



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

MALÝ BEZPILOTNÍ LETOUN PRO SNÍMKOVÁNÍ VEGETACE

SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR VEGETATION MONITORING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ TROJÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PETR DVOŘÁK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Trojáněk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

Malý bezpilotní letoun pro snímkování vegetace

v anglickém jazyce:

Small Unmanned Aerial Vehicle for vegetation monitoring

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V souvislosti s aktuálním prudkým rozvojem bezpilotních leteckých prostředků pro civilní použití, zejména v oblastech monitorování vegetace a precizního zemědělství, je kladen vzrůstající tlak na užité vlastnosti těchto platforem.

Cílem práce je zpracovat přehled aktuálně dostupných UAV pro uvedenou aplikaci včetně jejich parametrické analýzy. Na základě definovaných požadavků na maximální rozměry, typickou misi letu, platící zatížení a další užité vlastnosti pak bude vypracován koncepční návrh letounu optimalizovaného pro snímkování vegetace. Práce má přímou návaznost na projekt TA04020455 a související vývoj probíhající na Leteckém Ústavu.

Cíle bakalářské práce:

Přehled dostupných komerčních platforem

Parametrická analýza

Koncepční návrh optimalizovaného letounu

Seznam odborné literatury:

Roskam J. Airplane Design, University of Kansas, Lawrence, 1990

Hoerner S. F. Fluid-Dynamic Drag, Hoerner Fluid Dynamics, Bakersfield, 1965

Nickel K., Wohlfahrt M. Tailless Aircraft in Theory and Practice, AIAA 1994, Washington D.C., ISBN 1-56347-094-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Dvořák

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 6.11.2014





doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
Ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výběrem nejvhodnějších platform pro splnění zadané mise letu. V první části je uveden přehled dostupných bezpilotních letounů vhodných pro snímkování vegetace. Jedná se jak o typy komerční, tak i určené pro postavení samotným uživatelem. U každé platformy jsou uvedeny její parametry, doporučené vybavení a testovaná sestava. Ve druhé části práce se nachází grafické porovnání všech modelů v různých kategoriích, na jehož základě je vybrána nejvhodnější platforma. Z této nejlépe hodnocené platformy je pak vytvořen vlastní návrh modelu představený v závěrečné kapitole.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezpilotní letoun, UAS, platformy s pevnou a rotační nosnou plochou, letecké mapování.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to select the most appropriate platforms for the fulfillment of required flight mission. The first part reviews available unmanned vehicles suitable for vegetation monitoring and includes both commercially available and self-made types. There are presented basic parameters, recommended equipment and tested configuration of each platform. The second part includes graphical comparison of all models in different categories and the most suitable platform has been selected on its basis. The model project which is based on the selected platform is presented in the final section.

KEYWORDS

Unmanned aerial vehicle, UAS, platforms with fixed and rotary bearing area, aerial mapping

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TROJÁNEK, T. *Malý bezpilotní letoun pro snímkování vegetace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Dvořák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Dvořáka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Tomáš Trojánek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Petru Dvořákovi, za odborné vedení a rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych touto cestou rád poděkoval všem pilotům a modelářům, u kterých jsem čerpal cenné informace.

OBSAH

ÚVOD.....	1
1 UAV A UAS PLATFORMY.....	2
1.1 DOSTUPNÉ VÍCEÚČELOVÉ PLATFORMY UAV	2
1.1.1 <i>Samokřídla</i>	2
Skywalker X-5	2
Skywalker X-6	3
Skywalker X-8	5
RV JET	8
Phantom FX-61.....	9
Buffalo FX-79	11
1.1.2 <i>Klasická koncepce</i>	12
Maja UAV	12
X-UAV Talon	14
X-UAV Skua.....	15
X-UAV ONE	15
1.1.3 <i>Hybridní koncepce</i>	16
FireFly 6	16
1.1.4 <i>Multikoptéry</i>	18
DJI S1000	18
Tarot T960	18
1.2 KOMERČNÍ PLATFORMY UAV	20
1.2.1 <i>Samokřídla</i>	20
QuestUAV Q-Pod.....	20
EBee Ag	21
Trimble UX5.....	22
1.2.2 <i>Multikoptéry</i>	24
Aibot X6	24
3DR X8-M	25
1.3 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH PLATFORM S PEVNOU A ROTUJÍCÍ NOSNOU PLOCHOU	27
2 PARAMETRICKÁ ANALÝZA.....	29
3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY.....	34
3.1 PIXHAWK	34
3.2 DJI NAZA-M V2	36
4 NÁVRH MODELU.....	38
5 LEGISLATIVA	39
5.1 PROSTORY PRO PROVÁDĚNÍ VZDUŠNÝCH PRACÍ.....	39
ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	47

ÚVOD

V dnešní době je velice běžné využívat ke sledování povrchu dálkového snímání Země. Snímkování je prováděno v různých letových hladinách. Lze využívat snímací zařízení umístěné na oběžné dráze, ale také na vysokozdvizných plošinách v nepatrné výšce nad zemským povrchem. Každá z této široké škály metod má své výhody a nevýhody. Pro potřeby sběru dat o vývoji v naší atmosféře jsou využívány satelity, zatímco při snímkování malých objektů, například měst, lesů a zemědělských ploch, se využívá sběru dat z malé letové výšky. Právě touto letovou hladinou se zabývá celá práce.

V minulosti se pro výškové snímkování využívaly různé typy balónů nebo draků. První bezpilotní model byl vypuštěn už v roce 1916, avšak úroveň vybavenosti v té době nebyla na takové úrovni, aby se získaná data dala použít v oboru fotogrammetrie. V současné době je nejvhodnějším kandidátem pro pořizování leteckých snímků bezpilotní letecký model. Do této kategorie se řadí různé typy platform, přičemž každá z nich má své výhody a nevýhody. Nejčastěji využívaná jsou letadla s pevnou a rotační nosnou plochou křídel. Každý uživatel volí dané rozhraní dle svých potřeb.

Cílem této bakalářské práce je vybrat nejvhodnější RC model pro autonomní mapování botanických ploch o rozloze 200 ha. Zároveň je kladen požadavek na rozpětí modelu, které by nemělo přesáhnout hranici 1600 mm. Model musí být schopen nést zátěž v podobě dvou fotoaparátů a příslušné elektroniky pro propojení s pozemní stanicí. Jelikož každý model si může uživatel osadit elektronikou dle svého uvážení, je nutné v této části také zmínit, jaká výbava je podle zkušeností uživatelů nejvhodnější pro danou platformu. Po grafickém srovnání všech charakteristických dat bude rozhodnuto, který z modelů je nejlepším kandidátem pro splnění dané mise, a podle jeho parametrů bude navržen model letounu.

V souvislosti s aktuálním prudkým rozvojem bezpilotních letadel došlo v roce 2012 k úpravě legislativy, kterou je nutné v kontextu této práce také zmínit. Kromě toho je podstatné obeznámit čtenáře se základními řídicími jednotkami, které jsou nejdůležitějšími částmi bezpilotních letadel.

1 UAV A UAS PLATFORMY

V současnosti dochází při vzdušném snímkování k častému využívání leteckých prostředků bez pilota nacházejícího se na palubě letadla. Jedná se o bezpilotní letouny UAV¹ a systémy UAS². Dle požadavků na danou misi je možno vybírat mezi různými typy modelů. Pokud chce uživatel natáčet v obtížně dostupném terénu, mají veliké uplatnění multikoptéry. Naopak pokud není problém se vzletovou a přistávací plochou, je vhodné využít letoun s pevnou plochou křídel. Následující kapitola poskytuje přehled dostupných typů modelů.

Zdroj [1]

1.1 DOSTUPNÉ VÍCEÚČELOVÉ PLATFORMY UAV

V této kategorii se nacházejí platformy určené pro dovybavení samotným uživatelem. Jedná se o uživatelsky dostupnější možnost sestavení vlastního UAV modelu.

1.1.1 SAMOKŘÍDLA

Platformy, jejichž koncepce je tvořena z centroplánu³, pravého a levého křídla. Díky absenci ocasních ploch se pro jejich ovládání nevyužívá směrové kormidlo.

SKYWALKER X-5

Tento vzhledem typický UAV/FPV⁴ EPO⁵ model o rozpětí 1180 mm, se řadí do kategorie menších letadel vhodných na FPV nebo UAV létání. Jedná se o druhý nejmenší model řady Skywalker. Díky svému malému rozpětí se jeho stabilita nemůže srovnávat s letouny typu X-8 nebo Buffalo FX-79. Pro FPV létání je přínosem umístění otvoru pro objektiv kamery v přední části letadla. Kamera je tudíž chráněna před mechanickým poškozením. Letová rychlost se pohybuje dle konfigurace vybavení od 80 do 90 km/h. Výhodou této platformy je jednoduchý start. Díky jeho malým rozměrům dokáže každý pilot s ním odstartovat sám bez pomoci pomocných zařízení (katapult) nebo asistenta. Tento model je vhodný pro FPV létání. Osazení centroplánu fotoaparátem pro pořizování snímku je náročné a má zásadní vliv na stabilitu a ovladatelnost letadla.



Obrázek 1 Skywalker X-5.

¹ unmanned aerial vehicle

² unmanned aerial system

³ prostřední část letadla, ve které se často nachází veškerá elektronika

⁴ first person view

⁵ expandovaný polyolefin vstříkovaný do forem, je vhodný jako materiál pro stavbu RC letadel

UAV A UAS PLATFORMY

Na zahraničních fórech www.rcgroups.com a www.fpvlab.com lze vypátrat, jaká konfigurace je pro dané letadlo vhodná. Při osazení letounu motorem HP 2212 o výkonu 450 W a akumulátorem o kapacitě 4000 mAh/11,1 V, lze docílit letové doby 38 minut. Prodejce udává, že pro tento stroj jsou doporučeny motory třídy 2212 až 2215 a akumulátory o kapacitě 2200 až 4000 mAh/14,8 V. Do křidel se montují dvě mikro serva⁶ s kovovými převody o hmotnosti 10 gramů. Jedinou slabostí je upevnění kabiny. Výrobce ji vytvořil nasazovací bez jakéhokoliv upevnění. Z tohoto důvodu se často stává, že kabina při letu ulétne. Problém lze snadno vyřešit upevněním neodymových magnetů.

Tabulka 1 Parametry a testované vybavení modelu Skywalker X-5.

Skywalker X-5	
Rozpětí	1180 mm
Délka	550 mm
Prázdná hmotnost	323 g
Maximální vzletová hmotnost	1400 g
Testovaný motor	HP 2212/1450 kv ⁷
Testovaný regulátor	Mystery 40A ESC
Testovaný akumulátor	4000 mAh/11,1 V
Testovaná vrtule	8×6" ⁸
Doba letu	38 minut
Uražená vzdálenost	37 km
Cena	66 \$ ⁹

Zdroj [2],

[3]

SKYWALKER X-6

Skywalker X-6 je nejnovější EPO model z řady Skywalker. Jedná se o létající samokřídlo navržené za účelem FPV a UAV létání. Rozpětí modelu 1500 mm ho řadí mezi modely vhodné pro letecké snímkování. Díky ploše křidel 60 dm² je schopen nést baterie o vysoké kapacitě a potřebné elektronické vybavení. Výhodou je zabudování devíti pinových konektorů D-sub do spojovaných částí křidel. Díky této inovaci uživatel nemusí před každým skládáním spojovat konektory od serv a ostatní elektroniky zabudované v křídlech. Smontování letounu není obtížné a dle výrobce nezabere více jak 1 minutu. Stačí pouze nasadit křídla na laminátovou trubici a zajistit pomocí plastových pojistek. V křídlech se nachází vyfrézované prostory pro serva a vysílač videosignálu (uživatel si může vybrat, na jakou stranu vysílač umístí). Jak už u modelů Skywalker bývá zvykem, tak i zde se nachází široký prostor pro osazení potřebnou elektronikou. Jelikož rozpětí X-6 není příliš velké, odstartování s tímto modelem je poměrně jednoduché.

⁶ motor určený k manipulaci ovladatelných ploch letadla

⁷ veličina charakterizující motor – počet otáček za minutu za 1 Volt

⁸ průměr krát stoupání vrtule (v palcích)

⁹ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.hobbyking.com/> z evropského skladiště

UAV A UAS PLATFORMY

Prodejce doporučuje využít pro osazení letounu motory řady 2814 980 kv až 3815 1000 kv, akumulátory o kapacitě 4000 mAh/14,8 V, regulátor 60 A a dvěma mikroservy s kovovými převody. Při zkoumání používaných konfigurací lze narazit na tři různá vybavení vhodná pro účely této práce. Při osazení letounu motorem Turnigy SK3 2836 1040 kv o výkonu 335 W, akumulátorem o kapacitě 6000 mAh/11,1 V a vrtulí 9×6" je letová doba okolo 35 minut. Ve druhé konfiguraci se jedná o model vybavený kompaktním fotoaparátem s celkovou letovou hmotností 1783 gramů, přičemž letová doba se blíží k hranici 30 minut. Letoun byl osazen motorem SunnySky 2814-11 700 kv o výkonu 440 W, akumulátorem 3700 mAh a vrtulí 13×6". Pro získání relativně dobrého poměru hmotnosti nosného nákladu a letové doby je vhodné použít třetí sestavu uvedenou v tabulce 2.

Tabulka 2 Parametry a testované vybavení modelu Skywalker X-6.

Skywalker X-6	
Rozpětí	1500 mm
Plocha křídel	60 dm ²
Prázdná hmotnost	770 g
Maximální vzletová hmotnost	1850 g
Testovaný motor	Turnigy Aerodrive SK3-3542-800 kv 625 W
Testovaný regulátor	HobbyKing 70 A
Testovaný akumulátor	SLS XTRON 3700 mAh/14,8 V
Testovaná vrtule	Cam-Carbon 10×6"
Celková letová hmotnost	1800 g
Doba letu	40 min
Cena	154 \$ ¹⁰



Obrázek 2 Skywalker X-6.

Zdroj [4], [5]

¹⁰ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.hobbyking.com/> z evropského skladiště

UAV A UAS PLATFORMY

SKYWALKER X-8

Jedná se o největší EPO samokřídlo z řady letadel Skywalker o rozpětí 2120 mm. Model X-8 je složen ze tří částí. Jsou to centroplán, pravé a levé křídlo. Toto řešení umožňuje jednoduchý převoz na letišti. Uživatel však musí počítat s delší dobou sestavování a zapojování elektroniky před samotným letem. Výhodou modelu je nosnost nákladu až 2000 gramů docílena díky ploše křídel 80 dm² a prostoru v centroplánu. Nevýhodou je start s tímto typem letadel. Na internetu lze nalézt mnoho obrázků posekaných rukou od listů vrtule, a proto je vhodné použít katapult nebo pomocný vozík, na kterém je letadlo při vzletu posazeno. Prodejce doporučuje použít akumulátory 4S¹¹ 3000 mAh-6S 5000 mAh a motor o výkonu v rozmezí 400-800 W. Autor práce provedl test této platformy v následující konfiguraci pohonného systému. Po shromáždění dostatečných informací bylo rozhodnuto použít motor SK3-3548-1050 kv o výkonu 820 W a baterie o kapacitě 10 000 mAh/14,8 V. Model se prokázal vysokou stabilitou a ovladatelností.

Tabulka 3 Testované konfigurace pro FPV létání.

FPV

LiPo	mAh	Motor	kv	Vrtule	Max. rychlost [km/h]	Max. špičkový proud [A]	Doba letu [min]	Letová hmotnost [kg]
4S2P	10000	Turnigy 3542 S-line	830	13×6,5"	90	44	70	3,3
4S2P	10000	Hacker A30 10XL V2	900	11×7"	135	44	>50	3,1
4S1P	5000	O.S. 3825	750	12×8"	-	46	>50	2,69
4S2P	10000	Robbe Roxxy C 42-50-05	1000	12×6,5"	124	65	50	3,4
4S2P	10000	Turnigy 3548	790	11×6"	108	45	>45	3,6
4S1P	5000	Turnigy 3548/6	790	12×8"	120	30	45	2,8
3S1P	5000	Scorpion SII-3020	1110	12×8,5"	120	65	~37	2,97

¹¹ počet článků (4S=14,8V)

Tabulka 4 Testované konfigurace pro UAV létání.

UAV								
LiPo	mAh	Motor	kv	Vrtule	Max. rychlost [Km/h]	Max. špičkový proud [A]	Doba letu [min]	Letová hmotnost (kg)
3S5P	25000	Turnigy NTM 35-48	900	13×10"	110	48	90	4,8
6S1P	5000	Turnigy NTM 42-58	500	10,5×8"	75	-	50	3,9
3S2P	8000	Turnigy NTM 35-42A	1250	10×7"	-	60	>45	3
4S1P	5100	EMAX BL2826/06	850	-	105	35	20-35	2,4

Zdroj [6]

Při sestavování se osvědčilo zabudovat do ploch spojovaných křídél konektory D-SUB, díky kterým se zkrátí doba skládání. Před prvním letem měl autor obavy ze startu modelu. Bez pomoci asistenta by odstartování nezvládl. Pro další lety došlo k výrobě dvou pomocných prvků ke zjednodušení startu. Prvním z nich je podvozková konstrukce, která při odlepení modelu od země zůstává na vzletové dráze. Tento způsob odstartování je možný použít pouze při využití upravené startovací plochy. Z tohoto důvodu byl postaven katapult, který umožnil start z jakékoliv plochy. Jediný problém se projevil při létání s FPV brýlemi. Po prvním letu překvapily silné vibrace, které se projevíly na videopřenosu při zvýšení výchylky na páce plynu vysílací soupravy. Po vyvážení vrtule tento problém stále přetrvával. Následně byla vyměněna i hřídel elektromotoru, ale ani toto řešení nevedlo k úplnému odbourání vibrací. Nakonec došlo k vyztužení centroplánu uhlíkovými pásnicemi, síly působící od motoru se rozložily na celý trup a to vedlo k vyřešení problému. Skywalker X-8 je velice prostorné samokřídlo. Široký centroplán jednoduše umožňuje osazení dvěma fotoaparáty, avšak doba skládání a zapojování veškeré elektroniky před startem není optimální.



Obrázek 3 Pohonná sestava.

UAV A UAS PLATFORMY

Tabulka 5 Parametry a testované vybavení modelu Skywalker X-8.

Skywalker X-8	
Rozpětí	2120 mm
Maximální vzletová hmotnost	3900 g
Motor	Turnigy Aerodrive SK3-3548-1050 kv
Regulátor	Turnigy Trust 80 A SBEC
Akumulátor	2×Turnigy 4S 5000 mAh
Vrtule	Třilístá 11×6"
Serva	2×Corona DS939HV 12,5 g
Autopilot	APM
Celková letová hmotnost	2950 g
Doba letu	75 min
Cena	188,5 \$ ¹²



Obrázek 4 Skywalker X-8.

Zdroj [7]

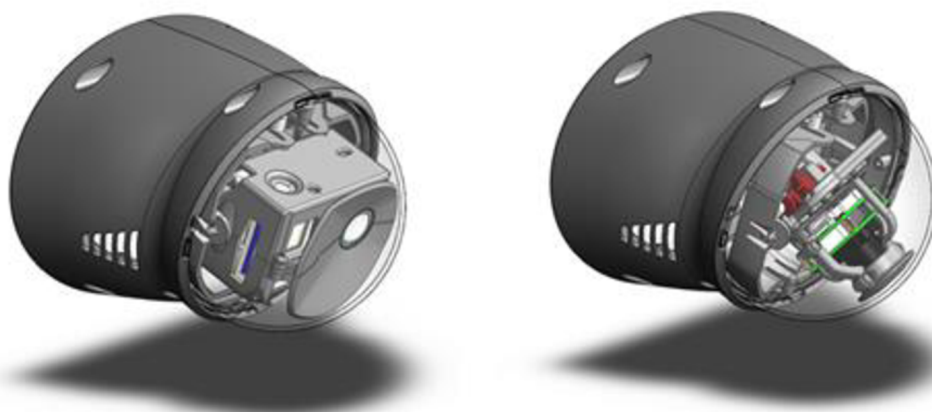
¹² dostupné na stránkách dodavatele <http://www.hobbyking.com/> z evropského skladiště

UAV A UAS PLATFORMY

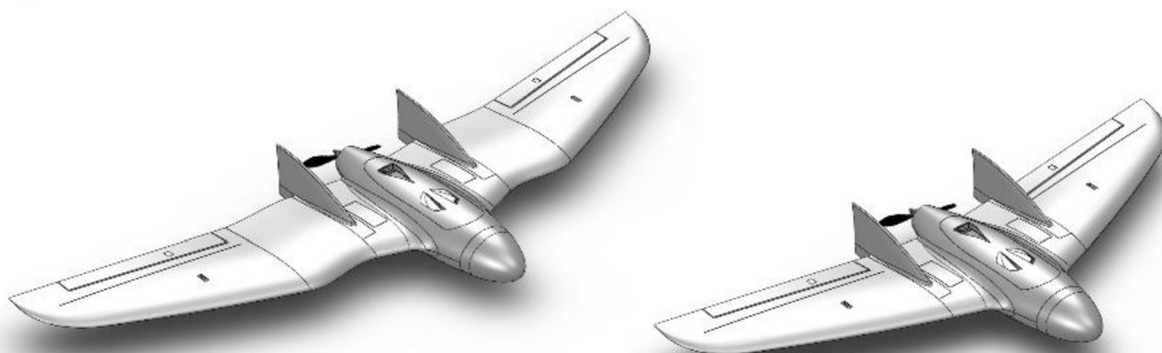
RV JET

Další zkoumanou EPO platformou je RV JET od firmy RangeVideo, která uživatele na první pohled zaujme výměnnou kopulí v přední části letounu. Pro RV JET lze dokoupit mnoho doplňků. Za zmínku stojí držák kamer, který se instaluje místo přední kopule. Jeho výhodou je schopnost natáčení kolem svislé i vodorovné osy pomocí dvou serv. Kamera se nachází za antireflexním pláštěm, a proto nedochází k vytvoření odlesků při natáčení videa. Kromě způsobu, jakým má vyřešené uložení snímací elektroniky, může model také měnit rozpětí křídel. Pokud chce uživatel provádět krátké a rychlé FPV přelety, stačí oddělat spojky na pravé a levé straně křídel. Tímto procesem lze získat rozpětí 1550 mm, dochází ke snížení plochy křídel a ke zmenšení maximální letové hmotnosti. Tato změna se také projeví na rychlosti a ovladatelnosti letounu. Pokud je však požadován klidný a stabilní let, vhodný pro letecké snímání, je lépe nechat tyto spojky nasazené. Celkové rozpětí poté činí 1950 mm. RV Jet umožňuje nést jak sportovní kameru pro přenos FPV, tak po menších úpravách i jeden fotoaparát pro letecké snímání.

Letové vlastnosti jsou ve srovnání s modelem X-8 (o přibližně stejném rozpětí) téměř stejné, ale RV JET nedokáže nést náklad o podobné hmotnosti. Je stabilnější a lépe ovladatelný při letu v nízkých rychlostech. Tento rozdíl je způsoben lepším aerodynamickým profilem platformy.



Obrázek 5 Vyměnitelné držáky pro GoPro a mikro kamery.



Obrázek 6 Dlouhá a krátká verze modelu RV JET.

UAV A UAS PLATFORMY

Prodejce nabízí power pack¹³, který obsahuje motor 1200 kv, regulátor 65A a kužel se sklopnou dvoulistou vrtulí. Dále je doporučováno použít LiPo akumulátor o kapacitě 4000–10000 mAh/14,8 V.

Tabulka 6 Parametry a testované vybavení modelu RV JET.

RV JET	
Rozpětí	1550 a 1950 mm
Motor	Turnigy D3542/5 1250 kv
Regulátor	Dr Mad Thrust 60 A
Vrtule	14×7"
Akumulátory	20 000 mAh/11,1 V
Hmotnost akumulátorů	1600 g
Maximální vzletová hmotnost	3200 g
Uražená vzdálenost	82 km
Doba letu	90 min
Cena	249,99 \$ ¹⁴

Zdroje [8], [9]

PHANTOM FX-61

Společnost Zeta patří mezi nejznámější čínské dodavatele, kteří se specializují na výrobu EPO RC modelů. Mezi jejich hlavní produkty se řadí větroně, samokřídla pro FPV a UAV létání a určité typy polomaket. Pro letecké snímkování jsou určeny letouny Phantom FX-61, Wing Wing Z-84 a Buffalo FX-79. FX-61 je nerozebíratelné samokřídlo určené pro vybavení FPV nebo UAV elektronikou. Ve spodní části trupu se nachází otvor pro objektiv sportovní kamery vhodné k přenosu videosignálu. Tato platforma je často využívána kvůli svému prostornému trupu. Výrobce udává, že při vybavení patřičnou elektronikou a bateriemi 4500 mAh/11,1 V dokáže tento stroj překonat hranici 30 minut. Při hledání používaných vybavení lze nalézt konfiguraci, se kterou se povedlo překonat vzdálenost 114 km. Pro dosažení tohoto úspěchu muselo být vytvořeno nové motorové lože (obrázek 7), které posunulo pohonnou jednotku dále od těžiště. Tato úprava byla jediným možným řešením k docílení správného vyvážení modelu bez navýšení hmotnosti. V této konfiguraci nalezneme motor Turnigy Multistar 4225-390 kv a baterie 7200 mAh/22,2 V. Pro upevnění akumulátoru byl upraven a přeskládán celý prostor v centroplánu. Let trval 157 minut za proměnlivého počasí, přičemž vzletová hmotnost nepřesáhla 2,2 kg. Po ukončení letu bylo vyčerpáno pouze 68% z celkové kapacity akumulátoru. Z toho vyplývá, že při této konfiguraci by mohl stroj urazit i delší vzdálenost.



Obrázek 7 Upravené motorové lože.

¹³ pohonný set (motor, regulátor a vrtule)

¹⁴ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.rangevideo.com/>

UAV A UAS PLATFORMY

Phantom je druhé letadlo testované autorem této práce, postavené za účelem FPV létání. Hlavním důvodem výměny modelu X-8 byla jeho dlouhá doba letové přípravy, a proto došlo k hledání nerozebíratelného samokřídla. Při vybírání elektroniky byla důležitá celková cena, a proto bylo použito vybavení uvedené v tabulce 7. Zajímavostí je, že stejně jako u X-8 se při přenosu videa projeví vibrace vzniklé při zvýšení otáček motoru. V tomto případě problém nastal díky typu dodávaného motorového lože, neboť plastový díl je velice nekvalitní. Bylo vyztuženo pomocí překližky a karbonových pásnic, ale vibrace se zcela odbourat nepodařilo. Za letu lze pozorovat, že se jedná o 600 mm kratší samokřídlo než X-8, což se projevuje nižší stabilitou. Výhodou ovšem je, že Phantom se dá převážet bez rozdělávání křídel, a proto se zkracuje doba letových příprav. Díky jeho rozměrům lze s tímto modelem lépe odstartovat než s platformou Skywalker X-8.



Obrázek 8 Phantom FX-61.

Tabulka 7 Parametry a vybavení mého modelu Phantom FX-61.

Phantom FX-61	
Rozpětí	1550 mm
Délka	683 mm
Celková letová hmotnost	1380 g
Maximální vzletová hmotnost	2200 g
Doba letu	55 min
Akumulátor	5000 mAh/11,1 V
Motor	Turnigy Aerodrive SK3-3536-1400kv
Regulátor	40 A
Vrtule	10×4.5" APC
Cena	108,8 \$ ¹⁵

Zdroj [10], [11]

¹⁵ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.hobbyking.com/> z evropského skladiště

UAV A UAS PLATFORMY

BUFFALO FX-79

Jedná se o větší verzi letounu Phantom FX-61. Jak je z pohledu patrné, využívá společnost Zeta stejný tvar letadel určených pro FPV a UAV létání. Oproti menšímu modelu má Buffalo rozebíratelné tělo a to z důvodu navýšení rozpětí o 450 mm. Při srovnání s modelem podobného rozpětí, jako je například X-8, lze zjistit, že FX-79 má mohutnější přední část trupu. Tento rozdíl se za letu projeví dosažením menších rychlostí. Jedná se o třídílný set tvořený centroplánem, pravou a levou částí křídel. Stejně jako u X-8 je trup prostorný a opět vhodný k osazení potřebnou elektronikou. Při skládání letounu před letem je třeba vsunout tyče vystupující z polovin křídel do trubice uložené v centroplánu a zajistit šroubem proti pohybu. Při startu se doporučuje využít pomoci asistenta nebo pomocného startovacího vozíku z důvodu velkého rozpětí křídel. Výrobce doporučuje letoun osadit motorem o výkonu 400-800 W, bateriemi o kapacitě 5200-10000 mAh/11,1 V a dvanáctigramovými servy s kovovými převody. Buffalo je typický model na dlouhé přelety. Při hledání testovaných konfigurací lze narazit na mnoho úspěšných sto a více kilometrových letů, což vypovídá o dobré konstrukci modelu.



Obrázek 9 Buffalo FX-79.

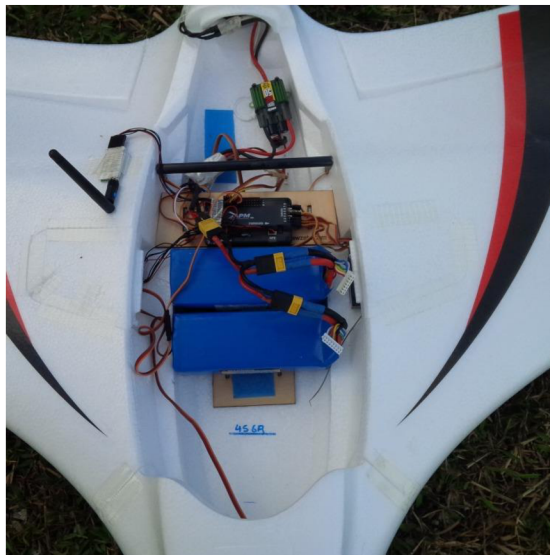
Tabulka 8 Parametry a testované vybavení modelu Buffala FX-79 pro stokilometrový let.

Buffalo FX-79	
Rozpětí	2000 mm
Délka	862 mm
Prázdná hmotnost	1000 g
Maximální vzletová hmotnost	3500 g
Celková letová hmotnost	3400 g
Akumulátor	2×5000 mAh/22,2 V
Motor	T-motor 3110-470 330 W
Doba letu	117 min
Regulátor	CC Edge 50 A
Vrtule	12×8" APC
Uražená vzdálenost	109 km
Cena	159 \$ ¹⁶

¹⁶ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.fpvstyle.com/>

UAV A UAS PLATFORMY

Na obrázku 10 je vyobrazen model letadla FX-79 uspořádaný pro překonání stokilometrového přeletu. Zajímavý je způsob, jakým se dají uložit akumulátory o kapacitě 10 Ah a potřebná elektronika do trupu letadla, aby došlo ke správnému vyvážení modelu. Let byl naplánován pomocí řídicí jednotky na okruhy o vzdálenosti 1,4 km ve výšce 100 metrů nad zemí za větrného počasí.



Obrázek 10 Uspořádání elektroniky v centroplánu letadla.

Zdroj [12], [13]

1.1.2 KLASICKÁ KONCEPCE

Za klasickou koncepcí lze považovat platformy typické konstrukce tvořené z trupu, křídel a ocasních ploch. Díky tomuto uspořádání je hmotnost vyšší než u samokřídel.

MAJA UAV

Bormatec je německá společnost zabývající se vývojem a prodejem bezpilotních letadel postavených z materiálu EPP¹⁷. Velikým přínosem je možnost nechat si model osadit a zalétnout. Kromě letounu Maja společnost nabízí další tři platformy vhodné pro FPV a UAV létání.

Jedná se o rozebratelné letadlo s možností měnit rozpětí křídel v závislosti na požadavku letu z 1800 mm na 2200 mm a délkou 1200 mm. Při plošném zatížení 52 g/dm² je hmotnost možného nákladu přibližně 1,5 kg. Model disponuje dvěma prostory pro uložení elektroniky. V přední části trupu je vhodná oblast pro akumulátory o velikosti 40×5×8 cm, další prostor o rozměrech 40×8×8 cm pro zbylou elektroniku se nachází pod křídlem. Výrobce doporučuje použít pro osazení motor o výkonu 550 W s tlačnou vrtulí a akumulátor o kapacitě 8000 mAh/11,1 V. Udává se, že při typické letové misi dokáže tento model s touto konfigurací, zalétnout až jednohodinový let. Jelikož se jedná o poměrně velké letadlo, je doporučováno pro start nainstalovat podvozek nebo využít katapult.

¹⁷ expandovaný polypropylen využívaný jako materiál pro stavbu RC letadel

UAV A UAS PLATFORMY

Platformu lze objednat ve čtyřech možných konfiguracích:

- 1) Kit připravený k osazení vlastní elektronikou.
- 2) Set modelu se čtyřmi digitálními servy, motorem o výkonu 550 W a regulátorem (ARF).
- 3) Set předchozí konfigurace s akumulátorem 8000 mAh/11,1 V a RC vysílačem Futaba T10J (RTF)
- 4) Set předchozí konfigurace s řídicí jednotkou Pixhawk a 3DR telemetrií.

Maja je svou odolnou konstrukcí a použitým materiálem vhodná i pro dlouhé přelety. Na stránkách www.diydrones.com je zaznamenán 126 km let, přičemž autor tohoto letu vycházel z minulých pokusů. Pomocí postupných změn ve vybavení docílil úspěchu. Zpočátku byl použit motor SunnySky 1150 kv a akumulátor 5000 mAh/14,8 V. Při počítání teoretického doletu zjistil, že pokud by chtěl přistát s 20% rezervou kapacity baterie, ulétl by letoun maximální vzdálenost 85 km. Následně došlo k výměně motoru za SunnySky V3508 700 kv a akumulátoru 21600 mAh/14,8 V Li-Ion, což vedlo k překonání hranice 120 km. Z modelu byla odstraněna veškerá nepotřebná elektronika, díky čemuž získal letovou hmotnost 3,25 kg.

Tabulka 9 Parametry a vybavení pro dlouhý let platformy Maja.

Maja	
Rozpětí	2200 mm
Délka	1200 mm
Celková vzletová hmotnost	3250 g
Akumulátor	21600 mAh/14,8 V Li-Ion
Motor	SunnySky V3508 700 kv 400 W
Doba letu	166 min
Vrtule	14×7"
Uražená vzdálenost	126 km
Cena	1770 \$ ¹⁸



Obrázek 11 Maja s otevřeným předním uložištěm.



Obrázek 12 Maja v rozloženém stavu.

Zdroj: [14]

¹⁸ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.bormatec.com/>

UAV A UAS PLATFORMY

X-UAV TALON

Čínská Společnost Hooah X-UAV sídlící v Šanghaji se už 5 let specializuje na výrobu RC modelů. Mezi jejich produkty patří polomakety letadel z první světové války, ale i modely určené na FPV a UAV létání. Na webových stránkách výrobce lze nalézt 5 letadel vhodných pro snímkování za letu.

X-UAV Talon je model o rozpětí 1,7 m. Lze ho vybavit pro letecké snímkování i pro dlouhé lety. Prostorný trup kabiny poskytuje více možností pro osazení. Talon může být osazen širokou škálou motorů v rozmezí od 500 do 1250 kv. Další výhodou je množství doporučených baterií. S akumulátorem o kapacitě 15000 mAh/14,8 V lze docílit letové hmotnosti pouze 2,4 kg (maximální vzletová hmotnost je 3 kg). Průhledný otvor v předku letounu slouží jako ochranný kryt pro snímací elektroniku. Tento model se od ostatních letounů liší přítomností podpurných zatahovacích koleček, která jsou využita při startu z rovné plochy. Pokud je potřeba létat v oblasti nevhodné pro start z podvozku, stačí zatahnout podvozkové nohy a letoun hodit rukou.

Tabulka 10 Parametry a testované vybavení modelu X-UAV Talon.

X-UAV Talon	
Rozpětí	1718 mm
Délka	1100 mm
Plocha křídel	60 dm ²
Prázdná hmotnost	1050 g
Maximální vzletová hmotnost	3000 g
Doporučený akumulátor	10000 mAh/14,8 V
Celková letová hmotnost	2570 g
Akumulátor	8000 mAh/14,8 V
Motor	Tiger motor 3510-360 kv
Doba letu	60 min
Cena	93,8 \$ ¹⁹



Zdroj: [15], [16]

Obrázek 13 X-UAV Talon.

¹⁹ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.hobbyking.com/> z evropského skladiště

UAV A UAS PLATFORMY

X-UAV SKUA

Model Skua disponuje rozpětím 2,1 m a na první pohled zaujme absencí přebytečného materiálu. Pro spojení trupu s koncovými ovládacími plochami je použita uhlíková trubice o nízké hmotnosti. Spodní část kokpitu je dutá. Nachází se zde prostor pro zabudování elektroniky. Výrobce udává, že při vybavení doporučeným příslušenstvím se letová doba pohybuje okolo 4 hodin. Na základě zkušeností pilotů však bylo zjištěno, že reálná doba je maximálně poloviční.



Obrázek 14 X-UAV Skua.

Tabulka 11 Parametry a testované vybavení modelu Skua.

X-UAV Skua	
Rozpětí	2100 mm
Délka	1150 mm
Plocha křídel	55 dm ²
Maximální vzletová hmotnost	3000 g
Akumulátor	10000 mAh/14,8 V
Motor	1200 kv RimFire .15 650 W
Doba letu	121 min
Cena	149,99 \$ ²⁰

Zdroj [17], [18]

X-UAV ONE

X-UAV One patří mezi nejzajímavější modely této společnosti. Kromě upraveného prostoru pro zabudování FPV elektroniky je zajímavý způsob uchycení vrtule, která se díky převodovému systému nachází na uhlíkové trubici spojující trup s ocasními plochami. V předku trupu se nachází otočný držák pro kameru. Naklápění probíhá pomocí dvou serv. Společnost X-UAV využívá u této platformy speciální materiály vláknovité struktury. Díky tomu je letadlo odolné a pružné. Schopnost ohnout křídla o 180° bez porušení není u letadel této kategorie časté. Vzhledem k tomu, že se jedná o nový model, není možné nalézt mnoho informací o dalších jeho vlastnostech.



Obrázek 15 X-UAV ONE.

²⁰ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.hobbyking.com/> z evropského skladiště

Tabulka 12 Parametry a doporučené vybavení modelu ONE.

X-UAV ONE	
Rozpětí	1800 mm
Délka	1078 mm
Plocha křídel	38,2 dm ²
Prázdná hmotnost	1360 g
Doporučený akumulátor	5000 mAh/14,8 V
Doporučený motor	3536/1200 kv
Cena	439,99 \$ ²¹

Zdroj [19]

1.1.3 HYBRIDNÍ KONCEPCE

Jedná se o platformy, které kombinují vlastnosti letounů s pevnou a rotační nosnou plochou křídel.

FIREFLY 6

Mezi jedny z prvních výrobců hybridních koncepcí se minulý rok zařadila společnost Birdseyeview se svým letounem FireFly 6 vhodným pro FPV a UAV létání. Tento typ modelu vyniká svou všestranností. Jedná se o kombinaci samokřídla a hexakoptéry. Díky tomu dokáže využívat vlastnosti multikoptér i letadel. Při létání v oblastech s malým vzletovým a přistávacím prostorem je výhodou možnost vertikálního letu. Zároveň může využít schopnosti sklopení předních rotorů a tím se z něho stává plnohodnotné letadlo. Jelikož rotory nejsou stále spuštěné, jako je tomu u multikoptér, nedochází k tak velkému úbytku kapacity akumulátorů, a proto dokáže překonat jejich maximální dobu letu. Další výhodou je schopnost letu po vysazení jakéhokoliv rotoru, což by u multikoptér vedlo k pádu. Za letu dokáže lehce přecházet mezi jednotlivými režimy pomocí dodané speciální řídicí jednotky napojené na autopilota. Přepnutím přiřazeného kanálu na RC soupravě dochází ke sklopení předních čtyř motorů o potřebný úhel a vypnutí zadních dvou. Výrobce nabízí dva typy pohonných setů, přičemž při použití dražšího dochází ke zvýšení nosnosti o 0,5 kg. Jako řídicí jednotky jsou doporučovány DJI Naza, APM 2.6 nebo Pixhawk (viz kapitola 3). Pro řízení modelu je doporučeno použít minimálně sedmikanálovou vysílací soupravu.



Obrázek 16 FireFly 6 pohled ze spodu.

²¹ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.banggood.com/>

UAV A UAS PLATFORMY

Tabulka 13 Parametry a testované vybavení modelu FireFly 6.

FireFly 6	
Rozpětí	1524 mm
Délka	950 mm
Prázdná hmotnost	3000 g
Maximální vzletová hmotnost (při použití dražšího setu)	4100 g
Doba letu	45 min
Akumulátor	5200 mAh/11,1 V
Motory	6×400 W
Regulátory	6×30 A
Vrtule	6×10×4.5" APC
Maximální rychlost	+/-100 km/h
Cena	499 \$ ²²



Obrázek 17 FireFly 6 v režimu hexakoptéry.



Obrázek 18 FireFly 6 v režimu samokřídla.

Zdroj [20]

²² dostupné na stránkách dodavatele <http://www.birdseyeview.aero/>

UAV A UAS PLATFORMY

1.1.4 MULTIKOPTÉRY

Do této kategorie patří platformy s rotující nosnou plochou umožňující vertikální let.

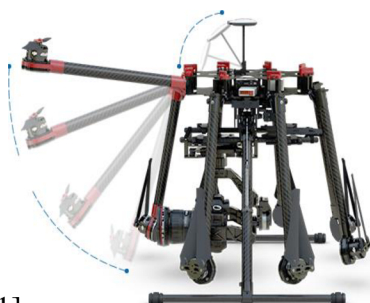
DJI S1000

Americká společnost DJI minulý rok představila oktokoptéru S1000. Jedná se o platformu poháněnou osmi motory DJI C4114. Mezi doporučené řídicí jednotky patří A2 a Wookong M od stejné společnosti. Celý rám je vytvořen z uhlíkových trubek. Ve středové desce jsou zabudovány rozvody pro napájení motorů a ostatní elektroniky. Tento model je velice skladný, můžeme složit rámy, podvozek i vrtule. Stačí pouze ramena roztáhnout a zafixovat pomocí zámků. Výrobce udává, že celková doba předletové přípravy nepřesáhne 5 minut. Jelikož je držák kamery připevněn ke speciálnímu spodnímu rámu, dojde k získání většího zorného pole bez rušení ramen nebo podvozku. Při použití doporučeného vybavení by měla být maximální hmotnost nákladu okolo 5000 g.

Tabulka 14 Parametry oktokoptéry DJI S1000.

DJI S1000	
Rozpětí	1045 mm
Maximální vzletová hmotnost	11000 g
Prázdná hmotnost	4200 g
Doporučený akumulátor	10000-16000 mAh/22,2 V
Motory	8×C4114-0320
Vrtule	8×15×5,2"
Letová doba (15000 mAh + Z15-5D)	15 min
Letová doba (20000 mAh + Z15-5D)	19 min
Průměrná spotřeba kapacity akumulátoru 15000 mAh	800 mAh/min
Průměrná spotřeba kapacity akumulátoru 20000 mAh	850 mAh/min
Cena	93 990 Kč ²³

S1000 je určena pro profesionální letecké fotografování. Díky široké nabídce použitelných fotoaparátů a vysoké letové stabilitě lze dosáhnout kvalitních záběrů. Výrobce nabízí k přikoupení příslušenství pro rámovou konstrukci. Jsou to dva typy držáku (pro fotoaparáty Sony NEX-7, Panasonic GH4 a Canon 5D) a záchranný systém v podobě padáku.



Zdroj [21]

Obrázek 19 DJI S1000 způsob skládání.



Obrázek 20 DJI S1000 v letovém režimu.

²³ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.drona.cz/>

UAV A UAS PLATFORMY

TAROT T960

Společnost Tarot je známý výrobce rámců pro multikoptéry. Nabízí konstrukce o rozpětí 200 mm až 1000 mm s různým počtem motorů. Třídy od velikosti 690 obsahují typické znaky výrobce, jedná se například o stejný způsob skládání nebo uložení zatahovacího podvozku. Pro rozložení stačí pouze odemknout zámky na centrální desce a s rameny lze manipulovat.

T960 je šestirotorová multikoptéra o rozpětí 1000 mm vhodná pro natáčení sportovní kamerou nebo fotoaparátem. Ramena a centrální deska jsou vyrobeny z uhlíku. Výrobce doporučuje osadit tuto platformu šesti motory třídy 50 v rozmezí 320-340 kv, akumulátorem o kapacitě 12000 mAh/22,2 V pro patnáctiminutový let a řídicí jednotkou Naza V2 nebo Pixhawk.

Tabulka 15 Parametry a testované vybavení hexakoptéry Tarot T960.

Tarot T960	
Rozpětí	1000 mm
Maximální vzletová hmotnost	15000 g
Letová hmotnost	5170 g
Akumulátor	11600 mAh/22,2 V
Motory	6×Tarot 4114 320 kv
Vrtule	6×15×5,5"
Letová doba (FPV+GoPro)	25 min
Průměrná spotřeba kapacity akumulátoru	370 mAh/min
Cena (pouze rám)	399 \$ ²⁴
Cena (s vybavením)	999 \$ ²⁵



Zdroj [22]

Obrázek 21 Tarot T960.

²⁴ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.helipal.com/>

²⁵ dostupné na stránkách dodavatele <http://www.foxtchfpv.com/>

1.2 KOMERČNÍ PLATFORMY UAV

V dnešní době se trh rychle zaplňuje výrobci komerčních UAV systémů určených primárně pro leteckou fotogrammetrii. Většinou jsou tyto sety dodávány s veškerým vybavením od katapultů až po různé nabíječe. Platformy naleznou své uplatnění při kontrole staveb, snímání krajiny, v zemědělství a mnoha dalších oblastech.

1.2.1 SAMOKŘÍDLA

QUESTUAV Q-POD

Tato platforma patří mezi nejlepší UAV systémy určené pro letecké mapování díky své vysoké vybavenosti. Výrobce využívá jednu typickou konstrukci pro všechny nabízené typy letadel. Velikou předností je způsob, jakým je uspořádán jeho centropoplán. V základní verzi lze nalézt místo pro dva fotoaparáty se zabudovaným otočným držákem, padák a baterii. Společnost QuestUAV nabízí různé typy centropoplánů vhodné pro různé využití:

- **Thermal Q-POD**

Kontejner se zabudovanou infračervenou kamerou Optris PI450 dodávaný společně s potřebným softwarem pro analýzu nafocených dat.

- **Multispectral Q-POD**

Kontejner se zabudovanými 6 multispektrálními kamerami, přičemž nasnímané obrázky jsou současně ukládány na paměťové karty jednotlivých kamer.

- **Surveyor Q-POD**

Kontejner se zabudovaným fotoaparátem Sony A600 24,3 Mpx vhodný pro fotografování ve vysokém rozlišení. Po ukončení letu a nahrání všech obrázků do dodaného modelovacího programu lze jednoduše vytvořit 3D model. U tohoto kontejneru výrobce nabízí možnost výběru využití volného prostoru pro záchranný systém (padák) nebo pro další baterie (rozšíření až na 25000 mAh). Start s touto platformou není složitý. Po naplánování požadované mise na příslušné pozemní stanici stačí pouze model lehce odhodit. Pro přistání se nabízí dvě možnosti. Lze využít vystřelovací padák nebo standartní přistání letadla (minimální oblast pro přistání je 30 m x 15 m).



Obrázek 22 Pohled na Q-pod ze spodu.



Obrázek 23 Pohled na Q-pod z vrchu.



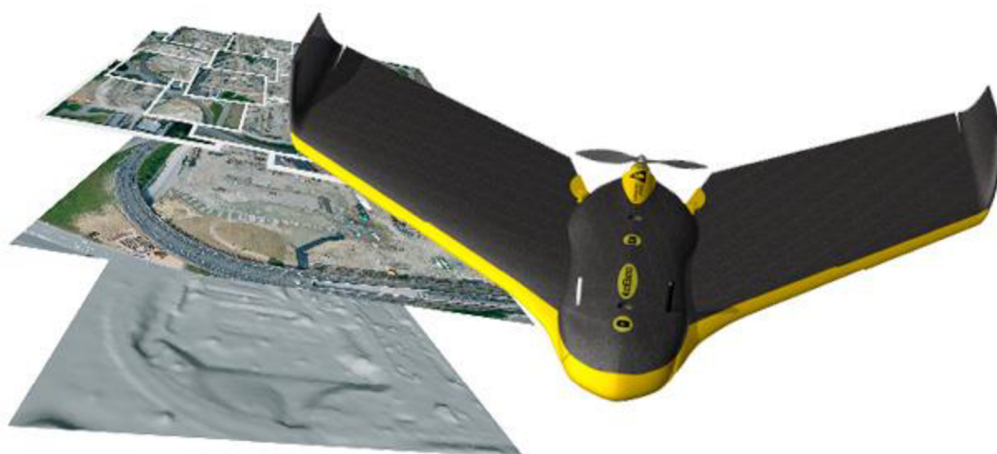
Obrázek 24 Kompletní set Q-200 AGRI PRO.

Zdroj [23]

EBEE AG

Společnost SenseFLy se zabývá výrobou malých UAV letadel a kromě modelu eBee nabízí také kvadrokoptéru eXom a jedno z nejlehčích UAV letadel Swinglet Cam. EXom je určen pro mapování ve vysokém rozlišení a pro kontrolu různých trhlin ve stavbách. Předností platformy Swinglet Cam je nízká letová hmotnost do 500 g.

Přestože eBee je malé a lehké letadlo, dokáže nasnímat plochu 1000 ha ve výšce 974 metrů nad zemí za jeden let. V základní verzi je dodáván s fotoaparátlem Canon S110 Nir, ale pro různá měření lze dokoupit Canon S110Re, Canon S110RGB, multiSPEC4C a thermoMAP. Výhodou samokřídla je robustní, ale zároveň lehká konstrukce z EPP vyztužená uhlíkovými pásnicemi. Jeho nízká hmotnost zároveň snižuje míru poškození při dopadu. Kromě využití pro zemědělské účely je díky svým rozměrům vhodný i pro mapování nedostupných krajín.



Obrázek 25 EBee Ag.

UAV A UAS PLATFORMY

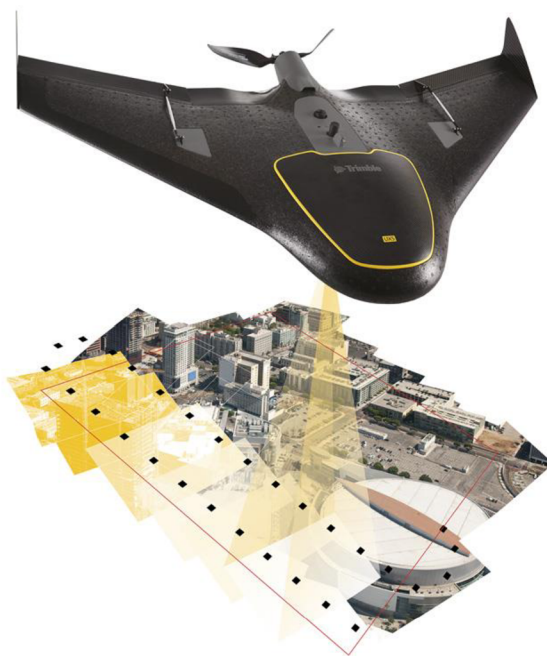
Pro začátek mapování stačí pouze vymezit oblast měření a v programu eMotion dojde k naplánování všech potřebných waypointů²⁶. Program nabízí možnost kontroly dat (například letové parametry, stav baterie a snímání dat v reálném čase). Pokud je třeba za letu změnit cílovou oblast, stačí pouze přeprogramovat tento software a eBee se ihned přeorientuje dle nových waypointů. Pro zpracování získaného materiálu slouží software Postflight Terra 3D. Start u eBee je snadný. Stačí pouze před letem vykonat s modelem pohyb třikrát dopředu a zpět, čímž dojde ke spuštění motorů.

Zdroj [24]

TRIMBLE UX5

Belgická společnost Gatewing byla založena v roce 2008, kdy začali vyvíjet první UAV systém pro mapování terénu. Po dvou letech byl uveden na trh letoun X100. V roce 2012 odkoupila firmu společnost Trimble Navigation zabývající se výrobou geodetických přístrojů, totálních stanic, skenerů atd. V dnešní době již X100 není na trhu, byl nahrazen novou verzí - UX5.

UX5 vychází z platformy X100. Došlo ke zvětšení plochy křídel, vybavení výkonnějším motorem a akumulátorem. Během vývoje tohoto systému došlo i ke zdokonalení snímací techniky. UX5 byla vybavena novým 24 Mpx fotoaparát. Výhodou je možnost reverzu motoru, což značně zkrátí rozměry přistávací plochy (viz tabulka 16). K tomuto setu je dodáván i katapult, který usnadní start modelu. Pro nastavování letových parametrů slouží program Trimble Access Aerial Imaging uložený v dodaném tabletu. Trimble se kromě výroby UAS zabývá také tvorbou softwaru pro vyhodnocování a úpravu nasnímaných dat. K prodeji nabízí Trimble Business Center a UASMaster.



Obrázek 26 Trimble UX5.

Zdroj [25]

²⁶ trasový bod se souřadnicemi GPS

Tabulka 16 Přehled parametrů výše zmíněných komerčních letadel.

	QuestUAV Q-Pod	Trimble X100	Trimble UX5	SenseFly eBee
Vzletová hmotnost [g]	3800-5000	2200	2500	700
Rozpětí [mm]	1950	1000	1000	960
Plocha křidel [dm ²]	75	23	34	33
Materiál	EPP	EPP	EPP	EPO
Výkon motoru [W]	668	250	700	160
Baterie	11.1V 10000-25000 mAh	11.1V 8000 mAh	14.8V 6000 mAh	11.1V 2100 mAh
Stabilizovaný držák kamery	ano	ne	ne	ne
Fotoaparát	Sony a6000 24,3 Mp	10 Mp	Sony Nex-5R 3D 16 Mp	Canon S110 12 Mp
Software	Pix4Dmapper	Trimble Access Aerial Imaging	Trimble Access Aerial Imaging	eMotion
Maximální doba letu [min]	90	45	50	45
Předletová příprava [min]	15	5	5	5
Dolet [km]	100	53	60	50
Požadavky na přistávací plochu [m×m]	30×15	80×20	20×6	20×60
Maximální únosný vítr [km/h]	65	65	65	45
Komunikační frekvence	2,4 GHz a 868 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Dosah frekvence [km]	3 a 30	5	5	3
Cena [Kč]	700 000	-	1 160 000	543 000

Zdroj [23]

1.2.2 MULTIKOPTÉRY

AIBOT X6

Aibot X6 je šestirotorová multikoptéra vhodná pro letecké mapování a kontrolu staveb. Dodává se ve čtyřech variantách s možností výběru mezi základní nebo profesionální výbavou. Celý rám je uhlíkový a díky ochranným prvkům nehrozí nebezpečí úrazů od vrtulí motorů. Aibot X6 se může ovládat v plně manuálním módu nebo pomocí nastavených waypointů. Po celou dobu letu má uživatel možnost zasáhnout do řízení multikoptéry. K výhodám patří nastavení minimální výšky letu nad zemí, schopnost automatického startu, přistání, návratu pomocí nových vypočítaných bodů a držení pozice.

Konfigurace:

- 1) **Pro letecké snímkování** – Set obsahuje vysílač, baterie, nabíječe, držák pro kameru, software pro nastavení letu a komponenty pro přímý přenos videa.
- 2) **Pro kontrolu rozvodných elektrických sítí** – Jedná se o set pro letecké snímkování s SLR kamerou a termální kamerou Optris PI450.
- 3) **Pro kontrolu mostů a budov** – Jedná se o set pro letecké snímkování s držákem kamery na horní centrální desce. Slouží k vyrovnávání pohybů multikoptéry a získání kvalitních zaostřených záběrů.
- 4) **Pro letecké mapování** – Jedná se o set pro letecké snímkování s kamerou zaznamenávající data dle souřadnic GPS a potřebným softwarem určeným ke zpracování dat.

Tabulka 17 Parametry multikoptéry Aibot X6.

Aibot X6	
Délka×šířka×výška	1,05×1,05×0,45 m
Materiál	uhlíkový rám
Prázdná hmotnost	3,6 kg
Maximální vzletová hmotnost	6,6 kg
Maximální rychlost	50 km/h
Letová doba	30 min
Rozmezí pracovních teplot	-20°-40°C
Baterie	10000 mAh/14,8 V



Obrázek 27 Aibot X6.

Zdroj [26]

3DR X8-M

Společnost 3DRobotics je výrobce elektroniky a platforem pro FPV a UAV létání. Novinkou jsou RTF²⁷ multikoptéry SOLO, X8+ a X8-M. Poslední zmiňovaný typ je díky své výbavě vhodný pro letecké mapování. Jedná se o osmimotorovou multikoptéru se čtyřmi rameny. X8-M dokáže odstartovat na malých prostranstvích a díky nízké letové rychlosti a hladině, dokáže snímat obrazy ve vysoké kvalitě. X8-M je vybaven fotoaparátem Canon S1000 s držákem pro upevnění k centrální desce, řídicí jednotkou Pixhawk, motory SunnySky V2216 800 kv, akumulátory o kapacitě 10000 mAh/14,8 V a soupravou pro přenos telemetrie do pozemní stanice. Multikoptéra je ovládána pomocí vysílací soupravy Spektrum DX7s v manuálním módu nebo pomocí nastavených waypointů v plně automatickém režimu. Pro zpracování nasnímaných dat se dodává software Pix4D.

Tabulka 18 Parametry a dodávané vybavení multikoptéry X8-M.

3DR X8-M

Délka x šířka x výška	35×51×30 cm
Maximální vzletová hmotnost	3500 g
Motory	8×SunnySky V2216 800 kv
Akumulátor	10000 mAh/14,8 V
Vrtule	8×APC 11×4,7"
Maximální rychlost	50 km/h
Letová doba	14 min
Průměrná nasnímaná plocha za jeden let	0,1 km ²
GSD	2 cm/px

²⁷ ready to fly (platformy, které jsou plně vybavené a připravené k okamžitému použití)



Obrázek 28 X8-M pohled zepředu.



Obrázek 29 X8-M pohled zespod.

Zdroj: [27]

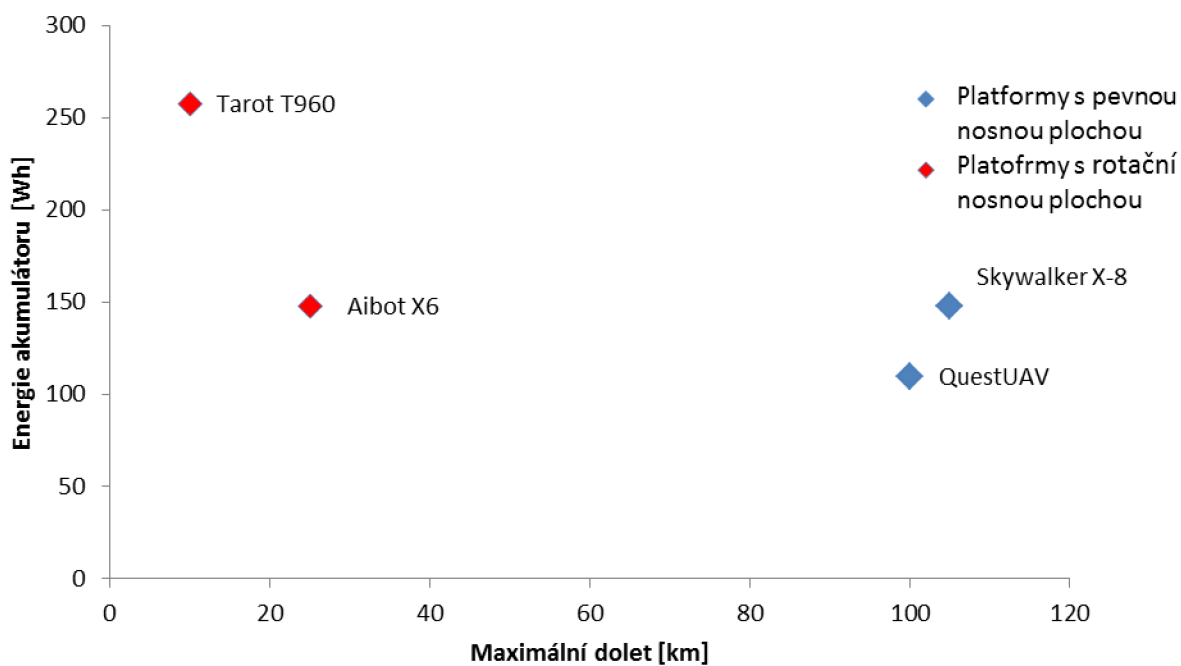
1.3 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH PLATFORMEM S PEVNOU A ROTUJÍCÍ NOSNOU PLOCHOU

Při srovnání parametrů uvedených platformem s pevnou a rotující nosnou plochou lze zjistit, pro jaké účely je daný typ vhodný. Při leteckém snímkování se u multikoptér využívá možnosti pomalého letu. Tento předpoklad značně zvyšuje kvalitu získaných dat. Kromě této vlastnosti je výhodou jejich maximální nosnost nákladu, která převyšuje letouny s pevnou plochou křídel. Možnost vertikálního vzletu a držení stálé pozice jsou další schopnosti, které zvyšují jejich využití. Například pro kontrolu mostů, budov nebo větrných elektráren je použití letadel nemožné, a proto se v této kategorii primárně využívají multikoptéry. Avšak letová doba a dolet je oproti klasickým koncepcím minimální. Proto se při leteckém mapování používají výhradně platformy s pevnou plochou křídel.

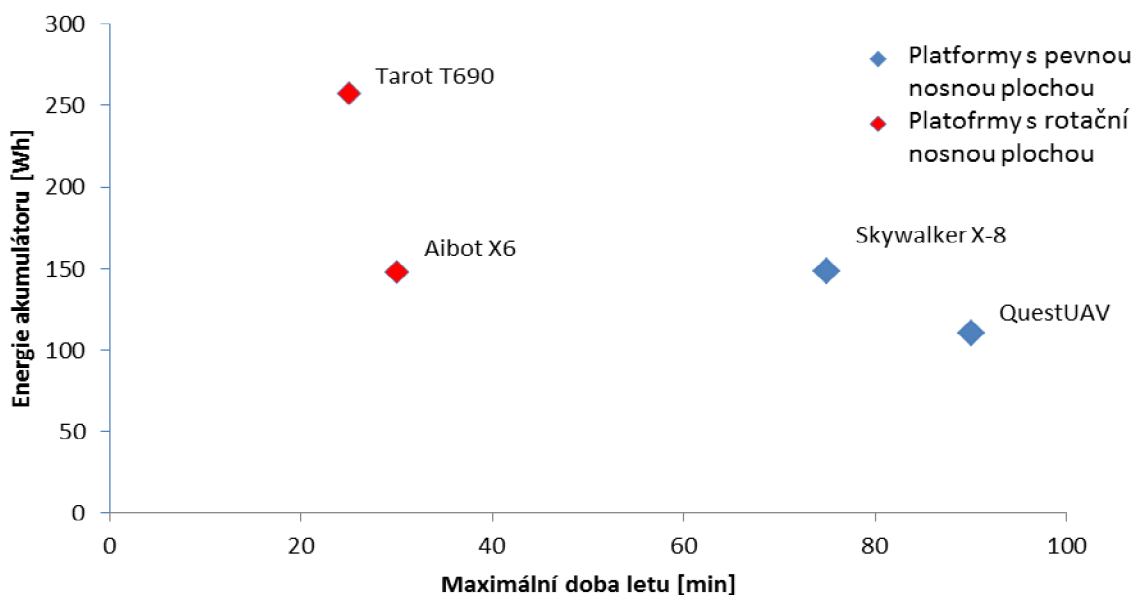
Tabulka 19 shrnuje charakterizující rozdíly mezi vybranými letadly a multikoptéry. Při pohledu na průměrnou spotřebu kapacity akumulátoru lze sledovat značný nárůst u hexakoptér, který je způsoben přítomností většího počtu střídavých elektromotorů. Tato hodnota způsobuje pokles maximální letové doby a doletu. Nárůst je možno pozorovat i u průměrné spotřeby energie akumulátorů.

Tabulka 19 Přehled parametrů vybraných zástupců z předchozích kapitol.

	QuestUAV Q-Pod	Aibot X6	Skywalker X-8	Tarot T960
Maximální vzletová hmotnost [g]	5000	6600	3900	15000
Rozpětí [mm]	1950	1050	2120	960
Plocha křídel [dm ²]	75	-	80	-
Hmotnost nákladu [g]	1200	2000	2000	10000
Materiál	EPP	uhlíkový rám	EPO	uhlíkový rám
Výkon motoru [W]	668	-	820	6×360
Baterie [mAh/V]	10000/11,1	10000/14,8	10000/14,8	11600/22,2
Maximální doba letu [min]	90	30	75	25
Maximální dolet [km]	100	25	105	10
Průměrná spotřeba kapacity akumulátoru za minutu letu [mAh/min]	90	270	110	370
Energie akumulátoru [Wh]	110	148	148	257,52
Průměrná spotřeba energie akumulátoru za kilometr letu [Wh/km]	1,1	5,9	1,4	25,75



Graf 1 Závislost maximálního doletu na instalované energii akumulátoru sestav.



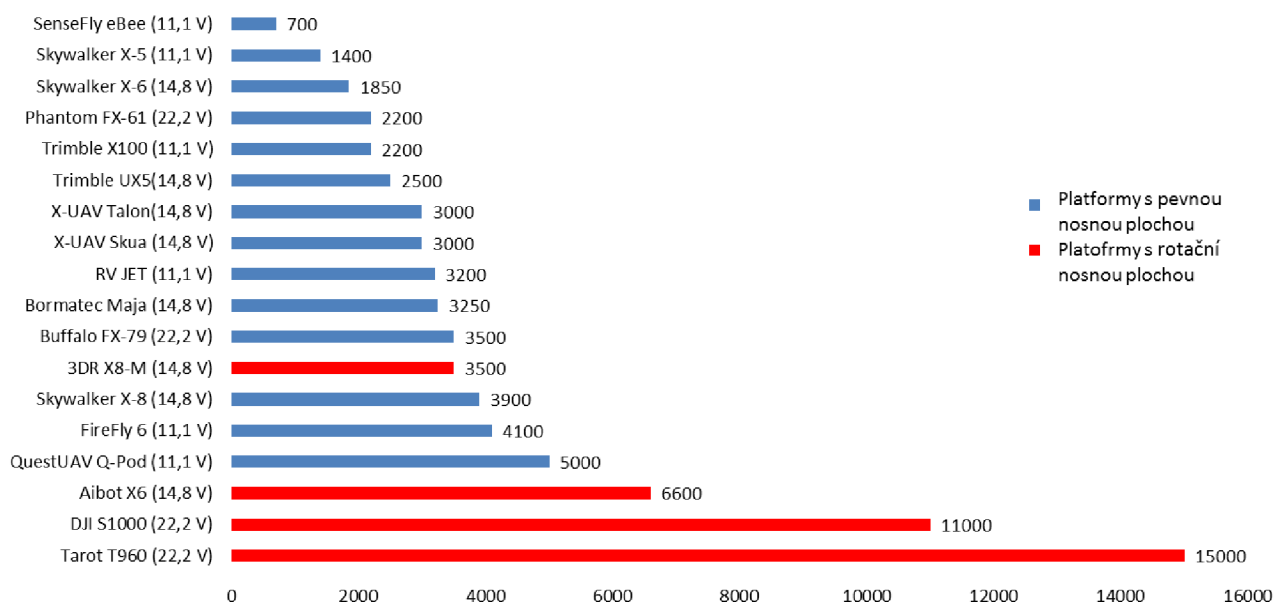
Graf 2 Závislost maximální doby letu na instalované energii akumulátoru sestav.

Z grafů 1 a 2 lze odvodit, že při vyšší energii akumulátorů vybraných platform s rotační nosnou plochou je doba letu a dolet nižší, než u platform s pevnou nosnou plochou křídla.

2 PARAMETRICKÁ ANALÝZA

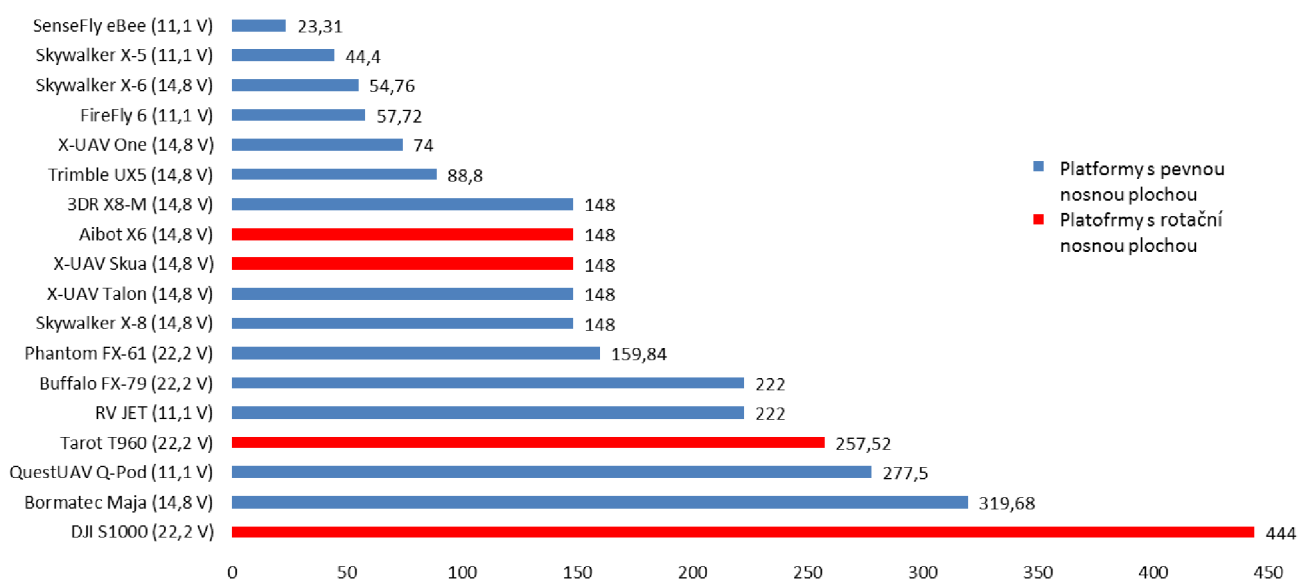
V této části bakalářské práce se nachází grafické porovnání výše zmíněných modelů v různých kategoriích. Tyto grafy vycházejí z vybraných příkladů použitých konfigurací. Při použití jiného vybavení dojde ke změnám některých hodnot. Lze zde sledovat například rozdíly v maximálních vzletových hmotnostech, testovaných energiích akumulátorů, v době letu atd. V grafech jsou barevně rozlišeny platformy s pevnou a rotační nosnou plochou pro lepší orientaci.

Maximální vzletová hmotnost (g)



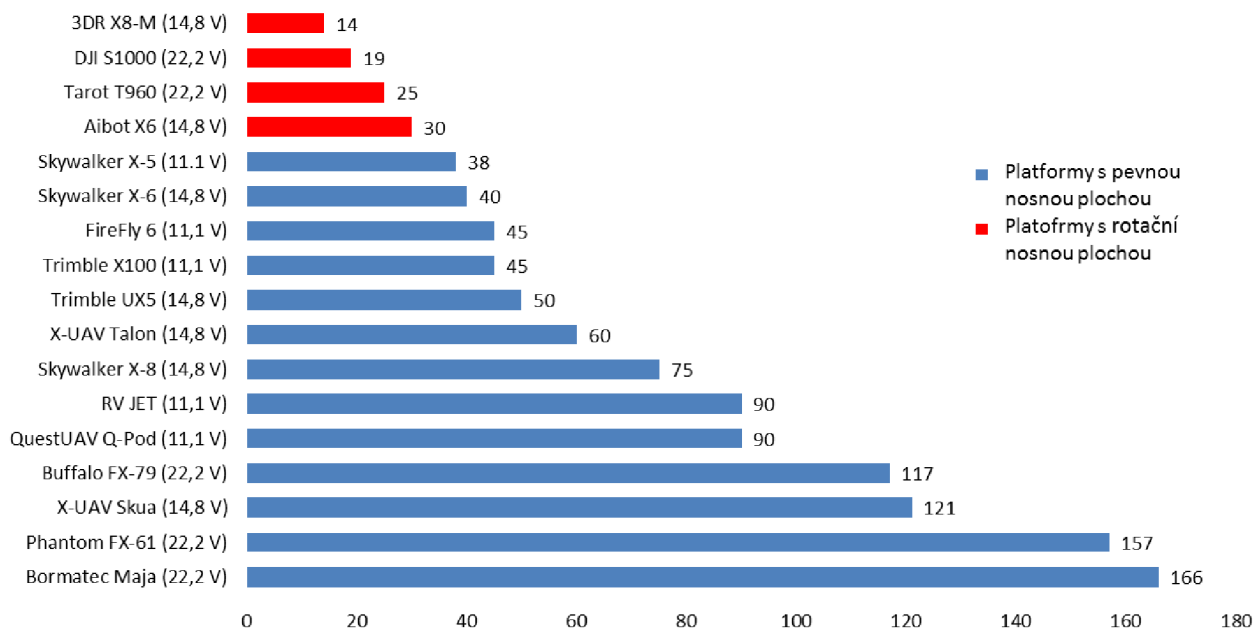
Graf 3 Srovnání maximální vzletové hmotnosti testovaných platform.

Energie akumulátorů (Wh)



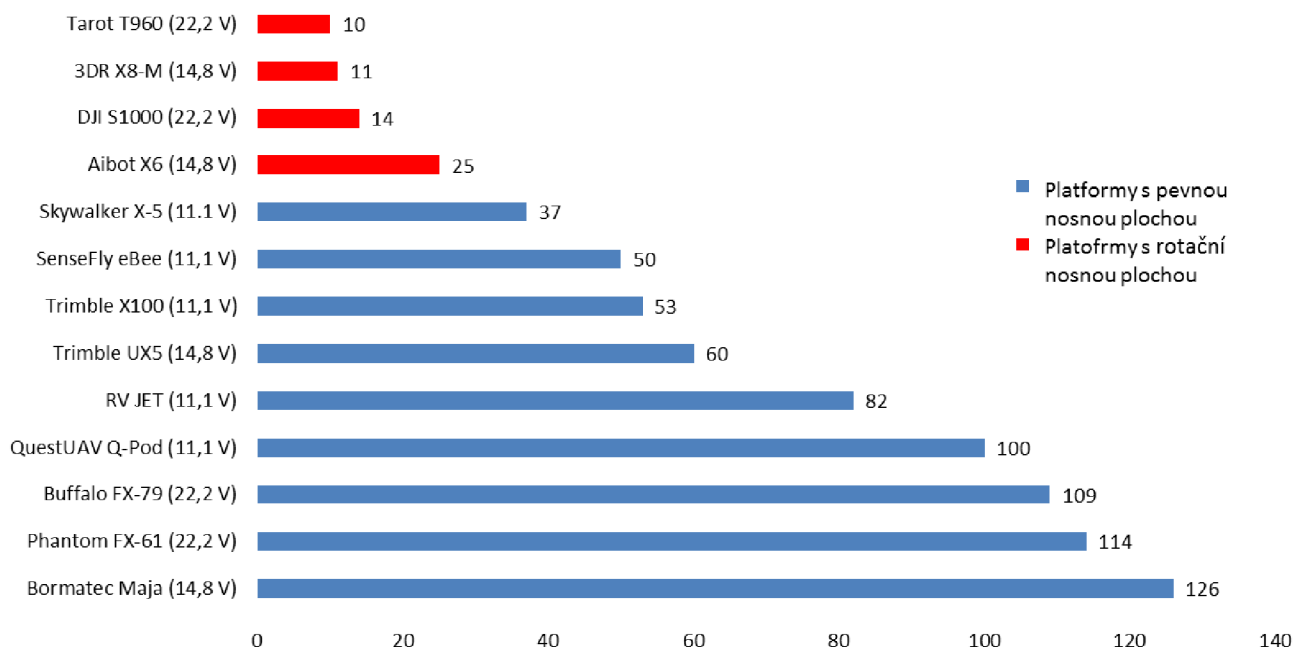
Graf 4 Přehled instalované energie akumulátorů použitých v testovaných platformách.

Doba letu (min)



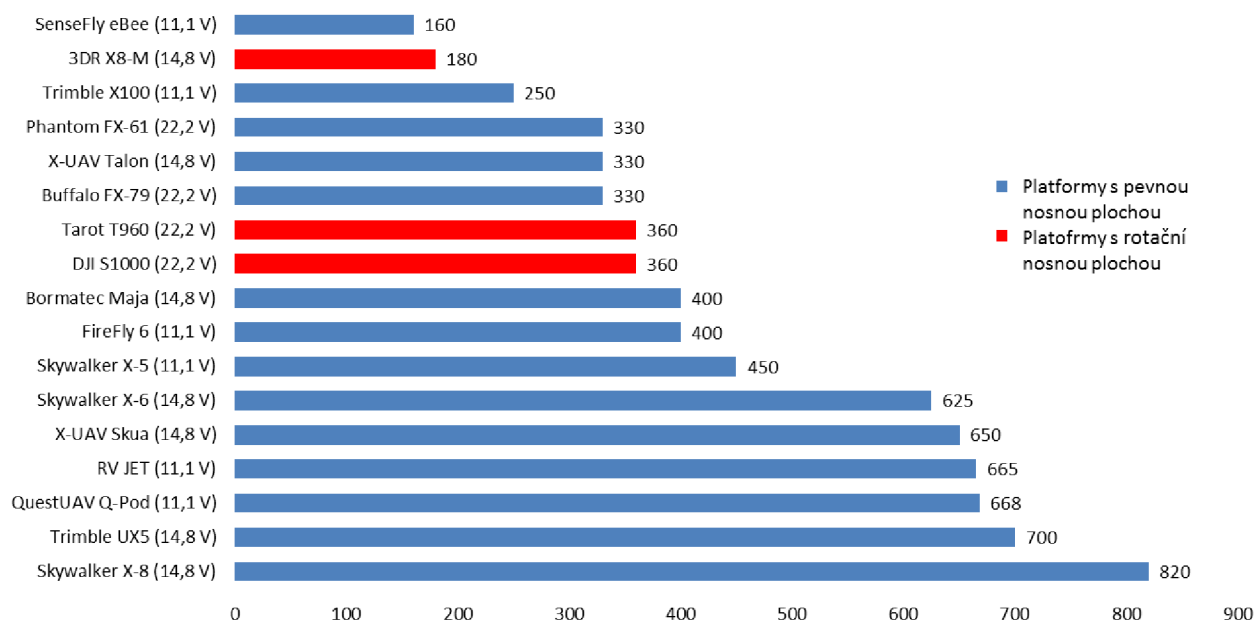
Graf 5 Srovnání maximální doby letu testovaných platforem.

Dolet (km)



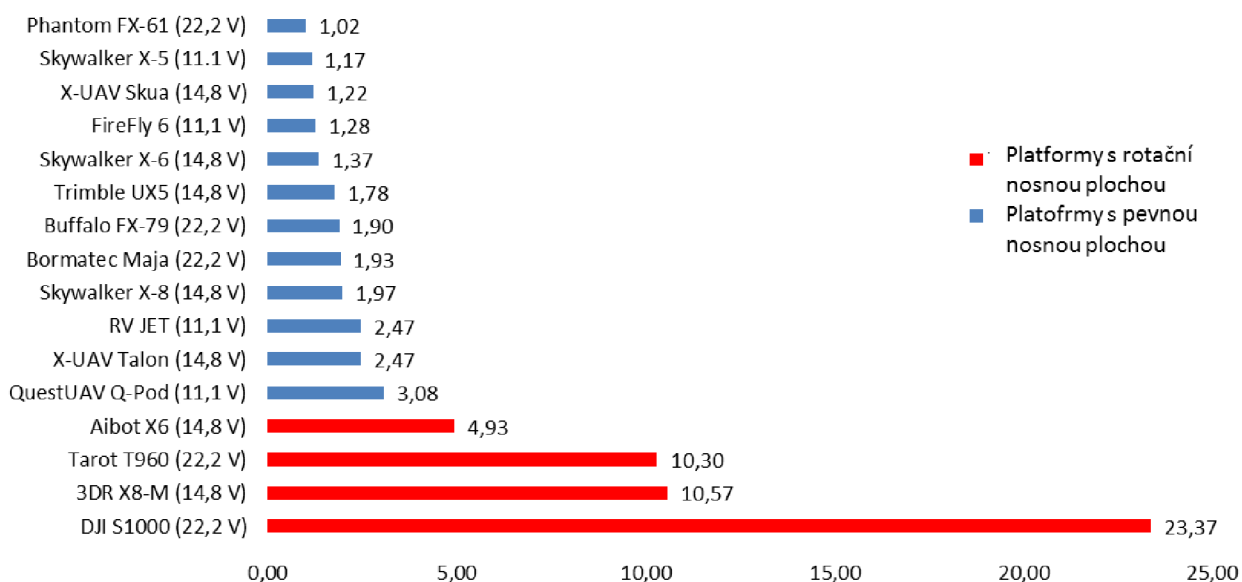
Graf 6 Srovnání maximálního doletu testovaných platforem.

Výkon použitých motorů (W)



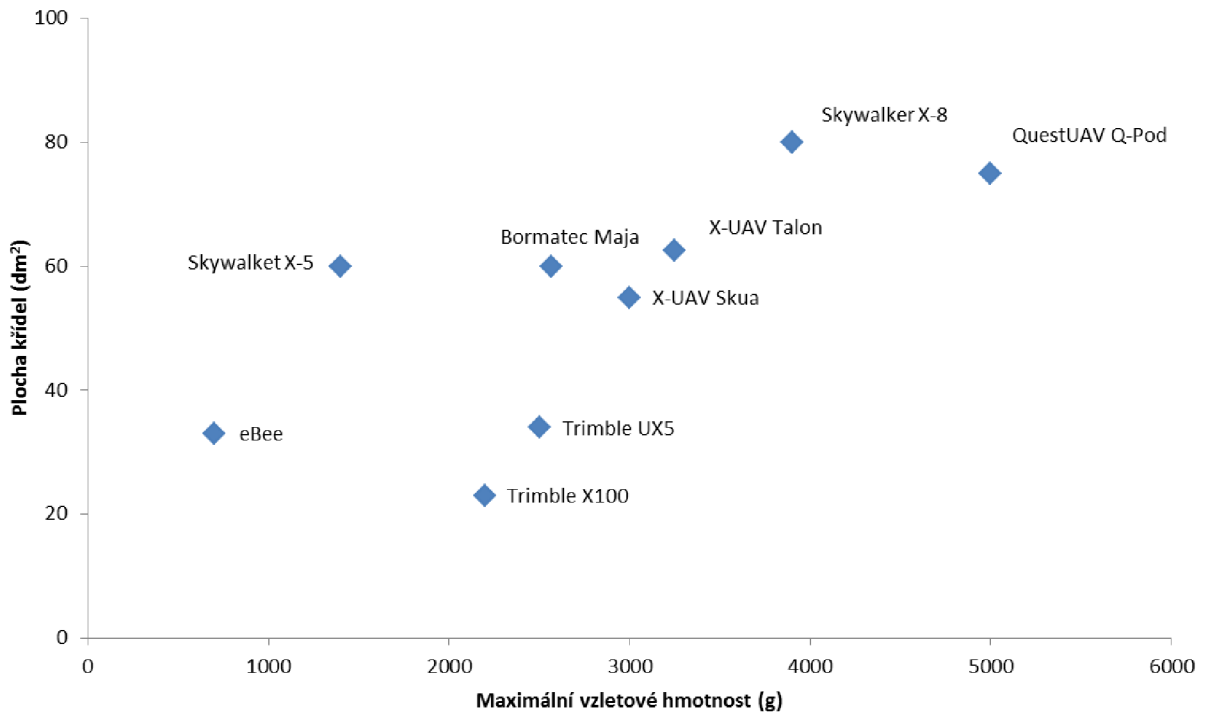
Graf 7 Přehled výkonů motorů instalovaných v testovaných platformách.

Spotřeba energie akumulátoru za minutu letu (Wh/min)

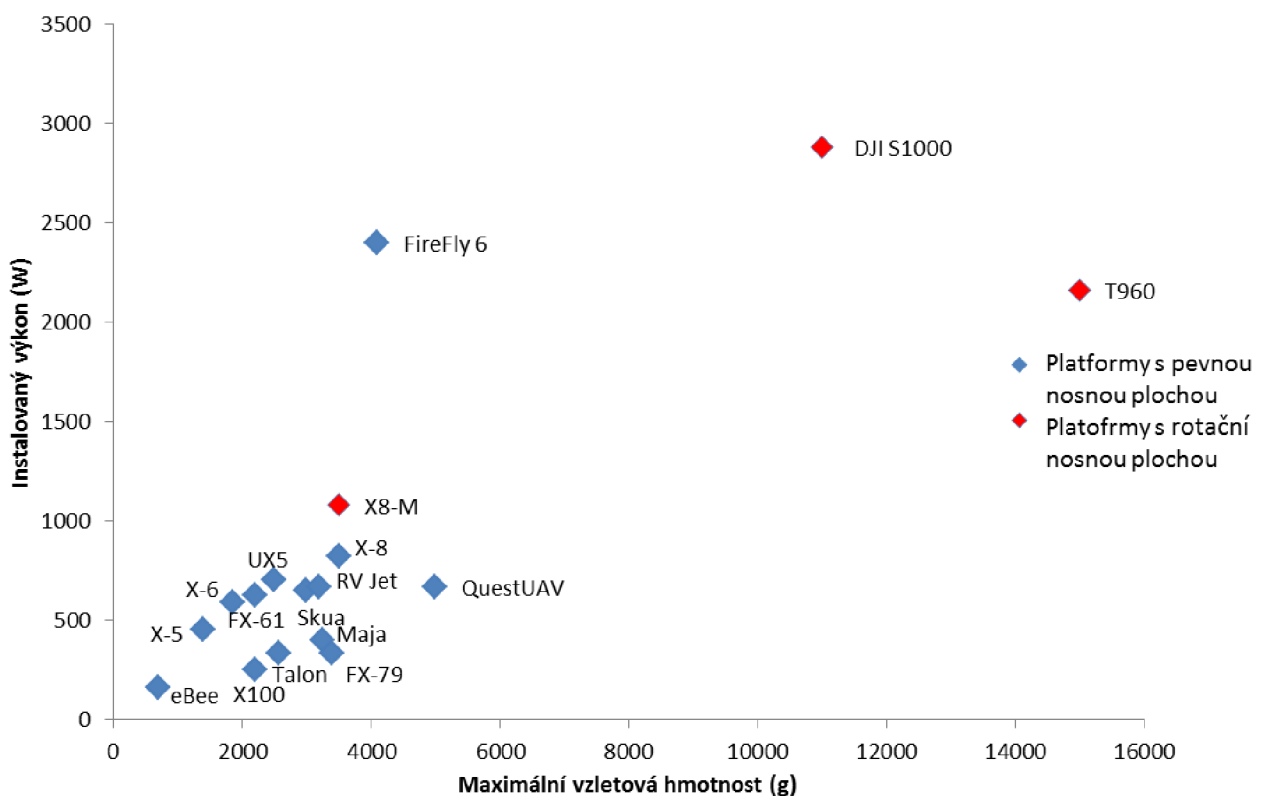


Graf 8 Srovnání spotřeb energie nainstalovaných akumulátoru za minutu letu.

PARAMETRICKÁ ANALÝZA

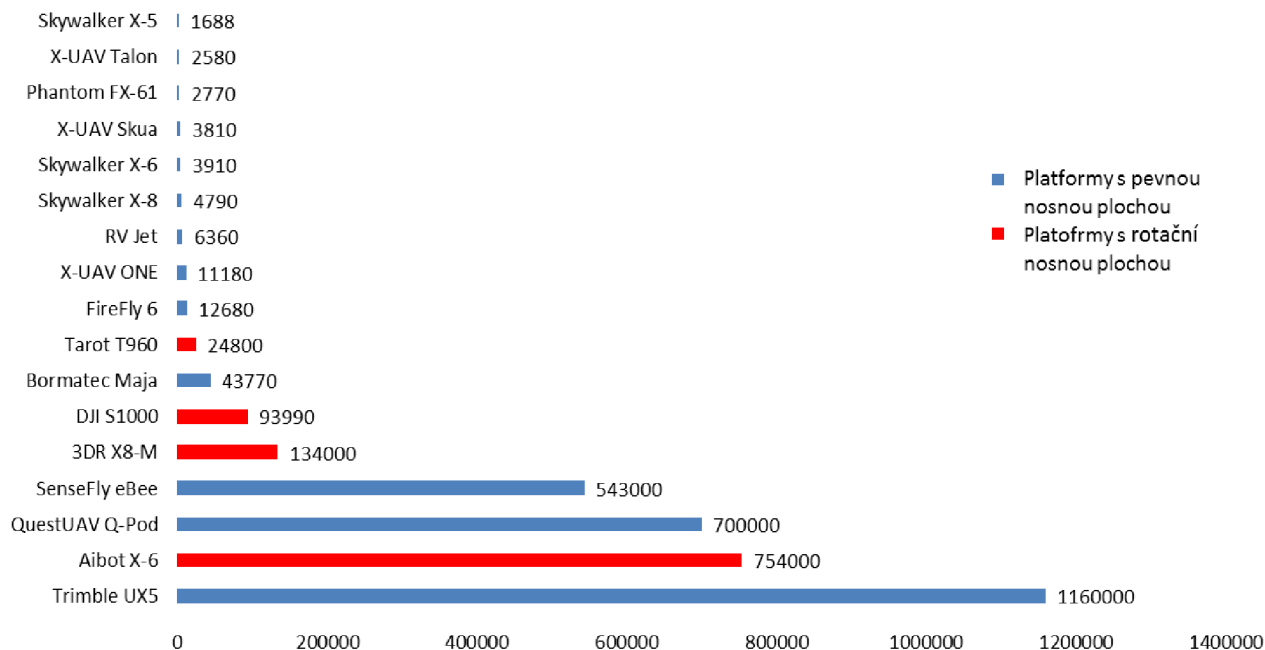


Graf 9 Závislost maximální vzletové hmotnosti na ploše křídel jednotlivých platform.



Graf 10 Závislost maximální vzletové hmotnosti na instalovaném výkonu u jednotlivých platform.

Ceny jednotlivých platform (Kč)



Graf 11 Srovnání cen jednotlivých platform ke dni 12. 5. 2015.

V grafu 3 a 10 je patrné, že platformy s rotující nosnou plochou X8-M, Aibot X6, DJI S1000 a Tarot T960 dokáží díky vysokému instalovanému výkonu nést podstatně větší zátěž, než je tomu u letounů s pevnou plochou křídel. Z grafů 5 a 6 vyplývá, že multikoptéry disponují menší dobou letu a doletu oproti ostatním zkoumaným platformám. Tento poznatek je dán využitím většího počtu motorů a zároveň i větší spotřebou energie akumulátorů, kterou lze nalézt v grafu 8. Podstatnou informací je umístění Phantoma FX-61, který překonal druhou největší vzdálenost (při druhé nejdelší letové době) díky minimální spotřebě (viz graf 8). Zajímavé je také porovnání závislosti maximální vzletové hmotnosti na nosné ploše v grafu 9 (pouze u letadel s pevnou plochou). U vybraných platform byla prokázána lineární závislost těchto dvou veličin. Největší nosnost mají Skywalker X-8 a QuestUAV, což je zapříčiněno právě velikostí plochy jejich křídel. Z grafu 11 je zřejmé, jak se liší ceny komerčních platform od platform vybavených samotnými uživateli (uvedené ceny jsou bez poštovného).

Z parametrické analýzy vyplývá, že Phantom FX-61 dosahuje optimálních hodnot v době letu a doletu. Díky jeho rozpětí a prostoru v centroplánu splňuje požadavky mise, a proto byl vybrán jako nejvhodnější samokřídlo pro splnění zadání této bakalářské práce. Podle jeho parametrů bude navržen model. Letouny Buffalo FX-79, Skywalker X-8 a Maja vykazují ve většině kategorií optimální hodnoty, avšak jejich rozměry zabraňují použití. Pokud by nebyl kladen požadavek na maximální rozpětí, byla by tato letadla vhodná pro jejich vysokou únosnost nákladu, která je docílena optimální plochou křídel.

3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

Při zkoumání bezpilotních letounů je nutné se zmínit také o řídicích jednotkách, které jsou hlavním ovládacím centrem letounu. Ke každému typu lze dokoupit mnoho dalších komponentů, které rozšiřují jejich vlastnosti. Pomocí nich uživatel získá informace o letu (o výšce a rychlosti letu). Jelikož jsou pro snímkování používána letadla a multikoptéry, představuje tato kapitola dvě řídicí jednotky – jednu vhodnou pro letadla a druhou pro multikoptéry.

Řídicí jednotky určené pouze pro multikoptéry:

- DJI Naza M V2
- DJI WooKong-M
- DJI A2

Řídicí jednotky určené pro letadla:

- UNAV PicoPilot
- UAV V2
- AttoPilot

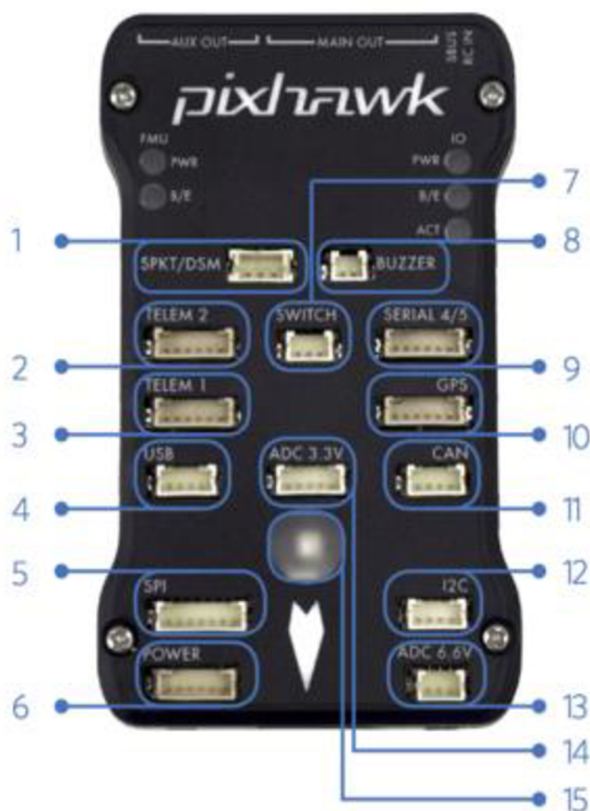
Řídicí jednotky určené pro ovládání letadel a multikoptér:

- ArduPilot (Pixhawk, APM)
- Piccolo II
- Paparazzi

3.1 PIXHAWK

Pixhawk je vysoce výkonná řídicí jednotka vhodná téměř pro všechny typy RC modelů (letadel, multikoptér, vrtulníků, aut, lodí a robotických platforem). Jedná se o kombinaci desek PX4 FMU a PX4IO. Tato jednotka obsahuje výkonný procesor Cortex-M4F, 16 bitový gyroskop, 14 bitový akcelerometr, magnetometr a barometr. Dále obsahuje 16 servo konektorů: 6 pomocných výstupů, 1 vstup pro přijímač, 1 výstup pro SBUS a 8 hlavních výstupů pro serva (u multikoptér pro regulátory). Nabízí možnost nahrání softwaru PX4 i APM. K této jednotce se dá přikoupit GPS modul s kompasem, telemetrie pro propojení s pozemní stanicí (na frekvenci 433 Mhz pro Evropu a 915 Mhz pro USA), digitální měřič rychlosti a externí USB a LED modul.

ŘÍDICÍ JEDNOTKY



Obrázek 30 Řídicí jednotka Pixhawk.

- 1) Propojení s DSM přijímačem
- 2) Telemetrie 433 MHz
- 3) Telemetrie (display)
- 4) USB
- 5) SPI (pro připojení senzorů)
- 6) Propojení s power modulem
- 7) ARM přepínač/LED
- 8) Bzučák
- 9) Konektor Seriál UART 4/5
- 10) GPS modul
- 11) CANBUS (pro připojení senzorů)
- 12) I2C (pro připojení senzorů)
- 13) Konektor pro připojení senzoru rychlosti
- 14) Konektor pro připojení sonaru
- 15) RGB LED

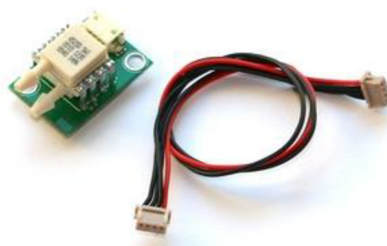


Obrázek 31 Pixhawk ze stran.

- 1) Tlačítko reset
- 2) Vstup pro SD kartu
- 3) Tlačítko resetu letového plánu
- 4) Micro-USB port



Obrázek 32 Telemetrie.

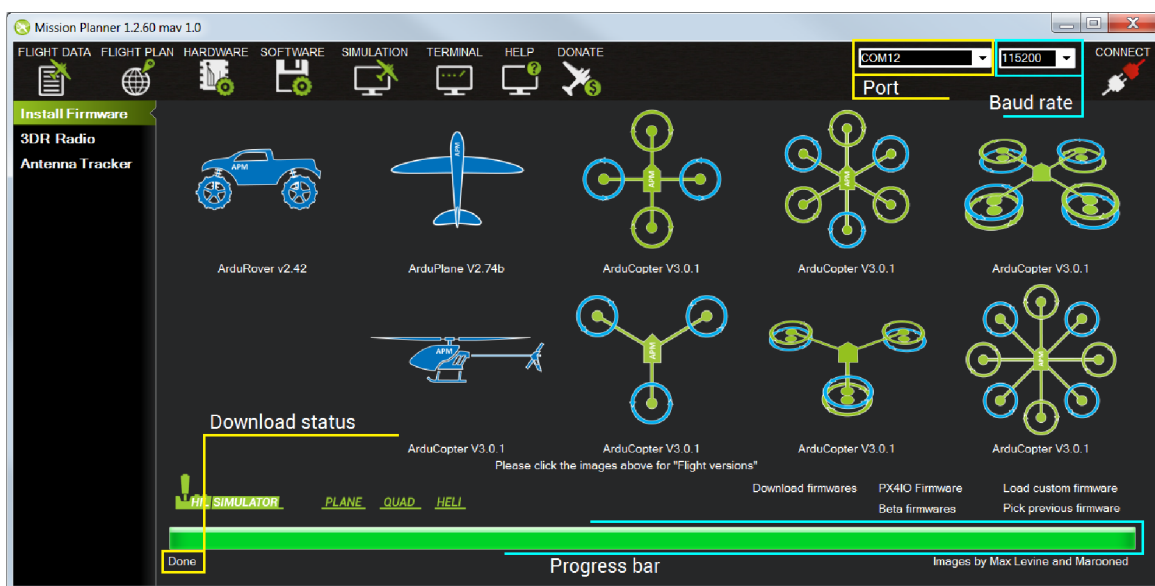


Obrázek 33 Senzor rychlosti.



Obrázek 34 GPS modul.

Mission Planner je nezbytnou součástí obsluhy řídicích jednotek. Tento software lze zdarma stáhnout na stránkách www.ardupilot.com. Umožňuje nahrání a nastavení firmwaru řídicí jednotky, kalibraci desky, senzorů a plánování letu.



Obrázek 35 Instalace firmwaru pomocí Mission Planneru.

Zdroj [28], [29]

3.2 DJI NAZA-M V2

Společnost DJI se už od roku 2006 zabývá výrobou multikoptér a potřebné elektroniky pro jejich ovládní. V dnešní době se řadí mezi největší světové dodavatele. K rozmachu došlo díky kvadroptéře F-300 Phantom. Jedná se o první kompletně sestavený model dodávaný s veškerým vybavením potřebným pro let. Svojí vlastností „vybalit a letět“ zaujal širokou škálu pilotů zajímajících se o letecké natáčení.



Obrázek 36 Naza-M V2.

Ve srovnání s jednotkou Pixhawk Naza-M V2 velice zaostává jen v množství použitelného příslušenství. Jedná se o novou rozšířenou verzi Naza-M vhodnou pro rekreační létání i profesionální použití při natáčení leteckých videí a snímání fotografií. Naza obsahuje tříosé gyro, akcelerometry a barometrický výškoměr. Nechybí zde možnost fail-safe²⁸ v podobě návratu na místo vzletu a systém inteligentní orientace IOC²⁹. Naprogramování řídicí jednotky je uživatelsky nenáročné. Stačí pouze stáhnout na stránkách DJI potřebné ovladače a Assistant Software. Po připojení jednotky k počítači je třeba nastavit typ multikoptéry, polohu GPS modulu, použité akumulátory a přiřadit jednotlivé kanály určené na přepínání mezi režimy. Pokud chce uživatel létat podle waypointů, musí dokoupit BT Datalink modul určený pro propojení Naza s pozemní stanicí.

²⁸ záchranný systém

²⁹ způsob ovládní multikoptéry kdy je vždy orientována směrem od pilota

ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

Naza-M V2 může pracovat ve třech letových režimech:

1) Manuální mód

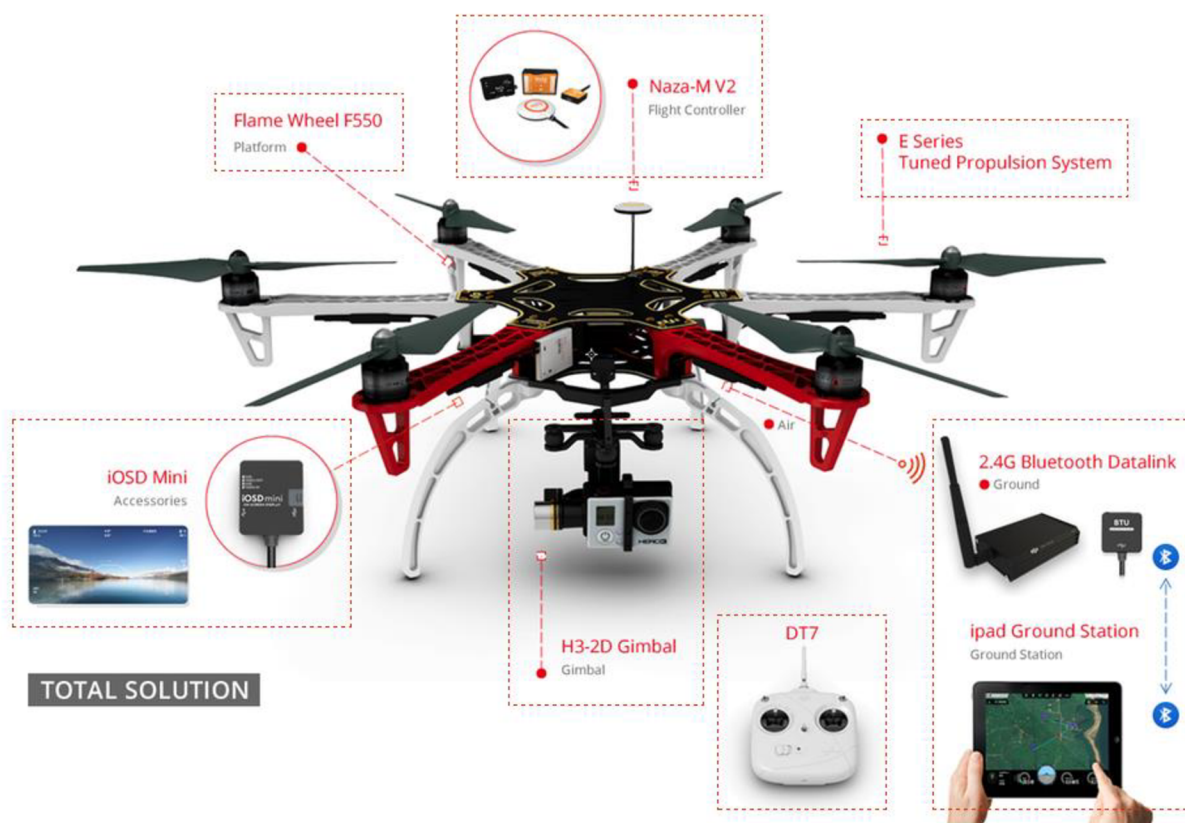
Pilot ovládá multikoptéru ve všech směrech bez pomoci řídicí jednotky.

2) Atti. mód

Za letu dochází k automatické stabilizaci náklonu multikoptéry ve všech osách. Signál z RC soupravy slouží k uvedení do pohybu rychlostí úměrnou velikosti výchylky na páce vysílače. Jelikož v tomto módu není stabilizace polohy dle zeměpisné pozice, bude multikoptéra při působení větru viset ve stejné výšce, ale jeho poloha se bude měnit ve směru jeho proudění.

3) GPS Atti. Mód

Tento režim vychází z Atti. módu a je rozšířen o funkce modulu GPS. Díky tomu je automaticky stabilizována poloha modelu i jeho zeměpisná pozice. Další výhodou tohoto režimu je funkce fail-safe, která umožňuje pomalé přistání v místě ztráty signálu nebo automatický návrat ke vzletové ploše.

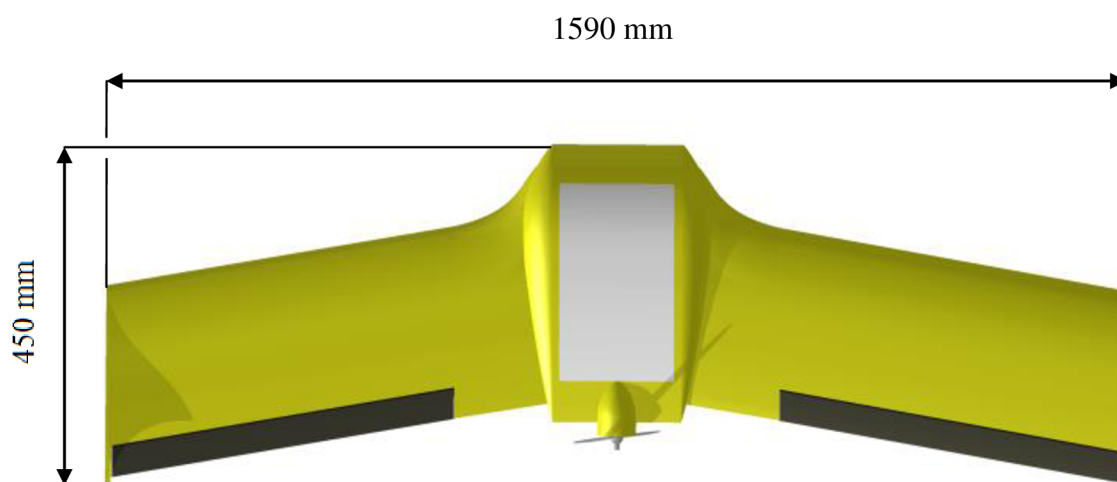


Obrázek 37 Vybavení hexakoptéry F550 všemi dostupnými prvky Naza-M V2.

Zdroj [30]

4 NÁVRH MODELU

Při parametrické analýze bylo zjištěno, že zadání této práce nejlépe vyhovuje samokřídlo Phantom FX-61. Při rozpětí pouze 1550 mm dokáže nést požadovaný náklad a uletět danou vzdálenost. Na základě tohoto poznatku bylo rozhodnuto vymodelovat návrh platformy, který bude mít přibližně stejné parametry. Jedná se o nerozebíratelné samokřídlo s rozpětím 1590 mm a délkou 450 mm. Profil křídla vychází z přibližně naměřených rozměrů Phantoma (typ jeho profilu se nepodařilo zjistit). Vzhledem k optimální velikosti nosné plochy křídel nedošlo k větším změnám jejich tvaru. Centrální část byla rozšířena o 4 cm pro jednodušší instalaci snímací elektroniky. Jedná se pouze o návrh zhotovený v programu Autodesk Inventor za účelem postupného zdokonalování a dosažení potřebných znalostí při dalším studiu.



Obrázek 38 Pohled na návrh letounu z vrchu.



Obrázek 39 Pohled na návrh letounu z boku.

5 LEGISLATIVA

V souvislosti se zpracovávaným tématem je nutné uvést alespoň základní legislativní omezení, kterými se musí každý pilot řídit. Při pohledu do minulosti lze zjistit, že dříve nebyl provoz bezpilotních letadel zákonem regulován. Do roku 2012 se jednalo vždy o model letadla, který nemusel být nikde registrován. Od 1. 3. 2012 vstoupil v platnost Doplněk X leteckého předpisu L2. Došlo ke změně pravidel pro používání bezpilotních jednotek.

Doplněk X rozlišuje následující typy systémů:

- Bepilotní letadlo (UA)

Letadlo, které je určeno k provozu bez pilota na palubě (může se jednat a většinou se jedná o součást bezpilotního systému). V mezinárodním kontextu jde o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel a modelů letadel.

- Bepilotní systém (UAS)

Jedná se o systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu. To je například komunikační spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bepilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.

- Model letadla

Letadlo, které není schopno nést člověka na palubě. Je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely. Není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo a je po celou dobu letu přímo řízené pilotem pomocí vysílače v jeho vizuálním dohledu.

Novinkou, s kterou přišel tento doplněk, je také nutnost registrace modelů za určitých podmínek. Úřad pro civilní letectví rozdělil modely do několika kategorií dle jejich vzletové hmotnosti. V případě, že se jedná o UAV model určený k činnosti výdělečné, výzkumné nebo experimentální, musí být vždy registrován. Na toto ustanovení už vzletová hmotnost nemá žádný vliv. Je-li daný model určený ke sportovním nebo rekreačním účelům, je povinnost provést registraci, pokud letová hmotnost přesahuje 20 kg. V případě registrace modelu letadla, se z něho automaticky stává bezpilotní letadlo nebo bezpilotní systém. Pro úspěšnou registraci stroje určeného pro výdělečnou, experimentální nebo výzkumnou činnost, musí pilot splnit praktický a teoretický test. V případě registrace modelu o vzletové hmotnosti větší než 20 kg, musí tento test splnit i pilot provozující rekreační a sportovní létání.

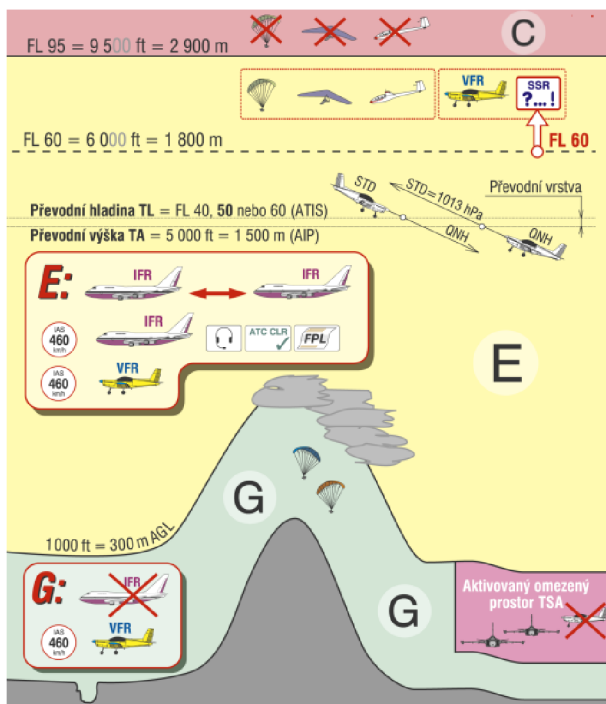
Zdroj [1], [31]

5.1 PROSTORY PRO PROVÁDĚNÍ VZDUŠNÝCH PRACÍ

V České republice dělíme vzdušný prostor na čtyři třídy, přičemž některé z nich mají spodní a horní hranici. Každý z těchto prostorů je určen pro různá využití. Pro účely leteckého snímkování je vyhrazen nejnižší prostor třídy G. Nelze opomenout, že i zde existují jistá omezení a požadavky pro zajištění bezpečnosti. Až do horní hranice této třídy 300 m AGL (above ground level) je povoleno létat pouze mimo prostory řízeného okrsku letiště (CTR) a letištní provozní zóny (ATZ). Pokud cílená oblast leží v oblasti ATZ, pak je pro létání nutná

LEGISLATIVA

domluva s provozovatelem letiště a zároveň správná koordinace s letištní letovou informační službou (AFIS). V případě, že se oblast letu nachází v řízeném okrsku letiště (CTR) v horizontální vzdálenosti větší než 5500 m a ve výšce nižší než 100 m nad zemí od vztažného bodu letiště, odpadá povinnost žádat o letové povolení a udržování stálého spojení s řízením letového provozu. Při létání v letové třídě G je nutné respektovat zakázané, nebezpečné a vyhrazené prostory. Bez potřebného povolení není možné učinit v těchto prostorách přelet.



Obrázek 41 Letové třídy v ČR.

Česká republika	SRN	Rakousko	Polsko
C	C	C	C
> FL 95	> FL 95	> FL 125	> FL 95
E	E	E	G
1000 ft AGL	2500 ft AGL	4500 (5500)ft AMSL nebo 1000ft AGL co je vyšší	G
G	G	G	G

Obrázek 40 Letové třídy v zahraničí.

Každý pilot by si měl počínat tak, aby neohrožoval ostatní letecký provoz, osoby a jejich majetek. Lze říci, že pokud bude model letadla provozován dle těchto pokynů, neměl by nastat problém s ÚCL:

- Pilot nebo odpovědná osoba má za letu dobrý výhled na model a dokázal by se případně vyhnout překážkám a ostatním letadlům.
- Nesmí létat nad osobami a hustě obydlenými místy ani v jejich nebezpečné blízkosti.
- Nepřekračovat výšku 300 m nad zemí.
- Pokud se jedná o FPV let, musí být let prováděn dvěma osobami. Druhá osoba musí udržovat stálý vizuální dohled s modelem pro případ okamžitého převzetí řízení.
- Nelétat blíže než 5,5 km od středu letiště.

Pro případy létání mimo Českou republiku je nutné řídit se zákony dané země (příklady rozdílné horní hranice třídy G v okolních státech ilustruje obrázek 40).

Zdroj [32], [33], [34]

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo poskytnout přehled dostupných a komerčních platform vhodných pro zadanou misi letu, provést srovnání jejich vlastností v rámci parametrické analýzy a na základě získaných poznatků vytvořit návrh optimalizovaného letounu.

Do přehledu bylo zahrnuto celkem 18 platform, přičemž 5 z nich se řadí mezi platformy komerční. V bakalářské práci jsou představeni zástupci čtyř kategorií: samokřídla, letouny s klasickou koncepcí, letouny s hybridní koncepcí a multikoptéry. U každé platformy byly na základě zkušeností uživatelů nalezeny nejvhodnější konfigurace pro účely této práce.

Stěžejní částí práce je druhá kapitola, která nabízí grafické porovnání všech výše zmíněných modelů a jejich testovaných konfigurací v devíti kategoriích: maximální vzletová hmotnost, energie akumulátorů, doba letu, dolet, výkon použitých motorů, plocha křídel, závislost celkové letové hmotnosti na ploše křídel, závislost celkové hmotnosti na instalovaných výkonech motorů a ceny platform. Z analýzy vyplývá rozdíl mezi letouny s pevnou a rotační nosnou plochou především v době letu a doletu. Výrazně kratší doba letu a dolet jsou u multikoptér způsobeny větším počtem motorů a jejich velkou spotřebou energie akumulátorů. Dalším rozdílem je vyšší celková letová hmotnost způsobena větším instalovaným výkonem použitých motorů. Zároveň z analýzy vyplývá podstatný rozdíl v ceně komerčních a uživatelsky dostupných platform.

Na základě zjištěných informací a grafického porovnání byl jako nejvhodnější platforma pro splnění zadané mise letu vybrán Phantom FX-61 společnosti Zeta. Tento letoun posloužil jako vzor pro vytvoření návrhu vlastního optimalizovaného modelu představeného v kapitole 4.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

Internetové zdroje:

- [1] Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla?. *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2011 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>
- [2] Skywalker X-5. *Hobbyking* [online]. 2014 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_32425_Skywalker_X_5_FPV_UAV_Flying_Wing_1180mm_EU_Warehouse_.html?strSearch=skywalker
- [3] New X5 Flying Wing for FPV from Skywalker manufacturer. 2014. RCGroups.com [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1474460&page=3>
- [4] Skywalker X-6. 2014. HobbyKing.com [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://hobbyking.com/hobbyking/store/_68811_Skywalker_X_6_FPV_Wing_EPO_150_0mm_Kit_EU_Warehouse_.html?strSearch=skywalke
- [5] Skywalker X6. 2013. RCGroups.com [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2060832>
- [6] X8 setup list. 2012. STEFAN GOFFERJE [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://stefan.gofferje.net/uav/x8-setup-list>
- [7] Skywalker X-8. *Hobbyking* [online]. 2014 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_32426_Skywalker_X_8_FPV_UAV_Flying_Wing_2120mm_EU_Warehouse_.html
- [8] RVJET FPV Flying Wing 1950mm- KIT. [2014]. RangeVideo [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.rangevideo.com/rvjet/1-rvjet.html>
- [9] RVJet distance setup. 2013. RCGroups.com [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2048753>
- [10] FX-61. 2013. ZETA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.newzeta.com/FX-61.html>
- [11] Phantom FX-61 Flying Wing 114 km Flight. 2014. DIY DRONES [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://diydrones.com/profiles/blogs/phantom-fx-61-flying-wing-110-km-flight?xg_source=activity
- [12] FX-79. 2013. ZETA [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.newzeta.com/FX-79.html>
- [13] 100KM Challenge. 2014. DYI DRONES [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://diydrones.com/profiles/blogs/100km-challenge>
- [14] BORMATEC.COM [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://bormatec.com/index.php>

- [15] TALON. 2013. X-UAV [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.x-uav.cn/EN/product/36>
- [16] Best Combination of Motors, prop and batteries for the X-UAV Talon for the Longer flight Distance. 2014. DIY DRONES [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://diydrones.com/forum/topics/best-combination-of-motors-prop-and-batteries-for-the-x-uav-talon>
- [17] SKUA. 2013. X-UAV [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.x-uav.cn/EN/product/38>
- [18] X-UAV Skua FPV Plane EPO 2100mm. 2014. RCGroups.com [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2219193&page=2>
- [19] ONE. 2013. X-UAV [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.x-uav.cn/EN/product/61>
- [20] FireFLY6. 2015. BIRDSEYEVIEW Aerobotics [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.birdseyeview.aero/products/firefly6>
- [21] S1000+. 2015. DRONA.cz [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.drona.cz/presentation/s1000-plus>
- [22] T960. TAROT [online]. 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.tarot-rc.com/index.php?main_page=product_info&cPath=65_66&products_id=1020
- [23] QUESTUAV [online]. 2015. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.questuav.com/>
- [24] EBee Ag. 2015. SenseFly [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com/drones/ebec-ag.html>
- [25] UX5. 2014. TRIMBLE [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://uas.trimble.com/ux5>
- [26] AIBOTIX [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <https://www.aibotix.com/en/>
- [27] X8-M. 3DR [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://store.3drobotics.com/products/x8-m?taxon_id=32
- [28] PX4 autopilot [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <https://pixhawk.org/choice>
- [29] APM PLANE [online]. 2015. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://plane.ardupilot.com/>
- [30] NAZA M V2 + GPS COMBO ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY PRO MULTIKOPTÉRY. 2015. DRONA.cz [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.drona.cz/item/naza-m-v2-gps-combo-ridici-jednotky-pro-multikoptery-69915>
- [31] Podle kterého předpisu se řídí provoz bezpilotních letadel / systémů? 2012. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/proc-byly-pozadavky-na-ua-stanoveny-a-podle-ktereho-predpisu>

- [32] Kde je možné bezpilotní letadla (UA) provozovat? 2012. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/kde-je-mozne-ua-provozovat>
- [33] Kde se nachází jaký druh vzdušného prostoru? (TMA, CTR, ATZ, zakázané, nebezpečné, vyhrazené, atd.). 2012. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/kde-se-nachazi-jaky-druh-vzdušneho-prostoru-tma-ctr-atz>

Knížní zdroje:

- [34] MĚŘIJOVSKÝ, Jakub. Bepilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrammetrii. 1. vydání. 169 stran. Terra notitia. ISBN 978-80-244-3923-5.

Zdroje obrázků:

- [35] Obrázek 1 <http://www.eurny-rc.fr/wp-content/uploads/2014/09/A-la-une-X5-720x380.jpg>
- [36] Obrázek 2 <http://www.campilot.tv/blog/wp-content/uploads/2014/02/Wing-X6-1.jpg>
- [37] Obrázek 3 Archiv autora
- [38] Obrázek 4 <http://www.campilot.tv/blog/wing-x8/>
- [39] Obrázek 5 <http://diydrone.com/profiles/blogs/perfect-uav-platform-the-rvjet-is-finally-here>
- [40] Obrázek 6 <http://diydrone.com/profiles/blogs/range-video-s-fpv-flying-wing-the-rvjet>
- [41] Obrázek 7 http://diydrone.com/profiles/blog/show?id=705844%3ABlogPost%3A1550230&commentId=705844%3AComment%3A1552759&xg_source=aktivita
- [42] Obrázek 8 <https://www.aircraft-world.com/en/p1097999-zt-fx61>
- [43] Obrázek 9 http://www.lightinthebox.com/4ch-epo-fx-79-buffalo-rtf-rc-airpalne-zt008_p957781.html
- [44] Obrázek 10 http://api.ning.com/files/OsG-NixX39d4-6e2jhIWRgKZLnfQDh6rfY37DhNJVr5XjkkNFwsGFH03GndLEBvT0fg1lBwVutjZaMOZr19*fJwnDQtWtyHX/IMG_20140510_165451.jpg?width=750
- [45] Obrázek 11 <http://www.birds-eye-view.nl/shop/fixed-wing/bormatec-maja-180cm/>
- [46] Obrázek 12 <http://bormatec.com/index.php/prod-engl-men/blog-2-columns>
- [47] Obrázek 13 <http://www.troybuiltmodels.com/items/TBMTALON.html>
- [48] Obrázek 14 <http://www.foxtechfpv.com/xuav-skua-fpv-plane-kit-p-1846.html>
- [49] Obrázek 15 <http://www.foxtechfpv.com/xuav-skua-fpv-plane-kit-p-1846.html>
- [50] Obrázek 16 <http://www.robotshop.com/ca/en/firefly6-vtol-y6-multirotor-drone-frame.html>
- [51] Obrázek 17 <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2162303>
- [52] Obrázek 18 <http://www.birdseyeview.aero/products/firefly6>
- [53] Obrázek 19 <http://www.getfpv.com/dji-s1000-octocopter-ready-to-fly.html>
- [54] Obrázek 20 <http://www.canadadrones.com/DJI-S1000-Premium-Octocopter-A2-and-Z15-p/dji-s1000-a2-z15.htm>
- [55] Obrázek 21 <http://www.rc-terminal.de/Tarot-T960-Hexacopterrahmen-Multikopter>
- [56] Obrázek 22 <http://www.questuav.com/store/q-pods/agri-pod/p-92>
- [57] Obrázek 23 <http://www.questuav.com/store/q-pods/agri-pod/p-92>

- [58] Obrázek 24 <http://www.questuav.com/store/uav-packages/q-200-agri-pro-package/p-148>
- [59] Obrázek 25 http://www.guiacalles.com/productos_profesionales.shtml
- [60] Obrázek 26 <http://www.aermatica.com/products/trimble-ux5/>
- [61] Obrázek 27 <https://www.aibotix.com/en/overview-aibot-uav.html>
- [62] Obrázek 28 <http://www.suasnews.com/2014/10/31867/3d-robotics-launches-new-3dr-mapping-platforms-for-fully-automated-all-in-one-2d-and-3d-mapping-drone-packages/>
- [63] Obrázek 29 <http://vespadrones.com/product/x8-m-copy/>
- [64] Obrázek 30 <http://www.dronegods.com/pixhawk-or-naza/>
- [65] Obrázek 31 <https://pixhawk.org/modules/pixhawk>
- [66] Obrázek 32 http://mikrokopter.altigator.com/ardupilot-arducopter-pixhawk-pixhawk-c-193_194.html
- [67] Obrázek 33 <https://pixhawk.org/peripherals/sensors/px4airspeed>
- [68] Obrázek 34 <https://store.3drobotics.com/products/3dr-gps-ublox-with-compass>
- [69] Obrázek 35 <http://planner.ardupilot.com/wiki/common-load-firmware-apm/>
- [70] Obrázek 36 http://www.rcjuampa.com.ar/product_info.php?products_id=1728&osCsid=306ac8dd8aa89aaf7a1b1821cba47b8f
- [71] Obrázek 37 <http://www.dji.com/product/naza-m-v2>
- [72] Obrázek 38 Archiv autora
- [73] Obrázek 39 Archiv autora
- [74] Obrázek 40 <http://www.paragliding-4u.cz/xc/rozdeleni-vzdusneho-prostoru/>
- [75] Obrázek 41 <http://www.paragliding-4u.cz/xc/rozdeleni-vzdusneho-prostoru/>

SEZNAM GRAFŮ A TABULEK

Tabulky:

Tabulka 1 Parametry a testované vybavení modelu Skywalker X-5.....	3
Tabulka 2 Parametry a testované vybavení modelu Skywalker X-6.....	4
Tabulka 3 Testované konfigurace pro FPV létání.....	5
Tabulka 4 Testované konfigurace pro UAV létání.....	6
Tabulka 5 Parametry a testované vybavení modelu Skywalker X-8.....	7
Tabulka 6 Parametry a testované vybavení modelu RV JET.....	9
Tabulka 7 Parametry a vybavení mého modelu Phantom FX-61.....	10
Tabulka 8 Parametry a testované vybavení modelu Buffala FX-79 pro stokilometrový let. ...	11
Tabulka 9 Parametry a vybavení pro dlouhý let platformy Maja.....	13
Tabulka 10 Parametry a testované vybavení modelu X-UAV Talon.....	14
Tabulka 11 Parametry a testované vybavení modelu Skua.....	15
Tabulka 12 Parametry a doporučené vybavení modelu ONE.....	16
Tabulka 13 Parametry a testované vybavení modelu FireFly 6.....	16
Tabulka 14 Parametry oktokopty DJI S1000.....	18
Tabulka 15 Parametry a testované vybavení hexakopty Tarot T960.....	19

Tabulka 16 Přehled parametrů výše zmíněných komerčních letadel.	23
Tabulka 17 Parametry multikoptéry Aibot X6.	24
Tabulka 18 Parametry a dodávané vybavení multikoptéry X8-M.	25
Tabulka 19 Přehled parametrů vybraných zástupců z předchozích kapitol.	27

Grafy:

Graf 1 Závislost maximálního doletu na instalované energii akumulátoru sestav.	28
Graf 2 Závislost maximální doby letu na instalované energii akumulátoru sestav.	28
Graf 3 Srovnání maximální vzletové hmotnosti testovaných platforem.	29
Graf 4 Přehled instalované energie akumulátorů použitých v testovaných platformách.	29
Graf 5 Srovnání maximální doby letu testovaných platforem.	30
Graf 6 Srovnání maximálního doletu testovaných platforem.	30
Graf 7 Přehled výkonů motorů instalovaných v testovaných platformách.	31
Graf 8 Srovnání spotřeb energie nainstalovaných akumulátoru za minutu letu.	31
Graf 9 Závislost maximální vzletové hmotnosti na ploše křidel jednotlivých platforem.	32
Graf 10 Závislost maximální vzletové hmotnosti na instalovaném výkonu u jednotlivých platforem.	32
Graf 11 Srovnání cen jednotlivých platforem ke dni 12. 5. 2015.	33

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

UAV	Označení pro bezpilotní letecké prostředky „unmanned aerial vehicle“
UAS	Označení pro bezpilotní letecké systémy „unmanned aerial system“
FPV	Označení pro způsob řízení modelu letadla „first person view“
EPO	Materiál určený pro stavbu letadel
EPP	Materiál určený pro stavbu letadel
RC	Označení pro dálkové řízení modelů „radio controlled“
Li-Ion	Označení pro lithium-iontové akumulátory
LiPo	Označení pro lithium-polymerové akumulátory
RTF	Označení pro stav vybavenosti modelu „ready to fly“
ARF	Označení pro stav vybavenosti modelu
CTR	Označení pro prostory řízeného okrsku letiště
ATZ	Označení pro letištní provozní zónu
AFIS	Označení pro letištní letovou informační službu
ÚCL	Zkratka Úřadu pro civilní letectví