

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Využití UAV ve Smart Cities pro měření kvality ovzduší
Bakalářská práce

Autor: Zuzana Švábová
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Hradec Králové

4/2024

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 24.4.2024

Zuzana Švábová

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Mlsovi Ph.D. za metodické vedení práce a cenné rady při jejím zpracování.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou a srovnáním aktuálních možností využití UAV v rámci Smart Cities se zaměřením na jejich schopnost měřit kvalitu ovzduší. Teoretická část práce stručně uvádí historii UAV, jejich obecnou konstrukci a principy Smart Cities, jakož i legislativní rámec týkající se UAV. Praktická část práce se zaměřuje na měření a prezentaci naměřených dat a zahrnuje sestavení zařízení pro měření kvality ovzduší, které bylo připevněno na dron. Výsledkem práce bylo úspěšně provedené měření a prezentace naměřených údajů, které poskytly důležité poznatky o možnostech využití UAV pro monitorování. Tato studie přispívá k lepšímu porozumění potenciálu UAV v rámci Smart Cities a poskytuje podklady pro další výzkum v oblasti využití UAV pro monitorování životního prostředí.

Abstract

Title: The use of UAVs in Smart Cities for air quality monitoring

This bachelor thesis deals with the analysis and comparison of current possibilities of UAV utilization within Smart Cities, focusing on their capability to measure air quality. The theoretical part of the thesis briefly introduces the history of UAVs, their general construction, the principles of Smart Cities, and the legislative framework related to UAVs. The practical part of the thesis focuses on the measurement and presentation of collected data, including the assembly of a device for air quality measurement mounted on a drone. The outcome of the thesis was the successful measurement and presentation of collected data, providing valuable insights into the potential uses of UAVs for monitoring purposes. This study contributes to a better understanding of UAV potential within Smart Cities and provides groundwork for further research in the field of UAV utilization for environmental monitoring.

Klíčová slova: UAV, Dron, Smart Cities, Kvalita ovzduší, měření

Key words: UAV, Drone, Smart Cities, Air quality, measuring

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl a metodika práce.....	2
3	Historie a konstrukce dronů.....	3
3.1	Historie.....	3
3.1.1	Od začátku letectví do konce druhé světové války.....	3
3.1.2	Evoluce letectví v prvních desetiletích studené války.....	4
3.1.3	Od konce vietnamské války do konce 90. let.....	5
3.1.4	Bezpilotní letouny v novodobé historii a současnosti 21. století.....	7
3.2	Konstrukce dronů.....	9
4	Smart Cities.....	11
4.1	Klíčové technologie a prvky Smart Cities.....	11
4.2	Příklady ve světě.....	13
4.3	Výzvy a budoucnost.....	13
4.4	Drony a Smart Cities.....	14
4.5	Smart Cities a znečištění ovzduší.....	15
5	Legislativa UAV.....	19
5.1	Kategorizace provozu bezpilotních systémů.....	19
5.1.1	Kategorie OPEN.....	20
5.1.2	Kategorie SPECIFIC.....	24
5.1.3	Kategorie CERTIFIED.....	24
6	Měření a analýza dat.....	25
6.1	Měřicí zařízení.....	25
6.1.1	Tradiční měřicí stanice.....	25
6.1.2	Přenosné detektory.....	25
6.1.3	Drony.....	25

6.2	Měření	26
6.2.1	Aerodynamika dronu.....	26
6.2.2	Popis měření	27
6.2.3	Vyhodnocení měření.....	34
6.3	Analýza dat.....	35
7	Shrnutí a diskuse výsledků.....	37
8	Závěry a doporučení	38
9	Seznam použité literatury.....	39

Seznam obrázků

Obr. 1 Kettering bug.....	4
Obr. 2 britský reaper	8
Obr. 3 Komponenty dronu.....	10
Obr. 4 Smart City	11
Obr. 5 Kategorizace provozu bezpilotních systémů.....	19
Obr. 6 Podkategorie A1 s třídou C0	20
Obr. 7 Podkategorie A1 s třídou C1	21
Obr. 8 Podkategorie A2.....	21
Obr. 9 Podkategorie A3.....	22
Obr. 10 Přehled tříd v kategorii OPEN.....	23
Obr. 12 Obrysové čáry velikosti rychlosti ve chvíli kdy dron stojí na místě.....	27
Obr. 11 Dron ve stacionárním režimu a) z boku b) zezadu c) shora d) 3D perspektiva	27
Obr. 13 Měřicí sestava.....	29
Obr. 14 Transportní box na dron.....	31
Obr. 15 Měřicí sestava včetně vytištěné krabičky pro připevnění ke dronu.....	32
Obr. 16 Dron s připevněnou měřicí sestavou	33
Obr. 17 Formát naměřených dat uložených v souboru.....	34

Seznam tabulek

Tabulka 1 Naměřené hodnoty přiřazené k výšce.....	35
---	----

1 Úvod

Dron, známý také jako bezpilotní letadlo nebo UAV (Unmanned Aerial Vehicle), představuje bezpilotní letecký systém schopný provádět různé úkoly bez přímého řízení pilota na palubě.[1] Tato bakalářská práce se zaměřuje na analýzu a srovnání současných možností využití UAV v rámci Smart Cities se zvláštním důrazem na jejich schopnost měřit kvalitu ovzduší. V kontextu moderního městského plánování a technologických inovací hrají drony klíčovou roli, neboť nabízejí široké spektrum aplikací napříč různými odvětvími.

Důvodem volby tohoto tématu jako závěrečné práce je nejen rostoucí význam dronů v kontextu Smart Cities, ale také naléhavá potřeba monitorování kvality ovzduší ve městech. S narůstající urbanizací a dopady klimatických změn se stává problematika ovzduší jedním z klíčových faktorů ovlivňujících životní prostředí a zdraví obyvatel. Teoretická část práce uvádí stručný přehled historie bezpilotních letounů, jejich obecné konstrukce a základní principy Smart Cities. Dále zkoumá legislativní rámec týkající se UAV, což je klíčový aspekt při jejich využití v urbanistickém prostředí.

Praktická část této práce se zaměřuje na konkrétní provádění měření a následnou prezentaci dat, získaných za pomoci zařízení vytvořeného k monitorování kvality ovzduší, které bylo připevněno k dronu. Výsledky této prezentace poskytují důležité poznatky o efektivitě a spolehlivosti UAV při monitorování životního prostředí v městském kontextu. Tato práce si klade za cíl přinést poznatky o potenciálu dronů v rámci Smart Cities a poskytuje podněty pro další výzkum v oblasti využití dronů pro monitorování a zlepšování kvality životního prostředí.

2 Cíl a metodika práce

Cílem této bakalářské práce je provést analýzu a porovnat současné možnosti využití UAV v rámci Smart Cities, s hlavním zaměřením na monitorování kvality ovzduší. Tento cíl bude dosažen prostřednictvím rešerše, která se zabývá historií UAV, jejich konstrukcí, principy Smart Cities a legislativním rámcem týkajícím se UAV.

Součástí práce bude také sestavení zařízení pro měření kvality ovzduší za využití dronu. Tento proces bude zahrnovat detailní popis použitých součástí, konfiguraci zařízení a definici provozních podmínek. Následně budou pomocí tohoto zařízení provedena konkrétní měření kvality ovzduší, a prezentace naměřených výsledků.

Pro zpracování této práce byla využita technologie umělé inteligence pro překlad textů z cizích jazyků, což přispělo k zajištění přesnosti a srozumitelnosti informací z různých zdrojů.

3 Historie a konstrukce dronů

3.1 Historie

Přestože se při uvažování o bezpilotních letadlech obvykle nehovoří o horkovzdušných balónech, z technického pohledu ovšem byly horkovzdušné balóny prvními letouny, které nevyžadovaly lidskou posádku. Proto je možné tvrdit, že historie bezpilotních letadel se datuje až do roku 1783, kdy byl poprvé vypuštěn horkovzdušný balón bez lidské posádky.[2]

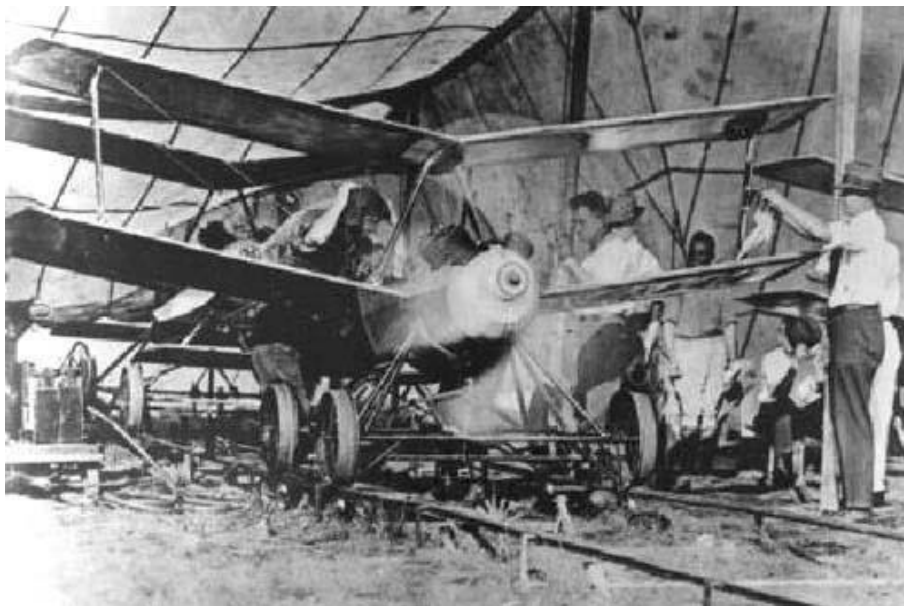
Pro účely této práce se však detailněji budeme zabývat historií letectví až od prvního letu s pilotem na palubě.

3.1.1 Od začátku letectví do konce druhé světové války

Od prvního letu bratří Wrightových v roce 1903 se začal rozvíjet letecký průmysl a brzy nato vzniklo první bezpilotní letadlo.[3] Období první světové války, tj. období mezi lety 1914 a 1918, bylo poznamenáno masovým nasazením válečných letadel a jejich neustálými a mnohými ztrátami. S potřebou nahradit ztráty letadel a pilotů, začali vojenští velitelé uvažovat o využití bezpilotních letounů. Teorie Douheta [4], který zastával názor, že národ může být poražen teroristickým bombardováním, poskytla impulz k vývoji létajících bomb.

První prototyp bezpilotního letounu byl spojen s Američanem Elmerem Sperrym, který vytvořil letoun řízený autopilotem. V roce 1917 bylo provedeno první testování tohoto modelu bezpilotního letounu, stále však s pilotem ve stroji, který odpovídal za vzlet a přistání, zatímco autopilot řídil zbývající části letu. [3]

V té době se současně objevil první bezpilotní letecký prostředek, známý jako Kettering Bug. Ten byl osazený automatem vyvinutým Charlesem Ketteringem. I když se Kettering Bug nedostal do boje v důsledku konce války, položil základy pro další vývoj bezpilotních letounů. [3]



Obr. 1 Kettering bug

Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/333584348_Brief_history_of_UAV_development

Po první světové válce se zrychlil vývoj stíhacích letadel, a s tím i metody výcviku pilotů a protivzdušné obrany. Vznikl program Pilotless Target Aircraft (PTA) a Queen Bee ve Spojeném království, v rámci kterého byl navržen první bezpilotní letoun s možností návratu po splnění mise. Po vypuknutí druhé světové války významně vzrostla poptávka po bezpilotních cvičných letadlech.[3]

Během druhé světové války se ztráty bombardovacích letadel zvyšovaly, a tak začala růst poptávka po alternativách. Vzdušné síly německé říše za války vyvinuly vzdušné torpédo, a to s cílem bombardovat Londýn. Ačkoliv byl tento systém označován za "kouzelnou zbraň," jeho vliv na výsledek války byl omezený. I přesto však poukázal na podstatný význam bezpilotních letounů v moderním konfliktu.

V následujících letech se bezpilotní letouny staly klíčovým prvkem vojenské technologie, předznamenávajíc novou éru v používání leteckých prostředků. S postupem času se poté objevily nové výzvy a příležitosti, které formovaly směřování bezpilotních systémů do současnosti a budoucnosti. [3]

3.1.2 Evoluce letectví v prvních desetiletích studené války

Po druhé světové válce pokračovaly výzkumy související s bezpilotními leteckými prostředky, což bylo mimo jiné podpořeno velkým rozvojem automatizovaných systémů.

Během studené války, v důsledku globální hrozby jaderného konfliktu, se stala strategická průzkumná činnost nezbytnou součástí aktivit jednotlivých aktérů a stran tohoto konfliktu. Špionážní letoun U-2 vyvinutý v první polovině 50. let na zakázku vlády Spojených států amerických, se stal symbolem této éry. Tento byl však dne 1. května roku 1960 sestřelen sovětskou protivzdušnou obranou nad územím tehdejšího Sovětského svazu. Tato událost jasně ukázala, že ani vysoká letová výška není dostatečnou ochranou pro systémy bezpilotních letounů. Navíc, vysoké náklady programu a mediální skandál po sestřelu ukázaly nevýhody takových letadel.

Vzhledem k těmto faktorům začali vedoucí představitelé armád jednotlivých stran uvažovat o bezpilotních průzkumných systémech, které by mohly pořizovat kvalitní fotografie nad nepřátelsky ovládaným územím. Tak vzniklo nové využití pro UAV, těmi byly průzkumné drony. [3]

V roce 1960 sestavila společnost Ryan Aeronautical první průzkumný dron, který dostal jméno „Lightning Bug”. Tento nový bezpilotní letecký prostředek se poprvé ukázal jako užitečný prvek ve vietnamské válce.

Nové úkoly dronů zahrnovaly fotografování území, a to ve dne a v noci, elektronický průzkum, rušení signálu, klamání nebo také rozšiřování letáků.

Rychlá reakce byla zpožděna tím, že informace shromážděné průzkumným dronem Lightning Bug mohly být analyzovány až po jeho návratu. V návaznosti na následný vývoj, bylo poté od roku 1972 dokonce možné, vysílat data z průzkumných dronů živě na pozemní stanici. Za zmínku dále stojí i model 147-SC od společnosti Ryan Aeronautical, který byl vybaven televizní kamerou a datalinkovým systémem. [3]

3.1.3 Od konce vietnamské války do konce 90. let

Po skončení vietnamské války v roce 1975, resp. od pozdních 70. let a raných 80. let, kdy nastal rychlý vývoj elektroniky, tento poskytl obrovský impulz i výzkumu v oblasti letectví obecně, a konkrétně oblasti vývoje bezpilotních letounů. Od těchto let byla intenzivně využívána digitální technologie, a to díky levným CPU (Centrální procesorová jednotka) a rychlému vývoji softwaru. Jedním z největších vojenských konfliktů této doby byla arabsko-izraelská válka. Příprava na tuto válku ukázala, že včasné získávání informací a rozvědka, která je schopna tyto informace efektivně

analyzovat a vyhodnocovat, jsou klíčovými faktory podstatnými pro válečný konflikt. V těchto uváděných faktorech se Izrael jevil v té době jako nejlepší. Tuto činnost z velké části prováděly bezpilotní letouny, jejichž nasazení a zapojení vycházelo z velké části ze zkušeností Spojených států amerických, z vietnamské války. [3]

V 70. letech byl stát Izrael přední zemí výroby bezpilotních letounů. Rychlý technologický vývoj té doby tuto situaci ještě podpořil. Dvěma z neúspěšnějších bezpilotní letounů této dekády jsou drony Mastiff a Scout. [3] Tyto dva výše jmenované drony shromažďovaly informace o pozemních a vzdušných silách nepřítele, stejně jako o poloze radiových lokátorů a jejich parametrech. Během izraelských leteckých úderů byl prostřednictvím těchto dronů prováděn průzkum, byly jimi odhadovány výsledky úderů, a konečně tyto drony i sledovaly pohyb nepřátelských jednotek. Některé bezpilotní letouny byly schopny lokalizovat a rušit radiové vybavení nepřítele, což je výsledek jejich elektronického vývoje. Izraelské letectvo monitorovalo syrské letecké základny pomocí dronů, které poskytovaly živá data o vzletu stíhaček MiG. Díky tomu tak mohli izraelští stíhači následně útočit na syrské letouny ihned po vzletu. V důsledku počátečního úspěchu vývoje bezpilotních letounů začali izraelští inženýři vyvíjet ještě pokročilejší bezpilotní letouny. Tato nová technologie je obecně známa pod názvem Pioneer. Největší nákup bezpilotních letounů s technologií Pioneer provedly Spojené státy americké. V té době, tj. když byly ze strany Spojených států amerických pořízeny bezpilotní letouny Pioneer, měla námořní pěchota ozbrojených sil Spojených států amerických naléhavou potřebu malých, těžko lokalizovatelných a zároveň levných dronů. I proto byla volba bezpilotního letounů Pioneer ideální kombinací požadovaných parametrů. Dron této technologie byl schopen letět po předem naprogramované trase, ale při potřebě jej šlo ovládat operátorem. Mezi jeho funkce patřil dosah datového přenosu 185 km. Mohl být ve vzduchu po dobu až 5 hodin a v neposlední řadě unesl náklad o hmotnosti 35 kg. [3]

Po dominanci izraelského vývoje bezpilotních letounů v 70. a 80. letech se Spojené státy americké staly vedoucí zemí ve výrobě bezpilotních letounů.

K tomu však významně přispěly vojenské konflikty té doby. V roce 1991 zahájily Spojené státy americké a jejich spojenci operaci Desert Shield v Iráku.[5] Spojenecké síly dosáhly rychlého vítězství díky využití nejmodernější technologie.

Od 90. let se staly bezpilotní letouny prostředky, které jsou schopny shromáždit extrémní množství dat a přitom jsou schopny létat hluboko do nepřítelův ovládaných území.

Od roku 1995 se bezpilotní letouny Pioneers zapojily např. také do války na Balkáně kde se osvědčily jako efektivní systémy.

Ve stejném roce byl představen systém bezpilotního letounu USAF Predator UAV v evropském bojišti. Tyto dva modely byly osazeny vybavením SAR (Search and Rescue) a byly osazeny systémy, které zajišťovaly satelitní datové spojení. To tak umožnilo uskutečnění a zajištění provozu mise, ev. i její splnění v jakémkoli meteorologickém stavu. Během operací bezpilotní letouny Predators odhadovaly úspěšnost leteckých úderů. Tyto bezpilotní letouny uletěly během 120denní operace 750 hodin, a to v celkem 80 provedených letech. Navzdory velkému počtu letů byly ztraceny pouze 2 bezpilotní letouny Predators. [3]

3.1.4 Bepilotní letouny v novodobé historii a současnosti 21. století

Nyní se ještě zaměříme na období přelomu tisíciletí a začátek 21. století.

V roce 2001 poprvé vzlétl bezpilotní letoun Reaper vyvinutý General Atomics Aeronautical Systems, který je starším bratrem Predatora. Byl to první bezpilotní letoun, který byl navržený jako lovec-likvidátor pro dlouhodobé lety a dohled ve vysokých výškách. Každopádně jeho hlavním úkolem byl úder na pozemní cíle. Vedle leteckých úderů tak mohl provádět i strategický letecký dohled, a to díky své letové výdrži pohybující se od 14 do 42 hodin letu. Jeho první akce proběhla v Afghánistánu v roce 2007, ale od té doby byl používán také v konfliktech v Libyi a Mali. [3]



Obr. 2 britský reaper

Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/333584348_Brief_history_of_UAV_development

V poměrech aktuální situace, tj. asymetrické války [6], se malé, levné a ručně vypouštěné bezpilotní letouny staly mimořádně důležitými, a to zejména u armády. Takové bezpilotní letouny mohou být použity v městské válce, neboť tyto jsou poháněny elektrickou energií, což je činí tichými, přenosnými a ovladatelnými pomocí laptopu nebo tabletu. Tyto drony bývají obvykle vybaveny EO (elektrooptickými) nebo IR (infračervenými) kamerami, a jejich záběry jsou v reálném čase přenášeny k operátorovi. Nicméně je nezbytné vzít v úvahu, že v jejich provozní výšce může být možnost vizuální koordinace narušována okolností bojiště, jakými jsou například kouř, prach nebo oheň.

Bezpilotní letoun Black Hornet Nano je nejlepším příkladem tohoto typu dronů. Jedná se o vojenský mikro bezpilotní prostředek vyvinutý a vyráběný společností Prox Dynamics AS, se sídlem v Norsku, a který je využíván norskou a britskou armádou a také námořnictvem Spojených států amerických. Jednotka má rozměry kolem 10×2,5 cm a poskytuje pětichvězdičkově lokální situační povědomí. Tento bezpilotní prostředek je dost malý na to, aby se vešel do jedné ruky operátora a váží necelých 16 g, a to včetně baterií. Ovládání tohoto typu bezpilotního letounu je navrženo jako co nejjednodušší a operátor se může podle dostupných informací naučit ovládat

Black Hornet během 20 minut. Bezpilotní letoun Black Hornet je vybaven kamerou, která operátorovi poskytuje plně pohyblivý obrazový záznam i statické snímky. [3] Na závěr historického přehledu bezpilotních letounů v novodobé historii a současnosti 21. století je patrné, že jejich využití sahá od vojenských operací až po civilní aplikace. V této době jsou drony stále více integrovány do komerční sféry, kde se stávají nezbytným nástrojem pro průmyslová odvětví, jako jsou filmová produkce, zemědělství, stavebnictví a další. S rostoucími technologickými inovacemi a pokrokem v oblasti autonomních letounů se očekává, že jejich využití v komerčním prostředí bude nadále expandovat. A čím jsou výkonnější, tím více mohou nahrazovat konvenční leteckou dopravu v čím dál větším měřítku. [3]

3.2 Konstrukce dronů

Nyní je v rámci této práce nezbytné nadefinovat a popsat jednotlivé části konstrukce dronu a popis jeho podstatných částí. Pro účely této práce bude popsána obecná konstrukce dronu, tj. bez dílčích rozlišení dronů vhodných pro vojenské využití, dronů rekreačních, sportovních nebo např. logistických dronů.

Základní konstrukci drony lze v obecné rovině rozdělit na 6 následujících prvků. Těmi je rám, řídicí jednotka, regulátory, motor a vrtule, baterie, kamera a gimbal.

Rám

Základem celého dronu je rám, který poskytuje ochranu pro všechny komponenty které drží pohromadě. Cílem při výběru rámu je kompromis mezi jeho hmotností a pevností. Klasické drony mají většinou rámy plastové, závodní drony využívají naopak rámy karbonové. [7]

Řídicí jednotka (FC)

Řídicí jednotka je označována za tzv. mozek dronu. Obsahuje mikroprocesory, senzory a software. Každá jednotka také má IMU (inerciální měřicí systém) jednotku, která obsahuje kombinaci gyroskopu a akcelerometru. Ta zaznamenává změny v pohybu a posílá je hlavní jednotce, díky tomu je dron schopen zachovat stabilní let. Mezi další senzory které se nacházejí v řídicí jednotce patří např. magnetometr, barometrický senzor nebo GPS. Tyto senzory sbírají data o pohybu, orientaci a výšce dronu nad povrchem, která se následně dále zpracovávají. [7]

Regulátory (ESC)

Regulátor slouží k řízení otáček jednotlivých motorů. Reaguje na povely z řídicí jednotky a určuje množství dodávaného proudu. Tímto způsobem ovlivňuje rychlost otáčení každého motoru. To má přímý dopad na stabilitu a pohyb dronu. [7]

Motory a vrtule

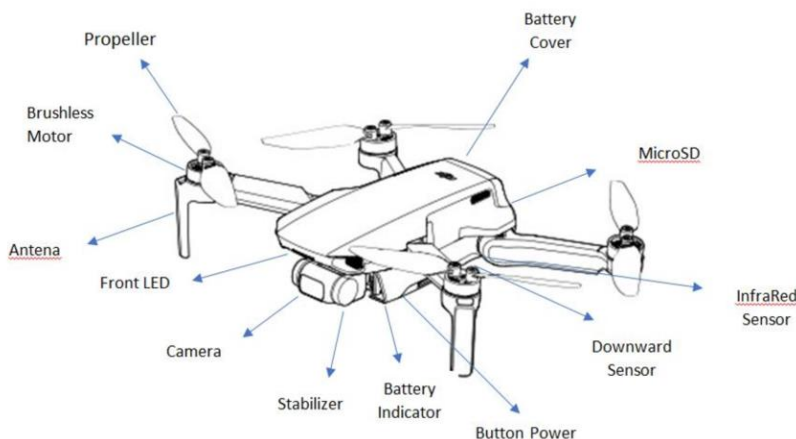
Motory a vrtule jsou klíčovými pohonnými jednotkami dronu. Motory generují potřebný tah pro udržení dronu ve vzduchu, zatímco vrtule umožňují řízení směru a výšky letu. [7]

Baterie

Napájení dronu je zajištěno prostřednictvím baterie, která dodává dronu nezbytnou energii pro pohon motorů a všech elektronických komponentů. Kapacita baterie ovlivňuje dobu letu, ale větší baterie neznámá automaticky bez dalšího delší let. Při volbě vhodné baterie je potřeba najít takovou baterii, která disponuje nejlepším poměrem kapacity a hmotnosti. Proto se nejčastěji používají lithium-polymerové nebo lithium-iontové baterie, které disponují vysokou energetickou hustotou a nízkou hmotností. [7]

Kamera a gimbal

Pokud je dron vybaven kamerou pro snímání fotografií nebo videí, tato bývá obvykle umístěna pod trupem dronu a bývá stabilizována pomocí gimbalu. Gimbal minimalizuje vibrace a tím umožňuje stabilní a plynulý pohyb kamery při letu.



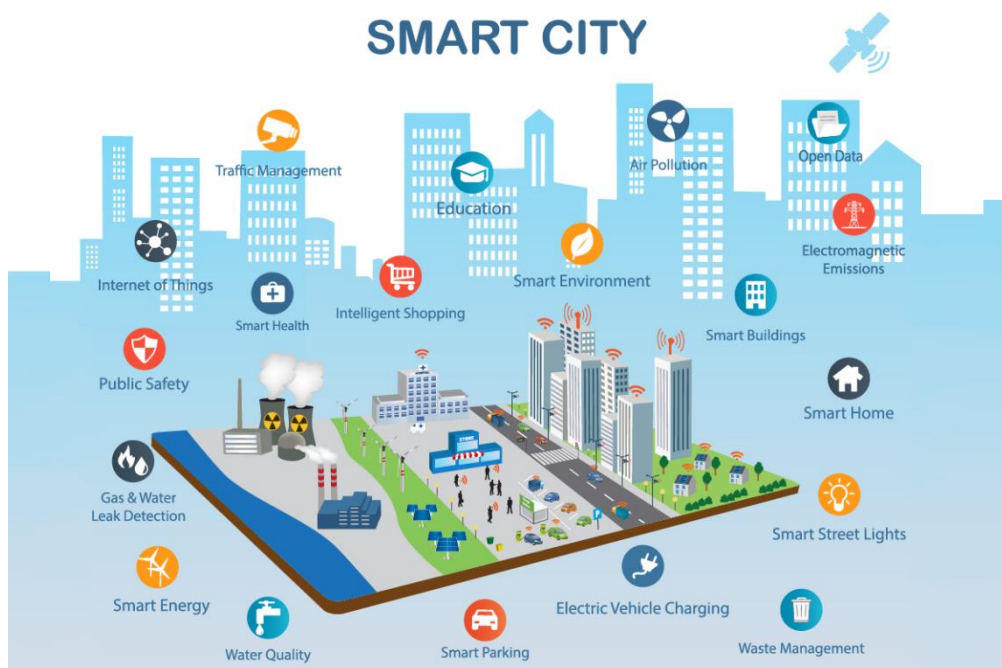
Obr. 3 Komponenty dronu

Zdroj:

https://www.researchgate.net/publication/356745147_Development_and_Effectiveness_of_Drone_as_a_Learning_Media_in_Islamic_Boarding_School

4 Smart Cities

Pro účely této práce je nyní třeba blíže popsat koncept Smart Cities, tzv. chytrých měst. Tento koncept označuje moderní urbanistický přístup, který využívá informační a komunikační technologie (ICT) k efektivnímu a inteligentnímu řízení městských funkcí a zlepšení kvality života obyvatel ve městech. Smart Cities integrují digitální technologie, sběr dat, senzory a komunikační sítě k monitorování a optimalizaci různých aspektů městského prostředí. [8]



Obr. 4 Smart City

Zdroj: <https://aliga.sk/en/what-the-heck-is-a-smart-city/>

4.1 Klíčové technologie a prvky Smart Cities

Mezi klíčové technologie a prvky Smart Cities, které vytvářejí pevnou infrastrukturu směřující k větší efektivitě, udržitelnosti a zlepšení kvality života obyvatel patří například:

- Internet věcí (IoT): Jedná se o jednu ze základních technologií, která propojuje fyzické objekty a zařízení s internetem, umožňující tak sběr a výměnu dat. V konceptu Smart Cities se IoT využívá napříč různými oblastmi, jako je doprava, energetika, zdravotnictví anebo budovy. Systémy IoT se

- skládají z chytrých zařízení, senzorů, softwaru, řadičů a cloudových serverů, a slouží k monitorování a řízení mnoha aspektů městského života.[9]
- Cloud Computing a Edge Computing: Chytrá města vyžadují velké množství dat pro analytické účely a obvykle tato data ukládají na několika různých místech, uložištích. Cloudové datové systémy využívají pevné disky ve svých datových centrech, přičemž tak eliminují redundanci dat a šifrují přenos takových dat. Cloudová řešení širší spektrum platebních možností než datová centra umístěná na místě. Edge Computing umožňuje městům zpracovávat data blízko zdroje, a může tak být cenově efektivnější než proces streamování dat do vzdáleného úložiště a poté následného streamování dat zpět k relevantním městským orgánům. [10]
 - Big Data Analýza: Zpracování, zkoumání a analýza velkého množství dat umožňuje objevit tržní trendy, poznatky a vzory, které mohou pomoci například firmám přijímat lepší obchodní rozhodnutí. Tyto informace jsou k dispozici rychle a efektivně, aby firmy mohly pružně vytvářet plány na udržení své konkurenční výhody. Obdobné se také může vztahovat o orgány veřejné správy a samosprávy, tj. nikoli pouze na obchodní společnosti. [11]
 - Umělá Inteligence (AI): Technologie AI může zpracovávat a analyzovat obrovské množství dat pro komplexní analytiku, což umožňuje městům optimalizovat provoz a služby. [10]
 - 5G sítě mohou umožnit rychlejší a spolehlivější připojení pro zařízení IoT a umožnit návazné zpracování dat v reálném čase a včetně podrobné analytiky. [10]
 - Geografický Informační Systém (GIS): GIS slouží jako centrum IT infrastruktury, které monitoruje a spravuje nové město při jeho vývoji. Pomáhá městům vizualizovat a analyzovat prostorové vztahy mezi různými prvky, jako jsou budovy, silnice nebo řeky.[12]
 - Blockchain technologie: V kontextu Smart Cities, slouží blockchain k zabezpečení citlivých dat, zajištění transparentnosti jednotlivých procesů a eliminaci možných rizik korupce. Umožňuje interakci mezi úřady a veřejností bez potřeby prostředníků. [13]

- Inteligentní Dopravní Systémy (ITS): Tyto systémy jsou nejčastěji používány v dopravních a dopravně správních systémech, a to ke zlepšení bezpečnosti, efektivity a udržitelnosti různých dopravních sítí nebo snížení dopravních komplikací. [14]
- Digitální Platformy: Chytrá města plní řadu funkcí, včetně analytiky, vzdáleného monitorování aktiv, řízení výkonu systémů a podpory rozhodování. Platformy by měly být navrženy tak, aby umožnily městům identifikovat, ověřovat a autorizovat jednotlivce a zařízení pomocí bezpečnostních prvků, které jsou adaptivní a založené na chování. [10]

4.2 Příklady ve světě

V současné době již několik měst po celém světě úspěšně implementovalo klíčové technologie Smart Cities. Singapur se stal příkladem efektivního využití IoT a analýzy dat k optimalizaci dopravního toku. V Barceloně byl nasazen rozsáhlý systém senzorů pro sledování kvality ovzduší a úrovně hluku. [15] Kodaň se například věnuje výraznému snižování emisí prostřednictvím chytrých dopravních systémů. [16] Čínské město Šen-čen zase využívá rozsáhlé sítě kamer a umělé inteligence k monitorování bezpečnosti veřejných prostor.[17] Tyto příklady ukazují, jak města po celém světě úspěšně integrují moderní technologie ke zlepšení životních podmínek svých obyvatel. Nicméně, sítě kamer a umělá inteligence ve veřejných prostorech mají i druhou stránku, kterou je otázka ochrany osobních údajů a citlivých dat. Takové systémy mohou snadno sbírat a analyzovat obrovské množství informací o pohybu jednotlivců a jejich chování v městském prostředí. Je nezbytné zajistit, aby byla respektována soukromí občanů a aby byla zajištěna bezpečnost a integrita jejich osobních údajů. Proto je důležité, aby města, která implementují tyto technologie, přijala odpovídající opatření a právní normy k ochraně soukromí a bezpečnosti obyvatel.

4.3 Výzvy a budoucnost

Přestože Smart Cities nabízejí mnoho výhod, stále čelí několika výzvám a mají před sebou zajímavou budoucnost. Jednou z hlavních výzev je zajištění bezpečnosti a

ochrany osobních údajů v kontextu stále rozsáhlejšího nasazení senzorů a sběru dat. Je nezbytné nezapomenout na opatření na ochranu soukromí občanů.

Další klíčovou výzvou je potřeba infrastrukturní přizpůsobivosti. Města musí investovat do modernizace infrastruktury, aby mohla účinně využívat technologie Smart Cities. Toto vyžaduje nejen finanční prostředky, ale také spolupráci s občanskou společností a soukromým sektorem.

Vzhledem k rychlému technologickému pokroku bude budoucnost Smart Cities pravděpodobně fungovat na ještě sofistikovanějších a komplexnějších technologiích a systémech. Výzkum v oblasti umělé inteligence, kybernetické bezpečnosti a energetické účinnosti bude klíčový pro posun vpřed, mj. i v oblasti Smart Cities. Budoucnost Smart Cities také zahrnuje hledání udržitelných řešení, která pomohou snižovat ekologický otisk měst a přispívat k celosvětové udržitelnosti.

4.4 Drony a Smart Cities

Přestože jsou možnosti využití dronů ve Smart Cities v zásadě neomezené, mezi základní kategorie pro využití dronů ve Smart Cities patří:

1. Bezpečnost

Sdílení informací je klíčové pro ochranu jednotlivců před běžnými problémy (například dopravními komplikacemi), až po mimořádné situace (například reakcí na přírodní katastrofy). Drony, které lze rychle nasadit, mohou pomáhat s řízením dopravy, parkováním automobilů, monitorováním davů, hodnocením počasí, zajišťováním bezpečnosti anebo reakcí na nouzové situace. Drony však mohou poskytovat mnohem bohatší a užitečnější data při městském plánování a městským samosprávám, než jim poskytnout běžné stacionární senzory. Takovýto flexibilní, nákladově efektivní a včasný sběr informací, povede k jejich efektivnímu využívání občany anebo k nasazení městských a jiných vládních služeb Efektivnějším způsobem. [18]

2. Doručování

Drony v chytrých městech mohou uspokojit naléhavou potřebu rychlého a efektivního doručování. S rostoucí popularitou e-commerce, mj. v důsledku pandemie COVID-19, je nákladově a časově efektivní doručování produktů

stále důležitější pro maloobchodníky a také doručování koncovým spotřebitelům. Kromě spotřebního zboží mohou drony rychle přepravovat např. i zásilky s léky. Kromě rychlého doručování zboží mohou drony poskytovat přesné informace o jejich GPS pro sledování daných zásilek a snižovat rizika tvoření lokálních dopravních kolapsů ve městech a snižovat emise oxidu uhličitého.

Na území České republiky zatím neexistují předpisy umožňující provoz dronů mimo dohled (VLOS – Visual Line Of Sight), který je zásadním předpokladem pro doručování pomocí dronů. Aby bylo možné umožnit dronům bezpečnou integraci do městského prostředí, budou muset být povoleny a umožněny autonomní VLOS operace. [18]

3. Infrastruktura a plánování

Drony mohou být efektivní formou zajištění a sběru dat o monitorování výstavby nových budov až po kontrolu stárnoucí infrastruktury na místech, kde jsou tradiční metody obtížné nebo nebezpečné. Skutečná data o staveništích a vývojových projektech přispívají k dosažení cílů efektivity nákladů, což má prospěch jak soukromému, tak veřejnému sektoru. [18]

4.5 Smart Cities a znečištění ovzduší

Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) způsobuje znečištění ovzduší každoročně úmrtí přibližně sedmi milionů lidí, po celém světě. Tato skutečnost má vážné dopady na zdraví obyvatel, zejména dětí a seniorů, a zhoršuje problémy u jedinců se srdečními nebo plicními onemocněními. Znečištění ovzduší dále ovlivňuje kvalitu života, zejména těch obyvatel, kteří žijí ve městských oblastech a v konečném důsledku vede k nárůstu nákladů na zdravotní péči.

Nejde však jen o jednotlivce. Mnohé z těchto znečišťujících látek také přispívají k erozi kovových, cihlových nebo betonových budov či konstrukcí, zatímco znečištění uhlíkem ze spalování fosilních paliv rychle mění zemské klima. [19]

Na tomto místě ve stručnosti shrňme základní zdroje znečištění. Mezi největší zdroje znečištění patří:

1. Doprava

Doprava představuje jedno z hlavních rizik pro kvalitu ovzduší ve městech. Emise z automobilů, nákladních vozidel a dalších dopravních prostředků zahrnují látky, jako jsou oxidy dusíku (NO_x) a pevné částice (PM), které mohou způsobit zdravotní problémy a zhoršovat celkovou kvalitu ovzduší. [20]

2. Průmyslová aktivita

Průmyslové provozy jsou dalším významným zdrojem emisí. Při továrních procesech, jako je např. barvení nebo činění oděvů, se používají chemická rozpouštědla, a jako vedlejší produkt takových činností se do ovzduší uvolňují toxické plyny jako jsou oxidy dusíku, síry, těkavé organické sloučeniny (VOC) a další škodlivé látky. [20]

3. Zemědělství

Zemědělské aktivity také přispívají ke znečištění ovzduší, zejména používání pesticidů, hnojiv bohatých na dusík a živočišných odpadů vede k vysokému množství amoniaku v okolním ovzduší. [20]

4. Energetika

Přírodní paliva jako dřevo, dřevěné uhlí a uhlí se spalují ve velkých uhelných elektrárnách nebo při vytápění. Při těchto procesech vzniká velké množství znečišťujících látek v životním prostředí, které mohou zvyšovat riziko respiračních onemocnění. [20]

Nyní je ale současně na místě, položit si otázku, jak ale mohou technologie Smart Cities snížit znečištění ovzduší? Pokud vůbec mohou? Nabízí se například následující možnosti řešení:

1. Monitorování kvality ovzduší

Senzory a IoT Technologie:

Senzory pro měření kvality ovzduší jsou integrovány do infrastruktury města a umožňují kontinuální sledování vybraných emisí. Tyto senzory pak mohou

být rozmístěny po celém městě, a tak poskytovat kompletní a reálná data o koncentracích škodlivých látek v ovzduší. [21]

Big Data a Analýza:

Technologie Big Data umožňují shromažďování a analýzu velkého množství dat ze senzorů, o kterých je hovořeno výše. Tato data mohou být následně využívána k identifikaci trendů vývoje kvality ovzduší, zjišťování hlavních znečišťovatelů a vytváření informačních modelů kvality ovzduší. [21]

2. Smart Mobility

Elektrická mobilita:

Přechod na elektrická vozidla a rozvoj dobíjecí infrastruktury podporuje snížení emisí oxidů dusíku a částic vznikajících z tradičních spalovacích motorů. [21]

Inteligentní řízení dopravy:

Technologie umělé inteligence a datové analýzy jsou využívány k optimalizaci toku dopravy. Snížení zácp a hladiny dopravy má za následek i nižší emise z vozidel. [21]

3. Chytrá energetika

Obnovitelné zdroje:

Zvýšená integrace obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární a větrné elektrárny, snižuje závislost na fosilních palivech a omezuje emise skleníkových plynů. [21]

Energetická efektivita:

Chytré energetické sítě umožňují efektivnější distribuci energie a regulaci spotřeby, což vede k menším emisím výroby elektřiny. [21]

4. Smart Urban Planning

Zelená infrastruktura:

Integrace zelených prvků do urbanistického plánování, jako jsou například parky a zahrady, pomáhá absorpci škodlivých látek a snižuje tepelný ostrov vytvářený městskými oblastmi. [21]

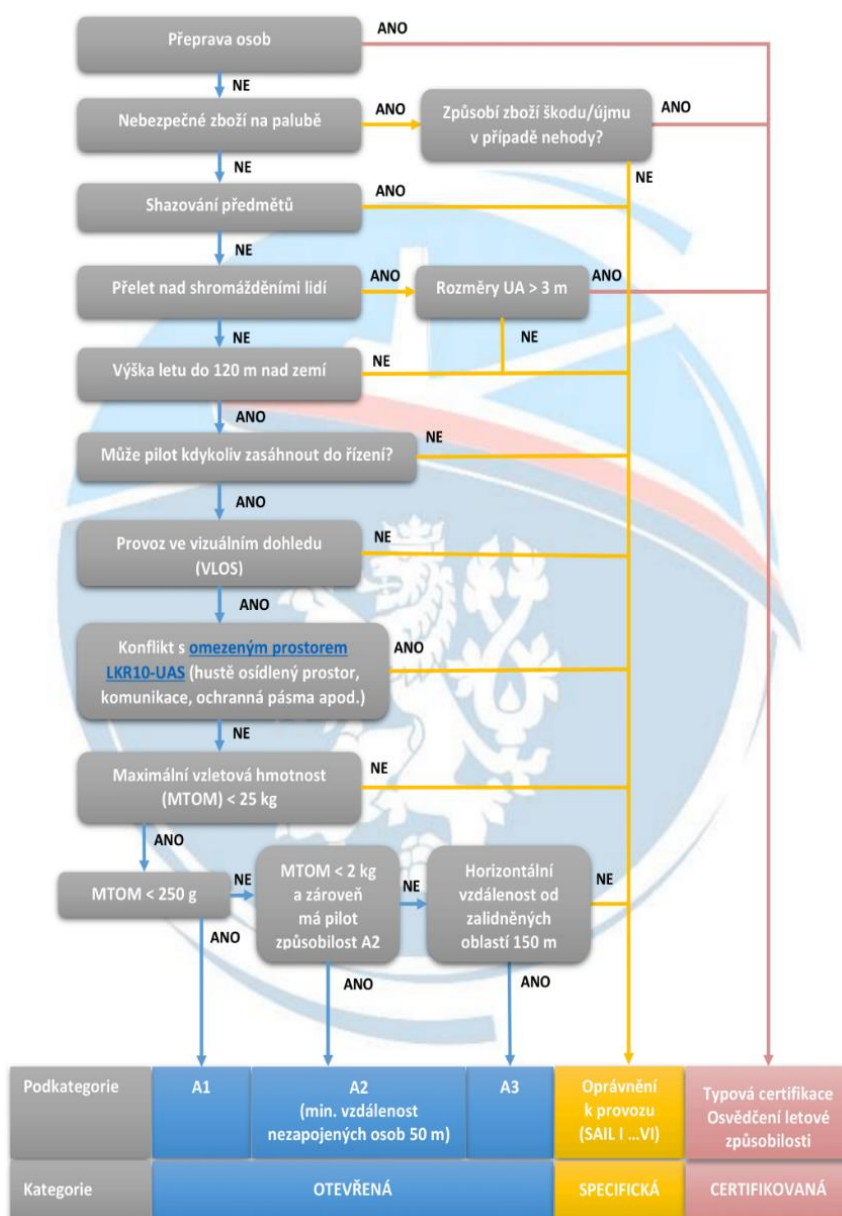
Efektivní logistika:

Použití smart technologií v logistice pro optimalizaci doručování zboží a minimalizaci zbytečných jízd, přispívá k redukci emisí z dopravy.[21]

5 Legislativa UAV

V oblasti provozu bezpilotních systémů je platná a stále se rozvíjející legislativa, dle které existují přesně stanovená pravidla a kategorie, které určují způsob provozu bezpilotních zařízení. Základní rozdělení ve státech Evropské unie je na 3 kategorie: OPEN, SPECIFIC a CERTIFIED.

5.1 Kategorizace provozu bezpilotních systémů



Obr. 5 Kategorizace provozu bezpilotních systémů

Zdroj: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/>

5.1.1 Kategorie OPEN

Do otevřené kategorie, tzn. OPEN kategorie, se řadí nejvíce pilotů resp. provoz nejvíce zařízení, a tato se dělí na 3 podkategorie A1, A2 a A3 na základě odlišných provozních omezení, požadavků na pilota a technických požadavků na bezpilotní systém.

Obecně pro kategorii OPEN platí následující podmínky. Let může probíhat pouze ve vizuálním dohledu pilota. Maximální výška, do které smí dron vzlétnout, je omezena na 120 metrů nad zemí. Pilot musí dosáhnout minimálního věku 16 let, aby mohl dron ovládat. Drony s třídou C mají povinnost používat dálkovou identifikaci. Každý provozovatel dronu musí být registrován a dron musí být opatřen unikátním identifikačním číslem provozovatele.

5.1.1.1 Podkategorie A1

Podkategorie A1 zahrnuje bezpilotní letouny označená třídou C0 a C1, stejně jako letouny do 250 gramů, které nejsou soukromě vytvořena a byla uvedena na trh před 1.1.2023. Pro letadla v této kategorii je zakázáno přelétávat nad shromážděním osob, avšak přelétávání osob nezapojených do provozu je povoleno s podmínkou, že pilot by se měl těmto situacím vyhnout, pokud je to možné. Pro letadla bez štítku s označením třídy nebo štítkem třídy C1 platí, že pilot musí být registrován na ÚCL a musí být držitelem dokladu o absolvování online výcviku A1&A3. [22]

Otevřená kategorie - podkategorie A1



Obr. 6 Podkategorie A1 s třídou C0

Zdroj: <https://www.caa.cz/ufaq/jake-jsou-pozadavky-v-jednotlivych-podkategoriih-otevrene-kategorie/>

Otevřená kategorie - podkategorie A1



➤ **Zákaz létání nad shromážděními lidí**

➤ Důvodně se očekává, že nejsou přelétávány nezapojené osoby. V případě neočekávaného přeletu nad nezapojenými osobami musí dálkově řídicí pilot co možná nejvíce zkrátit dobu, po kterou je bezpilotní letadlo nad těmito osobami.

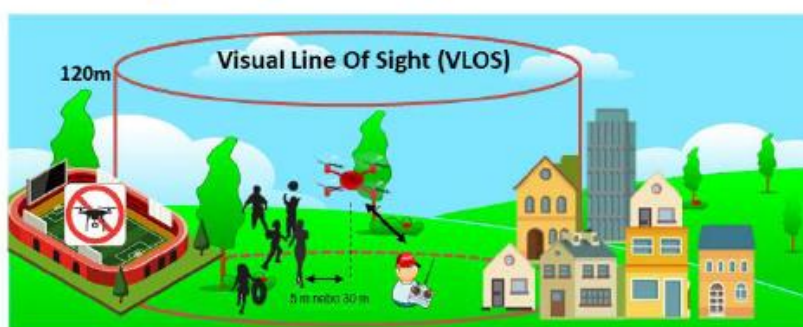
Obr. 7 Podkategorie A1 s třídou C1

Zdroj: <https://www.caa.cz/ufaq/jake-jsou-pozadavky-v-jednotlivych-podkategoriiich-otevrene-kategorie/>

5.1.1.2 Podkategorie A2

Podkategorie A2 je zaměřena na provoz, při kterém se předpokládá, že významná část letu proběhne v blízkosti lidí. Minimální vzdálenost od nezapojených osob [23] se pohybuje od 5 do 50 metrů. Snížení této minimální vzdálenosti na 5 metrů je povoleno pouze v případě, že bezpilotní letadlo disponuje aktivním nízkorychlostním režimem a pilot situaci vyhodnotil jako bezpečnou.

Otevřená kategorie - podkategorie A2



➤ **Zákaz létání nad shromážděními lidí**

➤ UAS ve vodorovné vzdálenosti nejméně 30 metrů od nezapojených osob, nebo až 5 metrů, je-li aktivován nízkorychlostní režim

Obr. 8 Podkategorie A2

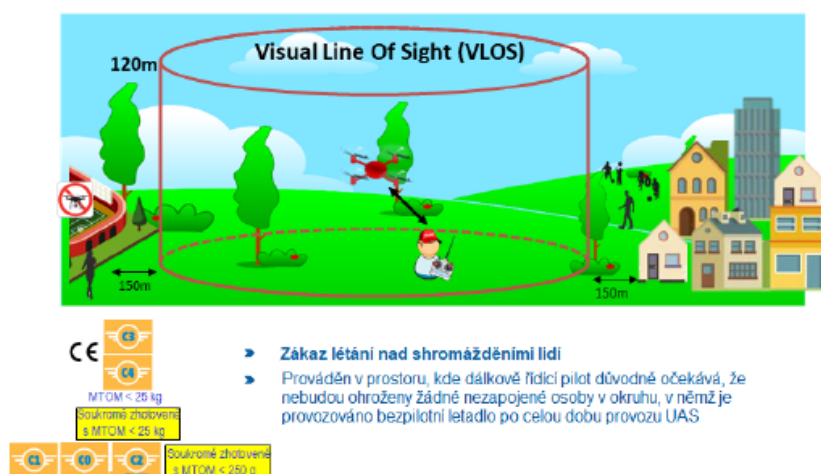
Zdroj: <https://www.caa.cz/ufaq/jake-jsou-pozadavky-v-jednotlivych-podkategoriiich-otevrene-kategorie/>

Do této podkategorie spadají letadla označená štítkem třídy C2. Zde je zakázáno přelétávat nad shromážděním osob, stejně jako nad osobami nezapojenými do provozu. Pilot musí být registrován a držitelem dokladu o absolvování online výcviku. Dále musí být držitelem osvědčení o způsobilosti dálkově řídicího pilota.[22]

5.1.1.3 Podkategorie A3

Podkategorie A3 je zaměřena na provoz v oblastech, kde pilot očekává, že bezpilotní letadlo nebude ohrožovat žádné osoby nezapojené do provozu. Do této kategorie spadají letadla s maximální vzletovou hmotností od 250 gramů do 25 kilogramů, pokud nejsou soukromě vyrobená a byla uvedena na trh před 1.1.2023, nebo jsou označena štítkem tříd C2, C3 nebo C4. Pro let s těmito letadly je zakázáno přelétávat nad shromážděním osob a provoz musí být prováděn v minimální vzdálenosti 150 metrů od obytných, obchodních, průmyslových anebo rekreačních oblastí. [22]

Otevřená kategorie - podkategorie A3



Obr. 9 Podkategorie A3

Zdroj: <https://www.caa.cz/ufaq/s/jake-jsou-pozadavky-v-jednotlivych-podkategoriich-otevorene-kategorie/>

5.1.1.4 Kvalifikace

Kategorie A1&A3 vyžaduje povinnou registraci provozovatele dronu, a to pro všechny vlastníky dronů. Registrace pilota je povinná pouze pro piloty dronů bez štítku nebo označených štítkem třídy C1. Pro registraci pilota je nutné absolvovat

online test teoretických znalostí, u kterého není omezen počet pokusů, ale je třeba získat minimálně 30 správných odpovědí z 40 otázek.[24]

V kategorii A2 platí stejná pravidla jako v kategoriích A1&A3. Kromě toho je zde povinnost absolvovat praktický výcvik formou samostudia a složit zkoušku z teoretických znalostí ve školících prostorech Úřadu pro civilní letectví (ÚCL). Zkouška obsahuje 30 otázek a pro úspěšné složení je potřeba získat minimálně 75 % správných odpovědí. Témata zkoušky zahrnují meteorologii, provádění letů bezpilotních letadel a technická a provozní opatření ke snížení rizik na zemi. [22]

Podkategorie „otevřené“ kategorie provozu	Štítek s označením třídy typu dronu
A1 Urbanistické oblasti, ale ne nad davy, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C0, C1
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 250 g a rychlostí < 19 m/s
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 500 g (do 31. 12. 2023)
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 250 g včetně paliva a užitečného zatížení. (od 31. 12. 2023)
A2 Urbanistické oblasti při udržování nejméně 30 m (ve zvláštních případech až 5 m) od lidí, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 2 kg (do 31. 12. 2023) (minimální vzdálenost od osob je v tomto případě navýšena na 50 m)
A3 Mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2, C3, C4
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 25 kg
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 25 kg (do 31. 12. 2023)
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 25 kg včetně paliva a užitečného zatížení uvedený na trh před 1. 1. 2024 (od 31. 12. 2023)

Obr. 10 Přehled tříd v kategorii OPEN

Zdroj: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/otevrena-kategorie-open/>

5.1.2 Kategorie SPECIFIC

Specifická kategorie (též nazývaná kategorie SPECIFIC) představuje jednu z variant licencí nezbytných pro provoz bezpilotních systémů. Tato kategorie je vyžadována v případech, kdy se vyskytují specifické letové podmínky a nestandardní omezení, zejména při profesionálním využívání dronů. Často je spojena s profesionálním užíváním dronů a její získání je obvykle nezbytné pro komerční využití.

Tato kategorie je spojena s letovými podmínkami vyžadujícími povolení od příslušných autorit, v ČR především Úřadu pro civilní letectví. Toto povolení musí být získáno předem, tedy před plánovaným letem. Operátoři dronů s licenci SPECIFIC musí striktně dodržovat pravidla stanovená autoritou, zejména s ohledem na bezpečnost a ochranu životního prostředí a kulturních památek.

Obecně platí, že piloti musí být starší 16 let, absolvovat školení a zkoušky pokrývající základy bezpečného provozu dronů, a mít znalost pravidel vzdušného prostoru a relevantních právních předpisů. Každý pilot musí být registrován u příslušné autority (ÚCL), a každý dron musí být označen registračním číslem pilota. V kategorii SPECIFIC se registrují i konkrétní drony používané pod touto licenci. Piloti musí mít odpovídající pojištění odpovědnosti, které bude krýt případnou škodu způsobenou provozem dronu. [25]

5.1.3 Kategorie CERTIFIED

Certifikovaná kategorie je vyžadována u provozu bezpilotních systémů, u kterých je s ohledem na související rizika vyžadována certifikace bezpilotního systému, osvědčení způsobilosti dálkově řídicího pilota a schválení provozovatele příslušným úřadem (ÚCL), aby byla zajištěna odpovídající úroveň bezpečnosti.

Tato kategorie je vyhrazena pro profesionální piloty a operátory, kteří jsou oprávněni k provádění náročnějších letů a specializovaných úkolů, jako jsou průmyslová inspekce, záchranné mise nebo přesné mapování.

Aktuálně není tato kategorie moc využívána, jedná se spíše o přípravu do budoucna, kdy by mohla zastřešovat převoz osob a zboží bezpilotními prostředky, a obecně větší integraci UAV do Smart Cities.[26]

6 Měření a analýza dat

V dnešní době, kdy se otázky životního prostředí stávají stále naléhavějšími, je sledování a analýza kvality ovzduší klíčovým prvkem úsilí o udržitelnost a ochranu obyvatelstva. Pro dosažení optimálních úrovní kvality ovzduší jsou nezbytné efektivní metody měření a analýzy. Tato kapitola bude zaměřena na jednotlivé typy měřících zařízení, na konstrukci vlastního zařízení a následnou analýzu naměřených dat.

6.1 Měřící zařízení

6.1.1 Tradiční měřící stanice

Tradiční měřící stanice představují základní kámen při monitorování kvality ovzduší ve městech. Tyto pevné struktury jsou vybaveny citlivými senzory, které pravidelně měří koncentrace různých látek ve vzduchu. Jejich předností je spolehlivost a dlouhodobá kontinuální měření, což umožňuje získání průměrných hodnot. Avšak, tato zařízení mají omezenou schopnost monitorovat znečištění ve vertikálním směru a mohou být nákladná na údržbu. [27]

6.1.2 Přenosné detektory

Přenosné detektory poskytují flexibilitu při monitorování kvality ovzduší na různých místech ve městě. Tyto mobilní zařízení lze rychle nasadit tam, kde je potřeba okamžitého měření. Jsou užitečné především při identifikaci lokálních zdrojů znečištění, a to díky své mobilitě a schopnosti reagovat na aktuální potřeby monitorování. Nicméně, jejich využití je omezené, např. jako u pevných měřících stanic je obtížné provádět měření ve vertikálním směru. [27]

6.1.3 Drony

Monitorování kvality ovzduší pomocí dronů a zpracování dat v reálném čase mohou tento problém vyřešit. Telemetrická a indukční technologie dronu je klíčovým prvkem monitorování kvality vzduchu pomocí dronů, který může shromažďovat, ukládat a přenášet údaje o městském ovzduší. Tato technologie získává stále více pozornosti od vědců a odborníků v tuzemsku i v zahraničí a je tématem zkoumání v

akademické oblasti a oblasti výzkumu a vývoje podniků. Telemetrie a snímání pomocí dronů jsou komplexní systémy, ve kterých základními technologiemi jsou senzory pro telemetrii, úložiště dat a technologie pro přenos dat v reálném čase. Senzor pro monitorování kvality vzduchu na palubě dronu je hlavním zařízením pro sledování těchto hodnot. Zajišťuje sběr vzorků, detekci částic, infračervený sken, mikrovlnné záření atd. Systém pro úložiště dat a přenos dat v reálném čase z dronu je důležitou součástí systému vzdáleného snímání, která přímo určuje rozsah a kvalitu celého dronu určeného pro monitorování kvality ovzduší. Informace mezi platformou dronu a pozemní konzolí jsou přenášeny prostřednictvím datového spojení. [27] Tento způsob je výhodný z několika důvodů. Těmito důvody jsou zejména, že lze rychle pokrýt rozsáhlé území, měření je možné provádět ve vertikálním směru a konečně i na obtížně dostupných místech.

6.2 Měření

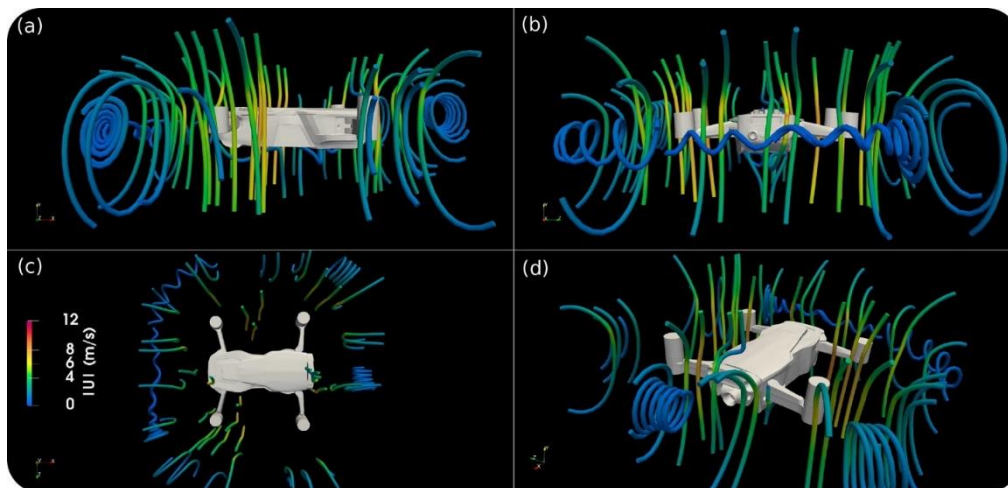
V této části práce se zaměříme na samotný proces měření. Od výběru vhodného místa na dronu pro umístění senzoru, přes konstrukci a konfiguraci měřícího zařízení, až po samotné měření a analýzu dat.

6.2.1 Aerodynamika dronu

Aerodynamika dronu je klíčovým faktorem ovlivňujícím jeho stabilitu, manévrovatelnost a celkový výkon. Proto je nutné před samotným měřením, vybrat ideální místo pro umístění měřící soustavy se senzorem na dronu. Samotné měření, které bylo prováděno pro účely této práce, probíhalo jen ve chvíli kdy testovaný dron stál na místě, proto při výběru vhodného umístění senzoru nebyly brány v potaz výsledky pro dopředný let.

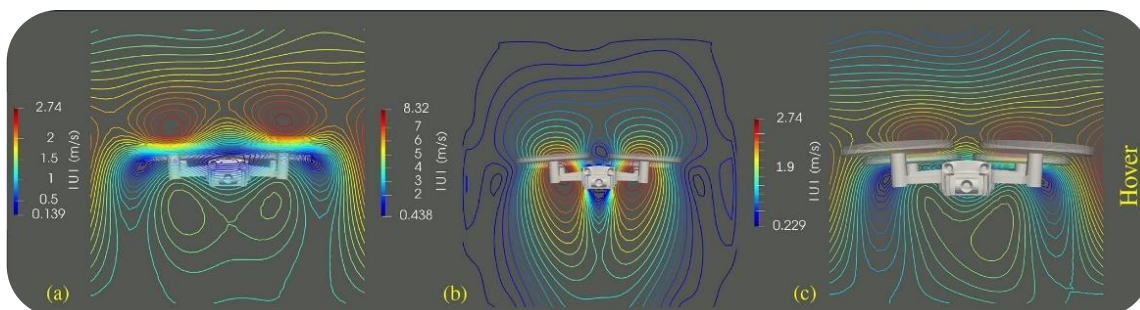
Z níže uvedených obrázků 11 a 12 převzatých z práce [28] vyplývá, že stabilní proudění vzduchu je pozorováno poblíž trupu dronu.

Z obrázku 12 je patrné, že při umístění senzoru na spodní stranu dronu, by mohl být tento senzor vystaven vlivu turbulentního proudění generovaného rotorovými listy během letu. Namísto toho je tak lepší umístit senzor na horní stranu trupu dronu, poblíž středu hmotnosti, kde je proudění vzduchu stabilní a neovlivněné pohybem rotorů. Tato lokalizace umožnila spolehlivé a přesné měření kvality ovzduší bez vlivu externích faktorů. [28]



Obr. 12 Dron ve stacionárním režimu a) z boku b) zezadu c) shora d) 3D perspektiva

Zdroj: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X22001128#f0030>



Obr. 11 Obrysové čáry velikosti rychlosti ve chvíli kdy dron stojí na místě

Zdroj: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X22001128#f0030>

6.2.2 Popis měření

Pro účely této práce byly analyzovány dva základní přístupy k měření kvality ovzduší. Rozdíl mezi těmito metodami spočívá v jejich přístupu k ukládání a zpracování naměřených dat, přičemž každá z nich přináší své specifické výhody, ale zároveň i omezení.

6.2.2.1 Lokální ukládání dat

Prvním zkoumaným přístupem je metoda lokálního ukládání dat. Tento přístup využívá zařízení Raspberry Pi, doplněného o AC/DC převodník PCF8591 a senzor MQ135. Klíčovou výhodou této metody je autonomie zařízení, která umožňuje nezávislý sběr dat bez ohledu na okolní podmínky, či dostupnost signálu. Nicméně, nedostatkem tohoto přístupu, je potřeba zajistit dostatečnou paměťovou kapacitu zařízení Raspberry Pi pro uchování dat. I když data získaná touto metodou nezabírají příliš paměti, je třeba vzít v úvahu potenciální nárůst objemu dat při dlouhodobém monitorování, což vyžaduje vhodný výběr paměťových médií, například Micro SD karty.

6.2.2.2 Odesílání do cloudového úložiště

Druhou zkoumanou metodou je přístup využívající odesílání dat do cloudového úložiště. Tento postup by bylo možné realizovat prostřednictvím zařízení, které dokáže získaná data přenášet do vzdáleného úložiště v reálném čase. Jednou z možných konfigurací tohoto přístupu může být využití ESP8266 spolu s MQ135 senzorem a LoRa modulem vybaveným anténou. Výhodou této metodiky je možnost okamžitého sledování naměřených dat v reálném čase. Nicméně nevýhodou je nutnost zajistit stabilní a silný signál pro přenos dat po celou dobu měření, což může být problematické zejména v prostředích s omezenou dostupností signálu.

Měřicí sestava

Pro provedení samotného měření kvality ovzduší byly využity následující součástky:

1. Raspberry Pi 3A+

Jedná se o vysoce výkonný jednodeskový počítač, který sloužil jako centrální řídicí jednotka pro sběr a zpracování dat.

2. Micro SD karta SanDisk o kapacitě 32 GB

Tato paměťová karta byla použita pro ukládání naměřených dat získaných senzorem a dalších informací souvisejících s měřením.

3. AC/DC převodník PCF8591

Převodník sloužil k přeměně analogových signálů získaných ze senzoru MQ135 na digitální formát pro zpracování.

4. Senzor MQ135

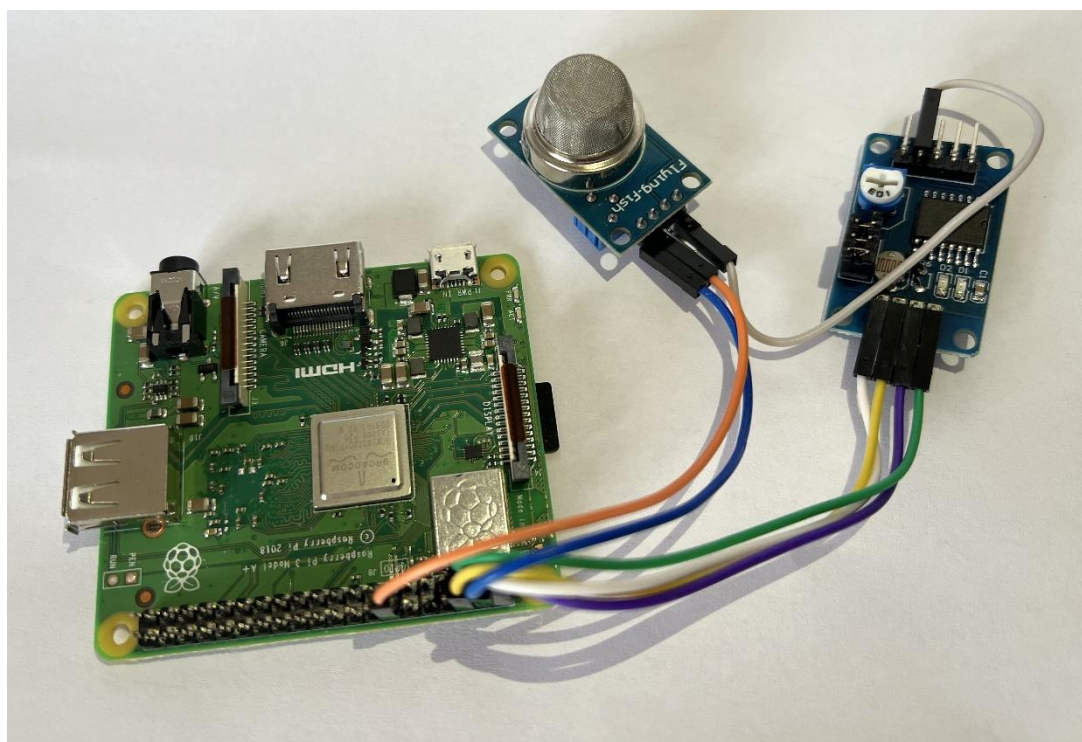
Senzor byl klíčovou součástí měřícího zařízení a sloužil k detekci úrovně znečištění ovzduší.

5. Kabely a propojovací dráty

Kabely a propojovací dráty byly nezbytné pro fyzické spojení jednotlivých komponentů měřícího zařízení, zajištění správného toku dat a napájení mezi nimi.

6. Powerbanka

Externí zdroj energie v podobě powerbanky poskytoval nezávislý a stabilní zdroj napájení pro měřící sestavu, což bylo klíčové pro provoz sestavy mimo standardní elektrickou síť.



Obr. 13 Měřící sestava

Zdroj: Vlastní foto

Pro zajištění spolehlivého sběru dat byl pro účely práce vybrán senzor MQ135 zejména pro jeho širokou dostupnost a nízkou cenu na trhu. Vzhledem k tomu, že cílem této práce byla analýza a porovnání možností měření, než samotné dosažení absolutní přesnosti měření, senzor MQ135 se jevil jako dostačující. Při relativním

měření, které je v tomto případě prováděno, poskytuje tento senzor dostatečnou úroveň spolehlivosti a přesnosti. Během přípravy experimentu byla funkčnost senzoru ověřena testy na jeho reakci na různé typy znečištění, přičemž bylo potvrzeno, že je schopen naměřit hodnoty v širokém rozsahu. Před samotným měřením byl senzor zapojen dříve aby se dostatečně zahřál a měřil co nejpřesněji. Nicméně je podstatné na tomto místě uvést, že pokud by byla požadována vyšší úroveň přesnosti nebo pokud by bylo nutné zaměřit se na měření konkrétních látek, jako je například oxid uhličitý (CO₂), bylo by vhodné zvážit alternativní senzory. Jedním z možných kandidátů je detektor MG811, který je specializován právě na měření obsahu CO₂ v ovzduší a může poskytnout vyšší úroveň detailních informací v této oblasti.

Naměřené hodnoty ze senzoru MQ135 byly získávány ve formě analogového signálu. Avšak vzhledem k omezené schopnosti Raspberry Pi 3A+ číst analogové signály bylo nezbytné integrovat externí převodník. V tomto případě byl využit převodník PCF8591, který umožnil efektivní převod analogových dat do digitální podoby pro jejich další zpracování.

Pro konfiguraci Raspberry Pi byl implementován níže uvedený program, který zajišťoval kontinuální sběr dat. Po importu potřebných knihoven byly adresovány jednotlivé porty a následně byl využit nekonečný while cyklus pro trvalý běh programu. Během provádění cyklu byla hodnota získaná ze senzoru spolu s aktuálním časovým razítkem zaznamenána a následně uložena do souboru outputFile.csv. Program následně vyčkával 10 sekund před dalším opakováním sběru.

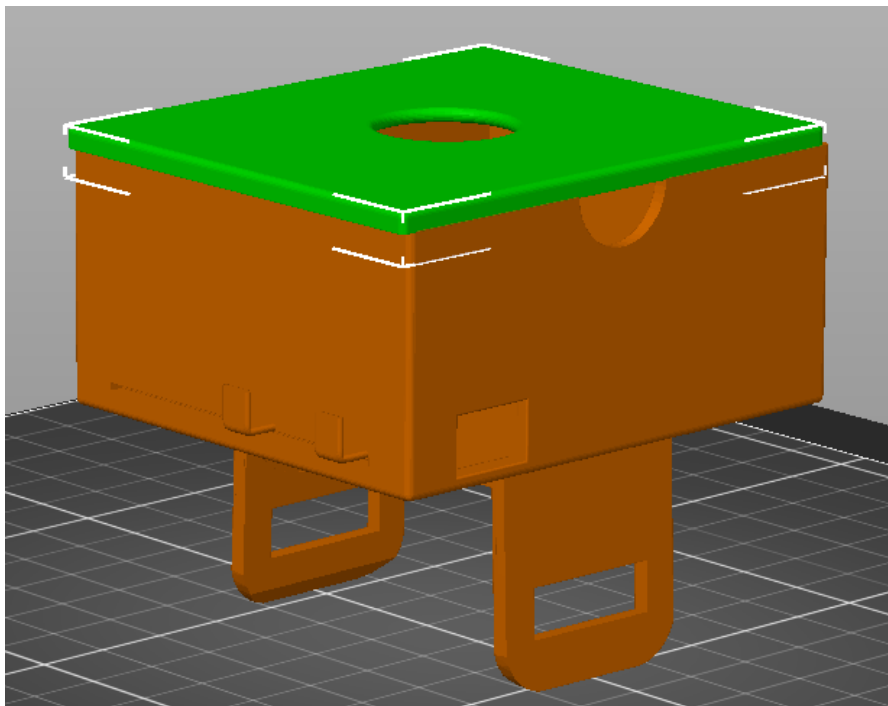
```
import smbus
import datetime
import time
address = 0x48
A0 = 0x40
bus = smbus.SMBus(1)
while True:
    bus.write_byte(address,A0)
```

```
value = bus.read_byte(address)
ctime = datetime.datetime.now()
with open("/home/raspberryyhk/Desktop/outputFile.csv", "a") as log:
    log.write("{0},{1}\n".format(str(ctime),str(temp)))
time.sleep(10)
```

Pro automatizaci spuštění souboru byl využit příkaz `python3 /home/raspberryyhk/Desktop/AirQuality.py` & který byl následně integrován do souboru `rc.local`. Ten slouží k automatickému spuštění skriptů při startu systému. Tímto způsobem bylo zajištěno spouštění skriptu ihned po startu Raspberry Pi, což umožnilo nepřetržitý provoz a sběr dat bez nutnosti manuálního zásahu. To přispělo k efektivnímu a bezproblémovému provozu měřicího systému.

Pro zajištění snadné manipulace a praktického provozu byla měřící sestava napájena z externí powerbanky. Tato volba umožnila nezávislý provoz sestavy a minimalizovala možnost rušivých vlivů na běžný chod dronu.

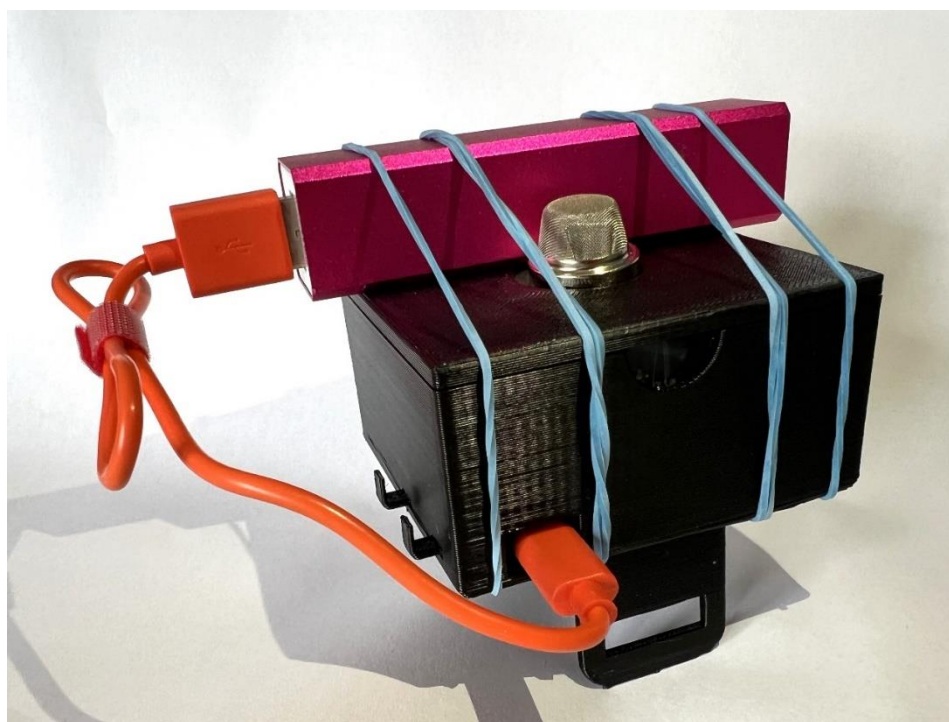
Celá sestava byla připevněna k tělu dronu prostřednictvím speciálně navrženého transportního boxu, který byl „usazen“ na tlačítkách těla dronu, které drží baterii z dronu na svém místě. Pro vytvoření tohoto modelu byl využit existující design ze



Obr. 14 Transportní box na dron

Zdroj: Vlastní foto

stránky Printables.com [29], ze kterého byl převzat mechanismus upevnění k dronu. Nově vytvořený transportní box poskytoval dostatečný prostor pro umístění všech výše popsaných komponentů. Specifické detaily zahrnovaly otvor v horní části boxu, pro instalaci senzoru nebo boční otvor pro připojení napájecího kabelu. Pro výrobu této nosné konstrukce byl použit materiál PET-G, který nabízí větší mechanickou a tepelnou odolnost ve srovnání s nejběžněji používaným materiálem PLA. [30]



Obr. 15 Měřící sestava včetně vytištěné krabičky pro připevnění ke dronu

Zdroj: Vlastní foto

Pro měření byl využit dron DJI Air2S, který poskytoval ideální platformu pro bezpečný a spolehlivý provoz měřící sestavy. Celková hmotnost připevněné sestavy k dronu činila 180 gramů, což bylo považováno za přijatelnou zátěž vzhledem k celkové hmotnosti dronu (595 gramů). Během testovacích letů nebyly pozorovány žádné závažné anomálie či problémy spojené se samotným letem. Bylo zaznamenáno toliko zvýšená hlasitost vrtulí a vyšší spotřeba baterie, to však bylo předem očekáváno jako součást provozních omezení spojených se zvýšenou zátěží dronu



Obr. 16 Dron s připevněnou měřící sestavou

Zdroj: Vlastní foto

Měření kvality ovzduší mělo původně probíhat v prostorách budovy Fakulty informatiky a managementu UHK, a to z několika důvodů.

Prvním z nich byla platná legislativa týkající se provozu bezpilotních letounů. Jak již bylo zmíněno, létání v souladu s pravidly kategorie OPEN je v mnoha oblastech silně omezeno, zejména v blízkosti hustě obydlených oblastí, dopravních cest a ochranných zón. I když je pravděpodobné, že do budoucna budou takové akce spadat pod kategorii CERTIFIED, která je v současné době ve fázi příprav, momentálně takové povolení není k dispozici. Let ve vnitřních prostorách tak představuje ideální alternativu pro legální operace v obdobných případech.

Dalším důvodem volby této lokality bylo prokázání potenciálu využití bezpilotních letounů v interiérech. Mnoho vnitřních prostor disponuje místy, která jsou obtížně přístupná ze země. Nicméně, nevýhodou používání dronů v interiérech, je obecně nedostatečná kvalita GPS signálu, což může ovlivnit stabilitu letounu. To vede k nutnosti zohlednění možných omezení při provádění takových měření. Tato

nevýhoda byla v tomto případě tak významným faktorem, že z bezpečnostních důvodů nebylo možné měření uvnitř v budově, jak bylo plánováno, provést.

Proto bylo nutné měření přesunout do venkovních prostor.

Pro zajištění nejlepších podmínek pro měření i z pohledu legislativy, bylo měření prováděno na soukromém pozemku, s předchozím souhlasem majitele pozemku a maximální výška letu nepřesahovala výšku okolních překážek.

Během samotného měření byla každých 10 sekund zaznamenána kvalita ovzduší a naměřené hodnoty byly systematicky ukládány do textového souboru. Pro srovnání bylo měření prováděno v různých výškách, a to ve výšce 1 metru, 3 metrů, 5 metrů a konečně 10 metrů nad zemí, přičemž v každé výšce byl pečlivě zaznamenán čas, aby bylo později možné korelovat naměřené hodnoty s konkrétními časovými okamžiky. Pro zajištění většího vzorku bylo měření provedeno dvakrát na stejném místě, pouze s týdenním rozestupem.

6.2.3 Vyhodnocení měření

Vzhledem k tomu, že nakonec bylo měření prováděno ve venkovních prostorách, nebyl mezi různými výškami očekáván výrazný rozdíl. Naměřená data byla po měření získána připojením k Raspberry Pi. Ukázka naměřených dat je na obrázku 17. Data byla ukládána ve formátu: *Datum, Čas, Naměřená hodnota*.

```
2024-04-16 16:46:50.624121,192
2024-04-16 16:47:00.644491,193
2024-04-20 16:00:35.381830,193
2024-04-20 16:00:45.394075,193
2024-04-20 16:00:55.405770,193
2024-04-20 16:01:05.417471,193
2024-04-20 16:01:15.421582,193
2024-04-20 16:01:25.433381,193
2024-04-20 16:01:35.441418,193
2024-04-20 16:01:45.453982,193
2024-04-20 16:01:55.466486,193
2024-04-20 16:02:05.478188,193
2024-04-20 16:02:15.481724,193
2024-04-20 16:02:25.493481,193
2024-04-20 16:02:35.505200,193
2024-04-20 16:02:45.511717,193
2024-04-20 16:02:55.521705,193
2024-04-20 16:03:05.533464,193
2024-04-20 16:03:15.545186,193
2024-04-20 16:03:25.551728,193
2024-04-20 16:03:35.561704,193
2024-04-20 16:03:45.573431,193
2024-04-20 16:03:55.585152,193
2024-04-20 16:04:05.591721,193
```

Obr. 17 Formát naměřených dat uložených v souboru

Zdroj: Vlastní

Podle časové značky můžeme přiřadit naměřená data k přesné výšce ve které se dron v době měření, resp. zaznamenávání zdrojových dat nacházel.

Tabulka 1 Naměřené hodnoty přiřazené k výšce

VÝŠKA NAD ZEMÍ (M)	HODNOTA (PRVNÍ MĚŘENÍ)	HODNOTA (DRUHÉ MĚŘENÍ)
1	192	189
3	191	189
5	190	188
10	191	190

Jak lze vidět na naměřených údajích v Tabulce 1, rozdíl mezi výškou měření a výslednými daty je zanedbatelný. Také lze konstatovat, že ani týdenní rozestup nemá na naměřené hodnoty velký vliv. Je pravděpodobné, že odchylky byly způsobeny samotným senzorem a odlišná výška neměla na data žádný vliv.

Byly také testovány i limity pro měření. Jak již bylo výše zmíněno, u dronu byla očekávána snížená výdrž baterie. S celou měřicí soustavou zvládl dron letět po dobu 17 minut. Aby se výrazně neničila baterie dronu, byl let ukončen v okamžiku, kdy kapacita baterie dronu indikovala hodnotu 10 %.

6.3 Analýza dat

1. Big data a Data mining:

Technologie Big data umožňují shromažďování, ukládání a analýzu velkého množství dat o kvalitě ovzduší. Data mining algoritmy pak umožňují identifikovat vzory, korelace a predikce v datech, což pomáhá lépe porozumět znečištění ovzduší a jeho zdrojům. [31]

2. Umělá inteligence a Machine learning:

Technologie umělé inteligence strojového učení jsou využívány k predikci a modelování kvality ovzduší na základě historických dat a aktuálních faktorů,

jako jsou počasí, doprava a průmyslová činnost. To umožňuje identifikovat rizikové oblasti a navrhnout efektivní opatření. [32]

3. Vizualizace dat:

Vizualizace dat pomocí interaktivních map a grafů umožňuje snadné porovnávání a interpretaci dat o kvalitě ovzduší. To zlepšuje komunikaci s veřejností a umožňuje občanům a správcům měst lépe porozumět stavu ovzduší a přijímat informovaná rozhodnutí. [33]

Výše uvedený výčet obsahuje teoretické možnosti analýzy dat, které nebyly v rámci této práce implementovány. Jejich integrace by však mohla představovat další rozvoj a zdokonalení metodologie pro monitorování kvality ovzduší v kontextu Smart Cities.

Vývoj a implementace efektivních metod pro měření a analýzu kvality ovzduší nabízí potenciál pro využití v rámci konceptu Smart Cities. Tyto metody nejsou pouze prostředkem pro získávání dat o stavu životního prostředí, ale také poskytují důležité informace pro formulaci a implementaci politik a opatření zaměřených na snižování znečištění a zlepšování kvality ovzduší.

V kontextu Smart Cities může měření kvality ovzduší sloužit jako klíčový nástroj pro monitorování životního prostředí a získávání informací o aktuálním stavu ovzduší v různých částech města. Tato data mohou být integrována do chytrých systémů a platforem, které umožňují městským úřadům a obyvatelům monitorovat a analyzovat aktuální stav ovzduší v reálném čase.

V rámci Smart Cities může být měření kvality ovzduší propojeno s dalšími technologiemi a iniciativami, jako jsou například chytrá doprava, energetická účinnost budov.

Celkově lze konstatovat, že měření kvality ovzduší hraje klíčovou roli v transformaci měst do Smart Cities tím, že poskytuje důležité informace pro rozhodovací procesy a opatření směřující k udržitelnému rozvoji a ochraně zdraví obyvatelstva. Integrace těchto metod do chytrých městských systémů přináší mnoho výhod a přispívá k vytváření lepšího a zdravějšího životního prostředí pro obyvatele.

7 Shrnutí a diskuse výsledků

Cílem této bakalářské práce bylo provedení analýzy a porovnání současných možností využití UAV v rámci Smart Cities, se zaměřením na monitorování kvality ovzduší.

Součástí práce bylo také sestavení vlastního měřicího zařízení připevněného ke dronu. Do tohoto procesu spadal popis použitých součástí, konfigurace zařízení a definice provozních podmínek. V průběhu přípravy k provedení měření v původně plánovaných prostorách bylo zjištěno, že dron nemá signál z dostatečného množství satelitů aby mohl stabilně udržet polohu. Proto bylo nakonec vyhodnoceno jako vhodnější, že z bezpečnostních důvodů bude muset měření proběhnout na jiné lokaci. I přes tyto komplikace s výběrem prostředí k provedení měření proti původnímu záměru, měření nakonec proběhlo bez komplikací spojených s letem a měřením samotným a součástí práce je tak i prezentace naměřených dat. Vyhodnocení provedených experimentů ukázalo, že dron poskytuje spolehlivou platformu pro provoz měřicí sestavy, a že různé metody sběru dat mají své výhody a omezení.

8 Závěry a doporučení

Cílem práce bylo provést analýzu a porovnat současné možnosti využití UAV v rámci Smart Cities, se zaměřením na monitorování kvality ovzduší.

Teoretická část práce se věnovala stručnému přehledu historie bezpilotních letounů, jejich konstrukce, základním principům Smart Cities a legislativě týkající se UAV. Původně byly bezpilotní letouny primárně vyvíjeny, testovány a užívány v rámci armádního využití. S rozvojem technologií se však dostávají více do komerční sféry nebo Smart Cities.

Praktická část této bakalářské práce byla zaměřena na provádění měření a následnou prezentaci naměřených dat, získaných za pomoci zařízení vytvořeného k monitorování kvality ovzduší, které bylo připevněno k dronu. V průběhu měření byly zkoumány různé aspekty, jako je aerodynamika dronu, popis měření a konfigurace.

Aerodynamika dronu byla identifikována jako klíčový faktor ovlivňující stabilitu a přesnost měření. Bylo zjištěno, že umístění senzoru na horní stranu trupu dronu, poblíž středu hmotnosti, umožňuje spolehlivější a přesnější měření bez vlivu externích faktorů. Pro účely práce byla pro ukládání dat zvolena metoda lokálního ukládání s využitím zařízení Raspberry Pi a senzoru MQ135.

Samotné měření bylo provedeno v různých výškách nad zemí a naměřené hodnoty byly systematicky ukládány pro následnou analýzu.

Vyhodnocení měření ukázalo, že rozdíl mezi naměřenými hodnotami při různých výškách ve venkovních prostorech byl téměř zanedbatelný.

Závěrem lze říci, že efektivní metody měření a analýzy kvality ovzduší jsou klíčové pro ochranu životního prostředí v rámci konceptu Smart Cities. Možné pokračování této práce by mohlo zahrnovat další experimenty s různými typy dronů, rozšíření měření na další oblasti kvality ovzduší nebo implementaci pokročilejších technologií analýzy dat pro přesnější predikce a modelování kvality ovzduší. Takové pokračování by mohlo přispět k lepšímu porozumění problematice znečištění ovzduší a k navrhování účinnějších opatření pro jeho řešení v budoucnosti, a to zejména v rámci urbanistické zástavby.

9 Seznam použité literatury

- [1] unmanned aerial vehicle. *Dictionary of Military and Associated Terms* [online]. 2005. Dostupné z: <https://www.thefreedictionary.com/unmanned+aerial+vehicle>
- [2] DALY, David. A Not-So-Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). *Consortiq* [online]. Dostupné z: <https://consortiq.com/uas-resources/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [3] PALIK, Mátyás a Máté NAGY. Brief history of UAV development. *Repüléstudományi Közlemények* [online]. 2019, **31**(1), 155–166. ISSN 14170604, 1789770X. Dostupné z: doi:10.32560/rk.2019.1.13
- [4] DUDNEY, Robert S. Douhet. *Air&Space Forces Magazine* [online]. 1. duben 2011. Dostupné z: <https://www.airandspaceforces.com/article/0411douhet/>
- [5] Operation DESERT SHIELD. *U.S. Army Center of Military History* [online]. Dostupné z: https://history.army.mil/html/bookshelves/resmat/dshield_dstorm/desert-shield.html
- [6] PALA, Tadeáš. NÁZOR: Silnější proti slabšímu: Rizika asymetrie. *Armádní noviny* [online]. 19. listopad 2015. Dostupné z: <https://www.armadninoviny.cz/silnejsi-proti-slabsimu-rizika-asymetrie.html>
- [7] Komponenty. *Live Rotorama* [online]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/>
- [8] What the heck is a Smart City? *Aliga* [online]. Dostupné z: <https://aliga.sk/en/what-the-heck-is-a-smart-city/>
- [9] KHAN, Usama Tariq a Muhammad Fahad ZIA. Smart city technologies, key components, and its aspects. In: *2021 International Conference on Innovative Computing (ICIC): 2021 International Conference on Innovative Computing (ICIC)* [online]. Lahore, Pakistan: IEEE, 2021, s. 1–10 [vid. 2024-04-20]. ISBN 978-1-66540-091-6. Dostupné z: doi:10.1109/ICIC53490.2021.9692989
- [10] What Is Needed To Build A Smart City? *Modeshift* [online]. 5. leden 2024. Dostupné z: <https://www.modeshift.com/what-is-needed-to-build-a-smart-city/>
- [11] What Is Big Data Analytics? Definition, Benefits, and More. *Coursera* [online]. 1. duben 2024. Dostupné z: <https://www.coursera.org/articles/big-data-analytics>

- [12] RAUTRAY, Sudeep a Pradeep KISHORE. Geospatial technology and sensors core for building efficient smart cities framework. *Infosys BPM* [online]. Dostupné z: <https://www.infosysbpm.com/blogs/geospatial-data-services/gis-technology-for-smart-cities.html>
- [13] Blockchain technology at the service of urban management. *Iberdrola* [online]. Dostupné z: <https://www.iberdrola.com/innovation/blockchain-for-smart-cities-urban-management>
- [14] What Is An Intelligent Transport System And How Does It Work? *Modeshift* [online]. 14. září 2023. Dostupné z: <https://www.modeshift.com/what-is-an-intelligent-transport-system-and-how-does-it-work/>
- [15] Cities as Living Laboratories: The Smart City Projects of Amsterdam, Singapore, and Barcelona. *ArchDaily* [online]. 29. květen 2023. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/1001628/cities-as-living-laboratories-the-smart-city-projects-of-amsterdam-singapore-and-barcelona>
- [16] *City Portrait: Smart City Copenhagen* [online]. Dostupné z: <https://www.beesmart.city/en/smart-city-blog/copenhagen>
- [17] BOOKER, Lucy. What does a smart city look like? How video surveillance AI is changing our cities | IFSEC Insider. *IFSEC Insider | Security and Fire News and Resources* [online]. 11. duben 2023. Dostupné z: <https://www.ifsecglobal.com/video-surveillance/what-does-smart-city-look-like-how-video-surveillance-ai-is-changing-cities/>
- [18] MCCULLOCH, Kathryn a Sofia SKARA. How can drones contribute to a smart city? Overview of their use and their legality in Canada. *Dentons* [online]. Dostupné z: <https://www.dentons.com/en/insights/articles/2020/december/1/how-can-drones-contribute-to-a-smart-city>
- [19] How Smart Cities are Driving down Air Pollution with Smart Traffic Flow Optimization. *Fujitsu* [online]. 17. květen 2022. Dostupné z: <https://corporate-blog.global.fujitsu.com/fgb/2022-05-17/01/>
- [20] The main sources of air pollution. *Breeze Technologies* [online]. 31. prosinec 2021. Dostupné z: <https://www.breeze-technologies.de/blog/main-sources-of-air-pollution/>
- [21] Air Pollution In Smart Cities. *Smart city* [online]. Dostupné z: <https://www.smartcity.co.nz/blog/air-pollution-city/>
- [22] Provoz v rámci „Otevřené“ (Open) kategorie. *Úřad pro civilní letectví* [online]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/otevrena-kategorie-open/provoz-v-ramci-otevrene-open-kategorie/>

- [23] Kdo je „nezapojená osoba“? *Úřad pro civilní letectví* [online]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/ufaq/kdo-je-nezapojena-osoba/>
- [24] Létání s dronem. *gov.cz* [online]. 27. prosinec 2021. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/rozcestniky/letani-s-dronem-RZC-101>
- [25] Co je to Specific kategorie? *DronPro* [online]. 9. listopad 2023. Dostupné z: <https://dronpro.cz/co-je-to-specific-kategorie>
- [26] Co je to Certified kategorie? *DronPro* [online]. 14. listopad 2023. Dostupné z: <https://dronpro.cz/co-je-to-certified-kategorie>
- [27] ZHAO, Ying, Peng-yao SHI a Wen-hao GUO. Design of Urban Air Quality Monitoring System Based on Big Data and UAV. In: Shuai LIU a Liyun XIA, ed. *Advanced Hybrid Information Processing* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2021 [vid. 2024-04-17], Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, s. 159–169. ISBN 978-3-030-67870-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-67871-5_15
- [28] DBOUK, T. a D. DRIKAKIS. Computational aeroacoustics of quadcopter drones. *Applied Acoustics* [online]. 2022, **192**, 108738. ISSN 0003682X. Dostupné z: doi:10.1016/j.apacoust.2022.108738
- [29] GOPRO mount for DJI AIR 2 and AIR2S. *Printables* [online]. Dostupné z: <https://www.printables.com/cs/model/595884-gopro-mount-for-dji-air-2-and-air2s>
- [30] Porovnání materiálu PLA a PETG. *3DTISK.PRO* [online]. Dostupné z: <https://3dtisk.pro/pro-zakazniky/porovnan-materialu-pla-a-petg>
- [31] MALHOTRA, Aditi. Data Mining Vs Big Data – Find out the Best Differences. *WHIZLABS* [online]. Dostupné z: <https://www.whizlabs.com/blog/data-mining-vs-big-data/>
- [32] KULIKOVA, Elena, Vladimir SULIMIN a Vladislav SHVEDOV. Artificial intelligence for ambient air quality control. *E3S Web of Conferences* [online]. 2023, **419**, 03011. ISSN 2267-1242. Dostupné z: doi:10.1051/e3sconf/202341903011
- [33] What is data visualization? *IBM* [online]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/data-visualization>

Zadání práce z IS (eVŠKP)



Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu

Zadání bakalářské práce

Autor: Zuzana Švábová

Studium: I2100290

Studijní program: B1802 Aplikovaná informatika

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Název bakalářské práce: **Využití UAV ve Smart Cities pro monitorování kvality ovzduší**

Název bakalářské práce AJ: The use of UAVs in Smart Cities for air quality monitoring

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Cíl:

Cílem bakalářské práce bude analýza a porovnání stávajících možností využití UAV ve Smart Cities, primárně se zaměřením na měření kvality ovzduší.

Osnova:

1. Úvod
2. Historie a konstrukce dronů
3. Smart Cities
4. Legislativa UAV
5. Měření a analýza dat
6. Zhodnocení výsledků, závěr

LEE, Suhyeon; HWANG, Hyemin; LEE, Jae Young. Vertical measurements of roadside air pollutants using a drone. *Atmospheric Pollution Research*, 2022, 13.12: 101609.

AFSHAR-MOHAJER, Nima; WU, Chang-Yu. Use of a drone-based sensor as a field-ready technique for short-term concentration mapping of air pollutants: A modeling study. *Atmospheric Environment*, 2023, 294: 119476.

ZHAO, Ying; SHI, Peng-yao; GUO, Wen-hao. Design of Urban air Quality Monitoring System Based on big data and UAV. In: *Advanced Hybrid Information Processing: 4th EAI International Conference, ADHIP 2020, Binzhou, China, September 26-27, 2020, Proceedings, Part I 4*. Springer International Publishing, 2021. p. 159-169.

Zadávací pracoviště: Katedra informačních technologií,
Fakulta informatiky a managementu

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 15.10.2021