



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

DRONY A JEJICH VYUŽITÍ

DRONES AND THEIR USE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Žanda

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav automatizace a informatiky |
| Student: | Martin Žanda |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Základy strojírenství |
| Vedoucí práce: | prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D |
| Akademický rok: | 2019/20 |

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Drony a jejich využití

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Drony se staly užitečným pomocníkem v mnoha oblastech průmyslu, ale i zábavy. Slouží v energetice, zemědělství, využívají je záchranáři, umožňují nahrávání videí a fotografování z ptačí perspektivy, dokonce se používají i ve vojenských operacích.

Cíle bakalářské práce:

1. Popište oblasti využití dronů a jejich současnou legislativu.
2. Uveďte základní principy jejich ovládání a dynamiky pohybu v provozu.
3. Blíže rozeberte vybrané typy dronů, vč. technických a ekonomických parametrů.

Seznam doporučené literatury:

JURAČKA, P. J.: Drony. Fotografování z ptačí perspektivy. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-247-5787-2.

VAŘÁK, J.: Možnosti hlasového ovládání bezpilotních dronů. Ostrava: VŠB-TU Fakulta elektrotechniky a informatiky. Bakalářská práce, 2017.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá drony a jejich oblastmi využití. Cílem této práce je získání obecného a aktuálního přehledu v oblasti této problematiky. Tato práce je rozdělena na 5 částí. První část je věnována legislativě v oblasti civilního letectví. Druhá část popisuje dynamiku pohybu a princip ovládní. Třetí část představuje jednotlivé komponenty a senzory. V následující části jsou popsány oblasti využití dronů. Poslední část je věnována jednotlivým typům dronů a jejich srovnání.

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with drones and their areas of use. The aim of this thesis is capture a general and actual overview in area of these issues. This thesis is divided into 5 parts. The first part is devoted to legislation in area of civil aviation. The second part describes dynamics of movement and principle of control. The third part introduces individual components and sensors. In the following part, areas of use of drones are described. The last part is devoted to individual types of drones and their comparison.

KLÍČOVÁ SLOVA

dron, bezpilotní letoun, model kvadrokoptéry, UAV, oblasti využití, legislativa, typy dronů

KEYWORDS

drone, unmanned aircraft, design of quadcopter, UAV, areas of use, legislation, types of drones

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽANDA, Martin. *Drony a jejich využití*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125276>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Miloš Šeda.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. RNDr. Ing. Miloše Šedy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 22. 6. 2020

.....

Martin Žanda

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD..... | 13 |
| 2 | LEGISLATIVA..... | 15 |
| 2.1 | Mezinárodní právo..... | 15 |
| 2.2 | Evropské právo..... | 16 |
| 2.3 | Národní právo, legislativa bezpilotních systémů v ČR..... | 18 |
| 2.3.1 | Souhrn pravidel pro létání s drony na území ČR:..... | 20 |
| 2.3.2 | Nová evropská pravidla..... | 21 |
| 2.3.3 | Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví... .. | 22 |
| 2.3.4 | Doplněk X..... | 22 |
| 2.3.5 | Zákon č. 110/2019 Sb., o zpracování osobních údajů..... | 24 |
| 2.3.6 | Zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník..... | 24 |
| 2.3.7 | Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny..... | 24 |
| 3 | PRINCIP A DYNAMIKA POHYBU..... | 25 |
| 3.1 | Kvadrokoptéra..... | 25 |
| 3.2 | Princip..... | 26 |
| 3.2.1 | Fyzikální model..... | 27 |
| 3.3 | Newton-Eulerovy rovnice..... | 29 |
| 3.4 | Rotační pohyb kolem vertikální osy..... | 31 |
| 3.5 | Translační pohyb ve svislé ose..... | 31 |
| 3.6 | Rotační pohyb kolem osy y..... | 33 |
| 3.7 | Rotační pohyb kolem osy x..... | 33 |
| 3.8 | Translační pohyb ve směru osy x,y..... | 34 |
| 4 | KOMPONENTY A SENZORY..... | 35 |
| 4.1 | Rám, tělo kvadrokoptéry..... | 35 |
| 4.2 | Vrtule..... | 36 |
| 4.3 | Elektromotory..... | 37 |
| 4.4 | ESC, řídicí jednotka motorů..... | 37 |
| 4.5 | Řídicí deska..... | 38 |
| 4.6 | Akumulátor..... | 38 |
| 4.7 | Dálkový ovladač..... | 39 |
| 4.8 | Gimbal..... | 39 |
| 4.9 | Senzory..... | 39 |
| 4.9.1 | IMU – inerciální měřicí jednotka..... | 39 |
| 4.9.2 | Gyroskop..... | 40 |
| 4.9.3 | Akcelerometr..... | 40 |
| 4.9.4 | GPS..... | 40 |
| 4.9.5 | Barometr..... | 41 |
| 4.9.6 | Magnetometr..... | 41 |
| 4.9.7 | Systém na vyhýbání se překážkám..... | 41 |
| 4.9.8 | Senzory sledující polohu sousedů..... | 41 |
| 5 | OBLASTI VYUŽITÍ..... | 43 |
| 5.1 | Armáda, vojenské využití..... | 43 |
| 5.2 | Záchranné systémy a pomoc při katastrofách..... | 44 |
| 5.3 | Ochrana přírody a pozorování zvířat..... | 46 |
| 5.4 | Hospodářství – chytré zemědělství..... | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.5 | Bezpečnostní inspekce | 48 |
| 5.6 | Doprava a doručovací služby | 49 |
| 5.7 | Kinematografie, žurnalistika, fotografování | 50 |
| 5.8 | Stavební průmysl a zásobování | 51 |
| 5.9 | Sport, závody a zábava..... | 51 |
| 5.10 | Nelegální činnost..... | 52 |
| 6 | TYPY DRONŮ | 53 |
| 6.1 | Multikoptéry..... | 54 |
| 6.1.1 | Trikoptéra..... | 54 |
| 6.1.2 | Kvadroptéra..... | 55 |
| 6.1.3 | Hexakoptéra | 56 |
| 6.1.4 | Oktokoptéra..... | 57 |
| 6.2 | Křídlové drony | 58 |
| 6.3 | Hybridní drony | 59 |
| 6.4 | Konkrétní zástupci | 60 |
| 7 | ZÁVĚR..... | 61 |
| 8 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 63 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ZKRATEK | 67 |

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá létajícími bezpilotními prostředky – drony, a to z hlediska legislativy, dynamiky pohybu, jednotlivých dílů a senzorů, oblastmi použití a jednotlivými typy. Toto téma jsem si zvolil, protože technologie a možnosti dronů jsou neustále na vzestupu a jejich růst se rozšířil nejen na vojenské účely, ale již jsou běžným a dostupným prvkem v každodenním životě. Každý si již dnes může snadno pořídit vlastní stroj a používat jej buď jen pro vlastní (rekreační) účely nebo pro komerční (výdělečné) účely. Ovšem odlišné způsoby používání s sebou přináší rozdílné možnosti a také náležitosti, co uživatel musí splnit. To nás vede ke smyslu práce. Cílem je vytvoření ucelého přehledu relevantních aktuálních informací, které by každému po jejich přečtení měly dát jasný pohled na tuto problematiku.

První kapitola práce je zaměřena na právní hledisko, zákony spojené s civilním letectvím a jak zákony nahlíží na bezpilotní prostředky. Nejdříve z pohledu mezinárodního práva, evropského práva a poté národního práva. V této části by čtenář měl získat představu o tom, co se s drony smí a co ne, co musí splnit a jaké změny se připravují po přijetí nových nařízení. Další kapitola je věnována dynamice a principu pohybu. Zde bude vysvětleno, jak se dron pohybuje, jak docílíme jednotlivých pohybů v osách a stručné matematické vyjádření jednotlivých pohybů. Příklad bude uveden na kvadrokoptéře, protože se jedná o nejběžnější a nejdostupnější provedení konstrukce. Stejně tak popis jednotlivých komponentů a senzorů bude představen v následující kapitole na modelu kvadrokoptéry. Prvky na kvadrokoptéře oproti jiným multikoptérám se liší převážně pouze v četnosti, ve které se na stroji vyskytují. Zde by měl každý získat představu, z čeho se obyčejný dron skládá a co zaručuje stabilní, klidný let. Další část je věnována jednotlivým oblastem využití. Možnosti využití jsou velmi široké. Poslední kapitola bude věnována jednotlivým typům dronů. Pro jejich porovnání bude použita jednoduchá SWOT analýza, která by měla vyzdvihnout kladné a záporné vlastnosti jednotlivých typů.

Bezpilotní letoun (UAV = z ang. Unmanned Aerial Vehicle) budí dojem, že se jedná o prostředek, který nemá pilota. Ovšem UAV pilota mají, pouze nesedí přímo uvnitř stroje. Jde o letadlo bez posádky, které může být řízeno na dálku, nebo létat samostatně pomocí předprogramovaných letových plánů. Větší drony dokonce vyžadují k provozu 2 osoby – pilota a operátora. Pilot ovládá pohyb dronu a operátor se stará o pohyb kamery a kvality záznamu. První bezpilotní prostředky byly zkonstruovány počátkem 20. století. Slovo dron pochází z ang. slova drone a poprvé byl použit již v roce 1946 a v překladu znamená trubec. Pojmenování vzniklo pravděpodobně kvůli zvuku, který připomínal včelí bzukot. Dříve byly využívány převážně jako cvičné cíle a terče a sloužily k monitoringu a sledování nepřátel. Až po atentátu 11. září 2001 začaly sloužit jako útočné zbraně k zabíjení nepřátel na vzdálenosti tisíců kilometrů. Celosvětové využívání dronů pro komerční užití odstartovala Federální letecká správa v roce 2006 vydáním prvních povolení pro jejich běžné využití. Federální letecká správa USA ve své

prognóze [2] předpověděla, že do roku 2020 bude ve vzduchu asi 7 milionů dronů. To jen potvrzuje vzrůstající zájem a výrazný pokrok ve výpočetní technice, který posouvá hranice mikropočítačů a dovoluje vytvářet nová a spolehlivá zařízení. Velký rozvoj nastal také v oblastech pohonných bateriích, jejich kapacit, motorech, závěsných systémech senzorů a eliminaci vibrací, miniaturizaci elektroniky, pokročilého programování ovládacích softwarů a zminimalizování jednotlivých součástí. Technologie bezpilotních systémů exponenciálně roste a je těžké říci, jak bude vypadat budoucnost dronů, ale rozhodně se bude na co těšit. [1]

Rozvoji bezpilotních letounů v České republice se věnoval Vojenský technický ústav letectva a protivzdušné obrany v Praze. Nejvyžívanějším a zároveň nejznámějším bezpilotním průzkumným letounem byla Sojka III. Sloužila výhradně pro průzkum terénu a sledování a využívala ji rota bezpilotních průzkumných prostředků Pozemních sil Armády ČR. Období, kdy byla v provozu, je od roku 2000 do roku 2010. Nyní je vyřazena a můžeme si ji prohlédnout v kbelském muzeu. [1]

2 LEGISLATIVA

V současnosti se drony dokážou pohybovat ve vzduchu i zcela autonomně, a proto je důležité stanovit určité hranice a podmínky provozu. Dále je zapotřebí zajistit bezpečnost lidí, ochranu jejich soukromí a majetku. Jednotlivé státy vydávají své sady předpisů pro zajištění bezpečného pohybu ve vzdušném prostoru, který musí podléhat mezinárodnímu právu a pro Česko, vzhledem k členství v EU, hlavně evropskému právu. Každý majitel dronu, který jej využívá k létání ve společných leteckých prostorách, musí dodržovat kromě platných vnitrostátních předpisů i pravidla vydaná v úmluvě Mezinárodní organizace pro civilní letectví (dále jen ICAO), včetně všech jejích příloh. Tyto přílohy se týkají se všech členských zemí ICAO. Slouží jako doporučené minimální požadavky. [1]

I jeden dron v nesprávných rukách na nesprávném místě může zapříčinit nečekaně velké škody. Například v roce 2018 ochromil provoz londýnského letiště Gatwick jeden dron, který narušil vzdušný prostor. Kvůli tomu došlo ke zrušení přibližně 400 letů a způsobil škody v řádech milionů liber. Je zajímavé, že v žádných oficiálních právních spisech se slovo dron nikde nevyskytuje. Namísto toho se používá spojení slov bezpilotní letadlo, autonomní letadlo, bezpilotní systém, bezpilotní letoun, letadlo bez pilota, model letadla nebo jen letadlo. [1, 3]

2.1 Mezinárodní právo

Původní mezinárodní práva ohledně létání se odsouhlasila na jednání Organizace spojených národů a Spojených států amerických 7. prosince 1944. Již zde byla sepsána Chicagská úmluva a založena ICAO. Úmluvu podepsalo 52 národů, mezi nimi i Československo a přejalo ji do svého platného právního systému jako zákon č. 147/1947 Sb., O civilním letectví. Platnosti nabyla 4. dubna 1947 a dnes je známá jako Úmluva o mezinárodním civilním letectví. Celkem obsahuje 96 článků a bezpilotním prostředkům je věnován článek 8 - Letadla neřízená pilotem, jenž zní takto [4]: *„Žádné letadlo, které jest způsobilé býti řízeno bez pilota, nesmí létat bez pilota nad územím smluvního státu, leč se zvláštním zmocněním tohoto státu a v souhlase s podmínkami takového zmocnění. Každý smluvní stát se zavazuje zajistiti, aby let takových letadel bez pilota byl v oblastech přístupných civilním letadlům řízen tak, aby bylo vyloučeno nebezpečí pro civilní letadla.“*

Součástí úmluvy jsou již zmiňované přílohy a později byly přepracovány do podoby národních předpisů řady L. Tyto přílohy pro státy nejsou tak závazné. Představují pouze vzor, jak nastavit zákony o regulaci civilního letectví a není povinné je dodržovat do posledního slova. Jde spíše o spis s doporučeními. Jednotlivé státy si mohou stanovit určité odchylky od pravidel ICAO, ale musí je vždy ohlásit, aby se o nich mohli dozvědět piloti z jiných zemí. [5]

Předpisy ICAO tvoří 19 příloh Mezinárodní úmluvy o civilním letectví a věnují se:

- v ČR vydány jako národní předpisy řady L [5]

- L1 – licencím a způsobilosti leteckého personálu
- L2 – pravidlům létání
- L3 – meteorologickým službám
- L4 – leteckým mapám
- L5 – využívání měřících jednotek v letovém provozu
- L6 – provozu letadel
- L7 – poznávání státní příslušnosti a registračních značek letadel
- L8 – letové způsobilosti letadel
- L9 – usnadňování formalit
- L10 – letecké telekomunikační službě
- L11 – letovým provozním službám
- L12 – pátrání a záchraně
- L13 – vyšetřování příčin leteckých incidentů a nehod
- L14/L14H – letišť a heliportů
- L15 – leteckým informačním službám
- L16 – ochraně životního prostředí
- L17 – bezpečnosti letectví
- L18 – bezpečná letecká přeprava nebezpečného zboží
- L19 – řízení bezpečnosti

2.2 Evropské právo

Legislativní oblast civilního letectví pro Evropskou unii má na starost Evropská agentura pro bezpečnost letectví (dále jen EASA). EASA byla založena 23. září 2003 v německém městě Kolín nad Rýnem a členy jsou všechny státy EU. Každé nařízení a směrnice vydaná touto agenturou musí projít standardním schvalovacím procesem přijímání zákonů přes Evropský parlament a Evropskou komisi. Ovšem vše, co projde schválením, je na rozdíl od příloh ICAO závazné a státy jsou povinny je přejímat do svého právního řádu. Existují i nařízení, tzv. návody (GM) a přijatelné způsoby shody (AMC), které nepodléhají schvalovacímu procesu a jsou nezávazné. Pokud dojde k jejich porušení, tak nehrozí stíhání či vymáhání pokuty. [5, 6]

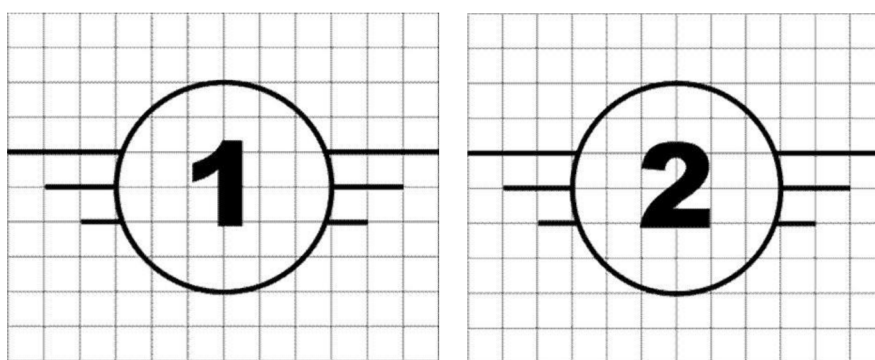
Mezi poslední cíle EASA patří snaha o zrušení rozdílů mezi tzv. hobby uživateli a profesionálními uživateli. Chtějí sjednotit základní předpisy a značení všech dronů pro celou EU. Zavést testy z pravidel a zákonů ohledně létání pro všechny vlastníky. Po vzoru USA chtějí, aby od 1. července 2020 musel být zaregistrován téměř každý dron. V USA toto platí již od roku 2016, a tím výrazně došlo ke snížení počtu případů s neoprávněným létáním. Byl také stanoven minimální věk pilota v EU na 16 let.

Návrh společné celoevropské normy byl schválen na přelomu května a června minulého roku Evropskou radou i Evropským parlamentem. Oficiálně byl publikován 11. 6. 2019 ve všech jazycích členských států. Konkrétně se jedná o 2 vyhlášky: [3, 5, 6]

- a) Nařízení komise v přenesené pravomoci EU 2019/945 – o bezpilotních systémech a o provozovateli bezpilotních systémů ze třetích zemí
- b) Prováděcí nařízení komise EU 2019/947 – o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel

Od té doby běží roční přechodné období, do kterého musí jednotlivé členské státy zrealizovat a uvést platnou podobu zákonů, kterou začlení do svých národních legislativ. Původně měla novela zákona platit od 1. 7. 2020, čímž se měla změnit pravidla pro volné používání dronů i v Česku. Současná situace pandemie koronaviru však termín odložila o 6 měsíců. Oficiální termín se tedy odsunul plošně pro celou EU na 1. 1. 2021. Prováděcí nařízení se věnuje možnostem provozování dronů a nařízení předepisuje normy pro produkci dronů, podmínky pro dodávání dronů na trh EU a pro provozovatele dronů ze třetích zemí. [3, 6]

Nová pravidla budou platit i pro prodej dronů. Výrobci a prodejci ze zemí mimo EU, kteří budou chtít prodávat své produkty v EU, budou muset označit výrobky identifikačními štítky, které mají svoji specifickou podobu, viz obr. 1. Štítky budou označovat příslušnou třídu stroje. Třídy jsou rozlišeny na třídy C0 – C1 – C2 – C3 – C4. Jednotlivé třídy se od sebe liší svojí maximální vzletovou hmotností, vyvinutou rychlostí letu v horizontálním směru, maximální možnou výškou nad zemí, provozním napětím a dalšími specifickými požadavky. Dále všechny drony distribuované v EU musí obsahovat příručku s nezbytnými parametry o stroji a standardizované informační sdělení vydané EASA, které upozorňuje na použitelná omezení a náležitosti podle práva EU. [3, 6]



Obr. 1 – Příklad štítku pro označení třídy C1 a C2 [3]

Evropská norma rozdělí bezpilotní prostředky do následujících kategorií:

- a) Otevřená
- b) Specifická
- c) Certifikovaná

a) Otevřená kategorie

Na základě provozních podmínek a technických požadavků na bezpilotní systém se dělí na další podkategorie označené A1, A2, A3. Každý vlastník dronu spadající do této kategorie musí splnit určité náležitosti. Musí zhotovit provozní plány přizpůsobené způsobu používání a jejich rizik. Uživatelé musí projít přes online kurz a testy. Obtížnost zkoušek se odvíjí podle kategorie, A1 vyžaduje největší znalosti. Dále musí mít dron označený štítkem příslušné třídy a registrační číslo. [3, 6]

Drony tříd C1 a C2 musí být vybaveny zařízením, které kontroluje bezpečnou a průběžnou identifikaci na dálku. To usnadní práci například policii, protože při zjištění registračního čísla stroje zjistí číslo registrace provozovatele, přesnou zeměpisnou polohu a výšku stroje, trajektorii letové dráhy a přesnou polohu operátora na zemi. [3, 6]

b) Specifická kategorie

Do této kategorie spadají již profesionální uživatelé, využívající drony převážně ke komerčním účelům. Nároky pro majitele provozujících výdělečnou nebo jen leteckou činnost se téměř neliší od současných požadavků ÚCL. Uživatel dronu spadající do této kategorie musí sepsat provozní příručku přizpůsobenou druhu provozu, podrobný návod způsobu použití a rozbor rizik původního záměru. Stroj musí být pojištěný a označen štítkem s registračním a identifikačním číslem. Na rozdíl od předcházející kategorie, kdy provozovatel mohl provádět kurzy online, se již musí dostavit na úřad, absolvovat určený kurz a napsat test na místě. Pokud užívá prostředek ke komerčním účelům, musí pilot získat „řidičský“ průkaz na dron, tzn. pilotní průkaz. [3, 6]

c) Certifikovaná kategorie

V této kategorii myslí EASA spíše na budoucnost. Patří zde prostředky, které se svými technickými parametry nevlezou do kategorie specifické. Překračují ji svojí maximální vzletovou hmotností, rozměry přesahují předepsané meze, jsou zde zvýšené možnosti nebezpečí a nutnost certifikace stroje. Jedná se např. o doručovací drony nebo o drony pro přepravu osob. Této inovaci se předpovídá velká budoucnost a jednotná evropská pravidla se na to snaží již připravit. Ovšem provozovatelé této kategorie budou muset získat osvědčení pro provozovatele lehkých bezpilotních systémů, tedy projít přes kurzy a testy ostatních kategorií. [3, 6]

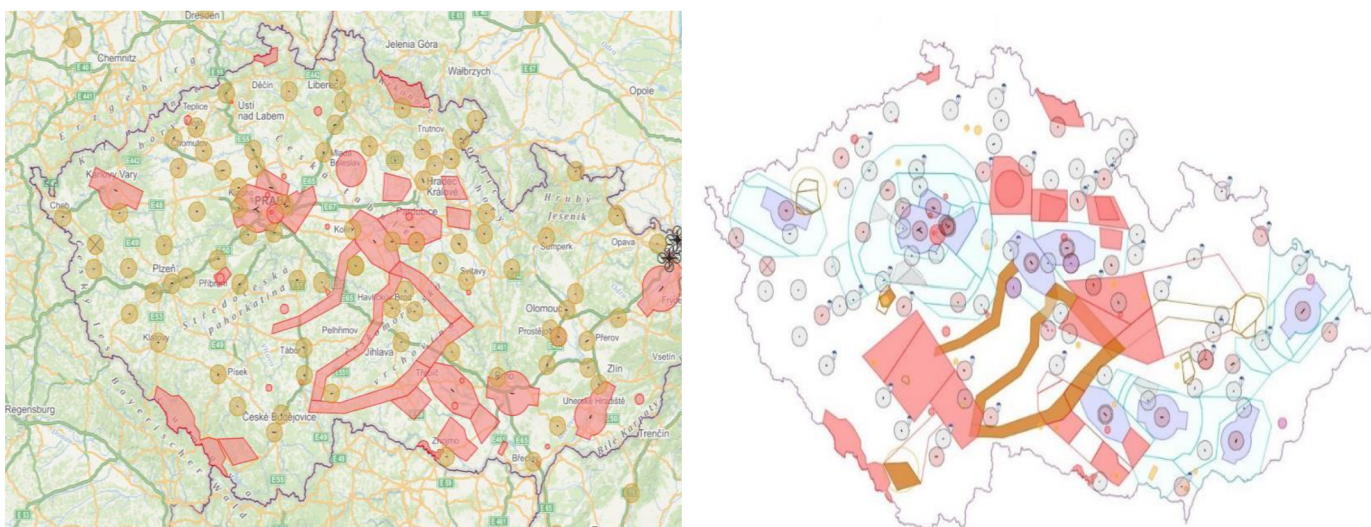
2.3 Národní právo, legislativa bezpilotních systémů v ČR

Národní předpisy o využívání leteckých prostředků se neustále mění. Technologie jde stále dopředu a současným hitem je miniaturizace a odlehčování výrobků. Každým výrazným pokrokem se některé prostředky vyčlení ze současných předpisů a musí se tak upravit zákony, aby se v nich nevyskytovaly mezery a pokryly celou škálu délkových či váhových kategorií. Dodržovat všechny zásady při provozu dronů není jednoduché, sahají

totiž do několika právních oblastí. Provozovatel musí mít nastudována například práva ohledně létajících zařízení, ochraně soukromí, odpovědnosti za škodu a pojištění, životního prostředí a obecní právní aspekty provozu a jejich regulace. [3, 6]

Vnitrostátní zákony o provozu bezpilotních letadel podléhají všem nařízením a směrnícím plynoucích z nařízení EU a mezinárodním leteckým předpisům, jež jsou předepsány v Úmluvě mezinárodního civilního letectví. Jedná o letecké předpisy vydané ICAO, EASA a Sdružením leteckých úřadů podle předpisů EU. Základním pramenem vnitrostátní úpravy legislativy civilního letectví je u nás zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a letecké předpisy ICAO (L1-19). Dále se provozu bezpilotních prostředků a modelů věnuje speciální Doplněk X přidaný k obecným pravidlům létání, který určuje předpis L2. V České republice aktuální situaci ohledně nových předpisů zajišťuje Úřad pro civilní letectví (ÚCL), Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod a Úřad pro řízení letového provozu. Ti mají na starost sepsání norem a následně ministerstvo dopravy jednotlivé předpisy vydává. Ty jsou následně publikovány v Letecké informační příručce a na webu Letecké informační služby. Kvůli vybavení dronů kamerami s nahráváním a možností uchování záznamu se do procesu musel zapojit i Úřad pro ochranu osobních údajů. [3, 5, 6]

Každý stát má oprávnění si vymezit speciální zóny s rozdílnými druhy omezení provozu. Tím jsou na mysli zakázané zóny, zóny přístupné pouze pro určité kategorie, zóny přístupné pouze se zvláštním povolením, zóny podřízené provozu normám životního prostředí, pouze drony s e-identifikací apod. Pro takové zóny budou vytvořeny omezení ve vzdušném prostoru, tzv. geo-awareness. Z tohoto důvodu úřad pro řízení letového provozu zřídil leteckou mapu AisView, ve které jsou tyto zóny podrobně zobrazeny, viz obr. 2 vpravo. Je zdarma přístupná na internetu a dá se stáhnout jako aplikace do chytrých telefonů. Než tedy osoba někam vyrazí, je důležité si zjistit, zda tam může. Pro zjištění dostupnosti se dá využít letecká mapa Airmap vydaná od ICAO, která mapuje celý svět, anebo letecká mapa DroneView, která je určena pro předletovou přípravu UAS na území Česka. Jedná se o speciální modul webové aplikace AisView a jsou v ní vyznačeny všechny zakázané či omezující zóny červenou barvou, viz obr. 2 vlevo. [3, 5, 6]



Obr. 2 – Letecká mapa ČR DroneView a AisView k 18. 6. 2020 [7]

Drony na našem území mohou létat pouze v nejnižším vzdušném prostoru třídy G, to znamená do výšky 300 metrů nad zemí. Až na drony do hmotnosti 0,91 kg, ty podle Doplnku X mohou létat pouze do výšky 100 m nad zemí. Pokud je na mapě oblast označená LKP, znamená to, že se jedná o prostory zakázané (P= prohibited) a máme se jím vyhnout. To stejné platí pro oblast označenou LKR, to znamená, že se jedná o prostory s omezeným přístupem (R= restricted). Oblasti LKP a LKR jsou vyznačeny červenou barvou, viz obr. 2 vpravo. Tyto oblasti jsou aktivní neustále a jedná se například o jaderné elektrárny nebo muniční sklady. Existují i zóny, které jsou aktivovány jen občas. Jde o prostory TSA (z ang. Temporary Segregated Area), tedy dočasně vyhrazené prostory a TRA (z ang. Temporary Reserved Area), tedy dočasně rezervované prostory. Tyto prostory slouží pro vojenská cvičení a pro cvičení vojenských letců a jsou vyznačeny světle hnědou barvou, viz obr. 2 vpravo. Aktuální stav se dá zjistit na webových portálech AisView. Většinou se však nachází až ve výškách, kam se dronem nedá dostat. [3, 6, 7]

V ČR je s dronem zakázáno se pohybovat v okolí bezletových zón, celkem jich je 13 a jsou to okolí letišť, vojenských základen, elektráren, vybraných památek, historických center měst a národních parků. Kolem letišť rozlišujeme 2 druhy zón – ATZ a CTR. Letištní provozní zóna ATZ (z ang. Aerodrome traffic zone) se nachází v okolí letišť bez služby řízení letového provozu a drony musí udržovat odstup minimálně 5,5 km. Na mapě AisView jsou vyznačené světle fialovou barvou, viz obr. 2 vpravo. Řízený okrsok CTR (z ang. Control zone) obklopují řízená letiště, jejich rozloha je individuální podle velikosti letiště, provoz dronů je v této oblasti omezen. Na mapě AisView jsou vyznačené modrou barvou, viz obr. 2 vpravo. [7, 8, 9]

Pokud jakákoliv osoba užívá dron za účelem komerčním, experimentálním nebo výzkumným, musí mít pilotní průkaz, registrovaný stroj a povolení od ÚCL. Za leteckou činnost, práci s dronem se považuje i například fotografování pozemků, či svatebčanů malou kvadrokoptérou z výšky, průzkum konstrukčních prvků výškových staveb nebo prozkoumávání útroby kanalizace. Je tedy jedno, jak velký a těžký dron se používá. Pokud se s dronem cokoli natočí nebo vyfotí a následně použije k výdělku, je povinné se registrovat na ÚCL. Pokud si majitel pořízené materiály uschová pro vlastní potřebu, tak nemusí informovat žádné úřady. V ČR je nejběžnější případ používání dronů pro vlastní potřebu za účelem rekreace a zábavy. Pro tyto účely není třeba žádat ÚCL o povolení k provozování leteckých činností, pokud vzletová hmotnost nepřesáhne 20 kg. Je potřeba tedy brát ohledy na nařízené zákazy a předpisy, které platí pro všechny bez ohledu na účel používání. Důkladný návod pro registraci dronu pro komerční účely je dostupný na webových stránkách ÚCL. [3, 6, 8, 9]

2.3.1 Souhrn pravidel pro létání s drony na území ČR:

- Zákaz létání poblíž letišť a jejich zón
- Zákaz létání převyšující 300 metrů nad zemí (v budoucnu se má snížit na 120 metrů)
- Zákaz létání na koncertech, sportovních událostech, kulturních akcích, veřejných shromážděních, historických památek apod. bez souhlasu pořadatelů

- Zákaz přelétání nad lidmi (bez jejich souhlasu)
- Zákaz létání nad městy, cestami, železnicemi a jinými zastavěnými oblastmi
- Zákaz létání nad nepovolenými, zakázanými a nebezpečnými oblastmi
- Zákaz létání bez řádného povolení pod hrozbou pokuty ve výši až 5 mil. Kč
- Zákaz pořizování záznamů míst, prostor a osob na soukromých pozemcích
- Zákaz létání v noci (od západu do východu slunce), v ostatních EU státech se to smí
- Zákaz ohrožení jiných letadel a zákaz riskování srážek s jinými leteckými prostředky
- Z dronu se nesmí nic shazovat
- Drony s hmotností nad 0,91 kg musí být vybaveny systémem bezpečného návratu nebo bezpečného ukončení letu, tzn. při ztrátě signálu, při vybití se vrátí na místo vzletu nebo bezpečně přistane
- Osoba ovládající stroj musí udržovat oční kontakt, nesmí se létat podle obrazu z dronu
- Při vzletu a přistání se s dronem nesmí přiblížit k jiné osobě na méně než 50 metrů (kromě pilota, operátora nebo doprovázejících osob)
- Pro drony do 7 kg není předepsaná minimální vzdálenost, je pouze stanoveno, že vzdálenost od osob a staveb musí být bezpečná
- Pro drony s hmotností větší než 7 kg je to již omezeno na 100 m od jiných osob a 150 m od zástaveb

[6, 9, 10]

2.3.2 Nová evropská pravidla

S ohledem boje proti šíření viru COVID 19 se původní termín přesunul na 1. 1. 2021. Do té doby tak v roce 2020 nadále zůstane platná dosavadní vnitrostátní regulace. Řízení letového provozu spolu s Ministerstvem dopravy a ÚCL připravili přehledné zpracování pravidel, co se změní pro všechny uživatele, do tzv. Desatera. Hlavní změnou, jak již bylo zmíněno, bude povinná registrace provozovatele dronu. Ten se bude muset zaregistrovat v novém registru, který později zprovozní ÚCL. Registrace bude zpřístupněna online na webu ÚCL a webovém portálu Létejte zodpovědně, tudíž osobní návštěva na ÚCL nebude potřeba. Nejdříve v první fázi bude celý proces zdarma. Po zaregistrování každý provozovatel dostane vlastní identifikační číslo, kterým poté označí všechny své drony. Už teď se ví, že půjde o dvanáctimístný jedinečný kód. Registrace se bude dělit na registraci provozovatele a registraci pilota, která bude náročnější. Piloti budou muset absolvovat online školení a poté úspěšně projít přes závěrečný online test. Podle kategorie se bude odvíjet obtížnost a požadavky na výcvik. [6, 11]

1. Registr – provozovatel se zaregistruje na ÚCL a získá tím své číslo
2. Podmínky registrace – pro osoby provozující jakýkoliv dron s hmotností od 250 g, dron s kamerou, dron ve specifické, certifikované kategorii a nespádají do kategorie hraček

3. Jak registrovat – registrují se údaje o provozovateli, nikoliv stroje, online a zdarma
4. Dělení provozu – podle evropské normy (otevřená, specifická, certifikovaná)
5. Otevřená kategorie – viz kap. 2.2 a)
6. Specifická a certifikovaná kategorie – viz kap. 2.2 b) a c)
7. Uvědomte si, kde létáte – zakázané oblasti zůstanou zachovány, sledovat aktuální mapu AisView
8. Technické vybavení – požadavky na prodávané drony v ČR
9. Modeláři – pro modeláře platí dvouleté přechodné období, mohou provozovat modely letadel dle současných vnitrostátních pravidel
10. Platnost – uvedená pravidla budou platná pro celou EU [11]

2.3.3 Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví...

Jedná se o nejzákladnější zdroj právních předpisů, kterému podléhá veškerý provoz civilních letadel a využívání vzdušného prostoru. V platnost vešel již 28. 3. 1997, ale byl několikrát novelizován podle požadavků ICAO, EASA. Pro létání s drony platí §52 Létání letadel bez pilota a zní [12]: „*Letadlo způsobilé létat bez pilota může létat nad územím České republiky jen na základě povolení vydaného Úřadem a za podmínek v tomto povolení stanovených. Úřad povolení vydá, nebudou-li ohroženy bezpečnost létání ve vzdušném prostoru, stavby a osoby na zemi a životní prostředí.*“ [12]

2.3.4 Doplněk X

Jedná se o doplněk leteckého předpisu L2 a v platnost vešel 1. 3. 2012. Jde pouze o českou záležitost, které určuje podmínky provozu, bezpečnost a zodpovědnost provozu. Zavádí také absentující definice pojmů jako bezpilotní letadlo, bezpilotní systém a přesnou definici modelu letadla. [6, 10]

Stanovuje pravidla v oblastech pro vizuální kontakt, ochranná pásma a bezpečnostních systémech. Rozděluje drony podle vzletové hmotnosti a způsobu využití. Jednotlivé zákazy a nařízení jsou již uvedené v kap. 2.2.1 a rozdělení strojů podle váhové kategorie popisuje obr. 3. Jednou ze zásad uvedených v tomto doplňku je, že užití bezpilotního letadla smí být učiněno pouze tehdy, když nemůže dojít k ohrožení bezpečnosti ve vzduchu, osob, majetku a životního prostředí. Pro bezpilotní systémy a letadla je Doplněk X plně závazný, pro modely letadla jde pouze o doporučení a závazná je pouze část č. 7 – Prostory. [6, 10]

Jednotlivé definice všech 4 základních výrazů v přesném znění v Doplněku X z [10]:

- I. „*Autonomní letadlo* – bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu“
- II. „*Bezpilotní letadlo (UA)* - letadlo určené k provozu bez pilota na palubě, v mezinárodním kontextu se jedná o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel i modelů letadel; pro účely tohoto doplňku se bezpilotním letadlem rozumí všechna bezpilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg“

- III. „**Bezpilotní systém (UAS)** - systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat, bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více“
- IV. „**Model letadla** – letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu“

| Tabulka 1 (viz ust. 16) | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| ř. | maximální vzletová hmotnost | ≤ 0,91 kg | | > 0,91 kg a < 7 kg | | 7 – 25 kg | | > 25 kg | | bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota |
| | | účel použití / požadavek | rekreačně sportovní | výdělečné, experimentální, výzkumné | rekreačně sportovní | výdělečné, experimentální, výzkumné | rekreačně sportovní | výdělečné, experimentální, výzkumné | rekreačně sportovní | |
| 1 | evidence letadla | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ano | ano | ano |
| 2 | evidence pilota | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ano | ano | ano |
| 3 | praktický a teoretický test pilota | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ano | ano | ano |
| 4 | povolení k létání | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ano | ano | ano |
| 5 | povolení k provádění LP a LČPVP | nelze | ano | nelze | ano | nelze | ano | nelze | ano | nelze |
| 6 | označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka | ne / ne | ano / ano | ano / ne | ano / ano | ano / ne | ano / ano | ano / ne | ano / ano | ano / ano |
| 7 | min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor | bezpečná | bezpečná | bezpečná | bezpečná | bezpečná, ale minimálně 50/100/150 | bezpečná, ale minimálně 50/100/150 | bezpečná, ale minimálně 50/100/150 | bezpečná, ale minimálně 50/100/150 | bezpečná, ale minimálně 50/100/150 |
| 8 | pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč) | ne / 0,25 | dle nař. č. 785/2004 ¹ | ne / 1 | dle nař. č. 785/2004 ¹ | ne / 3 od 20 kg dle nař. č. 785/2004 ¹ | dle nař. č. 785/2004 ¹ | dle nař. č. 785/2004 ¹ | dle nař. č. 785/2004 ¹ | dle nař. č. 785/2004 ¹ |
| 9 | dozor | ne | ne | ne | ne | ne | ne | ano | ano | ne |
| 10 | „failsafe“ systém | ne | ano | ano | ano | ano | ano | ano | ano | ano |
| 11 | provozní příručka UAS | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ne |
| 12 | hlášení událostí | ne | ano | ne | ano | ne | ano | ano | ano | ano |

Obr. 3 – Podmínky provozu z Doplnku X [10]

2.3.5 Zákon č. 110/2019 Sb., o zpracování osobních údajů

Pokud je dron vybaven kamerami s možností uchování záznamu, je potřeba se seznámit se zásadami, jak s nahraným materiálem zacházet. Jde o náhradu zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů, který byl zrušen na jaře loňského roku. ÚCL vydal stanovisko o zpracování osobních údajů prostřednictvím záznamu z kamer a jsou zde uvedena základní pravidla, kterými se musí provozovatel bezpilotního stroje s kamerovým zařízením řídit. [6]

Dříve se mohl každý člověk i v rámci legálního protiopatření aktivně bránit. Když nad vaším pozemkem či za oknem létal dron, mohli jste jej sestřelit, zneškodnit, aniž byste odpovídali za škodu způsobenou majiteli jeho zničením. Nová ustanovení to již nepovolují. I když se stroj pohybuje nad vaším soukromým pozemkem, nemůžete jej zneškodnit. Pokud tedy dron narušuje vaše soukromí, správný postup je zavolat Policii ČR a pokusit se ho vyfotit kvůli identifikaci. Další možností je pokusit se pilota nalézt, neboť by se měl nacházet v blízkosti stroje, ovšem vždy se doporučuje počkat na příjezd policie. Majiteli pozemku je také zakázáno používat různé rušičky signálu, který dron vyřadí z provozu. Neoprávněné zneužití je považováno za přestupek a dotyčným hrozí pokuta. Přesné znění nalezneme v zákoně č. 127/2005 Sb. a v jeho § 100. Povolená je instalace zachycovacích sítí nebo závěsů, ovšem se jedná o nákladnou a nevkusnou variantu. [6, 8]

2.3.6 Zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník

Platný od 22. 3. 2012 a zahrnuje odpovědnost za škodu způsobenou provozem letadla. Její znění nalezneme v § 2927. Provozovatel dopravního prostředku včetně letadla se nemůže zprostit odpovědnosti za škodu způsobenou okolnostmi. Zprostit se může pouze pokud prokáže, že nemohl škodě zabránit, nebo učinil maximální úsilí proti zavinění škody. Dron o váze do 25 kg není považován za letadlo, tudíž se na něj tento zákon vztahuje pouze okrajově. [6]

2.3.7 Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny

Platný již od 25. 3. 1992 a ve svém dílu 2 §16 odst. 2 písmene s) říká, že na celém území národních parků je zakázáno provozovat letadla způsobilá létat bez pilota nebo modely letadel, mimo zastavěná území. [13]

3 PRINCIP A DYNAMIKA POHYBU

Dynamika letu dronů se konstrukčně podobá vrtulníkům. Multikoptéry a vrtulníky mají stejnou vlastnost. K letu nepotřebují plyn jako například vzducholodě a balóny, nepotřebují ani křídla jako klasická letadla. Tyto prostředky potřebují rotory a vrtule se svislou osou poháněné vhodným motorem, které vyvinou potřebnou vztlakovou sílu. Vrtulník má na rozdíl od koptér spalovací motor a pouze 1 rotor s vrtulí, která má nastavitelné listy. N-koptéry mají příslušný počet rotorů plynoucí z názvu, 3 = trikoptéra, 4 = kvadrokoptéra, 6 = hexakoptéra, 8 = oktokoptyera. U dronů se používají pevně nastavené vrtule. Mezi jejich hlavní výhody patří cena a spolehlivost. Jsou mnohem levnější a téměř bezporuchové. Obecně platí, že čím méně má n-koptéra vrtulí, tím je obratnější a čím více má vrtulí, tím je spolehlivější, viz kap. 6. [14, 15]

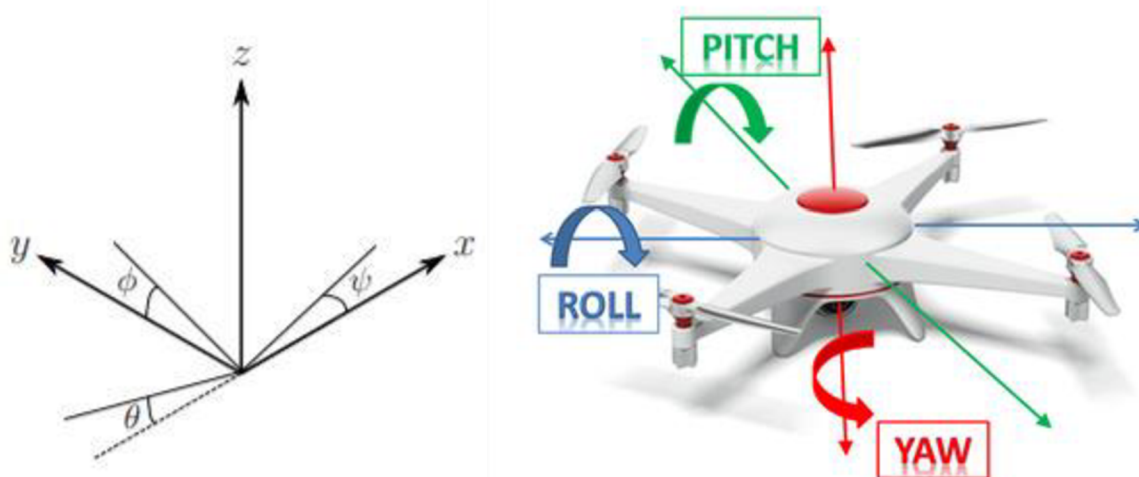
Nejdůležitější součástí je palubní počítač, tzv. mikrokontroler. Ten má na starost synchronizovat otáčky na jednotlivých rotorech, zpracovat signály potřebné pro ovládání a upravit chod elektromotorů, aby se stroj nezřítíl. Řídící jednotka je spojena s různými senzory, včetně gyroskopů a akcelerometrů. Ty poskytují spolehlivé informace o orientaci stroje, sledují aktuální polohu a udrží ho v bezpečné pozici. Řídící jednotka spolu se systémy senzorů dokáže příkazy vyhodnocovat rychlostí 600krát za sekundu, aby zvládly stabilizovat polohu stroje. Výhodou hexakoptér a oktokoptyer je, že pokud selže jeden z motorů, tak řídicí systém dokáže okamžitě přepočítat otáčky, výkon rozdělit mezi zbývající fungující motory, a tím stroj zachránit před zřícením. S kvadrokoptérou si ovšem neporadí. Pokud přestane fungovat 1 motor ze 4, tak to už je pro řídicí jednotku nevyřešitelné. Pro tyto případy jsou drahé kvadrokoptéry vybaveny záchranným padáčkem, který slouží jako pojistka. Jelikož kvadrokoptéra patří mezi nejběžnější a na našem trhu mezi nejdostupnější drony, tak princip pohybu bude představen na tomto modelu. U ostatních typů se princip liší pouze v algoritmech ovládání. [14, 15]

3.1 Kvadrokoptéra

Existuje celá řada možných uspořádání rotorů. Nejčastěji se vyskytují křížové konstrukce. Nejobvyklejší uspořádání je do tvaru písmene X z důvodu praktického umístění kamery. Tento typ je označován jako *quadcopterX*. Druhým typem může být tvar klasického kříže, označený jako *quadcopter+* a výhodou je, že jeden z motorů leží ve směru pohybu. Další užívané tvary jsou například *quadcopterH* nebo *quadcopterY*, kde zadní rotory jsou velice blízko sobě. Jak již sám název napovídá, jedná se o stroj se 4 vrtulemi, které jsou umístěny v jedné rovině. Kvadrokoptéru pohání 4 nosné rotory a každý z nich je přímo spojen s příslušným elektromotorem. Tzn., že každý rotor má vlastní elektromotor a to umožňuje, že každý rotor se může otáčet jinou úhlovou rychlostí. Rychlost otáčení rotorů můžeme regulovat joystickem na ovladači. Zvýšením nebo snížením napětí, které je dodáváno z baterie každému elektromotoru, dojde ke zvýšení nebo snížení rychlosti otáček rotoru.

To má vliv na dobu, po kterou dron vydrží ve vzduchu. Pokud bude létat rychleji, elektromotory budou potřebovat vyšší napětí a výdrž baterie bude nižší. [16, 17]

Kvadroptéra může konat prostorový pohyb. Ten se ve skutečnosti skládá z kombinace translačního a sférického pohybu. Translaci popisuje II. Newtonův pohybový zákon a sférický pohyb Eulerovy rovnice. Tento obecný pohyb odpovídá 6 stupňům volnosti. Pro definování polohy v prostoru musíme zavést systém tří na sebe navzájem kolmých os x , y , z , ze kterých jsme schopni získat souřadnice bodu X , Y , Z . Dále pro úplný popis pohybu potřebujeme zavést orientaci dronu vůči referenční soustavě. Tato orientace je definována pomocí tří Eulerových úhlů – rotace Φ , nutace Θ a precese ψ , viz obr. 4 vlevo. Úhel Φ vyjadřuje rotaci kolem osy x , úhel Θ vyjadřuje rotaci kolem osy y a úhel ψ vyjadřuje rotaci kolem osy z . Pro tyto pohyby jsou v odborných literaturách termíny *roll*, *pitch* a *yaw*. Další užívaný příkaz je příkaz *throttle* popisující pohyb ve svislé rovině. Pro grafické znázornění sem zvolil typ *quadcopterX*, viz. obr. 4 vpravo. [16, 17]



Obr. 4 – Grafické znázornění rotace kolem os [17, 18]

3.2 Princip

Nejdříve zjednodušeně, otáčející se vrtule tlačí na vzduch a ze III. Newtonova zákonu akce a reakce vyplývá, že pokud vrtule tlačí vzduch směrem k zemi, vzduch na ně působí opačně, tedy směrem vzhůru. Tj. základní myšlenka, jak se dron udrží ve vzduchu. Pokud chceme s dronem vzletět, vztlačková síla musí být větší než součet všech vnějších sil, které na něj působí. Vztlačková síla odpovídá součtu jednotlivých tahových sil, které vytvoří otáčení vrtulí každého z rotorů. Za síly vnější můžeme například považovat odpor vzduchu nebo gravitační sílu. Pokud chceme s dronem zahnout nebo jakkoliv zatočit, musíme změnit rychlost otáček některého z rotorů. To způsobí změnu momentu hybnosti, který závisí na úhlové rychlosti ω a stroj se začne pohybovat v daném směru. Ovládání tedy řeším pomocí správné regulace otáček konkrétních rotorů. Pokud chci změnit směr, zvýším nebo snížím otáčky příslušných rotorů podle potřeby. Podrobněji v kapitole 3.4. – 3.8. [16, 18, 19]

Ve skutečnosti se kvadrokoptéra dokáže pohybovat ve 12D prostoru. Pro představu si převedeme všech 6 souřadnic popisující pozici robota v prostoru do maticového tvaru (1):

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

Po zderivování těchto 6 souřadnic v čase získáme vektory rychlostí polohových (v_x, v_y, v_z) i úhlových (p, q, r), v jejichž smyslu se dron pohybuje vůči referenčnímu souřadnicovému systému (2):

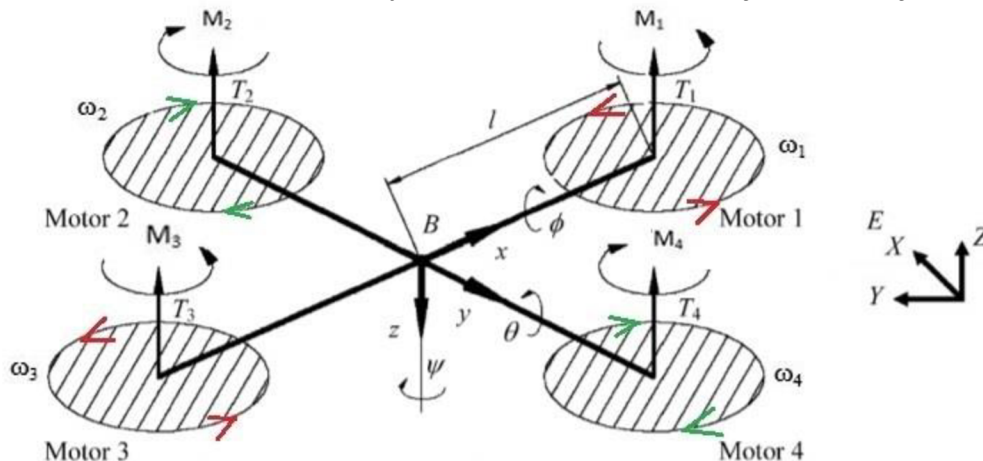
$$\dot{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2)$$

Tímto získáme všechny nutné souřadnice potřebné pro kompletní popis tohoto 12 rozměrového prostoru (3). Matice \mathbb{Q} udává prostor systému, ve kterém stroj se pohybuje. [17, 58]

$$\mathbb{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \dot{\mathbf{q}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

3.2.1 Fyzikální model

Na obr. 5 je zobrazen základní fyzikální model dronu se 4 vrtulemi. Souřadný systém E odpovídá souřadnému systému referenční soustavy vůči Zemi. Souřadný systém B znázorňuje centrální souřadný systém dronu, jehož počátek se nachází ve středu konstrukce, $B = \{X_B, Y_B, Z_B\}$ a Eulerovy úhly ϕ, θ, ψ značí rotaci okolo os. Vzdálenost l je charakteristický rozměr, představuje vzdálenost mezi každým rotorem a středem otáčení. Čím menší se tento rozměr vyrobí, tím bude dron mrštnější a obratnější. [14, 15]



Obr. 5 – Síly a momenty působící na model kvadrokoptéry [14]

Model zobrazuje směr otáčení jednotlivých vrtulí o úhlové rychlosti ω_i . Rotor vytváří otáčením vrtulí tahové síly T_i ve směru osy z , které můžeme vypočítat podle vztahu (4), kde k je konstanta vrtule a ω_i vyjadřuje úhlovou rychlost příslušného rotoru. Úhlová rychlost otáčejících se vrtulí a zrychlení rotoru zapříčiní vznik reakčního momentu M_i okolo svislé osy rotoru (z). V obrázku je zaznačen směr tohoto momentu a vypočítat jej můžeme pomocí vztahu (5), kde b značí součinitel odporu, ω_i úhlovou rychlost, I_R je moment setrvačnosti rotoru (5.1) a $\dot{\omega}_i$ značí derivaci úhlové rychlosti, tudíž úhlové zrychlení. V rovnici (5.1) r je poloměr vrtule, vzdálenost jejího konce od těžiště a dm značí, že budeme integrovat přes těleso o hmotnosti m , v našem případě hmotnost rotoru. [17, 18]

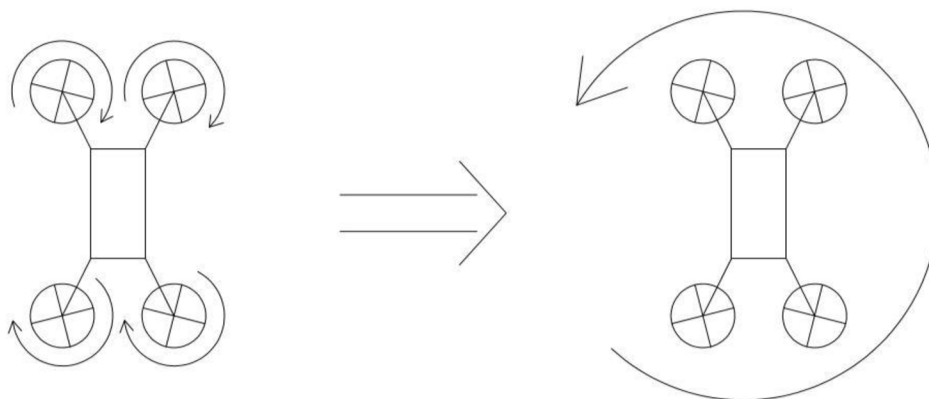
$$T_i = k \cdot \omega_i^2 \quad (4)$$

$$M_i = b \cdot \omega_i^2 + I_R \cdot \dot{\omega}_i \quad (5)$$

$$I_R = \int_m r^2 dm \quad (5.1)$$

Z obr. 5 je patrné, že motor 1 a 3 (červené označení) otáčí proti směru otáčení hodinových ručiček a motor 2 a 4 (zelené označení) otáčí ve směru otáčení hodinových ručiček. Opačné rotace tedy vyvažují a udržují dron v klidové poloze. Aby docházelo k vyrovnání celkového momentu musí být dodrženo, že sousedící vrtule musí mít vždy opačný moment a vrtule na společné diagonále, tzn. do uhlopříčky, musí mít stejný moment, 2 vrtule budou tedy levotočivé a 2 pravotočivé. Opačný profil listů vrtulí zaručí, že i když se vrtule otáčí opačným směrem, budou generovat tahovou sílu ve stejném směru, tzn. v záporném směru z_B , viz obr. 5. U hexakoptéry jsou většinou vrtule uspořádány ve dvojicích nad sebou, přičemž v každé dvojici se vrtule otáčejí opačně. Oktokoptéra je spojení dvou kvadroptér do jednoho společného základu. Úkolem algoritmu uvnitř všech řídicích jednotek je pak udržet celkový moment na nule, aby nedocházelo k nechtěné rotaci kolem osy z . [15, 19]

Důvodem, proč se používají 2 dvojice vrtulí a každá z nich se otáčí opačně, je III. Newtonův zákon. Pokud by všechny otáčely stejným směrem, tak výsledný pohyb bude opačný. Např. když vrtule budou otáčet ve směru otáčení hodinových ručiček, tak dron by se otáčel proti směru otáčení ručiček, viz obr. 6. [19]



Obr. 6 – Příklad otáčení kvadroptéry

Jak již bylo zmíněno, ke změně kurzu dochází správnou regulací otáček. Pokud ovšem změním rychlost otáček na jednom rotoru, tak na ostatních rotorech musím také zvýšit či snížit rychlost otáček, aby vždy došlo k vyrovnání tahových sil s gravitační silou a celkový moment se rovnal nule. Správným ovládním těchto veličin jsme schopni docílit jakéhokoliv obecného pohybu. [15,19]

3.3 Newton-Eulerovy rovnice

Dynamiku pohybu kvadrokoptéry popisují Newton-Eulerovy pohybové rovnice. Translační pohyb popisuje II. Newtonův zákon (6) a sférický pohyb Eulerovy dynamické rovnice (7). Pro představu si uvedeme základní tvary a zjednodušené odvození. Pro zjednodušení opomeneme pasivní účinky (např. odpor vzduchu, vzdušné proudy) pro následující kapitoly. [17]

$$m \cdot \ddot{r} = F_{celk} \quad (6)$$

$$I \cdot \dot{\omega} = M_{celk} \quad (7)$$

První pohybová rovnice (6), neboli II. Newtonův pohybový zákon vychází z časové změny hybnosti, tzn. derivace hybnosti podle času (6.1). Hybnost p vypočítám jako součin rychlosti v a hmotnosti m . Jelikož hmotnost je konstantní, tak po derivaci získám všem známý vztah (6.2), kde F značí výslednou sílu všech externích sil, a značí zrychlení a můžeme jej napsat jako dvojitou derivaci polohy r v čase (6.3).

$$F_{ext} = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = m \frac{dv}{dt} \quad (6.1)$$

$$F = m \cdot a \quad (6.2)$$

$$a = \ddot{r} = \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (6.3)$$

Druhá pohybová rovnice (7), neboli Eulerova dynamická rovnice vychází z druhé impulsové věty, časové změny momentu hybnosti, tzn. derivace momentu hybnosti podle času (7.1). Moment hybnosti L vypočítám jako součin momentu setrvačnosti I a úhlové rychlosti ω . Jelikož moment setrvačnosti je konstantní, tak po derivaci získám výsledný vztah (7.2), kde M se rovná celkovému momentu všech externích sil, α značí úhlové zrychlení a můžeme jej napsat jako změnu úhlové rychlosti ω v čase (7.3).

$$M_{ext} = \frac{dL}{dt} = \frac{d(I \cdot \omega)}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} \quad (7.1)$$

$$M = I \cdot \alpha \quad (7.2)$$

$$\alpha = \dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} \quad (7.3)$$

Vztah (7) je pouze zjednodušený tvar a ve skutečnosti jeho úplný tvar odpovídá vztahu (8). Samotný vztah (7) nelze použít, protože těleso rotuje a složky tenzoru setrvačnosti J se mění s časem. Proto musíme vyjádřit pohybové rovnice ve středu hmotnosti. Posun do středu nám zaručí vektorový součin $\omega \times I \cdot \omega$. Matematické vyjádření tohoto posunutí je komplikované, a proto si uvedeme již jeho odvozený stav z [20].

$$M = I \cdot \alpha + \omega \times I \cdot \omega \quad (8)$$

Kvadrokoptéra má symetrickou konstrukci kolem osy x a osy y , a proto můžeme její tenzor setrvačnosti napsat v diagonální matici J (9), kde I_{ii} značí moment setrvačnosti okolo dané osy a platí $I_{xx} = I_{yy}$. [17]

$$J = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Řídící jednotka využívá pro převod souřadnic mezi souřadnicovým systémem dronu a referenčním souřadnicovým systémem (inerciální soustavou) matici rotace \mathbb{R} , kde písmeno S značí goniometrickou funkci sinus a C vyjadřuje funkci kosinus, platí $S_x = \sin(x)$ a $C_x = \cos(x)$. [17]

$$\mathbb{R} = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ C_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix} \quad (10)$$

Řídící systém počítá Newton-Eulerovy rovnice v maticovém tvaru. Při zachování centrálního souřadného systému dronu (B) z obr. 5. Newtonova pohybová rovnice odpovídá vztahu (6) a Eulerova pohybová rovnice je vyjádřena rovnicí (8). Maticovou formu značí vztahy (11) a (12), kde \ddot{r} značí dvojitou derivaci polohy, tudíž zrychlení, F_G je gravitační síla a vypočítáme ji podle (11.1), m je hmotnost stroje, g odpovídá gravitačnímu zrychlení, F_T je výsledná tahová síla vypočítaná podle (11.2). Ve vztahu (12) odpovídá úhlová rychlost $\omega = (p, q, r)$, J značí tenzor setrvačnosti a nejobšáhlejší matice odpovídá celkovému momentu, kde l značí vzdálenost od středu otáčení, T_i odpovídající tahová síla a M_i reakční moment. [14, 19, 20]

Newtonova pohybová rovnice:

$$m \cdot \ddot{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_G \end{bmatrix} + \mathbb{R} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_T \end{bmatrix} \quad (11)$$

Eulerova pohybová rovnice:

$$J \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (T_2 - T_4) \cdot l \\ (T_3 - T_1) \cdot l \\ -M_1 + M_2 - M_3 + M_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times J \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$F_G = m \cdot g \quad (11.1)$$

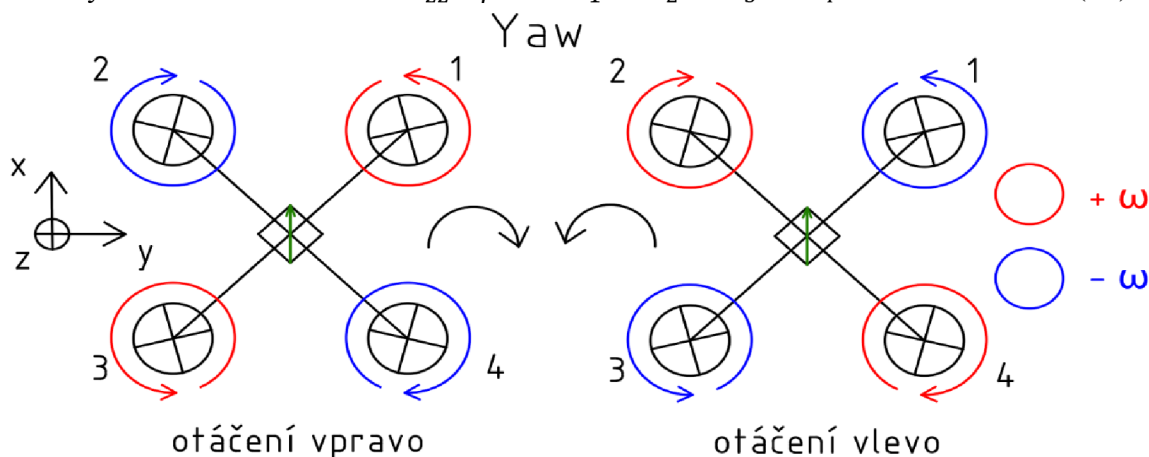
$$F_T = \sum_{i=1}^n T_i = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (11.2)$$

3.4 Rotační pohyb kolem vertikální osy

Jedná se o rotaci, otáčení kolem osy z_B , které má vliv na změnu kurzu. Vzniká v důsledku změny reakčních momentů M_i otáčejících se vrtulí. Otočením kvadrokoptéry kolem osy Z ve směru otáčení hodinových ručiček docílíme zvýšením otáček rotoru, které otáčí opačným směrem, tedy rotoru 1, 3, anebo snížením otáček rotoru 2 a 4, které otáčí stejně, viz obr. 7 vlevo. Pro rotaci proti směru otáčení ručiček pouze obrátím logiku a zvýším otáčky rotoru 2, 4, anebo snížím otáčky rotoru 1, 3, viz obr. 7 vpravo. Zvýšením otáček v jednom směru dojde ke zvýšení reakčního momentu, který bude otáčet strojem v opačném směru. Výsledného pohybu dosáhneme, pokud celkový moment M_i bude nenulový, vztah (13). Tento pohyb se označuje *yaw* a popisují ho Eulerovy rovnice ve tvaru (14), kde I_{zz} je moment setrvačnosti v ose Z , $\ddot{\psi}$ představuje úhlové zrychlení ve směru Z a M_i jsou reakční momenty. Zelená šipka znázorňuje směr dopředného pohybu. [16, 58, 59]

Podmínka:
$$\sum M_i \neq 0 \quad (13)$$

Pohybové rovnice:
$$I_{zz} \cdot \ddot{\psi} = -M_1 + M_2 - M_3 + M_4 \quad (14)$$



Obr. 7 – Rotace kolem osy z

3.5 Translační pohyb ve svislé ose

Jde se o posuvný pohyb v ose z_E . Pro změnu výšky musím zachovat stejnou hodnotu otáček na všech rotorech. Výsledný pohyb ovlivní poměr mezi celkovou tahovou silou F_T a gravitační silou F_G . Tím, že 2 rotory točí po směru a 2 proti směru a otáčí se vždy stejnou rychlostí, dojde k vynulování momentu (15), což zabrání nechtěné rotaci. Ve svislé ose mohou nastat 3 situace – stoupání, klesání a vznášení. Pro tuto situaci se užívá termín *throttle* a popisují ji Newtonovy pohybové rovnice. Zelená šipka opět znázorňuje orientaci stroje, viz obr. 8.

$$\sum M_i = 0 \quad (15)$$

Jednotlivé tahové síly T_i vypočítáme podle vztahu (4) a dílčí momenty M_i podle vztahu (5). Gravitační sílu F_G získáme podle vztahu (11.1) a celkovou tahovou sílu F_T podle vztahu (11.2). [15, 16, 58, 59]

Vznášení

Všechny rotory se otáčí konstantní úhlovou rychlostí, která vytvoření celkovou tahovou silou, tak aby přesně odpovídala gravitační síle. Tzn., že tahová síla vyrovná gravitační sílu (16) a kvadrokoptéra se může vznášet. Pohybová rovnice (17) značí, že se kvadrokoptéra nepohybuje, kde \ddot{r} představuje zrychlení v ose Z, m značí hmotnost stroje, F_G , F_T je gravitační a tahová síla. V angličtině se pro tuto situaci užívá termín *hover*. [15]

Podmínka:
$$F_T = F_G \quad (16)$$

Pohybová rovnice:
$$m \cdot \ddot{r} = F_T - F_G = 0 \quad (17)$$

Klesání

Z obr. 8 vlevo je patrné, že pokud se chci pohybovat s kvadrokoptérou směrem dolů, tedy klesat, musím snížit úhlovou rychlost všech rotorů o stejnou hodnotu. To způsobí, že se zmenší hodnota tahové síly a hodnota gravitační síly bude převyšovat, viz (18). Pohybová rovnice (19) říká, že výsledný pohyb bude ve směru osy Z, kde a , \ddot{r} představuje zrychlení v ose Z, m značí hmotnost stroje, F_G , F_T je gravitační a tahová síla. [15, 58, 59]

Podmínka:
$$F_T < F_G \quad (18)$$

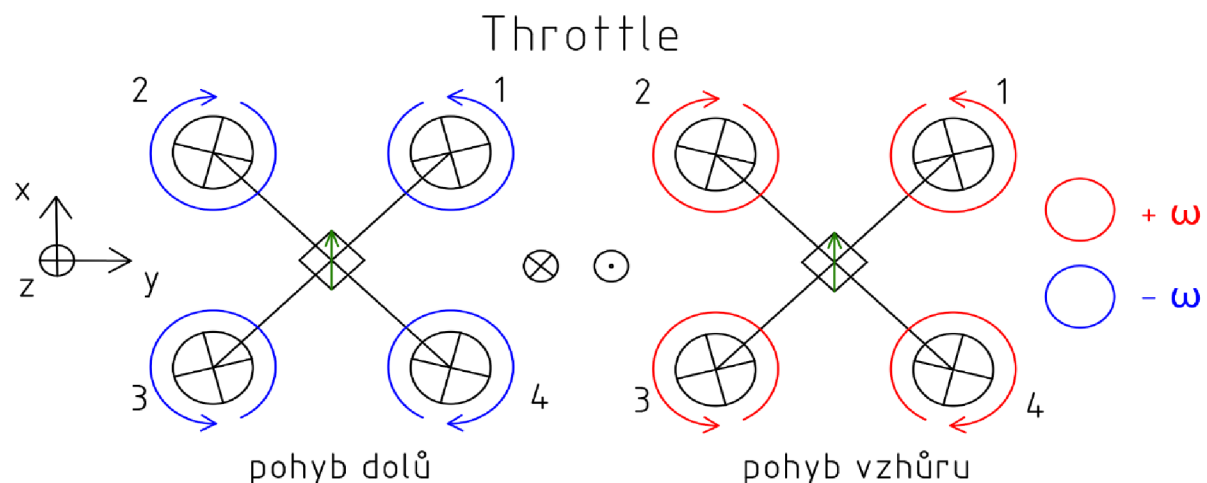
Pohybová rovnice:
$$m \cdot \ddot{r} = F_T - F_G \Rightarrow m \cdot a < 0 \quad (19)$$

Stoupání

Na obr. 8 vpravo je znázorněno, co je potřeba pro pohyb vzhůru. Jedná se o opak klesání, tudíž musíme zvýšit úhlovou rychlost všech rotorů. To způsobí, že se zvýší hodnota tahových sil a bude větší než hodnota tíhové síly, viz (20). Pohybová rovnice (21) potvrzuje, že pohyb bude proti směru osy Z, kde a , \ddot{r} představuje zrychlení v ose Z, m značí hmotnost stroje, F_G , F_T je gravitační a tahová síla. [15, 58, 59]

Podmínka:
$$F_T > F_G \quad (20)$$

Pohybová rovnice:
$$m \cdot \ddot{r} = F_T - F_G \Rightarrow m \cdot a > 0 \quad (21)$$



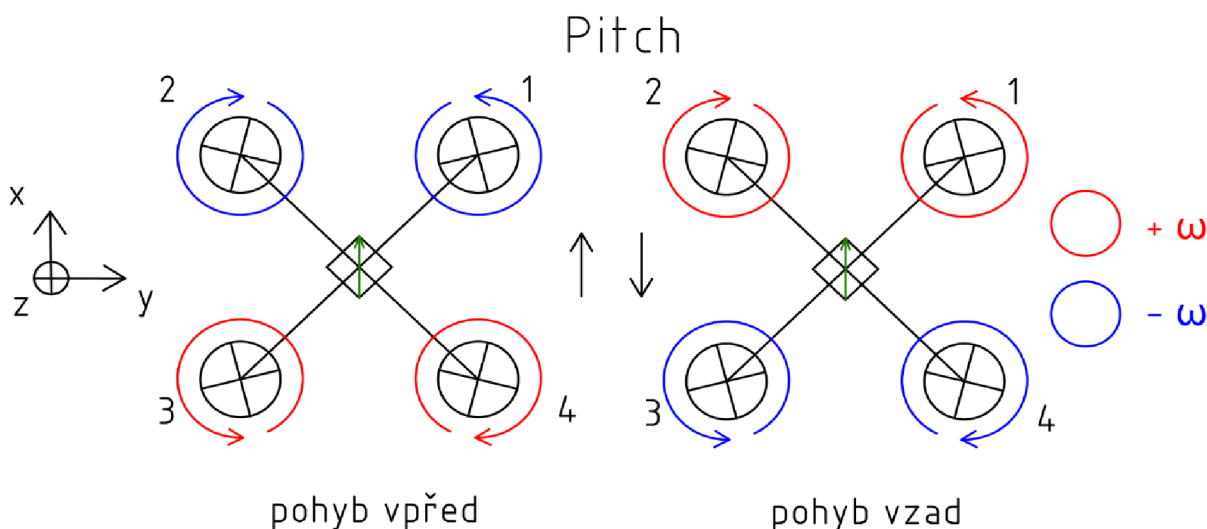
Obr. 8 – Stoupání a klesání kvadrokoptéry

3.6 Rotační pohyb kolem osy y

Jedná se o sférický pohyb v souřadném systému robota, konkrétně o rotaci, naklápění kolem osy y_B , které má vliv na náklon kvadrokoptéry vůči vodorovné poloze a následný pohyb v ose x_E . Náklon lze ovládat změnou otáček jednotlivých vrtulí, což způsobí změnu tahových sil T_i , které vytvářejí moment síly v ose y. Aby nedocházelo k rotaci kolem osy z_B , výsledný moment protilehlých vrtulí musí být stále konstantní, tzn., že přírůstek od jednoho páru musí vykompenzovat úměrné snížení od druhého páru. Natočení kvadrokoptéry, tak že čelo je níž než zadní část, způsobí pohyb dopředu. Docílíme toho, pokud jsou otáčky rotorů 3 a 4 vyšší než otáčky rotorů 1 a 2, viz obr. 9 vlevo. Pohybu dozadu docílíme přesně opačně. Tzn., že je rychlost otáček rotorů 3 a 4 nižší než rychlost otáček rotorů 1 a 2, viz obr. 9 vpravo. Výsledného pohybu dosáhneme, pokud moment M_y bude nenulový, vztah (22). Tento pohyb se nazývá *pitch* a popisuje ho Eulerova rovnice ve tvaru (23), kde I_{yy} je moment setrvačnosti v ose y, $\ddot{\theta}$ představuje úhlové zrychlení ve směru y, l je vzdálenost od středu otáčení a T_i jsou tahové síly. Zelená šipka znázorňuje směr pro pohyb dopředu. [15, 58, 59]

Podmínka: $M_y \neq 0$ (22)

Pohybová rovnice: $I_{yy} \cdot \ddot{\theta} = [(T_1 + T_2) - (T_3 + T_4)] \cdot l$ (23)



Obr. 9 – Rotace kolem osy Y

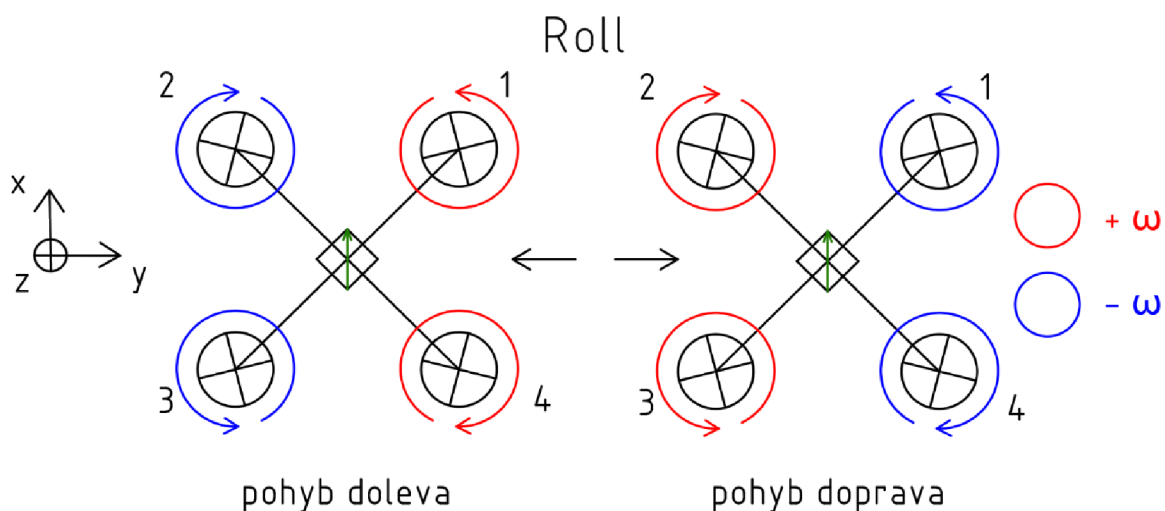
3.7 Rotační pohyb kolem osy x

Taktéž se jedná o sférický pohyb, tentokrát jde o rotaci, naklápění kolem osy x_B , které má vliv na naklonění kvadrokoptéry a následný pohyb v ose y_E . Principiálně funguje stejně jako rotační pohyb kolem y, s tím rozdílem, že náklon ovládá výsledný moment v ose x. Natočení kvadrokoptéry, tak že levá polovina je níž než pravá polovina, nám způsobí pohyb doleva. Tento pohyb nastane pokud se rotory 1 a 4 otáčejí rychleji než zbývající dva, tedy rotory 2 a 3, viz obr. 10 vlevo. Pohybu doprava dosáhneme opět pouze opačným

způsobem. Tzn., že rychlost otáček 1 a 4 je nižší než rychlost otáček rotorů 2 a 3, viz obr. 10 vpravo. Výsledného pohybu dosáhneme, pokud moment M_x bude nenulový, vztah (24). Tento pohyb se nazývá *roll* a popsat jej může Eulerova rovnice ve tvaru (25), kde I_{xx} je moment setrvačnosti v ose x , $\ddot{\Phi}$ představuje úhlové zrychlení ve směru x , l je vzdálenost od středu otáčení a T_i jsou tahové síly. Zelená šipka znázorňuje směr pro pohyb dopředu. [15, 16, 58, 59]

Podmínka: $M_x \neq 0$ (24)

Pohybová rovnice: $I_{xx} \cdot \ddot{\Phi} = [(T_2 + T_3) - (T_1 + T_4)] \cdot l$ (25)



Obr. 10 – Rotace kolem osy x

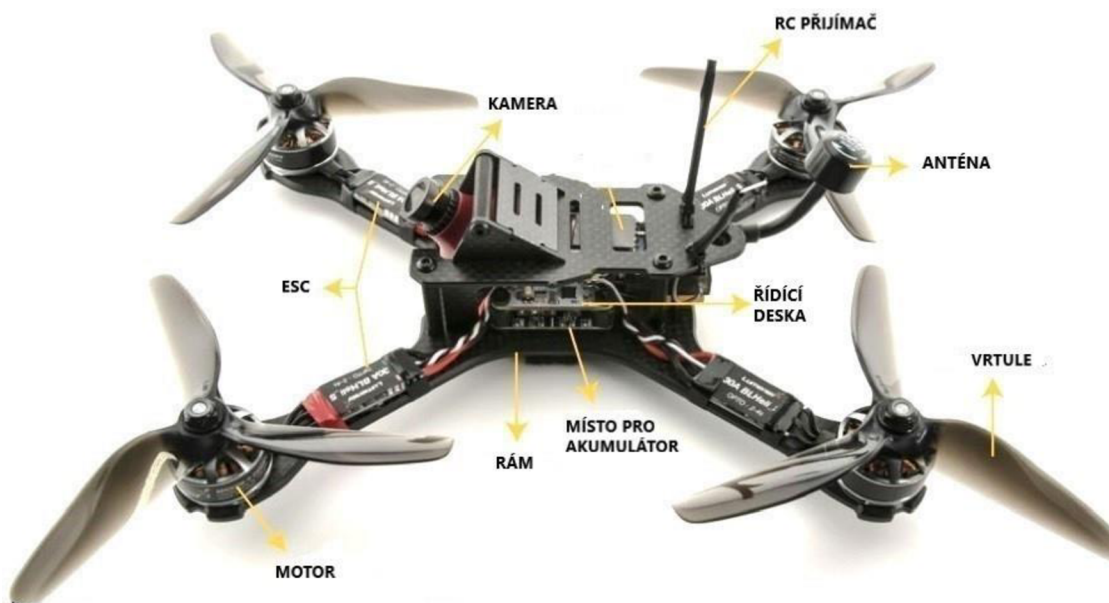
3.8 Translační pohyb ve směru osy x, y

Jedná se o posuvný pohyb v referenční soustavě, tedy os x_E a y_E . Pohybu do stran docílíme pomocí naklonění celé soustavy B do jedné z os a tahové síly F_T , která působí ve směru osy z . Konstrukce se vždy natočí na „pomalejší stranu“ - tedy stranu, kde jsou nižší otáčky a výsledná tahová síla se rozloží do zbylých dvou složek. Jedna bude působit ve směru pohybu kvadrokoptéry, tedy ose x_E nebo ose y_E a druhá složka bude v ose z_E . Vertikální složka tahové síly se vyruší s gravitační silou a horizontální složka se bude rovnat výsledné síly zaručující posuvný pohyb. Tento pohyb můžeme popsat Newtonovou rovnicí (26), kde m udává hmotnost robota, \ddot{r} , a značí výsledné zrychlení, F_T a F_G je tahová a tíhová síla. Na obr. 9 a 10 je znázorněn náklon kvadrokoptéry, který poté způsobí výsledný pohyb. [15, 16, 59]

Pohybová rovnice: $m \cdot \ddot{r} = F_T - F_G \Rightarrow m \cdot a > 0$ (26)

4 KOMPONENTY A SENZORY

Stejně jako řidiči automobilů by měli před jízdou zkontrolovat vozidlo o způsobilosti k jízdě, piloti by měli zkontrolovat stroj o způsobilosti k letu. Totéž platí pro případ, kdy dojde k neočekávané poruše a bude potřeba některou ze součástí vyměnit či opravit. Proto je důležité mít alespoň základní představu o nejzákladnějších dílech a vědět k čemu slouží. Jelikož princip pohybu byl znázorněn na modelu kvadrokoptéry, tak jednotlivé prvky budou představeny na stejném modelu, viz obr. 11. Na trhu se již dnes běžně bez větší námahy dají sehnat jednotlivé díly, na webových stránkách je plno e-shopů, kde je možnost si jakýkoliv díl objednat.



Obr. 11 – Popis modelu kvadrokoptéry [21]

4.1 Rám, tělo kvadrokoptéry

Jde o základní díl každé multikoptéry, neboť všechny potřebují nosnou část, na kterou budou umístěny všechny ostatní komponenty a následně společně propojeny. Odborně se této části říká drak, viz obr. 12. Skládá se ze 3 částí – povozek, trup a ramena. K podvozku je připevněna kamera, tzv. gimbal a jiné závěsné vybavení. V trupu se nachází prostor pro akumulátor, řídicí desku, paměťové karty apod. Na ramena jsou připevněny elektromotory, ECS a rotory s vrtulemi. Než začneme s konstrukcí, je důležité zvolit správný typ přizpůsobený účelům a potřebám. Tvar a provedení konstrukce mají totiž zásadní vliv na letové vlastnosti, ovladatelnost, údržbu a případné opravy. Rámy se dělí na 2 druhy – skořepinové a trubicové. Skořepinové se skládají z jedné části a jedná se většinou o koupené modely. Všechnu elektroniku mají zabudovanou a schovanou uvnitř, tudíž je obtížné si cokoli sám opravit. Trubicové jsou složeny z jednotlivých částí a při poruše se dá koupit náhradní díl. Využívají se spíše u modelářů, kteří si staví vlastní drony. U těchto typů elektronika vyčnívá téměř všude, a proto je snazší si porouchanou

část vyměnit, ovšem se musí zvýšit pozornost při převážení. Zpravidla je cílem, aby byla konstrukce co nejlehčí. Využívají se lehké, pevné a odolné materiály jako jsou uhlíková vlákna, laminát, dural, hliník, skleněná vlákna, plast nebo dřevo. Použitý materiál se projeví na výsledné ceně. [21, 22, 23]



Obr. 12 – Rám [23]

4.2 Vrtule

Jak již bylo zmíněno, otáčející se vrtule vytvářejí tahové síly potřebné k pohybu. Vrtule se skládají z více listů, jenž již mají úhel náběhu pevně daný, viz obr. 13. Dělí se na klasické vrtule a tzv. pusher vrtule (tlačné). Klasické, normální otáčí proti směru otáčení hodinových ručiček a tlačné otáčení po směru, tudíž mají opačně nastavený profil listů vrtulí. Z principu tedy vyplývá, že kvadroptéra využívá dvou normálních a dvou tlačných. Směr otáčení vrtule je dán jejím tvarem a udává se písmenem. Proto je důležité si před výměnou nebo montáží ohlídat, kterou vrtuli zrovna potřebují. Při záměně by mohlo dojít k fatálním následkům. Dále se doporučuje zachovat předepsané rozměry (průměr a stoupání). Jinak by mohlo dojít k poškození elektromotorů, elektrotechniky nebo nestabilnímu letu. Vrtule musí být vyvážené a udržované v čistotě. Vždy před použitím by se měly speciálně zkontrolovat, odstranit nečistoty, neboť otáčející se vrtule jsou největším zdrojem vibrací a ty mají vliv na kvalitu záznamu z kamer. Jde o jednu z nejlevnějších součástí, neboť jsou většinou vyrobené z plastu a náchylné k poškození. Proto se klade důraz, aby se vrtule nepoužívaly jakkoliv ulomené, ohnuté nebo našťíplé. [22, 23]



Obr. 13 – Vrtule [23]

4.3 Elektromotory

Změnami otáček v motoru se mění tah jednotlivých vrtulí. Multikoptéry mají příslušný počet motorů, podle toho kolik mají rotorů. U dronů nalezneme 2 typy používaných elektromotorů – stejnosměrné a bezkartáčové. Stejnosměrné byly využívány převážně dříve. Moderním hitem je využívání elektromotorů bez komutátorů (kartáčů), označují se BLDC (z ang. Brush Less Direct Current – bezkartáčové na stejnosměrný proud), viz obr. 14. Jedná se o spolehlivý a efektivní typ motoru bez speciálně vyžadované údržby. Navíc je mnohem tišší a má vyšší životnost než jeho předchůdce. Skládá se ze statoru (elektromagnety uspořádané po obvodu kruhu), vnutí z měděných vodičů a rotor s neodymovými magnety po obvodu. Motory dělíme podle hodnot napětí, udávaného v kilovoltech. Udávají, jak rychle se mohou otáčet. Vyšší hodnota kV značí vyšší rychlost otáček a nižší hodnota kV značí vyšší točivý moment. [22, 23, 24]



Obr. 14 – BLDC elektromotor [25]

4.4 ESC, řídicí jednotka motorů

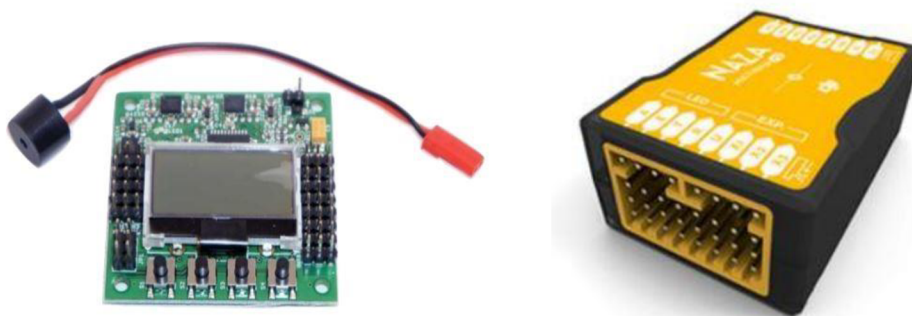
Jde o regulátor otáček, zkratka ESC vychází z anglických slov Electronic Speed Control. Regulátor slouží jako elektronická součástka, která k regulaci otáček využívá změnu řídicího proudu z akumulátoru. Pravidlem bývá, že každý motor má svoji řídicí jednotku, ESC. U malých levných multikoptér se může vyskytovat pouze 1 řídicí jednotka. ESC jsou tedy z jedné strany připojeny k BLDC motorům a z druhé strany jsou připojeny prostřednictvím kabelů k baterii, která řídicí jednotky napájí. Regulátor v průběhu řízení zajišťuje rychlost, jakou se má motor v daném okamžiku točit. Podle tohoto vyhodnocení následně upraví přívod proudu tak, aby rychlost otáčení vrtule zajišťovala stabilní let. Regulátor musí snést i vysoké hodnoty napětí (až desítky ampérů) a musí umět rychle reagovat. Lze je i krátkodobě značně přetěžovat, a proto se dokáží bez problémů přizpůsobit prakticky jakémukoliv režimu letu. V současnosti se nejvíce využívá ESC s firmwarem SimonK, viz obr. 15. Dokáže poskytovat informace a vyhodnocovat situace až 600krát za sekundu. [22, 23]



Obr. 15 – Řídicí jednotka SimonK [25]

4.5 Řídící deska

Jedná se o vestavěný počítačový systém zaručující, že stroj je letuschopný a pomáhá pilotovi s řízením. Dá se považovat za ‚srdce‘ i zároveň ‚mozek‘ každé multikoptéry. Též se této součástce říká řídicí systém, autopilot nebo mikrokontroler. Přepočítává algoritmy, jak rychle by se měl motor otáčet, a výsledky posílá řídicí jednotce elektromotorů, která se postará o zbytek. Řídící deska přijímá signály z dálkového ovladače a plní příkazy pilota. V případě autonomního chování přebírá kontrolu nad strojem a stará se o bezpečný let, či při ztrátě nebo vypadnutí signálu aktivuje funkci bezpečného návratu a s dronem přistane na místě vzletu. Dále jsou k němu připojeny téměř všechny senzory, které stabilizují polohu a odhadují rychlost, zrychlení. Lepší, dražší drony jsou připojeny k GPS navigaci a mohou být napojeny k vlastním tabletům či smartphonům. Na trhu se pohybuje několik softwarů. Nejvíce využívané jsou NAZA, Pixhawk, KK2, NAZA32, viz obr. 16. [22, 23]



Obr. 16 – Řídící deska NAZA [23]

4.6 Akumulátor

Též baterie, zdroj energie pro motory a palubní elektroniku. V současnosti se používají nejnovější akumulátory, tedy Li-Pol (Lithium-Polymerové) akumulátory, viz obr. 17. Mají nejmenší hmotnost v porovnání uchované elektřiny. Mezi výhody Li-Pol baterií patří, že dodávají velké proudy a mají špatný paměťový efekt. Doporučuje se baterie úplně nevybíjet, snižuje se tím totiž životnost baterie. Skládá se z několika identických zapojených článků za sebou. Obecně platí, že čím těžší akumulátor je, tím větší má kapacitu. Proto se zavedla nepsaná úmluva a na volně dostupné drony se přidělávají baterie s výdrží v průměru kolem 25-30 minut. Rychlejší let znamená větší zátěž, tím pádem nižší výdrž baterie. [22, 23]



Obr. 17 – Li-Pol akumulátor [25]

4.7 Dálkový ovladač

Jde o rádiový vysílač a přijímač umožňující řízení letu pomocí dvojice křížových ovladačů (páčky s volnostmi ve 2 směrech), viz obr. 18. Dále umožňuje přepínání kanálů a letových či rychlostních módů. Se strojem komunikuje prostřednictvím rádiových vln na kmitočtu (frekvenci) 2,4 GHz. Doporučuje se používat RC vysílač s alespoň 8-9 kanály, i když minimum jsou 4 kanály. [22, 23]



Obr. 18 – Dálkový ovladač [25]

4.8 Gimbal

Jedná se o speciální otočné závěsné zařízení, které pohlcuje vibrace a stabilizuje stroj v několika osách, viz obr. 19. Bývá k němu připojena kamera a ostatní senzory. Gimbal dokáže řídit pohyb senzorů ve všech 3 osách, otáčet kamerou a sledovat objekt nezávisle na trajektorii letu. [1, 22]



Obr. 19 – Gimbal [1]

4.9 Senzory

V mnoha ohledech lze senzory dronu považovat za jeho oči a uši. Díky různým sensorům může dron určit své umístění a orientaci v 3D prostoru. Tyto cenné informace slouží jako základ pro navigační a řídicí systémy dronů a umožňují buď udržovat stabilní polohu, nebo se pohybovat směrem určeným pilotem. Neustále se pracuje na jejich inovaci, nejnovější senzory jsou přesnější, pohotovější a hromadí méně chyb. [26, 27]

4.9.1 IMU – inerciální měřící jednotka

Též se užívá název inerciální referenční jednotka, inerciální měřící přístroj nebo inerciální navigační systém. Zkratka vychází z angličtiny, IMU = Inertial Measurement Unit. Nejde přímo o konkrétní samostatný senzor, ale jedná se o spolupráci několika senzorů. Většinou se skládá z gyroskopů, akcelerometrů, magnetometrů a každý z nich dokáže pracovat ve všech třech osách pohybu. Kombinací schopností těchto senzorů dokáže IMU detekovat změny polohy, výšky, rychlosti a zaručuje správné a kontrolované provedení rotačních pohybů roll, pitch a yaw. Kalibraci navigačního systému a ověření orientace dokáže provést i za letu. IMU umožňuje dronům určit jejich polohu metodou zvanou „dead reckoning“ – mrtvé zúčtování. V této metodě se poloha dronů určuje pomocí předem určeného místa a odhadované rychlosti v časovém období od předchozího odečtu. Zjednodušeně IMU nepřetržitě integruje zrychlení stroje pro výpočet jeho rychlosti a polohy. To pomáhá dronu určit přibližnou polohu při vypnutí signálu GPS, např. při letu uvnitř. Nevýhodou je chyba, kterou postupně měřící jednotka při integrování hromadí. Z tohoto důvodu se doporučuje provádět pravidelné kalibrace. Pro usnadnění

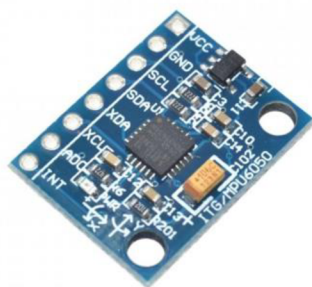
startu a letu v malých výškách nad zemí se využívá ultrazvukový snímač. Ještě dříve než byly IMU využívány v dronech, vyskytovaly se v navigačních systémech letadel, satelitech, raketoplánech a naváděných raketách. Nyní jsou využívány běžně v chytrých telefonech, tabletech a samovyvažovacích hoverboardech. [26]

4.9.2 Gyroskop

Jde o nejzákladnější senzor dronů. Je nezbytný i v jiných leteckých prostředcích a používá se pro navigaci v letadlech a vesmírných lodí, nebo pro zjištění náklonu letadla vůči vodorovné poloze. Gyroskopy jsou důležité pro stabilní let a provoz. Pokud dojde k poruše, velmi pravděpodobně to povede k havárii. Gyroskop je všestranným nástrojem používaný k měření a udržování orientace. Lze pomocí něj určit rychlost otáčení, stupeň náklonu a hodnotu úhlové rychlosti pohybovaného objektu. Využívá PID regulátor a pomocí integrace akcelerometrů, z nichž každý je orientován v jiné ose, lze určit druh pohybu vykonaného v jakékoliv ose. [26, 27]

4.9.3 Akcelerometr

Spolupracuje s gyroskopem na stanovení změn jeho polohy a pohybu (rychlosti). Jak se gyroskop specializuje na rotační pohyb, akcelerometr určuje lineární pohyb podél libovolné osy. Zjednodušeně se jedná se o elektronický senzor měřící zrychlení ve všech 3 osách a dokáže odhadnout rychlost, jakou se dron pohybuje. Pracuje na principu reagování na vnější podmínky. Např. akcelerometr detekuje silný náraz větru, sílu nárazu předá PID regulátoru. Ten informaci vyhodnotí a ESC poté přikáže motorům, aby působily proti této změně a stabilizovaly pohyb. Nejčastěji se využívá kombinace 3-osého gyroskopu a 3-osého akcelerometru. Běžně je toto spojení označováno jako 6-osá gyroskopická stabilizace a vypadá následovně, viz obr. 20. Ta umožňuje dronům udržet vodorovnou, svislou a rotační stabilitu při vznášení. [26, 27]



Obr. 20 – 6-osá gyroskopická stabilizace GY-521 MPU-6050 [56]

4.9.4 GPS

Zkratka GPS značí Global Positioning System. V současnosti je nejběžnějším satelitním systémem využívaný pro navigaci a určování polohy na zemi. Umožňuje dronům se pohybovat autonomně. Nejedná se o funkci, která se nachází v každém modelu, pouze v těch lepších a dražších. Dron je vybaven přijímačem GPS, který přijímá signály ze satelitů GPS. GPS systém porovnává skutečnou polohu stroje s cílovou polohou a pomocí PID regulátoru určuje cestu, kterou by se měl stroj pohybovat. Přesnost lokalizace

se pohybuje v řádech metrů (3-10 m). Tato technologie není úplně spolehlivá, neboť pokud se pohybuje uvnitř nebo v zákrytu, kde není signál z GPS satelitů, schopnost pohybovat se pomocí GPS klesá. Pro spolehlivé určení trasy potřebuje volný výhled a mít v dosahu signál alespoň ze 4 satelitů. [26]

4.9.5 Barometr

Těž tlakoměr, je senzor, který měří tlak vzduchu a v dronech se používá pro stanovení nadmořské výšky. Vyskytuje se téměř ve všech dronech. Poskytuje přesnější údaje o nadmořské výšce než GPS. Doporučuje se je pravidelně kalibrovat pomocí měření tlaku v nadmořské výšce vzletu. [26]

4.9.6 Magnetometr

Funguje jako kompas k určování zeměpisné šířky. Pokud dron není vybavený systémem GPS pro určování směru, tak magnetometr slouží jako jeho náhrada. Jak již název napovídá, magnetometr měří sílu a směr magnetického pole. Pomocí tohoto principu může dron určit směr magnetického severu a přizpůsobit tomu trajektorii letu. Opět se doporučuje provádět kalibrace měřidla. [26]

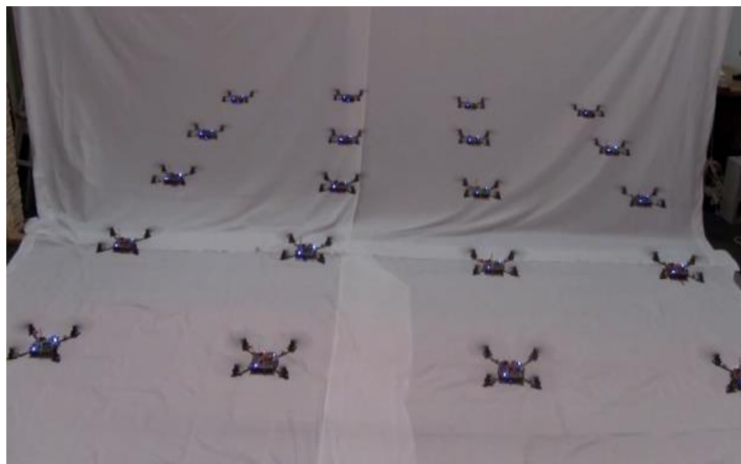
4.9.7 Systém na vyhýbání se překážkám

Senzory na vyhýbání se překážkám nejsou v dronech úplně běžné, neboť se instalují spíše do dražších modelů. Různé typy dronů používají různé senzory, základními jsou následující tři: První jsou stereoskopické senzory, které kombinují obrazy ze 2 různých kamer a odvozují trojrozměrné tvary prvků kolem sebe. Dalším typem jsou ultrazvukové senzory vysílající a přijímající ultrazvukové vlny. Pomocí časového rozdílu od vyslání po příjem signálu stanoví, jak daleko se stroj pohybuje od potenciální překážky. Posledním typem jsou infračervené senzory, které pracují na stejném principu jako ultrazvukové, liší se pouze tím, že vysílají infračervené vlny a ty jsou hůře zachytitelné než ultrazvukové. Na jednom dronu se může vyskytovat více technologií, jejich kombinace. Např. na detekci ve svislém směru bude použita jiná technologie než na detekci v horizontálním směru. V současné době se hojně využívá technologie Intel RealSense, která využívá speciální kameru k vytvoření 3D modelu svého okolí pomocí stereoskopické techniky. Hlavní výhodou je, že má schopnost zapamatovat si modely, které již jednou vytvořil, což zvyšuje schopnost autonomnosti a bezpečnosti v prostorech, ve kterých se již pohyboval, neboť si pamatuje, kde se překážky nachází. [26, 27]

4.9.8 Senzory sledující polohu sousedů

Osamělý dron mnoho těžké práce nezastane. Ale co když se zkoordinuje pohyb několika dronů při společné práci dohromady? U roje dronů se rázem zvýší efektivita, možné zatížení, a tím se zvýší i možnosti, kde je bude možno využít. Více dronů může zmapovat danou oblast rychleji, či pořizovat fotografie z různých perspektiv současně. Vývoj takových systémů s více a více drony je stále ve fázi vývoje. Roje dronů jsou převážně využívány při vojenských operacích, ať už k útočným či průzkumným misím.

Drony jsou schopny koordinovat a kooperovat pomocí systému GPS, senzorů nebo různých typů kamer, ale taková interakce zůstává poněkud omezená a pomalá. Vědci z Pensylvánské univerzity dokázali naučit své drony létat ve formaci pomocí jediné kamery a senzorů, viz obr. 21. Senzory sledují vzdálenosti mezi sebou. Zajišťují, aby tato vzdálenost mezi nimi byla v přijatelných mezích. Senzory tak sledují odchylky a vypočítávají příkazy 100krát za sekundu, které posléze předávají motorům, aby nedošlo ke kolizi. Vše musí být prováděno decentralizovaně, nemají žádného ústředního koordinátora, vnímají pouze pohyb druhého a podle něj korigují vlastní pohyb. Drony navíc zakládají své jednání pouze na lokálních informacích získaných od svých sousedů. Mohou také měnit pozice a formace na základě překážek, které potřebují překonat. Mohou létat autonomně podle vypočítaného plánu bez potřeby lidské interakce. Potenciál je prakticky neomezený. Drony lze použít pro nesčetné účely, od zábavy po potlačení požáru a od zemědělství po výstavbu budov. A čím více dronů se nám podaří propojit, tím rychleji práci odvedou. [29]



Obr. 21 – Skupina dronů udržující formaci [57]

5 OBLASTI VYUŽITÍ

V prvopočátcích se drony a všeobecně UAV využívaly převážně pro vojenské účely. V současné době již tato technologie pronikla do světa naplno a stala se běžně dostupným prostředkem pro komerční účely. Díky rostoucí dostupnosti dronů a možnosti provádět s nimi nebezpečné a nákladné práce s minimálními riziky i výdaji, se zvýšila poptávka pracovních míst po lidech vlastníci pilotní licence a mající oprávnění je obsluhovat. Nyní drony pracují v několika oblastech a s neustálým pokrokem a vývojem technologií budou tyto stroje stále užitečnější a ještě více využívané. Postupným zdokonalováním autonomie systémů, zabraňování kolizí nebo schopností kooperovat také rostou možnosti dronů vykonávat stále náročnější a složitější úkoly. Díky tomu jsou schopny převážet těžký náklad a dokáží sloužit delší dobu ve vzduchu ve srovnání s jejich staršími verzemi. Přidáním mnoha nových senzorů se zvýšil počet bezpečně provedených případů, takže provoz může být patřičně optimalizován. Pomoc mohou od monitoringu pracoviště, sběru dat až po dodávání či transport materiálu. Mnoho společností již začlenilo bezpilotní prostředky do svých služeb, neboť pomohly snížit výdaje. Což potvrzuje i fakt, že prodej dronů, jak pro rekreační, tak i pro komerční účely, se s každým dalším rokem stále víc zvyšuje. [1]

5.1 Armáda, vojenské využití

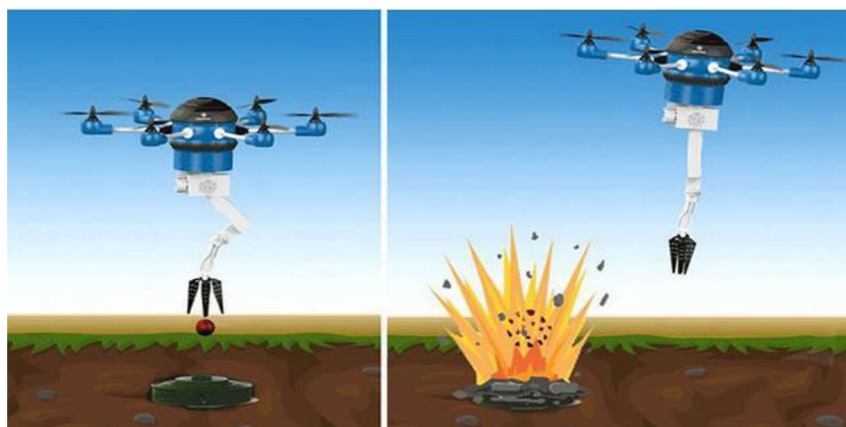
Jedná se pravděpodobně o nejstarší, nejznámější a zároveň o nejkontroverznější využívání dronů. Používání bezpilotních systémů má řadu příznivců, ale i odpůrců. Drony zde mají široké využití, jak v obranné, tak v útočné fázi, slouží jako vzdušné cíle pro bojový výcvik lidských pilotů, sledování, používají je pyrotechnické týmy atd. Všeobecně poskytuje řady možností taktických výhod a stal se moderním prvkem téměř všech armád. Zatímco průzkumné válečné UAV se používají již několik desítek let, bojové drony se začaly hojně vyrábět a využívat v posledních dvou dekadách. Dříve převážně UAV sloužili k monitoringu nepřátel, sledování přesunu jednotek, získání co nejpřesnějších informací o počtech, technice a nepřátelských pozicích. Později byly drony vybaveny zbrojní technikou, a tím pádem mohly být plně nasazeny k přímému ohrožení. Díky velkému pokroku se nyní využívají drony od velkých rozměrů po tzv. nanodrony, které jsou malé, přenosné a jsou pravidelně používané pozemními silami, viz obr. 22. Nanodrony využívají k prozkoumání nebezpečných či okupovaných budov, nebo k určení místa, kde se nachází rukojmí. [29, 30]



Obr. 22 – Voják využívající nanodron [29]

Navíc díky možnosti vzájemného propojení a kooperace několika desítek bojových dronů vznikne velice nebezpečná, efektivní a účinná zbraň, která neohrozí život vlastních lidí. Kromě klasického leteckého použití se využívají i bezpilotní pozemní vozidla (tzv. UGV), které slouží k ochranně konvojů, k zásobování a samozřejmě k eliminaci nepřátel. Nejnovější modely jsou vybaveny nejmodernější technikou, kamerami, termovizí, lasery či raketami a kulomety. Mohou sloužit například jako obranné prvky základen, konvojů nebo při transportu osob s vysokou hodnotou. Získají širší zorné pole a při spatření nepřátel mohou okamžitě reagovat. Dále jsou využívány k leteckým úderům na vzdálenosti několika tisíců kilometrů. Americká armáda běžně používala bezpilotní letouny MQ-9 Reaper, neboli Predator k útokům na povstalce a strategicky důležité cíle s vysokým postavením na Blízkém a Středním východě. [1, 30]

Vzhledem k malé velikosti mohou bez problémů proniknout do zúžených prostor, budov a ve spolupráci s otočnou kamerou jsou vhodné pro účely detekce bomb. Tyto drony jsou tedy způsobilé informovat nás o nevybuchlých bombách a zachránit tak životy. Obdobně dokáže rychle odhalit a vyčistit území od nášlapných min. Bepilotní odminovací systém přelétává nad potenciálně nebezpečnými oblastmi, vytváří 3D mapu a používá detektor kovu k určení polohy min, viz obr. 23 vlevo. Poté může umístit rozbušku nad miny pomocí robotického uchopovacího ramene a pak ustoupí do bezpečné vzdálenosti a cíl zneškodní, viz obr. 23 vpravo. V současnosti jsou drony využívány téměř všemi armádami po celém světě. [29, 31]



Obr. 23 – Ukázka zneškodnění miny [32]

5.2 Záchrané systémy a pomoc při katastrofách

Při každé přírodní katastrofě čelí záchranáři enormnímu vytížení a jakákoliv pomoc či usnadnění práce je pro ně velice přínosná. Pátrací a záchrané operace bývají většinou závod s časem a drony se díky snadnému rozmístění a vypuštění stávají mocným pomocníkem. Navíc často není dost bezpečné poslat člověka na záchranou misi kvůli rozsahu nebo závažnosti katastrofy a ohrozit tak jeho život. V důsledku hurikánů, povodní nebo zemětřesení byly UAV používány lokalizaci obětí, poskytování pomoci v podobě dodávek potravin, vody, oblečení, léků a zdravotního materiálu pro uvízlé osoby či k vyhodnocování škod. [29, 30]

Dron je prostředek s okamžitou možností nasazení, který je schopný získat kvalitní záběry z místa nehody, aniž by se muselo utrácet spousta peněz za provoz vrtulníků. Kromě toho jsou díky své malé velikosti schopny proniknout do míst, které by jinak byly pro vrtulníky obtížně dostupné a poskytnou detailní pohled na situaci. Drony jsou v dnešní době vybaveny kamerami, termovizemi, teplotními senzory, takže jsou schopny rychle objevit a lokalizovat polohu ztracených osob a jsou zvláště užitečné ve stísněných prostorech. Dále díky své velikosti jsou schopny procházet trosky a hledat možné zraněné, prozkoumávat poškozené zaplavené oblasti a pomoci při pátrání a záchraně osob, dokonce i v náročném terénu nebo v noci, neboť mohou pracovat i ve tmě. Kromě lokalizace pohřešovaných by mohly být potenciálně používány k dopravování zásob na jinak nedosažitelná nebo těžce dosažitelná místa, jako jsou expediční základny nebo vysokohorské chaty. [29, 30]

Často je lepší nejprve při vypuknutí požáru vyslat na místo drony, abychom zmapovali a získali přehled o celé situaci, předtím než záchranáři vstoupí dovnitř. Dokáží nejen hasit, ale poskytnout i důležité informace pro efektivní zvládnutí situace, změní přítomnost čpavku nebo jiných výbušných plynů, vlhkost, radioaktivitu, teplotu, viz obr.24. Plán V ČR pracuje s myšlenkou, že by dron přilétal nad postiženými oblastmi a shazoval by čidla. Ovšem zde je kolize s legislativou, neboť je zakázané z dronu cokoli shazovat. [29, 33, 34]



Obr. 24 – Drony jako pomocník při požárech [29]

Drony si našly uplatnění i při dohledu a kontrolami nad určitými bezpečnostními oblastmi. Rozmístěné drony nad hlídanými zónami mohou poskytnout živé vysílání a při jakémkoliv narušení spustit poplach nebo okamžitě přivolat majitele či policii. Výhodou oproti vrtulníkům je, že drony jsou malé, tiché, maskované a špatně viditelné. Náklady na jejich provoz jsou nízké, neohroží život pilota a mají možnost okamžitého rychlého nasazení prakticky kdekoli. Drony dokáží vletět téměř kamkoliv, včetně nebezpečných a rizikových oblastí a upozorní na aktuální dění. Dohledové drony jsou používány pro kontroly hranic a pokusy o jejich nelegální přechody. Slouží jako pohraniční hlídka, k lokalizaci uprchlíků, k boji proti pytláctví, k zabezpečení budov, dohledu a sledování velkých davů na shromážděních a protestech, soukromé a policejní vyšetřování, dohled ve vězení, dohled nad nehodami a monitorování silničního provozu nebo k soukromému vyšetřování. [31, 35]

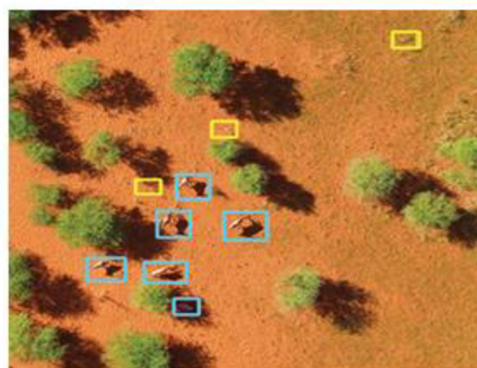
Dále se pracuje s myšlenkou na sestrojení tzv. záchranného robota, který by mohl na požádání dodávat defibrilátory a nejnnutnější zdravotní materiál ještě před příjezdem záchranného týmu, viz obr. 25. To by mohlo zvýšit míru přežití po celém světě. Již se testuje robot se schopností obousměrné zvukové interakce a videa. Je vybaven přihrádkami s lékárníčkami a dalším zdravotnickým materiálem. Používají jej pohotovostní týmy a mohou tak poučit někoho blízkého u nehody o tom, jak správně postupovat u první pomoci a stabilizovat zraněného, než si ho přeberou záchranáři. Další nouzovou situací, pro kterou by byly drony ideálním řešením, jsou havárie s únikem nebezpečných látek, biochemických zbraní nebo plynu. Na Aljašce již nespolehají na psí spřežení, sněžné skútry nebo sanitky. Pro přepravu zdravotnických potřeb využívají bezpilotní prostředky. Dále se pracuje na programu, který by spolehlivě přepravoval lékařské balíčky mezi nemocničními areály. Drony by také mohly zkrátit čas a nabídnout bezpečnější způsob přepravy orgánů spěchajících k transplantaci. [31, 33, 34]



Obr. 25 – Doprava záchranného balíčku [31]

5.3 Ochrana přírody a pozorování zvířat

Pytláctví a změny klimatu mají dramatický dopad na zdraví volně žijících živočichů po celém světě. Ochránci přírody využívají autonomní systémy dronů, které umožňují sledovat pohybuující se skupiny zvířat. Získají lepší představu o zdraví ohrožených druhů a ekosystémů. Získají tím i možnost studovat chování zvířat a analyzovat jejich vzorce v běžném denním režimu, viz obr 26. Největší výhodou při používání dronů pro tyto služby je to, že neovlivňují ani nenarušují krajinu, umožňují nenápadné sledování a výzkum bez narušení přírodních stanovišť. Kromě toho je lze použít i v noci. Mnoho ochránců přírodních rezervací a chráněných parků se uchyluje k využití dronů, aby zajistili bezpečnost přírody a zvířat řádným sledováním. To umožní ochráncům bojovat proti pytlákům. [29, 31, 33]



Obr. 26 – Monitorování zvěře [33]

Schopnost sledovat zvířata poskytla další vhled do sledování možného pohybu infekčních chorob a jejich přenosu ze zvířat na člověka. Microsoft již zkoušel poslat do terénu dron se speciálním zařízením, které odebírá vzorky moči komárům a následně se testují pro předpověď nových ohnisek malárie. Ovšem tento způsob se příliš neosvědčil, neboť stroj nedokázal rozeznat komára od jiného hmyzu. Další nemocí, s níž se zkoušelo bojovat pomocí dronů, je schistosomóza. Tropické onemocnění způsobené

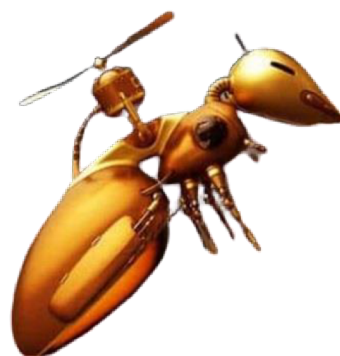
parazitickými červy. Pomocí snímků z dronů umožní vědcům určit, jaké oblasti představují vyšší riziko infekce a odhadnout stav šíření. Vědci by tak mohli upozornit na oblasti hrožícím vypuknutí malárie, nebo na pandemii způsobené jinými virovými onemocněními ještě před jejich vypuknutím. [29, 33]

Aby bylo možné monitorovat lesní požáry a bojovat proti nim, jsou rozmístěny sledovací drony vybavené termovizními kamerami, které detekují abnormální teploty lesů. Tím jsou drony schopny identifikovat oblasti, které jsou nejvíce náchylné k lesním požárům, nebo identifikovat požáry jen několik minut po jejich vypuknutí a jsou schopny určit epicentrum požáru. Drony se již také používají jako pomocník při zalesňování zpustošených oblastí požáry. Jsou vybaveny nádobami naplněnými semeny, hnojivem a živinami, které pomohou stromům opět vystoupit z popela. [29]

Na Zemi existují oblasti, které nejsou pro člověka snadno dostupné. Mezi taková místa patří erodovaná pobřeží, vrcholky hor, ledovce nebo sopky a drony se k nim mohou bez větších problémů dostat na malou vzdálenost a získávat data ve vysokém rozlišení potřebné pro vytváření 3D map. Drony se také používají k mapování a 3D vizualizaci historických míst, jako je Černobyl, starověká řecká místa Efezu, turecké a židovské hřbitovy po celé Evropě. [29, 30]

Díky aktivním senzorům a specializovaným kamerám mohou drony autonomně sbírat důležitá oceánská a atmosférická data z hladiny oceánu, z pobřeží, které pomáhají meteorologům zpřesnit předpovědi počasí. Drony jsou také využívány ke sběru odpadu v přístavech a docích, některé pomáhají čistit oceány a lesy či detekovat nelegální skládky. Dále mohou sloužit jako spolehlivý pomocník při lovu nebo jen čistě pro rekreační účel. [29, 31]

Walmart nedávno uplatnil patent na robota, tzv. autonomní včely, viz obr. 27. Patent se konkrétně týká opylování pomocí dronů. Včelí roboty by pracovaly s fotoaparáty a senzory, které by jim umožnily chytře najít cestu k plodinám. Tyto malé roboty by se chovaly podobně jako včely a samostatně by opylovaly plodiny. Dokonce i se stejnou přesností jako skutečné včely a začlenění těchto robotů do zemědělství může zvýšit produktivitu, snížit náklady a vyřešit problém s úpadkem populace včel. [29, 35]



Obr. 27 – Robotická včela [35]

5.4 Hospodářství – chytré zemědělství

Všeobecně ve světě zemědělská výroba na rozdíl od ostatních odvětví převážně klesá. Může za to nedostatek vody, sucho, choroby plodin nebo změny klimatu. Chytrým využitím dronů můžeme postupně snižovat náklady a zvyšovat výnosy. Dron dokáže zkontrolovat stovky hektarů půdy denně a pravidelné letecké sledování zemědělské půdy zemědělcům může poskytnout podrobnější analýzu výkonnosti plodin, sbírat data,

automatizovat nadbytečné procesy a zvyšovat efektivitu. Drony při pohledu z ptací perspektivy ve spolupráci se speciálními kamerami poznají, kde je půda suchá a kde je potřeba zavlažovat. Dále např. evidují sazbu, sklizeň, průměrnou úrodnost pozemku, nakažené stromy, počítají plody, rozstříkují pesticidy, dávkují hnojivo, zastrášují ptáky, anebo přímo zavlažují či nanášejí postřiky. [29, 31, 35]

Již nyní se do sadů vypouští roj dronů, který kompletně zhotoví přesné modely jednotlivých stromů. Funguje to podobně jako u doktora, kde má pacient vlastní kartu. Každá rostlina, strom má vlastní spis. V nich farmáři najdou informace o stavu rostliny, zda potřebuje více vody, hnojiva či pesticidů. Drony zaznamenávají každý strom, z nichž vytváří mapy sadů, počítají plody na stromech, a tím pomohou zemědělcům odhadnout potenciální úrodu celého sadu. Za pomoci infračervené kamery, senzorů a termokameře detekují plodiny a vytvoří trojrozměrné rekonstrukce, z nichž se dá odhadnout plošný průmět koruny, poté jej vztáhnout k celkové ploše listů a určit tzv. index listové plochy. A když známe index, máme měřítko toho, nakolik je schopna rostlina fotosyntézy. To farmáři dá cenné informace o zdraví rostlin, stromů, plodin. [36]

Dále můžeme zjistit různé nemoci stromů a rostlin, např. chlorózu v raném stadiu, která bývá častým problémem zemědělců. Jde o žloutnutí listů, postupné usychání a následně smrt rostliny. Výhodou dronů je, že pozorují stromy shora a samostatně zjistí a nahlásí farmáři, že v dané části sadu se vyskytuje problém. Dají se použít i při chovu skotu. Mohou je hlídat nebo jim připravují dávky jídla. Jeden dron dokáže obsloužit například až 250 krav. Výsledkem využití dronů v zemědělství je zdravé pěstování plodin a také zvýšení jejich výnosu, neboť provoz a údržba dronů se pohybuje v relativně nižších částkách, a navíc neovlivňuje životní prostředí, pole nebo plodiny. [35, 36]

5.5 Bezpečnostní inspekce

Pomocí specializovaných teplotních senzorů mohou některé drony najít úniky rychleji než lidský inspektor. Díky palubním kamerám s vysokým rozlišením umožňují diagnostikovat některé problémy na dálku. Podvodní drony slouží k průzkumu a opravám energetického vedení, jako jsou ropovody, plynovody a ostatní potrubí. Klasické drony slouží k inspekci elektrického vedení, přenosových věží, radarů, ropných rafinérií, větrných turbín, mosty, střech rodinných domů atd. S využitím těchto prostředků lze většinou provádět tyto inspekční práce na dálku a bezpečně. Některé letecké společnosti, např. Airbus, EasyJet, využívají drony při rutinních prohlídkách svých letadel. Pořizují obrázky letadel shora, čímž pomohou analyzovat stav letadla bez využití další techniky jako jsou vysokozdvizné vozíky apod. [29, 35]

Drony jsou používány např. k měření úniků vody, tepla, plynu z potrubí, budov nebo továren, ke kontrole solárních panelů. Díky svým malým rozměrům a dvougramové kleci z uhlíkových vláken, která brání kontaktu vrtulí a absorbuje všechny nárazy, je můžeme využít i v těch nestísněnějších prostorách (kanalizace, stoky). Telekomunikační věže prochází pravidelnými kontroly. Šlo o proces, který býval nebezpečný, časově náročný a nákladný. Drony dokáží rychle posoudit míru poškození a pomohou

opravářským týmům při obnově servisu. Díky jejich využití se v mnoha případech povedlo obnovit službu v rozmezí hodin, nikoliv dnů. [29, 35]

Drony také zajišťují dohled a kontrolu při těžbě v lomech. Jsou schopny zachytit celoplošné údaje o zásobách a provádět průzkumné bezpečnostní operace ze vzduchu. K zajištění bezpečnosti zaměstnanců jsou drony používány k vyhledávání a kontrolám nebezpečných prostor jako jsou vchody do dolů a štol, stěny, jámy a jeskyně. Zkontrolují, zda u nich nehrozí ke strhnutí. Těžební podniky testují vybavení kvadrokoptér s multifunkčními zařízeními, které pomohou vytvořit 3D mapy podzemních dolů a k vyhledávání minerálů. Lokality s nalezenými minerály budou zaznamenány do mapy a majitel získá kompletní přehled o možnostech, co se dá v daných místech vytěžit. [29, 35]

5.6 Doprava a doručovací služby

Jedním z budoucích plánů je používání dronů k dodávce zboží od místních maloobchodníků a obchodních center přímo před dveře zákazníka. Amazon, Walmart, Google, FedEx, UPS a mnoho dalších velkých značek v současné době testují různé verze doručovacích robotů. Snahou je přesunout zbytečný silniční provoz na oblohu. Tyto létající prostředky jsou vybaveny senzory, které jim umožňují vyhýbat se překážkám podél cesty, bezpečně přistát v blízkosti domu zákazníka nebo na jakémkoliv jiném místě a vrátit se zpátky na velitelské stanoviště. Pokud výsledky testovacích prototypů budou uspokojivé, mohli bychom se dočkat výrazného zkrácení dodací lhůty. Zásilka by mohla být doručena během několika desítek minut od objednání. [29, 31, 35]

Drony mají také potenciál změnit způsob, jakým se bude dodávat jídlo v restauracích. Mohly by pomoci číšníkům s přijímáním nebo doručováním objednávek zákazníkům. Některé restaurace by mohly využít drony pro rychlejší rozvoz, neboť silnice často bývají zacpané, tudíž doprava vzduchem by mohla zajistit, že pokrmy se dostanou zákazníkům ještě čerstvé a teplé. Podniky by tak mohly snížit náklady na rozvoz i uspokojit zákazníky. [29, 35]

Uber, Airbus, Boeing a Rolls-Royce jsou 4 velké dopravní společnosti, které vyvíjejí vlastní autonomní létající drony pro převoz cestujících. Cílem těchto společností je zpomalit šíření a snížit vzrůstající počet vozidel po celém světě. V současnosti většina bezpilotních letounů se používá k dopravě zboží z jednoho bodu do druhého, ale téměř žádný z nich zatím není používán k přepravě osob. Jako první „taxi-dron“ službu zavedli v Dubaji, viz obr. 28. V budoucnu by drony takto mohly sloužit ve všech velkoměstech. [29]



Obr. 28 – Ehang, taxi-dron Dubaj [37]

5.7 Kinematografie, žurnalistika, fotografování

Jedním z prvních odvětví, kde se drony osvědčily, bylo natáčení profesionálních filmů. Mnoho filmů se v současné době natáčí pomocí kvadrokoptér a jiných dronů. Filmaři brzo pochopili možnosti letu dronů ve svém tvůrčím procesu a dokázali vytvořit širokou škálu nových nápadů a perspektiv, kterými zachycují akční scény. Drony dovolily filmařům zachytit letecké záběry bez využití vrtulníků. To mělo dramatický dopad na spodní hranici rozpočtu, čímž se posunuly hranice kinematografie. Mezi uznávané a známé filmy, kde došlo k natáčení dramatických scén za pomoci koptér, patří například Vlk z Wall Street s Leonardem Di Capriem, James Bond neboli Skyfall, Harry Potter a Tajemná komora nebo slavný televizní seriál Hra o trůny. [29, 31, 35]

Schopnost dosáhnout míst, kam se zpravodajci normálně nemohli dostat, také zvýšila zájem o využití dronů ve světě žurnalistiky. Letecké záběry pro živé vysílání se v dnešní době stávají stále běžnějšími. S drony mohou reportéři sbírat záběry, které by jinak bylo obtížné získat, jak kvůli bezpečnostním problémům, ale také vysokým nákladům nebo fyzickým překážkám. Zpravodajské relace tak mohou představit letecké záběry z následků hurikánů, pohled na zpusťované krajiny požárem či škody způsobené záplavami, zemětřeseními apod. [29, 31, 35]

Fotografování ze vzduchu patří mezi vůbec první způsoby využití dronů. Díky vylepšené technologii je nyní mnohem více multikoptér vybaveno prvotřídním kamerovým zařízením, gimbaly a stabilizátory. Existují speciálně upravené drony, které dokáží přepravovat těžká kamerová zařízení, což poskytuje lepší způsob pro pořizování fotografií ve vysoké kvalitě. Fotografování drony se nejčastěji provádí za komerčními nebo rekreačními účely. Jak již bylo zmíněno, pokud bude provozovatel pořizovat fotografie pouze pro svoje účely, s cílem uchování vzpomínek, tak žádné povolení nepotřebuje. Kdežto pokud fotí lidi na svatbách či nemovitosti a pozemky za účelem přivýdělku, svůj stroj bude muset zaregistrovat a pořídit si licenci. Propojením smartphonu s dronem je možné sledovat obraz v reálném čase z pohledu první osoby. Tzn., že přesně vidíte, co kamera zachycuje, a můžete tak okamžitě získat video nebo fotografie přímo do vašeho telefonu. [29, 31, 35]

Realitní kanceláře ke komerčním účelům využívají drony v podobě zachycování obrázků pozemků a domů z ptačí perspektivy. Pro potenciální zákazníky jsou letecké snímky mnohem užitečnější. Interiéry domů jsou zachyceny malými drony, které vytváří 360° fotografie a videa. Drony zachycují vnitřky domů v úrovni hlavy, což poskytne potenciálním kupcům perspektivu, která napodobuje fyzický průchod domem. Makléři natáčí záběry těžko viditelných věcí domu a vizuálně zobrazují prostory zahrad, blízkost sousedních domů, okolí a čtvrti. Zájemce tak může vidět, zda se v okolí domu nacházejí obchody, dětská hřiště apod. Ze statistik realitních kanceláří vyplývá, že se zvýšil zájem o inzeráty domů, pozemků nafocených drony. Výhodně také mohou sloužit k propagaci. Připevněním reklam a vypuštěním dronu na rušné frekventované místo vzbudíte určitě pozornost a zvýšíte zájem lidí. [29, 35]

5.8 Stavební průmysl a zásobování

Plánuje se, že dříve nebo později budou drony spolupracovat s lidmi, aby urychlily proces staveb a snížily náklady. Místo jeřábů a zdviháků by k přepravě nebo přímo k stavbě byly využity právě bezpilotní prostředky. Některé společnosti s tím již experimentují. Osamělý dron toho moc nedokáže. Roj kooperujících dronů toho již ovšem dokáže mnohem více. Efektivita a nosnost se výrazně zvýší a dokáží ve spolupráci postavit základní konstrukční prvky budov. Předprogramované drony dokázaly postupně zvedat a skládat tisíce cihel na sebe a vytvořily tím stavbu téměř 10 m vysokou. Mohou se využívat pro přepravu materiálu. Firma Boeing již představila dron, který dokáže převézt náklad o hmotnosti 250 kg. Koptéry na stavbách zatím slouží převážně k inspekci, bezpečnostnímu průzkumu, sledování zaměstnanců, postupné analýze a zachycuje průběh stavby. [29, 35]

Dále se drony využívají při plánování a správě staveb. Letecké snímky se používají při trojrozměrném modelování provedené architektem. Letecký pohled na stavbu poskytne důležitý způsob kontroly projektů, porovnání s původními plány a lepší orientaci o dostupných materiálech na pracovišti. Drony mohou dodávat chybějící materiál jako manipulanti na výrobních linkách. Kromě dodávky mohou být drony použity ve skladech a střediscích pro řízení zásob. Lze je použít k vyhledání a měření zásob načítáním jednotlivých QR kódů umístěných na kontejnerech nebo bednách s materiálem. [29, 35]

5.9 Sport, závody a zábava

Drony změnil tradiční pohled na televizní přenosy, zejména na ty sportovní, jako jsou fotbalové zápasy, NASCAR, golf a další. Převážně venkovní sporty nacházejí obrovský zájem o použití leteckých záběrů při sledování událostí. Konkrétně se jedná o přístroj Skycam, robotickou počítačem řízenou kameru, která je zavěšena na kabelech a může se libovolně pohybovat po celé ploše. [29, 35]

Drony si také našly zálibu u nadšenců extrémních sportů, jako jsou snowboardisté, sjezdaři a surfaři, kteří si chtějí své kousky či zážitky nafotit nebo natočit. Vyznavači těchto adrenalinových sportů jednoduše nastaví trasu, sledování objektu a dron pak kopíruje jejich cestu a zaznamenává, co dělají. Drony dokáží zmapovat profil hory za pár hodin, což může horolezcům nebo lyžařům pomoci k přesnější přípravě a lepšímu pochopení terénu. [29, 35]

Drony se také používají přímo pro živou zábavu. Jedná se o přehlídky se světelnými efekty, plovoucí projekční plátna odráží řady vzorů a synchronizovala se s hudbou a dalšími prvky živého vystoupení. [29, 35]

Drony nemusí sloužit pouze jako pasivní prvky při sportu. Dá se s nimi navštěvovat vlastní závody a turnaje, které nabízejí významné peněžité odměny. Existuje letecká sportovní liga pořádající bojové akce. Tak jako jsou pořádány zápasy v kleci, kde proti sobě stojí 2 zápasníci, tak jsou pořádány turnaje dronů, kde zničení protivníkovy stroje vede k vítězství. Dále je k vidění Drone Racing League, což je celosvětová série

závodů s drony. Spíše to připomíná závodní videohry, akorát se zde setkáváte se skutečnými situacemi a ovládáte skutečný závodní stroj. Prodávají se herní balíčky s VR náhlavními soupravami a dalšími herními rozšířeními, které v kombinaci s realistickými mapami teprve zvýší požitek ze zábavy, viz obr. 29. V praxi to vypadá, že pilot vidí let dronu vlastníma očima z prvního pohledu. Za těmito účely budete potřebovat malý obratný a mrštný dron, který dokáže rychle měnit směr a provádět akrobatické kousky. Konstrukce dronu je v tomto případě stejně důležitá jako individuální schopnosti závodníka. [29, 31]



Obr. 29 – Závody s drony [31]

5.10 Nelegální činnost

Možnosti dronů mají převážně mnoho pozitivních způsobů použití, přesto se najdou i ty negativní, nezákonné činnosti. Zejména se drony využívají k přepravě drog přes mezinárodní hranice a k pašování zboží do věznic. Také je známo několik případů, kdy se drony účastnily bombových teroristických útoků nebo voyeurismu. Bezpečnostní složky států se obávají útoků bezpilotních letounů, mohou nést totiž chemické zbraně, střelné zbraně nebo výbušniny. Jiní vyjádřili obavy ohledně atentátů a útoků na jaderné elektrárny a podobné nebezpečné oblasti. Proto jsou tato místa poslední dobou zabezpečována EMP bateriemi a granáty, které dokáží vyřadit dron z provozu. [29]

Mezi nejznámější případy nelegálního užití patří létání a fotografování v zakázaných oblastech, pašování drog z Mexika přes americké hranice, snaha dostat zboží do amerických věznic, přistání radioaktivního materiálu na střeše úřadu japonského předsedy vlády. Pravděpodobně šlo o protest proti politice jaderné energie. Dále invaze do izraelského vzdušného prostoru Hizballáhem nebo ISIS využila roj dronů vyzbrojených bombami a výbušninami k útoku na ruskou základnu v západní Sýrii na začátku ledna 2018. V roce 2019 dokonce menší skupina dronů zaútočila na ropná zařízení v Saudské Arábii, čímž způsobila zvýšení ceny ropy po celém světě, protože se jednalo o druhého největšího vývozce. [29, 38]

6 TYPY DRONŮ

Nejen světový, ale i český trh disponuje širokým výběrem dronů. Existuje celá řada různých provedení od různých výrobců, které se od sebe liší designem, vybavením nebo účelem použití. Od těchto proporcí se poté odvíjí jejich cena. Při výběru je potřeba se zaměřit na několik důležitých vlastností a uvědomit si, za jakým účelem si dron pořizují. Mezi nejdůležitější parametry patří co nejdelší doba ve vzduchu daná výdrží baterie. Dále je to dosah signálu, který ovšem častěji bývá limitován zákony, neboť na nejnovějších produktech je dosah mnohem větší než dovolují normy. Drony převážně slouží ke sběru dat či pořizování kamerových záznamů, a tady je důležité si vybrat dron s odpovídající kvalitní kamerou. Nejnovější modely mají již vestavěné kamery, ale u starších modelů to zvykem nebývalo. Pro videozáznam v základní kvalitě se doporučuje použít minimálně zařízení s HD nebo Full HD rozlišením. U nejdražších modelů jsou samozřejmě kamery se 4K rozlišením. V neposlední řadě je důležitá cena, která často hraje nejdůležitější roli při výběru, a samozřejmě design. Hmotnost, zátěž, materiál či rychlost se budou odvíjet od účelu použití. [39]

K dispozici máme dvě základní skupiny, které se dělí na multikoptéry a křídlové drony. Každý z nich má své výhody a nevýhody, díky nimž lépe vyhovuje určitým účelům, proto je důležité pochopit klíčové rozdíly mezi oběma typy. Třetí skupina, která se nazývá hybridní drony, využívá kombinaci obou zmíněných skupin, tudíž na dronu nalezneme křídla i rotory. [1, 39]

V následující části budou srovnány jednotlivé skupiny, uvedeny jejich klady a zápory, porovnány jednotlivé parametry a představeny vybraní konkrétní zástupci. Pro názorné srovnání bude využita SWOT analýza. SWOT analýza se převážně vyskytuje v marketingu pro stanovení strategie firem. Ovšem pro její přehlednost a názornost se dá využít téměř kdekoliv. Zkratka SWOT je odvozena z anglických slov: **S**=Strengths (silné stránky), **W**=Weaknesses (slabé stránky), **O**=Opportunities (příležitosti), **T**=Threats (hrozby). Tato metoda spočívá v rozdělení např. tabulky na 4 kvadranty, viz obr. 30. Do levé poloviny jsou zapisovány kladné faktory a do pravé naopak záporné faktory. V horní části jsou zaznamenávány konkrétní vlastnosti, tedy silné a slabé stránky. V dolní části jsou poté zaznamenány externí vlivy, jako kde je můžeme použít (příležitosti) a co nás naopak limituje (hrozby). [40]

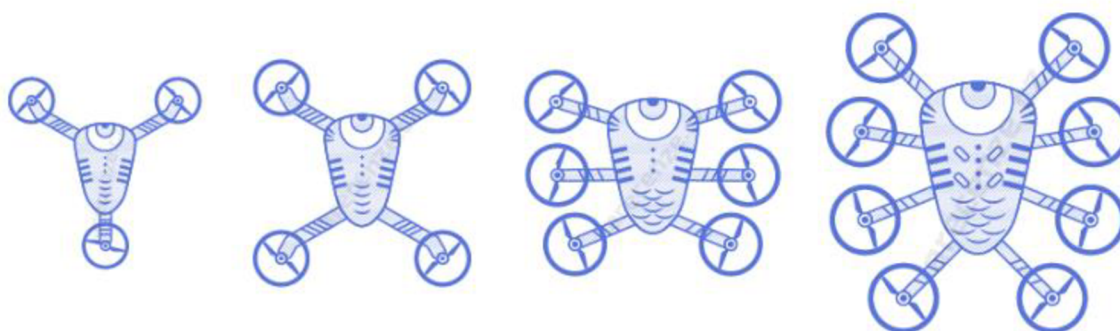
SWOT analýza

| | | |
|-----------------|---|---|
| vnitřní faktory | STRENGTHS (silné stránky) + | WEAKNESSES (slabé stránky) - |
| vnější faktory | OPPORTUNITIES (příležitosti) + | THREATS (hrozby) - |

Obr. 30 – Příklad SWOT tabulky

6.1 Multikoptéry

Multikoptéry jsou nejběžnějším, nejdostupnějším typem dronů a jsou mnohem využívanější než křídlové drony. Tvoří převážnou většinu dostupných komerčních a spotřebitelských produktů. K dispozici je mnoho různých konfigurací, ale obecně se řídí stejným konstrukčním principem. K rámu těla jsou připevněny vrtule a dělí se podle počtu rotorů, viz obr 31. Každý z nich nabízí specifické výhody, a proto bude analýza provedena pro jednotlivé typy zvlášť. Ovšem jsou výhody/nevýhody, které nabízejí multikoptéry všeobecně oproti bezpilotním letounům. Jsou nejjednodušší a nejlevnější možností, jak získat záběry z ptáčích perspektivy. [1, 22]



Obr. 31 – Rozdělení multikoptér [40]

Existuje široké cenové rozpětí multikoptér. Záleží na tom, zda se jedná o hračky pro rekreační využití, nebo o dražší komerčně využívané prototypy. Ovšem náklady jsou mnohonásobně nižší než u křídlových dronů. Mají mnohem lepší manévrovatelnost, umožňují létat s extrémní přesností v uzavřeném i otevřeném prostoru. Další výhodou je jejich snadné použití. Nevyžadují totiž tolik místa pro vzlet a přistání, neboť lze s nimi provádět vertikální starty/přistání a mohou se vznášet nad jedním bodem. Další plus je jejich přeprava. Dokonce i větší hexakoptéry a oktokoptéry mají možnost sklopit své vrtule na přenosnou velikost. Nejčastěji bývají vyrobeny z uhlíkových vláken, laminátu, duralu a ty nejlevnější z plastu. Multikoptéry s větším počtem rotorů mohou nést mnohem větší náklad. Největší nevýhodou multikoptér oproti letounům je jejich omezená výdrž a rychlost, díky čemuž jsou nevhodné pro rozsáhlé letecké mapování, monitorování na velké vzdálenosti s potřebou dlouhé výdrže, jako jsou potrubí, silnice a elektrická vedení. [40, 41, 42]

6.1.1 Trikoptéra

Tyto drony mají menší počet vrtulí než ostatní koptéry, což s sebou přináší spoustu výhod a nevýhod. Menší počet rotorů způsobí menší celkový tah. Z toho vyplývá, že trikoptéry dosahují menší rychlosti a celkového výkonu. Kvůli tomu nejsou vhodné pro natáčení a fotografování, neboť neunesou těžký náklad v podobě dostatečně velké a kvalitní kamery. Stabilizace kamery u trikoptér je mnohem složitější. Dále obsahují serva, která taktéž ztěžují jejich stabilizaci a ovládání. Rovněž omezují počet triků, které lze s nimi provést. [40, 43]

Dříve byly mnohem populárnější a prodávanější, ale od zlepšení výdrže a dosahu u kvadrokoptér, se zájem o ně rapidně snížil. V současné době nejsou na trhu příliš dostupné. Na e-shopech nalezneme spíše rámy a jednotlivé díly pro následné vlastní sestavení. Stavba trikopty je ovšem obtížnější než stavba kvadrokoptéry, proto se začátečníkům spíše doporučuje začít se stavbou kvadrokoptéry. U trikopty může být obtížnější rozpoznat, který konec směřuje dopředu. Zkušený pilot to pozná okamžitě, ale pro nováčka to může být obtížnější a celkové ovládání více zmatečné. Trikopty jsou mnohem levnější záležitostí, zejména při sestavování vlastního stroje. Méně motorů a všech součástí znamená nižší stavební náklady. Menší počet součástí také snižuje pravděpodobnost selhání některé z nich a snižuje celkovou hmotnost robota. Díky absenci jednoho z rotorů jsou mnohem obratnější, mrštnější a agilnější. Proto se trikopty využívají hlavně k závodění, akrobatickým kouskům a jsou vhodné pro technické létání mezi překážkami. Doba letu obvykle trvá kolem 20-25 minut během klidného dne. Při náročném manévrování, větší zátěži nebo za větrného počasí bude doba letu trvat kratší dobu. [43, 44]

Tab. 1 – SWOT analýza trikopty

| | | |
|------------------------|--|--|
| vnitřní faktory | <p>STRENGTHS (silné stránky)</p> <ul style="list-style-type: none"> + cena, nižší náklady + obratnost, mrštnost + snadné použití + hmotnost + přeprava | <p>WEAKNESSES (slabé stránky)</p> <ul style="list-style-type: none"> - menší výkon, rychlost - výdrž, doba letu - dostupnost - servomotor - pořizování záznamu - zátěž - nestabilita |
| vnější faktory | <p>OPPORTUNITIES (příležitosti)</p> <ul style="list-style-type: none"> + létání uvnitř + technické létání + závody, akrobatické kousky | <p>THREATS (hrozby)</p> <ul style="list-style-type: none"> - létání venku - počasí – poryvy větru - vlastní montáž - porucha motoru – pád |

6.1.2 Kvadrokoptéra

Tento typ je v současnosti nejvyužívanější variantou, protože poskytuje nejlepší rovnováhu mezi obratností, ovládním, nákladem a stabilitou. Kvadrokoptéry jsou zdaleka nejpopulárnější a nejrozšířenější multikopty na trhu, neboť jsou rychlé, snadné na výrobu a cenově dostupné. Oproti trikopty mají větší tah a výkon, což umožní, že dokáží unést i těžší náklad, např. kamery. Zároveň si však zachovávají vysokou míru obratnosti a jsou také odolnější vůči poryvům větru. Můžeme je tedy použít jak pro standardní venkovní, tak i pro vnitřní využití. U závodních kvadrokoptér je kamera většinou umístěná přímo na konstrukci, takže přenáší i nežádoucí vibrace od vrtulí. U kvadrokoptér určených pro natáčení videí tyto neduhy odstraňuje gimbal a antivibrační součástky. [40 41]

Tento typ je nejjednodušší na sestavení vlastní multikoptéry a relativně levný na výrobu (v porovnání s letouny a více rotorovými koptéry). S celou řadou autonomních letových režimů je nejsnazší na ovládání, a proto je ideálním typem pro úplné začátečníky. Při příznivém počasí plně nabitá baterie vydrží průměrně kolem půl hodiny. Při poruše jednoho z motorů ovšem pravděpodobně dojde k havárii, proto všechna důležitá elektronika je chráněna pevnými kryty, které je brání před vážným poškozením. Pro drahé modely jsou k dispozici např. záchranné padáčky. [43, 44, 45]

Tab. 2 – SWOT analýza kvadroptér

| | | |
|------------------------|--|--|
| vnitřní faktory | STRENGTHS (silné stránky) <ul style="list-style-type: none"> + dostupnost + cena + snadné použití + rychlé, obratné + přeprava + ovládání | WEAKNESSES (slabé stránky) <ul style="list-style-type: none"> - menší výkon - velká zátěž - výdrž - dlouhé lety |
| vnější faktory | OPPORTUNITIES (příležitosti) <ul style="list-style-type: none"> + venkovní i vnitřní použití + autonomní režimy + přídavné doplňky + zlata střední cesta + začátečníci + závody | THREATS (hrozby) <ul style="list-style-type: none"> - rozsáhlé monitorování - počasí – silný vítr - porucha motoru – pád |

6.1.3 Hexakoptéra

Hexakoptéry mají v podstatě stejné výhody jako kvadroptéry, ale jsou mnohem silnější. Šest vrtulí sice ubírá na obratnosti, ale na druhou stranu jsou již velmi odolné vůči silnějším porывům větru. Přidáním dalších dvou motorů docílíme vyšších rychlostí, většího výkonu a větší stability, což nám zvýší výkonnost a možnost létat s mnohem těžším nákladem. Při fotografování z výšky se drobné otřesy dronu ještě na výsledné fotografii nemusí projevit, ale u videa je už ale znát takřka každý otřes. Proto jsou primárně určeny pro fotografování. Tyto stroje již unesou pořádnou drahou kameru. [40]

V porovnání s protějšky také vyletí do mnohem vyšších nadmořských výšek. Výdrž baterie se odvíjí od zatížení dronu. Hexakoptéry slouží jako pomocné stroje na stavbách, v zemědělství, k lokálním inspekčním, neboť na rozsáhlé mapování nejsou stavěné. Ovládání je již obtížnější, a proto jsou doporučeny spíše pro pokročilé piloty. Ovládání opět ulehčuje řada autonomních režimů, ale i přesto by se strojem neměl létat úplný začátečník, neboť cena u těchto strojů je již mnohem vyšší. Dále jsou mnohem stabilnější ve vzduchu a bezpečnější. Při selhání jednoho z motorů ostatní motory „převzou“ zátěž porouchaného motoru. Tzn., že pilot bude moci bezpečně přistát a zachránit stroj před havárií a dalším poškozením. Někdy je dokonce možné přijít i o dva motory a pilot bude pořád schopný s hexakoptérou přistát. Ovšem zde již záleží na pozicích poškozených motorů. [44, 45]

Tab. 3 – SWOT analýza hexakoptér

| | | |
|------------------------|---|--|
| vnitřní faktory | STRENGTHS (silné stránky) <ul style="list-style-type: none"> + vyšší výkon + stabilita, bezpečnost + těžší náklad + odolnost + ovládání + rychlost + kamera | WEAKNESSES (slabé stránky) <ul style="list-style-type: none"> - neobratnost - mrštnost - cena - hmotnost - náhradní díly – složitá a drahá oprava - výdrž baterie |
| vnější faktory | OPPORTUNITIES (příležitosti) <ul style="list-style-type: none"> + autonomní režimy + průmysl, zemědělství + fotografování + práce za nepříznivého počasí + při poruše možnost záchrany + vyšší nadmořské výšky | THREATS (hrozby) <ul style="list-style-type: none"> - práce uvnitř - údržba - začátečníci - nepřehledný, hustý terén |

6.1.4 Oktokoptéra

Tyto drony jsou díky osmi vrtulím ze všech typů nejstabilnější. Přidáním dalších dvou motorů se docílí největšího tahu motoru, což umožní přenášet velmi těžké náklady. Oktokoptéry jsou tedy nejvýkonnější, nejúčinnější, nejspolehlivější a jsou schopné nést nejtěžší užitečná zatížení ze všech multikoptér. Jejich cena je ovšem také mnohem vyšší než u předešlých typů. Osm vrtulí také zaručuje, že pokud se porouchá některý z motorů, tak se strojem budeme moci bezpečně přistát a zachránit jej. Stejně tak jako u hexakoptér se jich může porouchat více, ale bude záležet na jejich rozložení. [40]

Jsou také nejdolnější vůči silným poryvům větru a díky tomu s nimi můžeme pořídit kvalitní záběry i za nepříznivého počasí. Dále se s nimi nedoporučuje létat v hustém, nepřehledném terénu, neboť jsou velice neobratné a je obtížnější s nimi provádět prudké manévry. Ovšem výdrž baterie je velice slabá. Z tohoto důvodu u nich často nalezneme více než jednu baterii. To sice zvýší hmotnost stroje, ale prodlouží dobu letu. Oktokoptéry jsou často využívány v průmyslových oblastech, zemědělství a kinematografii, neboť jsou předurčeny k nošení velmi těžkých kamer. [44, 45]

Tab. 4 – SWOT analýza oktokoptér

| | | |
|------------------------|--|---|
| vnitřní faktory | STRENGTHS (silné stránky) <ul style="list-style-type: none"> + stabilita + bezpečnost + velmi těžký náklad + kamera + rychlost + výkon | WEAKNESSES (slabé stránky) <ul style="list-style-type: none"> - cena - obratnost - hmotnost - rozměry - výdrž baterie |
| vnější faktory | OPPORTUNITIES (příležitosti) <ul style="list-style-type: none"> + autonomní režimy + průmysl, zemědělství + kinematografie + při poruše možnost záchrany + vyšší nadmořské výšky + práce za nepříznivého počasí | THREATS (hrozby) <ul style="list-style-type: none"> - práce uvnitř - hustý členitý terén - začátečníci - náročná údržba |

6.2 Křídlové drony

Drony s pevnými křídly, též nazývané bezpilotní letouny jsou navrženy jako tradiční letadla. Podobně jako letadla mají trup se dvěma křídly a jednou vrtulí vpředu. Tyto drony potřebují energii pouze k pohybu vpřed a jakmile jsou ve vzduchu, obě křídla vyvíří dostatečný vztlak, který vyrovnává jejich hmotnost, což umožňuje letadlu zůstat ve vzduchu. Konstrukce letadla s pevnými křídly jim dává větší stabilitu, neboť lépe snášejí boční vítr. To je důležité pro létání v otevřených prostranstvích, která jsou vystavena vysokým povětrnostním podmínkám. [41, 42]

Na rozdíl od multikoptér jsou u letounů využity i plynové spalovací motory. Vzhledem k vynikající účinnosti těchto motorů mohou tyto stroje létat i několik hodin. Využíváme je pro mapování velkých a rovinných oblastí, jako jsou inspekce potrubí či elektrického vedení, neboť se nemusejí vracet zpět kvůli výměně baterie. Křídlové drony se dají považovat za bezpečnější, protože letadlo s pevným křídlem při ztrátě výkonu motoru je schopné plachtit do bezpečí, a to dává letadlu větší šanci na přežití pádu. [46]

Hlavní nevýhodou těchto letadel je jejich neschopnost vznášet se na jednom místě a jejich vypouštění/přistávání. Start a přistání je mnohem složitější, protože v závislosti na jejich velikosti bude potřeba dostatečně velká startovací a přistávací dráha. Další variantou může být katapult, jenž je dostane do vzduchu. K přistání se dá využít padák či síť, která je na konci mise bezpečně zastaví. Přistání obvykle probíhá dopadem na „břicho“, což není bezpečná varianta, neboť hrozí poškození stroje. Malé modely také mohou startovat z ruky. Jsou mnohem náročnější na přepravu a často vyžadují montáž před jejich použitím. I když většina modelů je rozebíratelná, jednotlivé komponenty jsou stále velké a vyžadují značný prostor pro přepravu. [41, 42, 46]

Letouny jsou mnohem náročnější na ovládání. Vyžadují větší prostor pro otáčení, nedokáží rychle provádět krátké zatáčky. Pro piloty je mnohem obtížnější se s nimi naučit létat. Ve vzduchu se chovají jako normální letadla, a proto piloti musí myslet dopředu, aby se s dostatečným předstihem vyhnuli překážkám. Navíc křídlové drony jsou několikanásobně dražší záležitostí než normální drony. Jak jejich pořizovací cena, tak i provozní náklady. [41, 42]

Tab. 5 – SWOT analýza křídlových dronů

| | | |
|-----------------|---|--|
| vnitřní faktory | STRENGTHS (silné stránky) <ul style="list-style-type: none"> + výdrž + rychlost + dosah + stabilita + účinnost a efektivnost | WEAKNESSES (slabé stránky) <ul style="list-style-type: none"> - pořizovací cena, náklady - obtížná ovladatelnost - obratnost - přeprava - omezené využití - vznášet se nad 1 místem - autonomní režim - nosnost nákladu |
| vnější faktory | OPPORTUNITIES (příležitosti) <ul style="list-style-type: none"> + kontrola rozsáhlého prostranství + větrné počasí + bezpečnost + autonomní režimy + plynové motory | THREATS (hrozby) <ul style="list-style-type: none"> - vzletání/ přistání - hrozí zranění - neočekávané překážky - draví ptáci |

6.3 Hybridní drony

Při pohledu na výše uvedené tabulky je zřejmé, že multikoptéry přináší větší řadu výhod. Ovšem křídlové letouny poskytují výhody, které jsou také užitečné. Spojením těchto typů se dostane prototyp, který bude kombinovat výhody obou zmíněných. To jsou přesně hybridní drony, též nazývané jako VTOL drony. Tento název vychází z anglického spojení slov Vertical Take-Off and Landing, tedy vertikální vzletnutí a přistání. Jak název napovídá, je to schopnost, která přesně křídlovým dronům chybí. Nachází se u nich jak křídla, tak rotory. Pomocí klapek se stroj naklání o 90 °, což umožňuje dronu měnit konfiguraci mezi letovým módem (horizontální pozicí) a vertikální pozicí pro vzletání a přistání, viz obr. 32. [46]



Obr. 32 – Přejít mezi letovými režimy [47]

Oproti letounům mají menší rozpětí křídel, což umožňuje možnost provádět ostřejší zatáčky. I když neodpovídá manévrovatelnosti multikoptér, je možné s nimi provádět mapování menších oblastí, jako jsou pole nebo sady. Zmenšením parametrů se docílilo i snadnější možnosti přepravy. Hybridy dokáží pracovat v plně autonomním režimu, tak jako multikoptéry. Palubní počítač dokáže kontrolovat celou dráhu letu, vzlet i přistání bez jakékoli lidské interakce, což snižuje riziko zranění či poškození během vzletu nebo přistání. Díky tomu je ovládaní u těchto dronů mnohem snazší než u dronů s pevným křídlem a stejně jako multikoptéry je můžeme vypustit prakticky kdekoli. V současné době je na trhu velmi malý počet hybridních dronů, ale dá se očekávat jejich rozšíření, neboť na této technologii se již několik let pracuje a neustále se vyvíjí. [42, 46]

Tab. 6 – SWOT analýza hybridních dronů

| | | |
|------------------------|---|---|
| vnitřní faktory | <p>STRENGTHS (silné stránky)</p> <ul style="list-style-type: none"> + kolmý vzlet a přistání + možnost se vznášet + autonomní režim + výdrž + nosnost nákladu + snadné použití | <p>WEAKNESSES (slabé stránky)</p> <ul style="list-style-type: none"> - pořizovací náklady - stále nedokonalé - venkovní užití |
| vnější faktory | <p>OPPORTUNITIES (příležitosti)</p> <ul style="list-style-type: none"> + mapování oblastí + kurýr (doručovací služby) + dlouhé lety + nepříznivý terén | <p>THREATS (hrozby)</p> <ul style="list-style-type: none"> - dostupnost - nedokonalosti – poruchy |

6.4 Konkrétní zástupci

Z každé skupiny bude vybrán jeden až dva zástupci. Ke každému z nich následně budou uvedeny základní parametry, jako jsou doba ve vzduchu na jedno nabití, cena, rychlost, dosah, váha, kamera. [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54]

- trikoptéra – Erida Gen.B – zde se bude jednat o model z roku 2016, neboť na současném trhu je obtížné trikoptéry sehnat
- kvadroptéra – DJI Mavic Air 2 - kvalita, Ryze Tech Tello – hračka
- hexakoptéra – DJI Matrice 600 Pro – profi dron, Yuneec Typhoon H Plus – komerční dron
- oktokoptéra – DJI Spreading Wings – profesionální
- křídlové letouny – Sense FlyEbee – profesionální, Parrot Disco – rekreační účely
- hybridní drony – X PlusOne – komerční účely, WingtraOne – profesionální

Tab. 7 – Srovnání základních parametrů vybraných dronů

| Název | Cena [Kč] | Původ | Výdrž baterie [min] | Dosah [km] | Max. rychlost [km/hod] | Váha [kg] | Kamera |
|------------------------------|------------------------|-----------|---------------------|------------|------------------------|-----------|--------|
| Erida Gen.B | 26 000,- | USA | 35 | 1,4 | 80 | 0,9 | 4K |
| DJI Mavic Air 2 | 23 990,- | Čína | 34 | 6 | 68,4 | 0,57 | 4K |
| Ryze Tech Tello | 2 990,- | Čína | 13 | 0,1 | 28,8 | 0,08 | HD |
| DJI Matrice 600 | 159 990,- | Čína | 32 | 5 | 65 | 9,5 | bez |
| Yuneec Typhoon H Plus | 48 490,- | Čína | 25 | 1,6 | 72 | 2,1 | 4K |
| DJI Spreading Wings | 100 000 - 160 000,- | Čína | 15 | 2,5 | 72 | 4,4 | bez |
| SenseFly Ebee X | 475 000,- | Francie | 90 | 8 | 110 | 1,4 | bez |
| Parrot Disco | 10 990,- | Francie | 45 | 2 | 80 | 0,75 | FullHD |
| X PlusOne | 20 000,- | USA | 10-15 | 4 | 100 | 1,27 | bez |
| WingtraOne | 500 000,- | Švýcarsko | 59 | 10 | 58 | 3,7 | 4K |

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit ucelený přehled relevantních aktuálních informací ohledně bezpilotních prostředků, konkrétně dronech a jejich postavení v legislativě, popsání jednotlivých pohybů a dynamiky letu, představení hlavních součástí a senzorů, které se na nich vyskytují, konkrétní oblasti jejich využití, ať již současné nebo budoucí, a nakonec jejich porovnání pomocí SWOT analýzy, která měla vyzdvihnout silné a slabé stránky jednotlivých typů. Na všechny uvedené části by již měl mít čtenář jasný pohled a představu o dané problematice. V následující části budou shrnuty nejdůležitější poznatky z jednotlivých kapitol.

První kapitola byla věnována právnímu hledisku. Létání a provozování letecké činnosti s bezpilotními prostředky se v České republice věnuje hlavně letecký předpis L2, především jeho tzv. Doplněk X. Zde jsou stanovena základní pravidla a jejich rozdělení. Národní předpisy řady „L“ vychází z příloh Mezinárodní úmluvy ICAO a slouží jako minimální požadavky, které musí být dodržovány. Vzhledem ke členství v EU musí ovšem vnitrostátní předpisy dodržovat všechna nařízení plynoucí z nařízeních vydané EASA. S ohledem na pandemii koronaviru se odsunul termín pro sjednocení pravidel o využívání a distribuci UAV pro všechny členy EU na 1. 1. 2021. Všechna pravidla, co se mají změnit, jsou vydána v tzv. Desateru. Hlavní změnou ovšem bude povinná registrace téměř všech dronů, čímž každý stroj získá něco jako svoji SPZ. Pro předletovou přípravu je zřízena letecká mapa AisView, která vyznačuje zakázané a omezující oblasti. Zatím platí, že v případě využití dronu pro vlastní (rekreační) účely není nutné vlastnit pilotní průkaz či stroj registrovat. Pokud ovšem využívám stroj za účelem výdělků, musím mít pilotní průkaz a zaregistrovaný stroj na ÚCL.

Následující kapitola popisuje princip pohybu. Kompletní popis byl představen na modelu kvadrokoptéry zkonstruovaného do tvaru písmene X, neboť se jedná o nejvíce využívaný typ. Koptéry mohou konat prostorový pohyb, což je kombinace translačního a sférického pohybu a popisují jej Newton-Eulerovy pohybové rovnice. Ke vzletnutí je potřeba zvýšit hodnotu vztlačkové síly pomocí tahových sil, které vytváří každý z otáčejících se rotorů. K zahnutí nebo k otáčení musí dojít ke změně rychlosti otáčejících se vrtulí, tzn. momentu hybnosti. Správnou regulací otáček je možné docílit jakéhokoliv pohybu. V této části je popsán zjednodušený fyzikální model a matematické vyjádření vybraných veličin. Dále jsou zde popsány jednotlivé pohyby v každé ose a podmínky jejich docílení. Multikoptéry musí mít stejný počet pravotočivých a levotočivých vrtulí, tzn. u kvadrokoptéry 2 a 2. Zjednodušeně řečeno, dron se bude pohybovat ve směru „pomalejší části“. Tzn., že stroj se nakloní na stranu, kde dojde ke snížení otáček a celková tahová síla se rozloží do 2 složek, jedna bude ve směru pohybu (x , y) a druhá ve směru svíslé osy (z).

Další kapitola byla věnována jednotlivým komponentům, které se na kvadrokoptérách vyskytují. Oproti jiným multikoptérám se prvky liší pouze v množství, ve kterém se na strojích vyskytují. Jednotlivé komponenty se prodávají i

individuálně, a tedy při poruše některé z nich ji lze nahradit. Nejvyžívanější materiál je dural, laminát nebo uhlíková vlákna. U multikoptér se využívají BLDC (bezkartáčové) motory, které mají vyšší životnost než jejich předchůdci, tj. stejnosměrné. Každému motoru se přidává ECS – řídicí jednotka motoru. Regulátory upravují přívod proudu tak, aby se motory otáčely požadovanou rychlostí. Řídicí deska je „srdcem“ i „mozkem“ koptér. Přijímá rozkazy z RC vysílače a plní příkazy, které následně rozesílá ostatním prvkům. Jako zdroj energie jsou využívány Li-Pol akumulátory, které zvýšily dobu, po kterou multikoptéry vydrží ve vzduchu. Dále se na koptéry přidává tzv. gimbal. Jedná se o otočné závěsné zařízení, které pohlcuje vibrace a stabilizuje stroj. Jsou k němu připevněny senzory a kamera. Senzory se dají považovat za smyslové orgány, konkrétně „oči“ a „uši“. Sledují polohu stroje, zaručují stabilní a klidný let. Senzory vyskytující se na dronech jsou např. akcelerometr, gyroskop, magnetometr, barometr, GPS a další...

Tato kapitola byla zaměřena na jednotlivé oblasti využití. Možnosti, které tato technologie nabízí jsou nesčetné. Dříve byly využívány převážně k vojenským účelům, ale nyní jsou již využívány záchrannými systémy, ochránci přírody, v hospodářství, k inspekčním, v kinematografii, ke sportu, anebo se plánují využívat k přepravě osob či dodávání zásilek a mnoho dalších. Největší výhodou je, že nemohou ohrozit život pilota, a proto mohou být využívány pro nebezpečné úkoly, anebo k zásobování těžce přístupným míst.

Poslední kapitola byla určena k porovnání jednotlivých typů bezpilotních prostředků. K názornému představení byla využita SWOT analýza, která měla za úkol vyzdvihnout silné a slabé stránky jednotlivých typů, a jaké možnosti či naopak omezení nabízí. Jen při pohledu na tabulky je patrné, že kvadrokoptéry nabízí nejvíce kladných oproti záporným faktorům. To jen potvrzuje fakt, že kvadrokoptéry jsou nejvyžívanějšími typem multikoptér, neboť nabízejí nejširší možnosti. Jiné typy dronů mají specifické vlastnosti a nabízejí spíše možnosti pro konkrétní užití. Proto je vždy důležité si vybrat stroj přizpůsobený účelům využití.

Výsledek této práce může posloužit jako jeden z ucelených zdrojů pro osoby, které se problematikou dronů začínají zabývat a může jim posloužit jako počáteční pramen základních informací. V současnosti se využití a celá technologie bezpilotních prostředků neustále rozrůstá. Roste zájem, jak o drony pro rekreační účely, tak i pro komerční účely. Můj názor je ten, že v budoucnu, možná již zanedlouho se dočkáme dalšího výrazného pokroku a bezpilotní prostředky se stanou zcela běžnou součástí našich každodenních životů, ať jako donášková nebo taxi služba, či jako pomocná síla na stavbách.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4
- [2] FAA Predicts Drones Will Number 7 Million By 2020 | Tech Times. *Tech News, Science, Health, Reviews* [online]. TechTimes Inc. [cit. 15.06.2020]. Dostupné z: <https://www.techtimes.com/articles/144405/20160326/faa-predicts-drones-will-number-7-million-by-2020.htm>
- [3] KARAS, Jakub. Povinná registrace a další novinky. Co přináší nová evropská regulace dronů? *Lupa.cz - server o českém Internetu* [online]. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/povinna-registrace-a-dalsi-novinky-co-prinasi-nova-evropska-regulace-dronu/>
- [4] Dohoda č. 147/1947 Sb. Úmluva o mezinárodním civilním letectví. *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. AION CS s.r.o., 2010 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1947-147>
- [5] Briefing – Letecké předpisy: Průvodce leteckou legislativou - nařízení, letecké zákony, letecké předpisy. *Aeroweb.cz* [online]. 2005 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/briefing/letecke-predpisy>
- [6] NOVÁK, Jan A. *Droneweb: Legislativa dronů* [online]. Droneweb.cz, 2015 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu>
- [7] Letecká mapa AisView. *AisView 3.7* [online]. Řízení letového provozu, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://aisview.rlp.cz/>
- [8] Pravidla pro létání s drony (LEGISLATIVA). *Alza.cz- největší obchod s počítači a elektronikou* [online]. Alza.cz, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/pravidla-pro-drony-legislativa>
- [9] Pravidla létání s drony v České republice: Co je a není legální...? *RC modely* [online]. RCprofi.cz. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/pravidla-letani-s-drony-v-cr>
- [10] Letecký předpis L2: Doplněk X. *Letecká informační služba* [online]. ŘLP ČR, s.p. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [11] Evropská pravidla k provozování dronů - REGISTRACE. *Řízení letového provozu ČR: Létejte zodpovědně* [online]. ŘLP ČR, s.p [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://www.letejtezodpovedne.cz/legislativa/co_nas_ceká
- [12] 49/1997 Sb. Zákon o civilním letectví. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. AION CS s.r.o., 2010 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49>
- [13] 114/1992 Sb. Zákon o ochraně přírody a krajiny. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. CS, s.r.o. 2010 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114>
- [14] MIAN, Ashfaq A. a Wang DAOBO. Modeling and Backstepping-based Nonlinear Control Strategy for a 6 DOF Quadrotor Helicopter. *ScienceDirect.com: Science, health and medical journals, full text articles and books.* [online]. Chinese Journal of Aeronautics. Production and hosting by Elsevier B.V., 2008 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936108600345>

- [15] UHLÍŘ, Adam. Konstrukce a řízení kvadrokoptéry [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/53690/UhlirA_KonstrukceARizeni_HL_2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice - Fakulta elektrotechniky a informatiky, 50s. Vedoucí práce Ing. Libor Havlíček, Ph. D.
- [16] TILGNER, M. Řídicí deska pro kvadrokoptéru [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=147345 Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Burian, Ph.D.
- [17] LUUKKONEN T. Modelling and control of quadcopter. Aalto University School of Science, [online], 24 s, [cit. 2020-06-16]. Dostupné z URL: https://sal.aalto.fi/publications-/pdf-files/eluu11_public.pdf
- [18] BHAVYANTH. Parameters 1. *PHOENIX DRONE: Exploring heights* [online]. 17. 9. 2017 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://phoenixaerodrone.wordpress.com/2017-09/17/parameters-1/>
- [19] How Do Drones Fly? Physics, of Course! *WIRED* [online]. Condé Nast, 5.19.17 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>
- [20] LIGOCKI, Adam. Výšková stabilizace quadrotoru [online]. Brno, 2015 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=101138. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 53 s. Vedoucí práce Ing. Petr Gábrlík.
- [21] LIANG, Oscar. Quadcopter Hardware Overview - Every Component Explained. *Oscar Liang - Sharing Knowledge and Ideas* [online]. 2013 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/quadcopter-hardware-overview/>
- [22] JURAČKA, P. J.: Drony. Fotografování z ptáčích perspektiv. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 97880-247-5787-2.
- [23] Quadcopter Parts List | What You Need to Build a DIY Quadcopter. *Quadcopter Garage: Blog* [online]. QuadcopterGarage.com, 2013 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://quadcoptergarage.com/quadcopter-parts-list-what-you-need-to-build-a-diy-quadcopter/>
- [24] NOVÁK, Jan A. Motory pro drony. *Droneweb* [online]. Droneweb.cz, 2015, 21. 6. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/konstrukce/item/310-drony-motory>
- [25] HERIANSYHR. How to Make a Quadcopter Drone and Components List: 8 Steps - Instructables. *Instructables circuits* [online]. 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/How-to-Make-a-Quadcopter-Drone-and-Components-List/>
- [26] FLYNT, Joseph. What Sensors Do Drones Use? *3D Insider: Emerging Technology News Publication* [online]. 3DInsider, 18. 4. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://3dinsider.com/drone-sensors/>
- [27] STEVEM. Send in the Drones – 3 Types of Sensors Used in Drones. *LORD Sensing Systems: Innovating Together* [online]. Parker Hannifin Corp, 2020, 23. 1. 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.microstrain.com/blog/send-in-the-drones-3-types-of-sensors-used-in-drones>
- [28] Game of drones – autonomous cooperation in the sky. *Tampere University of Applied Sciences* [online]. Tampere: Tampere University, 23. 7. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.tuni.fi/en/news/game-drones-autonomous-cooperation-sky>

- [29] 38 Ways Drones Will Impact Society: From Fighting War To Forecasting Weather... *CB Insights: Market & Business Intelligence Software* [online]. CB Insight, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.cbinsights.com/research/drone-impact-society-uav/>
- [30] Drones: What Is A Drone? What Are Uses For Drones? *Built In: Tech News, Trends & Professional Development Resources* [online]. Built In, 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://builtin.com/drones>
- [31] BROWN, Jack. Drone Uses: The Awesome Benefits of Drone Technology. *MyDrone-Lab: Best Drones For Sale, Expert Reviews and Guides* [online]. MyDroneLab, 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.mydronelab.com/blog/drone-uses.html>
- [32] Mine Kafon Drone – An Airborne Demining System To Clear Land Mines Around The World. In: *Gfycat | Watch and Create GIFs, Videos, Memes* [online]. 12. 5. 2017 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://gfycat.com/unluckyaptchihuahua>
- [33] CHOUDHARY, Mahashreveta. What are popular uses of drones? *Geospatial World: Top destination for geospatial industry trends* [online]. Geospatial Media and Communications, 31. 7. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.geospatialworld.net/article/-what-are-popular-uses-of-drones/>
- [34] Plzeňští hasiči vyvíjejí chytré senzory, budou je shazovat drony. *Dronim: to nejlepší ze světa dronů* [online]. Dronim.cz, 15. 10. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.dronim.cz/hasici-chytre-senzory-drony/>
- [35] MCCLINTOCK, Oliver. Drone Uses – Usage, Applications & Purposes. *My Dear Drone: Quadcopter (UAV) News & Reviews* [online]. My Dear Drone, 2017 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://mydeardrone.com/uses/>
- [36] KUMAR, Vijay. The Future of Flying Robots. *TED: Talks* [online]. YouTube, 2015 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ge3--1hOm1s>
- [37] ANDREWS, Robin. Drone Capable Of Carrying A Human At 100KM Per Hour Unveiled. *IFLScience: The Lighter Side of Science* [online]. IFLScience, 8. 1. 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.iflscience.com/technology/self-flying-human-carrying-chinese-drone-unveiled-0/>
- [38] NOVÁK, Vítek. Útoky dronů na ropná zařízení v Saudské Arábii. *Droneweb* [online]. Droneweb.cz, 2015, 15. 9. 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/vojenske-drony/item/326-stoji-drony-za-utoky-na-ropna-zarizeni-v-saudske-arabi>
- [39] HRBOLKA, Daniel. Srovnávací test a recenze nejlepších dronů 2020: Jak vybrat dron. *ARECENZE.cz: Nezávislé recenze a srovnávací testy nejlepších produktů* [online]. Procontent s.r.o., 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.arenze.cz/drony/>
- [40] ČEVELOVÁ, Magdalena. SWOT analýza: jak a hlavně proč ji sestavit. *Magdalena Čevelová: marketingová čarodějnice* [online]. Magdalena Čevelová, 2008 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.cevelova.cz/proc-swot-analyza/>
- [41] Choosing the Right Mapping Drone for Your Business Part I... *Medium: Get smarter about what matters to you* [online]. DroneDeploy, 16. 6. 2017 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://medium.com/aerial-acuity/choosing-the-right-mapping-drone-for-your-business-part-i-multi-rotor-vs-fixed-wing-aircraft-6ec2d02eff48>
- [42] CHAPMAN, Andrew. Types of Drones: Multi-Rotor vs Fixed-Wing vs Single Rotor vs Hybrid VTOL. *Australian UAV: Drone Aerial Mapping, Survey and Inspection* [online]. DRONE magazine, 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>
- [43] Tricopter vs Quadcopter: Buying Drones Guide. *Dronopedia: The Drone Community* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://dronopedia.xyz/tricopter-vs-quadcopter/>

- [44] V., KADAMATT. Tricopter vs Quadcopter vs Hexacopter : A comparison. *Home - Droney Bee* [online]. 2017 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://www.droneybee.com/tricopter-vs-quadcopter-vs-hexacopter/>
- [45] MINAŘÍK, Petr. Kvadrokopty vs. hexakopty vs. oktokopty: Pro a proti. *Droncentrum: ze světa dronů* [online]. Eseos, 2015, 23. 2. 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/kvadrokopty-vs-hexakopty-vs-oktokopty-pro-a-proti/>
- [46] HAYLEY. Fixed Wing vs Multirotor Drones for Surveying. *COPTRZ - Commercial Drone Experts: Drones, Software, Training* [online]. Coptrz, 8. 8. 2018 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.coptrz.com/fixed-wing-vs-multirotor-drones-for-surveying/>
- [47] VTOL drone for mapping and surveying – WingtraOne. *Wingtra: VTOL mapping drone for high-accuracy surveys* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://wingtra.com/why-wingtra/vtol-drone/>
- [48] YUNEEC Typhoon H Plus: Technical specifications. *Yuneec: Innovative multicoper & camera systems* [online]. YUNEEC, 2019 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://www.yuneec.com/en_GB/camera-drones/typhoon-h-plus/specs.html
- [49] DJI Mavic Air 2:Dron. *Alza.cz:největší obchod s počítači a elektronikou* [online]. Alza.cz [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/dji-mavic-air-2-d5835885.tm?o=3>
- [50] DJI Spreading Wings S1000+. *PRO-DRONY.cz: DJI ENTERPRISE - oficiální zastoupení CZ a SK* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://eshop.pro-drony.cz/spreading-wings-s1000.html>
- [51] Dron DJI Matrice 600 Pro. *Dron PRO: Dáváme kamerám křídla* [online]. 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://dronpro.cz/dji-matrice-600-pro?gclid=EAIAIQobChMIht255qPl6QIVgu3tCh0VRAH6EAYYASABEgIF8PD_BwE
- [52] X Plus One: Your Ready-to-Fly, self contained, high speed drone! *Xcraft: America's Drone Company* [online]. USA [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://xcraft.io/products/x-plusone>
- [53] MINAŘÍK, Petr. Chytrá trikopty ERIDA Gen.B. *Droncentrum: ze světa dronů* [online]. Eseos, 2015 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/chytra-trikopty-erida-gen-b/>
- [54] Wingtra: Technical Specifications. *Wingtra: VTOL mapping drone for high-accuracy surveys* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://wingtra.com/wp-content/uploads/Wingtra-Technical-Specifications.pdf>
- [55] PARROT Disco FPV se Sky-controller 2. *Originalky.cz: Vítejte na herním eshopu* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.originalky.cz/parrot-disco-fpv-se-sky-controller-2-a-kokpit-brylemi-p90382/>
- [56] Třiosý akcelerometr a gyroskop GY-521 MPU-6050 I2C. *HW Kitchen: Ochutnejte s námi bastlení!* [online]. HW Kitchen [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/3osy-akcelerometr-a-gyroskop-gy-521-mpu-6050-i2c/>
- [57] REAGAN, Jason. That's Flying Teamwork: Drones Working in Swarms. In: *Dronelife: The Trusted Source for Drone Industry News* [online]. DRONELIFE.com, 2014 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://dronelife.com/2014/08/01/thats-flying-teamwork-drones-working-swarms/>
- [58] KUMAR, Vijay. 4 4 Quadrotor Equations of Motion. *TED: Talks* [online]. Youtube,2017 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IAVYDUeqdW4>
- [59] SALT, John. *RC Helicopters Immerse You in the Moment: Lets Get Flying!* [online]. RC↓Helicopter Fun.com, 2008 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.rchelicopterfun.com/quadcopter.html>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ZKRATEK

Seznam obrázků:

- Obr. 1 – Příklad štítku pro označení třídy C1 a C2 [3]
- Obr. 2 – Letecká mapa ČR DroneView a AisView k 16. 6. 2020 [7]
- Obr. 3 – Podmínky provozu z Doplnku X [10]
- Obr. 4 – Grafické znázornění rotace kolem os [17, 18]
- Obr. 5 – Síly a momenty působící na model kvadrokoptéry [14]
- Obr. 6 – Příklad otáčení kvadrokoptéry
- Obr. 7 – Rotace kolem osy z
- Obr. 8 – Stoupání a klesání kvadrokoptéry
- Obr. 9 – Rotace kolem osy Y
- Obr. 10 – Rotace kolem osy x
- Obr. 11 – Popis modelu kvadrokoptéry [21]
- Obr. 12 – Rám [23]
- Obr. 13 – Vrtule [23]
- Obr. 14 – BLDC elektromotor [25]
- Obr. 15 – Řídící jednotka SimonK [25]
- Obr. 16 – Řídící deska NAZA [23]
- Obr. 17 – Li-Pol akumulátor [25]
- Obr. 18 – Dálkový ovladač [25]
- Obr. 19 – Gimbal [1]
- Obr. 20 – 6-osá gyroskopická stabilizace GY-521 MPU-6050 [56]
- Obr. 21 – Skupina dronů udržující formaci [38]
- Obr. 22 – Voják využívající nanodron [29]
- Obr. 23 – Ukázka zneškodnění miny [32]
- Obr. 24 – Drony jako pomocník při požárech [29]
- Obr. 25 – Doprava záchranného balíčku [31]
- Obr. 26 – dron sledující skupinu zvířat [33]
- Obr. 27 – Robotická včela [35]
- Obr. 28 – Ehang, taxi-dron Dubaj [37]
- Obr. 29 – Závod s drony [31]
- Obr. 30 – Příklad SWOT tabulky
- Obr. 31 – Rozdělení multikoptér [40]
- Obr. 32 – Přejít mezi letovými režimy [47]

Seznam tabulek:

- Tab. 1 – SWOT analýza trikoptér
- Tab. 2 – SWOT analýza kvadrokoptér
- Tab. 3 – SWOT analýza hexakoptér
- Tab. 4 – SWOT analýza oktokoptyr
- Tab. 5 – SWOT analýza křídlových dronů
- Tab. 6 – SWOT analýza hybridních dronů
- Tab. 7 – Srovnání základních parametrů vybraných dronů

Seznam zkratk

| | |
|-------|--|
| AMC | přijatelné způsoby shody (<i>Acceptable Means of Compliance</i>) |
| ang. | anglického jazyka |
| apod. | a podobně |
| atd. | a tak dále |
| ATZ | letištní provozní zóna ATZ (<i>Aerodrome Traffic Zone</i>) |
| BLDC | bezkartáčové stejnosměrné motory (<i>BrushLess Direct Current</i>) |
| CTR | řízený okrssek CTR (<i>Control Zone</i>) |
| č. | číslo |
| ČR | Česká republika |
| EASA | Evropská agentura pro bezpečnost letectví (<i>European Union Aviation Safety Agency</i>) |
| ECS | řídící jednotka motorů (<i>Electronic Speed Control</i>) |
| EMP | elektromagnetický puls |
| EU | Evropská unie |
| GM | návody (<i>Guidance Materials</i>) |
| GPS | Globální navigační systém (<i>Global Positioning System</i>) |
| ICAO | Mezinárodní organizace pro civilní letectví (<i>International Civil Aviation Organization</i>) |
| IMU | Inerciální měřicí jednotka (<i>Inertial Measurement Unit</i>) |
| ISIS | Islámský stát |
| kap. | kapitola |
| kg/g | kilogram/gram |
| km/m | kilometr/metr |
| hod | hodina |
| kV | kilovolty |
| LKP | omezený prostor |
| LKR | zakázaný prostor |
| min | minut |
| např. | například |
| obr. | obrázek |
| Sb. | Sbírka |
| SPZ | státní poznávací značka |
| tab. | tabulka |
| tj. | to je |
| TRA | dočasně rezervované prostory (<i>Temporary Reserved Area</i>) |
| TSA | dočasně vyhrazené prostory (<i>Temporary Segregated Area</i>) |
| tzn. | to znamená |
| tzv. | takzvaně |
| UAS | bezpilotní letecké systémy (<i>Unmanned Aerial Systems</i>) |
| UAV | bezpilotní letoun (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>) |
| ÚCL | Úřad pro civilní letectví |
| UGV | bezpilotní pozemní vozidlo (<i>Unmanned Ground Vehicle</i>) |
| USA | Spojené státy americké (<i>United States of America</i>) |
| VTOL | vertikální vzletnutí a přistání (<i>Vertical Take-Off and Landing</i>) |