

# Zajištění prostoru proti útoku dronů

Věroslav Koňářik

---

Bakalářská práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Věroslav Koňářík**  
Osobní číslo: **A13038**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Zajištění prostoru proti útoku dronů**  
Téma anglicky: **Protecting a Spatial Area Against Drone Attacks**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte teorii o technologii dronů.
2. Vyhodnoťte technické možnosti typů pohonu motorů, metody řízení a komunikace dronu s operátorem.
3. Zpracujte legislativní požadavky na provoz dronů a možnosti jejich nezákonného použití.
4. Navrhněte metody zjištění dronu v blízkém prostoru.
5. Navrhněte způsob ochrany prostoru.
6. Zpracujte orientační ceny navrhovaných řešení.
7. Odhadněte další vývoj bezpečnostních systémů v této oblasti.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. LUKÁŠ, Luděk. Bezpečnostní technologie, systémy a management II. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2012. Sv. 386 s. ISBN 978-80-87500-19-4.
2. LUKÁŠ, Luděk. Bezpečnostní technologie, systémy a management III. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2013, 456 s. ISBN 978-80-87500-35-4.
3. HONZÍREK, Jan. Detekce provozu digitálních radiomikrofonů pomocí výkonového detektoru NRP-Z2. Zlín, 2012. Bakalářská práce. Fakulta aplikované informatiky. Ústav elektroniky a měření.
4. Měřič výkonu NRP – uživatelský manuál. Mnichov. Rohde-Schwarz. Dostupné z [www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com).
5. ŽALUD, Václav. Moderní radioelektronika. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2000, 653 s. ISBN 80-86056-47-3.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Rudolf Drga, Ph.D.**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**23. února 2016**


Termín odevzdání bakalářské práce:

**30. května 2016**

Ve Zlíně dne 16. února 2016



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



Ing. Jan Valouch, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

**Jméno, příjmení: Věroslav Koňářík**

**Název bakalářské/diplomové práce: Zajištění prostoru proti útoku dronů**

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....  
podpis diplomanta

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou spojenou s provozem dronů. Dílo je rozděleno celkově do devíti kapitol. V první části jsou popsány jednotlivá frekvenční pásma využívaná pro ovládání dronů. Další část je věnována popisu pohonů, jež se v těchto strojích používají. Následující kapitola zpracovává problematiku z pohledu legislativy, mimo v ČR platných norem, jsou v této kapitole rozvedeny i legislativy platné v zahraničí a jejich novelizace. Čtvrtá kapitola popisuje možnosti detekce dronů a na ni navazující pátá se zabývá metodami jejich zneškodnění. Poslední část analyzuje ochranu proti dronům z hlediska nákladů na pořízení a současný stav ochrany proti nim.

Na úvod praktické části jsou popsány kmitočtové filtry z hlediska jejich funkce. Další část se věnuje teorii týkající se návrhu těchto komponent. Poslední kapitola práce popisuje výrobu filtru, sestavení pracoviště a samotné měření filtru. Tématem praktické práce jsou kmitočtové filtry. Jedná se o komponenty které jsou nedílnou součástí zařízení, jež by mělo být schopno detekce kmitočtů používaných pro ovládání dronů.

Klíčová slova: dron, bezpilotní prostředek, kmitočtový filtr, spektrální analyzátor, legislativa, frekvenční pásma, anténa

## ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the problems associated with using a drones. Work is divided into nine chapters. The first part describes the frequency bands used for controlling drones. Another section is devoted to describing the engines, which are used in these machines. The following chapter outlines the issues in terms of legislation, including Czech republic applicable standards are elaborated in this chapter and the laws in force abroad and their amendments. The fourth chapter describes how to detect drones and adjoining fifth deals with methods for disposing a drones. The last part analyzes the protection of drones, cost of acquisition and the current state of protection against them.

At the beginning of the practical part are describes the frequency filters in terms of their functions. Another part deals with the theory concerning the design of these components. The last chapter describes the production of filter assembly work and measuring the filter. The theme of practical work are frequency filters. These are the components that are important parts of the device should be capable for detecting frequencies which are using to controlling a drones.

Keywords: drone, unmaned Aerial Vehicle, frequency filter, spectrum analyzer, legislation, frequency bands, the antenna

### **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat Ing. Rudolfu Drgovi, Ph.D. za cenné podněty a věnovaný čas při vedení mé bakalářské práce.

Poděkování také patří Ing. Stanislavu Goňovi Ph.D. za podporu při realizaci měření parametrů mikropáskových filtrů.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 KOMUNIKACE .....</b>	<b>12</b>
1.1 FREKVENČNÍ PÁSMO.....	12
1.1.1 Pásmo 27 MHz.....	12
1.1.2 Pásmo 35 a40 MHz .....	12
1.1.3 Pásmo 433 a868 MHz .....	13
1.1.4 Pásmo 2,4 GHz.....	13
1.1.5 Pásmo 5,8 GHz.....	14
1.2 POUŽITÍ GPS .....	14
<b>2 POHONY .....</b>	<b>15</b>
2.1 VRTULOVÉ POHONY .....	15
2.1.1 Pohon elektromotorem .....	15
2.1.2 Pohon spalovacím motorem.....	16
2.2 REAKTIVNÍ POHONY .....	16
2.2.1 Proudový motor.....	17
2.2.2 Raketový motor .....	17
2.2.3 Pulzační motor .....	18
<b>3 LEGISLATIVA .....</b>	<b>19</b>
3.1 ČESKÁ .....	19
3.1.1 Definice .....	19
3.1.2 Rozsah působnosti.....	20
3.1.3 Bezpečnost .....	20
3.1.4 Dohled pilota .....	20
3.1.5 Odpovědnost .....	20
3.1.6 Ukončení letu .....	20
3.1.7 Prostory .....	20
3.1.8 Ochranná pásma .....	21
3.1.9 Meteorologická minima .....	21
3.1.10 Nebezpečný náklad .....	21
3.1.11 Shazování nákladu .....	21
3.1.12 Pohyb pilota .....	21
3.1.13 Letecká veřejná vystoupení.....	21
3.1.14 Ostatní legislativa.....	22
3.1.15 Pohon.....	22
3.1.16 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla .....	22
3.1.17 Hlášení událostí .....	22
3.2 USA.....	22
3.2.1 První kategorie .....	22
3.2.2 Druhá kategorie .....	23
3.3 EVROPSKÁ.....	23
3.3.1 Otevřená kategorie .....	24
3.3.2 Specifická kategorie .....	24
3.3.3 Certifikovaná kategorie .....	24



<b>4</b>	<b>METODY DETEKCE DRONŮ</b> .....	<b>25</b>
4.1	DETEKCE RADAREM .....	25
4.2	MOŽNOST MĚŘENÍ VYZÁŘENÉHO VÝKONU .....	27
4.3	RÁDIOVÁ ANALÝZA.....	27
<b>5</b>	<b>MOŽNOSTI ZNEŠKODNĚNÍ DRONŮ</b> .....	<b>29</b>
5.1	POUŽITÍ JAMMERU .....	29
5.2	PŘEVZETÍ KONTROLY .....	29
5.3	SESTŘELENIÍ.....	30
<b>6</b>	<b>SOUČASNÝ STAV OCHRANY A NÁKLADOVÁ ANALÝZA</b> .....	<b>32</b>
6.1	SOUČASNÝ STAV OCHRANY .....	32
6.2	NÁKLADOVÁ ANALÝZA .....	32
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>KMITOČTOVÉ FILTRY</b> .....	<b>35</b>
7.1	FUNKČNÍ DĚLENÍ .....	35
7.1.1	Dolní propust.....	35
7.1.2	Horní propust .....	36
7.1.3	Pásmová propust .....	36
7.1.4	Pásmová zádrž.....	36
7.2	DĚLENÍ DLE SLOŽENÍ .....	37
7.2.1	Filtry složené z pasivních prvků .....	37
7.2.2	Filtry složené z aktivních prvků.....	38
7.2.3	Mikropáskové filtry.....	38
7.2.4	Speciální druhy filtrů.....	39
<b>8</b>	<b>NÁVRHY FILTRŮ</b> .....	<b>41</b>
8.1	NÁVRH RC FILTRŮ .....	41
8.2	NÁVRH RLC FILTRŮ.....	41
8.3	NÁVRH AKTIVNÍCH FILTRŮ .....	41
8.4	NÁVRH MIKROPÁSKOVÝCH FILTRŮ .....	42
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ PÁSMA 2,4 GHZ</b> .....	<b>44</b>
9.1	VÝROBA FILTRŮ .....	44
9.2	VYTVOŘENÍ PRACOVIŠTĚ A POPIS MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ .....	45
9.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	49
9.3.1	Kalibrace a příprava měření .....	49
9.3.2	Měření při zapnutém vysílači.....	50
9.3.3	Výsledek měření.....	52
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>53</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ</b> .....	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>61</b>

## ÚVOD

Slovo dron je počestěný výraz anglického drone, v anglické literatuře se lze setkat ještě se zkratkou UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Jedná se o bezpilotní prostředky, nejčastěji řízené operátorem ze země, či dle GPS souřadnic. V současnosti se tyto stroje dělí do civilní a armádní kategorie. S myšlenkou ovládat letící stroj ze země přišel jako první profesor Archibald Low, výsledek svého snažení pojmenoval Aerial Target (vzdušný cíl).

Stroje pro civilní užití jsou vyráběny ze snadno dostupných materiálů, nejčastěji jde o plasty, či hliník. K pohonu se používají elektromotory, zřídka malé spalovací motory. Ovládané mohou být přes volná frekvenční pásma, případně přes kmitočty určené pro letecké modeláře. Obecně jde o dostatečně vysoké kmitočty, tedy není zapotřebí vysokého vysílacího výkonu. Současným trendem je instalace kamer, v reálném čase jsme tak schopni pozorovat scénu snímanou dronem nad námi.

Drony využívané armádami můžeme dělit na odpalované, startující kolmo nebo stroje s konvenčním startem. Jsou často konstruovány z materiálů jako jsou slitiny titánu a hliníku, případně z kompozitních materiálů. Odpalované stroje byly výsadou let minulých, v současnosti do této kategorie výlučně spadají cvičné cíle, případně malé průzkumné prostředky. Kolmo startující drony pro armádní účely vznikají nejčastěji přestavbami pilotovaných strojů. Současným trendem jsou drony blízké se svými rozměry bojovým strojům, vzhledem ke své velikosti vyžadují také podstatně delší rozletovou dráhu. Jedná se o jediný druh dronů, který je standardně vybavován zbraněmi. Ve většině případů jsou však operátorům těchto strojů přiřazovány průzkumné úkoly. Do budoucna se počítá že by tyto stroje měli nahradit vzdušné tankery pro expediční sbory námořnictva USA. [1] [2] [3]

Lze také sledovat že v posledních letech je patrná snaha vlád regulovat provoz těchto zařízení. Děje se tak, protože rapidně přibývá případů při nichž dochází k zneužití dronů organizacemi, které operují mimo zákon. Také přibývá zraněních způsobených těmito stroji, například o listy vrtule. [4] [5]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KOMUNIKACE

Drony, které jsou běžně v ČR k dostání, komunikují přes tzv. volná pásma. Jedná se o kmitočty normované ČTÚ k bezlicenčnímu provozu. Jde konkrétně o pásma 27, 433, 866 MHz, v současnosti se plošně přechází na 2,4 GHz a 5,8 GHz. Pásma 35 a 40 MHz jsou vyhrazena pro potřeby leteckého modelářství. Ve většině případů se jedná o jednosměrnou komunikaci, tudíž operátor nesmí ztratit vizuální kontakt s ovládaným zařízením. Platí že, čím menší je kmitočet, tím větší musí být vysílací anténa. Vysílaný výkon se liší v závislosti na pásmech, nedosahuje více jak stovek mW. Pokud je ovládaný prostředek vybaven čidly či záznamovým zařízením probíhá komunikace v pásmu, v němž je stroj ovládán. Operátor má většinou ve vysílači zabudován display. Na tento display je posílán obraz z kamery umístěné na dronu. Případně se ve vysílači nachází stavový display, který indikuje stavy čidel umístěných na dronu.

### 1.1 Frekvenční pásma

Český telekomunikační ústav vyčlenil několik pásem. Tato pásma nepodléhají certifikaci. Takto ustanovil dokumentem VO-R/10/05.2014-3. Zařízení pracující na těchto kmitočtech je možné provozovat bez licence. Pokud nebudou rušit, či jinak poškozovat, ostatní zařízení. Tudíž tato zařízení nesmí disponovat přílišným výkonem, či rušit leteckou komunikaci. Ještě nedošlo k celosvětové unifikaci frekvenčních pásem. Některé výrobky z Vietnamu pracují na kmitočtech, které nesmí být v ČR používány. Takovéto výrobky by se v ČR neměly vůbec dostat na trh. [6]

#### 1.1.1 Pásmo 27 MHz

Jedná se o volné pásmo s nejnižším kmitočtem. Dnes se již plošně přešlo na pásma vyšších kmitočtů. Některé obchodní řetězce mají ještě ve své nabídce výrobky využívající toto pásmo. Domácí konstrukce využívající tyto kmitočty už jsou raritní.

Fyzicky je na plošném spoji za anténou vytvořen filtr, zajišťující komunikaci pouze na definovaném pásmu. Takto ovládaná zařízení nejsou řízena přes mikropočítač, nejčastěji je v těchto zařízeních využíván specializovaný integrovaný obvod.

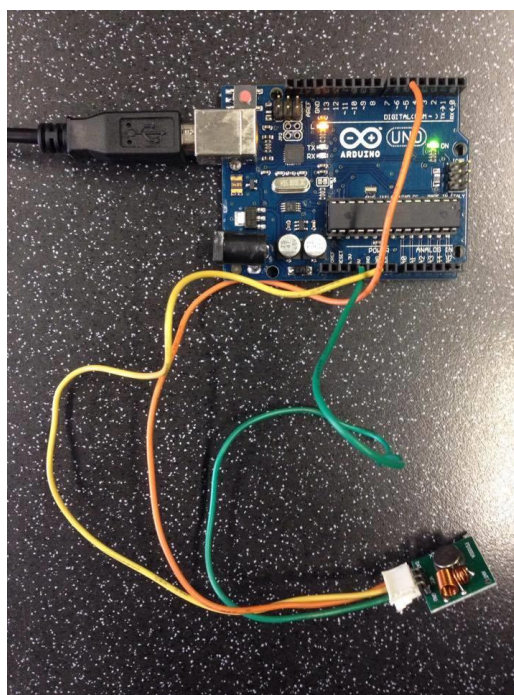
#### 1.1.2 Pásma 35 a 40 MHz

Jedná se o dvě pásma, v nichž jsou provozovány pouze RC modely. Využívá se specializovaných RC souprav. Momentálně je modeláři využívanější pásmo 2,4 GHz. [7]

### 1.1.3 Pásmo 433 a 868 MHz

V současnosti jsou tyto pásma využívána pro mnoho zařízení. Může jít například o meteorologické stanice, prvky domácí automatizace a mnoho jiných.

Z pohledu hardwaru je přijímač malý plošný spoj, disponující piny RX, anténou, napájením a zemí. Na vysílači budeme RX hledat marně, vysílána data proudí přes pin TX Nejčastěji jsou tyto moduly napájeny 5 V.



Obrázek 1 Vysílač na pásmu 433 MHz připojený ke kitu Arduino

Komunikace probíhá zakódovaně. Vyráběná zařízení obsahují nejčastěji jednoúčelové integrované obvody. Pro jednoduchost je u domácích konstrukcí často využíváno programovatelných mikropočítačů. Domácí konstrukce využívající tyto pásma jsou častější, než tomu je u pásma 27 MHz.

### 1.1.4 Pásmo 2,4 GHz

V oblasti dronů se jedná o nejpoužívanější pásmo, také je hojně využíváno routery a dalšími zařízeními.

Komponenty pro provoz na těchto kmitočtech se v prodeji vyskytují ve formě kombinovaného vysílače/přijímače. Často jsou tyto kmitočtová pásma využívána pro domácí konstrukce.

Dle připojení k mikropočítačovému kitu nastavíme, zda bude zařízení pracovat ve vysílacím nebo přijímacím módu, veškeré další chování již závisí pouze na programu v mikropočítači.

V routerech nebo RC vysílačkách nalezneme opět specializované integrované obvody. Vyzařovaný výkon je malý, pohybuje se okolo 200 mW.

Možná je také kombinace s kamerovým systémem.

### 1.1.5 Pásmo 5,8 GHz

Pásmo je užíváno pro provoz civilních bezpilotních strojů, nejčastěji ještě v kombinaci s přenosem obrazu v reálném čase ze záznamového zařízení připevněného na dronu. Vyjma bezpilotních prostředků se také využívá pro přenos obrazu na krátké vzdálenosti.

Po technické stránce platí vše, co bylo uvedeno už pro pásmo 2,4 GHz.

## 1.2 Použití GPS

GPS je dálkoměrný systém, kterým se stanovuje poloha a čas na zemském povrchu. Dělí se na tři segmenty. Kosmický, řídicí a uživatelský. Systém pracuje kontinuálně, a tudíž vyhodnocovaná poloha přijímače je vcelku přesná. Projekt GPS byl financován armádními složkami USA v období studené války, v současnosti se o jeho provoz starají letecké síly USA. Systém disponuje 28 satelity umístěnými na oběžné dráze, čtyři z nich jsou záložní.[8]

Na přelomu tisíciletí došlo k uvolnění potenciálu systému mezi civilní sféru. Dnes jsme schopni za pomoci souřadnic tímto systémem zadat do dronu trasu. Navolit v jakém místě má dojít k stoupaní, klesání či otočení. Specifikem použití této technologie pro ovládání dronů je omezená detekce zařízení tímto systémem ovládaných. Krom vizuální detekce není možné dron, takto ovládaný, detekovat.[8]

K použití GPS pro řízení dronu se váží, v současnosti vznikající, blacklisty. Aby bylo zabráněno vniknutí dronů do oblastí, kde je jejich provoz nepřípustný, jsou do dronu implementovány GPS souřadnice exponovaných oblastí. Když dron dorazí do blízkosti této oblasti odmítne další pohyb směrem k exponovaným souřadnicím, případně dosedne na zem.

## 2 POHONY

Pohyb vzduchem bezpilotního prostředku je založen na vztlaku, který vzniká mezi horní a dolní částí nosných ploch. Prostup vzduchem je podmíněn obtékáním profilu draku, či jiného tvaru. Tím dochází k horizontálnímu, nebo vertikálnímu pohybu. Tažná síla musí být dostatečná, aby překonala aerodynamický odpor a také další síly působící na plochu draku. Energie, která uvede dron do pohybu, může být vytvořena vrtulí, proudovým motorem, anebo raketovým motorem. V současnosti se lze také setkat s kombinovanými pohony, těm však patří velmi malé procento trhu. [9]

### 2.1 Vrtulové pohony

List vrtule je velmi štíhlé, profilované křídlo, upevněné na hřídeli pohonné jednotky. U většiny vrtulí jsou listy zkrouceny, také mají proměnnou hloubku a tloušťku podél rozpětí. Pohybem vrtule dochází k obtékání vzduchu, a tím vzniká vztlak. Nastavením vrtule vůči rovině dochází k efektu šroubování do vzduchu a postupnému pohybu obtékaného vzduchu za vrtulí. Tvarem listu je zapříčiněno, že každé místo na něm má jinou obvodovou rychlost. Budeme-li uvažovat ve fyzikálních mezích kdyby měl list stejný náběh na celé ploše, pak by list nebyl schopen překonat síly působící proti vzletu. Pohyb vrtule je zpravidla zajišťován elektromotorem, či malým spalovacím motorem.[9]

#### 2.1.1 Pohon elektromotorem

Elektromotor je zařízení, které funguje na principu elektromagnetické indukce. V magnetickém poli jsou vytvořeny, procházejícím elektrickým proudem, póly a dochází k postupnému otáčení jejich orientace. Změnou orientace dochází k pohybu hřídele. Základními částmi elektromotoru je stator a rotor. Stator je pevný elektromagnet, vytvářející magnetické pole. Rotor sestává ze soustavy cívek navinutých v těsně blízkosti na hřídeli kolem magnetického jádra. Na hřídel bývá někdy nasazována převodovka, aby došlo ke snížení otáček.

Pro pohon bezpilotních prostředků je využíváno stejnosměrných nebo střídavých elektromotorů. Stejnosměrné motory vyžadují pouze svůj regulátor otáček, většinou řešen PWM modulací, případně lineárně. Střídavé vyžadují střídač, který vygeneruje z elektrochemického zdroje střídavý ekletický proud a obvody připojenými k přijímači reguluje pohon motoru.

### 2.1.2 Pohon spalovacím motorem

U těchto motorů je směs paliva vstříknuta do válce, v němž dojde k zažehnutí svíčkou. Směs může být tvořena ricinovým olejem a nitromethanem. V současnosti však jsou k dostání i motory, které spalují běžný benzín smíchaný s olejem. Zažehnutím směsi dojde k otočení klikové hřídele. Tento cyklus se opakuje několikrát za sekundu.



Obrázek 2 Dvoutaktní spalovací motor pro RC letadla [10]

Roli hraje také komprese, což je poměr mezi objemem nasátým a stlačeným. Hodnoty se typicky pohybují mezi 8 : 1 až 14 : 1. V současnosti jsou vyráběné motory velmi malé, jejich objem se pohybuje od 1 ccm do 30 ccm, někdy jsou objemy i větší. Lze se setkat s víceválcovými motory, stejně tak s motory chlazenými vodou. Regulace se provádí přes přívod paliva. V minulosti se ještě používaly detonační motory, ale v současnosti jsou raritou.[7][9]

## 2.2 Reaktivní pohony

Jsou rozdělovány na raketové, proudové, náporové a pulzační. Jejich činnost je odvozena od zákona akce a reakce.

Tyto pohony jsou raritní, ačkoliv trendem je pokles ceny těchto motorů, jedná se stále o velmi drahé vybavení. Tento fakt vede mnoho lidí se zájmem o problematiku k vlastním konstrukcím.[7]



### 2.2.1 Proudový motor

Jde o čtyřdobé pohony. Nejprve je vzduch nasán vstupní trubicí, poté dojde ke kompresi. Při vstupu stlačeného vzduchu do spalovací komory dojde k vstříknutí palivové směsi a jejímu zažehnutí. Následuje expanze a výfuk všeho co neshořelo. Tento cyklus se opakuje několikrát za sekundu. Rozdíl mezi vstupní hybností vzduchu a výstupní dodává prostředku, tímto pohonem osazeném, rychlost. [11]

V oblasti bezpilotních prostředků se lze s tímto motorem často setkat, zejména u strojů sloužících u armád. Mezi modeláři v tuzemsku jsou populární produkty PBS Velká Bíteš.



Obrázek 3 Proudový motor z produkce PBS Velká Bíteš [12]

### 2.2.2 Raketový motor

V současnosti existují dva druhy těchto pohonů. Motor na pevné palivo je tvořen tvarovaným válcem, v němž se nachází směs paliva, která je v průběhu činnosti smíchávána s okysličovadlem a postupně spalována ve válci. Dalším druhem jsou motory na kapalné palivo. Tyto motory disponují nádržemi, v nichž se nachází stlačený plyn, pohonná směs a okysličovadlo. Stlačený plyn vstříkne přes ventil okysličovadlo a pohonnou směs do spalovací komory, v níž dojde k explozi a následně je zbytek směsi vypuštěn ven z ústí motoru. Díky ventilu je možné tah motoru regulovat. [13]

Pohon za pomoci raket není tak rozšířený u bezpilotních prostředků jak tomu bylo u proudového motoru. Je to dáno rychlostí spalování paliva. Modeláři tyto motory používají zejména, aby dostali svůj stroj v nejkratším možném čase do vzduchu, těsně před shořením směsi zapnout primární pohon umístěný na jejich modelu, čímž je zabráněno pádu. Navíc

dle současné legislativy se tento pohon může používat pouze v době startu, pro trvalý pohyb nesmí být využíván. [14]

### 2.2.3 Pulzační motor

Funkčně se jedná o motor s několika cykly. Prvním cyklem je nasání, při němž je jako důsledek vzniklého podtlaku nasán vzduch. Na ústí sací trubice je umístěn ventil, který zapříčiní stlačení vzduchu. Následně dojde k prostupu do další části, v níž se vzduch smísí s palivem. Při rozběhu motoru se směs zapaluje, dojde-li však k dostatečnému ohřátí prostředí není zapotřebí směs zapalovat, protože k iniciaci dochází od výstupních spalin. Exploze zapříčiní uzavření vstupních ventilů a zvýšení tlaku uvnitř spalovací komory. Díky uzavření vstupních ventilů není možné, aby do motoru vstupoval další vzduch, a tudíž do začátku dalšího cyklu nedojde k výbuchu. Je zajištěno vypuštění spálené směsi výfukovou částí, protože ventily jsou uzavřeny. [15]



Obrázek 4 Pulzační motor [15]

Tento pohon byl využíván nacistickými střelami V-1. Pro modelářské účely jsou vyráběny tyto motory, avšak pro vysokou cenu nejsou příliš rozšířené. Nutno také zmínit že je tento pohon současnou legislativou zakázán pro stálý pohon stroje.[14]

### 3 LEGISLATIVA

Možnosti zneužití bezpilotních prostředků jsou dnes rozsáhlé. Stejně jako riziko nechtěného proniknutí do střežených prostor, či způsobení zranění při provozu těchto zařízení. Aby bylo možné tyto jevy z pohledu státu korigovat jsou celosvětově do legislativ zařazovány části věnující se právě provozu bezpilotních prostředků. V současnosti je však patrná i snaha samotných výrobců o zamezení průniku dronů do prostorů letišť vytvořením souřadnicových blacklistů.

#### 3.1 Česká

Úřadem pro civilní letectví je v předpisu L2 (doplněk 10) definováno několik bodů, jež je uživatel/pilot povinen dodržovat. Jedná se o souhrn nařízení, které mají za účel například zabránění vletu do vybraných zón, či zamezením kolizím s jinými prostředky leteckého provozu. Dokument vyšel na konci roku 2014, a tudíž řeší aktuální problémy vznikající v důsledku zvyšující se popularity dronů. [14]

##### 3.1.1 Definice

V současnosti jsou rozdělovány stroje do kategorií autonomní letadlo, bezpilotní letadlo (UA), bezpilotní systém a model letadla.[14]

- Autonomní letadlo, jedná se o prostředek, který je přednastaven, tudíž neumožňuje zásah pilota do průběhu letu.[14]
- Bepilotní letadlo (UA), stroj provozovaný bez přítomnosti pilota v prostoru paluby.[14]
- Bepilotní systém (UAS), jedná se o komplet nejen prostředku, jimiž je stroj uveden do vzduchu, ale i zbývajících vybavení potřebného k provozu. Jde zejména o řídicí stanice, zařízení pro komunikaci či pomocné prvky určené pro start a přistání.[14]
- Model letadla, do této skupiny patří letadla používané pro soutěžní, sportovní a rekreační účely. Je u nich vyloučena instalace prvků pro automatický let. S těmito prvky by byl stroj schopen přistát na definovaném místě. Po celou dobu provozu musí být stroj v dohledu operátora.[14]

### 3.1.2 Rozsah působnosti

S odvolání na změny a provoz bezpilotních systémů přílohy II nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 v platném znění se stanovují požadavky na projektování, údržbu, změny a provozování zařízení. Maximální vzletová hmotnost těchto zařízení nesmí přesahovat 20 kilogramů.[14]

### 3.1.3 Bezpečnost

Pohyb bezpilotního prostředku nesmí ohrožovat bezpečnost létání ve vzdušném prostoru a také nesmí ohrožovat nic a nikoho na zemi.[14]

### 3.1.4 Dohled pilota

Do vzduchu uvedený, na dálku řízený, stroj je nutno provozovat v přímém dohledu pilota. Povoleny jsou brýle i dioptrické čočky.[14]

### 3.1.5 Odpovědnost

Pilot zodpovídá za stroj, tudíž před vzlétnutím zkontroluje jeho technický stav a také vede letecký deník. Dále je povinen zajistit, aby byl systém využíván jen pro účely k nimž byl navržen, vyroben, či k nimž byl ÚCL schválen. Dále je nutné, aby byly provozovány prostředky schválené a v souladu se současnými směrnicemi ÚCL. Například operátor nebude využívat jiná rádiová pásma než vyčleněná. Při žádosti ÚCL je uživatel povinen poskytnout bezpilotní systém pro kontrolu provozu orgánům úřadu. Pilot s oprávněním od ÚCL nesmí svěřit kontrolu nad zařízením osobě oprávnění nemající.[14]

### 3.1.6 Ukončení letu

Pokud je stroj těžší než 0,91 kg, je nutné, aby v něm byl umístěn bezpečnostní systém. Tento bezpečnostní systém umožní stroji při poruše bezpečně dosednout. Užíváním automatického systému však není pilot zbaven odpovědnosti za bezpečnost při provozu.[14]

### 3.1.7 Prostory

Let smí být provozován pouze v oblastech třídy G, tudíž v prostoru do výše 300 metrů. Na dálku řízené prostředky by se měly pohybovat v dostatečné vzdálenosti od letišť,

neníbrán zřetel na to v blízkosti jakého letiště se stroj pohybuje. Dále je nutné, aby minimální dohled byl 1500 metru, u vrtulníků do 800 metrů.[14] [16]

Pohyb bezpilotních prostředků v blízkosti letišť je možný pouze pokud probíhá komunikace mezi pilotem a řízením letiště. Jedná-li se o neřízené letiště, pak musí tamní personál o aktivitách pilota vědět. V zakázaných zónách je provoz strojů nepřipustný, výjimku může udělit pouze ÚCL. Informace o oblastech jsou k dispozici na internetu.[14]

### **3.1.8 Ochranná pásma**

Prostředky nesmí být provozovány v ochranných pásmech, pokud to není dovoleno ÚCL. Ochrannými pásmy se myslí oblasti v blízkosti nadzemních inženýrských sítí a dopravních staveb. V blízkosti vodních zdrojů, zvláště chráněných území či objektů důležitých pro obranu státu.[14]

### **3.1.9 Meteorologická minima**

Minimální dohled musí být 1500 metrů horizontálně a 300 metrů vertikálně od oblaků.[14]

### **3.1.10 Nebezpečný náklad**

Vyjma paliva nutného pro provoz nesmí se na palubě, či v prostoru stroje, nacházet žádný nebezpečný náklad.[14]

### **3.1.11 Shazování nákladu**

Zařízení nesmí shazovat náklad, výjimku tvoří jen předem domluvená vystoupení, pokud proběhla dostatečná příprava.[14]

### **3.1.12 Pohyb pilota**

Během řízení stroje uvedeného do vzduchu se nesmí pilot pohybovat jakýmkoliv technickým prostředkem, včetně automobilu.[14]

### **3.1.13 Letecká veřejná vystoupení**

Vystoupení musejí být schválena ÚCL a také veškeré technické prostředky na něm prezentované.[14]

### 3.1.14 Ostatní legislativa

Dále je nutné, aby operátoři dbali na dodržování zákonů o ochraně veřejného zdraví, o chemických látkách a přípravcích, odpadech, požární ochraně, vodách a v neposlední řadě ochraně životního prostředí. V jejich posledních zněních.[14]

### 3.1.15 Pohon

Nesmí být užívány pulzační a raketové pohony pro stálý pohyb. Vyjimku tvoří doba při níž je stroj uváděn do vzduchu.[14]

### 3.1.16 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla

Z dalších podmínek je nutno uvést že stroj má být opatřen identifikační, ohnivzdornou značkou, na níž má být uvedeno telefonní číslo provozovatele, poznávací značka a jméno provozovatele. Byla-li uživateli známka ÚCL vydána. [14]

Pokud provozovatel systému vykonává leteckou práci, musí mít pro takovou činnost patřičné povolení od ÚCL. Pilot se nesmí přibližovat s řízeným prostředkem blíže než 50 metrů k ostatním osobám vertikálně. Ve vertikální rovině je tato vzdálenost rovna 100 metrům. Tyto bezpečnostní vzdálenosti jsou v hustě osídlených oblastech ustanoveny až na 150 metrů.[14]

### 3.1.17 Hlášení událostí

Jakákoliv zranění a usmrcení musí být hlášena, samozřejmostí je uvědomění IZS.[14]

## 3.2 USA

Vzhledem k prudkému nárůstu neoprávněného a nebezpečného užívání bezpilotních zařízení je plánována aktualizace norem pro provoz těchto prostředků. Kvůli propojenosti normotvorby s průmyslem v USA byly osloveny největší společnosti na poli civilních dronů, aby v součinnosti s organizacemi starajícími se o letecký provoz, především FAA, ustanovily nová pravidla pro provoz těchto strojů.

### 3.2.1 První kategorie

Do první kategorie budou spadat zařízení s maximální vzletovou váhou pod 250 gramů. K registraci dojde při nákupu, vyplněním několika údajů. Registrovat se bude moci jakákoliv osoba starší 13 let. Uložení jména a adresy do systému dojde k vygenerování unikát-

ního kódu, jež bude platný pro provoz dalších zařízení spadajících do této kategorie. Registrací se uživatel zavazuje, že nebude létat ve výšce vyšší než 122 metrů, při provozu neztratí se svým strojem vizuální kontakt. Také nebude létat v blízkosti letišť, oblastí s velkou koncentrací lidí, nebude využívat dron pro komerční účely. K ustanovení těchto pravidel došlo již v roce 2014 v rámci programu „Know Before You Fly“.[17][18]

### 3.2.2 Druhá kategorie

Stroje této kategorie budou omezeny hmotností, ta nesmí být vyšší než 25 kilogramů. Další regule by se měly týkat délky letu, povolené délky letu, definováním letové hladiny, vzděláním operátora, registracemi strojů či provozními limity. Částečně je řešeno i užívání dronu pro komerční účely.[18]

## 3.3 Evropská

V současnosti jsou platné letecké předpisy (nařízení (ES) č. 216/2008), které uvádějí, aby se na bezpilotní prostředky s váhou nad 150 kg vztahovali stejné regule jako na pilotované prostředky. Ostatní aspekty provozu jsou přenechány na členských státech EU. Vzhledem k rozmachu dronů v posledních letech nejsou tyto dokumenty aktuální, a proto se v současnosti pracuje na jejich aktualizaci. [19]

Na základě konference konané v lotyšském hlavním městě bylo rozhodnuto o vytvoření modernějších právních norem pro oblast bezpilotních prostředků. Prvním cílem je vytvořit půdu pro podstoupení návrhu do zákonodárského procesu a zajištění jeho schválení. Dalším cílem je návrh regulí pro provoz dronů. Jako posledním bodem bylo ujasnění vhodných změn v oblasti dronů.

Na tyto návrhy navazuje dokument A-NPA 2015-10. Jež se již nezabývá pouze vlastnostmi strojů, ale i podmínkami pro jejich provoz. Dokument je vydán agenturou EASA tudíž neřeší otázky datové bezpečnosti a soukromí. Vzhledem k nebezpečím plynoucím z provozu bezpilotních prostředků došlo k rozdělení na tři kategorie. [20]

Mimo kategorizaci jsou do dokumentu zahrnuty návrhy pro budoucí legislativu v oblasti bezpilotních prostředků. Například je navrhováno, aby byl stanoven jednotný formát pro údaje, jež budou využívány při poskytování informací otevřeného webového rozhraní, také se hovoří o definování směrnice pro obecnou bezpečnost výrobků a požadavcích na charakteristiky jednotlivých výrobků. Celkově je těchto návrhů 33.[20]

### 3.3.1 Otevřená kategorie

Bezpečnost v této kategorii bezpilotních prostředků bude zajišťována omezeným souborem pravidel, provozních omezení, průmyslových norem a nároků na jednotlivé funkce. O jejich dodržování by se především měla starat policie. Užívání dronů této kategorie se omezí na hmotnost 25 kg a maximální stoupavost 150 metrů. K omezení provozu dochází také funkcí geo-fencing, jež zabraňuje monitoringu určitých geografických oblastí. V současnosti se hovoří o vyčlenění kategorií dle hmotnosti nebo návrhu, aby každý operátor dronu ve výšce nad 50 metrů měl základní znalosti letectví.[20]

### 3.3.2 Specifická kategorie

Tato kategorie je zamýšlena jako nástavba otevřené kategorie, aby bylo zajištěno užívání dronů v oblastech, které nebyly zahrnuty do otevřené kategorie. Pro užívání bezpilotních prostředků této kategorie je vyžadováno oprávnění vnitrostátního leteckého úřadu. V provozní příručce musí být sepsány postupy jak minimalizovat či omezovat rizika.[20]

### 3.3.3 Certifikovaná kategorie

Jedná se o kategorii, jež by měla v sobě integrovat stroje, jejichž provoz je nejnáročnější z hlediska bezpečnosti. Pro tuto kategorii budou platit podobná pravidla jako pro pilotované stroje, tudíž pro uživatele budou vydávána osvědčení o letové způsobilosti, také pro tyto stroje budou platit stejná pravidla v oblasti dostupnosti vzdušného prostoru.[20]



## 4 METODY DETEKCE DRONŮ

Ačkoliv většina dronů má rozměry menší než současná letadla, mohou být také detekovány. Využívají se k tomu speciální radary, které dokáží detekovat i menší plochy. Také se pracuje na systémech, jež by kamerami dokázaly zachytit pohyb nízko letícího stroje. Mezi méně obvyklé způsoby zachycení takového zařízení se řadí analýza frekvenčních pásem a měření vyzařovaného výkonu.

### 4.1 Detekce radarem

Schopností radaru je detekovat objekty nacházející se v poli jeho dosahu. Sestává z generátoru, který vytváří impulsy vyšších kmitočtu, jež následně vysílá přes anténu do prostoru nad ním. Rychlost průchodu impulsů vzduchem je okolo 300 000 km/h. [21]

Existují dva typy radarů, primární a sekundární. Primární vysílá elektromagnetické vlnění, jež se po odrazu od objektu vrací zpět. Těmito radary jsme schopni zjistit polohu a rychlost plochy, od níž došlo k odrazu. Dalším druhem je sekundární radar, který vysílá do prostoru elektromagnetické „dotazy“. Letící objekty tyto „dotazy“ detekují. Následně vyšlou informace o sobě, například výšku, rychlost. Tento typ je využíván zejména v letecké dopravě.[21]

Dále jsme schopni tato zařízení dělit dle průběhu vysílání signálu do prostoru. Pulzní radar obsahuje jedinou anténu, za níž je umístěn přepínač. Ve chvíli kdy se z generátoru vyšle signál dojde k přepnutí. Následně je signál odeslán do antény. Po této akci dojde k přepnutí a příchozí signál putuje do přijímače. Dalším typem jsou radary s kontinuální vlnou. Tento typ disponuje dvěma anténami. Jedna je stále připojena ke generátoru, vysílá do oblasti jejího dosahu signál. Druhá přijímá signál, který následně putuje do směšovače, kombinace vysílaného a přijatého signálu se vyšle pro další zpracování do vyhodnocovací jednotky. Speciální kategorií této techniky jsou pasivní sledovací systémy, jedná se o systém, který plošně snímá veškerou komunikaci a následně z ní vytváří přehled o vysílajících zařízeních.[21]



Obrázek 5 Radar[21]

Generátory jsou v současnosti tvořeny polovodiči, jedná se o soustavy několika tisíc jednotek. V minulosti byly užívány elektronky, například klystron, nebo magnetron.[21]

V počátcích radarové detekce se pro zobrazování používali zobrazovače na bázi osciloskopických obrazovek. Například v Sovětském stavu byly vyráběny skutečně kuriózní obrazovky, některé měřily i desítky centimetrů. LCD displaye však obrazovky postupem času nahradily.[21]

Radary jsou osazovány několika druhy antén. Jde například o dipólové, cí z dvojice tyčí. Existují také antény mající tvar smyčky. Aby bylo dosaženo dobré účinnosti měla by být délka antény rovna polovině vlnové délky vysílaného, nebo přijímaného signálu. Často jsou pro větší citlivost spojovány do soustav. [21]

Dnes se velmi rozmáhají parabolické antény. Jak již název napovídá, mají tvar rotačního paraboloidu. Dnes jsou mimo radiolokaci využívány i pro příjem televizního signálu. Geometrický tvar antény zajišťuje, že příchozí signál se odrazí do jednoho bodu. Tento bod se nazývá ohnisko. Pokud je tato anténa zapojena jako vysílač, pak přes ohnisko je vysílán signál, který se odrazí od tvarované plochy a postupuje dále do prostoru.[21]

Posledním typem jsou antény fázové, jež se dělí na aktivní a pasivní. Aktivní obsahují velké množství polovodičových generátorů s malým výkonem, jejich rozměry jsou velmi malé. Hlavní devízou je schopnost plynule ovládat jejich výkon. Pasivní prostředky jsou napájeny pouze jedním vysokofrekvenčním generátorem disponujícím značným výkonem a přes připojený fázovač dochází k rozdělování výkonu.[21]

## 4.2 Možnost měření vyzářeného výkonu

Dle fyzikálních základů vodič, jímž prochází elektrický proud, ovlivňuje své okolí elektromagnetickým vlněním. Při tomto ovlivňování hraje roli jak kmitočet zdroje, tak i výkon přenášený vodičem.[22]

V současnosti veškerá zařízení přijímající vyšší kmitočty v sobě integrují demodulátor. Demodulátor je zařízení, které zajistí oddělení vysokofrekvenčního signálu od nízkofrekvenčního modulovaného signálu.

V případě bezdrátového ovládání jde pouze o detekování vysílače. Před zařízení pro detekci jsou umístovány kmitočtové filtry, jež zajišťují detekci pouze námi vybraného pásma. Z hardwarového hlediska jde pouze o několik křemíkových diod a koaxiální kabel, ovšem při konstrukci a výrobě musí být dbáno na parazitní kapacity a ostatní jevy. Právě ošetření těchto vlastností nám umožňuje měřit velmi přesně výkon vyzařovaný vysílačem.

Nejčastěji se s těmito zařízeními můžeme setkat při detekci odposlechů, či při měřeních, jež mají zjistit intenzitu zahlcení kmitočtových pásem. [23]

Dnes zařízení schopná těchto měření nalezneme v sortimentu předních výrobců měřicí techniky, například společnosti Rohde&Schwarz. [24] [25]

## 4.3 Rádiová analýza

Specializované přístroje v reálném čase snímají veškerou rádiovou komunikaci ve svém okolí a porovnávají ji s referenčním stavem. Je-li nalezeno nové zařízení, pak s největší pravděpodobností byl v blízkosti spuštěn dostatečně výkonný vysílač. Přístroje, které jsou dnes k dostání, umožňují i zjištění kmitočtu, na němž nalezené zařízení pracuje. V oblasti ochrany proti dronům se cílí zejména na detekci volných pásem.

V současnosti může být pro detekci užíváno i spektrálních analyzátorů. Využívá se antén a filtrů, jimiž jsme schopni detekovat určité frekvenční pásmo. Zařízeními z aktuální nabídky je již možné měřit i datové toky, a tudíž rozlišovat například mezi signálem, jež řídí bezpilotní prostředek datovým tokem z Wi-Fi routeru. [25]

Ačkoliv při detekci dronů se tato metoda příliš neuplatňuje jedná se o velmi efektivní způsob jak vyhledávat vysílače malého výkonu, tudíž je tato metoda využívána při OTP. Během níž jsou postupně analyzovány jednotlivé vysílače v blízkosti detektoru. Zjistíme-li při

rádiové analýze zdroj, jež by v prostoru být neměl, pak naše obavy z odposlechu byly s největší pravděpodobností na místě.[23]

## 5 MOŽNOSTI ZNEŠKODNĚNÍ DRONŮ

Metody likvidace můžeme dnes dělit na nedestruktivní a destruktivní. Nedestruktivní metodou je například zarušení frekvenčního pásma. Případně jsou využívány bezpečnostní trhliny v softwaru těchto zařízení. Nejen v oblastech kde probíhají konflikty dochází k sestřelování bezpilotních prostředků, pohybujících se ve vzduchu, zbraněmi. Dnes už jsou mnozí lidé znepokojeni při pohybu dronu nad jejich pozemkem. A to i v zemích kde je bezpečno.

### 5.1 Použití jammeru

Jammer je zařízení rušící určité frekvenční pásmo. Tudíž dron, který se dostane do jeho dosahu, se stane neřiditelným. Tato zařízení jsou umísťována po obvodu objektu. Jammery nejsou využívány pouze pro rušení volných pásem, ale také jsme s nimi schopni zarušit i například GSM síť. Zařízení ze současné nabídky disponují několika prutovými anténami.

Do začátku rozmachu bezpilotních prostředků byly produkovány zejména pro rušení již zmíněné mobilní komunikace. Metodika použití je taková, že zařízení jsou umísťována do prostoru kde dochází například k ústní výměně utajovaných informací, také je možné jammery zabezpečit prostor proti dálkovým inidiacím vybušnin. Momentálně jsou zařízení schopna zarušit volná pásma stále žádanějšími.

Problém však je samotné rušení, sic není možné, aby bezpilotní prostředkem pronikl do prostoru nad objektem, ale také nemohou být v blízkosti používány například Wi-Fi routery, protože pracují v rušeném kmitočtovém pásmu.

### 5.2 Převzetí kontroly

Během posledních několika let se objevilo mnoho pokusů, při nichž nadšenci překonali zabezpečení dronu a začali jej řídit. Drony pro civilní trh jsou z hlediska proniknutí do zařízení velmi málo zabezpečené. Proto týmy univerzit, ale i jednotlivci, pokouší své štěstí.

V současnosti se lze setkat s drony jež jsou řízeny GPS signálem. Toho využil tým vědců z texaské univerzity. Přišli na způsob jak zaměnit nekódovaný GPS signál, čímž se jim podařilo zaměnit trasu dronu. [26]

Uspěšná byla i hackerská skupina AnnoSec. Jejím členům se podařilo proniknout přes zabezpečení do agentury NASA. Hackeri vyzorovali, že zaměstnanci této agentury ukláda-

jí přeurčený letový plán dronu. Na průnik se přišlo, až když jeden z hackerů chtěl změnit trasu dronu Global Hawk tak, aby skončil na dně oceánu.[27]



Obrázek 6 Dron Global Hawk sloužící agentuře NASA[27]

S dalším způsobem přišel výzkumník Rahulem Sasim. Podařilo se mu nakazit dron škodlivým softwarem (malwarem) a po úplné infiltraci do systému bylo možné stroj ovládat. Na rozdíl od jiných útoků podobného charakteru je tento pokus zajímavý tím že necílil na API dronu, nýbrž přímo na mikropočítač. Není tajemství, že o nedostatečném zabezpečení vědí i samy výrobci těchto zařízení. [28]

V roce 2015 se pokusila firma Battelle prorazit na trhu s proti-dronovou zbraní. Jde o vysílač manipulující s řízením dronu. Po zaměření dronu může dojít k jeho dosednutí na zem, případně jej můžeme odeslat do místa jeho vzletu. Dle údajů výrobce se dostřel pohybuje do 400 metrů. Zařízení je postaveno na bázi útočné pušky, což zaručuje jistou míru ergonomie při užívání. V současnosti však toto zařízení mohou používat pouze vládní agentury USA. [29]

### 5.3 Sestřelení

V armádách po celém světě jsou využívány proti objektům pohybujícím se nad zemí střely země-vzduch. Pro sestřelování bezpilotních prostředků se užívají zejména z ramene odpalované střely, případně hlavňové prostředky. V potaz však musí být bráno, že střely země-vzduch mnohdy značně převyšují cenu dronu.

Toho jsou si vědomi zbrojařské firmy. Například firma Barrett lobovala u armádních složek USA za svou pušku XM109, která byla vyvíjena speciálně pro ničení dronů. Mnozí vojenští analytici předpovídají že likvidaci dronů převezmou lasery. V současnosti probíhají testy těchto zařízení na lodích a upravených civilních letadlech. [30]



Obrázek 7 Barrett XM109[30]

Nejen armádní složky zneklidňuje inkrement bezpilotních prostředků na obloze, v posledních letech se začala zvedat vlna nevole mezi civilním obyvatelstvem. Zejména v USA se množí případy sestřelení dronu, který vletěl na soukromý pozemek. Z mediálně známých případů je patrné že při sestřelování civilních dronů jsou velmi efektivní brokovnice. Vzhledem k faktu že po výstřelu letí k dronu dvě desítky broků vysokou rychlostí je sestřelení velmi pravděpodobné. Po právní stránce však prozatím není jasně definováno, kdy dojde k narušení pozemku. Kdo na sebe bere vzniklou škodu však není právně ošetřeno.

## 6 SOUČASNÝ STAV OCHRANY A NÁKLADOVÁ ANALÝZA

### 6.1 Současný stav ochrany

Z volně dostupných zdrojů vyplývá, že v ČR mimo letišť, některých prvků kritické infrastruktury, vojenských prostorů a věznic není učiněno nic, co by bezpilotní prostředky mělo detekovat, případně zneškodnit.

Osoby, jež hlídají výše uvedené objekty bývají vybaveny dalekohledy, jimiž jsou schopny vizuálně detekovat bezpilotní prostředek. Například příslušníci vězeňské služby jsou oprávněni drony sestřelovat. Nutno také zmínit že dron provozovaný v blízkosti Letiště Václava Havla v Praze odmítá od jistých souřadnic další pohyb. S největší pravděpodobností však jde o implementaci GPS blacklisů, které již byly v práci popsány. Z hlediska velkých dronů je ČR dobře pokryta prostředky schopnými je odhalit. Ovšem pravděpodobnost že by byl dron větších rozměrů zneužit, je mizivá. Ze strany podniků či jednotlivců není ochrana proti dronům rozšířená.

V západních vyspělých státech je uplatňována stejná metodika jako v ČR. Do věznic v USA a UK je často pašován kontraband právě za pomoci dronů. Stejně jako v ČR jsou drony při vizuální detekci sestřelovány. Oproti ČR je však znatelná iniciativa podniků v oblasti ochrany proti dronům. Obsluha stanovišť zřizovaných při vjezdech do objektů je vybavována dalekohledy, či jinou detekční technikou a palnými zbraněmi. Tyto opatření jsou však zejména uplatňovány v podnicích, kde je vysoké riziko průmyslové špiónáže.

### 6.2 Nákladová analýza

Pokud se majitel objektu či společnost rozhodne pro zamezení provozu bezpilotních prostředků jeví se jako nejefektivnější řešení z hlediska vynaložených prostředků pro detekci užití přístroje pro rádiovou analýzu. Procento společností či jednotlivců schopných si dovořit zabezpečit prostor nad pozemkem vlastním radarem je mizivé. Nehledě na energetickou náročnost podobného řešení. Aby bylo možné měřit vyzařovaný výkon nad pozemkem rodinného domu dospěli bychom také k závratným částkám, pro pozemky s větší rozlohou by takové řešení nebylo s největší pravděpodobností vůbec realizovatelné. Nehledě na fakt že u těchto řešení musí být k dispozici personál, jež bude schopen obsluhy složitých zařízení. Právě z těchto důvodů se jeví nákup přístroje pro rádiovou analýzu jako nejschudnější řešení. Ceny těchto řešení se pohybují v řádech desítek tisíc. Nejpraktičnějším řešením je



zařazení takového zařízení do monitorovacího pultu na vratnicích. Problémem je však malý dosah těchto zařízení a analyticky náročná metoda při vyhodnocování nových vysílačů.

Z pohledu zneškodnění dronu se jeví jako nejefektivnější sestřelení anebo užití jammeru. Sestřelení je nejlevnější, navíc obluhující personál je vázán pouze zákony platnými v dané zemi pro užívání palných zbraní. Cena střeliva se pohybuje v desítkách korun.

Pokud-li se jedná o rozlehlý pozemek, například výrobního podniku a oplocení je dostatečně vzdáleno od prostorů, kde jsou využívány bezdrátové sítě, je vhodné užívat jammery. Při pohybu dronu v jeho blízkosti dojde k přerušení komunikace dronu s vysílačem, a tudíž k jeho pádu, případně přepnutí do stavu autopilota a dosednutí na zem. Ceny jammerů se pohybují v řádech desítek tisíc.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 KMITOČTOVÉ FILTRY

Aby bylo možné detekovat vysílače na určitém kmitočtu, využívá se mimo ostatních zařízení i kmitočtových filtrů. V případě detekce dronů se vysílačem myslím RC souprava operátora. V rámci práce byly vyrobeny dva kmitočtové filtry pro pásmo 2,4 GHz, na jednom z nich byla prováděna měření. Pro filtry je obecně stěžejní kmitočet  $f_0$ , protože od něj dochází k změnám v chování těchto komponent.

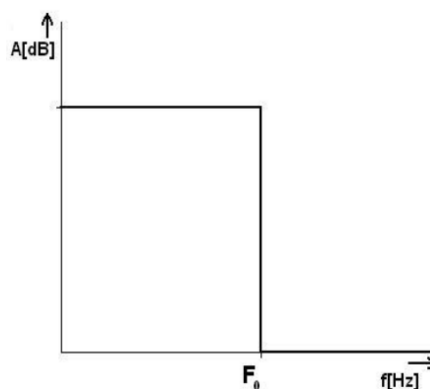
Do většiny přístrojů pracujících s vyššími kmitočty jsou také umístovány vysokofrekvenční zesilovače. Tato zařízení mohou být tvořena bipolárními či unipolárními tranzistory, pro pásma v řádech GHz se používají lineární monolitické integrované obvody. Kmitočtové pásmo, které je aktivní prvek schopen zpracovat, je dáno výrobními limity polovodičů. Aktivní prvky se při vysokých kmitočtech projevují negativní vlastnostmi, jde například o klesající zesilovací činitel.[31]

### 7.1 Funkční dělení

V současnosti se filtry dělí dle schopnosti potlačovat určité kmitočty, v literatuře je tato schopnost označována jako selektivita. Tento jev zastávají dolní, horní propustě, případně pásmová propust či zádrž. Stežejní je změna přenosu o 3dB. [32]

#### 7.1.1 Dolní propust

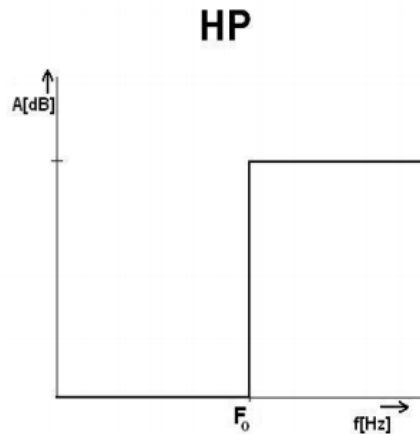
Tento prvek propouští kmitočet do určité hodnoty. Přesáhne-li kmitočet definované pásmo dochází k jeho potlačení. Specifikem tohoto prvku je fakt že propouští i stejnosměrné složky, tento jev se odstraňuje zařazením kondenzátoru před propust. V tomto případě se z něj však již stává pásmová propust.



Obrázek 8 Ideální filtr typu dolní propust[32]

### 7.1.2 Horní propust

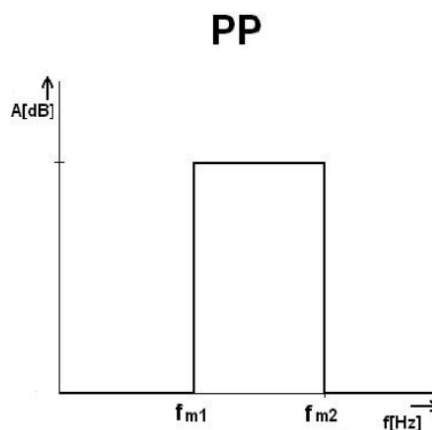
Aby bylo možné potlačit nižší kmitočty a pracovat pouze s vyššími, používá se horní propust. Tento obvodový prvek je schopen propustit kmitočty vyšší než  $f_0$ . [32]



Obrázek 9 Ideální filtr typu horní propusti [32]

### 7.1.3 Pásmová propust

Kombinací vlastností horní a dolní propusti lze sestavit filtr, který zaruší kmitočty, s nimiž pracovat nechceme. Při návrhu si definujeme určité pásmo a následně nižší kmitočty oddělíme dolní propustí kmitočty, jež by námi požadovanou hodnotu převyšoval naopak potlačíme horní propustí. Tyto zařízení nacházejí uplatnění zejména ve vysokofrekvenčních obvodech. [32]

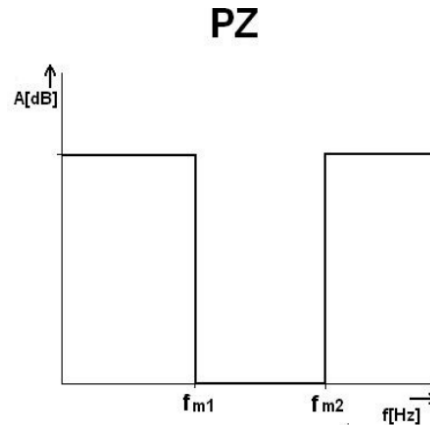


Obrázek 10 Ideální filtr typu pásmové propusti [32]

### 7.1.4 Pásmová zadrž

Aby bylo možné zamezit průchodu určitého pásma, zatímco ostatní pásma nechat propouštěna používá se pásmová zadrž. Stejně jako pásmová propust jde o kombinaci horní a dolní

propusti s tím že je vytvořena mezera ve fungování, potažmo schopnosti danou frekvenci propustit. S tímto typem filtrů se lze setkat v televizní technice a vysokofrekvenční technice.[32]



Obrázek 11 Ideální filtr typu pásmové zádrže[32]

## 7.2 Dělení dle složení

Z hlediska prvků sloužící k oddělení části frekvenčního spektra jsme schopni propusti rozdělit na ty skládající se z aktivních, či pasivních prvků. Vyjimku tvoří mikrovlnné filtry. Tento druh je navrhnut tak aby propouštěl vysoké kmitočty. Běžnými diskrétními součástkami by nebylo možno zajistit funkci. Proto jsou realizovány za pomoci mikropásků na dielektrické podložce.

### 7.2.1 Filtry složené z pasivních prvků

Nezákladnějším propustí tohoto složení je RC filtr. Jež sestává z kondenzátoru a odporu. Vzhledem k jeho jednoduchosti není možné od něj čekat závratné výsledky a to ani při použití velmi kvalitních součástek. [32]

Další kategorií je RLC, který je schopen již pracovat ve vyšších kmitočtech. Jako mezní kmitočet se udává 300 MHz. Kombinací odporu a kondenzátoru doplňuje cívka. Právě přítomnost cívky je daní za širší pásmo. Z přítomnosti cívky plynou i nevýhody tohoto zapojení, zejména vyšší cena a rozměry. Dále také nutno zmínit že na cívce vznikají i značné ztráty.

Tyto filtry obecně využívají zapojení, v nichž jsou dle aplikace, dolní či horní propust, zaměňovány. Tyto způsoby zapojení jsou odborně nazývány integrační a derivační články.[33]

### 7.2.2 Filtry složené z aktivních prvků

Pokrok v oblasti integrace polovodičových součástek k 70. letům 20. století se sebou přinesl i druh propustí dnes známých jako ARC filtry, v literatuře se lze někdy setkat s označením aktivní RC filtry. Z hardwarového hlediska se jedná o kombinaci aktivních součástek, nejčastěji se používají operační zesilovače. Velkou devízou tohoto druhu propustí je snadná přeladitelnost za pomoci pasivních součástek připojených do obvodu. Udává se že tento druh filtrů je schopen uspokojivě pracovat od desetin Hz do desítek MHz. Nevýhoda je nutnost napájení aktivních prvků obvodu.[33]

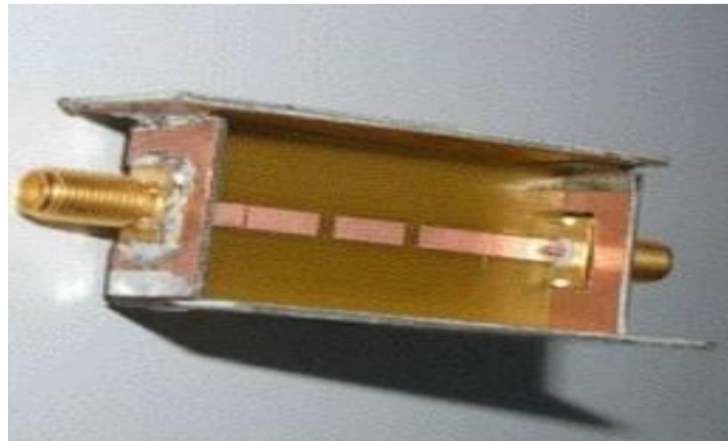
Speciálním druhem jsou ASC filtry. Tento druh je specificky pro užívání bloků kondenzátorů, mezi nimiž dochází k přepínání, čímž je nahrazováno působení odporu v obvodu. Dnes jsou tyto filtry k dostání v podobě integrovaného obvodu, kmitočet, na němž obvod pracuje, je snadno měnitelný. Avšak pásmo, v němž je ASC filtr schopen pracovat nedosahuje dokonce ani možností ARC filtrů také musí být aktivní prvky filtru napájeny. [33]

Další kategorií jsou filtry digitální. Někdy se lze v literatuře setkat s názvem číslicové. Jde o speciální druh filtrů neobsahující pasivní součástky filtrace signálu je tudíž prováděna aktivními prvky. Jde zejména o mikropočítače, digitální a specializované integrované obvody. Právě přítomnost pouze aktivních prvků způsobuje, že tyto filtry nejsou impedančně závislé na frekvenci. Pro zpracování signálu zde platí stejná pravidla jako u všech digitálních obvodů a to že při vstupu signálu do zařízení se musí analogový signál nejprve vzorkovat. Následně se provede kvantování a převodu signálu do digitální formy. Aby byl filtr schopen obstát v provozu musí být splněna podmínka vzorkovacího teorému, hodnota vzorkovací frekvence musí být dvakrát vyšší než maximální hodnota zpracovávané frekvence. V konečném důsledku jde o to, aby se u signálu neprojevil aliasing. Což je jev při němž dochází k překrytí spekter, díky němuž dochází k deformaci signálu. Zařazení analogové dolní propusti má pozitivní vliv na zabránění aliasingu.[33]

### 7.2.3 Mikropáskové filtry

Stále zvyšující se nároky na kvalitu a nízkou cenu stály za iniciací vývoje mikropáskových filtrů. V principu se jedná pouze o plošný spoj mající při určeném kmitočtu jisté, vývojářem chtěné, vlastnosti. Základní stavební části filtru jsou tvořeny geometrickým uspořádáním vodičů na desce plošného spoje. Zjednodušeně řečeno určité geometrické tvary vykazují v obvodu parametry některé z pasivních součástek, vhodnou kombinací těchto tvarů docílíme požadovaných vlastností filtru. Při návrhu se využívá specializovaných programů,

které nám umožňují vhodně kombinovat jednotlivé prvky. Typickou oblastí funkčnosti je pásmo od 300 MHz až po 300 GHz, tedy kmitočty využívané v lékařství, snímací a datové technice ,a také v radiotechnice. Vzhledem ke složení filtrů není možné jednotlivé prvky propusti vyměnit. Vždy jsme nuceni propust vyrobit nebo koupit novou.[23][33]



Obrázek 12 Mikropáskový filtr[23]

#### 7.2.4 Speciální druhy filtrů

Prvním filtrem této kategorie jsou elektromechanické filtry. Tyto filtry fungují tak že převedou elektrický signál na mechanický za pomoci mechanické rezonance a zpětně tento signál převedou zpět na elektrický, čímž je dosahováno stejného efektu jako u pásmových propustí. Dle zdroje rezonance rozlišujeme filtry piezoelektrické, magnetostrikční, krystalové. Dalšími druhy jsou filtry s povrchovou akustickou vlnou. Poslední druhme speciálních filtrů jsou ty užívající technologii CCD. Dnes nejrozšířenější filtry této kategorie jsou piezoelektrické, což je dáno dostatečnou funkčností při nízké ceně.[33]

Krystalový filtr se používá zejména ve stabilních oscilátorech, v nichž je množství těchto krystalů spojeno do bloku, čímž je realizován úzký pásmový filtr. Značnou devízou krystalových filtrů je vysoký činitel jakosti a značná stabilita, obecně se však tento typ příliš nevyskytuje. Náklady na realizaci jsou vysoké, nemluvě o složitost návrhu.[33]

Dalším druhem jsou filtry s povrchovou akustickou vlnou. Jedná se o nový druh integrovaných filtrů pracujících s pohybem akustických vln. Fyzicky tento filtr sestává z nosné keramické destičky, na níž je vytvořena soustava vysílacích a přijímacích piezoelektrických zařízení. Tyto filtry jsou schopny zpracovat podstatně širší pásmo než elektromechanické propusti. Nevýhodou je vyšší útlum při průchodu.[33]

Díky možnostem nábojově vázaných obvodů, známým spíše pod zkratkou CCD, je možné filtrovat signál s časově diskrétním charakterem. Platí to samé co pro technologii CCD, zejména se uplatňuje fakt že jednotlivé nábojové vzorky jsou posouvány a následně sčítány. Jedná se spíše o raritní aplikace. Jejich nejtypičtějším zastoupením jsou záznamová zařízení, zejména kamery.[33] [34]



## 8 NÁVRHY FILTRŮ

První vlastností jež musíme zohlednit při návrhu filtru je šířka frekvenčního pásma, dalším aspektem může být například velikost plošného spoje či snaha se ve filtrech stranit používání indukčností. Z hlediska výroby jsou indukčnosti značnou přítěží, existuje však mnoho metod jak parametry těchto součástek nahradit. V neposlední řadě také vědomosti, anebo výrobní potenciál jímž disponujeme, také není od věci zvážit, zda není efektivnější si filtr koupit již vyrobený.

Při vývoji máme dvě možnosti. Můžeme se o návrh pokusit matematickou cestou, s níž jsme za pomoci mnoha vzorců schopni dojít k modelu filtru. Další možností je návrh filtru za pomoci specializovaných softwarů na PC. Tato metoda je podstatně jednodušší, naší jedinou starostí je se správně naučit ovládat program určený pro navrhování.

### 8.1 Návrh RC filtrů

Pro ulehčení výpočtů spojených s návrhem filtru uvažujeme, že zdroj má nulový odpor a zátěž naopak nekonečný. Obecně nejsme z hlediska prvků v obvodu limitováni, respektive vždy máme minimálně jeden stupeň volnosti u některé součástky, a tedy můžeme volit snadno dostupné pasivní součástky z řad E6 či E12. Tento jev je dán matematickou formulací pro výpočet mezního kmitočtu filtru.[33]

### 8.2 Návrh RLC filtrů

Z obecných pravidel pro návrh musí být vyzdvihnuto, že již od samotného začátku prací musíme uvažovat, zda použijeme pro zakončení jeden odpor či kombinaci dvou. Použití jednoho odporu je pro nás výhodnější protože výpočty jsme schopni zrealizovat za pomoci základních poznatků o sériových a paralelních obvodech. U přístrojů, jež pracují s vyššími kmitočty, je zapotřebí při návrhu zakomponovat zakončení, které využívá dva odpory.[33]

### 8.3 Návrh aktivních filtrů

Při návrhu aktivních filtrů nejsme nuceni používat jeden typ součástek, můžeme užít celou škálu aktivních prvků. Ať jde o tranzistory, impedanční konvertory či elektronky. V současnosti jsou však nejpoužívanější operační zesilovače, v invertujícím a neinvertujícím zapojení, vhodně osazovány pasivními obvody prvky.[35]

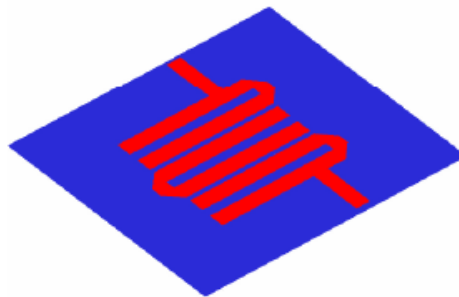
## 8.4 Návrh mikropáskových filtrů

Dle geometrického tvaru dělíme mikropáskové filtry na několik druhů. Z technického hlediska platí vše co u předchozích. Největší změnou je fakt, že propusti pracují s tak vysokými kmitočty, že geometrické uspořádání prvků na plošném spoji vykazuje vlastnosti pasivních obvodových prvků. Většina programů pro návrh těchto propustí přímo generuje obrazec v měřítku 1:1.

Existují varianty, jež nejsou vytvořeny na plošných spojích, ale sestávají z různých tvarů vodivých materiálů. Tyto filtry jsou na vývoj a výrobu značně náročné, nehledě na fakt že nelze tyto propusti umístit do prodáváných montážních krabic. Tudiž paralelně s návrhem filtru musíme uvažovat, kam propust umístíme, potažmo na vlastnostech celého výrobku.

Jedním ze zástupců této kategorie jsou propusti Parallel-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtr, sestávající z koncepce kdy k paralelní, kapacitní propusti tvaru obdélníku částečně přiléhají rezonátory, velikostně odpovídající polovině jejich vlnové délky. [23]

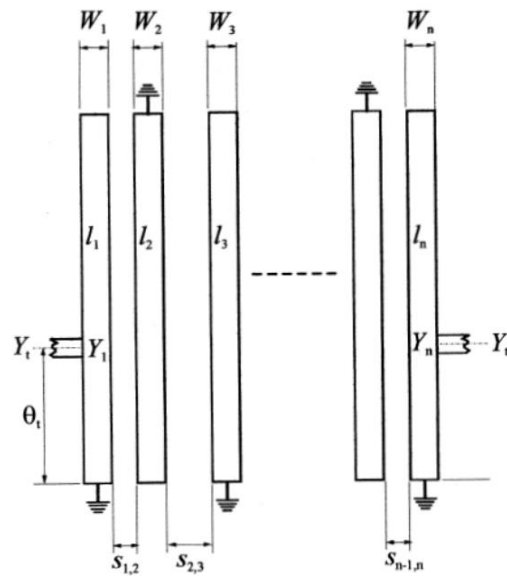
Také lze při návrhu využít i Harpin-Line Bandpass filtr, opět jde o kapacitní filtr, s tím rozdílem, že tento druh propusti má půlvlnné rezonátory ohnuty do tvaru U, čemuž musí být přizpůsobena velikost plošného spoje. [23]



Obrázek 13 Harpin-Line Bandpass filtr[36]

Propust můžeme realizovat i End-Coupled, Half-Wavelength Resonator filtry vynikajícími nízkým útlumem propouštěného pásma. Opět jde o kapacitní filtr, s tím, že i obdélníkové rezonance musí být navrhnuty tak, aby měly rozměr přibližně poloviny délky propouštěného spektra. Sumou rezonátorů jsme schopni nastavit šířku propouštěného pásma a také strmou poklesu v krajních polohách propouštěného pásma. Při návrhu je také nutno brát v potaz že čím více rezonátorů filtr obsahuje tím je pásmo jeho provozu užší a přechod strmější.[23]

Dále se je možné při návrhu použít Interdigital Bandpass a Comblinle filtry. První zmíněná verze propusti je odlišná od přechozích protože podélné, obdélníkové rezonátory musí být vždy na jednom z konců uzemněny. [23]



Obrázek 14 Interdigitální filtr[37]

Šíři propouštěného pásma korigujeme za pomoci změn délek liniových prvků a rezonátorů. Obecně platí pravidlo že při zmenšující se velikosti jednotlivých prvků narůstá kmitočet jež je filtr schopen přenést. Návrh Comblinle filtrů je velmi podobný Interdigital Bandpass filtrům.[23]

## 9 MĚŘENÍ PÁSMO 2,4 GHZ

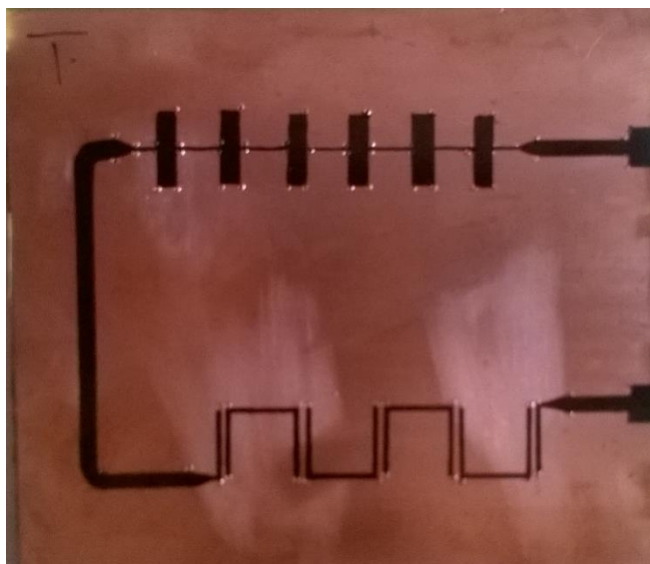
Drony a civilní bezpilotní prostředky komunikují v pásmech vysokých kmitočtů. Aby bylo možné detekovat komunikaci na těchto pásmech byl vyroben mikropáskový filtr ve tvaru, v němž by měl být schopen propouštět pásmo 2,4 GHz a ostatní kmitočty potlačit. Po jeho výrobě a osazení konektory byl připojen ke spektrálnímu analyzátoru, čímž jsme vytvořili pracoviště, které je teoreticky schopno odhalení vysílače v prostoru. Spektrální analyzátor je totiž schopen po připojení antény detekovat kmitočty v okolí také jejich intenzitu.

V druhé části měření byla namísto filtru použita anténa pro pásmo 2,4 GHz. Dnes jsou Wi-Fi antény, pro tato pásma, vyráběny tak, aby se chovaly jako filtr, čímž vývojářům odpadá práce s filtrem. Což bylo z pohledu měření a komparace výsledků vhodné.

Cílem této kapitoly bylo vyzkoušet jednu z metod detekce vysílačů.

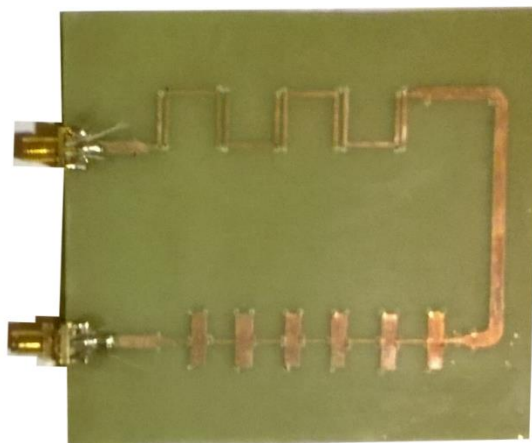
### 9.1 Výroba filtrů

Dle návrhu byly vyrobeny dva filtry se stejným motivem. Bohužel u jednoho se stínící část plošného spoje podleptala, a tudíž na něm měření nemohla proběhnout. Druhý byl opatřen krytem proti podleptání, čímž se zamezilo podleptání.



Obrázek 15 Nakreslený motiv na Cuprextitu

Filtry byly vyrobeny z oboustranného Cuprextitu. Vždy byl na jedné straně nakreslen lihovým fixem motiv filtru, druhá strana plošného spoje byla stínící. Po nakreslení motivu byly plošné spoje vyleptány v leptacím roztoku a následně vyčištěny gumou od nečistot, jež vznikají po leptání.



Obrázek 16 Filtr po vyleptání a osazení konektory

Před měřením byl plošný spoj filtru osazen konektory SMA 16, jimiž byl připojen k anténě a spektrálnímu analyzátoru. Konektory byly přiletovány, jak ze strany kde je motiv filtru, tak i ze strany stínění.

## 9.2 Vytvoření pracoviště a popis měřících přístrojů

Vysílač simulovala RC souprava Spektrum DX5e. Ta komunikuje na kmitočtu 2,4 GHz, spárována byla s přijímačem Spektrum Micro AR400. K přijímači byl připojen Motor Driver Sabertooth 2x25.

Motor Driver byl důležitý pro zajištění reálných podmínek měření, stejnosměrné motory dronu mají odběr v řádech desítek wattů, tudíž samotný přijímač by nebyl schopen dodat proud potřebný pro provoz dronu. RC souprava a přijímač představují zařízení, která jsou běžně využívána modeláři pro ovládání zařízení na dálkové ovládání, čímž se měření opět přibližuje reálným podmínkám.



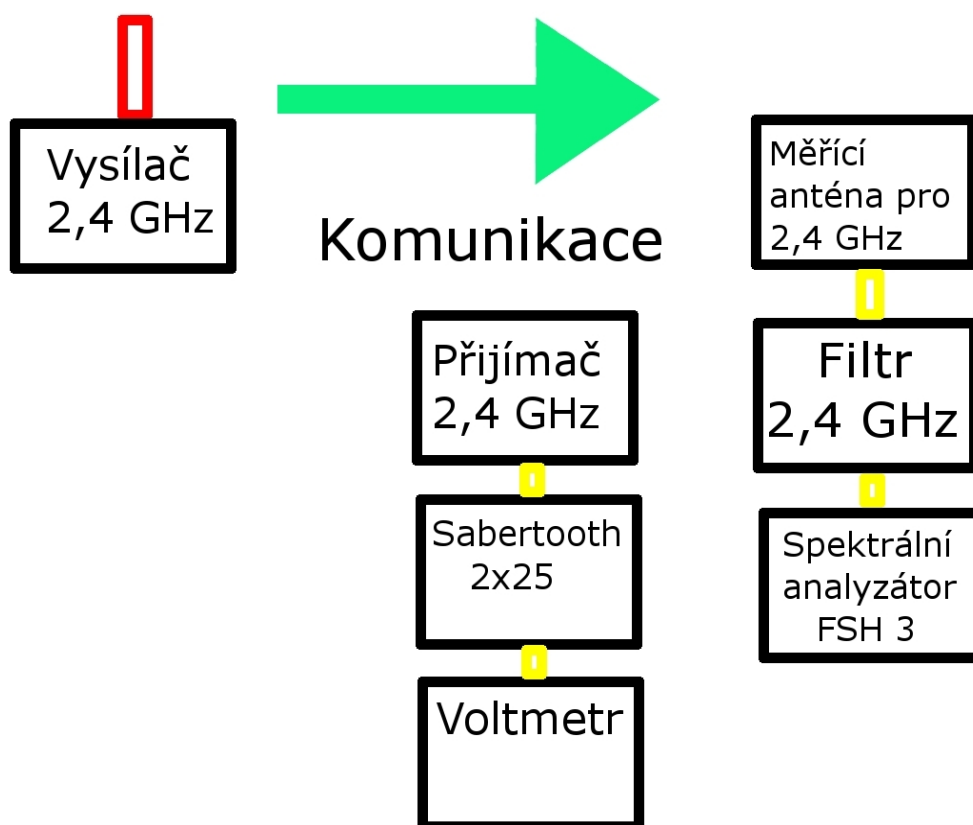
Obrázek 17 Vysílač, přijímač a Motor Driver

Pro příjem komunikace mezi vysílačem a přijímačem byla použita anténa Rohde & Schwarz HF 906 se stojanem. Připojená přes N a SMA konektor k filtru. Jde o anténu pro pásmo 2,4 GHz. Tato anténa se využívá zejména pro laboratorní měření.



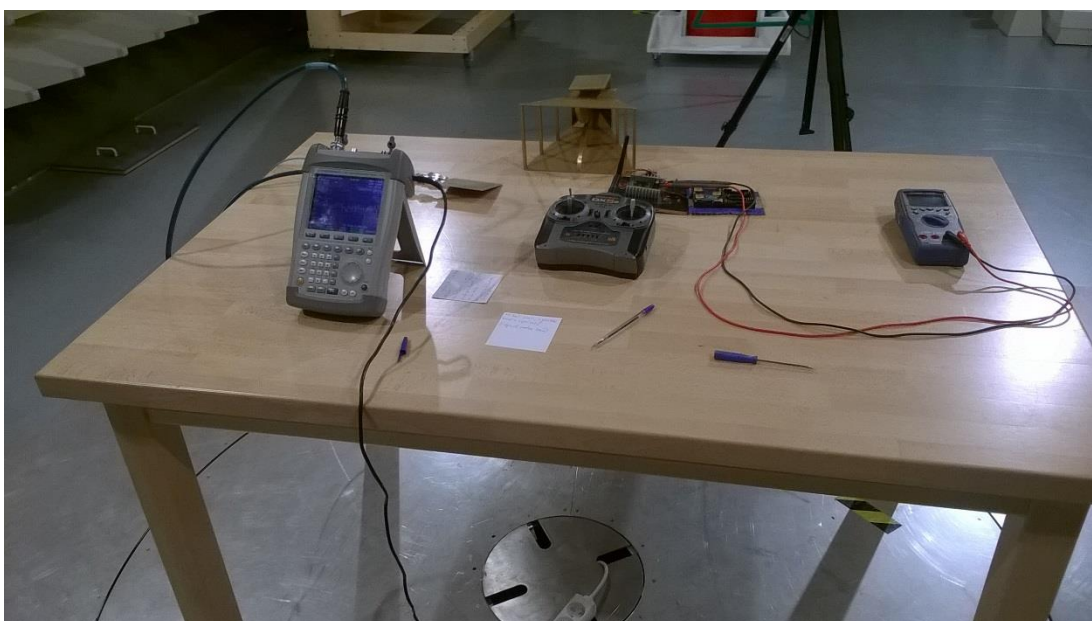
Obrázek 18 Anténa Rohde & Schwarz HF 906

Filtr byl opět přes redukci z SMA na N konektor připojen k spektrálnímu analyzátoru Rohde & Schwarz FSH3, jedná se o zařízení, jež je schopno detekovat kmitočty až do jednotek GHz a v závislosti na intenzitě je zobrazit. Právě schopnost pracovat až do jednotek GHz byla pro měření klíčová.



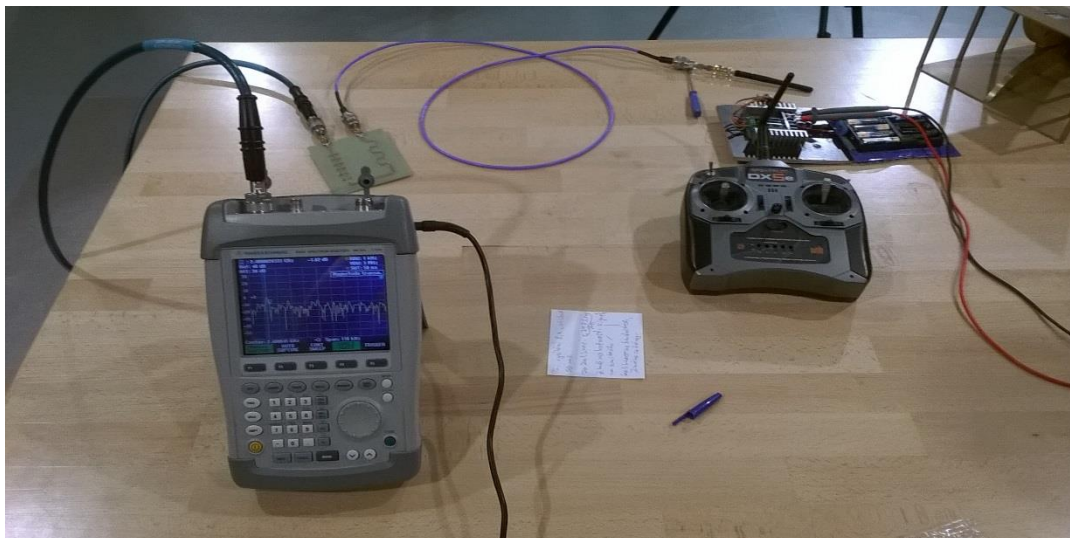
Obrázek 19 Grafické znázornění první konfigurace

Na výstupy Motor Driver Sabertooth byl připojen multimetr. Multimetr byl přepnutý do režimu měření stejnosměrného napětí, indikací hodnot vyšších než 0,5 V došlo k zajištění-detekce vysílání RC soupravy.



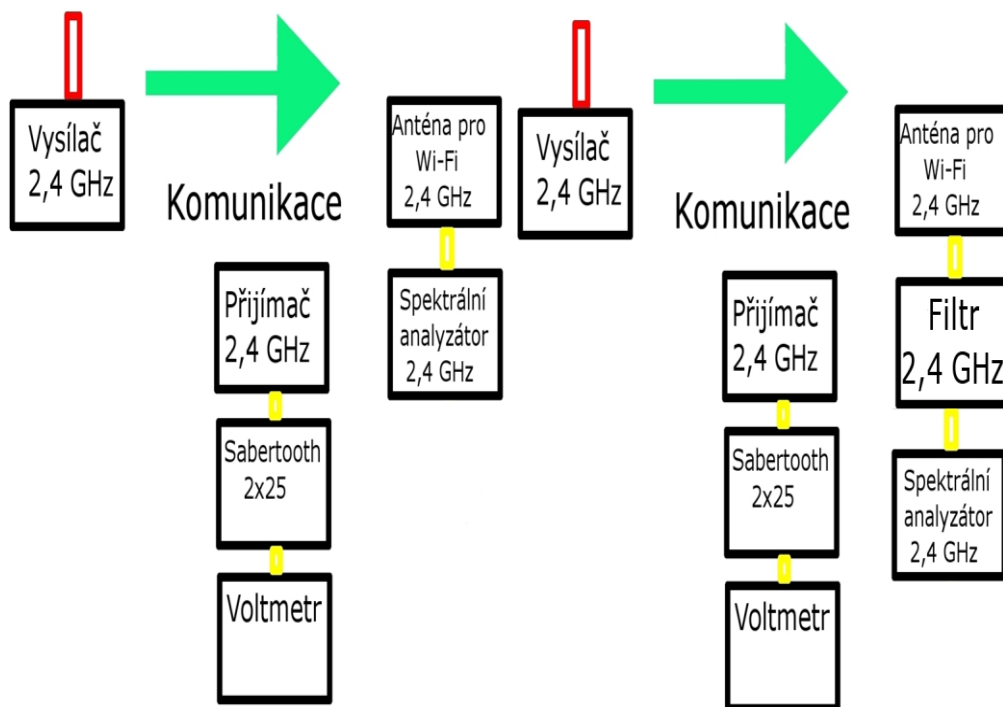
Obrázek 20 Celkový pohled na pracoviště

Po odměření kombinace anténa Rohde & Schwarz HF 906 a vyrobeného filtru pro 2,4 GHz bylo toto zapojení rozpojeno. Anténa Rohde & Schwarz HF 906 byla nahrazena anténou pro Wi-Fi, zbytek pracoviště zůstal beze změny.



Obrázek 21 Pracoviště s Wi-Fi anténou a filtrem

Na závěr byl filtr 2,4 GHz vypuštěn z měření úplně a anténa byla připojena přímo k spektrálnímu analyzátoru, jak již bylo zmíněno, anténa je navržena tak, aby se chovala jako filtr.



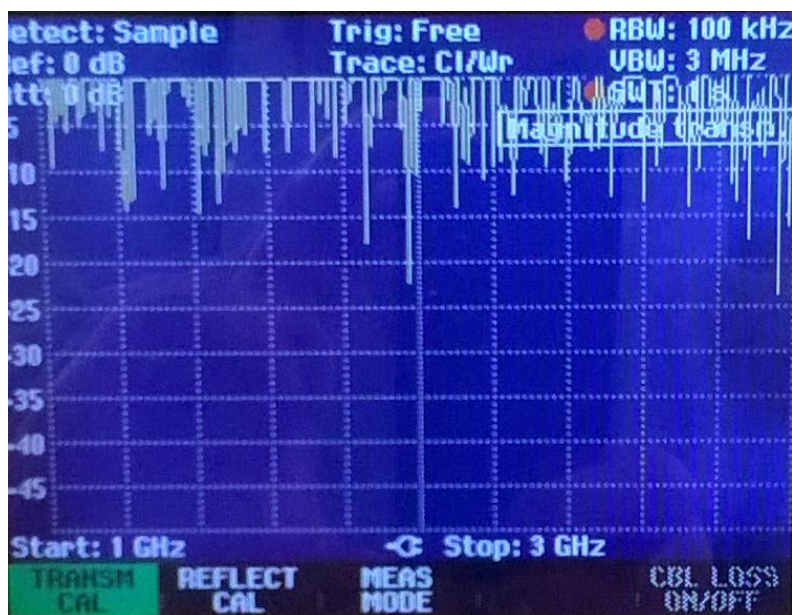
Obrázek 22 Grafické znázornění měřících kombinací využívajících Wi-Fi anténu



## 9.3 Výsledky měření

### 9.3.1 Kalibrace a příprava měření

Něž proběhlo měření bylo důležité provést kalibraci spektrálního analyzátoru Rohde & Schwarz FSH3 pro pásmo v němž se budeme pohybovat. Startovní kmitočet byl zvolen 1 GHz, koncový 3GHz s krokem RBW 100 KHz. Stiskem tlačítka TRANS CAL došlo ke kalibraci přístroje. V průběhu měření byla kalibrace provedena ještě několikrát, ovšem nebylo možné pozorovat velké změny v naměřených hodnotách.



Obrázek 23 Kalibrace přístroje Rohde & Schwarz FSH3

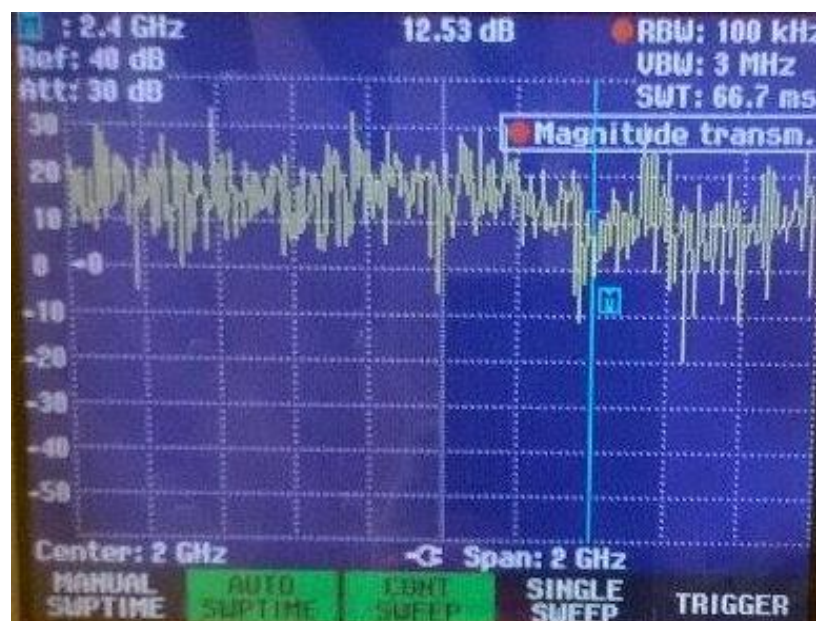
Před zapnutím vysílače bylo nutné změřit intenzitu okolních vysílačů, proto byl spektrální analyzátor několik sekund spuštěn, zatímco vysílač Spektrum byl vypnut. Touto částí bylo dosaženo zjištění, které kmitočty v okolí jsou nejvíce intenzivní.



Obrázek 24 Detekce okolních zdrojů

### 9.3.2 Měření při zapnutém vysílači

Po kalibraci bylo nutné spustit vysílač Spektrum a pravou páčku dostat do polohy v níž vysílač neustále komunikuje s přijímačem. Marker spektrálního analyzátoru byl nastaven na hodnotu 2,4 GHz.



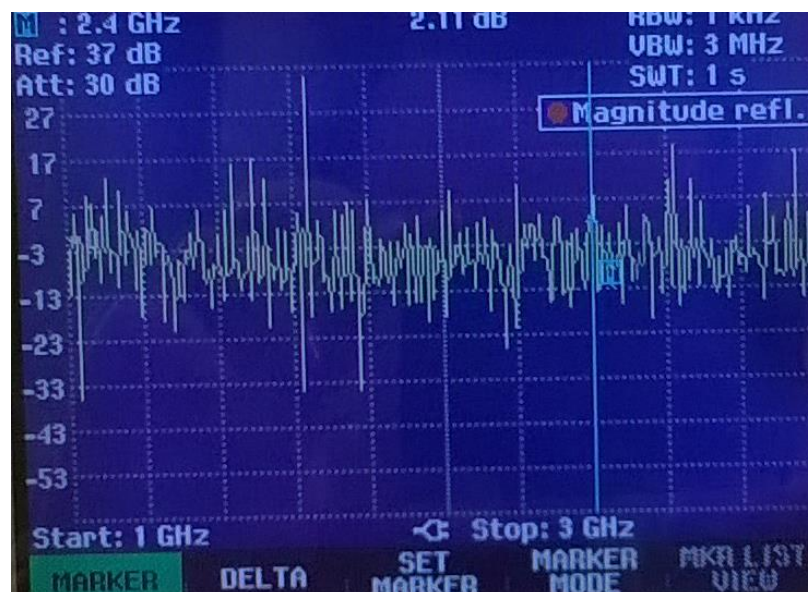
Obrázek 25 Měření při zapnutém vysílači

Mezi měřeními byla provedena kalibrace pro kmitočet 2,4 GHz a vyvážení kanálu na vysílači Spektrum. Vysílač byl opět ve stavu, kdy stále vysílal.



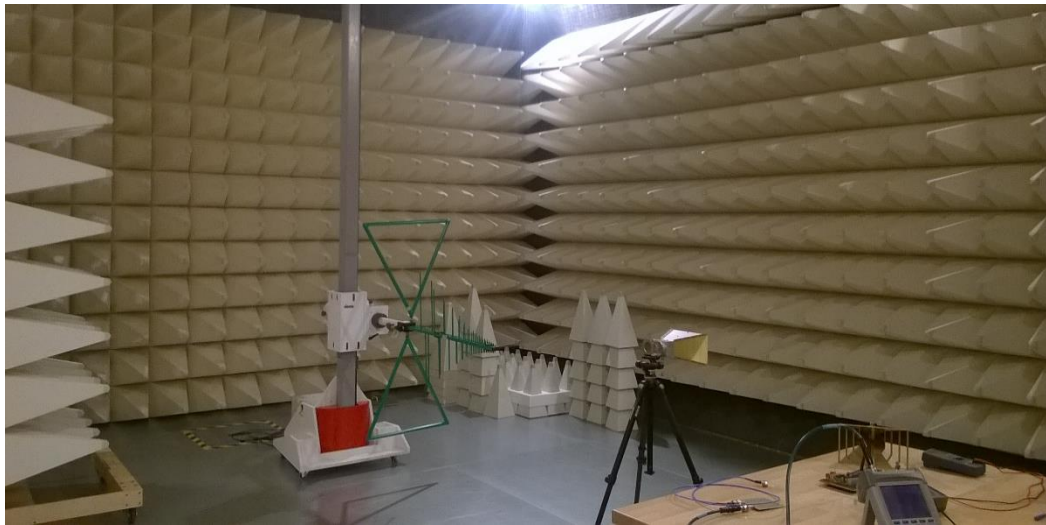
Obrázek 26 Měření úzkého pásma

Následně došlo k výměně antény Rohde & Schwarz FSH3 za Wi-Fi anténu a vyzkoušeno měření s filtrem a bez.



Obrázek 27 Měření s Wi-Fi anténou, bez filtru

Měření probíhala v bezdrazové komoře B235 v prostorách VTP-ICT na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.



Obrázek 28 Bezodrazová komora B235

### 9.3.3 Výsledek měření

S vyrobeným filtrem bylo možné pouze odrušit šum, ovšem v obvodu se tato komponenta nechovala dle očekávání. Nebylo dosaženo dostatečného potlačení ostatních vysílačů v okolí. Měřeními se samotnou Wi-Fi anténou bylo zjištěno, že se v blízkosti nachází velmi silný vysílač na kmitočtu 850 MHz. Opět však nedošlo k dostatečnému potlačení zdrojů v okolí. Při kombinaci Wi-Fi antény a filtru byl výsledek stejný, jako při měření s anténou Rohde & Schwarz FSH3 a propustí.

Možným důvodem neúspěchu může být i špatná výroba filtru. Nejefektivnějším řešením by bylo vyrobit filtr nový, případně propust navrhnout zcela znovu. Z důvodu časového presu však toto nebylo možné realizovat.

## ZÁVĚR

Vzhledem k nárůstu provozu dronů během posledních let dochází také k pronikání těchto zařízení do oblastí kde musí být jejich provoz regulován. Práce se zabývá zejména jak těmto jevům zamezit z technického hlediska.

V teoretické části byly nejprve popsány jednotlivé kmitočty používané pro bezpilotní prostředky a jejich specifika, prostor byl také věnován jejich hardwarové charakteristice a připojení k dalším částem zařízení. Následně byly popsány současné pohony těchto zařízení a osvětlení fungování těchto komponent z fyzikálního hlediska. V další části došlo k shrnutí legislativ, jež jsou platné v EU a ČR pro drony a bezpilotní zařízení, šlo nejen o souhrn platných předpisů ale také i o legislativu jež vstoupí v platnost v průběhu následujících let. Tato část byla doplněna ještě o kategorizaci bezpilotních strojů z hlediska úřadů. Aby byla práce rozsáhlejší, došlo v dalších dvou kapitolách k popsání metod detekce a zneškodnění bezpilotních prostředků. Část práce se věnuje i necivilní problematice této oblasti. Na závěr došlo k shrnutí současného stavu zabezpečení proti dronům v ČR. Do této části byla zařazena i nákladová analýza.

Praktická část byla věnována nejprve popisu kmitočtových filtrů. Byly popsány jednotlivé druhy těchto komponent a metody jejich návrhu. Závěrečná část je věnována výrobě filtru pro pásmo 2,4 GHz, které je v současnosti využíváno právě pro provoz dronů.

Samotné vytvoření měřicího pracoviště nebylo snadné, zejména pro fakt, že bylo nutné mezi sebou propojit mnoho komponent, z nichž mnohé měli rozdílné konektory. Také bylo nutné vhodně zkalibrovat spektrální analyzátor.

Při měření bylo využito kombinace vyrobeného filtru a měřicí antény. Pro rozšíření měření byla ještě použita Wi-Fi anténa. Výsledkem měření je zjištění faktu že filtr nebyl schopen dostatečného potlačení ostatních kmitočtů.

Je velmi pravděpodobné, že iniciativa pro regulaci provozu bezpilotních prostředků bude ještě sílit. Paralelně k ní však budou vznikat řešení pro efektivnější obranu proti bezpilotním prostředkům. Je možné že zařízení, jež jsou schopna detekce dronů, budou postupem času umísťována stále časteji do dohledových center. Také je pravděpodobné že s inkrementem poptávky po těchto zařízeních začne klesat i jejich cena. Z pohledu zajištění prostoru nad rodinnými domy a městskou zástavbou není možné vývoj spolehlivě odhadnout.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Due to the increase traffic of drones during recent years there are also problems with a penetration of the device into regions where their operation must be regulated. The work deals mainly how to prevent these problems from a technical perspective.

The theoretical parts first described various frequencies bands used for unmanned aerial vehicles and their specifics, space was also dedicated their hardware characteristics and connections to other parts of the device. Subsequently, there was a describe current engines using in this vehicles and these components have also been described from the physical viewpoint. The other part was a summary of the laws which are applicable in the EU and the Czech Republic for the drones and unmanned device that was not just a summary of the regulations but also part describing proposals for next years. This part was accompanied by categorizing drones from the perspective of state. To make the job more extensive, work accuring in the next two chapters to describe the methods of detection and destruction of UAVs. Part of the work is devoted to non-civil issues of the branch. In conclusion, there was a summary of the current state of security against drones in the country. To this section was incorporate and cost analysis.

The first parth a practical part is devoted to describing a filtros. Describing different kinds of these components and their design. The final section is devoted to the production of filter for 2.4 GHz band, which is currently being used to operate drones.

The create measuring workplace was not easy, especially for the fact that it was necessary to connected together many components, many of them have different connectors. It was also necessary to properly calibrate the spectrum analyzer.

For measuring was a used a combination of produced filter and Wi-Fi antenna. These measurements showed that separate the individual frequencies is not easy.

Probably initiative for regulation of the UAVs will be even more so. Parallet to it, however, will emerge solutions to effectively defend againts an UAVs. Devices for detecting drones will be added to sureillance centers, that is very probably. It is also likely the increment of demand of these devices begin a drop their price. From the viewpoint of securing the space of single-family homes and urban development is not possible to reliably estimate development.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. JANČÁR, Rostislav. Z revolučního bezpilotního letounu X-47B se má stát letecký soumar. *Technet* [online]. 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/revolucni-bezpilotni-letoun-x-47b-dqj-/vojenstvi.aspx?c=A160202\\_190657\\_vojenstvi\\_rja](http://technet.idnes.cz/revolucni-bezpilotni-letoun-x-47b-dqj-/vojenstvi.aspx?c=A160202_190657_vojenstvi_rja)
2. KOUT, Pavel. Průzkumné bezpilotní prostředky. *Army.cz* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=1389>
3. KRUŽÍK, Jan. Drony zabíjejí a občas nikdo neví koho. Přesnější zbraně však nikdy nebyly. *Technet* [online]. 2013 [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/bezpilotni-letouny-drony-cia-zabiji-i-nezname-lidinbc-newsp41-/vojenstvi.aspx?c=A130606\\_162948\\_vojenstvi\\_kuz](http://technet.idnes.cz/bezpilotni-letouny-drony-cia-zabiji-i-nezname-lidinbc-newsp41-/vojenstvi.aspx?c=A130606_162948_vojenstvi_kuz)
4. MINAŘÍK, Petr. Blíží se konec „svobodného“ létání s drony v Evropě? *Droncentrum*[online]. 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/blizi-se-konec-svobodneho-letani-s-drony-v-evrope/>
5. NOVOTNÝ, Jiří. Čeká se na tragédii? Malé drony nikdo nekontroluje. *Novinky.cz*[online]. 2015 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/domaci/364519-ceka-se-na-tragedii-male-drony-nikdo-nekontroluje.html>
6. *Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu*. Praha: Český telekomunikační úřad, 2014, 20 s. Dostupné také z: [https://www.ctu.cz/cs/download/oo/rok\\_2014/vo-r\\_10-05\\_2014-03.pdf](https://www.ctu.cz/cs/download/oo/rok_2014/vo-r_10-05_2014-03.pdf)
7. BOROVIČKA, Petr. *Konstrukce podvozku pro letecké RC modely* [online]. Zlín, 2009 [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8121/borovi%C4%8Dka\\_2009\\_bp.pdf?s%20equence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/8121/borovi%C4%8Dka_2009_bp.pdf?s%20equence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. David Sámek, Ph.D.

8. RYDVAL, Slavomír. Princip a fungování GPS. *NaWEBka*[online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2005110301>
9. KUBÍNEK, R a J KNOPOVÁ. *ABC Leteckého modelářství*. Praha: Naše vojsko, 1964, 205 s.
- 10 OS MAX 25FX (20D). PELIKAN DANIEL[online]. 2013 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=68921>
- 11 KUSSIOR, Zdeněk. Princip vytváření tahu.Letecké motory [online]. 2002 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-01.php>
- 12 PBS Velká Bíteš. *Proudový motor TJ 20* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.pbsvb.cz/zakaznicka-odvetvi/letectvi/letecke-motory/proudovy-motor-tj-20>
- 13 VŠETIČKA, Martin a Jaroslav REICHL. Raketový motor. Encyklopedie fyziky [online]. 2008 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/619-raketovy-motor>
- 14 *Doplněk X - Bezpilotní systémy: Předpis L 2*. ÚSTAV PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, 2014, 6 s. Dostupné také z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- 15 NETÍK, Rudolf. *Návrh pulzačního motoru* [online]. Plzeň, 2013, 43 s. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/7784/Navrh%20pulzacniho%20motroru.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni - Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Roman Kašpar.
- 16 Rozdělení vzdušného prostoru. *Akademický aeroklub ČVUT* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://aa.fd.cvut.cz/wp-content/uploads/2013/06/pravidla-letani.pdf>



- 17 LARDINOIS, Frederic. What The FAA Wants You To Know Before You Fly Your Drone. *TechCrunch* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: <http://techcrunch.com/2014/12/22/what-the-faa-wants-you-to-know-before-you-fly-your-drone/>
- 18 Unmanned Aircraft Systems (UAS) Registration. Federal Aviation Administration [online]. 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/uas/registration/>
- 19 *Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 216/2008: L 79/1*. Evropský parlament, 2008, 49 s.
- 20 EASA. Proposal to create common rules for operating drones in Europe. 2015, 8 s. Dostupné také z: [https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/205933-01-EASA\\_Summary%20of%20the%20ANPA.pdf](https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/205933-01-EASA_Summary%20of%20the%20ANPA.pdf)
- 21 KUSALA, Jaroslav. Radar a jeho využití. *Army.cz* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: [http://www.army.cz/images/id\\_8001\\_9000/8753/radar/radar.htm](http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/radar.htm)
- 22 LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management III*. Zlín: VeR-BuM, 2013, 456 s. ISBN 978-80-87500-35-4.
- 23 HONZÍREK, Jan. *Detekce provozu digitálních radiomikrofonů pomocí výkonového detektoru NRP-Z2* [online]. Zlín, 2012, 57 s. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23216/honz%C3%ADrek\\_2012\\_bp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23216/honz%C3%ADrek_2012_bp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Stanislav Goňa, Ph.D.
- 24 Měřič výkonu NRP - uživatelský manuál. Mnichov. Rohde-Schwarz. Dostupné z [www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)
- 25 RAUSCHER, Christoph. *Fundamentals of Spectrum Analysis*. München: Rohde&Schwarz GmbH&Co., 2001. ISBN 978-3-939837-01-5.
- 26 PIGULA, Tomáš. Kdy nám teroristé ukradnou vojenské drony? Dřív, než myslíte!.

- . ZOOM Prima [online]. 2014 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://zoom.iprima.cz/clanky/kdy-nam-teroriste-ukradnou-vojenske-drony-driv-nez-myslite>
- 27 RUSSON, Mary-Ann. Nasa hack: AnonSec attempts to crash \$222m drone, releases secret flight videos and employee data. International Business Times [online]. 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.ibtimes.co.uk/nasa-hack-anonsec-attempts-crash-222m-drone-releases-secret-flight-videos-employee-data-1541254>
- 28 MINAŘÍK, Petr. Nový malware dokáže „sestřelit“ letící drony. Droncentrum[online]. 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/novy-malware-dokaze-sestrelit-letici-drony/>
- 29 Americký DroneDefender proti soukromým dronům. REDAKCE. SECURITY MAGAZÍN [online]. 2015 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.securitymagazin.cz/technologie/ochrana-pred-soukromymi-drony-resenim-je-americky-dronedefender-1404047708.html>
- 30 GROHMANN, Jan. XM109: Odstřelovači proti bezpilotním letadlům. Armádní noviny[online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/xm-109-odstrelovaci-proti-bezpilotnim-letadlum.html>
- 31 ŽALUD, Václav. *Moderní radioelektronika*. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 656 s. ISBN 80-860-5647-3.
- 32 SUCHÁNEK, Tomáš. *Kmitočtový filtr* [online]. Brno, 2009, 45 s. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=177](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=177)
38. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Ladislav Káňa.
- 33 HÁJEK, Karel a Jiří SEDLÁČEK. *Kmitočtové filtry*. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 535 s. ISBN 80-730-0023-7.
- 34 LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management II*. Zlín: VeR-

- BuM, 2012, 387 s. ISBN 978-80-87500-19-4.
  - 35 GAJDOŠÍK, Libor. *Návrh analogových filtrů*. Praha: BEN - technická literatura,
    - 2013, 239 s. ISBN 978-80-7300-4.
  - 36 THREE-POLE HAIRPIN-LINE MICROSTRIP BANDPASS FILTER
    - MODELING. *EMCoS* [online]. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z:  
[http://www.emcos.com/docs/Application\\_Note\\_Three-pole\\_Hairpin-line\\_Microstrip\\_Bandpass\\_Filter\\_Modeling.pdf](http://www.emcos.com/docs/Application_Note_Three-pole_Hairpin-line_Microstrip_Bandpass_Filter_Modeling.pdf)
  - 37 HORKÝ, Stanislav. *Nízkošumový zesilovač pro pásmo UHF*[online]. Brno, 2013,
    - 60 s. [cit. 2016-05-29]. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=69896](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=69896).
96. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Kasal, CSc.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ES	Nařízení Evropského parlamentu a rady EU.
ČR	Česká republika.
GPS	Globální systém pro zjištění geografické polohy.
RX	Zkratka pro pin recieved, který slouží pro vstup dat do zařízení.
TX	Zkratka pro pin transmited, který slouží pro odeslání dat ze zařízení.
ČR	Česká republika.
GPS	Globální polohovací systém.
ČTU	Český telekomunikační úřad.
OTP	Obranně technická prohlídka.
LCD	Zobrazovací zařízení tvořeno tekutými krystaly.
EU	Evropská únie.
USA	Spojené státy americké.
EASA	Evropský úřad pro civilní letectví.
NASA	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku, vládní agentura USA.
ÚCL	Úřad pro civilní letectví.
IZS	Integrovaný záchranný systém.
RC	Dálkové ovládání.
Wi-Fi	Soubor několika standartů pro bezdrátovou komunikaci.
UK	Spojené království.
CCD	Elektronická součástka používaná pro snímání obrazu.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Vysílač na pásmu 433 MHz připojený ke kitu Arduino.....	13
Obrázek 2 Dvoutaktní spalovací motor pro RC letadla [10] .....	16
Obrázek 3 Proudový motor z produkce PBS Velká Bíteš [12].....	17
Obrázek 4 Pulzační motor [15] .....	18
Obrázek 5 Radar[21].....	26
Obrázek 6 Dron Global Hawk sloužící agentuře NASA[27] .....	30
Obrázek 7 Barrett XM109[30].....	31
Obrázek 8 Ideální filtr typu dolní propusti[32].....	35
Obrázek 9 Ideální filtr typu horní propusti[32] .....	36
Obrázek 10 Ideální filtr typu pásmové propusti[32].....	36
Obrázek 11 Ideální filtr typu pásmové zádrže[32] .....	37
Obrázek 12 Mikropáskový filtr[23].....	39
Obrázek 13 Harpin-Line Bandpass filtr[36] .....	42
Obrázek 14 Interdigitální filtr[37] .....	43
Obrázek 15 Nakreslený motiv na Cuprextitu .....	44
Obrázek 16 Filtr po vyleptání a osazení konektory .....	45
Obrázek 17 Vysílač, přijímač a Motor Driver .....	46
Obrázek 18 Anténa Rohde & Schwarz HF 906 .....	46
Obrázek 19 Grafické znázornění první konfigurace.....	47
Obrázek 20 Celkový pohled na pracoviště .....	47
Obrázek 21 Pracoviště s Wi-Fi anténou a filtrem.....	48
Obrázek 22 Grafické znázornění měřících kombinací využívajících Wi-Fi anténu.....	48
Obrázek 23 Kalibrace přístroje Rohde & Schwarz FSH3 .....	49
Obrázek 24 Detekce okolních zdrojů.....	50
Obrázek 25 Měření při zapnutém vysílači .....	50
Obrázek 26 Měření úzkého pásma.....	51
Obrázek 27 Měření s Wi-Fi anténou, bez filtru .....	51
Obrázek 28 Bezodrazová komora B235 .....	52