



Středoškolská technika 2018

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

METEOROLOGICKÝ DRON PRO MĚŘENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

Rudolf Turoň

Střední průmyslová škola, Obchodní akademie a Jazyková škola s právem státní jazykové
zkoušky, Frýdek-Místek, příspěvková organizace,
28. října 1598, 738 01 Frýdek-Místek

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Meteorologický dron pro měření kvality ovzduší

Rudolf Turoň
Moravskoslezský kraj

Frýdek-Místek, 2018

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Meteorologický dron pro měření kvality ovzduší

Meteorological drone for air quality measurement

Autor: Rudolf Turoň

Škola: Střední průmyslová škola, Obchodní akademie a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky, Frýdek-Místek, příspěvková organizace, 28. října 1598, 738 01 Frýdek-Místek

Kraj: Moravskoslezský kraj

Konzultant: Ing. Jiří Sumbal

Frýdek-Místek, 2018

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Ve Frýdku-Místku dne 20.3.2018

Chtěl bych poděkovat panu Vitáskovi, který mi na tento projekt poskytl finanční prostředky na stavbu dronu a na senzorů. Díky němu jsem měl možnost tento projekt realizovat.

Dále bych chtěl také poděkovat učiteli Ing. Jiřímu Sumbalovi za jeho podporu, připomínky a rady v tomto projektu.

Anotace

Tato práce se zabývá popisem a konstrukcí dronu s modulem pro měření kvality ovzduší. Jsou zde popsána pravidla pro létání s bezpilotními prostředky, popis součástí a konstrukce dronu. Dále obsahuje informace o látkách znečišťujících ovzduší, které jsou měřeny, tj. poletavé částice a koncentrace oxidu uhličitého. Práce popisuje návrh celého systému pro měření kvality ovzduší a jeho realizaci. Součástí je i ukázka odesílání naměřených dat do pozemní stanice a následného zpracování dat. Celý systém s dronem lze použít pro měření koncentrací škodlivých látek a tato data následně využít pro zlepšení životního prostředí.

Klíčová slova

dron;měření;znečištění;ovzduší;Arduino

Annotation

This thesis deals with the description and design of the drone with the air quality measurement module. Rules for flying with unmanned vehicles, description of components and construction of the drones are described here. It also contains information on air pollutants that are measured, ie flying particles and carbon dioxide concentrations. The thesis describes the design of the whole air quality measurement system and its implementation. It also includes a sample of the data sent to the land station and subsequent data processing. The entire drone system can be used to measure harmful substance concentrations and then use these data to improve the environment.

Keywords

drone;measurement;pollution;air;Arduino

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Multikoptéra.....	8
2.1	Pravidla pro provoz v České republice	9
2.1.1	Rekreační využití	9
2.1.2	Komerční využití	10
2.2	Princip činnosti a součástí multikoptéry	10
2.2.1	Elektromotory	10
2.2.2	Baterie	11
2.2.3	Řídicí jednotka.....	12
2.2.4	Rádio	13
2.2.5	Další použité součásti	15
3	Měření kvality ovzduší	17
3.1	Měřené veličiny.....	17
3.1.1	Poléťavý prach.....	17
3.1.2	CO ₂	18
3.1.3	Další základní veličiny.....	18
3.2	Modul měření kvality ovzduší	18
3.2.1	Hardware modulu měření kvality ovzduší.....	18
3.2.2	Software modulu měření kvality ovzduší	21
3.2.3	Ukázka zdrojového kódu primárního Arduina	22
3.2.4	Ukázka zdrojového kódu sekundárního Arduina.....	23
4	Pozemní stanice pro příjem dat a naváděná anténa	24
4.1	Přijímací stanice	24
4.1.1	Hardware pozemní stanice	24
4.1.2	Software pozemní stanice	24
4.1.3	Ukázka zdrojového kódu	24
4.2	Naváděná anténa	25
4.2.1	Hardware naváděné antény	25
4.2.2	Software naváděné antény	26
4.2.3	Ukázka zdrojového kódu naváděné antény	28
5	Zpracování dat	29

5.1	Výsledky měření	30
6	Závěr	34
7	Použité zdroje	35
8	Seznam obrázků.....	36

1 ÚVOD

Mým cílem bylo navrhnout a sestavit dron, který bude schopen nést přídavné zařízení pro měření kvality ovzduší. Tento dron by měl být schopen autonomního letu po určité trase, samostatného návratu na místo vzletu a následného přistání. Je vybaven FPV přenosem obrazu, což je odesílání obrazu z kamery v reálném čase do mobilu. Do tohoto obrazu je vložena telemetrie, například aktuální náklon, rychlost, výška, ve které se dron nachází, a podobně.

Celý dron jsem sám navrhnul a sestavil. Důležitou částí mé práce bylo řešit veškeré problémy svépomocí, abych tuto problematiku detailně pochopil a popsal princip jeho fungování. Pro návrh je třeba určit váhu celého stroje a následně dimenzovat použité součásti, jako jsou motory, napětí a kapacita baterie. Musí se spočítat proudy, které prochází napájecími vodiči, jelikož jsou tyto proudy vysoké. Vodičem pro jeden motor může procházet proud až kolem 30 A, celkem to mohou být i stovky ampérů. Po sestavení se musí celý dron kalibrovat a nastavit proporcionálně integračně derivační regulátor pro stabilní let. Je třeba otestovat všechny funkce, vybalancovat vrtule a tak dále.

Další částí práce bylo navrhnout systém měření kvality ovzduší, který bude schopen zjišťovat koncentrace znečišťujících složek ovzduší. Tento systém funguje jako samostatná část dronu a je tak být použitelný i pro jiné účely, než je měření na dronu. Hlavní měřené složky jsou koncentrace polévatých částic a oxidu uhličitého v ovzduší. Tento systém odesílá veškerá získaná data do pozemní stanice a tam se tato data následně zpracují.

Cílem bylo navrhnout i systém, který zajistí co nejlepší příjem signálu z tohoto dronu, ať už se nachází v jakékoli výšce, směru a vzdálenosti od pozemní stanice.

Tato technologie může být využita pro měření hlavně v místech, kde se povolené limity znečišťujících látek často překračují. Na místech, kde není žádná měřicí stanice, což jsou například vesnice. Tam se často spaluje nekvalitní uhlí a další paliva, která produkují mnoho znečišťujících látek. Při spojení s inverzí může koncentrace v těchto místech překračovat několikanásobně limity a na měřicích stanicích v okolních městech nejsou tato překročení naměřena.

Hlavním cílem tohoto projektu je poukázat na znečištění, analyzovat tato data a použít je pro zlepšení životního prostředí v našem okolí.

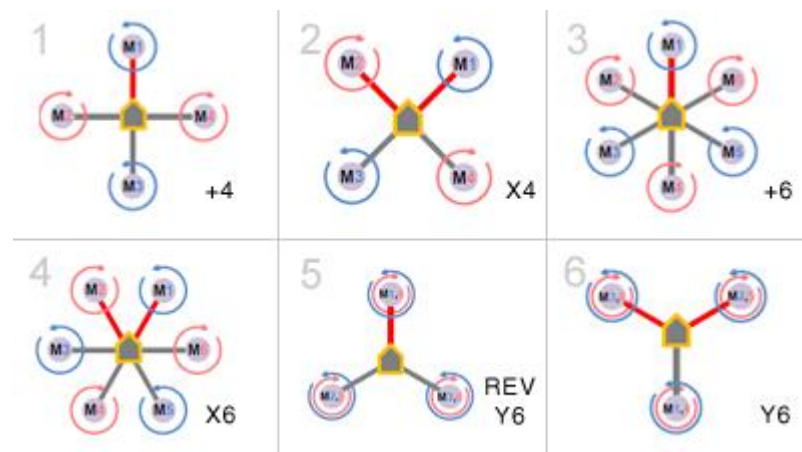
2 MULTIKOPTÉRA

Multikoptéra neboli dron je bezpilotní letadlo neboli letadlo bez posádky, které je dálkově nebo autonomně řízeno. Multikoptéry jsou specifické v tom, že mají dvě a více rotujících vrtulí, které vytvářejí vztlak potřebný pro let. Podle počtu motorů se dělí na:

- trikoptéry – tři motory,
- quadrokoptéry – čtyři motory,
- hexakoptéry – šest motorů,
- octakoptéry – osm motorů

Dále lze multikoptéry dělit podle způsobu uspořádání vrtulí, a to do Y, do X nebo do +.

Každé z těchto uspořádání se hodí pro odlišné použití. Nejrozšířenějším typem je quadrokoptéra v uspořádání do X, tento typ je nejuniverzálnější a nejlépe se hodí pro natáčení videa, focení, sportovní létání atd. Další nespornou výhodou je cena quadrokoptér, jelikož se zvyšujícím se počtem motorů cena roste, protože jsou potřeba další regulátory otáček, větší rám, baterie o vyšším napětí a kapacitě atd.



Obrázek 1: Typy multikoptérů a uspořádání vrtulí

Hexakoptéry a octakoptéry díky své větší stabilitě a nosnosti používají například filmaři, kteří na tyto drony mohou instalovat stabilizátory obrazu a profesionální kamery. Nevýhodou je menší obratnost, která se úměrně snižuje s rostoucí hmotností a velikostí.

Dále se multikoptéry dělí podle využití a to na:

- Vojenské – využívá je armáda, nesmí se využívat komerčně ani nekomerčně. Plní vojenské úkoly, nejčastěji průzkum území, sledování pohybu osob. Některé jsou dokonce vybaveny zbraňovými systémy.

- Komerční – používají se například pro natáčení filmů, profesionální focení atd. Komerční využití se rozumí jakékoliv použití dronu za účelem zisku. Pro komerční využití je v České republice nutné Povolení k provázání leteckých činností a dron musí být registrován.
- Rekreační a sportovní využití – použití pro vlastní potřebu a zábavu, je potřeba dodržovat určitá pravidla stanovená zákony.

2.1 Pravidla pro provoz v České republice

2.1.1 Rekreační využití

Pro létání s bezpilotními prostředky platí předpisy Úřadu pro civilní letectví. Je třeba určit, v jakém leteckém prostoru budeme létat a do jaké kategorie využití dron spadá.

Rekreační využití je dosti omezeno, a to následujícími pravidly. Pokud má dron hmotnost do 0,91 kg nemusí být vybaven žádnými speciálními bezpečnostními mechanismy. Pokud má hmotnost větší, musí být vybaven systémem pro bezpečné ukončení letu, to je například automatický návrat na místo vzletu, nebo automatické přistání na místě výpadku signálu. Celková hmotnost dronu nesmí přesáhnout 20 kg.

Nesmí se přiblížit k osobě na méně než 50 metrů horizontálně v průběhu vzletu a přistání (mezi tyto osoby se nepočítá pilot a doprovázející osoby), dále se nesmí létat blíže oblačnosti než 1500 metrů horizontálně a 300 metrů vertikálně. Maximální výška, do které může vystoupat, je 300 metrů nad zem. Drony do 7 kg nemají přesně určené bezpečné vzdálenosti od osob a budov, ale musí to být vzdálenost bezpečná, při které dron nemůže poškodit majetek nebo způsobit újmu na zdraví. Stroj nad 7 kg se nesmí přiblížit blíže než 150 metrů k zástavbě a na 100 metrů k osobě.

Zaleží také na prostoru, ve kterém létáme, to se dá zjistit například v letecké mapě. Drony pro rekreační využití mohou létat pouze ve vzdušném prostoru třídy G. Zakázáno je létat v zakázaných prostorech, např. kolem jaderných elektráren. Dále se nesmí létat nad železnicemi, cestami, na místech, kde je riziko srážky s jiným létajícím objektem atd. Nad soukromými pozemky je dovoleno létat, ale nesmí se natáčet osoby.

V blízkosti letišť je třeba zjistit, kde je létání povoleno, z letové mapy. Většinou je to možné 5 km od letiště. V zóně letiště je možné létat pouze po schválení provozovatelem letiště.

Zakázán je také FPV (First Person View) let, to je takový let, kdy je dron mimo dohled pilota a pilot jej řídí pouze pomocí telemetrie, přenosu obrazu a za pomoci GPS. Povoleno je pouze

let na přímou viditelnost, nebo je nutná další osoba, která dron přímo vidí. Zakázáno je také jakékoliv létání bez dohledu nebo v noci.

Porušení těchto pravidel může vést k pokutě do 5 000 000 Kč.

2.1.2 Komerční využití

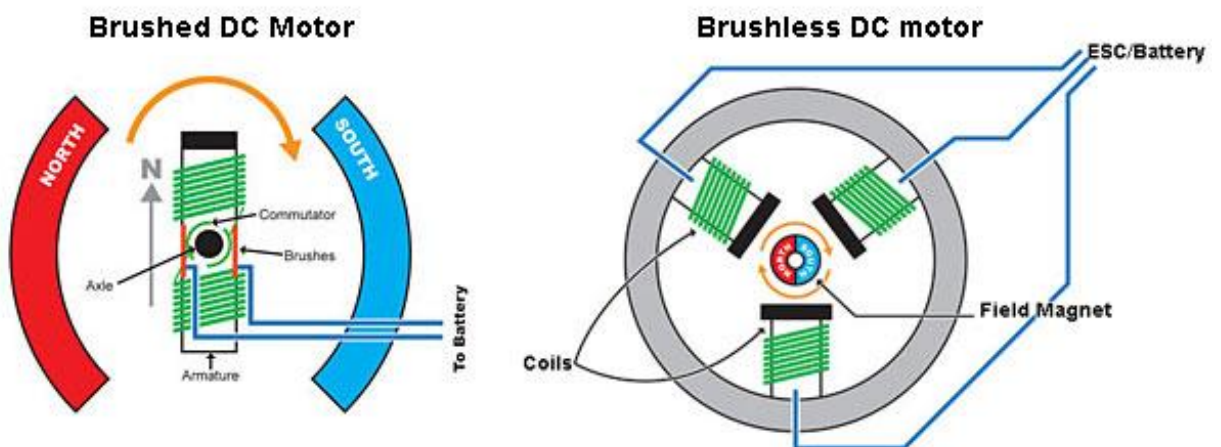
Pro vlastní podnikání nebo činnost, která přináší příjem, je třeba dron registrovat. Musí se vyřídit správné řízení pro Povolení k létání ve smyslu činnosti letecké práce. Ve správním řízení se ověřuje bezpečnost dronu, letové vlastnosti a dovednosti pilota. Dále je třeba získat Povolení k provozování leteckých prací bezpilotním letadlem.

Dron musí být pojištěn, bez tohoto pojištění nelze získat povolení k létání. Vyřízení těchto záležitostí se pohybuje okolo 15 000 Kč a následně se musí toto povolení každé dva roky prodlužovat, což stojí 1 500 Kč, a je třeba platit pojištění dronu.

2.2 Princip činnosti a součástí multikoptéry

2.2.1 Elektromotory

Přímo na rotoru elektromotoru je umístěna vrtule, která vytváří vztlak potřebný pro let. Využívají se dva typy motorů. Stejnosměrné kartáčové DC motory se používají u velmi malých a levných multikoptér. Bezkartáčové stejnosměrné motory (brushless DC), jsou to moderní synchronní motory, u kterých je komutace realizována elektronicky, komutaci řídí ESC (electronic speed control). Tyto motory mají téměř lineární točivý moment a používají se u výkonnějších a dražších dronů.



Obrázek 2: schéma bezkartáčového a kartáčového motoru. Dostupné z <https://infodrones.it/differenza-tra-motori-brushed-e-brushless/>

V mém případě jsem použil bezkartáčové stejnosměrné motory DJI 2212 920 kv. Vstupní napětí těchto motorů je 7,4 – 14,8 voltů. Maximální tah motoru je asi 960 gramů při použití správných vrtulí. Hmotnost motoru je 48 g. Motor dosahuje 920 kv (otáček na jeden volt). Maximální tah těchto motorů je na hexakoptěře okolo 5,6 kilogramů.

Pro regulaci otáček jsem zvolil 30A ESC, jelikož odběr motoru dosahuje cca 20 ampérů. Tuto hodnotu je však lepší naddimenzovat, protože motor může chvilkově odebírat i vyšší proud, než je udávaný.

2.2.2 Baterie

U multikoptér se nejčastěji využívají Li-pol baterie, tyto baterie jsou schopné dodat potřebný proud pro motory a jsou dostatečně lehké. Lithium polymerové baterie jsou vylepšené Li-ion, mají větší kapacitu, netrpí samovybíjením a jsou lehčí.

K nabíjení se používají nabíječky s balančním konektorem. Během vybíjení se články mohou vybíjet nerovnoměrně, proto se musí balancovat, aby měl každý článek stejné napětí v nabitém stavu, a to 4,2 voltů. Napětí jednoho článku nesmí klesnout pod 3 V, pokud se tak stane, hrozí nenávratné poškození baterie, nafouknutí nebo dokonce požár. Optimálně by se měla baterie vybíjet do 3.4 – 3.5 voltů. Při výraznějším přebití baterie začne hořet, tento oheň se nedá uhasit vodou a kouř, který vzniká, je toxický.



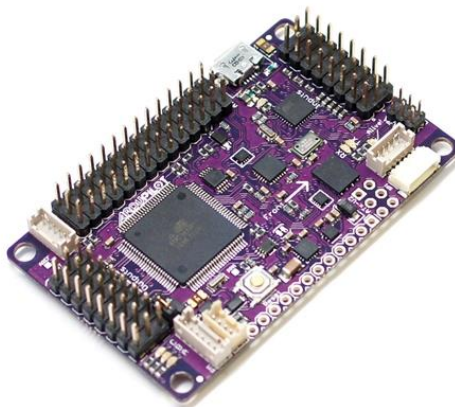
Obrázek 3: Li-Pol baterie Zippy. Foto autor.

V mé hexakoptěře jsou dvě Li-pol baterie značky Zippy o kapacitě 3700 mAh, to dohromady dává kapacitu 7200 mAh při paralelním zapojení. Jedná se o tříčlávkovou baterii se jmenovitým napětím 11,2 voltů. Baterie má C rate (maximální vybíjecí proud) 25 C, u baterie

s kapacitou 7200 mAh to znamená maximální konstantní vybíjecí proud až 180 ampérů. Hmotnost obou baterií je 528 gramů.

2.2.3 Řídicí jednotka

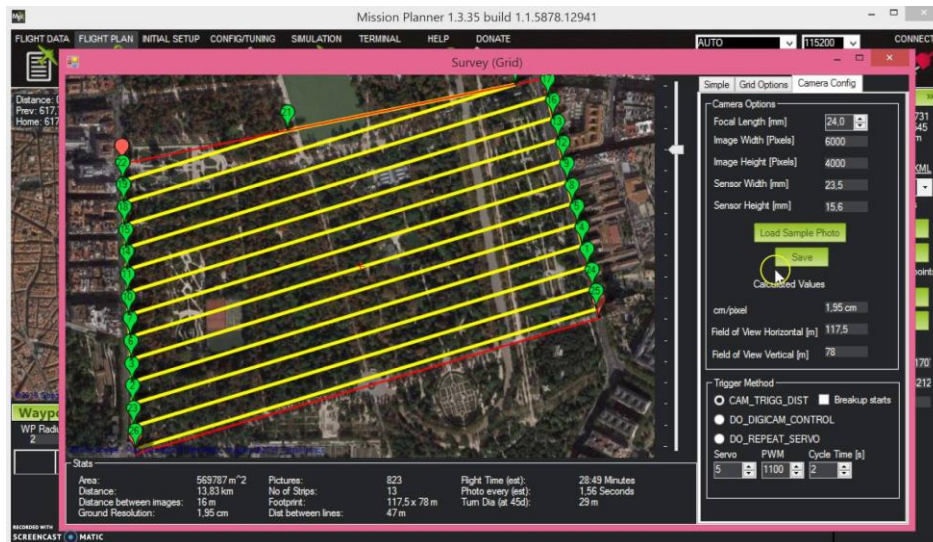
Řídicí jednotka reguluje otáčky motoru, přijímá data z rádia a může vykonávat další složitější procesy. Vyhodnocuje aktuální stav senzorů a provádí korekce otáček motoru tak, aby se dosáhlo cíleného stavu. Skládá se z procesoru, vstupů a výstupů, senzorů, komunikačních portů atd.



Obrázek 4: Řídicí jednotka APM 2.5 bez ochranného krytu. Dostupné z http://forums.ni.com/legacyfs/online/34890_APM2.jpg

Základem je gyroskop, bez kterého by multikoptéra nebyla schopná letu. Díky němu řídicí jednotka získává data o náklonu. Dále lze připojit mnoho dalších periférií, například barometrický senzor, který poskytuje data o aktuální výšce a jeho přesnost bývá většinou přibližně 1 metr. Ultrasonický senzor dokáže měřit velmi přesně výšku nad zemí, ale jen do určité výšky, nejčastěji okolo 15 m. Elektronický kompas slouží pro určení natočení multikoptéry. Akcelerometr je určený pro zjištění aktuální akcelerace.

V mé multikoptéře je použita řídicí jednotka APM 2.5. Je to open source řídicí jednotka, ve které je tříosý gyroskop, akcelerometr, a barometr. Je kompatibilní s GPS moduly U-blox. Mikroprocesor obsažený v této jednotce je ATmega 2560, tento procesor se používá i v Arduinu Mega. Je zde 10 rozšiřujících I/O konektorů pro připojení dalších zařízení. Zdrojový kód je možné upravovat a vytvářet vlastní podprogramy, například pro komunikaci s modulem pro měření kvality ovzduší, na ovládání servomotorů, stabilizátorů kamery a podobně. Konfigurace, nastavení a kalibrace této řídicí jednotky se provádí pomocí softwaru Mission planner.



Obrázek 5: Ukázka programu Mission Planner, v němž se plánuje dráha letu a konfiguruje dron. Foto autor.

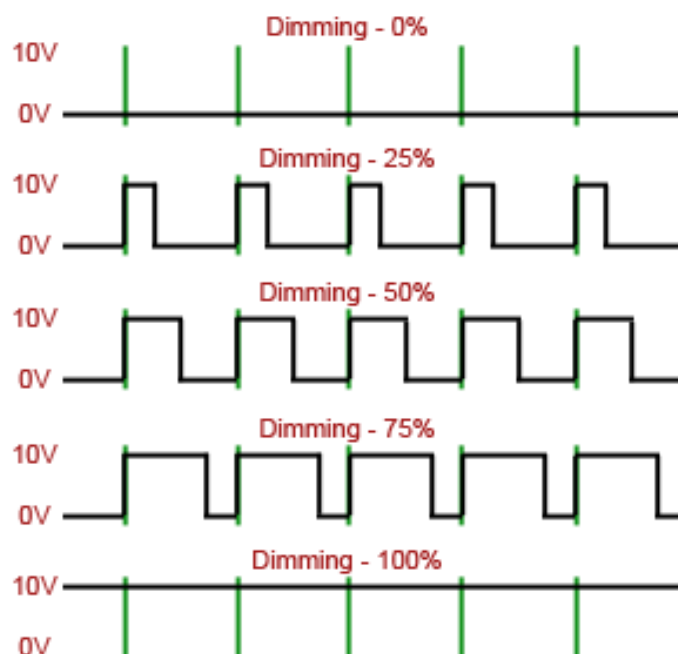
2.2.4 Rádio

Na ovládání dronu se nejčastěji využívá RC ovladač, ten se skládá z vysílače a přijímače. Nejpopulárnější je rádio na frekvenci 2,4 GHz. Vysílač má několik kanálů, pro ovládání dronu jsou třeba minimálně 4. Optimálně by mělo mít rádio alespoň 6 kanálů. Rádio může fungovat ve 4 módech, těmito módy se rozumí, který kanál je na které ose ovladače. Nejčastěji se využívá mód 2.



Obrázek 6: Ukázka ovládacích módů jedna a dva. Dostupné z <https://www.rcgroups.com/forums/showatt.php?attachementid=714749>

Výstup přijímače je PWM signál. Pulzně šířková modulace (PWM) převádí digitální signál na analogový s pomocí poměru dob trvání hodnot log. 0 a log. 1. Může pracovat teoreticky na libovolné frekvenci. Nejčastěji se používá rozmezí poměrů logických hodnot 0-255, což je 8 bitové číslo.



Obrázek 7: ukázka průběhu pulzní šířkové modulace. Dostupné z <http://www.reefangel.com/images/PWM.png>

V mém případě jsem použil rádio Turnigy 9x, které pracuje na frekvenci 2.4 GHz a v základní konfiguraci má dosah okolo 1500 metrů. Jeho 8 kanálů je dostatečný počet pro ovládní dronu, letových režimů a natáčení kamery. V této vysílače je integrován 128*64 LCD display a je na něm možno měnit ovládací módy. Nejdříve je nutné vysílačku spárovat s přijímačem pomocí párovacího kabelu, nakonfigurovat a nastavit, jakým potenciometrem/přepínačem se ovládá který kanál, a rozsah modulace vysílaného PWM signálu.



Obrázek 8: Rádio Turnigy 9x, osmi kanálové. Foto autor.

2.2.5 Další použité součásti

Jsou použity desetipalcové plastové listy vrtulí 1045. Ty jsou poměrně odolné, ale není doporučeno s nimi létat při minusových teplotách, protože vrtule ztrácejí tah v důsledku namrzání. Tyto vrtule jsou doporučeny pro motor 2212 920 kv, při napětí 11,2 voltů. Kdyby byla použita baterie o jmenovitém napětí 14,8 V, musely by se použít osmipalcové vrtule. Nově zakoupené vrtule je třeba balancovat na balancéru, aby při letu nevznikaly vibrace. Ty ovlivňují barometr, a to tak, že se naměřená výška může lišit i o 10 metrů od té reálné. Dále vzniká problém se stabilitou videa a se samovolným povolováním šroubků rámu. Vrtule se balancují tak, že se na lehčí stranu vrtule na balancéru nalepí proužek izolační lepicí pásky na vyvážení. Tím se vrtule vybalancuje a nebude vytvářet vibrace.

Jako GPS modul je zde použit modul U-blox NEO-M8 series. Vyniká velkou přesností, velice rychlou fixací a je v něm integrován elektromagnetický kompas.

Přenos obrazu do vysílačky zajišťuje vysílací modul RC832, jehož vysílací výkon je 600 mW na frekvenci 5,8 GHz a pracuje na 40 kanálech. Dosah se pohybuje okolo jednoho kilometru, avšak záleží na počasí a místě, kde se létá. Tento vysílač je přes USB port připojen do kamery, která vytváří obraz ve formátu PAL. Mezi kamerou a vysílačem je ještě umístěn OSD (on screen display) modul, ten vkládá do obrazu údaje o letu z řídicí jednotky. V obraze z kamery se zobrazuje také směr, rychlost letu, náklon, výška, napětí baterie, proud, který je čerpán z baterie, a další údaje. Příjímač musí mít nastaven stejný kanál a mít stejnou

polarizaci antény jako vysílač. Obraz je vyveden z přijímače CINCH konektory do modulu EASY CAP. Tento modul přijme obraz ve formátu PAL a digitalizuje ho. Přes USB konektor se modul připojí k mobilnímu telefonu, ve kterém je nainstalován program FPViever, a na něm se zobrazí živý přenos obrazu.

Stabilizátor kamery (gimbal) jsem sám sestavil. Do koupeného rámu jsem vybral odpovídající brushless motory 2208, které mají 80 kv a v závěsu nosnost 200 gramů. Váha jednoho motoru je 39 g. Jedná se dvouosý stabilizátor obrazu, který nese kameru Xiaomi Yi CAM. Jako řídicí procesor je použit ATmega 328, který slouží jako řadič motorů. Je k němu připojen gyroskop s akcelerometrem pro získání údajů o poloze kamery. V programu běží proporcionálně integračně derivační regulátor, který bylo třeba nastavit tak, aby kamera nevibrovala a motory vychytaly všechny protipohyby. Nejdříve jsem odhadl proporcionální složku, k té jsem následně přidal integrační složku a nastavil hodnoty. Následně jsem stabilizátor odzkoušel a měnil hodnoty tak, aby se kamera co nejlépe stabilizovala. Posledním úkolem bylo nastavit derivační složku, která celý pohyb vyhladí a výsledné video je velmi dobře stabilizované.



Obrázek 9: Obrázek 8: Sestavená hexakoptéra se všemi součástmi, kamerou, stabilizátorem obrazu a GPS. Foto autor.

3 MĚŘENÍ KVALITY OVZDUŠÍ

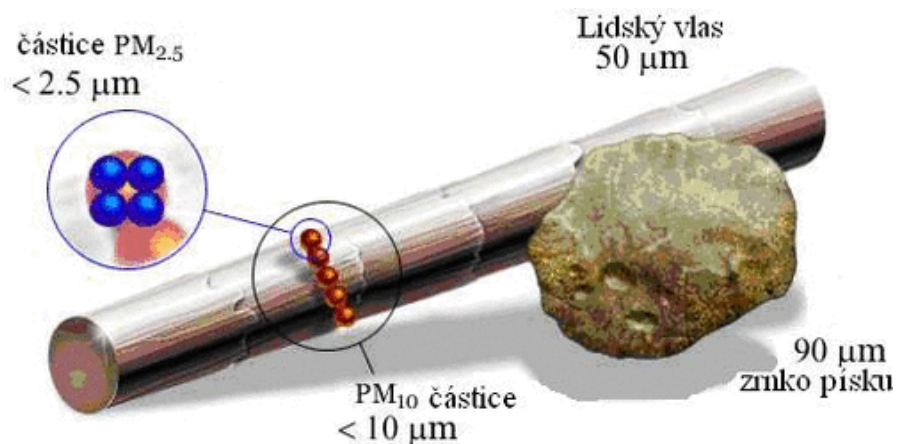
3.1 Měřené veličiny

3.1.1 Polétavý prach

Modul měření kvality ovzduší měří koncentraci polétavých částic PM_{10} a $PM_{2.5}$ v ovzduší. Polétavé částice jsou mikročástice o velikosti několika mikrometrů. Vznikají při spalovacích procesech, tavení rud, z půdy a ze silničního provozu. Polétavý prach tvoří většinou sírany, amonné soli, uhlík, některé kovy, dusičnany, případně i těkavé organické látky nebo polyaromatické uhlovodíky. PM_{10} a $PM_{2.5}$ jsou kategorie velikosti částic. PM_{10} jsou částice do 10 mikrometrů, $PM_{2.5}$ částice do 2.5 mikrometrů. Čím menší částice jsou, tím déle se udrží v ovzduší.

Nebezpečnost polétavého prachu pro zdraví člověka závisí na zdroji a složení prachu. Částice vypouštěné dieselvými motory jsou mnohem nebezpečnější než ty, které například rozvíří vítr z půdy. Částice okolo 10 mikrometrů se obvykle usazují v průduškách. $PM_{2.5}$ se mohou dostat až do plicních sklípků, a proto jsou nebezpečnější. Bohužel se tyto částice $PM_{2.5}$ v České republice měří jen na málo místech. Na částice polétavého prachu se vážou těkavé organické látky, které působí toxicky. Způsobují astma, plicní choroby, rakovinu plic, vysoký krevní tlak a srdeční onemocnění.

Limit pro polétavý prach pro PM_{10} je 50 mikrogramů na m^3 , tento limit může být 35x ročně překročen, dále je limit na průměrnou roční koncentraci 40 mikrogramů na m^3 . Pro polétavý prach $PM_{2.5}$ je limitem průměr 25 mikrogramů na m^3 za rok.



Obrázek 10: Zobrazení polétavých částic PM_{10} a $PM_{2.5}$ v porovnání s velikostí lidského vlasu. Dostupné z <http://arnika.org/soubory/obrazky/ovzdusi/srovnani-castic.gif>

3.1.2 CO₂

Koncentrace oxidu uhličitého se na dronu měří hlavně při jeho měření v kouři vypouštěném z komínů. Oxid uhličitý se uvolňuje do ovzduší při každém spalování. Je to skleníkový plyn, který způsobuje globální oteplování.

Největší přípustná koncentrace je 45 000 mg na metr krychlový.

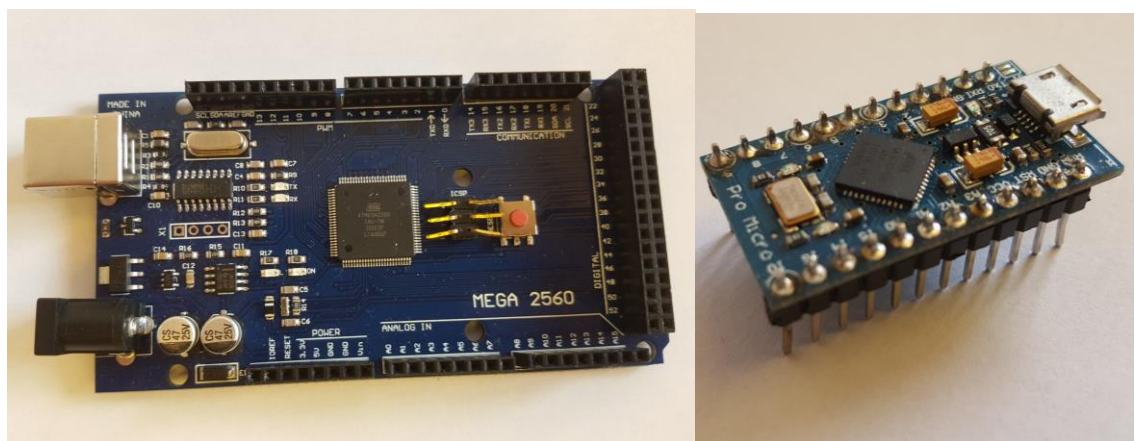
3.1.3 Další základní veličiny

Modul kvality ovzduší měří i další základní veličiny, jako je teplota, tlak vzduchu a okolní vlhkost. Tyto hodnoty jsou doplňující pro další zpracování naměřených dat. Je zde umístěna i GPS, která zaznamenává údaje o poloze, a tím spojuje vlastnosti ovzduší s místem jejich výskytu.

3.2 Modul měření kvality ovzduší

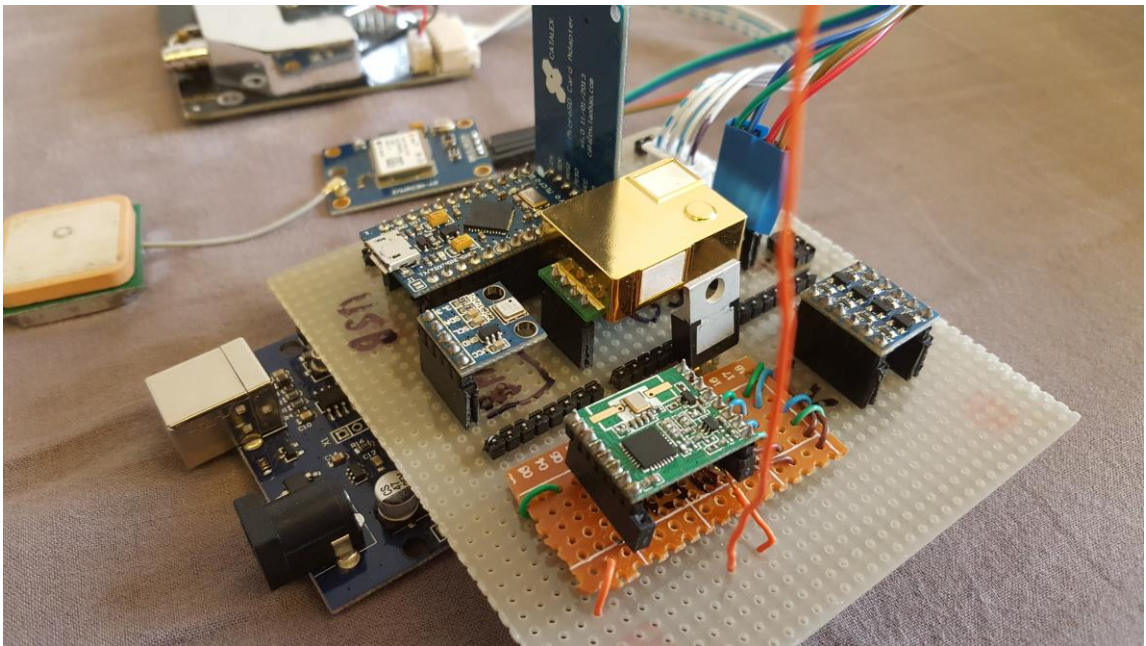
3.2.1 Hardware modulu měření kvality ovzduší

Modul měření kvality ovzduší je umístěn na samostatném plošném spoji vlastní výroby. Tento plošný spoj je řešen modulárně, a to tak, že každý modul se zasouvá do slotu. Celý plošný spoj funguje jako shield (přídavná deska) na Arduino Mega. V případě jakéhokoli problému nebo poškození součástky ji lze jednoduše vyměnit. Celý tento systém je napájen z baterie dronu, avšak dá se připojit i na jakýkoliv jiný napěťový zdroj v rozmezí 5 – 15 voltů nebo ho lze napájet přes USB konektor.



Obrázek 11: Arduino Mega a Arduino Pro Micro. Foto autor.

Celý modul je řízen dvěma mikropočítači, Arduinem Mega a Arduinem Pro Micro. Arduino Mega s procesorem ATmega 2560 je primární Arduino, které čte data se všech senzorů, zajišťuje zpracování a odesílání dat do pozemní stanice. Obsahuje 52 digitálních I/O pinů (z nich 14 lze použít jako PWM výstupy), 16 analogových vstupů, 4 UART (sériové hardware rozhraní). Frekvence procesoru je 16 MHz, paměť SRAM je 8 kB a EEPROM má kapacitu 4 kB. Toto Arduino jsem zvolil z důvodu dostatečného počtu hardwarových UART rozhraní. Jelikož pro mé použití bylo třeba 5 těchto rozhraní, žádné méně výkonné Arduino by nebylo schopno tyto požadavky splnit.



Obrázek 12: Modul měření kvality ovzduší se všemi zapojenými senzory. Foto Autor

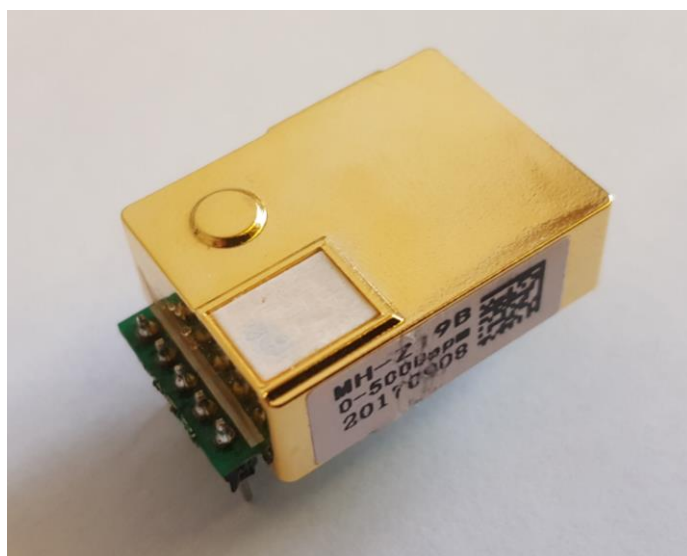
Arduino Pro Micro slouží k zálohování naměřených dat na SD kartu. Tento mikropočítač má procesor ATmega32U4 na frekvenci 16MHz a běží na 5 voltech. Paměť SRAM má kapacitu 2,5 kB a EEPROM 1 kB. Obsahuje 20 input/output pinů, jeden hardwarový UART a rozhraní SPI a I2C.

Senzor koncentrace polétavých částic v ovzduší SDS 011 měří polétavé částice PM_{10} a $PM_{2.5}$. Nabízí poměrně velkou přesnost v poměru k ceně. Napájen je 5 V a s Arduinem komunikuje přes UART při modulační rychlosti 9600 baud. Senzor funguje na tom principu, že laserový paprsek prochází optikou a je snímán diodou. Tento senzor má integrovaný 8-bitový procesor pro zpracování dat a odstředivý větrák pro cirkulaci vzduchu. Vnitřní části senzoru je třeba čistit od prachu, četnost čištění závisí na prostředí, ve kterém je používán.



Obrázek 13: Senzor polétavého prachu PM10 a PM2.5 SDS 011. Foto autor

Senzor oxidu uhličitého MH-Z19 měří koncentraci CO₂ v ppm. Používá UART komunikaci s Arduinem. Pracuje na principu optického měření, využívá širokopásmý zdroj světla. Světlo projde skrz vzduch, plyn CO₂ absorbuje světlo určitých vlnových délek a podle toho se stanoví koncentrace v ppm. Rozlišení snímače je 0-5000 ppm, senzor je nutné jednou za určitou dobu kalibrovat, obvykle každé 2 týdny. Kalibrace se řeší softwarově.



Obrázek 14: Senzor CO2 MH-Z19. Foto autor.

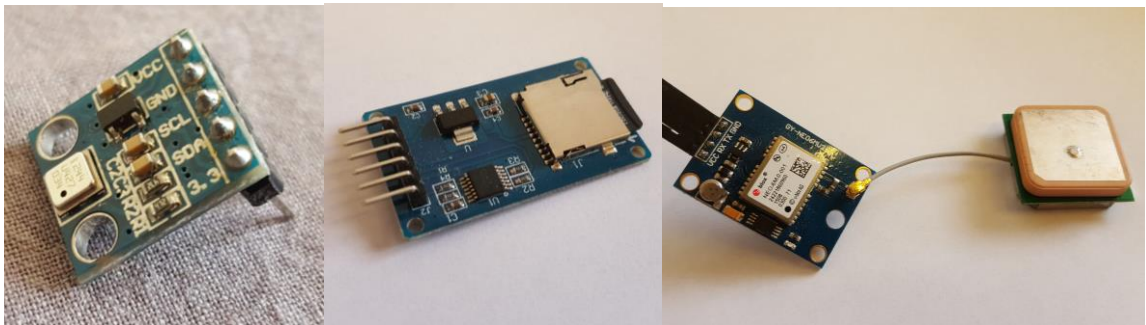
Dalším hardwarovým modulem je BMP180, který měří teplotu a tlak vzduchu. K měření tlaku využívá piezorezistivního jevu. S mikro počítačem komunikuje přes rozhraní I2C.

Odesílání do pozemní stanice probíhá pomocí rádiového modulu RFM69, který pracuje na frekvenci 433MHz. Odesílaná data se šifrují heslem. Tento modul pracuje na 3,3 voltové logice, zatímco Arduino Mega na 5 voltové logice. Proto je zde použit 5/3,3 V převodník.

Komunikace probíhá přes SPI rozhraní. K tomuto modulu je připojena přes konektor anténa. Tato anténa je obyčejný 17 centimetrů dlouhý drát ve vertikální polarizaci, který se nejlépe hodí pro frekvenci 433MHz.

GPS modul U-blox Neo-6m komunikuje s Arduinem přes UART a je napájen napětím 5 voltů. Tato GPS vyniká svou poměrně velkou přesností a rychlou fixací polohy. Hlavní její výhodou je velká keramická anténa, která je schopná zafixovat satelity, i když je umístěna po dronem. Spolupracuje jak s americkou GPS, tak i s ruskou GLONASS.

Čtečka SD karet je připojena k sekundárnímu Arduinu Pro Pico přes rozhraní SPI. Toto Arduino je s primárním Arduinem Mega propojeno sériovou linkou o modulační rychlosti 9600.



Obrázek 15: Zleva BMP180 Senzor tlaku, čtečka sd karet, GPS modul. Foto autor.

3.2.2 Software modulu měření kvality ovzduší

Tento software jen hlavním programem, který běží na Arduinu Mega. V první části programu se nastaví základní proměnné, do kterých se následně ukládají mezivýpočty a konečné výpočty. Inicializují a nastaví se jednotlivé moduly, například frekvence rádia a šifrovací klíč, ověří se funkčnost všech modulů, nastaví se UART komunikace atd. V smyčce programu se nejdříve načtou do proměnných údaje z GPS modulu, a to zeměpisná šířka, zeměpisná délka, nadmořská výška a aktuální čas. Následně se načtou data ze senzoru BMP180 o teplotě a aktuálním tlaku. Pomocí výpočtu „ $44330 * (1 - (\text{tlak} / \text{tlak nazemi}, 1/5,255))$ “ se porovná aktuální tlak a tlak při startu, z toho se vypočítá výška nad zemí. Dále se zeměpisná šířka a délka z datového typu long převede pomocí funkce `.toCharArray()` do pole znaků. Z modulu SDS 011 se získají údaje o koncentracích polévatého prachu PM_{10} a $PM_{2.5}$.

Do senzoru CO₂ se pošle přes UART požadavek na koncentraci
(0xFF,0x01,0x86,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x79)

a tento senzor vrátí naměřená data.

Tato data se pomocí funkce sprintf složí do pole znaků o velikosti 60. V této funkci se občas objeví problém. Když se zde vloží proměnná o větším počtu znaků, tak se data nezapišou správně. Toto je řešeno tak, že se delší řetězce převedou do pole znaků a tyto znaky se do výsledného řetězce zapisují po jednom. Výsledný textový řetězec se vytvoří v následujícím formátu:

```
signál;hodina;minuta;sekunda;teplota;tlak;vlhkost;zeměpisná_délka;zeměpisná_šířka;rychlost  
;nadmořská_vyska;vyska_nad_místem_vzletu;pm10;pm25;co2;id_paketu
```

Funkcí radio.send() se toto pole o pevné délce 60 znaků odešle do pozemní stanice a po sériové lince také do sekundárního Arduina. Data se odesílají každých 1000 ms. V průběhu čekání programu na další odesílací cyklus se synchronizují data z GPS modulu.

Sekundární Arduino ukládá přijatá data na microSD kartu. Druhý mikropočítač byl použit z toho důvodu, že modul RFM69 pro odesílání dat používá SPI rozhraní a modul pro SD kartu také. V normálním případě může na tomto rozhraní fungovat několik zařízení, ale RFM69 komunikuje s Arduinem stále, a proto toto rozhraní vytěžuje natolik, že další zařízení nemohou být připojena. Proto je SD karta připojena k vlastnímu mikropočítači. Data se ukládají do .txt souboru s automaticky inkrementovaným názvem, to znamená že při každém spuštění se vytvoří nový soubor s názvem například „mereni_ovzdusi_55“. Když se zaznamená že jsou přijatá nová data, tak se otevře soubor, zapíše se nový řádek s daty a soubor se zavře.

3.2.3 Ukázka zdrojového kódu primárního Arduina

```
gps.get_position(&lat,&lon); // získání dat o poloze z GPS  
String slat = String(lat); // převod souřadnic z datového typu long na  
String  
String slon = String(lon);  
char clat[10]; // vytvoření pole do kterého se zapíše souřadnice  
char clon[10];  
slat.toCharArray(clat,10); // zapsání souřadnic do pole znaků  
slon.toCharArray(clon,10);
```



```

sprintf(payload, "%02d%02d%02d%03d%04d%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%c%04d%
04d%04d%04d%04d%03d%c%c%c%c%c%c%c", hour, minute, second, (int)teplota, (int)tl
ak, clat[0], clat[1], clat[2], clat[3], clat[4], clat[5], clat[6], clat[7], clon[0]
, clon[1], clon[2], clon[3], clon[4], clon[5], clon[6], clon[7], ialt, (int)vyska, (
int)p25, (int)p10, ppm, irychlost, cid[0], cid[1], cid[2], cid[3], cid[4], cid[5]);
// vytvoření pole znaků o velikosti 60 znaků, do tohoto pole se nahrají
    všechny proměnné po jednotlivých zancích

Serial.println(payload); // výpis vytvořeného pole znaků

radio.send(GATEWAYID, payload, 60); // odeslání dat do pozemní stanice

    SSerial.write(payload,60);// odeslání dat do sekundárního arduina po
        softwarově vytvořené UART lince.
static void smartdelay(unsigned long ms) // funkce která čeká na přijetí
        dat z gps když neprobíhá cyklus
        programu a čeká se
{
    unsigned long start = millis(); // zapsaní počátečního času kdy se
        začalo čekat
    do
    {
        while (Serial3.available()) // kontrola jestli GPS neposílá údaje o
            poloze
            gps.encode(Serial3.read()); // když ano tak je přečti a nahraj do
            proměnných
        } while (millis() - start < ms); // kontrola jetli se nemá ukončit
            čekání z důvodu uplynutí času
    }
}

```

3.2.4 Ukázka zdrojového kódu sekundárního Arduina

```

int poslat = 0;
if (ss.available()){ // když přijmeš data tak proved' nsaledující kód
    delay(50); // počkej 50 milsekund
    while(ss.available()&&poslat<60){ // cyklus while zapíše do proměnné
        payload zanky, které byly přijaty přes UART.
        payload[poslat++]=ss.read();
    }
}
if(poslat>0) {
    myfile = SD.open(nazev, FILE_WRITE); // otevři soubor v režimu zápisu
    if (myfile) {
        for (int i = 0;i<60;i++){ // zápis jednotlivých znaků do souboru
v cyklu for
            if
(i==6||i==9||i==13||i==21||i==29||i==33||i==37||i==41||i==45||i==49||i==52
){
                myfile.print(";"); // zapiš středník pro rozdělení přijatých dat
            }
                myfile.print(payload[i]); //zapiš aktuální znak
        }
    }
    myfile.close(); // ulož a zavři soubor
}

```

4 POZEMNÍ STANICE PRO PŘÍJEM DAT A NAVÁDĚNÁ ANTÉNA

4.1 Přijímací stanice

4.1.1 Hardware pozemní stanice

Pro příjem dat slouží Arduino Pro Micro, na které je připojen modul RFM69. Pozemní stanice je na modulárním plošném spoji. Rádioový modul je zapojen přes převodník z 5 na 3,3 voltů. Anténa je připojena přes SMC konektor a redukci na BNC konektor k anténě. Použit je 3 metry dlouhý koaxiální kabel.

Jedná se o Yagiho anténu s dvěma pruty. Každý prut má 17cm a jsou od sebe vzdáleny 7cm. Anténa je vyrovna z běžně dostupných materiálu jako je hliníkový drát o průměru 4 mm a bílá lišta na kabely.

4.1.2 Software pozemní stanice

V inicializaci programu se nastaví frekvence, klíč a rádio se připraví na příjem dat.

V samotném cyklu programu se zjišťuje, jestli byla přijata nějaká data a pokud ano, tak se nahrají do pole znaků. Jelikož měřicí modul data odesílá jako prosté číslo, přidají se do tohoto pole středníky, které rozdělí jednotlivé přijaté údaje. Následně se tento textový řetězec pošle sériovou linkou přes USB konektor do počítače, kde se data zobrazují a ukládají k dalšímu zpracování.

Z přijatých dat se v tomto Arduinu dále uloží do jednotlivých proměnných zeměpisná šířka, zeměpisná délka, a výška nad zemí. Tyto údaje se pošlou přes seriovou linku do Arduina UNO, které ovládá navaděnou anténu.

4.1.3 Ukázka zdrojového kódu

```
if (radio.receiveDone()) // když jsou přijatá data tak prved' nasledující kód
{
  if (promiscuousMode)
  {}
  Serial.print(radio.RSSI);Serial.print(";"); // napiš jaký je signál na
  modul měření ovzduší
  for (byte i = 0; i < radio.DATALEN; i++){ // cyklus který se vykoná
  tolikrát, kolik zaků přišlo
```

```

    if
(i==6||i==9||i==13||i==21||i==29||i==33||i==37||i==41||i==45||i==49||i==52
){
    Serial.print(;;);
    // když se znak rovná některé z těchto hodnot, tak se za nimi napíše
    středník pro rozdělení jednotlivých přijatých dat a veličin

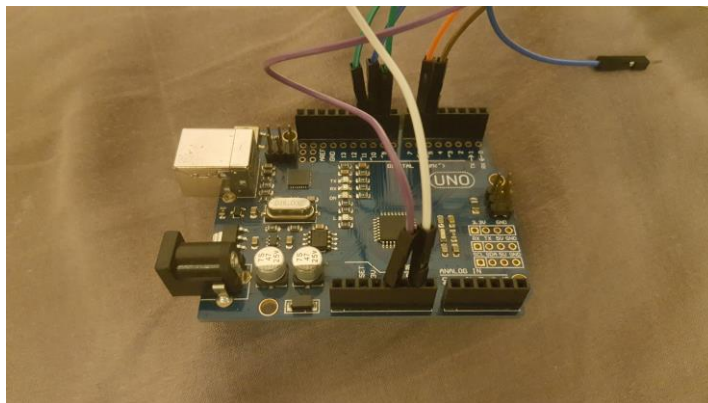
    if (i>=13&&i<=20){ // když je z nak v intervalu 13 až 20
        clat[num1]=((char)radio.DATA[i]); // tak se zapíše do proměnné
        num1+=1;
    }
}

```

4.2 Naváděná anténa

4.2.1 Hardware naváděné antény

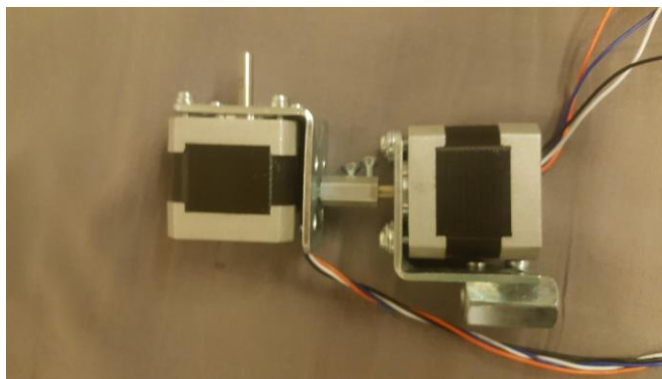
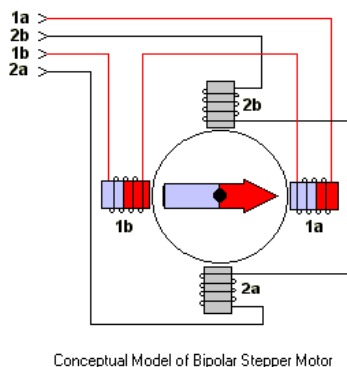
System naváděné antény je řízen Arduinem UNO. Toto Arduino obsahuje 14 digitálních vstupních/výstupních pinů, z toho 6 použitelných jako PWM výstupy. Je zde 6 analogových vstupů. Paměť SRAM je 2 KB a EEPROM 1KB. Mikroprocesor pracuje na frekvenci 16 MHz. Má jedno hardwarové UART rozhraní, SPI a I2C. Pracuje na 5 voltové logice.



Obrázek 16: Arduino UNO. Foto autor.

Anténa je natáčena dvěma krokovými mototry SX17-1005LQCEF. Tyto motory mají moment 0,52 Nm. Jedná se o bipolární krokové motory, který jsou řízeny řadičem RAMPS1.4 DRV8825, ten je schopen ovládat motory do odběru proudu 2,2 ampérů. Každý bipolární motor má čtyři vývody, dvě fáze a 200 kroků, to znamená 1,8 stupně na jeden krok.

Krokové motory mají trvalý odběr proudu, i když se netočí. U bipolárního motoru prochází proud vždy dvěma protilehlými cívkami. Ty jsou zapojené tak, že mají navzájem opačně orientované magnetické pole. Motor v tomto režimu poskytuje větší kroučící moment, ovšem má vyšší spotřebu. U bipolárního motru se řízení provádí dvěma H-můstky.



Obrázek 17: Ukázka zapojení a fungování bipolárního krokového motoru. Dostupné z <https://i.stack.imgur.com/JvO4W.png>. Fotka v levo zobrazuje motory pro řízení antény. Foto autor.

GPS modul zde slouží k získání údajů o zeměpisné poloze a tato data Arduino porovnává s daty přijatými anténou.

Anténa a krokové motory jsou umístěny na skládacím postavci. Podstavec je trojnožka, která se umístí na místo stratu dronu. Anténa se natočí do vodorovné polohy směrem na východ a zapne se napájení motorů.

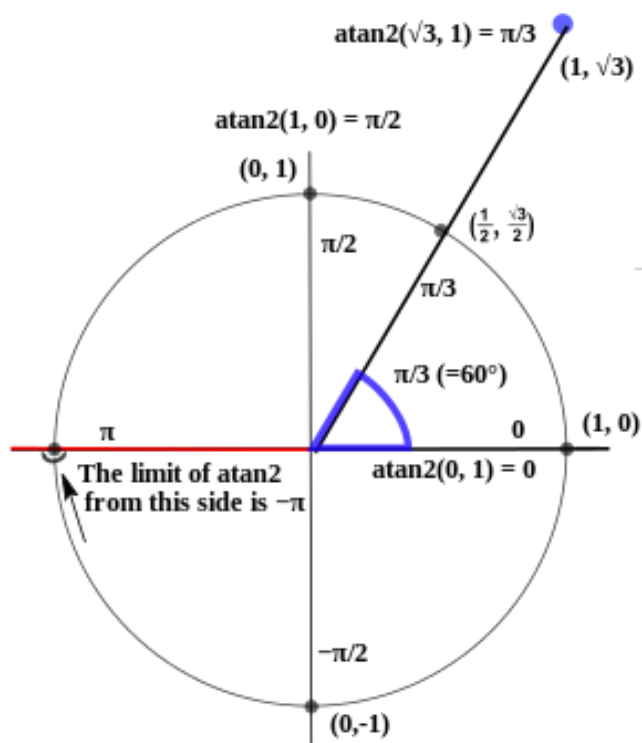
4.2.2 Software naváděné antény

V první části programu se nastaví piny Arduina, na které jsou připojeny řadiče krokových motorů, inicializuje se GPS, nastaví se počet kroků motorů a rychlost otáčení v otáčkách za minutu, v mém případě je to 5 otáček/min.

V cyklu programu se čeká, než přijdou data se souřadnicemi na softwarový seriový port. Z těchto dat se pomocí funkce `.indexOf`, která hledá v řetězci středníky, a funkce `.substring` vybere tá část řetězce, která obsahuje hledaný údaj, a nahraje se do pole znaků. To je následně převedeno pomocí funkce `atoi` na datový typ integer. Pak se načtou souřadnice z místního GPS modulu Neo-6m.

V další části programu se provedou výpočty natočení a náklonu antény. Natočení se vypočítá tak, že se odečte zeměpisná šířka modulu pro měření ovzduší od zeměpisné šířky antény, totéž se provede i se zeměpisnou délkou. Pomocí cyklometrické funkce `atan2` se vypočítá výsledný úhel, přičemž funkce `atan2` vrátí arkustangens (inverzní funkce k tangens) poměru zadaných souřadnic x a y . Arkustangens vrací úhel mezi osou x a přímkou, která prochází umístěním antény a bodem o souřadnicích x a y (poloha modulu měření kvality ovzduší). Tento úhel je dán v radiánech v intervalu mínus pí až plus pí. Proto je výsledek převeden na

stupně vynásobením ($180/\pi$). Pokud jsou výsledné stupně záporné, musí se ještě odečíst od 360° , abychom dostali konečný úhel.



Obrázek 18: Vysvětlení a znázornění cyklometrické funkce arktustangens v souřadnicovém systému. Dostupné z https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Atan2_60.svg/450px-Atan2_60.svg.png

Vzdálenost od antény, nutná pro určení náklonu, se vypočte pomocí Pythagorovy věty, která zní “Obsah čtverce sestrojeného nad přeponou pravoúhlého rovinného trojúhelníku je roven součtu obsahů čtverců nad jeho odvěsnami.” a vypočte se jako odmocnina ze součtu druhých mocnin rozdílů zeměpisné šířky a délky. Výsledek se následně vydělí 10, aby vyšel v metrech.

Náklon se vypočítá jako úhel mezi vodorovnou rovinou a modulem pro měření ovzduší. Do goniometrické funkce tangens se dosadí výška jako protilehlá odvěsna a vzdálenost jako přilehlá odvěsna. Výsledný úhel je úhel, na který je třeba anténu natočit.

Bylo třeba ošetřit to, aby se motor na požadovaný úhel natačel co nejkratší možnou cestou a aby se mohl otáčet přes 360° do 0° a naopak z 0° do 360° . Proto se porovnává minulé natočení s novým a program pomocí větvení hledá nejkratší trasu k tomuto úhlu.

V poslední části programu se už jen krokové motory pootočí o požadovaný úhel a celý cyklus programu probíhá znovu.

4.2.3 Ukázka zdrojového kódu naváděné antény

```
String data = (String)payload; // zapsání přijatých dat do proměnné
int commaIndex = data.indexOf(';'); // najdi první středník a vrať
                                     jeho pozici
int secondCommaIndex = data.indexOf(';', commaIndex + 1); // najdi
                                                         druhý středník
String firstValue = data.substring(0, commaIndex); // ulož první
                                                    hodnotu do Stringu
String secondValue = data.substring(commaIndex + 1, secondCommaIndex);
String thirdValue = data.substring(secondCommaIndex + 1);
char first[10]; // deklarace proměnných char pro převod do integeru
char sec[10];
char third[5];
firstValue.toCharArray(first, sizeof(first)); // převod dat ze stringu
                                              do pole znaků

secondValue.toCharArray(sec, sizeof(sec));
thirdValue.toCharArray(third, sizeof(third));
latmodul = atol(first); // zapsání hodnot do proměnné datového typu
                        integer
lonmodul = atol(sec);
altmodul = atol(third);
//Natočení-- -- -- -- --
n = latcmodul - latstanice; // odečtení souřadnic
e = lonmodul - lonstanice;
tg = round(atan2(n, e) * (180 / PI)); // cyklometrická funkce pro
                                     vypočet natočení
if (tg < 0) // když je výsledek menší než 0, tak ho odečti od 360
    otaceni = 360 + tg;
else
    otaceni = tg;
//Vzdálenost-- -- -- -- --
c = sqrt(pow(n, 2) + pow(e, 2)) / 10; // vypočet vzdálenosti
                                     Pythagorovou větou
vzdalenost = round( c - c / 10);
//naklání-- -- -- -- --
naklon = round(atan2(vyska, vzdalenost) * (180 / PI)); // vypočet
                                                         náklonu antény
```

5 ZPRACOVÁNÍ DAT

Získaná data se odesílají do počítače pomocí sériové linky a v programu RS232 Data Logger se data ukládají do CSV souboru. Tento soubor se následně zpracovává. Z naměřených dat se vytvoří grafy, ty se dále použijí na zobrazení výsledků měření. Z tohoto CSV souboru se také vygeneruje soubor GPX, tj. datový soubor, který obsahuje údaje o poloze ve formátu GPS Exchange. Obsahuje body, trasy a stopy, používá standardní formátování XML. V tomto souboru jsou obsažena i naměřená data, která lze následně vizualizovat a analyzovat.

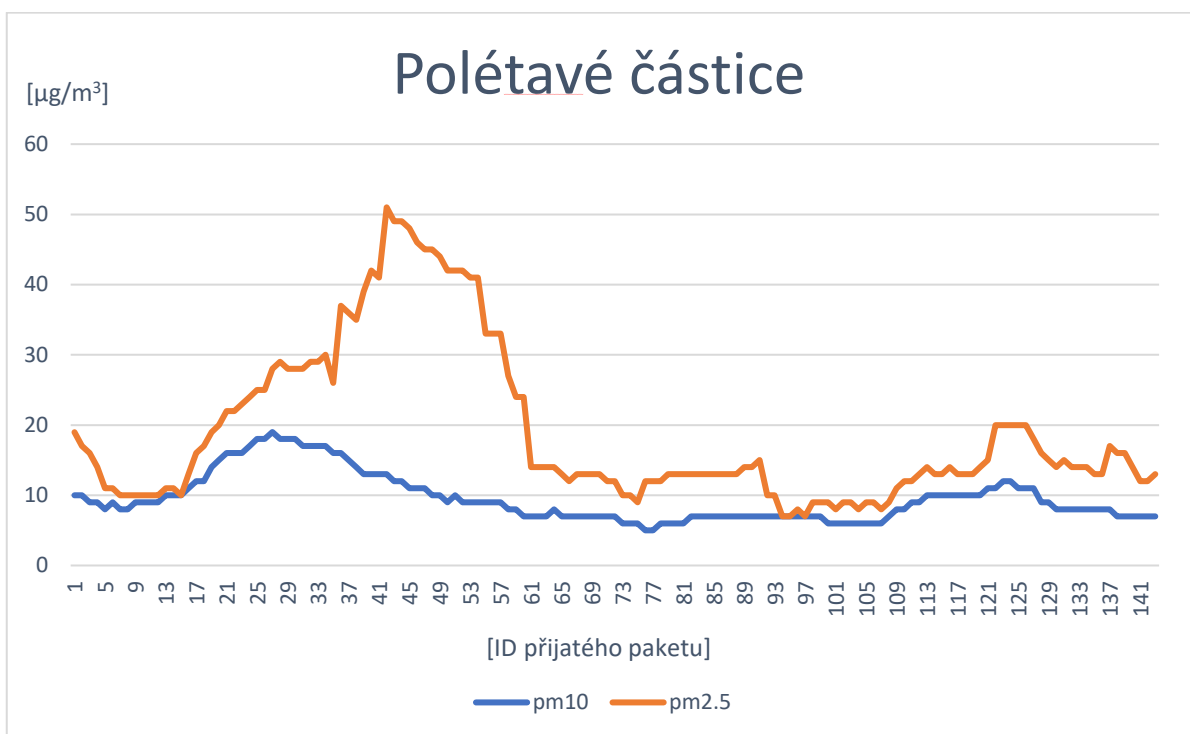
Data se přijmou v daném formátu a následně se rozdělí na jednotlivé veličiny a jejich hodnoty se zapíší do tabulky. Některé hodnoty je třeba vynásobit kvůli přepočtu jednotek.

```
-86;15:46:21;156;0937;49623134;18577023;0503;-088;0054;0474;0350;000;863;;  
-89;15:46:22;156;0937;49623134;18577023;0502;-085;0050;0432;0350;000;864;;  
-86;15:46:24;156;0937;49623137;18577022;0502;-098;0043;0371;0350;000;865;;  
-86;15:46:25;156;0937;49623139;18577023;0502;-093;0042;0365;0350;000;866;;  
-84;15:46:27;157;0937;49623146;18577027;0502;-094;0036;0245;0350;000;867;;  
-86;15:46:29;157;0937;49623144;18577026;0502;-087;0033;0203;0350;000;868;;  
-88;15:46:30;157;0937;49623139;18577042;0503;-085;0032;0197;0350;000;869;;  
-88;15:46:32;156;0937;49623139;18577042;0503;-073;0032;0189;0350;000;870;;  
-89;15:46:35;156;0937;49623122;18577045;0504;-077;0031;0181;0350;000;872;;  
-89;15:46:37;157;0937;49623116;18577050;0504;-082;0030;0151;0350;000;873;;  
-89;15:46:38;156;0937;49623114;18577051;0504;-083;0030;0152;0350;000;874;;  
-89;15:46:40;156;0937;49623111;18577052;0504;-083;0031;0149;0350;000;875;;  
-91;15:46:42;157;0937;49623108;18577053;0504;-100;0029;0134;0350;000;876;;  
-91;15:46:43;157;0937;49623108;18577053;0504;-096;0029;0134;0350;000;877;;  
-89;15:46:45;156;0937;49623103;18577056;0504;-092;0027;0132;0350;000;878;;  
-87;15:46:46;156;0937;49623095;18577057;0504;-087;0027;0127;0350;000;879;;  
-91;15:46:48;156;0937;49623047;18577066;0504;-083;0026;0124;0350;000;880;;  
-92;15:46:51;156;0937;49622904;18577125;0504;-072;0024;0089;0350;000;882;;  
-91;15:46:54;156;0936;49622680;18577233;0505;-052;0022;0066;0350;000;884;;  
-89;15:46:56;156;0936;49622469;18577333;0506;-039;0022;0051;0350;000;885;;  
-95;15:46:58;156;0936;49622232;18577448;0507;-035;0021;0043;0350;000;886;;  
-98;15:47:01;156;0936;49621850;18577656;0509;-016;0021;0038;0350;000;888;;  
-98;15:47:12;155;0935;49620450;18578484;0516;0061;0017;0026;0350;000;895;;  
-102;15:47:22;154;0935;49619853;18579022;0519;0077;0017;0026;0350;000;901;;  
-107;15:47:23;154;0935;49619860;18579042;0519;0078;0017;0025;0350;000;902;:
```

Obrázek 19: Ukázka přijatých dat v surovém stavu. Foto autor

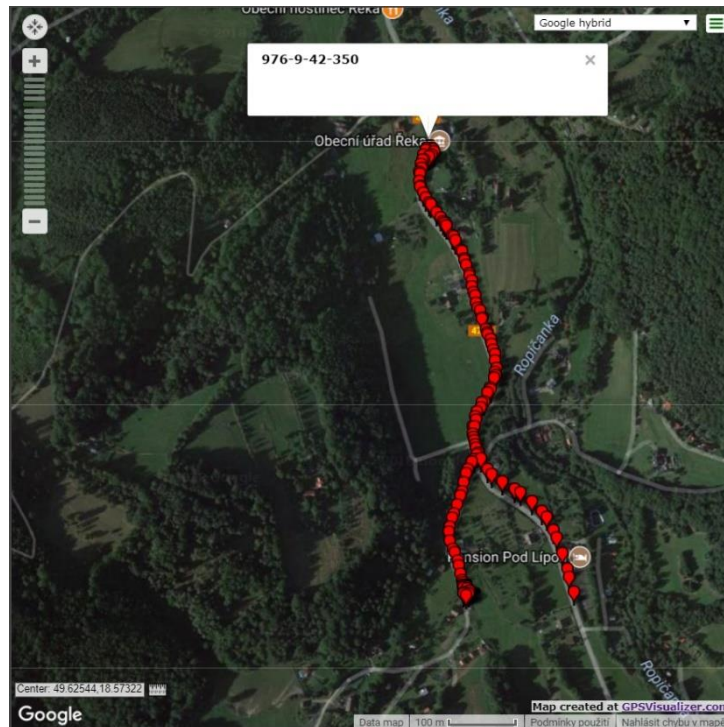
5.1 Výsledky měření

Provedl jsem měření v mé obci a data jsem následně vizualizoval s pomocí grafů. Můžeme vidět, že v různých místech se koncentrace polétavého prachu liší, záleží na terénu a množství znečišťovatelů. Dron se může dostat do údolí a do různých nadmořských výšek. Výhoda je, že díky tomu je možné spojit záznam z kamery s polohou měření a s naměřenými daty. Je možné provést měření u lokálních topenišť. Data není třeba měřit pouze v místě znečištění, ale i po okolí a díky tomu identifikovat jednotlivé největší znečišťovatele a zaměřit se na ně. Lze porovnávat množství znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší v různých místech a v různém čase.

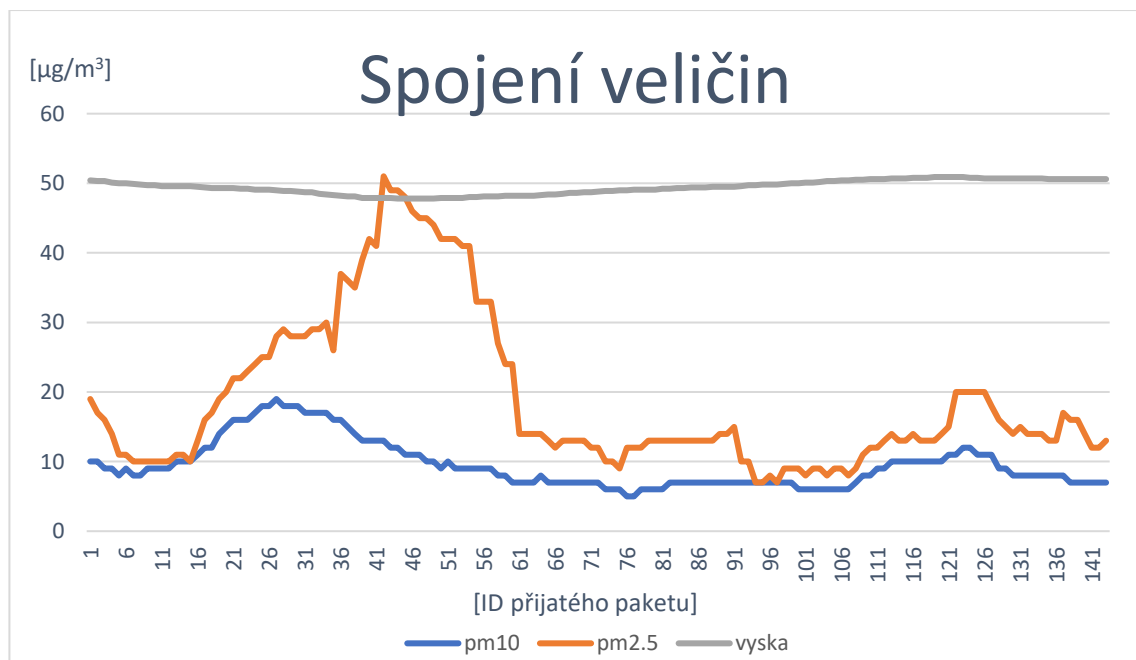


Obrázek 20: Graf naměřených koncentrací polétavého prachu při měření v obci Řeka. Vytvořil autor.

Na vizualizaci vygenerovaného GPS souboru lze vidět trasu, po které dron letěl a prováděl měření. Po kliknutí na červený bod se zobrazí číslo paketu a hodnoty, které byly na tomto místě naměřeny.



Obrázek 21: Vizualizace GPX souboru vygenerovaného z naměřených dat. Mapa Google. Lokalita obec Řeka. Další graf ukazuje spojení nadmořské výšky s naměřenými hodnotami. Nadmořská výška je zde vydělena deseti, aby byl graf přehlednější. Je vidět, že v údolí, kde se polétavé částice kumulují, jsou mnohem větší hodnoty poletavého prachu PM_{2.5}. S pomocí dronu by bylo možno najít příčinu a zdroj tohoto znečištění a následně situaci řešit.



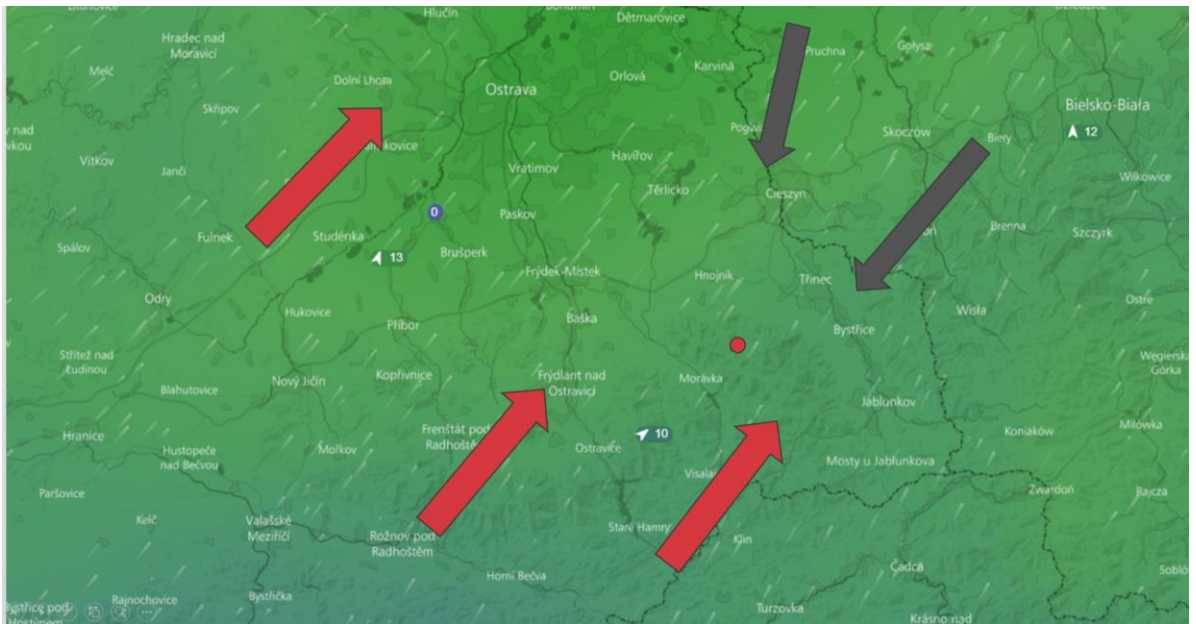
Obrázek 22: Graf zobrazující koncentraci prachu měření ve spojení s výškou měření. Vytvořil autor.

3D mapa obce Řeka ukazuje naměřená data na různých místech v údolí obce. Při tomto měření nebyly limity výrazně překročeny, ale když je zde inverzní počasí, bývají limity překročeny několikanásobně.



Obrázek 23: Spojení naměřených dat s 3D mapou obce Řeka. ©OpenStreetMap

Při spojení dat s mapami Windy můžeme analyzovat směr a rychlost větru. Pomocí toho lze určit směr, ze kterého se znečištění šíří. Toto je použitelné hlavně v místech, kde jsou hutě, tepelné elektrárny a podobně. Můžeme zjistit, jaké množství polétavého prachu se šíří do okolí s větrem a jak daleko je tyto částice schopny vítr odnést. Částice okolo 2,5 mikrometru jsou nebezpečnější než větší částice, jsou schopny se dostat na mnohem větší vzdálenosti (desítky až stovky kilometrů). Váže se na ně velmi nebezpečný rakovinotvorný benzo[a]pyren, tato látka má také vliv na kvalitu spermií a na plod v těle matky. Problémem je i prach, který k nám přináší vítr z polských průmyslových oblastí. V Beskydech jsou největším znečišťovatelem ovzduší třinecké železářny, zvláště když vítr fouká ze severovýchodního směru (šedé šipky). Nejlepší situace je v Beskydech, když vane vítr z jihozápadu (červené šipky). To se koncentrace udržují pod emisními limity.



Obrázek 24: Ukázka z map Windy. Šipky naznačují prodění vzduchu. Windy.com

6 ZÁVĚR

Dron a měřicí systém, který jsem vyvinul, bych chtěl využít pro zlepšení ovzduší v našem regionu. Chtěl bych spolupracovat s obcemi v Moravskoslezském kraji a pomáhat jim řešit příčiny znečištění. Spalování nekvalitního uhlí, PET láhví, odpadu a dalších věcí, které se na vesnicích běžně spalují, poškozuje každého z nás. Způsobuje mimo jiné i snížení průměrného věku a napomáhá rakovinotvorným onemocněním.

Tímto projektem bych chtěl pomoci to změnit a snad se mi to podaří. Vraťme na vesnice a do Beskyd čistý vzduch bez velkého množství znečišťujících látek!

Náklady na stavbu dronu byly asi 13 000 korun. Na systém měření kvality ovzduší jsem vynaložil 1 800 korun a pozemní přijímací stanice stála přibližně 1 500 korun (v těchto cenách je zahrnut pouze materiál na výrobu, nikoliv práce). To je dle mého zanedbatelná částka pro obec, zvláště v případě, že toto řešení může vést ke zlepšení životního prostředí.

Díky tomuto projektu jsem získal mnoho zkušeností s drony a s jejich stavbou. Setkal jsem se s problémy, které při tom mohou nastat, a zjistil jsem, jak tyto problémy řešit – jak dimenzovat součástky, aby vše fungovalo a podobně. Naučil jsem se pravidla pro létání s drony a to, jak létat bezpečně. Zdokonalil jsem se v elektrotechnice: svépomocí jsem se naučil navrhovat plošné spoje v programu EAGLE, tyto spoje vyrobit a následně osadit. Pochopil jsem pokročilé struktury jazyka Wiring, ve kterém se programují mikropočítače Arduino. Navrhnul jsem systém natáčené antény, díky čemuž je možné data přijímat na velkou vzdálenost z jakéhokoliv směru. Rozšířil jsem si znalosti o našem ovzduší a o problematice jeho znečištění a následného vlivu tohoto znečištění na zdraví člověka.

Celkově jsem tímto projektem získal obrovské množství znalostí a věřím, že se mi všechny tyto nabyté zkušenosti a vědomosti budou v budoucnu hodit. Věřím, že moje práce povede ke zlepšení životního prostředí.



Obrázek 25: Znečištění ovzduší na vesnici. Foto autor.

7 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Pravidla létání s drony | Co je a není legální [online]. Dostupné z: <https://www.reprofi.cz/poradna/pravidla-letani-s-drony-v-cr>
- [2] Látky znečišťující ovzduší - Arnika. Hlavní stránka - Arnika [online]. Copyright © 2014 Arnika [cit. 25.01.2018]. Dostupné z: <http://arnika.org/latky-znecistujici-ovzdusi>
- [3] Poléťavý prach PM10, PM2,5, PM1,0. Chceme lepší ovzduší [online]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/13-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10>
- [4] The SDS011 Air Quality Sensor experiment. [online]. Copyright © 2008 [cit. 01.02.2018]. Dostupné z: <http://aqicn.org/sensor/sds011/>
- [5] Arduino SD Arduino Home [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/SD>
- [6] Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments - TI.com [online]. Copyright [cit. 15.01.2018]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>
- [7] Mission Planner Overview — Mission Planner documentation. ArduPilot Open Source Autopilot [online]. Copyright © Copyright 2016, ArduPilot Dev Team. [cit. 10.10.2017]. Dostupné z: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>
- [8] PID Tuning Guide · betafight/betaflight Wiki · GitHub. The world's leading software development platform · GitHub [online]. Copyright © 2018 [cit. 28.11.2017]. Dostupné z: <https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/PID-Tuning-Guide>
- [9] RFM69HCW Hookup Guide - learn.sparkfun.com. Learn at SparkFun Electronics - learn.sparkfun.com [online]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/rfm69hwc-hookup-guide>
- [10] OSD Comparison Table. MinimOSD-Extra Setting APM. DroneMission.com Search and Rescue Unmanned Aircraft System UAS SAR [online]. Dostupné z: <http://dronemission.com/osd.html>
- [11] Charging Lithium-Ion Batteries – Battery University. Basic to Advanced Battery Information from Battery University [online]. Copyright © 2018 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 02.03.2018]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Typy multikopér a uspořádání vrtulí.....	8
Obrázek 2: schéma bezkartáčového a kartáčového motoru. Dostupné z https://infodrones.it/differenza-tra-motori-brushed-e-brushless/	10
Obrázek 3: Li-Pol baterie Zippy. Foto autor.....	11
Obrázek 4: Řídící jednotka APM 2.5 bez ochranného krytu. Dostupné z http://forums.ni.com/legacyfs/online/34890_APM2.jpg	12
Obrázek 5: Ukázka programu Mission Planner, v němž se plánuje dráha letu a konfiguruje dron. Foto autor.....	13
Obrázek 6: Ukázka ovládacích módů jedna a dva. Dostupné z https://www.rcgroups.com/forums/showatt.php?attachmentid=714749	13
Obrázek 7: ukázka průběhu pulzní šířkové modulace. Dostupné z http://www.reefangel.com/images/PWM.png	14
Obrázek 8: Rádio Turnigy 9x, osmi kanálové. Foto autor.....	15
Obrázek 9: Obrázek 8: Sestavená hexakoptéra se všemi součástmi, kamerou, stabilizátorem obrazu a GPS. Foto autor.....	16
Obrázek 10: Zobrazení polétavých částic PM10 a PM2.5 v potovnění s velikostí lidského vlasu. Dostupné z http://arnika.org/soubory/obrazky/ovzduši/srovnani-castic.gif	17
Obrázek 11: Arduino Mega a Arduino Pro Micro. Foto autor.	18
Obrázek 12: Modul měření kvality ovzduší se všemi zapojenými senzory. Foto Autor.....	19
Obrázek 13: Senzor polétavého prachu PM10 a PM2.5 SDS 011. Foto autor.....	20
Obrázek 14: Senzor CO2 MH-Z19. Foto autor.	20
Obrázek 15: Zleva BMP180 Senzor tlaku, čtečka sd karet, GPS modul. Foto autor.	21
Obrázek 16: Arduino UNO. Foto autor.	25
Obrázek 17: Ukázka zapojení a fungování bipolárního krokového motoru. Dostupné z https://i.stack.imgur.com/JvO4W.png . Fotka v levo zobrazuje motory pro řízení antény. Foto autor.	26
Obrázek 18: Vysvětlení a znázornění cyklometrické funkce arktustangens v souřadnicovém systému. Dostupné z https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Atan2_60.svg/450px- Atan2_60.svg.png	27

Obrázek 19: Ukázka přijatých dat v surovém stavu. Foto autor.....	29
Obrázek 20: Graf naměřených koncentrací polétavého prachu při měření v obci Řeka. Vytvořil autor.....	30
Obrázek 21: Vizualizace GPX souboru vygenerovaného z naměřených dat. Mapa Google. Lokalita obec Řeka.	31
Obrázek 22: Grav ukazující koncentraci prachu při měření ve spojení s výškou měření. Vytvořil autor.....	31
Obrázek 23: Spojení naměřených dat s 3D mapou obce Řeka. ©OpenStreetMap.....	32
Obrázek 24: Ukázka z map Windy. Šipky naznačují proudění vzduchu. Windy.com.....	33
Obrázek 25: Znečištění ovzduší na vesnici. Foto autor.	34