VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI VNĚJŠÍHO PERIMETRU

INCREASING THE SAFETY OF THE OUTSIDE PERIMETER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Jiří Janoušek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Petr Marcoň, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**
Ústav telekomunikací

Student: Bc. Jiří Janoušek ***ID:*** 154744
Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Zvýšení bezpečnosti vnějšího perimetru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti zvýšení bezpečnosti vnějšího perimetru nemovitého objektu se středně členitou dispozicí. Navrhněte poloautomatický/poloautomatizovaný systém, který pomůže hlídací službě zvýšenou mírou jistoty zabezpečit prostory, které patří do kategorie s vyšší mírou bezpečnostního rizika. Práce rozdělte na několik částí. V první části klasifikujte a popište parametry prostor jak z urbanistického tak bezpečnostního pohledu, dále na těchto parametrech stanovte obvyklá/zákonem stanovená rizika ohrožení a opatření pro jejich eliminaci. V další části proveďte rešerši možnosti ochrany, dozoru nebo hlídání vnějšího perimetru chráněného objektu s ohledem na vazbu systému, prostředků ochrany vnitřního perimetru objektu. V další části navrhněte a realizujte prvek pro zvýšení bezpečnosti jako poloautomatický/poloautomatizovaný adaptivní bezpečnostní prostředek navazující na stávající bezpečnostní systém nebo jako prvek, který je schopen pracovat jako samostatná nadstandardní součást bezpečnostního systému. Tento systém a možnosti vazeb, rizika a výhody popište. Proveďte nutné experimenty k ověření odolnosti navrženého prvku, jako přílohu práce připojte stručný manuál.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.

[2] BRZYBOHATÝ, Marian. Terorismus. Praha: Police History, 1999. ISBN 8090267041.

Termín zadání: 1.2.2017 ***Termín odevzdání:*** 24.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Petr Marcoň, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:
Autor diplomové práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou zvýšení bezpečnosti vnějšího perimetru. V teoretické části jsou popsány parametry prostorů se zvýšenými bezpečnostními riziky, pro tyto prostory jsou stanovena rizika ohrožení a opatření na jejich eliminaci. Dále je rozebrán pojem „bezpilotní letoun“ a možnosti jeho využití. Praktická část obsahuje postup stavby bezpilotního letounu a jeho konfiguraci za účelem střežení perimetru a také návrh a realizaci automatické nabíjecí stanice pro bezpilotní letoun. Poslední částí práce je stručný manuál popisující správné zacházení s vytvořeným systémem.

Abstract

This thesis deals with increasing the safety of the external perimeter. The theoretical part describes the parameters of areas exhibiting an increased safety risk. For these spaces, relevant safety hazards and corresponding elimination methods are determined. Then, the term "drone" is analyzed in the context of its applicability. The practical section characterizes the process of building and configuring unmanned aircraft to guard the perimeter and the designing and fabrication of an automatic charging station for the aircraft. The final part of the thesis is a brief manual describing correct handling of the created system.

Klíčová slova

Zabezpečení prostorů, bezpečnostní rizika, bezpilotní letoun, hexakoptéra, nabíjecí stanice.

Keywords

Security areas, safety risks, unmanned aircraft, hexacopter, charging station.

Citace

JANOUŠEK, J. *Zvýšení bezpečnosti vnějšího perimetru.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Marcoň, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Zvýšení bezpečnosti vnějšího perimetru“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonu (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 22.5.2017 .....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Marcoňovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc. Také bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Bohumilu Královi, CSc. za další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 22.5.2017 .....

(podpis autora)

Faculty of Electrical Engineering
and Communication

Brno University of Technology
Technicka 12, CZ-61600 Brno, Czechia

http://www.six.feec.vutbr.cz

Výzkum popsaný v této diplomové práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

Obsah

Úvod 11

1 Prostory se zvýšenými bezpečnostními riziky 13

1.1 Bezpečnostní rizika 14

1.2 Možná rizika ohrožení při narušení perimetru 14

1.3 Zákony o skladování nebezpečných předmětů 16

2 Možnosti zabezpečení perimetru 18

2.1 Klasická ochrana 18

2.1.1 Obvodová ochrana 18

2.1.2 Plášťová ochrana 18

2.2 Perimetrická ochrana 19

2.3 Elektrický zabezpečovací systém 19

2.4 Fyzická ochrana 20

2.5 Režimová ochrana 21

3 Poloautomatický systém 22

3.1 Bezpilotní letoun 22

3.2 Legislativa pro bezpilotní létání 23

4 Hexakoptéra 25

4.1 Kostra 25

4.2 Pohon a regulace 27

4.3 Napájení 28

4.4 Řídící jednotka a připojené moduly 28

4.5 Ovládací zařízení 31

4.6 Konfigurace řídící jednotky 31

4.6.1 Nahrání a nastavení firmwaru 32

4.6.2 Kalibrace kompasu a akcelerometrů 33
4.6.3 Nastavení rozsahů vysílače a kalibrace regulátorů 34
4.6.4 Letové režimy 35
5 Nabíjecí stanice 37
5.1 Nabíjecí soustava 37
5.2 Inteligentní řízení nabíjení 38
5.3 Přesné přistávání 41
5.4 Dokonalejší nabíjecí stanice 45
6 Obsluha poloautomatického systému 46
6.1 Plánování letu 46
6.2 Start bezpilotního letounu 48
6.3 Kontrola nabíjení 50
7 Závěr 51
Seznam použitých zdrojů 53
Seznam použitých zkratek 55
Seznam příloh 56

Seznam obrázků

Obr. 1: Stupně rizika objektů [4].
Obr. 2: Blokové schéma elektrického zabezpečovacího systému (EZS).
Obr. 3: Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy [18].
Obr. 4: Sestavený rám pro hexakoptéru.
Obr. 5: Zvolený motor typ X2212 připojený k regulátoru otáček.
Obr. 6: Ukázka zapojení modulů do řídící jednotky Pixhawk.
Obr. 7: Vysílač Turnigy s přijímačem.
Obr. 8: Možné tvary uspořádání motorů pro hexakoptéry.
Obr. 9: Grafické znázornění kalibrace kompasu.
Obr. 10: Nastavení maximálních rozsahů vysílače.
Obr. 11: Uchycení konektoru na hexakoptéře: a) návrh modelu b) realizace.
Obr. 13: Blokové schéma nabíjecí soustavy.
Obr. 14: Vývojový diagram programu řídící jednotky pro nabíjecí stanici.
Obr. 15: Webová stránka s informacemi o nabíjecí stanici.
Obr. 16: Informace o poloze matice diod získané řídící jednotkou Pixhawk.
Obr. 17: Plánování trasy letu v softwaru Mission Planner.
Obr. 18: Signalizační stavy řídící desky Pixhawk.

Seznam tabulek

Tab. 1: Kritéria pro určení prvku kritické infrastruktury [3].
Tab. 2: Definované hodnoty parametru HDOP [20].

Seznam grafů

Graf 1: Znázornění závislosti parametru HDOP na počtu připojených družic.
Graf 2: Znázornění přesnosti přistávání pomoci GPS modulu.
Graf 3: Znázornění přesnosti přistávání pomoci IR-LOCK senzoru.

Úvod

V posledních letech dochází ke zhoršování bezpečnostní situace ve světě a řešení krizových stavů je tedy věnována stále větší pozornost. Opakované teroristické útoky, napadení, ale i krádeže zbraní, střeliva nebo nebezpečných látek nutí firmy i veřejnou správu k preventivním opatřením, která by předcházela vzniku mimořádných událostí. Nelze ani vyloučit zcela neočekávané havárie jako byl například v nedávné době výbuch muničních skladů ve Vrběticích, kde vybuchlo několik desítek tun výbušnin a munice. S ohledem na tyto události a jejich možné následky je nutné kvalitně zabezpečit prostory, kde jsou zvýšená rizika krizových událostí. Areály takovýchto prostorů bývají často velmi rozlehlé a otázkou tedy je, jakým způsobem hlídat vnější hranice perimetru. Pro zamezení přístupu nepovolaným osobám do takto nebezpečných areálů je nutné použít několik vzájemně propojených systémů zabezpečení. Způsoby zabezpečení jsou stále vylepšovány a je u nich snaha co nejvíce eliminovat selhání lidského faktoru při ostraze. Přesto se u zabezpečení areálů bez zásahu člověka nelze obejít a stále se využívají hlídací služby.

Cílem této diplomové práce je tedy navrhnout poloautomatický systém, který pomůže hlídací službě se zvýšenou mírou jistoty zabezpečit prostory, které patří do kategorie s vyšší mírou bezpečnostního rizika. Vhodným prostorem pro testování tohoto systému budou některé firmy koncernu Sedlecký kaolín a.s., kde hlídání perimetru má klíčový význam. Jsou to jednak povrchové doly v oblasti Božičan a Únanova, kde je třeba střežit dobývací prostory a jednak sklady rizikového materiálu a celý areál speciální zkušebny zbraní a munice v Brně.

Diplomová práce je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole jsou podrobněji rozebrány prostory se zvýšenými bezpečnostními riziky. Dále je v této kapitole popsáno, jaká bezpečnostní rizika mohou v těchto prostorech nastat a jak jsou rozděleny prvky kritické infrastruktury. Také jsou v této kapitole zahrnuta potřebná zákonem stanovená nařízení pro dodržení bezpečného zacházení s výbušninami, zbraněmi a nebezpečnými látkami. Samostatná kapitola je věnována možným způsobům vedoucím k zabezpečení perimetru. Tato kapitola obsáhne také způsoby zabezpečení od klasické ochrany zábranou, přes elektrické zabezpečovací systémy, až k fyzické ochraně.

Protože se dnes bezpilotní letadla začínají velmi rychle integrovat do běžného života, hlavní prvek systému pro zabezpečení prostoru bude v této práci dron, přesněji hexakoptéra, která by měla zajistit vysokou spolehlivost celého systému. V práci bude definováno, co je možné si představit pod pojmem „bezpilotní letoun“ a přiblíženo, jaká jsou jeho možná využití. Vysvětlena jsou také legislativní omezení nezbytná pro provoz hexakoptéry.

Hlavní část práce bude věnována výběru vhodných komponent pro hexakoptéru a samotné realizaci hardwaru poloautomatického systému. Dále také nezbytným softwarovým nastavením pro správnou funkci letounu. Poté bude popsán návrh a konstrukce řešení nabíjecí stanice. Ta přispěje k automatizaci celého systému a obsluze hexakoptéry, usnadní zacházení se systémem a tím jí dovolí plně se věnovat bezpečnostním hlediskům.

V závěru diplomové práce bude věnována samostatná kapitola popisu zacházení s vytvořeným poloautomatickým systémem a potřebným krokům vedoucím ke správné obsluze. Tato kapitola bude tvořena jako stručný manuál.

1 Prostory se zvýšenými bezpečnostními riziky

K nedovolenému narušení prostorů a ohrožení bezpečnosti dochází dnes prakticky v každém státu. Nezáleží, zda jsou to soukromé objekty nebo veřejné prostory se zvýšenou mírou bezpečnostního rizika. Mohou to být místa s velkou koncentrací lidí, jako jsou turistické cíle, velké kulturní a sportovní akce, prostředky hromadné dopravy, letiště apod. Při narušení bezpečnosti na těchto místech může následně docházet k ohrožení lidských životů a zdraví nebo také k oslabení kritické infrastruktury státu. Důležité je propojení spolupráce mezi bezpečnostními složkami a soukromým sektorem, zejména u subjektů, které nakládají s nebezpečnými látkami a také provozů, které by mohly být terčem krádeží, napadení nebo i teroristického útoku [1].

Do prostorů, které mají vyšší míru bezpečnostního rizika a u kterých je snaha o co nejkvalitnější zabezpečení, patří mimo jiné i prostory firem spadající do koncernu Sedlecký kaolín a.s., zabývajících se převážně těžbou nerudných surovin a jejich následným zpracováním.

Do tohoto koncernu patří celkem dvanáct závodů a společností. Nejvýznamnější surovinou je kaolín, který je využíván pro výrobu keramiky, papíru a stavebních materiálů. Těžba kaolínu podléhá stejně jako těžba kamene nebo uhlí dohledu Českého báňského úřadu. Kaolín se těží v povrchových dolech, kde je možné riziko závalů nebo ujíždění svahů. Proto je velmi důležité dbát na zvýšenou bezpečnost nejenom přímo v místě těžby, ale i v bezprostředním okolí dobývacího prostoru. Jelikož areály povrchových dolů nebo lomů dosahují velké rozlohy, je velmi náročné tyto prostory dostatečně zabezpečit.

Firmou patřící do koncernu je také společnost Prototypa a. s., která je výrobcem diagnostické techniky pro balistické laboratoře a disponuje zkušebnou civilních i vojenských zbraní a munice až do ráže 37 mm. Jelikož se v této společnosti manipuluje se zbraněmi a municí, není možné spoléhat pouze na klasické metody ostrahy, zábrany a zabezpečovací zařízení, ale počítá se i s dalšími, zákonem podloženými bezpečnostními opatřeními [2].

1.1 Bezpečnostní rizika

Objekty lze rozdělit do několika úrovní, označované jako stupně rizika objektů, podle jejich typu a zaměření a podle toho jaké vyžadují zabezpečení. Nejnižší stupeň zastupují domácnosti, běžné rekreační objekty, chaty a neveřejné soukromé prostory. Do druhého stupně patří veřejné prostory, jako jsou restaurace, knihovny nebo obchody s běžným zbožím. Střední až vysoké bezpečnostní riziko mají obchody s drahým nebo nebezpečným zbožím, například elektronika, šperky a lékárny, dále muzea a archívy. Nejvyšší stupeň rizika zastupují prodejny nebo sklady chemikálií, zbraní, střeliva a trhavin, banky, dále budovy státní správy, samosprávy (soudy, policejní budovy, budovy armády), budovy vlády, senátu, zastupitelství, velvyslanectví. Rozdělení rizik je znázorněno na obr. 1 [3].

Obr. 1: Stupně rizika objektů [4].

1.2 Možná rizika ohrožení při narušení perimetru

Chránění potencionálních cílů útoků je snahou o předejití vzniku rizik z důvodu nežádoucího narušení perimetru. Špatná ochrana a zabezpečení chráněných perimetrů by mohla mít za následek vznik nežádoucích situací, kterými může být ohrožení kritické infrastruktury státu nebo zneužití chemických, biologických, radioaktivních látek, jaderných materiálů a výbušnin. Ohrožení kritické infrastruktury by mělo závažný dopad na bezpečnost státu, zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva, zdraví osob

nebo ekonomiku státu. Nařízení vlády o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury z roku 2010 ve Sbírce zákonů č. 432/2010 rozděluje odvětvová kritéria pro určení prvku kritické infrastruktury do devíti ucelených odvětví podle typu služeb. Jsou to oblasti v odvětvích energetika, vodní hospodářství, potravinářství a zemědělství, zdravotnictví, doprava, komunikační a informační systémy, finanční trh a měna, nouzové služby a veřejná správa. Tato odvětví se dělí na poskytované produkty nebo služby rozdělené v tab. 1 [3].

Tab. 1: Kritéria pro určení prvku kritické infrastruktury [3].

Kritérium	Odvětví	Produkt nebo služba
I.	Energetika	A. Elektřina B. Zemní plyn C. Ropa a ropné produkty D. Centrální zásobování teplem
II.	Vodní hospodářství	A. Zásobování vodou B. Úprava vody C. Vodní díla
III.	Potravinářství a zemědělství	A. Rostlinná výroba B. Živočišná výroba C. Potravinářská výroba
IV.	Zdravotnictví	A. Zdravotnická zařízení
V.	Doprava	A. Silniční doprava B. Železniční doprava C. Letecká doprava D. Vnitrozemská vodní doprava
VI.	Komunikační a informační systémy	A. Pevné sítě B. Mobilní sítě C. Rozhlasové a televizní vysílání D. Satelitní komunikace E. Poštovní služby F. Informační systémy G. Kybernetická bezpečnost
VII.	Finanční trh a měna	A. Činnost České národní banky B. Poskytování bankovních a poštovních služeb
VIII.	Nouzové služby	A. Integrovaný záchranný systém B. Radiační monitorování C. Předpovědní, varovná a hlásná služba
IX.	Veřejná správa	A. Veřejné finance B. Sociální ochrana a zaměstnanost C. Ostatní státní správa

1.3 Zákony o skladování nebezpečných předmětů

S výskytem velkého počtu nepovoleného narušení perimetru byla stanovena nařízení a zákony na skladování a manipulaci s nebezpečnými látkami a výbušninami. Osoby nebo firmy nakládající s nebezpečnými látkami a výbušninami jsou povinné dodržovat legislativní předpisy. Pravidla pro nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a přípravky jsou ustanovena podle § 44a odst. 10 zákona č. 258/2000 Sb. Pokud využívaná chemická látka spadá do skupiny vysoce toxických, toxických, žíravých, karcinogenních, mutagenních a toxických pro reprodukci, musí být sepsána pravidla o bezpečnosti, ochraně zdraví a ochraně životního prostředí. Pravidla musí obsahovat informace, které napomáhají zaměstnancům v případě potřeby okamžitě zjistit nebezpečné vlastnosti látek, jak postupovat při první předlékařské pomoci a jak zajistit ochranu zdraví a životního prostředí [5].

Nakládání s pyrotechnickými výrobky spadá pod zákon z roku 2015, č. 206/2015 Sb. Zákon o pyrotechnických výrobcích a zacházení s nimi a o změně některých zákonů (zákon o pyrotechnice). Tento zákon se nevztahuje na skladování výbušnin. Pravidla pro skladování výbušnin jsou určena vyhláškou Českého báňského úřadu č. 99/1995 Sb. z roku 1995. Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě č. 61/1988 Sb. zpracovává podmínky pro provádění hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem, podmínky pro nakládání s výbušninami a výbušnými předměty, podmínky pro bezpečné provozování podzemních objektů, pro bezpečnost a ochranu zdraví osob, bezpečnost provozu a ochranu pracovního prostředí a organizaci a působnosti orgánu báňské správy [6], [7], [8].

Neméně důležitým zákonem, který je v současné době nejvíce diskutován je zákon o střelných zbraních a střelivu č. 119/2002 Sb., který upravuje kategorie střelných zbraní a střeliva a podmínky pro nabývání, držení, nošení, používání zbraní nebo střeliva. Je kladen důraz na dodržování těchto zákonů, které vedou k zajištění bezpečnosti a dostatečné ochrany zdraví [9].

Podle vyhlášky Českého báňského úřadu o skladování výbušnin se výbušniny řadí dle nebezpečí chování při výbuchové přeměně na:

- Trhaviny – používají se jako náplň do dělostřelecké munice, granátů nebo k trhacím pracím. Detonace je iniciovaná rozbuškou. Samotné trhaviny jsou poměrně bezpečné při zvýšené teplotě a nárazech.
- Třaskaviny – využití jako náplň rozbušek. Mají velmi rychlý přechod k detonaci při neopatrné manipulaci.
- Střeliviny – slouží především pro udělení pohybové energie střelám v hlavňových zbraních. Jedná se o prachovou náplň nábojů.
- Pyrotechnické složе – využití v zábavní pyrotechnice. Jsou to mechanické směsi hořlaviny a dalších látek podle potřeby požadovaného účinku [10].

Podle druhu skladovaných výbušnin se také označují příslušnou třídou a skupinou nebezpečí sklady výbušnin. Technická dokumentace skladu výbušnin musí mít tedy označení třídy a skupiny nebezpečí. Vyhláška obsahuje také potřebné technické parametry, jaké musí sklad výbušnin obsahovat. Také jsou definovány zásady pro výstavbu skladu. Sklad musí být budován jako jednopodlažní. Jednotlivé stavební části skladu musí být odolné proti násilnému vniknutí. Vstup do skladu je zajištěn mechanickým zábranným systémem a násilné vniknutí do skladu je nutné detekovat elektronickou zabezpečovací signalizací, která musí být součástí skladu. Sklad se musí nacházet v oploceném prostoru nebo být samostatně oplocen. Kolem skladu musí být požární pruh široký nejméně 5 m. Musí být také zajištěná příjezdová cesta pro příjezd požárních a sanitních vozidel [11].

2 Možnosti zabezpečení perimetru

Cílem zabezpečení objektů je eliminace bezpečnostních rizik na minimum, zabránit jakémukoliv vniknutí osobám nebo úniku utajovaných informací. Použitím vhodné kombinace dostupných bezpečnostních prostředků vytvořit prostor se zvýšenou mírou jistoty.

2.1 Klasická ochrana

Klasická ochrana znamená bezpečnostní opatření, která jsou nedílnou součástí objektů. Jsou to mechanická nebo stavební opatření, která ztěžují nebo přímo zabraňují narušení zabezpečeného objektu.

2.1.1 Obvodová ochrana

Obvodová ochrana je první stupeň ochrany, se kterou se útočník setkává při pokusu o vniknutí do střeženého perimetru. Perimetr určuje hranice mezi volně přístupným prostorem a prostorem pozemků nebo budov, za které by se neměla nepovolaná osoba dostat. Ve většině případů se jedná o mechanické zábrany následně doplněné o detekční nebo monitorovací zařízení. Mechanickými prvky mohou být ploty, které jsou vyráběny z materiálů odolných proti běžným nástrojům a bývají zakončeny trny nebo ostnatým drátem. Pro vyšší odolnost se používají palisádové ploty, které odolávají nájezdu automobilů. Pro ochranu vstupů a vjezdů se používají závory nebo turnikety [12], [13].

2.1.2 Plášťová ochrana

Dalším stupněm ochrany po překonání obvodové ochrany je plášťová ochrana. Plášťovou ochranou se rozumí pláště objektů, které jsou součástí hlídaného perimetru a nejčastěji jsou terčem útoků, jelikož skrývají prostředky, ke kterým se narušitelé snaží proniknout. Do pláště objektů spadají všechny stavební části budov (obvodové zdi, střechy, podlahy a veškeré vstupní otvory). Mechanická odolnost proti vniknutí je závislá na kvalitě použitého materiálu, jeho pevnosti, tloušťce a provedení výroby a montáže. Mezi tyto ochranné prvky patří bezpečnostní zámky, otvorové výplně dveří, balkonů, oken, ochranné folie, mříže, rolety, žaluzie [12], [13].

2.2 Perimetrická ochrana

Samotná mechanická ochrana není schopna zabezpečit objekt, proto se jako podpůrná ochrana používají detektory a čidla. Pro perimetrickou ochranu jsou používány plotové detektory, které reagují na mechanické otřesy. Dalším typem detektorů, které mohou být jak součástí plotu nebo mohou být samovolně stojící, jsou přehradné detektory. Obvykle vysílají svazek elektromagnetického záření v mikrovlnném nebo infračerveném pásmu. Velkou výhodou těchto detektorů je velký dosah. Infračervený paprsek se také používá k hlídání vstupů jako závora. Posledním typem jsou detektory reagující na otřesy půdy, které se zakopávají do země podél střežených hranic. Jedním z takovýchto detektorů může být systém takzvaného neviditelného plotu. Což je zařízení umožňující detekovat například chůzi ve vzdálenosti až 100 km pomocí vláken uložených pod zemí. Pro zachycení pohybu na hranicích perimetru se také používají kamerové systémy, vybavené speciálním softwarem umožňujícím nepřetržitý dohled nebo okamžitou detekci se signalizací přesného místa narušení [14], [15].

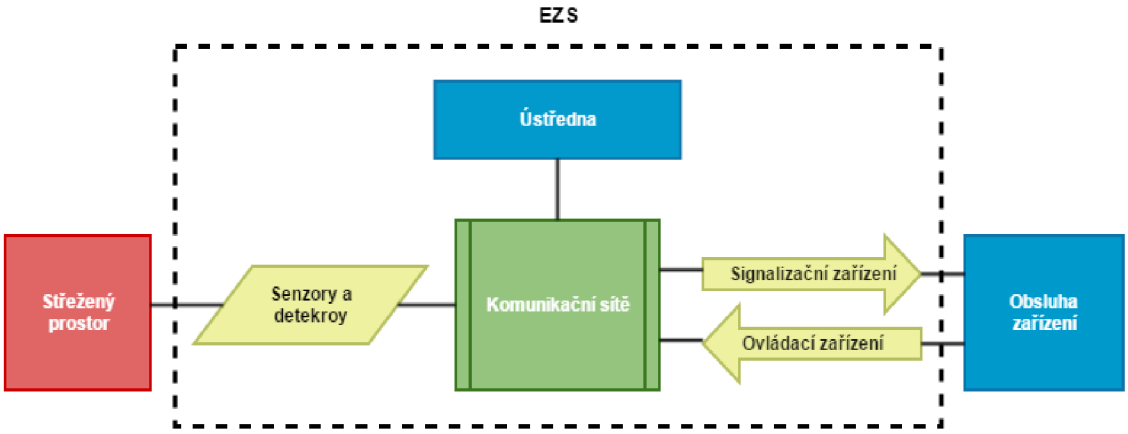
2.3 Elektrický zabezpečovací systém

Elektrický zabezpečovací systém je normou ČSN EN 50 131 definován jako poplachový systém pro detekci a indikaci přítomnosti, vstupu nebo pokusu o vstup narušitele do střežených objektů. Největší výhodou elektrického zabezpečovacího systému je, že umožňuje okamžitou signalizaci a při správném rozmístění také určení přesného místa narušení.

Systém se skládá z několika prvků, které dohromady tvoří celý systém. Jádrem, které řídí celý zabezpečovací systém je ústředna. Stará se o sběr a vyhodnocení dat z detektorů a čidel. Také rozhoduje, na jaký výstup vyšle signál o vyvolání poplachu. K ovládání ústředny se používají klávesnice nebo dotykové obrazovky. Součástí ústředny je také napájecí obvod. Tento obvod buď může napájet celý systém, nebo pouze ústřednu. S tím souvisí přenosová média systému, jednotlivé prvky mohou být připojeny pomocí kabelu, a to do smyček nebo za sebou do sběrnice. Dále se používá adresovatelná bezdrátová komunikace, kde jsou detektory a čidla napájená samostatně z baterií. Prvky systému jsou znázorněny v blokovém schématu na obr. 2.

Pro hlídání otvorů a všech vstupů do budov se používají plášťové senzory. Velmi jednoduchým je magnetický kontakt pro hlídání oken a dveří proti nedovolenému otevření. Pro skleněné plochy se používají kontaktní nebo akustické snímače. Pro samotné pláště budov se instalují vibrační spínače, které detekují možné průchody stěnou, střechou a podlahou.

Pokud by se útočník dostal přes všechna předchozí zabezpečení, narazí na interiérové detektory. Tyto detektory doplňují plášťovou ochranu a střeží prostor uvnitř budov. Instalují se do nejfrekventovanějších částí budov. Nejčastěji jsou používané pasivní infračervené detektory (PIR) založené na snímání teplotních změn v prostoru. Druhým typem jsou ultrazvukové a mikrovlnné detektory. Tyto detektory vysílají kmitočtové vlnění a detekují změny kmitočtu při narušení střeženého prostoru. Pro zlepšení detekce a snížení falešných poplachů se používají detektory, které kombinují více technologií v jednom zařízení. Všechny detektory jsou schopné signalizovat útok na samotné bezpečnostní zařízení, při manipulaci nebo přerušení spojení s ústřednou [14].



Obr. 2: Blokové schéma elektrického zabezpečovacího systému (EZS).

2.4 Fyzická ochrana

Fyzická ochrana je nejčastěji používaným typem bezpečnostní ochrany. Je vykonávána zejména strážní službou, hlídači, bezpečnostním dohledem a ochranným doprovodem. Podle potřebného bezpečnostního stupně je vykonávána vyškolenými zaměstnanci objektu, zaměstnanci bezpečnostních služeb, nebo příslušníky bezpečnostních složek. Bezpečnostní služby a složky, které nemají přímý vztah se střeženou firmou, musí být

informovány o vnitřních směrnicích. Největší výhodou fyzické ochrany je znalost prostředí a vlivů, které mohou nastat na základě předchozích zkušeností. Pracovníci mohou předcházet vzniklým rizikům a rychle reagovat na problémy a zastavit tak útok nebo dopadnout útočníky. Ochrana perimetrů může být prováděna nepřetržitě, obvykle se ale vykonává formou obchůzek, dozorem nad částmi objektu, nebo kontrolovaným vstupem osob a vjezdu vozidel. Z důvodu vyšší bezpečnosti mohou používat osoby vykonávající ostrahu výstroj a výzbroj nebo speciálně vycvičené psy. Pro nejefektivnější zabezpečení je fyzická ochrana kombinována s ostatními typy bezpečnostních ochran [12].

2.5 Režimová ochrana

Do režimové ochrany patří veškerá nařízení, zákony a směrnice upravující pravidla pro vstup, pohyb a odchod osob do objektů. Je kladen důraz na co nejvyšší bezpečnost a co nejpřísnější požadavky na zabezpečení prostor. Vnitřní směrnice stanovují, jak je možné zacházet a kdo může manipulovat s informacemi nebo prostředky. Jsou přijata opatření, která kontrolují pohyb osob, které zajišťují například zásobování a nejsou zaměstnanci. Dále určují pohyb zaměstnanců po areálu nebo dovolují určitým pracovníkům vstup do některých částí budov. Kontrola nad režimovou ochranou je nejčastěji prováděna pracovníky fyzické ochrany nebo prvky elektronického zabezpečovacího systému. Dodržování směrnic a bezpečnostních opatření vede ke správné funkci celého zabezpečovacího systému a eliminuje vznik situací vedoucích k nehodě nebo narušení zabezpečení [13].

3 Poloautomatický systém

Cílem této diplomové práce je navrhnout poloautomatický systém, který má pomoci hlídací službě zvýšenou mírou jistoty zabezpečit prostory. Hlídací službě pomůže, mimo klasické pochůzkové činnosti a obsluhy elektrického zabezpečovacího systému, také střežit prostor pomocí poloautomatického systému. Navržený systém bude v podobě bezpilotního letadla řízeného na dálku dobíjeného z automatické nabíjecí stanice. Bezpilotnímu letounu se předem nastaví definovaný prostor pro jeho pohyb. Systém umožní kdykoliv zasáhnout do jeho řízení a popřípadě podle potřeby upravit trasu letounu. Obsluhující osoba uvidí pomocí obrazu ze zvolených optických zařízení část prostoru, ve kterém se zrovna bude bezpilotní letoun nacházet. Okamžitou detekcí z obrazu tak zjistí nezvyklé chování. Bezpilotní letadlo vždy po ukončení obhlídky perimetru přistane na nabíjecí stanici, kde se dobitím baterií připraví na další kontrolu prostoru.

3.1 Bezpilotní letoun

Bezpilotní letadla jsou označována zkratkou „UAV“ z anglického „Unmanned Aerial Vehicle“ a jsou nazývána jako „Letadla určená k provozu bez pilota na palubě“ obecně jsou známa pod pojmem „drony“. Často slouží k nejrůznějším účelům, nejvíce rozšířené je nyní natáčení videí a pořizování leteckých fotografií. Drony jsou schopné nést kamery s vysokým rozlišením. Z toho důvodu filmaři nahrazují velká letadla dostupnějšími bezpilotními letouny, se kterými mohou přesně podle svých představ pořídit kvalitní letecké snímky. Jelikož jsou drony schopné létat po předem nastavené trase pomocí GPS souřadnic, zvládnou tak zmapovat velké oblasti a při následném zpracování záznamu z kamer může být vytvořen prostorový obraz krajiny [16].

Další velmi rozsáhlou skupinou jsou drony využívané záchrannými složkami. Zdravotníci mohou dopravit k postižené osobě resuscitační zařízení a ve většině případů daleko rychleji, než je schopná na místo v terénu dorazit záchranná služba. Nahrazení klasické kamery termokamerou může posloužit hasičům k nalezení ohnisek požáru nebo policii při pátrání po osobách. V armádě se využívají drony s dlouhou výdrží ve vzduchu a s vysokou nosností. Mohou přenášet munici, zbraně a další potřebné vybavení. Drony se obecně používají k průzkumným účelům v místech, která jsou pro člověka těžko přístupná nebo v místech, která jsou neprozkoumaná a hrozí v nich pro člověka

nebezpečí. Bezpilotní letoun byl využit například pro průzkum prostorů při výbuchu muničního skladu ve Vrběticích. Menší drony mohou snadno vlétnout do budov a odhalit tak potencionální nebezpečí.

Využití nalézají bezpilotní letouny také v logistice. Velké firmy jako DHL nebo Amazon se chystají doručovat svým zákazníkům zásilky právě pomocí dronů. Další firmy testují bezpilotní letouny v rozlehlých halách ke kontrole skladových zásob. Pro výzkumné účely se na drony připevňují různé detektory chemických látek a zkoumá se jejich výskyt v ovzduší. Meteorologům pomáhají drony při předpovědi počasí údaji, které jsou okamžitě schopné posílat z různých výšek. Poměrně nové je využití v zemědělství, kde je možné rychle zkontrolovat stav vypěstovaných plodin na velkých plochách polí. Drony mohou také sloužit k roznášení postřiků a prostředků na hubení škůdců. Další využití, které bude také aplikováno v této diplomové práci, je kontrola a střežení. Kontrolovány mohou být velmi rozlehlé prostory, které není možné zabezpečit kamerovým systémem nebo lidskou silou. Mezi tyto prostory patří například elektrická vedení, dlouhé ploty na hranicích a plochy solárních elektráren.

Obecně lze říci, že pomocí dronů mohou být vykonávány činnosti, které jsou pro člověka časově náročné nebo nebezpečné. Drony tedy usnadňují lidem práci a díky jejich rychlosti zkracují čas na vykonání zadaných úkolů.

3.2 Legislativa pro bezpilotní létání

Důležité je, kdy a kde je možné používat bezpilotní systémy, jaká se k tomu vážou omezení a předpisy. Jaká jsou potřebná povolení a do jaké kategorie spadá bezpilotní letoun. Létání s drony má v České republice na starosti Úřad pro civilní letectví, jejich provoz je regulován Doplňkem X – bezpilotní systémy z leteckého předpisu L2 – Pravidla létání. Tento předpis rozděluje letadla do několika kategorií. Rozdělení do kategorií je znázorněno na obr. 3.

První kategorií letadel, pro která nejsou potřebná žádná povolení a nemohou být využívány pro komerční činnosti, patří modely letadel. Model letadla je letadlo, které je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely a nesmí u něho být aplikován automatický let. Model musí být po celou dobu pomocí vysílače přímo řízen pilotem. Pokud tento model má maximální vzletovou hmotnost větší než 0,92 kg, je požadován „failsafe“ systém, tj. systém zabezpečující odolnost proti náhlým poruchám systému

(porucha elektroniky, výpadky signálu). Horní hranice maximální vzletové hmotnosti je 20 kg. Letadla nad tuto hmotnost musí mít povolení k létání a pilot musí být evidován. Další kategorií, na kterou se již nevztahuje maximální vzletová hmotnost, jsou bezpilotní letadla určená ke komerčním účelům. Tato letadla mohou obsahovat systémy k automatickému letu, ale pilot vždy musí být schopný zasáhnout do řízení a odpovídá za bezpečné provedení celého letu. V tomto případě je vždy nutné povolení k létání a evidence pilota. Letecké činnosti pro vlastní potřebu nevyžadují již žádné další povolení, oproti tomu povolení je nutné k provádění leteckých prací za úplatu. Pro využití ke komerčním účelům je také povinnost mít letoun vždy pojištěný [17].

Pro létání s bezpilotními letadly platí obecná pravidla napříč všemi kategoriemi. Pilot musí mít vždy trvalý vizuální kontakt s letounem, je zakázáno létat v oblacích, v mlze a v noci. Musí dodržovat takovou vzdálenost, aby se mohl bezpečně vyhýbat překážkám, a to bez jakýchkoliv vizuálních pomůcek jiných než lékařem předepsané brýle a kontaktní čočky. Létání mimo dohled pilota nebo FVP let („First-Person View“) je v České republice zakázán. Lze tak létat pouze pokud spolu s pilotem je další osoba, která bezpilotní letadlo sleduje. Zakázáno je dále létat nad skupinami lidí a hustě obydlenými místy, v těchto místech musí být vždy dodržena minimální bezpečná vzdálenost. Maximální výška letu je 300 m nad zemí. Zakázáno je létat bez povolení ve vzdálenosti menší než 5500 m od vztažného bodu letišť a nutné je dodržovat maximální letovou výšku 100 m v místech s leteckým provozem. Nutné je také se vyhnout trvale zakázaným prostorům a bezletovým zónám jako jsou jaderné elektrárny nebo muniční sklady. Mapu bezletových zón, kde je létání zakázáno, nalezneme na webových stránkách Řízení letového provozu http://aisview.rlp.cz/ [17], [18].

Obr. 3: Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy [18].

4 Hexakoptéra

Mezi bezpilotní letadla bezesporu patří multikoptéry. Fungují na základě vrtulového pohonu a jsou tedy podobné klasickým helikoptérám. Největší výhodou všech typů koptér je možnost kolmého vzletu a přesného přistání na určené místo. Jelikož koptéry nemají jako nosnou plochu křídlo, ale využívají plochy vrtulí, je jejich další velkou výhodou schopnost udržet se ve visu bez nutnosti pohybu. Díky více motorům mají také výbornou manévrovatelnost, danou možnou změnou otáček motorů. Tyto výhody nemají klasická křídlová bezpilotní letadla, proto jako typ bezpilotního letadla bylo pro zvýšení bezpečnosti vnějšího perimetru nejvýhodnější zvolit konstrukci hexakoptéry.

Hexakoptéry, jak už z názvu vypovídá, mají šest motorů. Díky tomu je velmi dobře zajištěna stabilita a jsou schopny nést větší zatížení, například více typů snímacích kamer. Volba hexakoptéry pro střežení perimetru umožní použít nejen klasické kamery, ale například i infrakamery a další potřebná zařízení. Z hlediska bezpečnosti jsou hexakoptéry také velmi dobrou volbou, jelikož při výpadku některého z motorů jsou schopné oproti koptérám se čtyřmi motory bezpečně přistát a zamezit tak nechtěnému pádu a zničení celého systému nebo způsobení zranění lidem.

Další možností pro střežení perimetru by bylo možné zvolit oktokoptéru, která pro pohon využívá 8 motorů. Přidáním dalších motorů se totiž zvyšuje nosnost a stabilita. Díky zvýšené nosnosti je možné použít baterie s vyšší kapacitou a prodloužit dobu letu. Nesmíme ale zapomenout, že dochází také k vysokému nárůstu ceny celého systému. Čím více bude systém složitější, tím se zvyšuje pravděpodobnost poruchy některé z komponent. Hexakoptéra je tedy ideální volbou jak z hlediska stability a nosnosti, tak také ceny pořízení.

4.1 Kostra

Hlavní částí hexakoptéry, která drží celý systém dohromady a tvoří kostru, je rám. Rámy se od sebe liší převážně v použitých materiálech na jejich výrobu. Je snaha, aby kostra byla co nejpevnější pro eliminaci vibrací při letu a vážila co nejméně. Vhodnou volbou tvaru je možné dosáhnout co nejmenšího odporu vzduchu. Rám se skládá ze středové části, na kterou se připevňuje elektronika a ramena s motory. Středová část bývá ve formě destičky a je vyrobená z uhlíkových vláken nebo ze sklolaminátu. Na výrobu ramen

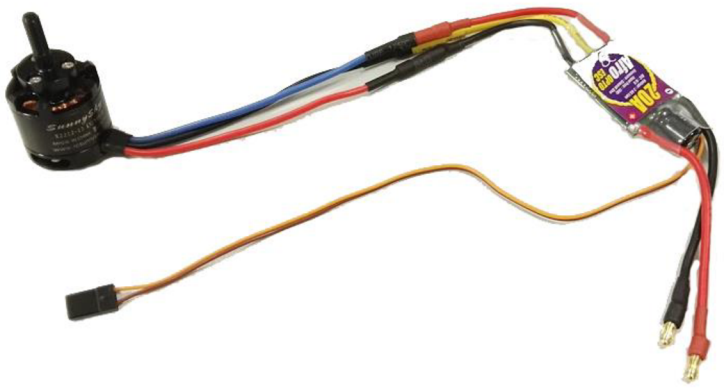
se využívají například hliníkové profily a lehké uhlíkové trubky. Velkou rozmanitost ve výrobě jakéhokoliv tvaru rámu umožňuje tisk rámů na 3D tiskárnách z ABS materiálu. Rámy mohou mít skládací ramena pro jednodušší manipulovatelnost, což často bývá na úkor pevnosti konstrukce. Jak již bylo řečeno, hexakoptéra je poháněna 6 motory, proto také rám musí mít šest ramen, která tvoří pravidelný šestiúhelník, jak je možné vidět na obr. 4.

Pro bezpilotní letoun pro střežení perimetru byl zvolen rám s průměrem ramen 550 mm, tato ramena mají perforovaný profil pro menší odpor vzduchu a jsou vyrobena z ABS materiálu. Střed hexakoptéry obsahuje integrovaný systém plošných spojů pro snadný rozvod napájecích vodičů. Tvoří jej dvě desky ze sklolaminátu, mezi kterými se nachází prostor pro řídící elektroniku. Pod středovou částí je zavěšena plošina určená ke snadné montáži stabilizačního zařízení pro kamery, nebo samotných kamer a obsahuje také místo pro uchycení baterie. Tuto plošinu připevňují antivibrační gumičky. Podvozek rámu je z uhlíkových vláken. Tento rám byl zvolen z důvodu vysoké kvality použitých materiálů a zpracování. K sestavení rámu se používají šrouby, které se upevňují do mosazných objímek nacházejících se uvnitř rámu. Z toho důvodu je sestavení rámu velmi jednoduché oproti jiným typům a celá konstrukce má vysokou pevnost.

Obr. 4: Sestavený rám pro hexakoptéru.

4.2 Pohon a regulace

Pro pohon jsou použity bezkomutátorové motory značky SunnySky typ X2212, neboli stejnosměrné motory s elektronicky řízenou komutací. Tyto motory jsou použity, protože mají kvalitní ložiska oproti jiným motorům a vytvářejí minimální vibrace. Zvolený typ motoru připojený k regulátoru otáček je na obr. 5. Rotační energie motorů je přenášena na vrtule, které vyvolávají tah. Vrtule jsou nejčastěji vyráběny z plastu, karbonu nebo ze dřeva. Při výběru vrtulí, kterými budou osazené motory, se musí vzít v úvahu jejich průměr a stoupání, jelikož právě tyto dva parametry určují, jaké bude potřeba vynaložit otáčky motoru. Jinými slovy řečeno, jak se bude hexakoptéra rychle pohybovat, jaký bude tah a jakého letového času dosáhne. Zvolení vhodných komponent, které mají být pro pohon bezpilotního letounu použity, je možné provést zadáním použitých součástek na webové stránce http://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php. Po provedení výpočtů lze nalézt vhodnou kombinaci, která bude dosahovat nejvyšších výkonů. Pro námi použité motory se jeví jako nejlepší použití vrtulí o průměru 9 palců se stoupáním 4 až 5 palců. Pro hexakoptéru budou použity vrtule Graupner COPTER Prop o průměru 9 palců se stoupáním 4 palce. Tyto vrtule jsou vhodné, protože mají připraven 5 mm otvor, který se shoduje s průměrem osy motorů. Nebude tak nutné použití vymezovacích kroužků, čímž dojde ke snížení vibrací. Snížit vibrace lze také přesným vyvážením vrtulí. Německá značka Graupner je zárukou vysoké kvality při výrobě a tyto vrtule jsou již z výroby vyváženy. Snižováním vibrací celého pohonu hexakoptéry předcházíme nechtěné poruše komponent a zvyšujeme tím celkovou dobu letu, také dobu mezi poruchami a životnost. Pro vyvolání tahu správným směrem se u koptér používají pravotočivé a levotočivé vrtule, kde sousední motory mají vždy opačný směr otáčení.



Obr. 5: Zvolený motor typ X2212 připojený k regulátoru otáček.

Otáčky motorů jsou elektricky regulovány velikostí proudu tekoucího přes 20A ESC (Electronic speed control) regulátory značky Afro. Regulátory dostávají řídící PWM (pulzně šířkově modulovaný) signál z řídící jednotky s frekvencí až 1 kHz, což umožňuje velmi rychle a plynule měnit otáčky motoru. S vysokou frekvencí přenosu je zajištěna stabilita letu. Napájecí konektory každého ze šesti regulátorů jsou připojeny na připravené konektory rozvodné desky na rámu hexakoptéry.

4.3 Napájení

Pro napájení celé hexakoptéry se využívá baterie typu LiPo neboli Lithium- polymerový akumulátor. LiPo baterie se velmi snadno nabíjejí, je možné zapojit několik článků do série a vytvořit tak potřebné napětí. Baterie mají dlouhou životnost a při stálém používání si dokáží udržet svou kapacitu. Baterie pro hexakoptéru je složena ze tří článků, každý plně nabitý článek má napětí 4,2 V. Dohromady má plně nabitá baterie 12,6 V. Pokud by napětí pro jeden článek kleslo pod napětí 2,7 V, mohlo by dojít k trvalému poškození. Zvolená baterie má kapacitu 5000 mAh. Pro hexakoptéru je důležitý vybíjecí proud, který je schopná dodat baterie bez vlastního poškození. Byla zvolena baterie, která umožňuje dodávat proud rovnající se číselné hodnotě třicetinásobku kapacity článku. Vybíjecí proud, který je baterie schopna dodávat do systému je tedy až (30 × 5 Ah) 150 A. Jelikož všechny regulátory najednou mohou odebírat maximálně 120 A, je zvolena dostatečná rezerva 30 A pro další elektroniku. Baterie je velmi náchylná na špatné zacházení. Nesmí se žádným způsobem poškodit, mohlo by dojít k jejímu vznícení nebo výbuchu. Napájecí vodiče jsou připojeny na rozvodnou desku rámu a napájí tak veškerou elektroniku na hexakoptéře. Zvýšit kapacitu a prodloužit dobu letu je možné paralelním zapojením další baterie.

4.4 Řídící jednotka a připojené moduly

Mozkem celého bezpilotního letounu je řídící jednotka. Zpracovává naměřené hodnoty od gyroskopu, akcelerometrů, barometru a magnetometru a pomocí definovaných algoritmů řídí stabilitu celé hexakoptéry. Gyroskop má na starosti náklony ve všech třech osách. Jak rychle tyto náklony probíhají, měří akcelerometry. Pomocí barometru je měřen atmosférický tlak a tím se zajišťuje stálá výška. Přesné natočení vůči magnetickému poli země je určeno kompasem. Pro zajištění ještě přesnějšího letu v zemských souřadnicích

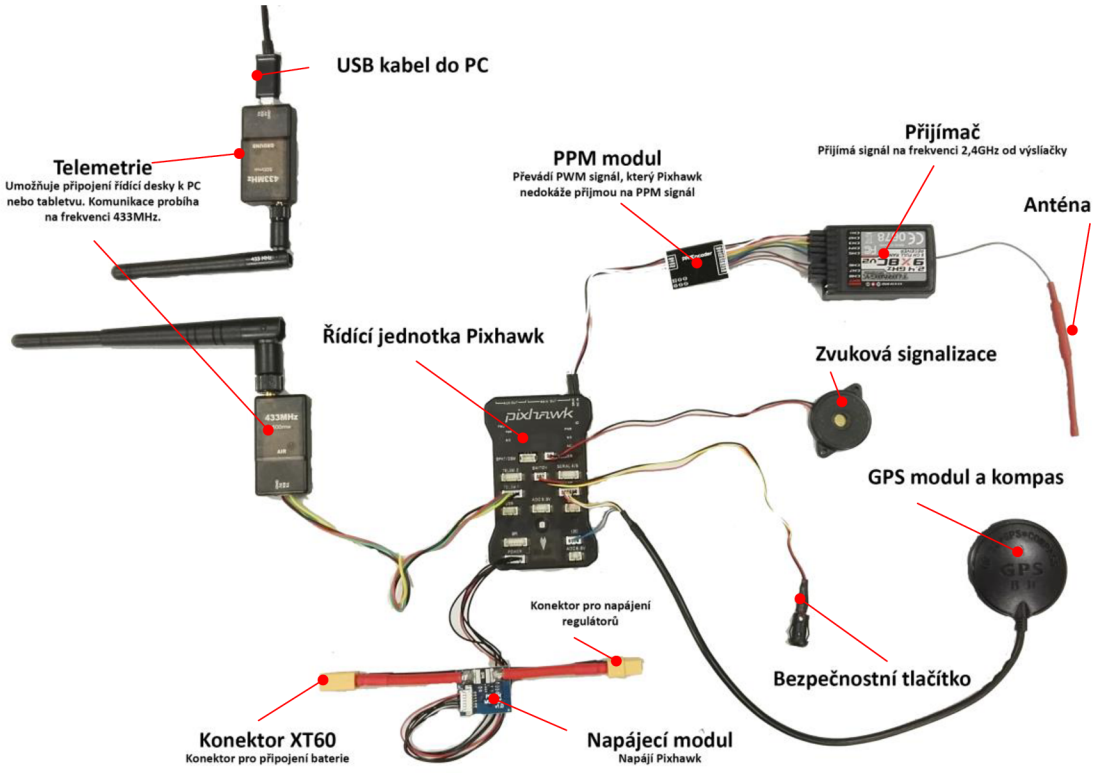
je možné k řídící desce připojit GPS modul. Mnohonásobně se zlepší automatická stabilizace a udrží se přesná zeměpisná poloha. Modul umožňuje také kompenzovat povětrnostní podmínky za letu.

Profesionálních řídících desek je na trhu velké množství, některé jsou určené pouze pro multikoptéry a jiné je možné použít i pro letadla. Každý výrobce nabízí jiné možnosti. Mezi dvě nejznámější řídící jednotky patří DJI Naza. Naprogramování jednotky je nenáročné. Stačí ji pouze připojit k počítači, v softwaru nastavit typ multikoptéry, použité baterie a definovat ovládací zařízení. S ovládaným letounem lze potom provádět téměř veškeré profesionální úkony. Nevýhodou této řídící jednotky je omezené nastavování letových módů z důvodu uzavřeného firmwaru. Není možné případně připojit další zařízení a naprogramovat jejich vzájemnou komunikaci. Proto je pro hexakoptéru vhodnější zvolit druhou z nejznámějších jednotek. Řídící jednotku Pixhawk od společnosti 3DR, protože se jedná o plně open source systém. Pixhawk je profesionální řídící modul, který má díky 32-bitovému procesoru velmi vysoký výpočetní výkon. Dovoluje nastavit velký počet leteckých modů a díky vysokému počtu různých rozhraní umožňuje připojit několik dalších periferních zařízení.

K jednotce Pixhawk bude připojen GPS modul s kompasem, který pomůže k vytvoření poloautomatického systému, protože dovolí nastavovat přesné dráhy letu. Pro přenos informací v reálném čase za letu do počítače nebo tabletu na zemi bude připojena telemetrie komunikující na frekvenci 443 MHz. Telemetrie poskytne další prostředek k řízení celého systému díky softwaru v pozemní stanici. Při použití telemetrie také odpadá nutnost přímého připojení hexakoptéry přes USB kabel s počítačem při konfiguraci jednotky.

Hlavní ovládací pokyny budou do jednotky Pixhawk předávány pomocí připojeného přijímače. Z důvodu, že přijímač odesílá do řídící jednotky pro každý kanál zvlášť PWM (pulzně-šířkově modulovaný) signál, je mezi přijímačem a řídící jednotkou připojen PPM (pulzně-polohově modulovaný) modul. Tento modul sloučí osm řídících kanálů se PWM signálem do jednoho PPM signálu, kde kanály jsou přenášeny postupně za sebou. Jednotlivé intervaly signálu jsou zahájeny krátkým synchronizačním pulzem o přesné šířce a doba jejich trvání závisí na délce původního signálu PWM. PPM modul tedy předává řídící jednotce pouze jeden PPM signál.

Další připojenou periferií je zvuková signalizace, která pomocí vydávaných tónů usnadňuje orientaci a informuje obsluhu o stavu, ve kterém se Pixhawk nachází, nebo zdali nevznikl chybový stav řídící jednotky. Pro stálý záznam nejenom letu, ale veškerého provozu je na jednotce port, ve kterém je vložená paměťová karta, na kterou se ukládají logovací data. Nezbytnou součástí, která musí být pro správnou funkčnost připojena, je napájecí modul. Do jednotky budou dále připojeny ovládací konektory pro regulátory motorů. Pixhawk umožňuje připojit až 8 motorů a obsahuje také dalších 6 univerzálních pozic pro ovládání například stabilizačních zařízení. Pro povolení komunikace s regulátory otáček slouží připojené bezpečnostní tlačítko. Pixhawk také obsahuje řadu dalších konektorů pro vzájemné propojení s jinými zařízeními. Obsahuje například další port pro získání telemetrických informací. Pomocí I2C sběrnice může být připojeno například zařízení k přesnému přistávání nebo mikropočítač zpracovávající obrazová data z kamer. Na obr. 6 je ukázka zapojení důležitých modulů do řídící jednotky.



Obr. 6: Ukázka zapojení modulů do řídící jednotky Pixhawk.

4.5 Ovládací zařízení

Hlavní ovládací prvek bude osmikanálový vysílač Turnigy T9X komunikující signálem s frekvenčním rozsahem v pásmu 2,4 – 2,48 GHz, kde frekvenční rozestup kanálů je 500 Hz. Vysílač je spárován s přijímačem připojeným do řídící desky na hexakoptéře. Párování probíhá při prvním zapnutí vysílače a současného stisknutí párovacího tlačítka a připojením propojky k párování do příslušného konektoru na přijímači. Největší výhoda tohoto vysílače je, že umožňuje přiřazení libovolného přepínače nebo potenciometru k potřebné funkci nebo ovládání části letounu. Vysílačka obsahuje displej, který zobrazuje stavy ovládacích prvků a pomocí ovládacích tlačítek lze přímo programovat bez nutnosti připojení k počítači. Hlavními ovládacími prvky jsou dva kniply. Levý slouží pro regulaci otáček motorů a směru natočení a pravý pro náklony hexakoptéry. Pro změnu letových režimů je nastaven jeden ze tří potenciometrů.

Obr. 7: Vysílač Turnigy s přijímačem.

4.6 Konfigurace řídící jednotky

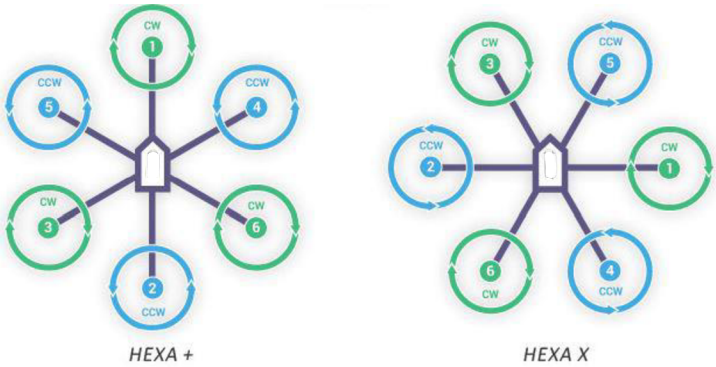
Pro správnou funkci hexakoptéry bylo nutné nakonfigurovat řídící jednotku a provést testovací let, zda je vše v pořádku. Konfigurace probíhá pomocí počítače a nezbytnou součástí je využití programu Mission Planner. Jedná se o open source software pro operační systém Windows. Program Mission Planner je tedy nutné nainstalovat do počítače a navázat komunikaci s řídící jednotkou na hexakoptéře. Část telemetrie,

která je součástí pozemní stanice, se připojuje k počítači pomocí USB konektoru. V programu Mission Planner je nutné vybrat, do kterého USB portu v počítači se konektor připojí a dále také definovat přenosovou rychlost. Pro spojení přímo USB kabelem bez telemetrie se musí zvolit přenosová rychlost 115200 bitů za sekundu. Protože je použito rádiové spojení, musíme zvolit přenosovou rychlost 57600 bitů za sekundu. Poté je již možné potvrdit spojení klikem na tlačítko „Connect“.

Ještě před samotnou konfigurací a kalibrací je potřeba vybrat správnou polohu řídící jednotky na hexakoptéře. Jednodušší konfiguraci umožní umístění Pixhawku rovnoběžně s letounem. Směr natočení ukazuje šipka na jednotce, avšak orientaci je možné změnit, následně ale musí být změna orientace nastavená v softwaru. Přichycení jednotky na hexakoptéru je nejlepší pomocí oboustranné lepící folie nebo připevněním k antivibrační desce. Vytvořený konfigurační soubor řídící jednotky bude součástí přiloženého CD disku.

4.6.1 Nahrání a nastavení firmwaru

Prvním krokem je nahrání nejnovější verze firmwaru pro Pixhawk. V programu Mission Planner v záložce „Initial Setup“ je obrazovka „Install Firmware“. V okně se nejprve zvolí, jaký typ firmwaru bude použit v závislosti na typu rámu. Hexakoptéra odpovídá firmwaru typu „ArduCopter V8.0.1 Hexa“. Následně software detekuje, že se jedná o řídící jednotku Pixhawk a požádá o odpojení a následné připojení jednotky do počítače. Po připojení stačí potvrdit instalaci firmwaru a počkat na dokončení. V dalším kroku se zvolí tvar rozložení motorů. Použit je rám, který má ramena do tvaru X. Na obr. 8 je vidět další možné rozložení motorů a také čísla motorů, jak musí být za sebou zapojeny do jednotky Pixhawk.



Obr. 8: Možné tvary uspořádání motorů pro hexakoptéry.

4.6.2 Kalibrace kompasu a akcelerometrů

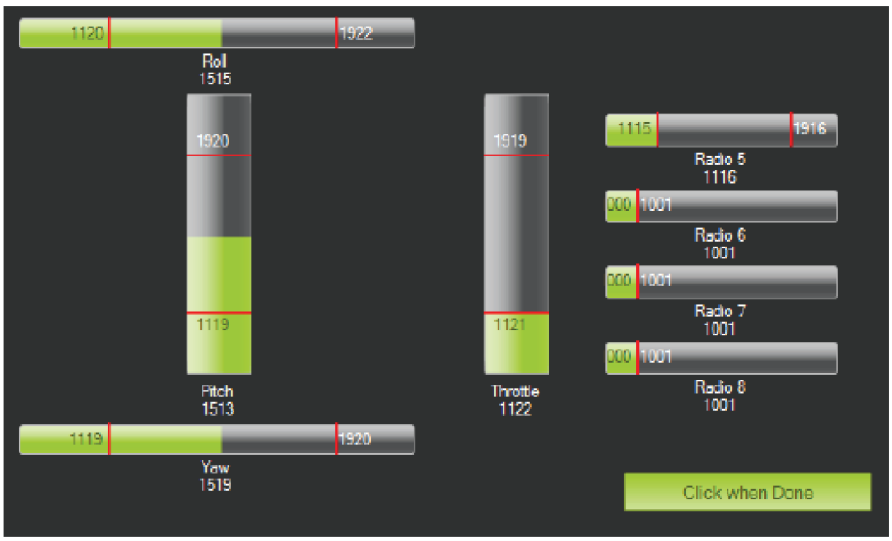
Kalibrace kompasu a akcelerometrů je nutným krokem k zaručení stability hexakoptéry ve vzduchu a její správné orientace v prostoru. K jednotce je připojený externí kompas, který je součástí GPS modulu. Musí se tedy nejdříve nastavit jeho použití, to se provede v záložce „Initial Setup“ v levém menu „Mandatory Hardware“ a po rozbalení položek v okně „Compass“ je nutné vybrat tlačítko „External Compass“ a potvrdit nastavení zaškrtnutí políčka „Use this compass“. Nyní je možné přistoupit ke kalibraci kliknutím na tlačítko „Live Calibration“, poté je nutné vzít letoun do vzduchu a pomalu s ním otáčet do všech os tak, že v každé (přední, zadní, vlevo, vpravo, nahoře, dole) je nutné několik sekund vydržet. V okně programu Mission Planner je možné vizuálně pozorovat již naměřené hodnoty v prostoru jako například na obr. 9. Program kalibraci automaticky ukončí po dosažení dostatečného počtu naměřených hodnot v každé ze zmíněných poloh natočení a uloží hodnoty.

Obr. 9: Grafické znázornění kalibrace kompasu.

Kalibrace akcelerometrů probíhá velmi podobně jako kalibrace kompasu. Opět v levém menu tentokrát okno „Accel Calibration“ v něm je kliknutím na tlačítko „Live Calibration“ zahájena kalibrace. Tentokrát je nutné v každé z pozic natočení setrvat několik sekund a potvrdit jí kliknutím na tlačítko „Next“. Po projití všech směrů natočení jsou hodnoty opět uloženy.

4.6.3 Nastavení rozsahů vysílače a kalibrace regulátorů

Správné nastavení vysílače je důležité pro přesné ovládání dronu. Vysílačem se ovládá pohyb a orientace v prostoru. Výchylkou parametru „Roll“ se provádí náklon doleva a doprava, tedy rotace na ose *x*. Parametr „Pitch“ znamená náklon dopředu a dozadu, tedy osa *y*. „Yaw“ je rotace kolem svislé osy *z*. Stoupání a klesání, tedy rotace motorů je ovlivněna parametrem „Throtle“. Další parametry slouží ke změnám leteckých módů nebo například k ovládání stabilizačních zařízení. Každý z těchto parametrů je přiřazen jednomu z kanálů na vysílači. Pixhawk musí znát maximální rozsahy všech kanálů. To lze provést v okně „Radio Calibration“ v programu Mission Planner pohybem kniplů, potenciometrů a přepínačů do maximálních poloh, které jsou znázorněny červeně jako na obr. 10.



Obr. 10: Nastavení maximálních rozsahů vysílače.

Po uložení rozsahů vysílače je nutné ještě zkalibrovat regulátory motorů. Nejdříve se zapne vysílač a knipl pro regulaci otáček motorů se nastaví do maximální polohy. Následným připojením napájení hexakoptéry je dáno řídící desce najevo, že chceme provést kalibraci regulátorů. Odpojením a opětovným připojením baterie spustíme kalibraci, která je signalizována dlouhým tónem, po kterém je potřeba uvolnit napájení regulátorů zmáčknutím bezpečnostního tlačítka. Následně zbývá knipl regulace otáček posunout do minimální polohy, kde krátký tón potvrdí kalibraci. Tím je kalibrace dokončena a všem šesti regulátorům definována stejná velikost řídícího signálu určující

velikost proudu tekoucího do motorů. Otestovat, zda jsou regulátory motorů správě zkalibrovány lze hned po krátkém tónu a pozvolným zvýšením otáček motorů.

4.6.4 Letové režimy

Řídící jednotka Pixhawk umožňuje nastavit 13 letových režimů. Každý z režimů je jiným způsobem ovládán, každý poskytuje jiné úrovně stabilizace. Různé režimy mohou být ovládány pomocí vysílačky, některé mohou být ovládány příkazy z pozemní stanice a u jiných se předem definuje trasa letu. Přehled všech letových režimů, které lze nastavit:

- *Stabilized*
  - Nevyužívá GPS, je plně ovladatelný pomocí vysílačky. Vnější vlivy jako vítr mají vliv na pohyb letounu. Vhodný použít pro první start hexakoptéry.
- *Altitude hold*
  - Barometr udržuje stálou výšku, když je knipl regulace otáček mezi 40 % a 60 % svého rozsahu. Klesání a stoupání je ovládáno pohybem kniplu pod nebo nad tento rozsah. Pohyb do ostatních směrů je plně ovladatelný, také jako předchozí režim totiž nevyužívá GPS stabilizaci.
- *Loiter*
  - Tento režim udržuje stálou pozici pomocí GPS souřadnic a je možné měnit tuto pozici. Výška se řídí stejně jako u režimu *Altitude hold*. Režim tedy dokáže vstřebávat vlivy okolí. Pro tento režim je použito jiné nastavení stabilizace než pro ostatní režimy.
- *Return to launch (RTL)*
  - Po sepnutí tohoto režimu je hexakoptéra schopna se automaticky navrátit a přistát na místě, které bylo uložené při odjištění motorů na začátku letu. Jedná se o velmi užitečný režim při využití plánování letu. Letoun po dosednutí sám ukončí let zastavením a zajištěním motorů. Důležité je, aby v cestě nestála žádná překážka, která by mohla způsobit nehodu letounu.
- *Auto (Automatic)*
  - Automatický režim využívá ovládání z režimů *Altitide hold* a *Loiter* a na konci letu režim *Land* nebo *RTL*. Při průběhu letu hexakoptéra nereaguje na náklony a změnu výšky pomocí vysílačky. Celý let musí být

naprogramován dopředu. Nastavení trasy letu je v softwaru pomocí bodů nazvaných „WAYPOINTS“. Je možné definovat pomocí bodů trasu letu, rychlost letu, výšku a také dobu setrvání v různých místech.

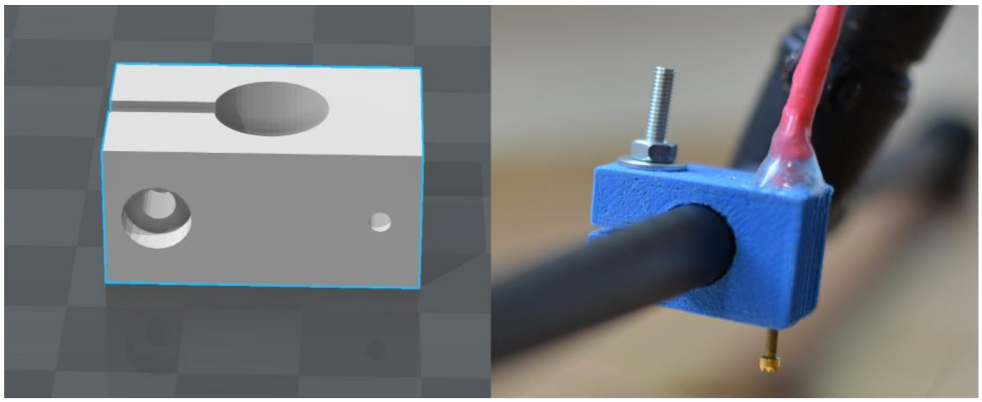
- *Acro (Acrobatic)*
  - Režim, který je nejtěžší na řízení letounu. Vše, včetně výšky musí být neustále ovládáno. Vhodný režim pro trénování ovládání hexakoptéry. Pro účely střežení perimetru není režim důležitý.
- *Sport*
  - Vhodný pro filmování. Udržuje výšku a změna směrů je plynulá. Jelikož nevyužívá GPS, nedokáže udržet stálou pozici.
- *Drift*
  - Režim napodobující létání s letadly. Neumožňuje natočení letounu, dovoluje pouze náklony. Výšky a pozice je opět kontrolována manuálně.
- *Guided*
  - Umožňuje kontrolovat trasu letounu zadáváním příkazů nebo klikáním přímo do mapy v softwaru Mission Planner. Je nutné navázání spojení s pozemní stanicí pomocí telemetrie.
- *Circle*
  - Při sepnutí tohoto režimu hexakoptéra krouží okolo nastaveného bodu. Vzdálenost od bodu, tedy poloměr kroužení je možné nastavit v softwaru.
- *Position*
  - Totožný s režimem *Lioter*, ale zde je výška kontrolovatelná manuálně pohybem kniplu, nevyužívá tedy barometr k udržení nadmořské výšky. Udržuje pouze pozici pomocí GPS souřadnic
- *Land*
  - Umožňuje automatické přistání. Od výšky 10 m začne pomalu sestupovat definovanou rychlostí k zemi, poté automaticky vypne motory a provede jejich zajištění. Nevyužívá GPS stabilizaci.
- *Follow me*
  - Sledování pohybujícího se zařízení, které je připojené pomocí Bluetooth nebo telemetrie k řídící jednotce. Hexakoptéra bude sledovat toto zařízení nebo udržovat pozici v jeho směru. Není zajištěna žádná bezpečnost a může se stát, že letoun někde narazí.

5 Nabíjecí stanice

Součástí poloautomatického systému je také návrh a realizace automatické nabíjecí stanice. Hexakoptéra po automatickém dokončení letu přistane vždy na předem nastavené místo v programu Mission Planner. Ve většině případů při střežení perimetru bude výchozí pozice pro letoun vždy stejná a toto místo se bude velmi málo měnit. Toho je možné snadno využít ke zjednodušení obsluhy a manipulace s letounem, vytvořením nabíjecí stanice na tomto místě. Realizovaná automatická nabíjecí stanice odstraní nutnost po každém letu na hexakoptéře provádět výměnu a dobíjení baterie. Umožní tedy umístění celého systému na nejvhodnější místo v areálu, kde bude nejlepší dostupnost do všech jeho částí. Pokud by byl areál, který je nutné střežit velmi rozlehlý, je možné použít více stanovišť s nabíjecími stanicemi, mezi kterými by se vhodně naprogramovala trasa letu.

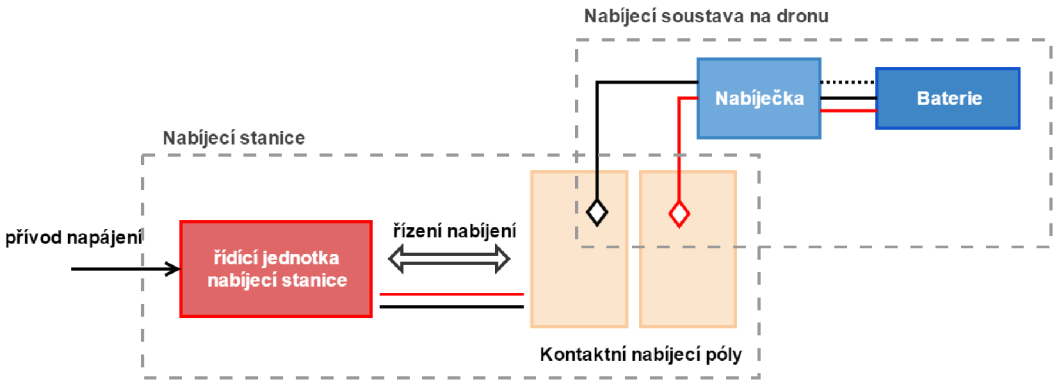
5.1 Nabíjecí soustava

První částí nabíjecí soustavy je přívod napájení pro řídící jednotku nabíjecí stanice, která řídí nabíjení a odesílá data na server a také pro napájení kontaktních ploch sloužících pro dosednutí hexakoptéry. Kontaktní plocha nabíjecí stanice je tvořena dvěma póly, které mohou být napájeny napětím 12-18 V a odebíraný proud může dosáhnout až 4 A. Letoun se po přistání na nabíjecí stanici připojí pomocí speciálních hrotových konektorů. Konektory jsou připevněny na podvozku hexakoptéry pomocí držáku vytisknutého na 3D tiskárně a obsahují pružinu, díky které jsou trvale přitlačeny na nabíjecí póly. Navržený a realizovaný model držáku hrotových konektorů můžete vidět na obr. 11. 3D návrh modelu je součástí přiloženého CD.



Obr. 11: Uchycení konektoru na hexakoptéře: a) návrh modelu b) realizace.

Konektory jsou připojeny k nabíječce baterie, která reguluje velikost odebíraného proudu a je schopna také vyvážit napětí na jednotlivých článcích baterie. Nabíječka je díky nízké hmotnosti a malým rozměrům společně s baterií trvale součástí hexakoptéry. Blokové schéma hexakoptéry připojené k nabíjecí stanici po přistání je na obr. 12. Nabíjecí soustava na dronu bude trvale připojena do napájecího modulu řídící jednotky Pixhawk.



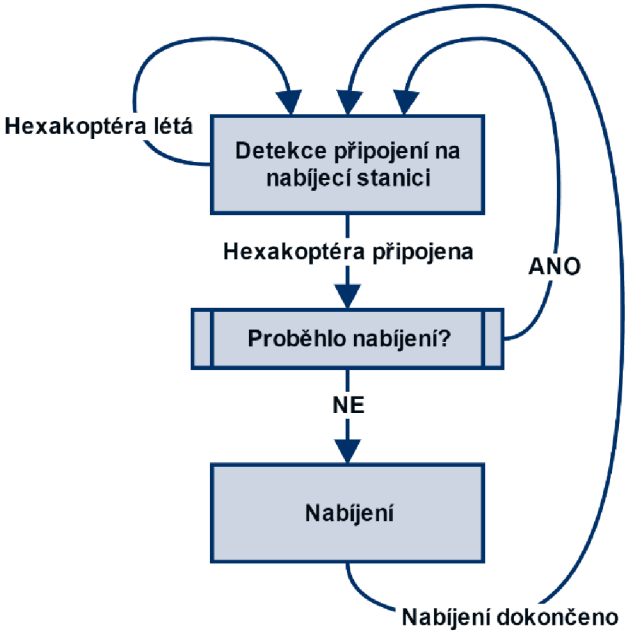
Obr. 12: Blokové schéma nabíjecí soustavy.

5.2 Inteligentní řízení nabíjení

Nabíjení hexakoptéry je ovládáno řídící jednotkou nabíjecí stanice. Navržená a realizovaná řídící jednotka nabíjecí stanice se skládá z mikrokontroleru s naprogramovaným softwarem, který obstarává komunikaci mezi několika připojenými moduly. Řídící jednotka obsahuje jednočipový počítač, modul pro měření dodávaného proudu pro nabíječku, relé pro spínání měřícího odvodu detekce přistání, druhé relé pro spínání napájení kontaktních pólů, modul pro odesílání dat přes Wi-Fi síť, jeho napájecí obvod a také modul pro měření teploty a vlhkosti. Úplné schéma zapojení řídící jednotky nabíjecí stanice je přílohou A: této diplomové práce.

Naprogramovaný software řídící jednotky vždy detekuje přistání hexakoptéry na kontaktní póly stanice. Detekce je založena na opakovaném měření napětí na vstupním pinu mikrokontroleru. Pokud se propojí kontaktní plochy nabíjecí stanice dosednutím hexakoptéry dojde k úbytku měřeného napětí a řídící jednotka detekuje přistání dronu. Po úspěšné detekci jednotka sepne přívod napájení pro nabíjecí soustavu, a tedy i pro připojenou nabíječku baterie. Neprodleně před sepnutím nabíjení je kontrola detekce přistání pozastavena. Po celou dobu nabíjení je měřen protékající proud do nabíječky.

Plné nabití baterie řídící jednotka vyhodnotí poklesem odebíraného proudu. V tu chvíli přeruší přívod napájení pro nabíjecí soustavu. Následně začne znovu kontrola detekce připojení hexakoptéry. Po úspěšném nabití baterie nedojde k opakovanému sepnutí nabíjení, ale další cyklus nabíjení se spustí až s dalším přistáním hexakoptéry na nabíjecí stanici. Řídící jednotka je schopna zahájit nabíjení i když hexakoptéra ukončí let dříve a baterie nebude plně vybitá, tedy umožňuje baterie dobíjet. Stavy řídící jednotky jsou znázorněny vývojovým diagramem na obr. 13. Naprogramovaný zdrojový kód nahraný v miktrokontroleru je k dispozici na přiloženém CD.

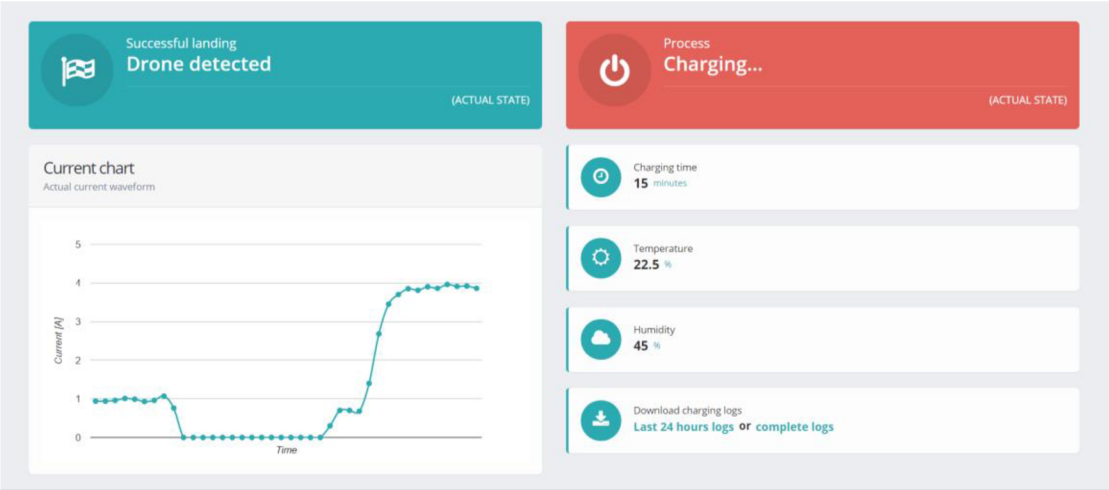


Obr. 13: Vývojový diagram programu řídící jednotky pro nabíjecí stanici.

Řídící jednotka nabíjecí stanice ještě spolu s řízením nabíjení odesílá data o aktuálních stavech stanice na webový server. Odesílání dat je realizováno přes bezdrátové připojení k síti Wi-Fi. Před prvním spuštěním nabíjecí stanice musí být ve zdrojovém kódu nastaven správný identifikátor dostupné bezdrátové sítě a také její heslo. Bez těchto nastavených parametrů není možné odesílat data na webový server. Odesílání probíhá periodicky každých 5 sekund formou HTTP požadavku typu „GET“ na definovanou URL adresu v mikrokontroleru. Vytvořený PHP skript uložený na webovém adrese: „http://www.enerdrone.cz/data/logger.php“, zpracovává požadavky od řídící jednotky nabíjecí stanice. Jednotlivé parametry dat: („land=1&charge=0& detect=620&current=0.3&relayCharge=1&relayMeasure=0&temperature=22&humidity

=45&chargingTime=10“) skript rozdělí a vytvoří z nich podle názvu proměnné, které následně uloží do MySQL databáze. Do odesílaných dat nabíjecí stanicí by bylo možné ještě připojit číslo nabíjecí stanice, které by sloužilo jako její jedinečný identifikátor. Tento identifikátor by umožnil při použití více nabíjecích stanic rozpoznat na kterou stanici hexakoptéra přistála a také by zamezil možnosti podvržení odesílaných informací skriptu ukládajícímu data do databáze.

Uložená data v databázi se zobrazují v přehledné grafické podobě na naprogramované webové stránce viz obr. 14. Testovací webová stránka je dostupná na adrese: „http://www.enerdrone.cz/data/“ a umožňuje kontrolovat stav nabíjecí stanice a proces nabíjení z jakéhokoliv zařízení s připojením k internetu. Veškerá data o stavech nabíjecí stanice jsou zobrazována na webové stránce díky naprogramovanému PHP skriptu v reálném čase. Je možné detekovat přistání hexakoptéry na kontaktní plochy, sledovat informaci o zahájení nabíjení baterie a také dobu, jak dlouho nabíjení již trvá. V grafické podobě je zobrazený dodávaný proud pro nabíjení. Po dokončení nabíjení signalizuje webová stránka připravenost hexakoptéry na další let. Pro kontrolu bezpečnosti při nabíjení vidíme informace o teplotě a vlhkosti okolního prostřední nabíjecí stanice. Jelikož jsou veškerá data uložena v databázi, je možné i zpětně stažením nabíjecích logů dohledat informace o průběhu nabíjení v určitou dobu. Zdrojový kód skriptu pro ukládání dat do databáze, zdrojové kódy webové stránky a struktura databáze jsou součástí přiloženého CD.



Obr. 14: Webová stránka s informacemi o nabíjecí stanici.

Pokud by byla nabíjecí stanice umístěna v místech bez dosahu Wi-Fi sítě, je možné zvolit odesílání dat pomocí jiných modulů. Jedním z možných řešení pro odesílání dat je použití sítě GSM. Komunikace přes GSM modul probíhá stejně jako přes modul Wi-Fi, ale prvotní konfigurace je složitější. Pokud by ani GSM modul neměl dostatečný signál pro připojení do sítě je dalším možným řešením zvolení komunikace přes nově vznikající bezdrátové sítě Sixfox a LoRa. Tyto sítě umožňují se zařízením komunikovat bezpečně na velké vzdálenosti. V České republice probíhá komunikace v nelicencovaném pásmu na frekvenci pásma 863 – 870 MHz, přesněji na frekvenci 868 MHz. Prvotní konfigurace a připojení komunikačního modulu do těchto sítí je ale nejsložitějším řešením z možných variant připojení [19].

5.3 Přesné přistávání

Nabíjecí stanice vyžaduje dosednutí hexakoptéry na přesné místo. Přesnost letu a přistávání zajišťuje do jednotky Pixhawk připojený GPS modul. Přesnost modulu závisí nejenom na počtu připojených družic, ale také na jejich vzájemném rozmístění na polokouli. Řídící jednotka Pixhawk v závislosti na rozmístění družic vypočítává parametr horizontální přesnosti HDOP (Horizintal Dilution of Precision). Parametr určuje vliv prostorového uspořádání družic na přesnost horizontální polohy letounu. Z pohledu letounu, pokud jsou družice od sebe více vzdáleny, je přesnost vyšší, než pokud jsou družice fyzicky blízko u sebe. Jelikož všechny družice se nenacházejí na stejném místě, ale některé jsou od sebe vzdálené více než jiné, má jejich zvyšující se počet vliv na parametr horizontální přesnosti. Se zvyšujícím se počtem připojených družic k GPS modulu se snižuje hodnota HDOP a zvyšuje se tedy horizontální přesnost. Definované hodnoty parametru horizontální přesnosti a jejich hodnocení je zobrazeno v atrné, že horizontální přesnost *tab. 2*. Hodnota HDOP se může lišit se změnou zeměpisné polohy, avšak změnou zeměpisné polohy je myšleno provádění letů na různých vzdálených místech. Při jednom letu se může parametr horizontální přesnosti změnit pouze při vzniku odrazů od budov nebo při zvýšené nerovnosti terénu.

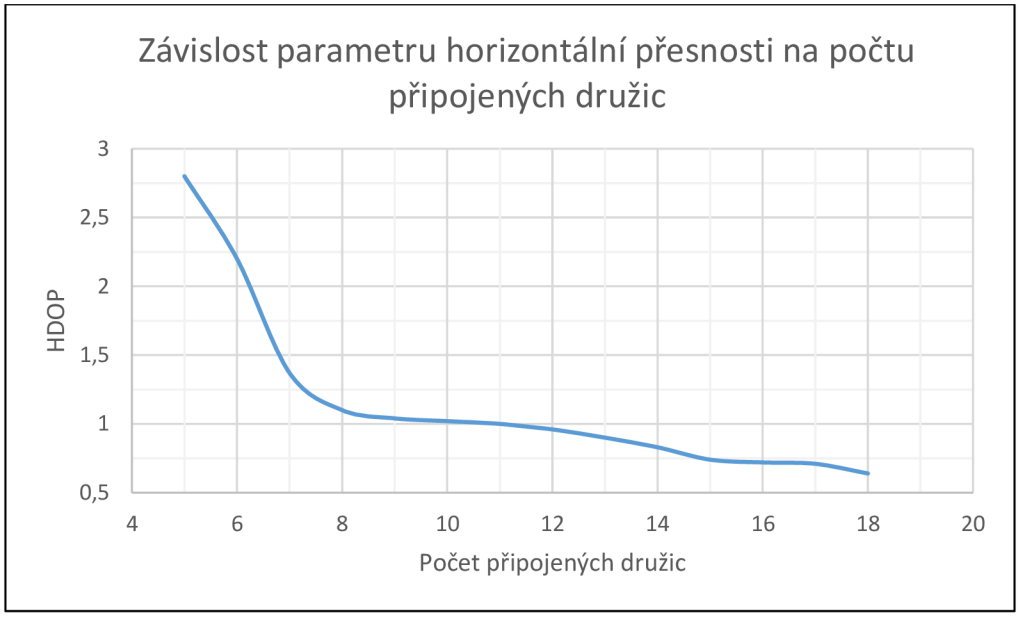
Zaznamenanou hodnotu parametru horizontální přesnosti z celého letu je možné nalézt v logovacím souboru uloženém na paměťové kartě po dokončení letu. Spolu s tímto parametrem je zaznamenán i počet připojených družic. Graf 1 znázorňuje závislost zvyšujícího se parametru horizontální přesnosti HDOP na počtu připojených

družic. Data byla zaznamenána z průběhu jednoho letu na volném prostranství. Počet připojených družic se pohyboval od 5 do 18. Z grafu je patrné, že horizontální přesnost

Tab. 2: Definované hodnoty parametru HDOP [20].

Hodnota HDOP	Hodnocení	Popis
<1	Ideální	Nejvyšší možná přesnost
1-2	Vynikající	Dostatečně přesné hodnoty pro použití
2-5	Dobrý	Maximální hranice použitelnosti
5-10	Mírné	Nedostatečná kvalita přesnosti
10-20	Nízké	Možné použití pouze pro odhad polohy
>20	Špatné	Nemožné použití

při 7 připojených družicích dosahuje hodnoty okolo 1, což je považováno za ideální horizontální přesnost.

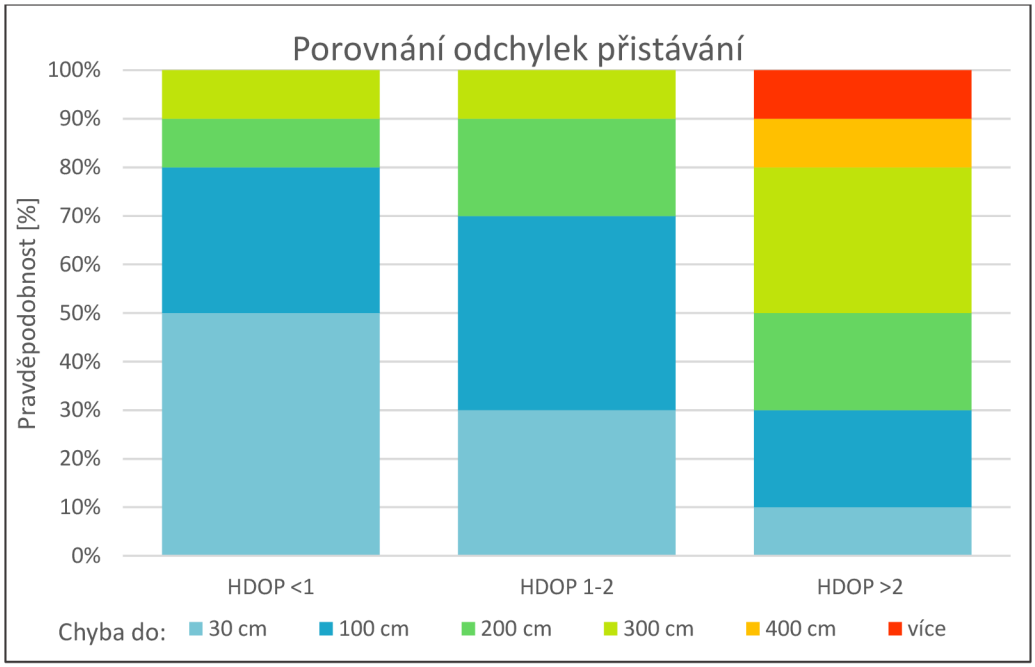


Graf 1: Znázornění závislosti parametru HDOP na počtu připojených družic.

Samotná přesnost přistávání pomocí GPS modulu byla testována na volném prostranství. Bylo provedeno 30 přistání, při kterých počet připojených družic kolísal mezi 5 až 18. Přesnost přistávání se pohybovala v rozmezí od desítek centimetrů až po celé metry od místa umístění nabíjecí stanice. Graf 2 ukazuje porovnání odchylek přistávání v závislosti na hodnotě parametru horizontální přesnosti GPS modulu.

Při hodnotě parametru HDOP menší než 1 se ukázalo, že hexakoptéra je schopna přistát s odchylkou menší než 30 cm pouze s pravděpodobností 50 %, u odchylky 1 m je to potom pravděpodobnost 80 %. Se zvyšující se hodnotou horizontální přesnosti také stoupá nepřesnost při přistávání. Pravděpodobnost, že hexakoptéra přistane s maximální odchylkou 30 cm při hodnotě horizontální přesnosti mezi 1 a 2 dosahuje pouhých 30 %. Při velikosti HDOP větší než 2 již odchylka přesnosti přistání dosahuje nejčastěji chyb 2 až 3 m.

Jelikož kontaktní plocha nabíjecí stanice pro jeden pól má rozměry 30 cm x 55 cm, pro úspěšné přistání musí být maximální odchylka přistání menší než 30 cm. Přesnost přistávání pomocí GPS modulu není tedy dostatečně spolehlivá pro nabíjecí stanici, proto musí být dron vybaven dalším zařízením, které zvýší přesnost přistání na nabíjecí plochu.

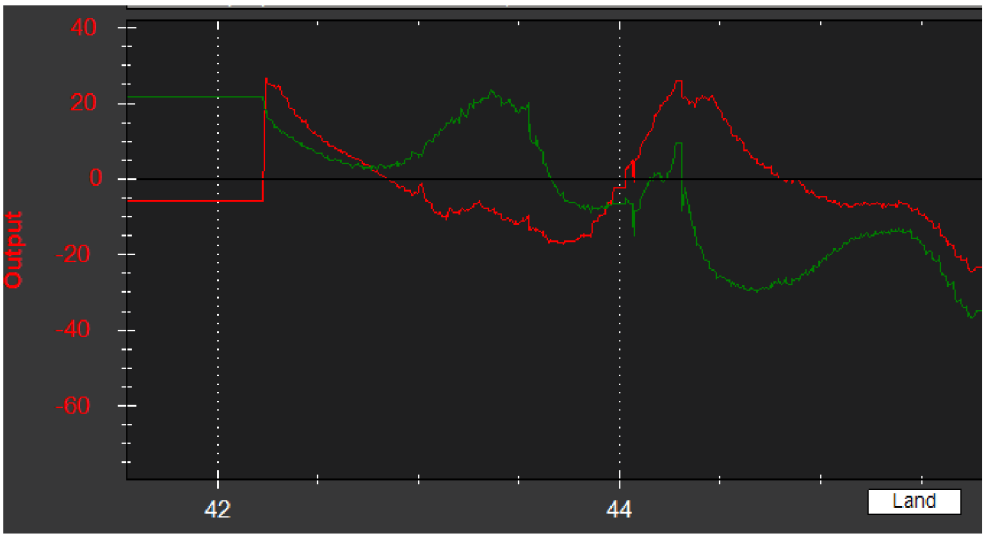


Graf 2: Znázornění přesnosti přistávání pomoci GPS modulu.

Jedním z možných řešení je použití přistávací kamery umístěné na hexakoptéře. Pro testování přesnosti přistání byl zvolen IR-LOCK senzor. Tento senzor je modifikací Pixy kamery sloužící k rozpoznávání objektů. Funguje na principu rozpoznání obrazu z kamery připevněné na spodní části dronu. Senzor detekuje vyzařující paprsek infračerveného světla od matice IR diod umístěných na nabíjecí stanici. IR-LOCK senzor je připojený k řídící jednotce Pixhawk pomocí I2C sběrnice. V programu Mission Planner je nutné povolit řídící jednotce Pixhawk přesné přistávání změnou parametru

„PLND_ENABLED“ na hodnotu „1“ a definovat typ připojeného zařízení parametrem „PLND_TYPE“ na hodnotu „2“. Přesné přistávání lze využít u letového režimu automatického přistávání (*Land*). Při aktivaci tohoto režimu senzor předává jednotce Pixhawk povely o detekované pozici diod a tím umožní přesné navádění letounu na přistání. K detekci diod dochází ve výšce 10 až 15 m nad nabíjecí stanicí. Řídící jednotka po získání povelů od senzoru zahájí přesné přistávání a definovanou rychlostí dosedne kamerou přesně nad infračervené diody, čímž dojde k detekci letounu řídící jednotkou nabíjecí stanice a je možné zahájit nabíjení. Zvolením vhodné vyzařovací intenzity diod je možné využít přesné přistávání i za denního světla [21].

Optický výkon zvolených diod je 40 mW s vyzařovacím úhlem 12 °, tyto diody tvoří matici, která se skládá z 9 diod. Schéma zapojení je přílohou C: diplomové práce. Na obr. *15* je možné pozorovat získané informace řídící jednotkou Pixhawk od senzoru IR-LOCK o pozici matice umístěné na nabíjecí stanici. Záznam z logovacího souboru ukazuje graf přesného přistávání v čase, červená a zelená křivka znázorňuje osy letounu *x* a *y*. Rovné úseky obou křivek na začátku grafu představují výšku letu 11 m, kde senzor ještě nedetekoval matici diod. Následným klesáním letounu došlo k detekci diod ve výšce 9 m nad nabíjecí stanicí, od této chvíle řídící jednotka automaticky upravuje svoji pozici v závislosti na poloze diod a přesně tak řídí přistání na nabíjecí stanici. Výřez grafu z logovacího souboru jednotky Pixhawk představuje dobu 30 s, tedy dobu od detekce matice diod po dosednutí letounu na nabíjecí stanici.



Obr. 15: Informace o poloze matice diod získané řídící jednotkou Pixhawk.

Měřené odchylky přistávání a hodnoty parametru HDOP jsou společně s vytvořenými grafy v souboru „precision_landing.xlsx“, který je obsažen na přiloženém CD.

5.4 Dokonalejší nabíjecí stanice

Tato kontaktní nabíjecí stanice se jeví jako nejoptimálnější řešení z důvodu jednoduché implementace. Možným vylepšením by bylo naprosto přesné přistávání na nabíjecí místo, které by umožnilo přímo spojit konektor napájení s nabíjecí soustavou letounu. Přímé spojení by také umožnilo nabíječku baterie přesunout z letounu na nabíjecí stanici. Nabíjecí stanici by bylo možné realizovat několika dalšími způsoby. Jednou z možností je vyrobit zařízení, které bude automaticky provádět výměnu baterií, ale zařízení by muselo být velmi složité. Dalším z možných způsobů je zvolit indukční nabíjení, ale při tomto druhu nabíjení velmi klesá účinnost při přenosu velkých proudů, které jsou pro rychlé nabíjení důležité.

6 Obsluha poloautomatického systému

Navržený poloautomatický systém pro možnost střežení perimetru v podobě bezpilotního letounu s automatickou nabíjecí stanicí umožňující opakované lety, může být aplikován pro různé typy prostorů. Jako příklad využití může být systém aplikován jako prvek nadstandardní bezpečnostní ochrany v jednom z kaolínových dolů koncernu firem Sedlecký kaolín a. s. v Božičanech, které se nachází nedaleko Karlových Varů. Zvolený povrchový důl má rozlohu cca 16 ha. Na hranici lomu se nachází parkoviště pro stroje a zázemí pro pracovníky dolu. Nejvýhodnější umístění místa pro nabíjecí stanici je zázemí pro pracovníky dolu z důvodu přístupu k elektrické přípojce a také se zde počítá s bezdrátovou sítí pro odesílání dat.

6.1 Plánování letu

Před uvedením hexakoptrézy do provozu je vždy nutné zkontrolovat prostor plánovaného letu. Tento krok předletové přípravy umožňuje předejít porušením zákonů o provozu bezpilotních letounů. Je důležité zkontrolovat, zda se naplánovaná trasa letu nenachází v jednom ze zakázaných, nebezpečných nebo vyhrazených letových prostorů. Dále může také trasa zasahovat do letištní provozní zóny (ATZ), řízeného okrsku (CTR) nebo do koncové řídící oblasti (TMA). Ke kontrole zásahu naplánované trasy do některého z uvedených prostorů pomůže již zmiňovaná mapa Řízení letového provozu České republiky na webových stránkách: http://aisview.rlp.cz/. Po nalezení obce Božičany a kliknutím nad jedním z kaolínových dolů se zobrazí informace, že na tomto území je řízený okrsek CTR Karlovy Vary, to znamená řízený vzdušný prostor, ve kterém je poskytovaná služba řízení letového prostoru. Pro dodržení letových předpisů Doplňku X se smí létat v CTR prostoru do výšky 100 m nad zemí a v horizontální vzdálenosti větší než 5500 m od vztažného bodu letiště. Povrchový důl se nachází více než 5500 m od letiště a potřebná výška pro let hranici 100 m nepřesáhne. Potřebná povolení letového provozu nejsou tedy nutná, ale pokud by byl celý systém trvale nasazen na tento prostor je vhodné informovat řízení letového provozu na letišti v Karlových Varech a předejít tak vzniku nežádoucích situací [17].

Samotný vzlet hexakoptéry je podmíněn nastavením způsobu řízení, který záleží na letových režimech zvolených pro let. Pro potřeby této diplomové práce bude nejlepší zvolit automatický režim, tedy létání po předem naprogramované trase, kde je možné

vždy změnou letového režimu na manuální řízení přerušit vykonávanou misi a umožnit tak hlídací službě zkontrolovat určitá místa detailněji a poté opětovnou změnou na automatický režim pokračovat v naprogramované trase letu. Automatický režim se nastavuje v programu Mission Planner v okně „Flight Plan“. Do zobrazené mapy je možné přidávat body, kterými mohou být například hranice střežených prostorů. Ukázka rozmístění bodů je na obr. 16. Prvním bodem je startovací pozice, proto akce přiřazená k tomuto bodu musí být vzlétnutí do vzduchu („*Takeoff*“). Hexakoptéra vzlétne do výšky 10 m od země. Poté již poletí pomocí GPS souřadnic k druhému bodu v letovém plánu. Druhý bod má nastavenou výšku 20 m. Dron tedy při letu k tomuto bodu bude mírně stoupat. Po dosažení osmého bodu letového plánu je potřeba, aby hexakoptéra přistála na nabíjecí stanici. Slouží k tomu poslední nastavený režim letu „*Land*“. Automatickým přistáním je ukončen let. Rozmístění bodů je vhodné volit po předchozím prozkoumáním terénu z důvodu překážek, které nemusí být na mapě viditelné.

Waypoints

WP Radius 2 | Loiter Radius 45 | Default Alt 100 | Relative | Verify Height | Add Below | Alt Warn 0 | Spline

	Command	Dela				Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Angle	Dist	AZ
1	TAKEOFF	0	0	0	0	0	0	10	X			0	0	0	0
2	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2502442	12,7694714	20	X			0,0	0,0	5717529,3	16
3	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2487897	12,7633023	20	X			0,0	0,0	467,5	250
4	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2458190	12,7646756	20	X			0,0	0,0	344,5	164
5	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2450025	12,7669179	20	X			0,0	0,0	183,5	120
6	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2459631	12,7693427	20	X			0,0	0,0	202,8	58
7	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2478773	12,7702224	20	X			0,0	0,0	221,9	16
8	WAYPOINT	0	0	0	0	50,2493866	12,7695251	20	X			0,0	0,0	175,0	344
9	LAND	0	0	0	0	50,2493523	12,7695197	1	X			-495,7	-78,6	3,8	186

Obr. 16: Plánování trasy letu v softwaru Mission Planner.

Po naplánování letu a nastavení všech potřebných událostí je z důvodu bezpečnosti nutné provádět předletovou kontrolu. Některé prvky by měly být kontrolovány před každým plánováním letu. Lze se tak vyhnout nečekaným selháním, pádům stroje a zničení drahé techniky. Při kontrole by mělo být prověřeno správné zapojení elektroniky, mělo by být eliminováno poškození na konstrukci a pohonu. Nutné je také zkontrolovat kapacitu baterií a správné nastavení softwarové části. Především, zda jsou funkční všechny senzory a zda je dostatečný GPS signál pro let.

6.2 Start bezpilotního letounu

Pokud při předletové kontrole není nalezeno špatné nastavení softwaru nebo hardwarová vada, je možné zapnout vysílačku, pomocí potenciometru nastavit automatický letový režim a uvést letoun do provozu připojením baterie. Po tomto připojení je z důvodu bezpečnosti napájena pouze řídící jednotka a moduly k ní připojené. Regulátory společně s motory nejsou odjištěny.

Řídící jednotka Pixhawk po připojení napájení prochází několika stavy, které signalizuje pomocí diody umístěné na krytu řídící jednotky. Prvním stavem je inicializace systému, je důležité v této části nehýbat s letounem, protože je prováděna rychlá kalibrace senzorů. Stav je signalizován střídavým blikáním diody červenou a modrou barvou a trvá maximálně 5 sekund. Pokud Pixhawk vyhodnotí, že v systému není něco v pořádku, nepovolí odjištění motorů. V případě správné funkce systému dioda modře nebo zeleně bliká v závislosti na nalezení dostatečného GPS signálu. Vybrané stavy signalizační diody řídící jednotky Pixhawk jsou zobrazeny na obr. 17. Stavy řídící jednotky je možné také sledovat na dálku přímo v softwaru pozemní stanice.

Program Mission Planner nemusí být jediným softwarem k ovládání řídící jednotky. Prostředkem pro řízení dronu může být také mobilní telefon nebo tablet s operačním systémem Android využívající například aplikaci Tower. Tato aplikace umožňuje stejně jako program Mission Planner plnohodnotnou kontrolu parametrů letounu. Je určena spíše k ovládání letounu, jelikož je grafické prostředí uzpůsobeno více na průběh letu než na konfiguraci řídící jednotky.

Pokud je vše připraveno je možné stisknout bezpečnostní tlačítko, které umožní napájení regulátorů. Poté zbývá odjistit motory. To se provádí posunutím kniplu vysílačky, který ovládá otáčky motoru do minimální polohy a současně doprava přibližně

na 5 sekund. Odjištění motorů je signalizováno zvukovým signálem. Po odjištění motorů je vše připravené k provedení naplánované mise. Start naplánované úlohy se automaticky zahájí zvýšením kniplu regulace otáček motorů na vysílači. Během letu je možné pomocí potenciometru změnit letový režim na plnohodnotné řízení pomocí vysílačky a měnit tak trasu letu. Trasa letu byla naplánovaná tak, aby byla hexakoptéra po celou dobu letu na dohled pilota. Provedení mise a přistání na nabíjecí stanici je provedeno automaticky. Hexakoptéru je vhodné pro kontrolu perimetru doplnit kamerou, která umožní přenášet obraz na pozemní stanici. Zvolení typu kamer, prostředků pro přenos obrazu a zobrazovacích zařízení je nad rámec této diplomové práce. Celková hmotnost bezpilotního letounu je 1850 g. Dalším zvyšováním zátěže se snižuje doba letu. Optimální přidaná zátěž pro zachování vysokého času letu je 350 g.

Obr. 17: Signalizační stavy řídící desky Pixhawk.

6.3 Kontrola nabíjení

Po provedeném přistání se automaticky zahájí nabíjení baterie. Webová stránka na URL adrese „http://www.enerdrone.cz/data/“ signalizuje v levém zobrazovacím panelu text „Drone detected“. Zahájení nabíjení je signalizováno na webové stránce v panelu „Process“ textem „Charging…“ a výrazným červeným podbarvením panelu. Po ukončení nabíjení se změní barva panelu a je zobrazen text „Charging complete“, to je signál pro obsluhu, že dron je připraven vykonat další let.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat poloautomatický systém, který má pomoci hlídací službě zvýšenou mírou jistoty zabezpečit prostory. Nejdříve proběhlo mé seznámení se s prostory, které spadají do kategorie prostorů s vyšší mírou bezpečnostního rizika. Pro tyto prostory jsem stanovil možná rizika ohrožení. Dále jsem provedl rešerši možností zabezpečení, ochrany a dozoru pro rizikové prostory. Možná bezpečnostní rizika a způsoby jejich zabezpečení nebyla v práci popisována na konkrétních prostorech a není tedy potřebná neveřejná verze diplomové práce.

V další části jsem se zaměřil na návrh poloautomatického systému. Seznámil jsem se se všemi možnostmi využití bezpilotních letounů. Velkým omezením pro provoz bezpilotních letounů je legislativa, ale ta se zřejmě brzy dočká důležitých úprav, které dovolí použití dronů ještě ve více odvětvích. Střežení objektů pomocí dronů má velký potenciál u areálů, kde platí vnitřní předpisy pro jejich provoz. Na základě analýzy trhu jsem vybral nejvhodnější komponenty pro stavbu letounu. Při stavbě hardwaru a konfigurace softwaru se ukázala vybraná hexakoptéra se svými komponenty jako velmi spolehlivý letoun a plnohodnotný prostředek, který může být přidanou hodnotou při střežení perimetru.

Pro zjednodušení obsluhy celého systému jsem realizoval nabíjecí stanici. Při návrhu nabíjecí stanice jsem přemýšlel o několika způsobech realizace a zvažoval možné problémy, které by znemožňovaly praktické použití. Jako prototyp nabíjecí stanice jsem zvolit kontaktní nabíjecí stanici. Realizovaná nabíjecí stanice je s drobnými úpravami univerzálním zařízením použitelným pro různé způsoby využití bezpilotních letounů. Jádro přistávací stanice tvoří řídící jednotka, pomocí které je realizováno inteligentní řízení nabíjení baterie. Dále umožňuje vytvořit společně s bezpilotním letounem autonomní systém pro opakované lety bez nutného zásahu lidského faktoru a díky odesílání dat do databáze a vytvořené webové stránce je možné snadno kontrolovat stav nabíjení z jakéhokoliv zařízení s připojením k internetu. Pro potřeby nabíjecí stanice bylo nutné implementovat zařízení pro zvýšení přesnosti přistávání hexakoptéry. Přesnost přistávání jsem testoval, abych ověřil spolehlivost a odolnost systému.

Samostatná kapitola, která tvoří stručný manuál, je věnována popisu obsluhy vytvořeného poloautomatického systému. V tomto manuálu jsem popsal kroky potřebné

vykonat před samotným startem hexakoptéry a následně také kroky vedoucí ke správnému zacházení s letounem a nabíjecí stanicí.

Seznam použitých zdrojů

[1] *Strategie České republiky pro boj proti terorismu* [online]. Odbor bezpečnostní politiky MVČR, 2013, 32 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://www.mvcr.cz/soubor/3-nap-2013-material-pdf.aspx

[2] Závody a společnosti. *Sedlecký kaolin a.s.* [online]. Božičany, 2008 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://www.sedlecky-kaolin.cz/cz/profil-firmy/zavody-a-spolecnosti.htm

[3] *Nařízení vlády o kritériích pro určení prvku kritické infrastruktury*. In: 432/2010. Praha: Ministerstvo vnitra České republiky, 2010, ročník 2010, číslo 432.

[4] JANÍČEK, Miroslav a Pavel FIALA. *Ochrana důležitých objektů*. Brno, 2016.

[5] *Nakládání s nebezpečnými chemickými látkami a přípravky*. Krajská hygienická stanice [online]. Ostrava: Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje, 2007 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://www.khsova.cz/01_o_nas/nakladani_s_nebezpecnymi_latkami.php

[6] *Vyhláška Českého báňského úřadu o skladování výbušnin*. Praha: Český báňský úřad, 1995, ročník 1995, 23 (15. 6. 1995), číslo 99.

[7] *Zákon České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě*. Praha: Česká národní rada, 1988, ročník 1988, číslo 61.

[8] *Zákon o střelných zbraních a střelivu a o změně zákona č. 156/2000 Sb., o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů a o změně zákona č. 288/1995 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o střelných zbraních), ve znění zákona č. 13/1998 Sb., a zákona č. 368/1992 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, (zákon o zbraních)*. Praha: Parlament České republiky, 2002, ročník 2002, částka 16, číslo 119.

[9] *Zákon o pyrotechnických výrobcích a zacházení s nimi a o změně některých zákonů (zákon o pyrotechnice)*. Praha: Parlament České republiky, 2015, ročník 2015, částka 16, číslo 206.

[10] *Výbušniny a zbraně* [online]. Praha: Preventivně informační oddělení krajského ředitelství policie hl.m. Prahy ve spolupráci s pyrotechniky a balistiky Policie České republiky, 2010©, 24 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: www.policie.cz/soubor/zbrane-a-vybusniny-zbrane-a-vybusniny-pdf.aspx

[11] *Vyhláška Českého báňského úřadu o skladování výbušnin*. In: 542/1991. Praha: Český báňský úřad, 1995, ročník 1995, číslo 99.

[12] KYNCL, Jaromír. Zabezpečení objektů. *Bezpečnostní zpravodaj* [online]. 2012 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://www.bezpecnostni-zpravodaj.cz/zabezpeceni-objektu/

[13] IVANOVÁ, Kristína. *Posouzení bezpečnosti a ochrany objektu*. Zlín, 2011. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, Ústav ekonomie. Vedoucí práce Doc. Dr. Rostislav Kozílek, CSc.

[14] BURDA, K.; STRAŠIL, I. *Zabezpečovací systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. s. 1-187. ISBN: 978-80-214-4441-6. (CS)

[15] *Nový detekční systém pro kontrolu potrubí, ale i hranic*. In: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/zivot-na-vut/fakta-o-vut/vut-v-mediich/f19526/d124192

[16] Bezpilotní letadlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpilotn%C3%AD_letadlo

[17] *DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY*. In: . Praha: Řízení letového provozu české republiky, 2004, ročník 2004, číslo 785. Dostupné také z: http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm

[18] Letadla bez pilota na palubě. Úřad pro civilní letectví [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví, c2011 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube

[19] *SimpleCell Connecting Things* [online]. Praha: SimpleCell, 2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: https://www.simplecell.eu/

[20] Dilution of Precision. *Introduction to GPS* [online]. University of Georgia: Warnell School of Forestry and Natural Resources, University of Georgia [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: http://gps.sref.info/course/4c.html

[21] *MarkOne Precision Landing Tutorial. IR-LOCK* [online]. 2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: https://irlock.readme.io/v2.0/docs

Seznam použitých zkratek

ČSN	Česká soustava norem
PIR	Pasiv Infra Red (Pasivní infračervené čidlo)
EZS	Elektronická zabezpečovací signalizace
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Bezpilotní letadlo)
GPS	Global Positioning Systém (Globální polohový systém)
FVP	First Person View (Pohled z první osoby)
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ESC	Electronic speed control (Elektronická regulace rychlosti)
PWM	Pulse Width Modulation (Pulzně šířková modulace)
LiPo	Lithium polymer
PPM	Pulse Position Modulation (Pulzně polohová modulace)
USB	Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)
I2C	Inter-Integrated Circuit
Wi-Fi	Wireless Fidelity (Bezdrátová síť)
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
URL	Uniform Resource Locator (Jednotná adresa zdroje)
PHP	Hypertext Preprocessor (Hypertextový preprocesor)
MySQL	My Structured Query Language
GSM	Groupe Spécial Mobile (Globální systém pro mobilní komunikaci)
HDOP	Horizintal Dilution of Precision (Horizontální rozptyl přesnosti)
ATZ	Aerodrome traffic zone (Letištní provozní zóna)
CTR	Control zone (Řízený okrsek)
TMA	Terminal control area (Koncová řídící oblast)

Seznam příloh

A: Schéma zapojení řídící jednotky nabíjecí stanice

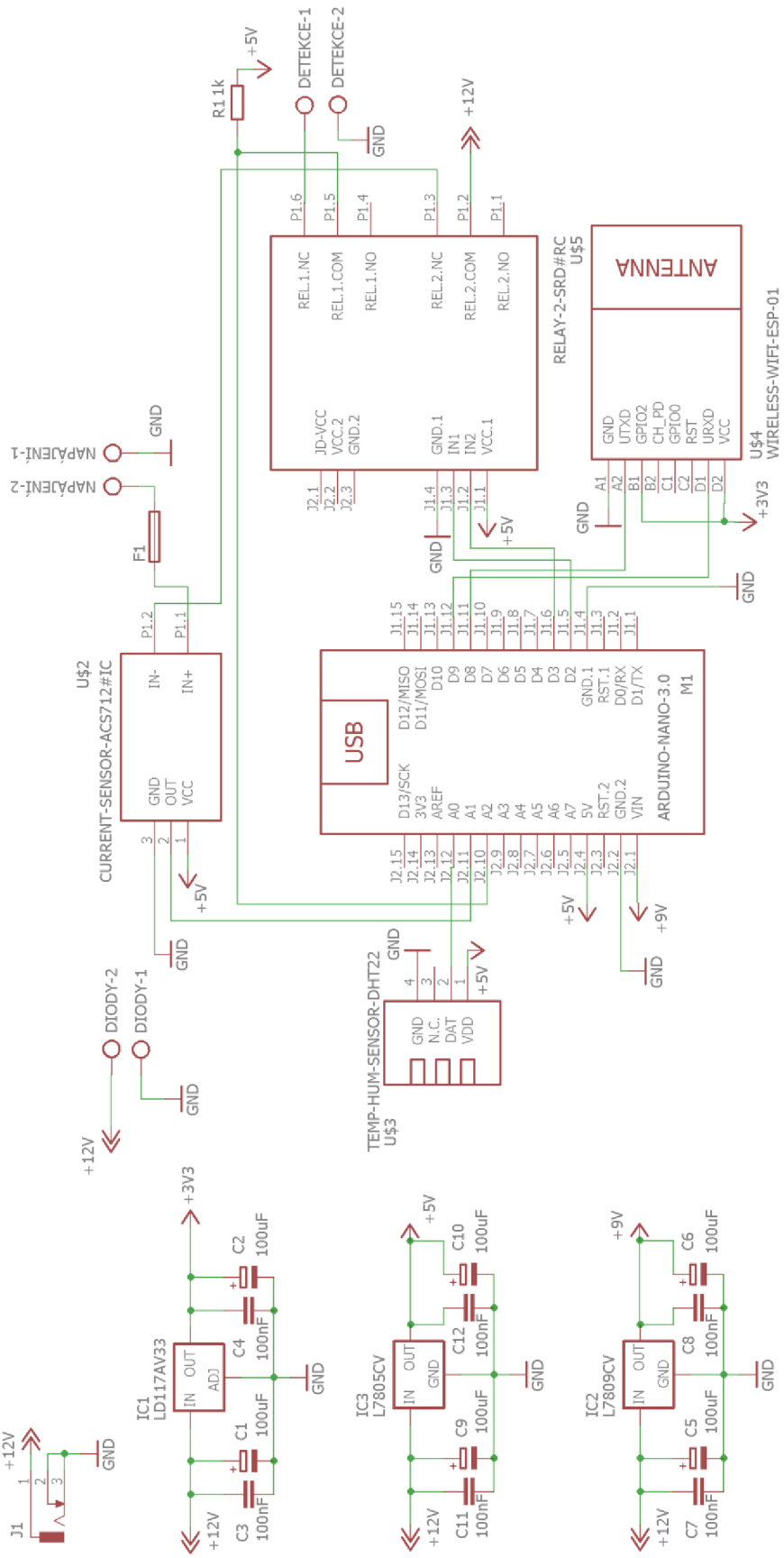
B: Rozvržení desky plošných spojů

C: Schéma zapojení matice diod pro přesné přistávání

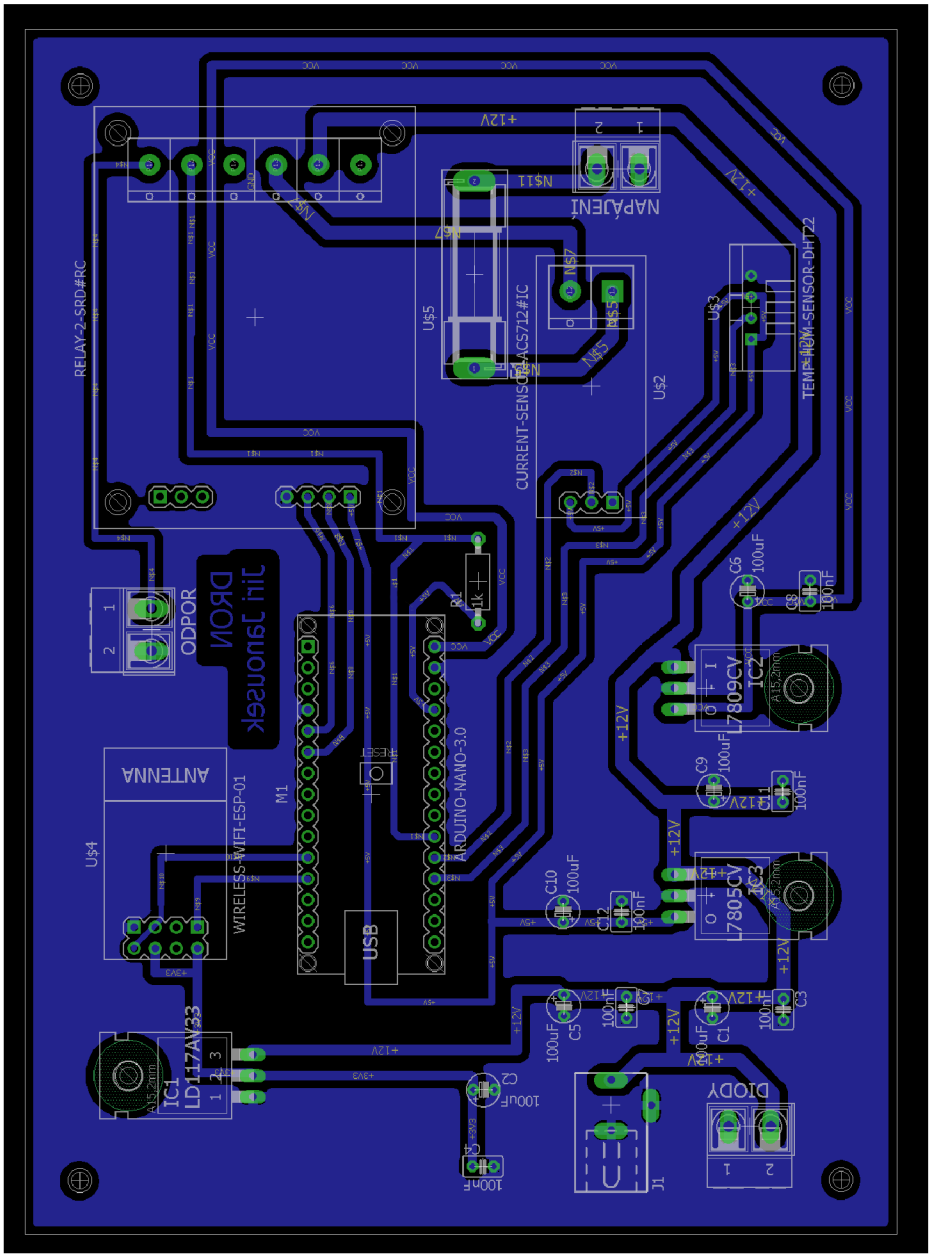
D: Fotografie vytvořeného poloautomatického systému

E: Obsah přiloženého CD

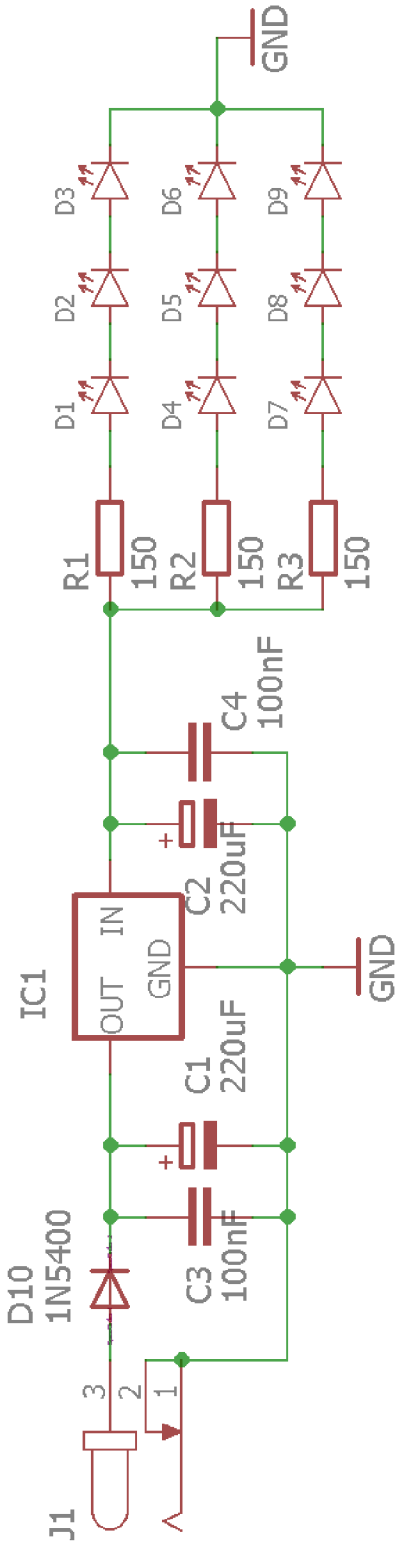
A: Schéma zapojení řídící jednotky nabíjecí stanice



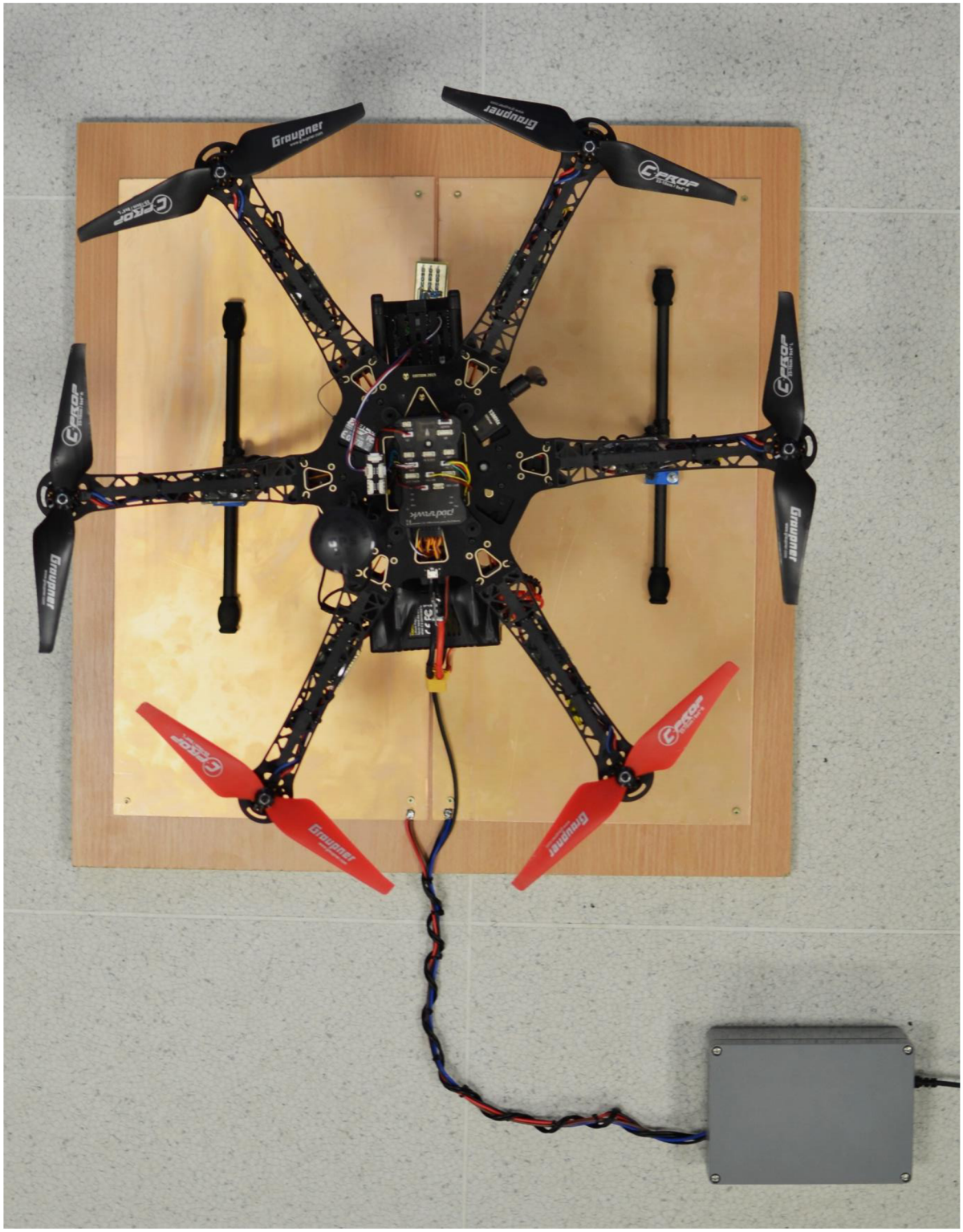
B: Rozvržení desky plošných spojů pro řídící jednotku



C: Schéma zapojení matice diod pro přesné přistávání



D: Fotografie vytvořeného poloautomatického systému



E: Obsah přiloženého CD

Elektronická verze bakalářské práce.

Konfigurační soubor řídící jednotky Pixhawk.

Zdrojový kód řídící jednotky nabíjecí stanice.

Zdrojové kódy skriptu pro ukládání dat, webové aplikace a struktura databáze.

Model držáku hrotových konektorů.

Elektronické schéma řídící jednotky a matice diod.

Rozvržení plošných spojů řídící jednotky a matice diod.