek. Nesmí ale jakkoliv zasahovat do řízení bezpilotního prostředku. [3]

Létat s bezpilotním prostředkem nelze všude. Vzdušný prostor nad Českou republikou je rozdělen do několika tříd. Obsahuje také prostory, které jsou zakázané, nebezpečné nebo omezené. V těchto prostorech se bezpilotní prostředek nesmí za žádných okolností pohybovat. Mezi další oblasti, kterým je nutné se vyhnout patří: hustě osídlené oblasti, nadzemní dopravní stavby, nadzemní inženýrské sítě, telekomunikační sítě nebo zvláště chráněné území. [3]

Pilot se naopak smí pohybovat ve vzdušném prostoru třídy G. Za určitých podmínek pak v letištní provozní zóně. Zde musí splnit podmínky provozovatele letiště. Koordinovat své záměry musí také s letištní provozní službou AFIS. Dále se může let uskutečnit v řízeném okrsku letiště a to do výšky pouze 100 metrů nad zemí. Pilot ovšem musí dopředu zažádat příslušné stanoviště řízení letového provozu a být s ním v rádiovém kontaktu. Pro snazší představu byly zpracovány následující obrázky s legendou. [3]

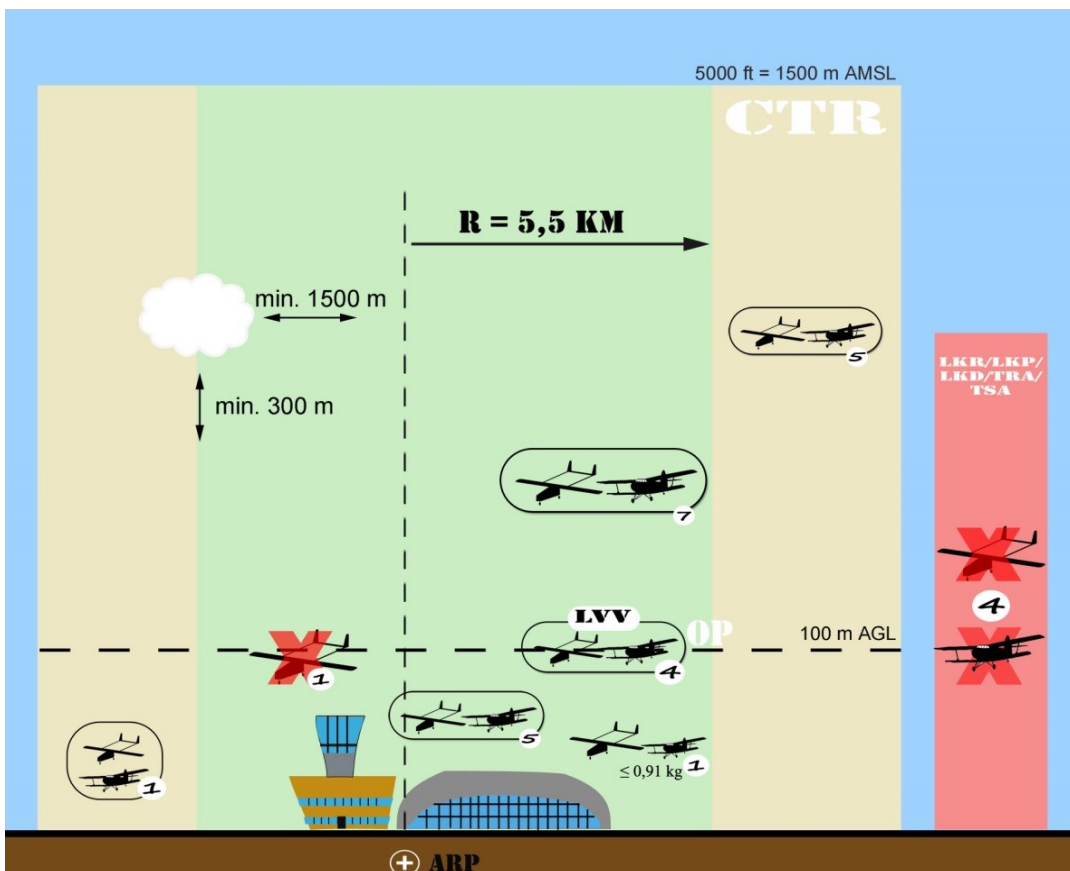
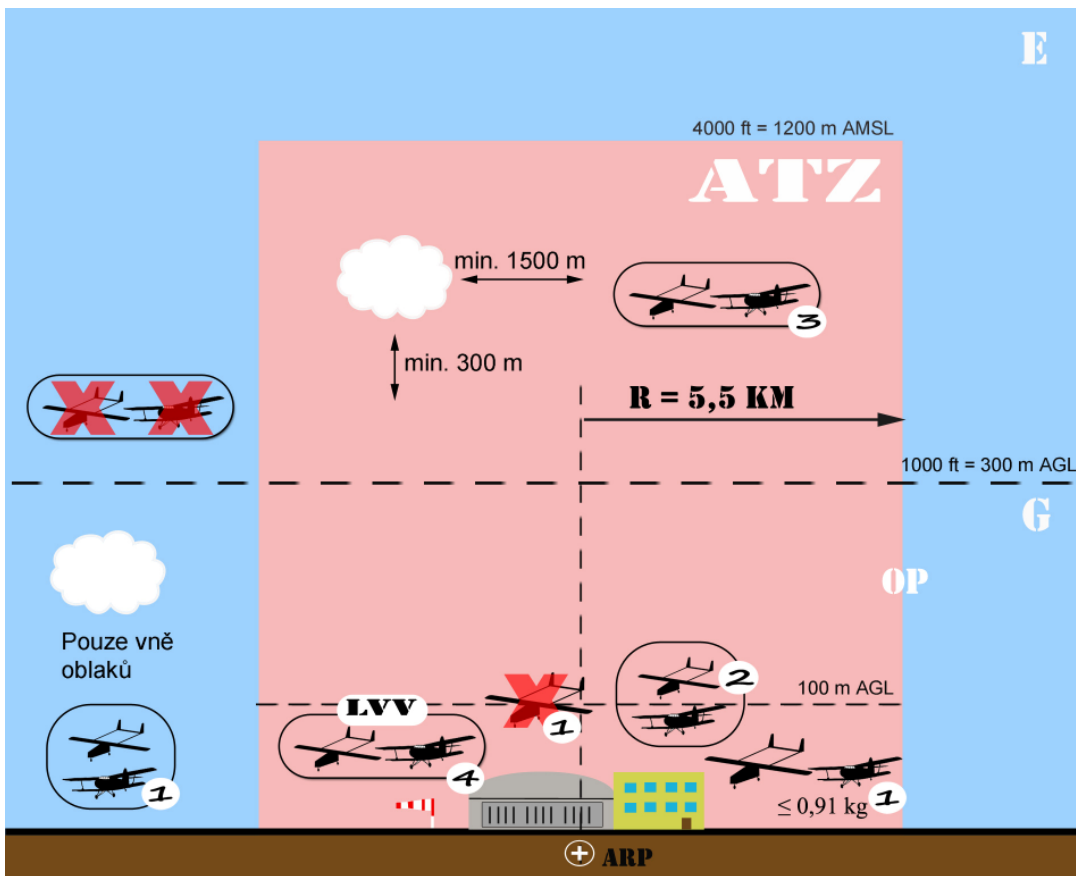
Legenda k obrázkům



Bezpilotní letadla
s hmotností nad 20 kg



Bezpilotní letadla s hmotností
do 20 kg



Obrázek 3.2: Provoz bezpilotního prostředku v různých prostorech [3]

4. Popis bezpilotního systému Stalker

Bezpilotní systém Stalker vznikl v rámci studentského projektu. Je navržen pro měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry v malých výškách.



Obrázek 4.1: Vzlet bezpilotního letadla (vlastní foto)

4.1 Části systému

Bezpilotní systém se skládá z bezpilotního letadla Stalker, řídicí stanice a stanoviště řízení letu (stativ s přijímačem, monitorem a další).



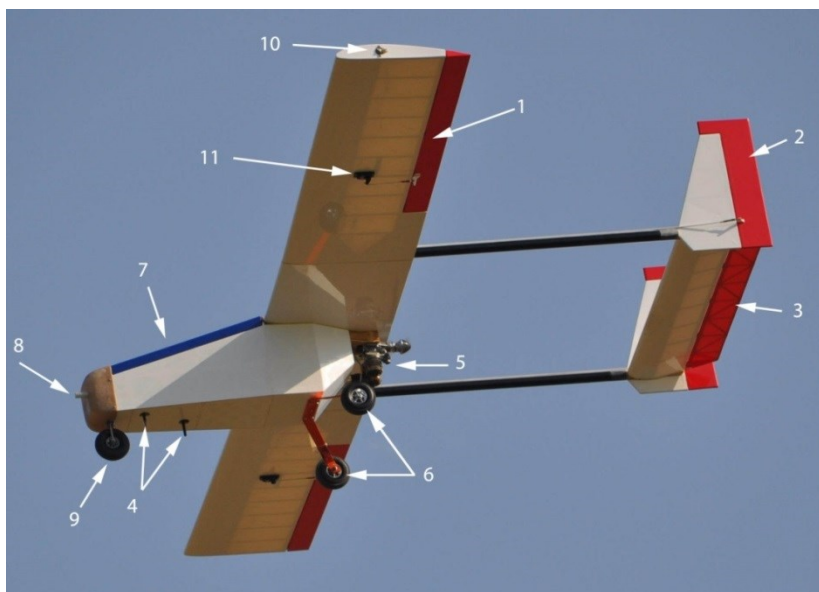
Obrázek 4.2: Hlavní části bezpilotního systému Stalker (vlastní foto)

4.1.1 Bezpilotní letadlo Stalker

Bezpilotní letadlo se skládá z: draku, včetně elektrických řídicích prvků, pohonné jednotky včetně ovládání připustí plynu a z palubního systému pro řízení letu, měření parametrů ovzduší a zobrazování průběhu letu.

Letadlo je hornoplošné koncepce s dvěma ocasními laminátovými nosníky a motorem umístěným do tlačného uspořádání. Trup je vyroben z březové překližky a byl potažen bílou folií. Snímače pro prach a oxid uhelnatý jsou umístěny v přední části trupu. Baterie a autopilot pak ve střední části. V zadní části trupu se nachází palivová nádrž o objemu 0,75 litru. Ocasní plochy jsou složeny z jedné vodorovné a dvou svislých ocasních ploch Letadlo má pevný podvozek s řiditelnou přední nohou.

Letadlo je vybaveno modelářským, jednoválcovým, čtyřtaktním motorem. Jednou z částí motoru je tlumič, díky němuž došlo ke snížení hluku. Jelikož se jedná o vznětový motor, tak před prvotním nastartováním musí být spalovací komora přehřáta. K tomu slouží „žhavítko“ upevněné zespod motoru. Motor byl vybrán pro svou spolehlivost a výkonnost



Obrázek 4.3: Bezpilotní letadlo a jeho části (vlastní foto)

Legenda

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1 – křídélko | 7 – kamera |
| 2 – svislá ocasní plocha | 8 – snímače/pitot-statická trubice |
| 3 – vodorovná ocasní plocha | 9 – přední noha podvozku |
| 4 – antény | 10 – poziční světlo |
| 5 – pohonná jednotka s vrtulí | 11 – servomotor s táhlem |
| 6 – hlavní podvozek | |

Palubní systém

Palubní systém dále obsahuje: snímače měřených prvků ovzduší, autopilota pro řízení letu (Ardupilot), přijímač řídicí stanice (Spektrum), řídicí jednotku měřících zařízení (Arduino), kameru (Boscam), komunikaci autopilotem s vysílačem měřených dat a obrazu z videokamery.

Snímače

Letadlo je vybaveno v této konfiguraci těmito snímači: teploty, vlhkosti, prachu a oxidu uhelnatého. Tyto snímače pracují na elektro-chemickém nebo optickém principu. Výsledné hodnoty ze snímačů pak zpracovává řídicí systém Arduino. Detailnější informace o fungování snímačů jsou popsány v bakalářské práci Jana Bojka.

Autopilot

Tento letoun je vybaven i systémem vzdáleného řízení, který po vložení souřadnic umožňuje autonomní let. Slouží zároveň jako systém bezpečný při poruše, který při ztrátě signálu z řídicí stanice umožní návrat na zvolené souřadnice. Autopilot má několik módu, které umožňují mimo jiné manuální let.

Přijímač řídicí stanice

Přijímá povely z pozemního ovladače, které přes autopilota přímo ovládají akční členy řízení.

Řídicí jednotka měřících zařízení

Řídicí deska, která zpracovává informace z jednotlivých čidel. Tyto informace převádí do jednotného formátu, ukládá je na paměťovou kartu a zároveň je vysílá na stanoviště řízení letu.

Kamera Boscam

Jedná se o vysoce výkonnou kameru určenou pro modely letadel a takzvané létání „First Person View“. Kamera váží 58 g a je schopná nahrávat obraz ve vysoké kvalitě o rozlišení 1920 x 1080 obrazových bodů. Obraz je pak ukládán na micro SD kartu, která se zasouvá na horní straně kamery a zároveň je přenášen na notebook pozemní soustavy. Na bezpilotním prostředku Stalker je kamera umístěna v nástavci modrého krytu.

Vysílač měřených dat a obrazu z videokamery.

Vysílač obsahující 3 oddělené kanály, pomocí kterých se na stanoviště řízení letu přenáší v reálném čase údaje ze všech snímačů a obraz z palubní kamery.

Komunikace autopilota

Komunikační rozhraní pro předávání letových údajů mezi letounem a řídicím stanovištěm letu. Zároveň slouží ke korekci parametrů autopilota a řízení autonomního letu.

Technické parametry bezpilotního letadla

Doba letu	35 minut
Dostup	970 m
Max. rychlost	100 km/h
Užitečné zatížení	2,75 kg
Výkon motoru	2,1 kW při 14 000 ot/min

Tabulka 4.1: Výkonové parametry bezpilotního letadla

Délka	1,8 m
Výška	0,62 m
Rozpětí	3 m
Nosná plocha	1,14 m ²
Prázdná hmotnost	5,25 kg
Maximální vzletová hmotnost	8 kg

Tabulka 4.2: Konstrukční parametry bezpilotního letadla



Obrázek 4.4: Hlavní části bezpilotního letadla Stalker (vlastní foto)

4.1.2 Řídící stanice

Jedná se o leteckou soupravu Spektrum složenou z vysílače a přijímače. Nachází se na palubě bezpilotního prostředku. Souprava je vybavená telemetrií. Je tedy schopna snímat a zobrazovat v reálném čase napětí baterie, napětí přijímače, teplotu a otáčky motoru.



Legenda

- 1 - anténa
- 2 – programovatelná tlačítka
- 3 – ukazatel stavu baterie
- 4 – páka ovládání kormidel
- 5 – páka ovládání plynu
- 6 – tlačítko pro zapnutí/vypnutí
- 7 – rolovací tlačítko
- 8 – tlačítka pro pohyb v menu
- 9 – displej
- 10 - reproduktor

Obrázek 4.5: Vysílač Spektrum DX8 s legendou (vlastní foto)

4.1.3 Stanoviště řízení letu

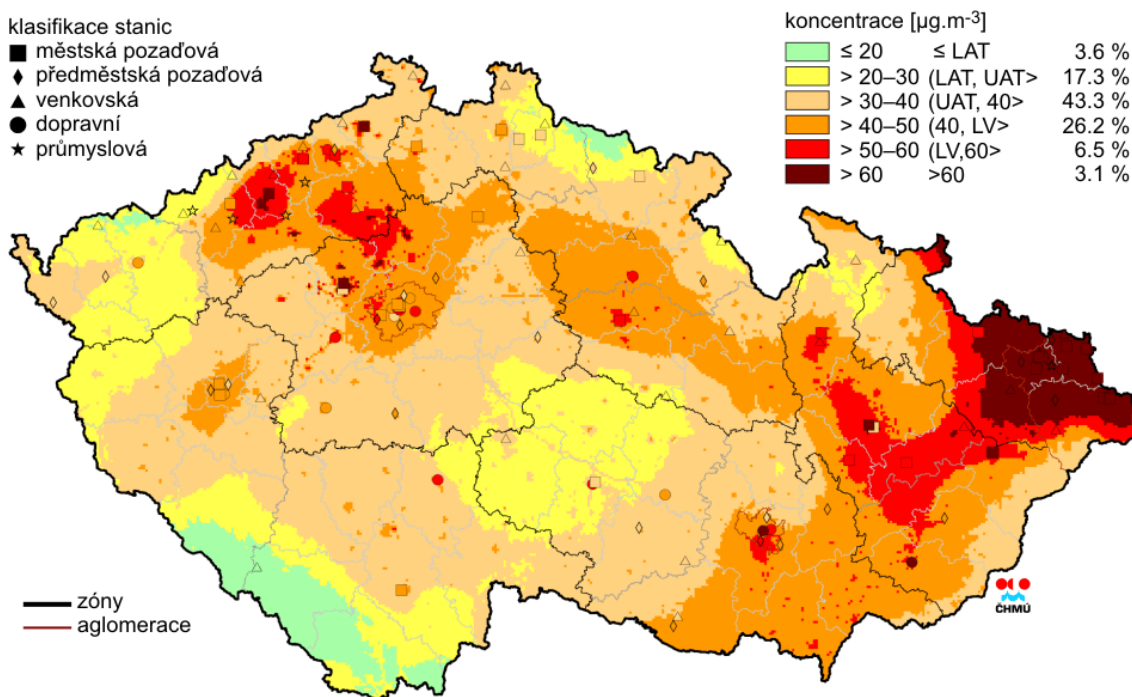
Stanoviště řízení letu slouží pro pozorování a monitorování letu bezpilotního prostředku pomocí vysílané telemetrie, obrazu z kamery i sledování měřených veličin. Na palubě bezpilotního prostředku je soustava antén, které přenášejí po samostatných kanálech obraz, telemetrii a data ze snímačů. Toto vše zachytí přijímací antény umístěné na stativu, které jsou propojeny pomocí kabelu s notebookem, na kterém je pomocí nainstalovaného softwaru zaznamenáván obraz z kamery. Telemetrie je zobrazována pomocí dalšího softwaru. Mezi zobrazované telemetrické údaje patří například výška, vzdušná rychlost, kurz, horizontální situace a poloha GPS. Poslední zobrazované údaje jsou telemetrická data, která jsou každou vteřinu aktualizována.

5. Návrh měření UAS Stalker

Pro úspěšné provedení měření je nezbytný plán a dostatečná příprava. Nejprve je potřeba prostudovat potřebnou teorii k dané problematice, čemuž se především věnuje tato kapitola. Dále pak vybrat vhodný postup a metodu měření, opatřit si vhodné měřicí přístroje s potřebnými rozsahy. Před měřením je také nutné zvážit vnější faktory, které mohou ovlivnit měření. Mohou to být například prostředí, umístění snímačů nebo legislativní podmínky. Úkolem měření pomocí UAS Stalker bylo zjistit vertikální rozložení hodnot měřených veličin.

5.1 Znečištění ovzduší

Na základě dlouhodobých výzkumů, které jsou v České republice prováděny, jsou známy hodnoty přízemních koncentrací znečišťujících látek, které jsou naměřeny na pozemních měřicích stanicích (imisní monitoring viz obrázek). Cílem této práce bylo doplnit pozemní měření některých látek o měření vertikálního rozložení jejich koncentrací. Mezi základní měřené znečišťující látky řadíme tuhé znečišťující látky, dle velikosti to jsou PM_{10} a $PM_{2,5}$, oxid siřičitý SO_2 , oxid dusičitý NO_2 a oxid uhelnatý. [6]



Obrázek 5.1: Nejvyšší 24 hod. koncentrace PM_{10} v roce 2012 [14]

5.1.1 Charakteristika zájmové oblasti

Jako zájmová oblast měření byla stanovena Ostravsko-karvinská aglomerace, a to z několika důvodů. Jednak v této oblasti žijeme a také proto, že je bezesporu oblastí s nejzatíženějším životním prostředím v České republice. Je to dáno několika faktory.

Tato oblast se nachází v Moravskoslezském kraji, který z historického hlediska patřil a patří mezi nejdůležitější průmyslové regiony střední Evropy. Centrem kraje je ostravsko-karvinská průmyslová a těžební pánev, kde se nachází místní nerostné bohatství, zejména kvalitní černé uhlí. Celá oblast se stala celostátním centrem průmyslu, konkrétně hutní výroby a současně i těžby uhlí. [7]

Obecně jsou rozlišovány tři nejvýznamnější znečišťovatelé ovzduší: průmysl, automobilová doprava a lokální topeniště. [6]

Mezi průmyslové zdroje jsou řazeny nejčastěji elektrárny, teplárny, ale také hutě, koksovny nebo ocelárny, zapomenout nesmíme ani na doly a lomy. Zákonem je stanoveno, jaké množství znečištění smí do ovzduší vypouštět. Právě průmysl poznamenal kvalitu ovzduší na Ostravsku nejvíce. I když je zde vidět klesající tendence znečištění ovzduší v důsledku tlumení těžby a výroby, zavádění šetrnějších technologií, jsou legislativně povolené limity stále překračovány.

Dalším zdrojem znečištění je automobilová doprava. Velký počet automobilů produkuje značné množství spalin (výfukových plynů), a to hlavně okolo vytížených pozemních komunikací. Podle množství produkováných spalin, jsou auta řazena do emisních kategorií EURO.

V neposlední řadě jsou za místní zdroj znečištění považovány rodinné domy a byty. Tedy konkrétně zastaralé kotle a typ paliva, které lidé použijí k vytápění svých domů. Bohužel zde není stanoven žádný limit, který by majitele omezoval.

5.1.2 Stav měření znečišťujících látek v ovzduší

Na území České republiky je znečištění přízemní vrstvy atmosféry měřeno pomocí 802 meteorologických stanic ČHMÚ, které dohromady tvoří staniční síť sledování kvality ovzduší. Toto měření může být prováděno kontinuálně, kdy vzduch je měřen nepřetržitě pomocí automatických monitorovacích stanic nebo manuálně a to tak, že sledované látky vytvoří koncentrát a ten je následně zkoumán v laboratoři. Mezi používání metody měření patří: atomová a molekulová absorpční spektrometrie, iontová a plynová chromatografie, gravimetrie nebo elektrická konduktometrie. Jsou zde

profesionální, ale i amatérské meteorologické stanice. Stanice jsou umístěny různě po republice. Záleží především na hustotě osídlení. [8]



Obrázek 5.2: Automatizovaná meteorologická stanice v Orlové (vlastní foto)

Z naměřených dat je provedeno hodnocení kvality ovzduší. Data jsou evidována v informačním systému kvality ovzduší, který provozuje ČHMÚ. K měření přispívají i další organizace, které se podílejí na sledování znečištění. Mezi tyto organizace patří: Zdravotní ústavy, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti nebo městské úřady. [8]

Měřením pomocí staniční sítě je sice zjištěn stav znečištění ovzduší, nejsou ovšem známy zdroje znečištění. Právě z tohoto důvodu je zkoumán vertikální charakter znečištění.

5.2 Měření vertikálních profilů znečištění

Je zde předpoklad, že se znečištění ovzduší nachází v několika vrstvách v závislosti na rozptylových podmínkách a výškách dominantních zdrojů. V případě, že bude měření prováděno ve výšce do 100 m nad zemí a budou změřeny koncentrace znečišťujících látek, lze z toho vyvodit závěr, že zdrojem znečištění jsou pravděpodobně lokální topeniště nebo automobilová doprava. V dalším případě nebude-li naměřeno žádné znečištění do výšky 100 m a zároveň ve výšce mezi 200 až 500 m nad zemí budou naměřeny vysoké hodnoty koncentrací například polévatého prachu, lze předpokládat, že zdrojem v tomto případě budou průmyslové zdroje. Na rozhraní mezi

100 až 200 m nelze jednoznačně potvrdit, z jakého zdroje koncentrace znečišťujících látek pocházejí. Můžou to být všechny známé zdroje dohromady.

Jsou-li nalezeny stopy koncentrací znečišťujících látek v určité výšce, je nutné se na tuto vrstvu zaměřit. Její prostorová charakteristika bude určena tak, že od místa kde je nejvíce široká bude postupováno proti směru větru až do míst s nejužší charakteristikou. Tímto způsobem lze určit, o jaký zdroj znečištění se jedná. Odtud také vznikl název bezpilotního systému Stalker, nebo také stopař.

5.2.1 Rozptylové podmínky

Rozptylové podmínky jsou určeny stavem meteorologických prvků a veličin, které rozhodujícím způsobem ovlivňují přenos a rozptyl znečišťujících látek v ovzduší. Pro rozptylové podmínky jsou především důležité dvě věci. Směr a síla větru, dále rozložení teploty vzduchu s výškou. [6]

Směr větru bude mít největší vliv v případě, že vane od zdroje přímo na určitý bod, kde se nachází například město. Při ostatních směrech se budou koncentrace pohybovat od malých hodnot až po maximální. Síla větru hraje také velkou roli. Pokud je vítr silnější, budou koncentrace v ovzduší nižší. To je z toho důvodu, že vítr vzduch zvíří, vzniká tak přízemní turbulence a dojde k zředění znečišťujících látek. [6]

Pro troposféru je charakteristickým znakem ubývání teploty vzduchu s výškou o 0,65 °C na 100 m dle MSA. Někdy ovšem nastane situace opačná. Tuto situaci lze pojmenovat jako teplotní inverzi. Jedná se o případy, kdy v určité vrstvě ovzduší teplota s výškou roste. Za této situace jsou potlačeny vertikální pohyby a promíchávání ve vzduchových hmotách. To má za následek omezený vývoj konvekčních oblaků a omezený vertikální rozptyl znečišťující látek. Podle příčiny vzniku jsou rozlišovány inverze na radiační, advekční frontální a subsidenční. Podle výšky lze inverze dělit na přízemní a výškové. Přízemním inverzím výrazně napomáhá sníh, který nejen že účinně odráží sluneční záření, ale brání přívodu tepla z půdy. Kromě sněhu usnadňuje vytvoření přízemní inverze jasná obloha a slabé proudění. V několika stech metrech až do několika kilometrů se pak nacházejí výškové inverze, které jsou většinou subsidenčního původu. Výšková inverze se chová jako strop, který brání vertikálnímu pohybu vzduchu. Všechny znečišťující látky, které se dostaly do ovzduší, zde pod touto vrstvou zůstanou. [9]

Charakteristické pro inverze je nízká oblačnost i dohlednost, zatímco v horských oblastech převládá jasno a teplé počasí. Inverzi ukončuje především studená fronta, která ji za pomoci silného větru rozmíchá. Pro měření je tedy důležité, abychom blížící se podmínky pro vznik inverze, s dostatečným předstihem rozpoznali. [9]

5.2.2 Měřené veličiny

Cílem prováděných měření je stanovit prostorový průběh některých vybraných veličin, které umožňují charakterizovat přízemní vrstvu atmosféry. Vzhledem k finančním a technickým možnostem při řešení projektu UAS Stalker byly vybrány jako měřené veličiny vlhkost a teplota vzduchu, koncentrace aerosolu (jemného poléťavého prachu) a koncentrace oxidu uhelnatého.

Při výběru snímačů bylo potřeba brát v potaz několik kritérií. Mezi něž patřily například rozměry, hmotnost, přesnost a v neposlední řadě i cena. Těmto parametrům nejvíce odpovídal snímač prachu Sharp, snímač teploty a vlhkosti SHT 15 a snímač oxidu uhelnatého MQ 135.

Poléťavý prach PM_x [10]

Jedná se o atmosférický aerosol, který je součástí atmosféry Země. Je definován jako soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic o velikosti v rozsahu 1 nm – 100 μm. Podílí se na atmosférických dějích, jako je například vznik srážek. Byly definovány velikostní skupiny aerosolu označované jako PM_x. Rozlišujeme PM₁₀, PM_{2,5} a PM_{1,0}.

Přirozeným zdrojem prachu jsou výbuchy sopek nebo lesní požáry. Vzniká však hlavně jako negativní produkt lidské činnosti, tedy například během spalovacích procesů v motorech nebo elektrárnách.

Poléťavý prach s číslicí 10 označuje velikost částice v mikrometrech. Pro poléťavý prach byl stanoven krátkodobý imisní limit 50 mikrogramů/m³ za 24 hodin. Z důvodu měnícího se počasí, není tento limit všude možný dodržet. Byl tedy stanoven povolený počet překročení za rok a to 35krát. Tento limit byl například v roce 2012 překročen na měřicích stanicích v Ostravě i třikrát. Ovlivňuje negativně jak životní prostředí, tak zdraví člověka. Dlouhodobé vystavení může mimo jiné způsobit i rakovinu plic.

Množství prachových částic ve vzduchu je zjišťováno přes filtr, kterým vzduch prochází. Množství zachyceného aerosolu se stanovuje gravimetrickým vážením. Další

metoda, která se používá je metoda Black Smoke. Zde se využívá změny odrazivosti světla v závislosti na množství zachyceného aerosolu.

Oxid uhelnatý [11]

Je hořlavý a prudce jedovatý bezbarvý plyn bez zápachu. Je produktem nedokonalého spalování uhlíkatých paliv. Za zdroj lze označit jednak automobilovou dopravu. Musíme ovšem zmínit, že u moderních automobilů, došlo díky použití katalyzátorů k podstatnému snížení. Tam kde je hustá koncentrace provozu, dosahují hodnoty oxidu uhelnatého vysokých limitů i přes použití nových technologií. Dalším zdrojem jsou také zařízení využívající proces spalování, jako jsou pece, kotle, kamna. Stejně jako polétavý prach i CO je škodlivý a má nepříznivé dopady na životní prostředí, neboť přispívá ke tvorbě fotochemického smogu. Při vyšších koncentracích je přímo jedovatý a může dojít i k otravě. Pro stanovení koncentraci oxidu uhelnatého se využívá analyzátorů založených na infračervené spektrometrii, případně termochemické nebo elektrochemické analyzátoři.

Vysoké koncentrace všech vyjmenovaných látek negativně ovlivňují jak životní prostředí tak i zdraví nás lidí. Celkově lze tedy konstatovat, že všechny základní znečišťující látky mají široké spektrum negativních dopadů jak zdravotních, tak především dopadů na globální ekosystém.

Teplota vzduchu

Je to stavová veličina, kterou řadíme mezi základní veličiny SI a měříme ji například rtuťovým teploměrem. Lze ji vyjádřit různými způsoby. V meteorologii se používá Celsiovu stupnice a Fahrenheitovu stupnice. Teplota vzduchu se mění v závislosti na místě zemského povrchu i na čase a v závislosti na výšce nad zemí. Slunce jako zdroj energie, vzduch ohřívá. Zemský povrch zase část slunečního záření pohltí, přemění v teplo a část odrazí zpět do atmosféry. Ve vyšších vrstvách atmosféry se pak teplo dostává molekulární výměnou, kdy si jednotlivé molekuly navzájem předávají teplo. Vertikální průběh teploty vzduchu je velmi důležitý pro stabilitu atmosféry a tedy určuje rozptyl znečišťujících látek. Vertikální profil teploty se u nás měří pouze na dvou místech v Praze a Prostějově. V jiných místech je možné využít UAS Stalker, který může pomoci při stanovení rozptylových charakteristik v ostatních lokalitách. [12]

Vlhkost vzduchu [13]

Jedná se o meteorologickou veličinu, která určuje množství vodních par ve vzduchu. Měření se provádí prostřednictvím aerologických sond, které jsou umístěny na meteorologickém balónu. Vlhkost vzduchu je charakterizována těmito veličinami: absolutní vlhkostí, napětím, relativní vlhkostí a rosným bodem.

Absolutní vlhkost vzduchu je hmotnost vodních par v kilogramech v jednom krychlovém metru

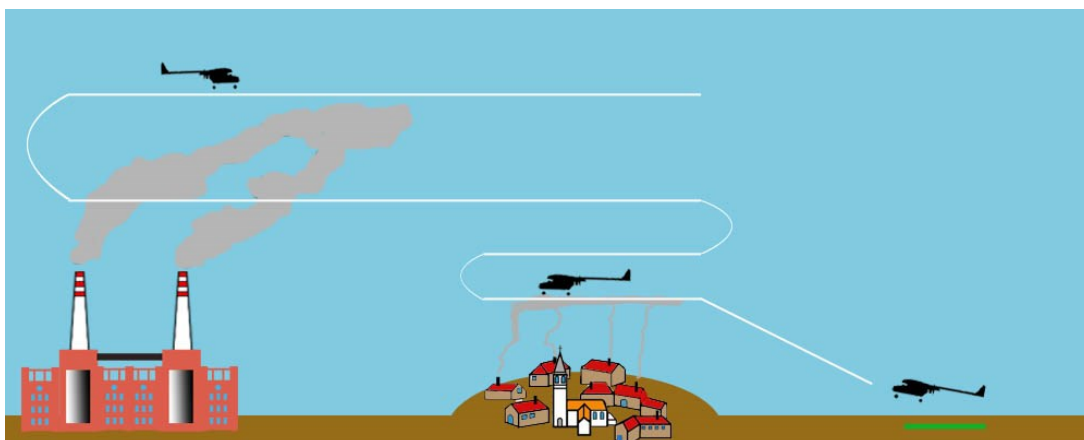
Napětí je parciální tlak vodní páry, který udáváme v milibarech. Množství vodních par obsažených ve vzduchu nemůže vzrůstat do nekonečna. Přebytek se pak sráží a padá na zem v podobě vodních kapiček.

Relativní vlhkost vzduchu je poměr skutečné absolutní vlhkosti k maximální absolutní vlhkosti za dané teploty.

Rosný bod je teplota, při níž za nezměněných podmínek dochází ke kondenzaci. Teplota rosného bodu spolu s aktuální naměřenou teplotou je jakýsi ukazatel toho, kdy je vzduch nasycen vodními parami. Čím větší je rozdíl mezi oběma teplotami, tím je vlhkost vzduchu menší. Pokud se však rovnají, je vzduch vodními parami nasycen a dojde ke kondenzaci.

5.2.3 Návrh provedení měření vertikálních profilů znečištění

Na základě vysloveného předpokladu, že se v nižších výškách nachází menší koncentrace pocházející z lokálních topenišť a ve vyšších vrstvách pak koncentrace z komínů továren, byly navrženy tři varianty lokalizace vrstvy, kde se tyto koncentrace vyskytují.



Obrázek 5.3: Provedení měření

Bezpilotní prostředek odstartuje z místa vzletu. Může se jednat o modelářské letiště nebo o plochu, která není omezena překážkami a lze z ní bezpečně odstartovat a přistát.

Varianta měření č. 1

První měření lze označit jako určitý průzkum. Bude zjišťováno v jaké vrstvě, potažmo výšce se nachází koncentrace znečišťujících látek.

Bezpilotní prostředek ovládaný na dálku pilotem vystoupá v co nejkratším čase a vzdálenosti do maximální možné výšky. Proletí tak určitou část přízemní vrstvy atmosféry. Musí se vzít ovšem v potaz jak meteorologická omezení (rychlost a směr větru, výška oblačnosti), tak i legislativní omezení (vzdušné prostory). Po dosažení maximální výšky bezpilotní prostředek bude klesat a přistane. Po přistání proběhne vyhodnocení naměřených dat a učiní se rozhodnutí, zda se bude pokračovat v měření nebo proběhne přesun na záložní místo.

Varianta měření č. 2

V prvním měření bylo zjištěno, v jaké vrstvě se nachází největší koncentrace znečišťujících látek. Druhým měřením je zkoumáno horizontální rozložení znečištění. Pilot se zaměří na tuto výšku. Po startu tedy vystoupá do zvolené výšky kolmo na směr větru, kde letadlo převede do horizontálního letu a začne tuto vrstvu prolétávat. Vytvoří tak jakýsi pomyslný „žebřík“. Po prolétnutí této vrstvy klesá zpět a provede přistání.

Varianta měření č. 3

Třetí variantu měření lze označit za náhradní či doplňkovou. Pokud nastane případ, že se nepodaří nalézt koncentrace znečištění ve zvolené výšce, je provedeno opět k měření č. 1 nebo tento postup. Pilot vzlétne do určité počáteční výšky. Od této výšky pak začne provádět okruhy a postupně bude stoupat do maximální výšky vždy o 100 metrů. Po vystoupení do maximální výšky přeruší stoupaní, provede poslední okruh, bude klesat a přistane.

Těmito třemi způsoby přepokládáme, že nalezneme příslušný zdroj znečištění a můžeme tak doplnit síť pozemního monitoringu. Cílem je vytvořit obraz a představu o tom jak se znečištění v ovzduší šíří a přispět k hodnocení jeho kvality.

6. Provedení měření pomocí UAS Stalker

V průběhu měření je nutno postupovat klidně a rozvážně, tedy vyvarovat se tak zbytečným chybám, které mohou vést k poškození bezpilotního letadla nebo hůře ke zranění členů týmu.

Měření bylo naplánováno v měsíci dubnu, konkrétně mezi 21. – 27. dubnem. Bylo to jednak z důvodu čekání na vhodnou meteorologickou situaci (zhoršené rozptylové podmínky) pro měření a zároveň z důvodu finálních úprav na bezpilotním prostředku Stalker.

6.1 Příprava měření

Příprava měření začíná pozorováním vhodné meteorologické situace ze synoptické mapy, kde je sledován pohyb tlakových útvarů a front. Naopak z aerologického výstupu lze vyčíst změnu teploty s výškou a rozpoznat tak blížící se inverzní situaci. Z výsledků imisního monitoringu je zase sledováno znečištění v jednotlivých lokalitách. Toto vše je důležité pro odhadnutí vývoje počasí. Jestliže se bude blížit vhodná situace k měření (předpoklad inverze) je zásadní mít již vybrané vhodné plochy pro měření, nejlépe v blízkosti nějaké ze stanic imisního monitoringu. Dále je potřeba mít již zabalený bezpilotní systém, který je přichystán k naložení do dopravního prostředku. V neposlední řadě musí být v hotovosti pilot, který bezpilotní systém bude ovládat.

6.1.1 Výběr plochy

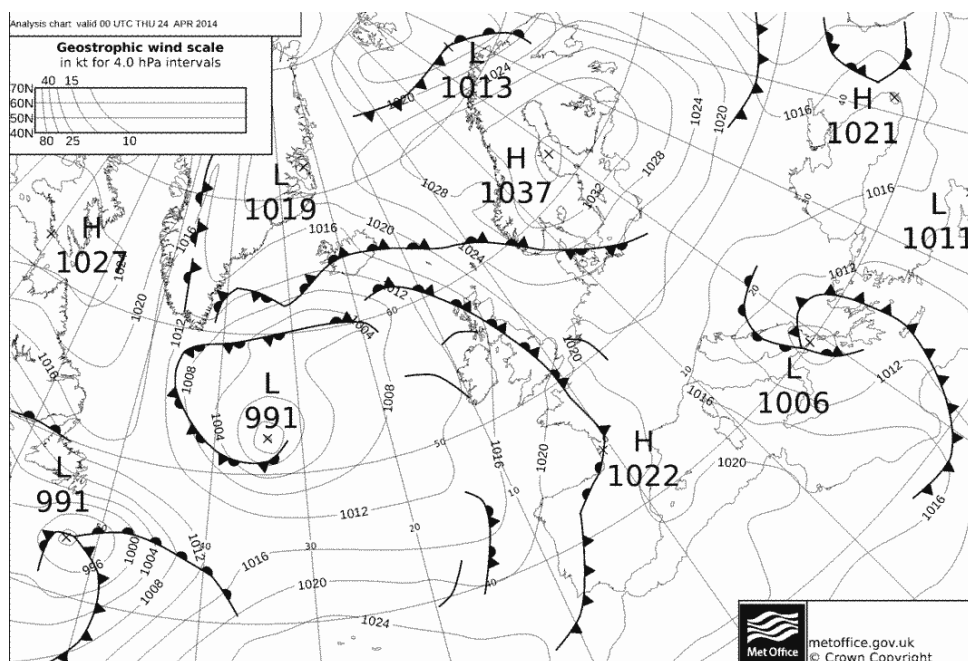
Výběr vhodné plochy spočívá ve zhodnocení parametrů, kterými se plocha vyznačuje. Především délkou pro vzlet a přistání, vzdáleností od budov, překážkami, okolním provozem nebo zpevněným či nezpevněným povrchem. I když jsou bezpilotní prostředky schopné odstartovat z krátké dráhy, nedá se již to samé říci i o přistání, kterému předchází ještě přiblížení. Důležitou roli hraje bezpečnost, na kterou se musí dbát při výběru správné plochy. Ideální plochou pro provoz bezpilotního systému je bezesporu modelářské letiště s travnatou dráhou. Vyznačuje se poměrně velkým prostorem a rovněž vzdáleností od budov. Nevýhodou může být vysoká tráva, která je po dešti mokrá. Za nevhodnou až nebezpečnou plochu lze označit například fotbalové hřiště obklopené ze všech stran budovami, stromy, nebo dráty vysokého napětí. Příklady ploch ukazují následující obrázky.



Obrázek 6.1: Plochy pro let (vlevo fotbalové hřiště vpravo modelářské letiště Polanka, vlastní foto)

6.1.2 Charakteristika meteorologická situace

Ze synoptické mapy je vidět, že se nad střední Evropou vytvořila 24. Dubna 2014 nevýrazná oblast nižšího tlaku vzduchu. Která zůstala na místě po celý týden. Tlakové pole bylo ovlivňované z části tlakovými nížemi nad jižní Evropou a tlakovou výší nad Skandinávií. Tomu odpovídala i rychlost větru, ovlivněna místními podmínkami a termickými poryvy. Převládající směry byly severovýchodní a východní.



Obrázek 6.2: Synoptická mapa z 24. dubna 2014[15]

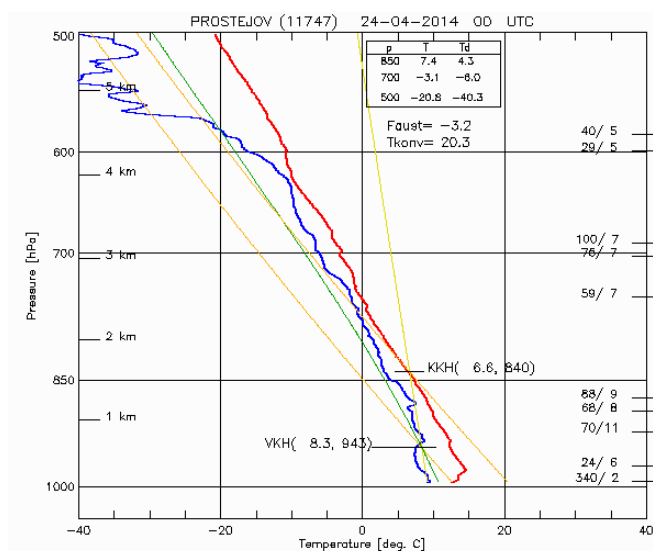
Vlivem přeháněk, se vzduch při zemi ochladil, a začaly se formovat přízemní inverze, což ukazuje obrázek 6.2 pořízený nad Ostravou 22. Dubna v 9 hodin. V těchto měsících není dostatek zdrojů znečištění a nejvíce nás tak ovlivňovaly průmyslové zdroje. Vhodné v tomto období je měřit v ranních hodinách. Ráno je ovšem vysoká

vlhkost a mokrá tráva, což nejsou vhodné podmínky pro let. Rozptylové podmínky přes den velmi dobré. Od jedenácté hodiny byl pře vývoj konvekce.



Obrázek 6.3: Inverzní situace v Ostravě-Porubě (vlastní foto)

Jak se vyvíjela teplota s výškou, zachycuje tento aerologický výstup z Prostějova. Na svislé ose je znázorněna výška a tlak na vodorovné ose pak teplota v °C. Červená křivka znázorňuje, jak teplota tento den s výškou rostla. Z toho můžeme vyvodit, že se přibližně ve výšce 300 m vytvořila teplotní inverze. Od této výšky pak teplota klasicky s výškou klesala, když se opět v 800 m vytvořila slabá výšková inverze.



Obrázek 6.4: Aerologický výstup z 24. 4. 2014 Prostějov [16]

6.2 Provedení měření

První ze dvou měření se uskutečnilo ve čtvrtek 24. 4. 2014 odpoledne. Ideální měření mělo proběhnout v ranních hodinách, což ovšem nebylo možné jednak z důvodu mokré trávy, nízké dohlednosti a také kvůli časovému vytížení pilota. Z těchto důvodů se uskutečnilo měření v odpoledních hodinách na letišti v Hati, kde podmínky až na počáteční silný vítr odpovídaly.

Modelářské letiště v Hati se nachází na pomezí česko-polské hranice. Bylo vybráno s ohledem na vertikální rozdělení vzdušného prostoru nad Ostravou. Nenachází se již v CTR letiště Mošnov. Výškové omezení tvoří horní hranice třídy G tedy 300 m. Je zde dobrá dopravní dostupnost, ale především dostatek prostoru pro provedení vzletu a přistání.



Obrázek 6.5: Modelářské letiště Hat' (vlastní foto)

Druhé měření bylo provedeno v neděli 27. 4. 2014 v dopoledních hodinách. Pro toto bylo tentokrát zvoleno jiné letiště. Opět to bylo letiště modelářské, nacházející se mezi městy Karviná a Havířov, v oblasti za dolem Lazy. I zde byly jasné kritéria. Především se jednalo o počasí, dobrou dopravní dostupnost a také o omezení ve vzdušném prostoru. Na modelářském letišti byla skupina modelářů, která trávila pravidelně každou neděli trénováním akrobatických manévrů, což částečně ovlivňovalo náš plán z hlediska času.



Obrázek 6.6: Letiště Karviná doly (vlastní foto)

6.3 Vyhodnocení jednotlivých měření

Celkem bylo provedeno 5 měřících letů v celkové době trvání 70 minut. První tři lety byly provedeny na modelářském letišti v Hati, zbylé dva na modelářském letišti Karviná – Doly.

Let č. 1

Podle vypracovaných pokynů této bakalářské práce, byl následně proveden průzkumný let. Pilot po startu převedl letadlo do stoupání, tak aby v co nejkratším čase a vzdálenosti dosáhl maximální dohodnuté výšky pro měření, která byla stanovena na 600 metrů. Z obrázku 6.7 je vidět, že pilot nemohl zvolit přímý let do této výšky. Bylo nutné, aby se bezpilotní prostředek nacházel stále nad modelářským letištem a nezasahoval do obydlených částí, které se v blízkosti nacházely. Tento let trval 15 minut.



Obrázek 6.7: Vertikální profil letu č. 1 (vlastní foto)

Let č. 2

Druhý let v pořadí, byl následně proveden tak, že se pilot zaměřil na výšku přibližně mezi 500 až 600 metry nad zemí. Po startu pilot s bezpilotním letadlem vystoupal do dohodnuté výšky, kde stoupaní přerušil. Po-té začal tuto výšku prolétávat kolmo na směr větru. Opět bylo nutné to, aby zůstala dodržena bezpečná vzdálenost od osob a majetku, což mělo vliv na trajektorii letu. Let se uskutečnil ve stejném čase jako let předchozí.

Let č. 3

Poslední let z modelářského letiště v Hati byl proveden jako doplňující. Byl z části měřicí a také testovací, neboť na bezpilotní letadlo byla připevněna kamera, která část letu snímala. Pilot zahájil let a provedl sérii nízkých přeletů nad letištěm. Což bylo z důvodu testování přenosu obrazu na pozemní stanici. Po úspěšném vyzkoušení pilot převedl bezpilotní prostředek do stoupaní a podle metodiky 3 typu měření vystoupal do výšky 100 metrů nad zemí a začal postupně provádět okruhy. Po provedení každého okruhu svou výšku navýšil přibližně o 100 metrů a pokračoval tak do stanovené hranice.

Let č. 4

I tento let první let z Karviné lze označit za průzkumný. Po startu bezpilotního prostředku, který byl proveden proti směru větru, převedl pilot bezpilotní prostředek do stoupaní. I v tomto případě zvolil nikoliv přímý let do stanovené výšky, ale let po okruzích. Bylo nutné, aby se s bezpilotním prostředkem nacházel ve vzdušném prostoru modelářského letiště, neboť zde bylo omezení: ze západu Dolem Lazy a ze severu pozemní komunikací. Po dosažení dohodnuté výšky pilot následně ubral plyn na volnoběh a převedl bezpilotní prostředek do klesání. Celý let byl v délce trvání 10 minut jedním z nejkratších.

Let č. 5

Zhruba po hodině od prvního letu byl proveden druhý let. Z výsledku prvního měření nebyly zjištěny žádné výrazné koncentrace v určité výšce, proto byla vyzkoušena náhradní třetí varianta měření. Pilot tedy vzlétl s bezpilotním prostředkem do počáteční výšky 100 metrů, kterou vždy přibližně navyšoval o stejnou hodnotu. Je nutné podotknout, že měl pouze vizuální přehled o tom, jak jednotlivé vrstvy prolétává. Pro tento typ měření je tedy spíše vhodný autonomní let. Jelikož autonomní let nebyl v době měření k dispozici, musel pilot provést let manuální. Poslední měření bylo nejkratší, v celkové době trvání osmi minut.

6.3.1 Zpracování dat

Po těchto měřeních následovala neméně důležitá část, tedy zpracování naměřených hodnot. Data se ukládala přímo na paměťovou kartu v bezpilotním prostředku. Textový soubor obsahoval několik sloupců, které patřily jednotlivým měřeným parametrům s jednotkami. Poslední sloupec tvořil čas naměřené veličiny v sekundách. Kvůli dalším úpravám bylo nutné přesunout tyto data do souboru Microsoft Excel. Zde byly data upraveny do přehledné tabulky, rovněž byl stanoven přesný čas v hodinách. Následně byly vytvořeny grafy pro každou měřenou veličinu. Všechny tyto soubory jsou přiloženy v příloze.

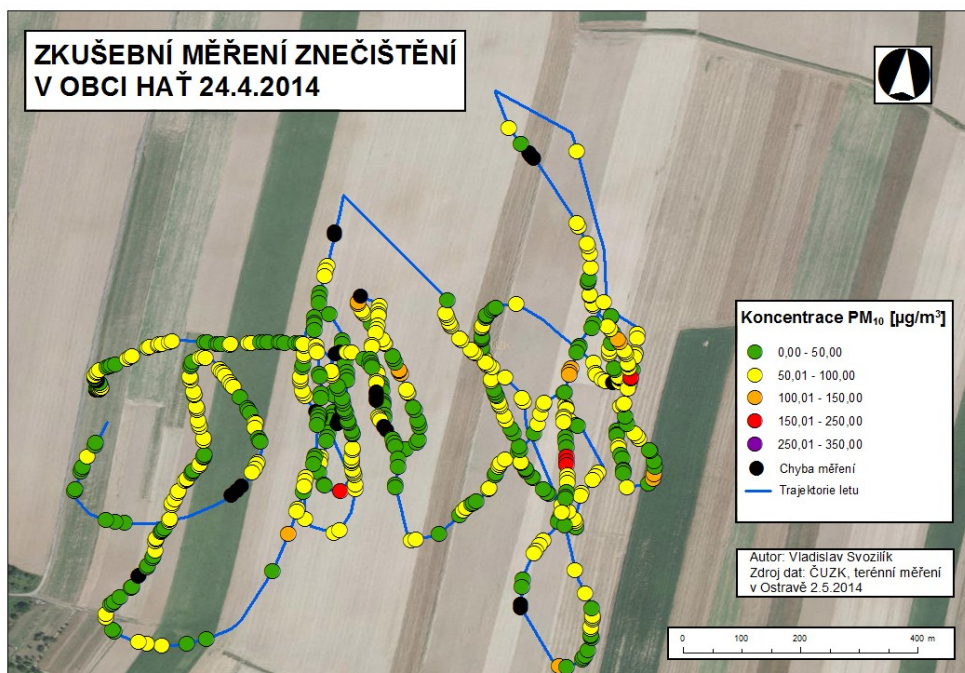
Vizualizace v podobě mapy probíhala v softwaru GIS. Zde bylo důležité synchronizovat naměřená data ze snímačů s telemetrií bezpilotního prostředku, ze které byla získána GPS poloha. Bohužel se nepodařilo synchronizovat všechna data. Proto byl k vyhodnocení také vybrán ten soubor dat, kde bylo největší množství spárovaných hodnot.

6.3.2 Grafické výstupy

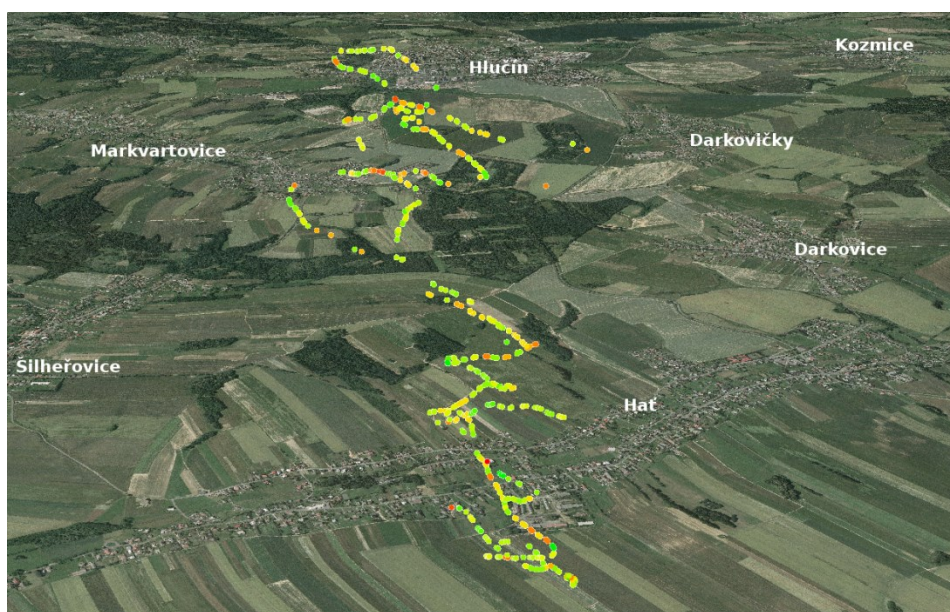
Pro vizualizaci naměřených hodnot ve formě mapy je nejvíce vhodné ze všech, měření č. 1. Je to již ze zmíněného důvodu největšího počtu synchronizovaných hodnot mezi GPS polohou a naměřenou hodnotou ze snímače.

Zaznamenané koncentrace polévatého prachu PM_{10} byly vykresleny do 2D a 3D mapy. Z obrázku je patrné, že byly naměřeny okamžité hodnoty v rozmezí 0 – 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jedná se o rozsah daný snímačem prachu. Krajiní hodnoty měření tedy 0 a 500 lze označit za chybové, jelikož za letu mohlo dojít vlivem vibrací k rozpojení a následnému spojení konektoru.

I když byly naměřeny hodnoty přesahující limit stanovený zákonem 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jiné než zelené hodnoty), nemůžeme tvrdit, že bylo ovzduší znečištěné. A to z jednoho důvodu. Tento limit stanovuje koncentrace za 24 hodin. Náš let trval pouhých 15 minut. Pro tento závěr by bylo zapotřebí série letů, alespoň vždy jednou za hodinu. Nicméně určité koncentrace polévatého prachu, byly v ovzduší naměřeny. Z 3D mapy vidíme, že se střídaly v závislosti na výšce. Největší pak byly těsně pod vrcholem dostupu. Ten byl v tu chvíli přibližně 600 m.

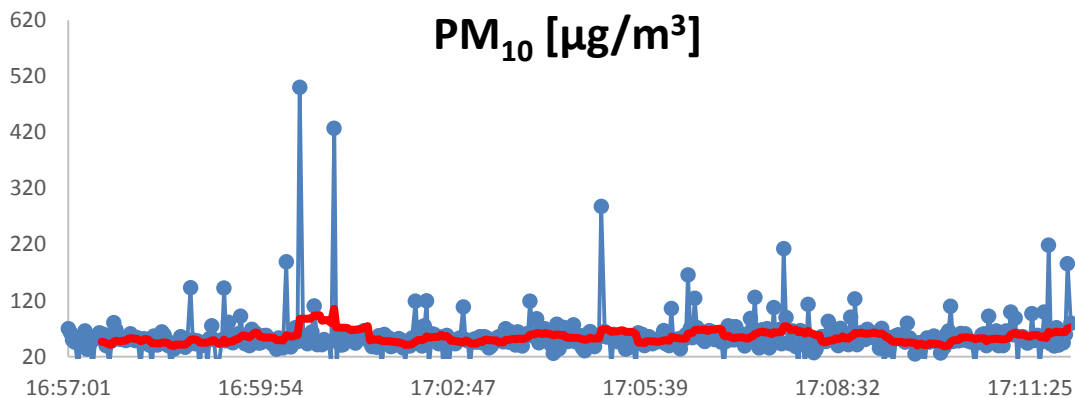


Obrázek 6.8: Mapa zkušebního měření znečištění ve 2D (autor: Vladislav Svozilik)



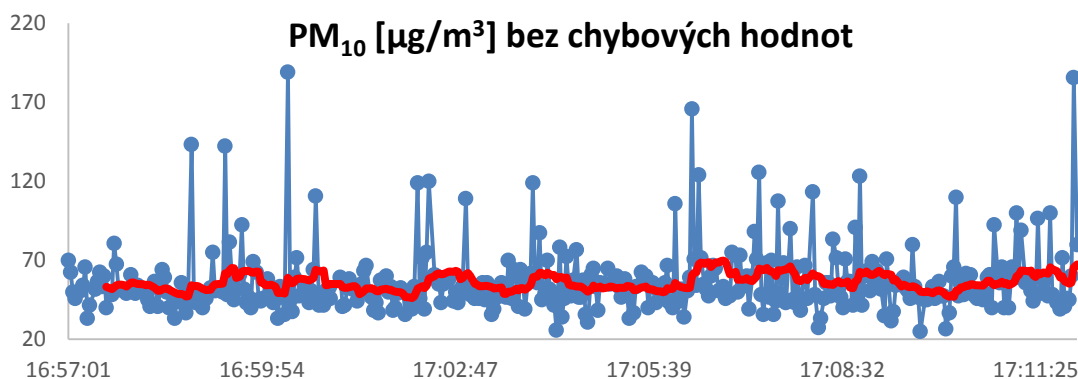
Obrázek 6.9: Mapa zkušebního měření znečištění ve 3D (autor: Vladislav Svozilik)

Závislost polétavého prachu na čase ukazuje následující graf. Červená čára představuje spojnici mezi jednotlivými hodnotami. Odborně nazvaná spojnice trendu. Rozmezí je vykresleno mezi 20 -120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



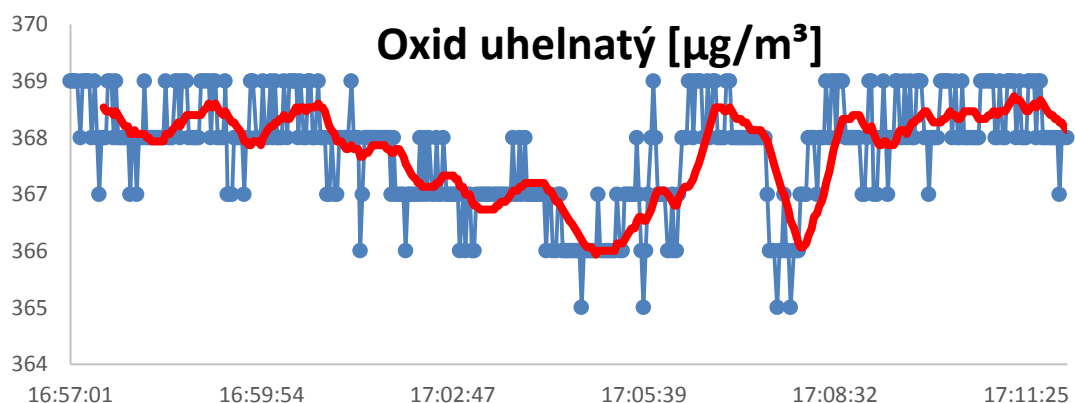
Graf 6.1: Koncentrace PM_{10}

Hodnoty, které výrazně vystupují od spojnice, jsou právě chybové hodnoty. Jak by tento graf vypadal bez těchto hodnot, je zobrazeno v následujícím grafu.



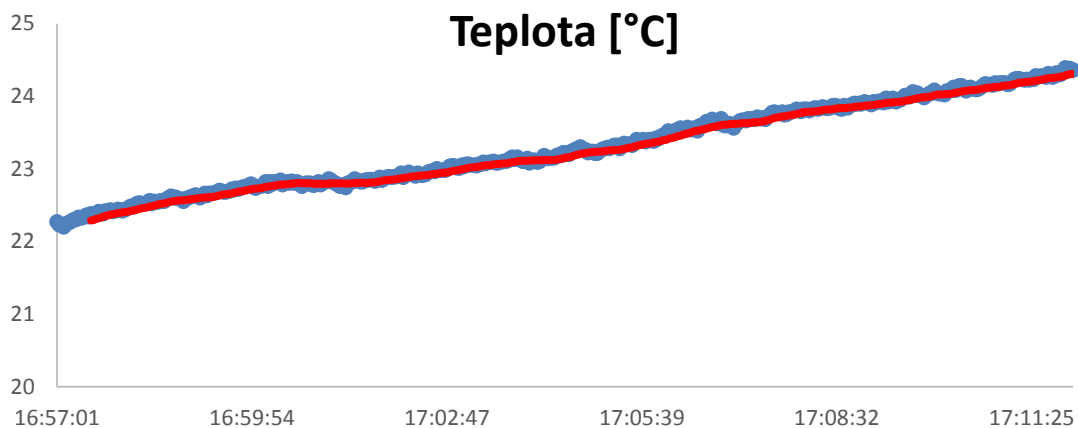
Graf 6.2: Koncentrace PM_{10} bez chybových hodnot

Další graf ukazuje koncentrace oxidu uhelnatého nad letištěm v Hati. Naměřené hodnoty sice nepřekračují standardní hodnoty v ovzduší. Je zde ale podezření, že snímač nefunguje zcela správně. Naměřené hodnoty po všech měřeních byly vyhodnoceny v rozmezí 350 až 370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Což je podezřelé, neboť měření byly uskutečněny za různých meteorologických podmínek i na různých místech.



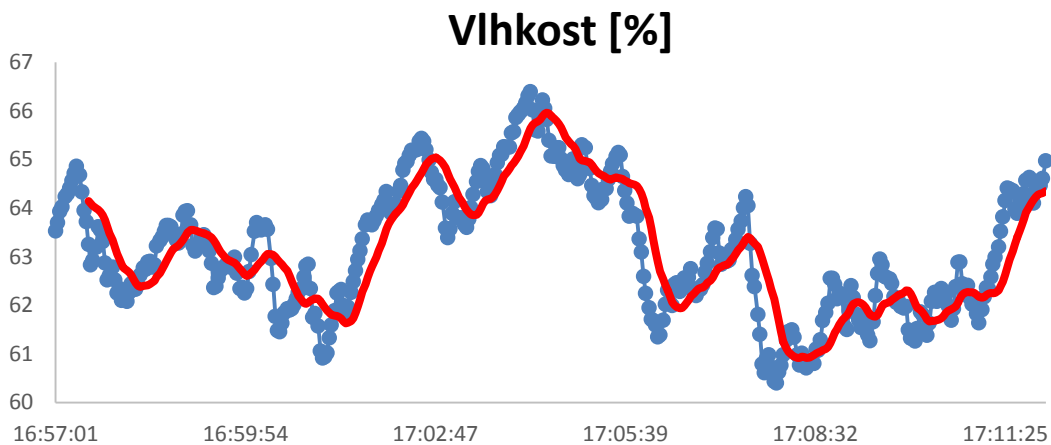
Graf 6.4: Oxid uhelnatý

Z grafu teploty na čase můžeme pozorovat, že teplota neustále roste. S tímto jevem se v atmosféře setkáváme, hovoříme o něm jako o teplotní inverzi. V čase 17:11 se bezpilotní prostředek nacházel již na zemi. Z tohoto důvodu lze vyvodit závěr, že snímač teploty nefungoval po celý let zcela správně.



Graf 6.5: Teplota

Stav nasycení ovzduší vodními parami nám ukazuje poslední graf. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí od 61% až po 66%. Jelikož se hodnota v čase přistání blíží hodnotě v čase vzletu, je pravděpodobné, že tento snímač funguje správně.



Graf 6.6: Vlhkost

7. Diskuze výsledku, závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda je možné měřit zvolené látky a veličiny za využití bezpilotního prostředku. Předcházela tomu analýza platné legislativy, zkoumání podobných projektů v zahraničí a v neposlední řadě nastudování stavu ovzduší na Ostravsku. Po objektivním zhodnocení bylo možné vyslovit, že provést letová měření za určitých podmínek lze. Zbývalo však vybrat vhodný bezpilotní prostředek.

Zvláště pro tuto bakalářskou práci byl navržen bezpilotní systém Stalker. Po kalibraci snímačů na meteorologické stanici ČHMÚ, několika zalétávacích letech bylo možné naplánovat měření. Ty byly provedeny s ohledem na meteorologickou situaci na konci měsíce dubna. Celkem bezpilotní prostředek nalétal přes dvě letové hodiny, z čehož měřících bylo 70 minut. Pro věrohodné měření by bylo zapotřebí mnohem více letových hodin, proto rovněž nelze z naměřených hodnot vyvozovat závěr o znečištění ovzduší.

Navržený způsob měření, není příliš vhodný pro manuální létání. Ve výšce nad 300 m pilot nedokáže pouze na základě vizuálního kontaktu udržet bezpilotní prostředek ve stanovené výšce. Proto by bylo vhodnější použít například autopilota. Z důvodu bezpečnosti by stálo za úvahu zabudovat do bezpilotního prostředku záchranný systém v podobě padáku. Bepilotní letadlo by se tak mohlo pohybovat blíže ke zdrojům znečištění s menším rizikem.

Všechny vybrané snímače se bohužel neosvědčily pro tento typ měření. Po vyhodnocení výsledků lze konstatovat, že snímače fungují na zemi, za letu však vlivem vibrací dochází například u prachového snímače k částečnému vypojení konektoru z desky, což následně toto měření znehodnocuje. Řešením by bylo konektory upevnit například suchým zipem a měření opakovat. Na vysoké hodnoty, které prachový snímač zaznamenal, mohl mít vliv také fakt, že motor, který pohání bezpilotní prostředek je spalovací. Spaliny, které produkuje, mohli v ovzduší určitou dobu zůstat. Při následném klesání do nich bezpilotní prostředek mohl nalétnout a naměřit je. Toto tvrzení však nelze s určitostí potvrdit. Za vyzkoušení by stálo použít bezpilotní prostředek s elektrickým pohonem, se stejnými snímači a toto tvrzení tak vyvrátit. Jelikož nebylo možné létat v oblačnosti, nevíme, do jaké míry ovlivňuje vodní aerosol spolu s prachovými částicemi snímače. Proto byl uskutečněn pokus na zemi. Byly simulovány

stejně podmínky jako za letu, bohužel vlivem vibrací opět došlo k rozpojení konektoru a prachový snímač nefungoval.

Při transportu se ukázalo, že je velice rizikové převážet bezpilotní prostředek v osobním automobilu. Došlo totiž k poškození směrových kormidel, i když byl bezpilotní prostředek důkladně zabalen. Vhodnějším by mohl být jiný dopravní prostředek například dodávka.

I přes krátký čas, který byl na přípravu celého projektu, následně na jeho realizaci a samotné provedení měřených letů je výsledek velice povzbuzující. Bepilotní systém je funkční a po aplikování výše uvedených doporučení bude připraven na profesionální použití.

8. Seznam použité literatury

- [1] SADECKÝ, Ing. Bc. Zdeněk. *Uplatnění bezpilotních prostředků v bezpečnostní praxi*. In: SADECKÝ, Ing. Bc. Zdeněk. UAV/UAS/RPAS ELEKTRONICKÝ ZPRAVODAJ [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.uav.estranky.cz/clanky/autor--s-texts---autorovy-prispevky/zamysleni-nad-uplatnenim-uav-v-bezpecnostni-praxi.html>
- [2] KLEMENT, J. Evropská iniciativa v oblasti bezpilotních prostředků pro civilní využití [online]. [cit. 2014-04-17]. Dostupné z WWW: http://lu.fme.vutbr.cz/cuav/index_soubory/prispevky/Klement.ppt>.
- [3] UCL. *Předpis L 2. Doplněk X* [online]. Praha: 30. května 2013 [cit. 3. února 2014]. Dostupný z <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [4] AUSTIN, Reg. *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development, and deployment*. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley, 2010, s. 5-9. ISBN 9780470058190.
- [5] UCL. *Směrnice_CAA-S-SLS-010-0-2013: Postupy pro vydání povolení k létání letadla bez pilota*. In: Praha, 21.1.2013. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/postupy-pro-vydani-povoleni-k-letani-letadla-bez-pilota>
- [6] JANČÍK, Petr. *Atlas ostravského ovzduší*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU, 2013, 127 s. ISBN 978-80-248-3006-3.
- [7] CENIA, česká informační agentura životního prostředí. *Stav životního prostředí v jednotlivých krajích ČR: Moravskoslezský kraj 2009*. Cenia, 2010, 12 s. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/node/237>
- [8] VLČKOVÁ, Radka. *Imisní monitoring: aneb jak se měří imise*. [online]. s. 9 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://www.ecmost.cz/img/clanky/imise/imisni_monitoring.pdf
- [9] BEDNÁŘ, J. *Meteorologie: Úvod o studia dějů v zemské atmosféře, Stabilita v atmosféře, Teplotní inverze*. první vyd. Praha: Portál, 2003, s. 95-99.
- [10] Ministerstvo životního prostředí, Integrovaný registr znečišťování, *Polétavý prach*. [online]. s. 3 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf
- [11] Ministerstvo životního prostředí, Integrovaný registr znečišťování, *Oxid uhelnatý*. [online]. s. 4 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: http://www.irz.cz/repository/latky/oxid_uhelnaty.pdf

- [12] KDÉR, František. *Učebnice sportovního letce*. Meteorologické prvky, Teplota vzduchu. 2. přeprac. vyd. Další tvůrci: Ing. Carbol, V. Ing. Chyba, J. Ing. Lukáč, M. Ing. Maléř, Z. Ing. Novák, F. Ing. Tůma, J. RNDr. Kopáček, J. CSc. Kobar, M. Praha: Naše vojsko, 1980, s. 287.
- [13] KDÉR, František. *Učebnice sportovního letce*. Meteorologické prvky, Vlhkost vzduchu. 2. přeprac. vyd. Další tvůrci: Ing. Carbol, V. Ing. Chyba, J. Ing. Lukáč, M. Ing. Maléř, Z. Ing. Novák, F. Ing. Tůma, J. RNDr. Kopáček, J. CSc. Kobar, M. Praha: Naše vojsko, 1980, s. 288-289.
- [14] *Roční průměrné koncentrace PM10 v letech 2002–2012: Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/kap2421.html>
- [15] *Synoptická mapa: Wetterzentrale* [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsfaxsem.html>
- [16] *Aerologický výstup: Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2014. vyd. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr12cz/kap2421.html>

9. Seznam příloh

Příloha A - Vývojový diagram k evidenci bezpilotního prostředku49

Příloha B – Formulář žádosti o povolení k létání (vložen na CD)

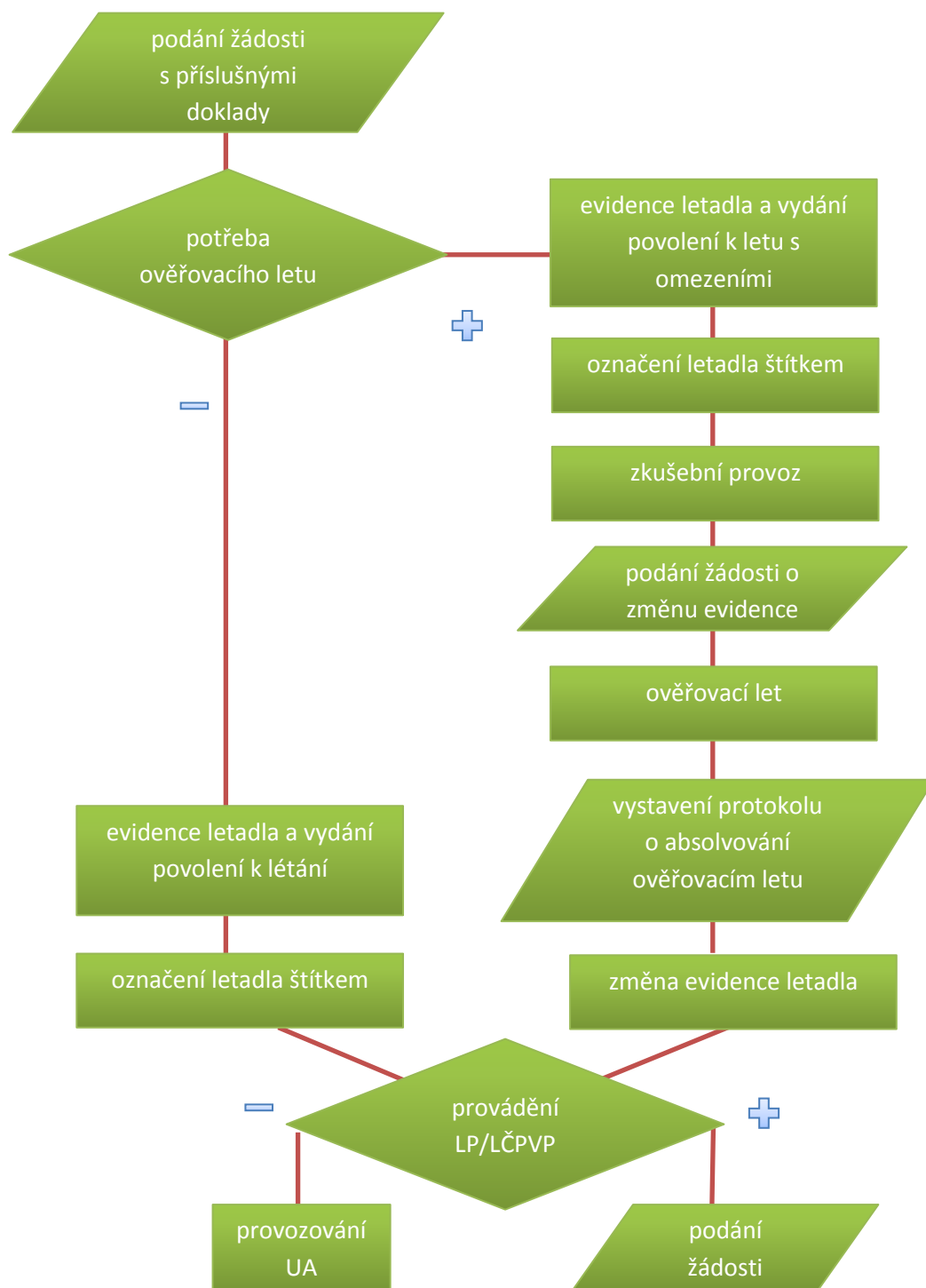
Příloha C – Letový deník bezpilotního systému Stalker (vložen na CD)

Příloha D – Letová příručka bezpilotního systému Stalker (vložen v kapse)

Příloha E – Naměřená data (vložen na CD)

Příloha F – 3D mapa zkušební měření znečištění v Hati (vložen v kapse)

Příloha A - Vývojový diagram k evidenci bezpilotního prostředku



Obrázek A: Vývojový diagram k procesu evidence bezpilotního prostředku [5]