

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Diplomová práce

Využití bezpilotních prostředků pro snímkování území

Bc. Daniel Vobinuška

© 2017 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Daniel Vobinuška

Informatika

Název práce

Využití bezpilotních prostředků pro snímkování území

Název anglicky

The utilization of unmanned aerial vehicles for aerial mapping

Cíle práce

Diplomová práce je zaměřena na využití bezpilotního prostředku se systémem ArduPilot pro účely snímkování oblastí a následné skládání snímků pro vytvoření souvislé mapy.

Hlavním cílem práce je analýza řešení dronu schopného automaticky snímkovat zadanou oblast dle předem nastavených parametrů. Vedlejším cílem je využití takového bezpilotního prostředku, který by byl dostupný z hlediska pořizovací ceny a dostačující z hlediska kvality snímkování.

Díličí cíle práce jsou:

- Analýza požadavků kladených na dron
- Realizace snímkování s využitím kompaktního fotoaparátu
- Vytvoření mapy ze snímků pomocí vhodných SW prostředků
- Porovnání výstupů jednotlivých softwarů

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na analýze odborných informačních zdrojů a vlastních poznatků. Na základě studií získaných informací a kladených požadavků specifikovaných v teoretické části bude navržen a sestaven odpovídající snímkový dron. Následně proběhne kvalitativní testování snímků a bude navrženo optimální nastavení fotoaparátu. Samotné snímkování pak bude probíhat podle předem nastavené trajektorie s různými metodami pořizování snímků. K vytvoření mapy dojde pomocí specializovaných SW. Poté budou vyhodnoceny výstupy jednotlivých softwarových řešení. Na základě syntéz teoretických poznatků a výsledků praktické části pak budou formulovány závěry diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran

Klíčová slova

Bezpilotní prostředek, dron, UAV, snímkování, ArduPilot, mapy, systém autonomního řízení

Doporučené zdroje informací

AUSTIN, Reg. Aerospace Series : Unmanned Aircraft Systems : UAVS Design, Development and Deployment (1). Hoboken, GB: Wiley, 2010. ISBN 9780262321303.

GLOVER, John M. Drone University. US: Droneuniversity, 2014. ISBN 9780692316030.

JUNIPER, Adam. The Complete Guide to Drones. Octopus Publishing Group, 2015. ISBN 9781781573075.

KARAS, J. – TICHÝ, T. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

MURPHY, Robin R. Disaster Robotics. US: The MIT Press, 2014. ISBN 9780262321303.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Jan Jarolímek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2016

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 10. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 02. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití bezpilotních prostředků pro snímkování území" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. března 2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janovi Jarolímkovi, Ph.D. za odborné vedení této diplomové práce a ochotnou spolupráci při její tvorbě. Mé poděkování patří také panu Jakubovi Karasovi ze společnosti UpVision s. r. o. za poskytnutí informací a snímků ke srovnání. Dále děkuji každému, kdo poskytl svou pomoc při vypracování této práce. Tuto práci bych rád věnoval své rodině za vytrvalou podporu během mého studia.

Využití bezpilotních prostředků pro snímkování území

Souhrn

Tato diplomová práce se zaměřuje na demonstraci využití bezpilotního prostředku pro potřeby snímkování území a následného sestavení souvislé mapy z pořízených snímků. V teoretické části je nejprve vysvětlena definice bezpilotních prostředků. Následuje seznámení s historií, včetně počátků využívání těchto prostředků pro snímkování. V dalších částech práce jsou popsány druhy bezpilotních prostředků, jejich legislativní omezení (zejména na území ČR), jejich nasazení za účelem snímkování, možné výstupy ze získaných dat, odlišnosti dronů oproti konvenčním prostředkům, další možné využití a základní parametry. Na závěr teoretické části je popsán použití řídicí systém a představena očekávaná budoucnost vývoje dronů.

Praktická část popisuje použitý dron a nezbytné vybavení. Dále je definována předletová příprava před provedením letu, včetně doporučeného nastavení parametrů fotoaparátu. Jsou popsány způsoby použité při provádění snímkování. Následuje popis provedení mise a vyhodnocení získaných dat. Získaná data jsou zpracována v několika programech a výstupem je souvislá mapa. Výstupy jsou porovnávány dle zvolených kritérií. Konec práce obsahuje závěrečné shrnutí.

Klíčová slova: bezpilotní prostředek, dron, UAV, snímkování, ArduPilot, mapy, systém autonomního řízení, multikoptéra, hexakoptéra

The utilization of unmanned aerial vehicles for aerial mapping

Summary

This master's project is focused on the demonstration of the utilization of unmanned aerial vehicles (UAVs) for aerial mapping and continuous map created of captured images. In theoretical part is first explained the definition of unmanned vehicles. Followed by the introduction to the history of drones, including the beginning of the use of these vehicles for mapping. In the following sections are described the types of UAVs, legislative restrictions for its use (especially in the Czech Republic), deployment of drones for aerial mapping, other possible use of output data, difference drones to conventional aerial vehicles, other possible use of drones and its basic parameters. At the end of the theoretical part is described the control system and introduced expected future of drone evolution.

Practical part describes the used drone and its necessary accessories. The following chapters explain pre-flight preparation, including recommended parameters option of the camera. There are described methods used to perform the mapping in the next chapter. Followed by the description of mission perform and analysis of output data. Acquired data is processed in several software tools and the output consists of a continuous map. The outputs are compared per selected criteria. The end of the practical part contains the final summary of this master's project.

Keywords: unmanned vehicle, drone, UAV, mapping, ArduPilot, maps, autonomous flight system, multicopter, hexacopter

Obsah

1	Úvod	13
2	Cíl práce a metodika	14
3	Přehled řešené problematiky	16
3.1	Definice bezpilotních prostředků.....	16
3.2	Historie bezpilotních prostředků	17
3.2.1	Historie leteckého snímkování.....	19
3.3	Druhy bezpilotních prostředků	22
3.3.1	Vzducholodě.....	22
3.3.2	Balóny.....	22
3.3.3	Letadla.....	24
3.3.4	Vrtulníky	25
3.3.5	Multikoptéry	26
3.4	Legislativní omezení.....	28
3.5	Letecké snímkování pomocí dronů	31
3.6	Další možnosti využití UAV.....	34
3.6.1	Vybavení speciálními senzory	34
3.6.2	Transport a logistika.....	35
3.6.3	Záchranné a bezpečnostní složky ČR.....	36
3.6.4	Zábava	37
3.7	Klady a zápory oproti konvenčním leteckým prostředkům	38
3.8	Základní parametry multikoptér	40
3.8.1	Velikost a typ rámu	40
3.8.2	Nosnost	40
3.8.3	Letový čas a rychlost	41
3.8.4	Řídící elektronika.....	41
3.8.5	Bezpečnostní prvky	42

3.8.6	Gimbal	43
3.8.7	Požadavky na snímkovací multikoptéru.....	43
3.9	ArduPilot Mega (APM)	44
3.10	Budoucnost Dronů	45
4	Vlastní práce	47
4.1	Použitý bezpilotní prostředek	47
4.1.1	Řízení a pozemní stanice	48
4.1.2	Fotoaparát a gimbal	49
4.1.3	Letové parametry	50
4.2	Předletová příprava.....	51
4.2.1	Nastavení řídicí jednotky.....	52
4.2.2	Příprava fotoaparátu.....	52
4.3	Příprava mise.....	55
4.3.1	Zvolené letové režimy	55
4.3.2	Způsob pořizování snímků	56
4.3.3	Definování trajektorie	57
4.4	Provedení mise.....	58
4.5	Vytvoření ortofotomapy	60
4.5.1	Image Composite Editor (ICE)	60
4.5.2	AirPhotoSE.....	62
4.5.3	Pix4D	65
4.5.4	Icaros.....	68
4.5.5	Agisoft PhotoScan Professional.....	70
4.5.6	Porovnání použitých SW nástrojů	72
5	Výsledky a diskuse.....	75
5.1	Použitý bezpilotní prostředek	75
5.2	Kvalita výstupu	76

5.3	Použité programy	78
6	Závěr	79
7	Použitá literatura	81
8	Přílohy	86
8.1	Ukázky samostatných snímků	86
8.2	Detailní výstupy jednotlivých SW	87
8.3	Další možné výstupy	92

Seznam obrázků

Obrázek 1	- drak používaný pro letecké snímání, včetně ukázky snímků [14]	19
Obrázek 2	- umístění kamery na hrudi holuba, včetně pořízených snímků [14]	20
Obrázek 3	- letecké snímání během první světové války [14]	21
Obrázek 4	- model snímovacího vrtulníku [13]	21
Obrázek 5	- balón používaný v projektu Loon [19]	23
Obrázek 6	- model bezpilotního letadla s kamerou. [vlastní foto]	24
Obrázek 7	- bezpilotní delta křídlo Parrot Disco [21]	24
Obrázek 8	- model vrtulníku KDS. [vlastní foto]	25
Obrázek 9	- kvadrokoptéra Seraphi [vlastní foto]	26
Obrázek 10	- chování multikoptéry při otáčení kolem vlastní osy [24]	27
Obrázek 11	- přehled základních požadavků na bezpilotní systémy [30]	29
Obrázek 12	- indexní mapy z multispektrálních snímků [36]	34
Obrázek 13	- Ambulance Drone [38]	35
Obrázek 14	- doručovací dron společnosti DHL [39]	35
Obrázek 15	- dron Policie ČR [40]	37
Obrázek 16	- mikrooptéra Cheerson CX - 10 [vlastní foto]	38
Obrázek 17	- závodní FPV dron [45]	38
Obrázek 18	- jednotka APM [48]	44
Obrázek 19	- příklad volitelného vybavení. 1 - Modul sledování napětí. 2 - Motionflow senzor [vlastní foto]	45
Obrázek 20	- hexakoptéra využitá pro práci [vlastní foto]	47
Obrázek 21	- hexakoptéra včetně použitého vybavení [vlastní foto]	49

Obrázek 22 - přeexponovaný snímek se zaniklými detaily [vlastní foto]	54
Obrázek 23 - tmavý snímek před úpravou [vlastní foto]	55
Obrázek 24 - upravený snímek s detaily [vlastní tvorba]	55
Obrázek 25 - rozdíl v uspořádání snímků v automatickém a manuálním letu [13].....	56
Obrázek 26 - script pro jednotlivé snímky [vlastní tvorba]	57
Obrázek 27 - script pro snímkování ve smyčce [vlastní tvorba]	57
Obrázek 28 - vypočítaná trajektorie pro automatický let v SW mission planner [vlastní tvorba].....	58
Obrázek 29 - znázornění trajektorie letu v manuálním režimu [vlastní tvorba].....	59
Obrázek 30 - mapa vytvořená v programu ICE [vlastní tvorba]	61
Obrázek 31 - ICE – nepřesné napojení snímků [vlastní tvorba].....	62
Obrázek 32 - mapa vytvořená v AirPhotoSE [vlastní tvorba]	64
Obrázek 33 - AirPhotoSE – viditelné přechody mezi snímky [vlastní tvorba]	65
Obrázek 34 - výstup vytvořený v Pix4D [vlastní tvorba].....	67
Obrázek 35 - Pix4D – nalezené nesrovnalosti [vlastní tvorba]	68
Obrázek 36 - mapa vytvořená v programu Icaros OneButton [vlastní tvorba]	69
Obrázek 37 - Icaros – nalezené nesrovnalosti [vlastní tvorba].....	70
Obrázek 38 - mapa vytvořená v programu Agisoft [vlastní tvorba].....	71
Obrázek 39 - Agisoft – nalezené nesrovnalosti (vlevo použitý DEM, vpravo Mesh model) [vlastní tvorba].....	72
Obrázek 40 - porovnání výstupu s mapovými podklady aplikace Google Earth [vlastní tvorba].....	77
Obrázek 41 - foto pořízené společností UpVision [zdroj: UpVision s.r.o.]	78

Seznam tabulek

Tabulka 1 - požadavky na bezpilotní prostředky dle hmotnosti a určení [31]	30
Tabulka 2 - porovnání způsobů snímkování [35]	33
Tabulka 3 - rozdíly letových časů [vlastní tvorba]	51
Tabulka 4 - bodové hodnocení dle stanovených kritérií [vlastní tvorba]	73

Seznam příloh

Příloha 1 - snímek oblasti a.....	86
-----------------------------------	----

Příloha 2 - snímek oblasti b	86
Příloha 3 - mapa vytvořená v AirPhotoSE.....	87
Příloha 4 - mapa vytvořená v Image Composite Editor.....	88
Příloha 5 - mapa vytvořená v Pix4D.....	89
Příloha 6 - mapa vytvořená v SW Icaros	90
Příloha 7 - mapa vytvořená v SW Agisoft.....	91
Příloha 8 - model terénu vytvořený v SW Agisoft	92
Příloha 9 - počet překryvných snímků oblasti – Agisoft	92
Příloha 10 - digitální model povrchu – Pix4D	93
Příloha 11 - trojrozměrné zobrazení oblasti. Pix4D	94
Příloha 12 - pozice získání snímků, včetně vypočtených klíčových bodů. Pix4D	95

1 Úvod

Bezpilotní prostředky byly na počátku své existence určeny primárně pro vojenské využití jako špionážní nástroje využívané ke snímkování. Rozvoj moderních technologií vedl k nárůstu potenciálu jejich využití a s rostoucím počtem nasazených dronů došlo postupně také k jejich rozšíření do civilní sféry. V dnešní době jsou bezpilotní prostředky využívány ve většině oblastí, kde by nasazení konvenčních prostředků nebylo možné, ať už z důvodu jejich velikosti nebo ochrany posádky. Oblasti využívání dronů neustále rostou a dochází rovněž ke vzniku nových firem zaměřených primárně na letecké práce pomocí bezpilotních prostředků. Na trhu lze rovněž nalézt velké množství dostupných dronů určených jak pro práci, tak pro zábavu.

Vzhledem k dnes již snadno dostupným mapovým podkladům zahrnujícím také družicové a letecké snímky roste také obliba jejich využívání nejen pro komerční účely ale také k soukromým potřebám. Letecké mapy lze nalézt zdarma na specializovaných mapových serverech (např. Google maps, mapy.cz atd.), které se starají o aktuálnost poskytovaných dat. Existují také možnosti objednání snímků z komerčních družic nebo snímkovacích letadel pro vybrané území. V případě menších oblastí to však stále znamená vysoké pořizovací náklady a nedostatečnou kvalitu detailů.

Právě pro potřeby malých oblastí, kde jsou kladeny vysoké nároky na kvalitní snímky dochází k nasazení snímkovacích bezpilotních prostředků. Jejich velikost a finanční nároky na provoz z nich v porovnání s konvenčními stroji dělají ideální nástroje pro toto využití. Nasazení bezpilotních prostředků umožňuje rovněž častější aktualizaci snímků vybrané oblasti. I přes velké množství nabízených komerčních snímkovacích dronů existuje také alternativní způsob pořízení v podobě složení vlastního stroje vybaveného libovolným řídicím systémem a s použitím komponent odpovídajícím finančním možnostem uživatele. Takto sestavený dron vybavený kompaktním digitálním fotoaparátem byl využit také pro pořízení snímků, které jsou podkladem pro tuto práci.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této práce je demonstrace využití bezpilotního prostředku v oblasti snímkování území, včetně analýzy získaných dat a následného vytvoření ortofotomapy s využitím vybraných softwarových prostředků. Vedlejším cílem je snaha přiblížit se vlastnostem profesionálních strojů při zachování nízkých finančních nároků použitím vlastního sestaveného dronu. Návrhu bude předcházet definování požadavků, které musí výsledný stroj splňovat, aby byl schopen plnit zadanou činnost. Z těchto požadavků pak budou vybrány vhodné komponenty pro kompletování. Pro systém automatického létání bude použit řídicí systém ArduPilot vycházející z programovací platformy Arduino. Snímkování bude prováděno pomocí běžně dostupného kompaktního fotoaparátu s cílem minimalizovat pořizovací náklady při zachování odpovídající kvality snímání. Vytvoření souvislé mapy z pořízených snímků bude demonstrováno na vybraných softwarových nástrojích, které budou hodnoceny na základě stanovených kritérií. V závěru práce dojde ke zhodnocení získaných výsledků a k posouzení naplnění cílů.

Teoretická část bude založena na studiu odborných zdrojů. V úvodní části dojde k vysvětlení samotného pojmu bezpilotní prostředek, včetně historie těchto strojů a jejich využití ke snímkování. Další část se věnuje kategorizaci různých typů bezpilotních prostředků, se kterými se lze v praxi setkat, včetně jejich výhod a nevýhod. Součástí práce budou také legislativní omezení (zejména na území ČR), se kterými se dnešní drony potýkají. Dojde k seznámení s možnostmi nasazení těchto prostředků pro účely pořizování leteckých snímků a výhodami, které jsou spojeny s jejich využíváním. Budou také představeny další možné oblasti využití těchto prostředků v reálném provozu pro civilní i státní sektor a jejich klady a zápory v porovnání s konvenčními leteckými prostředky. Dojde k seznámení se základními parametry rozlišovanými u multikoptér, včetně shrnutí nejdůležitějších vlastností, na které jsou kladeny nároky při využití v leteckém snímkování. Další část bude tvořit charakteristika systému automatického řízení ArduPilot, popis funkcí, požadavky na implementaci a další možná podporovaná rozšíření. V závěru teoretické části dojde k nastínění možného vývoje a role, kterou by v budoucnu mohly bezpilotní prostředky zastávat v každodenním životě lidí.

Praktická část se zabývá samotným návrhem a využitím bezpilotního prostředku pro snímkování oblastí, analýzou získaných dat a jejich dalším zpracováním. V úvodu bude představena multikoptéra sestavená na základě požadavků shromážděných v teoretické části.

Budou popsány zvolené komponenty, včetně důvodu jejich volby. Dojde k výpočtu základních letových údajů důležitých pro snímkování a následnému porovnání se skutečně naměřenými hodnotami. Další část bude věnována nastavení systému ArduPilot, jeho kalibraci zajišťující správnost měřených údajů a popisu použitého softwaru. Bude popsán způsob modifikace fotoaparátu pro umožnění komunikace se systémem pro definování funkce automatické spouště na předem definovaných souřadnicích nebo samostatného kontinuálního snímkování během letu. Oba způsoby pořizování snímků budou popsány a porovnány. Fotoaparát bude také testován s rozličným nastavením, díky čemuž bude zvoleno to, které nejvíce odpovídá nejvyšší kvalitě finálního snímku. Po shromáždění snímků budou představena vybraná softwarová řešení, která lze použít pro jejich kompletaci do souvislého obrazu, resp. mapy. Bude provedeno porovnání pomocí bodového hodnocení z hlediska přesnosti zpracování, viditelnosti přechodů mezi snímky, rychlosti zpracování, uživatelského prostředí, množství výstupních formátů, hardwarových nároků a pořizovací ceny. V závěru práce dojde k vyhodnocení získaných údajů, jejich porovnání s dostupnými výstupy a budou formulována doporučení pro zkvalitnění výsledků.

3 Přehled řešené problematiky

3.1 Definice bezpilotních prostředků

Bezpilotní prostředky jsou v dnešní době, především díky masivnímu rozšíření tzv. multikoptér (více motorové vrtulníky), známé především pod pojmem drony. Oficiálně se ale označují anglickým termínem UAV – Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letecký prostředek). V české vojenské terminologii se pak lze setkat také s označením BZP (bezpilotní prostředky). Hlavním rozdílem oproti konvenčním leteckým strojům je absence lidské posádky přímo na palubě stroje.

Bezpilotní prostředek může být ovládán dálkově, kdy pilot řídí stroj z pozemního stanoviště v bezpečné vzdálenosti nebo dokáže letět samostatně, na základě předem naprogramovaného letového plánu. Moderní bezpilotní prostředky (především armádní) dnes již využívají komplexní dynamické autonomní systémy, které umožňují dlouhodobější fungování bez nutnosti zásahů operátora. [1]

Úřad pro civilní letectví (ÚCL) rozlišuje v této souvislosti 3 pojmy. Bezpilotní letadlo, bezpilotní systém a model letadla. Za model letadla se považuje každé letadlo, které není schopno nést člověka na palubě a zároveň není vybaveno žádnou technologií umožňující automatický let. Bezpilotní letadlo je potom definováno přímo jako: „*letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.*“. Za bezpilotní letadla se považují všechna bezpilotní letadla vyjma modelů letadel s maximální vzletovou hmotností do 20 kg. Bezpilotní systém pak ÚCL definuje jako: „*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.*“. [2]

V praxi existuje mnoho typů bezpilotních prostředků a jejich klasifikace bývá mnohdy složitá. Nejčastěji se lze setkat se stroji s pevným křídlem (letadla klasické konstrukce) a rotorovými letadly (vrtulníky, multikoptéry). Zvláštním typem pak můžou být například balony či vzducholodě. V ČR jsou jednotlivé typy bezpilotních prostředků blíže klasifikovány v předpisech ÚCL. [3]

Odvodit přesnou definici bezpilotních prostředků není snadné a výkladů pro tyto stroje existuje mnoho. Rozlišení strojů dle typů konstrukce je nutné z hlediska legislativy. Přesné vymezení ale vyžaduje například i armáda, kde je sporným problémem v klasifikaci opakovaná použitelnosti prostředku. Existují stroje, jejichž vlastní zničení je součástí jejich funkce (např. terčové bezpilotní prostředky). Dle definice o bezpilotním prostředku by se

pak dala za takovýto prostředek považovat například i střela s plochou dráhou letu. Ve většině definicí se proto vyskytuje dodatek, který říká, že lidská obsluha musí mít možnost ovlivnit nebo převzít řízení. [4]

I přesto, že tyto stroje nevyžadují na palubě lidskou posádku, stará se o jejich řízení obvykle více lidí než v letadlech řízených piloty přímo. Zejména armádní bezpilotní prostředky vyžadují kromě pilota také například navigátora, obsluhu senzorů, kamer atd. Důležitým prvkem se tak stává zmíněný bezpilotní systém, který tvoří nedílnou součást bezpilotního prostředku, poskytuje důležité informace obsluze a stará se o řízení v režimu autopilota. Schopnosti těchto systémů udávají schopnosti celého zařízení. I dva stejné drony tedy nemusí dosahovat stejných kvalit, pokud jsou vybaveny různými bezpilotními systémy.

3.2 Historie bezpilotních prostředků

Ačkoliv se může zdát, že vznik bezpilotních prostředků byl umožněn až rozvojem moderní technologie dnešní doby, tyto stroje existovaly již v době před vznikem počítačů. Svými možnostmi se pochopitelně nemohly rovnat dnešním strojům, avšak základní předpoklady pro bezpilotní prostředky splňovaly.

První zdokumentované nasazení bezpilotního prostředku se uskutečnilo v srpnu roku 1849, kdy rakouští vojáci vyslali přibližně 200 nepilotovaných horkovzdušných balónů s připevněnými bombami na italské město Benátky. Bomby s časovými spínači měly být v přesný okamžik odhozeny na město a při dopadu vybuchnout. Vlivem vzdušných proudů byly ale některé z bomb zaneseny zpět na území ovládané rakouskými vojsky a vybuchly tam. Tato událost se také kromě prvního použití bezpilotního prostředku zapsala do historie jako první využití plošného bombardování. Pro podobné prostředky bylo později zavedeno označení unmanned aerial bomber. [5]

K největšímu rozvoji UAV dochází přirozeně v období válek. Během první světové války sloužily stroje bez pilota především k pořizování fotografií nepřátelského území nebo jako cvičné cíle pro nácvik střelby pilotů. Prvním pokusem o motorový bezpilotní letoun byl v roce 1916 stroj nazvaný Aerial Target (AT), za jehož vznikem stál britský kapitán RAF Archibald M. Low. Letoun měl primárně sloužit k ničení vzducholodí nebo jako „létající bomba“. K letounu bylo navrženo i rádiové řízení, které mělo umožnit ovládat stroj ze země. Po počátečních nezdarech byl ale projekt ukončen a k jeho sériové výrobě nikdy nedošlo. Další prostor pro zdokonalení technologie poskytla druhá světová válka. Například americká armáda využívala rádiově řízené letouny pro nácvik protiletadlové obrany. Asi neznámějším

zástupcem bezpilotních prostředků této doby se stala německá střela V-1. Tento druh létající bomby nebyl řízen dálkově, ale fungoval na principu jednoduchého autopilota, který se snažil udržet střelu na naprogramované trajektorii k cíli. Střely byly odpalovány pomocí katapultu, který je vystřelil směrem na cíl. Problémem bylo, že tehdejší technologie autopilota nevládala reagovat na měnící se okolní podmínky a nekompenzovala tak například změny intenzity vzdušného proudění. Z tohoto důvodu zasáhla cíl pouze přibližně ¼ vyslaných raket. Americkým pokusem o sestrojení plnohodnotného bezpilotního prostředku byl projekt nazvaný Operation Aphrodite. V tomto případě se na rozdíl od dříve zmiňovaných projektů jednalo o přeměnu standardně pilotovaných bombardérů B-17 na dálkově řízené bomby za účelem ničení odpalovacích stanovišť německých raket typu V a jiným odolným cílům. Vzhledem k delšímu doletu bylo nutné během cesty sledovat údaje na přístrojích. Tehdejší technika ale nedovolovala zasílání telemetrických údajů přímo do stanoviště. Letadla proto byla vybavena televizními kamerami a přenosovým zařízením, které obraz z kokpitu přenášelo do pozemního stanoviště. Další nevýhodou byla skutečnost, že autopilot nedokázal s letadlem samostatně vzlétnout. K tomuto úkonu bylo zapotřebí 2 členů posádky, kteří s letadlem vystoupali do výšky 2000 stop a vyskočili s padáky. Ani tyto pokusy nebyly příliš úspěšné, zejména díky způsobu řízení a přenosu dat. [6], [7], [8], [9]

Za zlomový moment v používání bezpilotních prostředků se považuje válka ve Vietnamu, ve které americká armáda hojně využívala těchto prostředků pro plnění různorodých misí. Značně využívaným se stal původně terčový letoun Ryan Q-2 Firebee poháněný proudovým motorem. Díky jeho následným modifikacím zastával také roli průzkumného stroje. Existoval také typ určený pro odpalování zpod křídel pilotovaných letadel. Celkově vzniklo přes 20 různých variant pro operace v různých výškách a s různým vybavením. Při svých misích tak kromě denních či nočních fotoaparátů mohl nést například i vrhače letáků. Spekulovalo se také o verzi schopné nést řízené střely. I přes dobré výsledky testů byl nápad zamítnut s odůvodněním, že by to znamenalo nežádoucí konkurenci pro pilotované stroje. [10], [4]

K dalšímu rozvoji dále docházelo především díky dalším vojenským konfliktům, kdy jednotlivé strany začaly postupem času vnímat bezpilotní prostředek spíše než konkurenci pro piloty jako ideální bojový nástroj, díky kterému nedochází k ohrožení životů posádek. Zatímco v dobách počátku UAV neexistovaly dostatečně výkonné systémy řízení a sběru

telemetrických dat a často se potýkaly s problémy se spolehlivostí, v dnešní době jsou již nasazovány jako plnohodnotné nástroje v boji. Nejznámějším zástupcem vojenského dronu je americký MQ – 1 „Predator“, který se stal plnohodnotnou součástí letectva spojených států. Původním účelem bylo monitorování oblastí, později byl vybaven také řízenými střelami. O jeho řízení se stará pilot a dva operátoři vyhodnocující údaje ze senzorů (celkový počet osob udržující letoun je 55). O tom, že se s bezpilotními prostředky v armádách počítá i v budoucnu mluví počet aktivně nasazených Predátorů, který čítá přibližně 97 kusů. Dalším nástupcem toho letounu se stal MQ-9 „Reaper“, který byl již od počátku prezentován jako zbraň pro boj s terorismem. [11], [12]

Díky technologii vyvinuté armádními složkami se pak tyto drony stávají dostupné i pro civilní sektor, kde nacházejí mnohá uplatnění v oblasti záchrany osob, monitorování či pro osobní využití. Především v posledních letech narůstá počet dronů ve vlastnictví jedinců, zejména díky cenové dostupnosti a velkému množství nabízených druhů od hraček, až po profesionální nástroje se schopnostmi přibližujícími se armádním dronům.

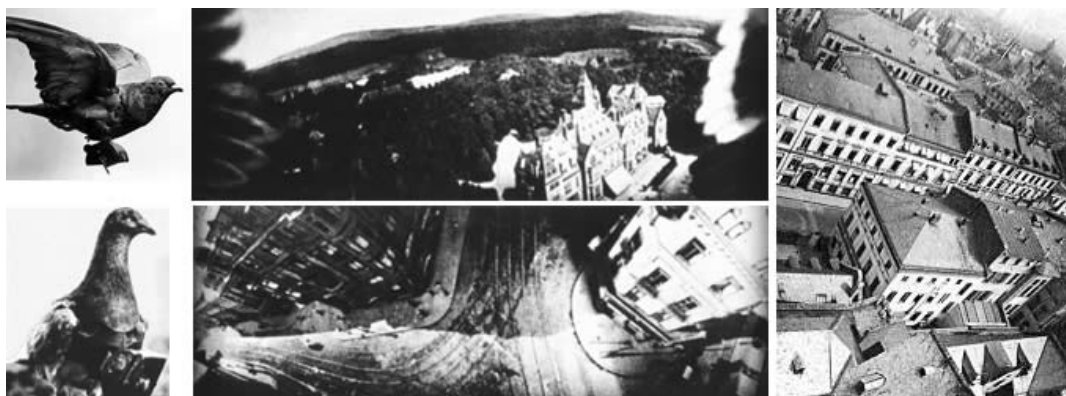
3.2.1 Historie leteckého snímkování

První letecká fotografie byla pořízena roku 1858 G. P. Tourchanem z uvázaného horkovzdušného balónu, který tím položil základ leteckému snímkování. K pořízení fotografií však stále bylo potřeba posádky na palubě. Za Prvním snímek pořízeným skutečným bezpilotním prostředkem stojí Douglas Archibald, anglický meteorolog, který v roce 1883 pořizoval fotografie z fotoaparátu připevněného na drakovi. Tato metoda snímkování se s oblibou používá dodnes jako tzv. KAP (Kite Aerial Photography). [10], [13]



Obrázek 1 - drak používaný pro letecké snímkování, včetně ukázky snímku [14]

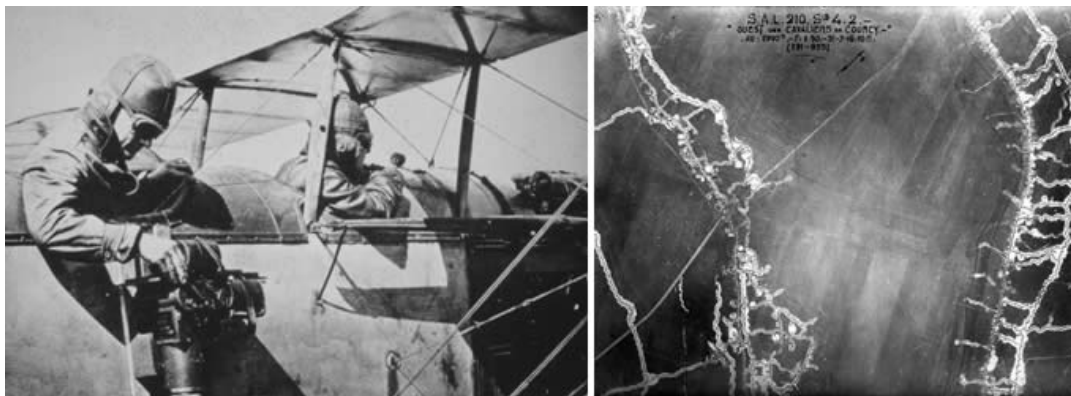
V roce 1903 navrhl německý konstruktér Julius Neubranner miniaturní fotoaparát určený k připevnění na hrud' poštovních holubů. Tento fotoaparát pak automaticky pořizoval snímky z trasy každých 30 vteřin letu. Takto cvičení holubi byli používáni především pro vojenské a špionážní účely, když byli ale v roce 1909 představeni v Drážďanech na mezinárodní fotografické výstavě, staly se jimi pořízené snímky velmi populární a díky tomu byly později umísťovány na dopisní pohledy. Mezi další netradiční způsoby pořizování snímků patří například fotoaparát vyneseny do vzduchu pomocí rakety. První takový pokus uskutečnil švédský vynálezce Alfred Nobel v roce 1897. Na jeho pokusy navázal v roce 1906 Němec Albert Maul, který využíval raketu s pohonem na stlačený vzduch. Ta vynesla fotoaparát do výšky přibližně 800 metrů, kde byly pořízeny snímky a následně se oddělený přístroj snesl zpět na zem pomocí padáku. Během svých pokusů testoval také systém stabilizace fotoaparátu pomocí gyroskopu. V roce 1912 představil svou vylepšenou raketu rakouské armádě. Tou dobou se však již k tomuto účelu jevila jako více efektivní letadla. [13], [14]



Obrázek 2 - umístění kamery na hrudi holuba, včetně pořízených snímků [14]

Fotografie pořízená z letadla vznikla v roce 1909 ve stroji pilotovaném Wilburem Wrightem, kdy byl jeho pasažérem pořízen snímek vojenské oblasti nedaleko Říma. Velkého rozmachu se letecké snímky dočkaly během první světové války, kde nahradily náročné a mnohdy nepřesné náčrtů území pořízené leteckými pozorovateli. Během konfliktu byly vyvíjeny speciálně určené fotoaparáty vybavené například infračerveným snímačem. Velký problém po dlouhou dobu představovala stabilizace obrazu a rychlost závěrky fotoaparátu. Ke konci války vynalezl americký vynálezce Sherman M. Fairchild fotoaparát se závěrkou usazenou uvnitř čočky, což výrazně zlepšilo kvalitu obrazu. Tato konstrukce se poté stala standardem pro systémy leteckého snímání na dalších 50 let. Po válce dále využíval svůj vynález pro nevojenské účely, například když pořídil sérii po sobě jdoucích fotografií

ostrova Manhattan a vytvořil z nich souvislý snímek. Fotografie se stala velmi populární, především u velkých měst, a položila základ pro vznik leteckých společností specializujících se na územní snímkování. [14]



Obrázek 3 - letecké snímkování během první světové války [14]

K počátkům využívání bezpilotních prostředků k nevojenským účelům docházelo především ve vyspělých zemích (Japonsko, Německo), ve kterých se rozvíjelo letecké modelářství. To tvořilo důležitý technologický základ. V roce 1979 sestrojili Przybilla a Wester – Ebbinghaus model dálkově řízeného letadla o rozpětí 2,6 m s cílem zmapovat oblast archeologického naleziště. První použití UAV s rotačním křídlem měl na svědomí Wester – Ebbinghaus o rok později. Jeho základem byl model helikoptéry s nosností 3 kg doplněný o závěs na kameru eliminující vibrace. [15]



Obrázek 4 - model snímkovacího vrtulníku [13]

Díky absenci posádky na palubě bezpilotních prostředků lze minimalizovat jejich potřebnou velikost a také dochází ke značné úspoře požadované nosnosti stroje. Se zdokonalováním snímacích nástrojů se tak UAV stávají ideálními adepty k vykonávání

této činnosti. Bezpilotní prostředky jsou také méně náročné na provoz, a tak je snímkování oblastí dostupné pro širší veřejnost. Navíc nevzniká nebezpečí zranění posádky v případě havárie. V dnešní době jsou digitální fotoaparáty a kamery usazovány standardně do gyroskopických stabilizátorů, které zajistí ostré snímky bez ohledu na výkyvy či vibrace nosného prostředku. Letecké snímkování se tak stává běžně dostupnou službou využitelnou například při tvorbě územních plánů, zemědělských studií či pro soukromé účely.

3.3 Druhy bezpilotních prostředků

Bezpilotních prostředků existuje v současné době více druhů. Každý má odlišné parametry, a proto se hodí k odlišným úkolům. Náklady na pořízení modelů těchto bezpilotních prostředků jsou dnes na takové úrovni, že je možné pořídit je v řádu tisíci korun s kompletním vybavením a připravené k letu. Díky tomu dochází k jejich rozšíření a objevují se nové možnosti využití. V této kapitole budou popsány základní konstrukční typy, jejich možné využití, včetně výhod a omezení.

3.3.1 Vzducholoď

Tyto prostředky patří do kategorie letadel lehčích než vzduch. Dříve byly plněny vodíkem, který ale v moderní době nahradilo z bezpečnostních důvodů helium. Ačkoliv se vzducholoď od dob své největší slávy používaly jen málo a jako dopravní prostředky se nemohou rovnat moderním letadlům, v současné době se jeví jako ideální prostředky určené pro dlouhodobý pobyt ve vzduchu. Zájem o ně projevují především armády a bezpečnostní složky k pozorovacím úkolům na místech s velkou koncentrací lidí nebo monitorování nepřátelského pohybu. Kromě dlouhé letové doby jsou vhodnými adepty pro letecké snímkování také z důvodu rychlosti jejich pohybu. Pomalejší a plynulý pohyb neklade takové nároky na stabilizaci záznamových zařízení. Jejich hodinový provoz je také v porovnání s letadly méně nákladný. Největším problémem při provozu vzducholodí je jejich omezená schopnost pohybu při zhoršených povětrnostních podmínkách. V současné době vznikají tzv. hybridní vzducholoď, tedy vzducholoď těžší než vzduch, které se udrží ve vzduchu z části díky heliu a z části působením aerodynamického vztlaku. [16]

3.3.2 Balóny

Balóny jsou oblíbeným a častým nástrojem použitým pro snímkování především z důvodu nízkých nákladů na jejich provoz a relativně snadné realizaci. Obvykle jsou používány meteorology za účelem předpovědi počasí. Podobný způsob měření je používán

i Českým hydrometeorologickým ústavem, který vysílá třikrát denně balóny do stratosféry, odkud získává potřebná data. Pokud nenese balón dražší měřicí zařízení, nebývá obvykle vybaven žádným sledovacím prostředkem a nepočítá se s jeho zpětným nálezem ani opakovaným použitím. Mapovací balóny vybaveny fotoaparáty nesou na palubě také GPS lokátor, pomocí kterého je lze lokalizovat během letu i po dopadu zpět na zem. Tyto balóny jsou rovněž určeny do velkých výšek a pořizují záznamy ze stratosféry. Kromě odborníků jsou často vysílány také amatérskými nadšenci. Levnější alternativu představují uvázané balóny. Ty jsou určeny do výšky cca 150 metrů a k udržení ve vybrané oblasti slouží kotevní lana. Pro opakované používání je tedy potřeba pouze měnit heliovou náplň balónu. Kromě návodů od těchto nadšenců jsou k dispozici ke koupi také kompletní sady pro stavbu takového balónu. Tato metoda byla použita například aktivisty při monitoringu kácení stromů na Šumavě. Nevýhodou takovýchto metod snímkování jsou omezené možnosti řízení letové dráhy [17], [18]

Mezi další moderní způsoby využití balónů patří projekt Loon společnosti Google. Cílem projektu je vyslat balóny nesoucí zařízení pro bezdrátové LTE připojení k internetu do hůře přístupných oblastí s cílem poskytnout tuto službu i lidem z méně vyspělých zemí. Balóny jsou navrženy pro více než 100denní pobyt ve stratosféře, po kterém se kontrolovaným sestupem vrátí zpět na zem. Ovládáním výšky letu je umožněno také do jisté míry kontrolovat dráhu letu díky vzdušným proudům. Větší množství balónů vyslaných v intervalech po sobě pak zajistí dostatečné pokrytí k připojení. Projekt byl spuštěn na Srí Lance v roce 2015 a zájem má také Indonésie, která takto plánuje pokrýt své ostrovy. [19]



Obrázek 5 - balón používaný v projektu Loon [19]

3.3.3 Letadla

Letadla patří mezi nejčastěji využívané bezpilotní prostředky. Především díky snadnějšímu ovládní (než například u vrtulníků), většímu doletu, nosnosti a také delší letové výdrži. Hodí se spíše k činnostem, které vyžadují pokrytí větších oblastí. V případě selhání pohonné jednotky jsou také na rozdíl od vrtulníků a multikoptér schopna přistát bez většího nebo žádného poškození. Podobná výhoda nastává i v případě chyby pilota, který má více času na chybu zareagovat než v případě prostředků s rotačním křídlem. Aby si letadlo udrželo výšku, musí udržovat stálý dopředný pohyb, který generuje potřebný vztlak. Nemůže tedy vykonávat například inspekční činnosti, při kterých se vyžaduje nehybné visení ve vzduchu nebo velmi pomalý pohyb. [20]



Obrázek 6 - model bezpilotního letadla s kamerou. [vlastní foto]

Existuje více typů konstrukcí, se kterými se lze u letadel setkat. Každá přináší specifické výhody i nevýhody. Nejčastějším typem bývají dolno či hornoplošníky, popř. dvouplošníky či tzv. samokřídla (letadlo tvořené pouze „křídlem“. Někdy označováno také jako deltakřídlo). Jedním ze zástupců automatických bezpilotních prostředků z řad delta křidel je například Parrot Disco od společnosti Parrot. [21]



Obrázek 7 - bezpilotní delta křídlo Parrot Disco [21]

S příchodem moderních elektronických systémů autopilotů, které dovolují instalaci téměř do každého již postaveného letadla, se tyto prostředky stávají dostupnější nejen z hlediska financí ale také díky snadné obsluze. Pro snímkování rozsáhlejších oblastí z větších výšek jsou letadla nejvhodnější variantou. Nevýhodou je potřebný prostor pro vzlet a přistání, který se zvláště v obydlených oblastech může obtížně hledat. Současné modely letadel z odolných lehkých materiálů potřebují zpravidla jen minimum prostoru. Existují také řešení s kolmým startem a přistáním, která tuto nevýhodu eliminují úplně.

3.3.4 Vrtulníky

Vrtulník se řadí mezi letadla s tzv. rotorovým křídlem. Ke svému letu tedy potřebuje motor, který udržuje horizontálně rotující nosné plochy v chodu. Kromě hlavního rotoru musí být opatřen také ocasním rotorem (případně druhým horizontálním rotorem), který kompenzuje vzniklý krouticí moment a umožňuje vrtulníku otáčet se kolem vlastní osy. V porovnání s letadly jsou vrtulníky ztelně náročnější na pilotáž a náchylnější k poškození v případě nehody či chyby pilota. Největší výhodou je schopnost vertikálního vzletu i přistání, což mu umožňuje operovat v malém prostoru. V zastavěné oblasti je tak vhodnějším prostředkem než letadlo a díky schopnosti vznášet se na místě je vhodný například k revizním činnostem kolem budov či jiných staveb. Použití vrtulníku je také vhodné v případě snímkování méně rozlehlých oblastí z nižších výšek nebo oblastí nepřístupných pro klasická letadla. V této činnosti je však postupně nahrazují multikoptéry, které minimalizují některé jejich nedostatky. [22]



Obrázek 8 - model vrtulníku KDS. [vlastní foto]

Pro lepší stabilizaci při vznášení vybavují někteří výrobci své vrtulníky speciálními kamerami, které snímají povrch pod vrtulníkem a automaticky ho pomáhají udržet v neměnné poloze. Jedním z takových výrobců je například společnost KDS, která kameru doporučuje jako podpůrný systém pro začátečníky. Fixaci polohy je ale také vhodné použít právě při snímání. Podobné vybavení lze dokoupit také samostatně, ale obvykle má dané pevné umístění na helikoptěře, které je vhodné dodržet a nemusí být kompatibilní se všemi typy. Vybrané modely vrtulníků jsou dnes vybaveny samostatným naklápěním rotorových listů, což umožňuje udržovat konstantní otáčky a tím redukovat případné vibrace fotoaparátu způsobené jejich změnou. [23]

3.3.5 Multikoptéry

Multikoptéry lze definovat jako více než dvou rotorové vrtulníky. Svě bližší pojmenování získávají dle počtu nosných rotorů, kterých bývá nejčastěji 4 (kvadrokoptéra), 6 (hexa) nebo 8 (octo). Možné je ale použít libovolný (obvykle sudý) počet. Existují také různé typy konstrukcí s odlišným uspořádáním motorů. Nejčastějším důvodem jejich použití je především snadné ovládání, stabilita a jednodušší konstrukce. S postupným vývojem dochází k miniaturizaci řídicích prostředků, a kromě profesionálních strojů dnes existují také miniaturní multikoptéry schopné létat v malých prostorech.

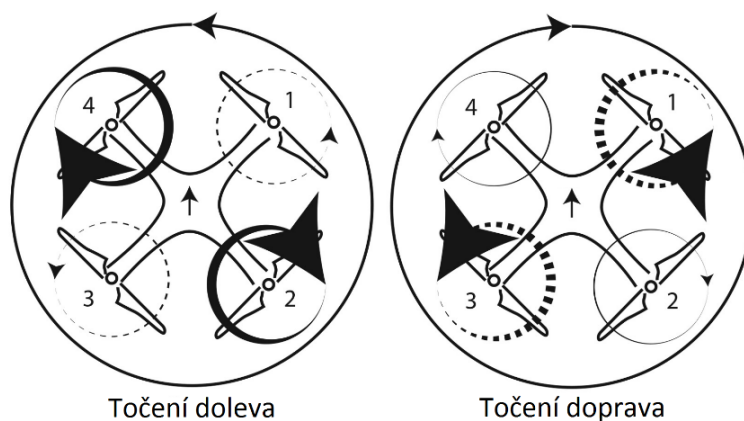


Obrázek 9 - kvadrokoptéra Seraphi [vlastní foto]

Od konvenčních vrtulníků se liší především tím, že ke kompenzaci krouticího momentu nepotřebují ocasní rotor. To je dáno odlišnou koncepcí jejich řízení. Na rozdíl od vrtulníků využívají multikoptéry systém protiběžných vrtulí (levotočivých a pravotočivých), díky čemuž působí reakční momenty jednotlivých rotorů v obou směrech

a automaticky se kompenzují. Stejně otáčky všech motorů tak znamenají stabilní vznášení stroje bez točení kolem vlastní osy. Výhodou oproti helikoptérám je jednodušší mechanika rotoru, což má za následek snazší údržbu a menší riziko selhání než v případě složitých rotorových hlav vrtulníků. Při letu působí vítr na vrtulník odlišně v oblasti kabiny a vyrovnávacího rotoru. Působení větru na ocasní rotor má za následek jeho vychylování a je proto potřeba zásahů pilota, aby tento pohyb kompenzoval. Tento problém u multikoptér díky absenci vyrovnávacího ocasního rotoru nevzniká. [13], [24]

Odlišné je i samotné řízení multikoptér. Zatímco vrtulníky nejčastěji využívají k manévrování pohyblivé rotorové hlavy společně s naklápěním rotorových listů, zde jsou ve většině případů použity vrtule s pevným stoupáním přidělané přímo k hřídeli motoru bez další možnosti pohybu. Ke změně směru, výšky či orientace tak dochází pouze změnou otáček jednotlivých motorů. K pohybu využívá multikoptéra naklánění, které způsobí změnu proudění vzduchu od vrtulí a tím jí vyše daným směrem. Jejich konstrukce je obvykle symetrická a pohyb do stran je tak realizován stejným způsobem, jako let vpřed či vzad. Například pro pohyb vpřed jsou zvýšeny otáčky motorů v zadní části a tím je celá multikoptéra nakloněna dopředu, kam se také díky orientaci proudění vzduchu také pohybuje. Pro otáčení kolem vlastní osy jsou zvýšeny otáčky na motorech, které se točí stejným směrem a zároveň sníženy na těch, které se točí směrem opačným. Princip tohoto otáčení vysvětluje Obrázek 10. K otočení doleva dojde snížením rychlosti otáčení vrtulí 1 a 3 současně se zvýšením otáček 2 a 4. Převažující krouticí moment vrtulí 2 a 4 způsobí otočení kvadrokoptéry. Pro otáčení druhým směrem je postup opačný. Manuální řízení každého motoru by bylo velmi problematické a pilotáž nesmírně složitá. Proto musí být multikoptéry vybaveny řídicími systémy, které regulují otáčky automaticky. Bez těchto systémů by multikoptéra nebyla schopna letu. [24], [25]



Obrázek 10 - chování multikoptéry při otáčení kolem vlastní osy [24]

S použitím více rotorových multikoptér (6 a více) vzniká další nesporná výhoda oproti klasickým vrtulníkům v podobě schopnosti udržet stroj ve vzduchu i v případě selhání jednoho z motorů. Díky určité redundanci pohonných jednotek je palubní elektronika schopna kompenzovat vysazení motoru či poškození vrtule zvýšením otáček zbylých jednotek a tím zabránit pádu a možnému poškození jak stroje, tak vybavení na jeho palubě. Mnohé multikoptéry vybavené GPS moduly jsou navíc při ztrátě signálu z vysílače schopné vrátit se na místo původního vzletu a případně automaticky přistát. Pokud by však došlo k selhání elektroniky či vybití baterií s důsledkem vysazení všech motorů, stává se multikoptéra zcela neovladatelná. V tomto ohledu mají výhodu vrtulníky, které jsou schopné v případě podobného problému (a se zkušeným pilotem) přistát nouzově s využitím autorotace a tím zcela eliminovat nebo alespoň zmírnit případná poškození.

3.4 Legislativní omezení

Rozsáhlé využívání dronů si vyžaduje také určitou regulaci v otázkách bezpečnosti provozu a ochrany soukromí osob. Vznikají tak předpisy upravující používání bezpilotních prostředků podobně, jako je tomu u velkých letadel. Používání dronů například za účelem pořizování snímků z dovolené v zahraničí ale stěžuje fakt, že každá země upravuje jejich používání svým způsobem a žádná sjednocená pravidla zatím neexistují. Kromě základních omezení používání, například v okolí letových zón, se předpisy mohou výrazně lišit. V USA vydala v roce 2016 americká organizace FAA (Federal Aviation Administration) dohlížející na bezpečnost civilního letectví doporučení pro legislativní regulaci provozu dronů na území Spojených států. Vzhledem ke spolupráci s mnoha výrobci bezpilotních prostředků se očekává, že by tato doporučení mohla mít v budoucnu vliv také na vytváření předpisů v jiných zemích. Také na území Evropské unie vznikají snahy o vytvoření společných pravidel. S jejich vydáním se však počítá nejdříve v roce 2019. Kromě samotných předpisů vzniká nebezpečí především v jejich neznalosti. Mnoho uživatelů považuje bezpilotní prostředek za hračku a právním úpravám jejich používání nevěnují pozornost. [26], [27]

Předpisy týkající se provozu bezpilotních prostředků na území České republiky navrhuje Úřad pro civilní letectví (UCL). O jejich uveřejňování se pak stará Ministerstvo dopravy ČR prostřednictvím Letecké informační služby (LIS). Obecná pravidla poskytuje předpis L 2 – Pravidla létání. Provoz bezpilotních systémů pak upravuje zejména Doplněk X – Bepilotní systémy předpisu L 2. Specifické druhy bezpilotních systémů pak upravují Dodatek 5 – Volné balóny bez pilota na palubě se zátěží a Doplněk R – Podmínky pro provoz

balónů bez pilota na palubě. Mezinárodní provoz bezpilotních prostředků je dále upraven v Dodatku 4 – Systémy dálkově řízeného letadla. Bezdrátový přenos dat upravuje všeobecné oprávnění č. VO–R/12/09.2010–12 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz. [28], [29]

Doplněk X definuje například povolené letové prostory, minimální vzdálenost od jiných osob (kromě pilota nebo doprovázejících osob), odpovědnost za provedení bezpečného letu atd. Nařizuje také provozování prostředku takovým způsobem, aby mohl pilot během letu udržovat vizuální kontakt s bezpilotním letadlem. Tyto podmínky jsou závazné pouze pro bezpilotní letadla, pro modely letadel představují pouze doporučené postupy, viz Obrázek 11.

PŘEHLED ZÁKLADNÍCH POŽADAVKŮ NA BEZPILOTNÍ SYSTÉMY



POZNÁMKY:

Definice modelu letadla viz Doplněk X leteckého předpisu L 2, Pravidla létání, viz stránky <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>.
 Bližší informace k problematice lze nalézt na stránkách www.ucl.cz v sekci Provoz / Letadla bez pilota na palubě.
 Případné dotazy lze směřovat na podatelna@caa.cz.

Obrázek 11 - přehled základních požadavků na bezpilotní systémy [30]

Kromě dodržování těchto předpisů musí provozovatelé některých bezpilotních letadel zažádat UCL o povolení k provozu, případně mít na stroj sjednané pojištění pro případ havárie. Tyto podmínky jsou určeny vzletovou hmotností prostředku a činností, která s ním bude vykonávána. Pro vykonávání leteckých prací se bezpilotní prostředek automaticky řadí do nejpřísnější kategorie bez ohledu na jeho maximální vzletovou hmotnost. Leteckou prací se rozumí jakékoliv komerční využití bezpilotního prostředku. Za

letecké práce lze považovat i pořizování leteckých snímků s cílem jejich komerčního využití. Prakticky bez omezení lze používat pouze zařízení pro rekreační účely do hmotnosti 0,91 Kg. Na ostatní váhové kategorie se vztahují podmínky uvedené v tabulce, která je rovněž součástí doplňku X (viz Tabulka 1). [31]

Tabulka 1 (viz ust. 16)										
ř.	maximální vzletová hmotnost	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 20 kg		> 20 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	výdělečné, experimentální, výzkumné	
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 LCPVP	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	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

Tabulka 1 - požadavky na bezpilotní prostředky dle hmotnosti a určení [31]

S vybavováním bezpilotních prostředků záznamovými zařízeními se na ně přirozeně vztahuje také zákon č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů. Zákon reguluje zpracování osobních údajů shromážděných v soukromých prostorech nebo na veřejných prostranstvích, neupravuje ale konkrétní použitou technologii. „*Jelikož prostřednictvím kamerových zařízení umístěných na bezpilotních letadlech je možno*

systematicky zachycovat a dále zpracovávat záběry identifikovaných nebo identifikovatelných fyzických osob, a to včetně ryze soukromého prostředí, ve kterém se tyto osoby pohybují nebo které obývají (zahrady, byty apod.), případně je možno touto cestou získávat i jiné, např. akustické záznamy týkající se fyzických osob, bude nutno v uvedených souvislostech dbát na pravidla, která posledně citovaný zákon zakotvuje.“. Tento zákon se netýká případů, kdy k pořízení záznamů osob nedošlo cíleně, například při sledování krajiny, či monitorování pohybu zvíře. Netýká se také zařízení pro pouhý přenos obrazu bez záznamu. Využití bezpilotních prostředků pro potřeby státních složek upravuje např. zákon č. 273/2008 Sb., o Policii České republiky, umožňující použití zvukových, obrazových nebo jiných záznamů pořízených na místech veřejně přístupných pořízených policií ČR, je-li to nezbytné pro účely plnění jejich úkolů. [32]

Vhodná regulace představuje pro příslušné instituce častý problém. V ideálním případě by regulace měla řešit možná rizika a obavy, zároveň by ale neměla tvořit překážku žádoucímu rozvoji a využití. Současná pravidla pro provoz bezpilotních prostředků na území ČR jsou v porovnání s ostatními zeměmi poměrně přísná. Nicméně nijak výrazně neomezují jejich využití a s ohledem na velikost a hmotnost UAV jsou nastavená tak, aby předcházela případným nehodám s následkem zranění osob. [33]

3.5 Letecké snímkování pomocí dronů

Bezpilotní prostředky jsou schopné nést širokou škálu monitorovacích zařízení, které se pro tuto činnost dají využít. Vzhledem k velikosti těchto zařízení již není bezpodmínečně nutné využívat při snímkování konvenčních leteckých prostředků. Původní určení dronů vychází především z potřeb pro letecký monitoring a mapování území. Díky tomu dnes existuje mnoho možností využití komerčních dronů právě k těmto účelům. S dostupností leteckých snímků na mapových serverech dochází také k jejich hojnému využívání, primárně pak pro hledání či plánování na mapě. Složením leteckých snímků vznikne letecká mapa (tzv. ortofotomapa), která zprostředkovává kolmý pohled na snímané území. Pohled shora usnadňuje orientaci v terénu a poskytuje lepší přehled o okolním prostředí. Letecké mapy použité na mapových serverech vznikly nejčastěji za pomoci speciálních velkoformátových leteckých kamer umístěných v pilotovaných letadlech nebo v družicích. Takto pořízené snímky disponovaly obrazovým rozlišením v rozmezí 50 (u družic) až 20 cm (u pilotovaných letadel). Při komerčním mapování pomocí letadla lze při speciálních podmínkách dosáhnout rozlišení až 3 cm na pixel, obvykle však za velmi vysoké náklady.

Využití dronů pro snímkování přináší nové možnosti v mapování ve velmi vysokém obrazovém rozlišení, které může dosahovat až pod 1 cm na pixel. Zároveň není potřeba specializovaných kamer pro snímkování ale lze využít klasické fotoaparáty. Vysoká kvalita vzniklé mapy pak umožňuje detailní analýzu území (sloužící například pro výpočet zemědělské plochy poškozené zvěří atd.). Ačkoliv drony poskytují vysoce kvalitní výstupní data, nemohou konkurovat konvenčním leteckým prostředkům či družicím z hlediska rozsahu snímaného území. Jejich určením je tak především snímání malých oblastí v jednotkách kilometrů čtverečních ve vyšším rozlišení, než jaké poskytují pilotované prostředky. Dalším důvodem využívání dronů pro mapování je jejich rychlé nasazení. Hodí se tak v situacích, které vznikají nahodile a je důležité jejich včasné zdokumentování. Mezi tyto situace patří například přírodní události, mapování staveb apod. Zmapování požadovaného území pomocí dronu je možné provést do druhého dne od vznesení požadavku, což je u klasických letadel nebo družic velmi obtížné. Bezpilotní prostředky určené pro mapování území ukládají informace o pořízených snímcích, nejčastěji ve formě GPS souřadnic. Výsledná letecká mapa je pak souřadnicově určená a s pomocí specializovaných softwarových prostředků v ní lze měřit vzdálenosti, vypočítávat plochy, odečítat souřadnice či vykonávat jiné geograficky zaměřené úlohy. Letecké mapy tak lze dále využít i pro vytvoření komplexních geoinformačních systémů. Ty mohou být dále využívány například správci areálů, kteří mohou využívat takovýto systém propojený s databázovými údaji např. pro přidělování nebo vyhledávání již přidělených prostorů návštěvníkům campingových prostorů. Nižší náklady na pořízení letecké mapy pomocí dronu znamenají také možnost její častější aktualizace. [34]

Jak již bylo zmíněno, každý typ bezpilotního prostředku má své přednosti a nedostatky. Proto se také využívají různé konstrukce v závislosti na velikosti území a jeho struktuře. Letecké snímky představují nejčastější výstupy ve využívání UAV. Je to dáno především tím, že na trhu existuje mnoho těchto prostředků s již vestavěnými kamerami a jejich pořízení není vždy nutně finančně náročné. Kromě pořízování snímků lze provádět také tzv. monitoring, kdy nemusí docházet k ukládání záznamu, ale je pouze přenášeno video na obrazovku obsluhy. Tato metoda se často využívá ke kontrole těžko dostupných míst, jako jsou například výškové budovy nebo stožáry vedení vysokého napětí. Drony pořizující video záznamy jsou čím dál více používané také při točení filmů či televizních reportáží. Další možné výstupy snímkování pomocí UAV:

- výpočty objemů terénních prvků
- prostorové analýzy
- digitální 3D modely povrchu
- šikmé snímky
- 360° panoramatické snímky

	Letecké	Blízké	UAV
Plánování	(polo) automatické	manuální	automatické – manuální
Získávání dat/ režim letu	asistované/ manuální	autonomní/ asistované/ manuální	autonomní/ asistované/ manuální
Velikost oblasti	km ²	mm ² – m ²	m ² – km ²
Rozlišení snímku	cm – m	mm – dm	mm – m
Vzdálenost od objektu	100 m – 10 km	cm - ~300 m	m – km
Přesnost	cm – dm	mm – m	cm – 10 m
Počet snímků	10 – 1000	1 – 500	1 – 1000
Použití (příklady) a funkce	Rozsáhlé oblasti (mapování, lesnictví, glaciologie, 3D modelování měst)	Malé oblasti a objekty (archeologické dokumentace, 3D modelování budov	Malé i rozsáhlé oblasti (archeologické dokumentace, monitorování rizik, 3D modelování budov a objektů)
		Architektonická a průmyslová fotogrammetrie	Využití v nepřístupných oblastech, v blízkosti nebezpečných objektů
	Letecké snímkování	Pozemní snímkování	Letecké snímkování
			Využití v reálném čase (monitoring)

Tabulka 2 - porovnání způsobů snímkování [35]

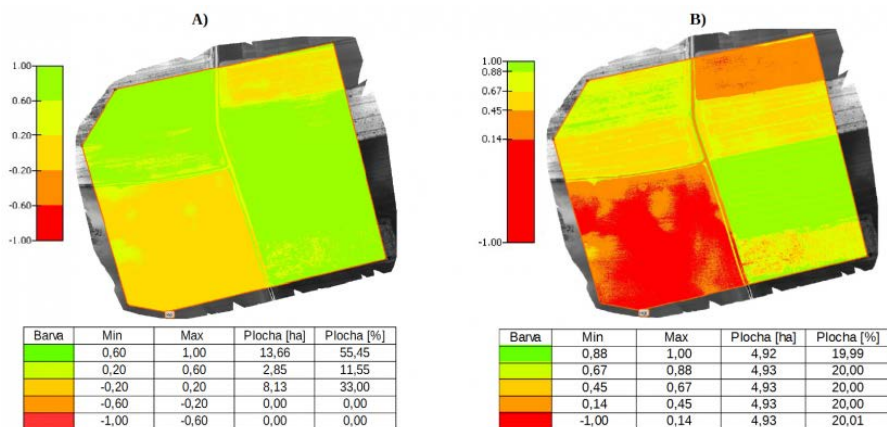
Bezpilotní prostředky nabízí v oblasti snímkování rozličné způsoby nových aplikací a kombinací leteckých a pozemních snímků. Současně přináší nové metody získávání dat z vybraných oblastí v reálném čase. Některé druhy UAV jsou schopné pokrýt oblast o rozloze několika čtverečních kilometrů a stávají se tak levnější a dostupnější alternativou ke konvenčním letadlům. Vzhledem k nižší výšce snímkování lze navíc z bezpilotního prostředku získat relativně detailní snímek i při použití levnějšího fotoaparátu. [35]

3.6 Další možnosti využití UAV

Způsobů, jak využít bezpilotních prostředků existuje mnoho a nové možnosti se stále objevují. Jejich potenciál vychází zejména z množství speciálních senzorů, které jsou schopny nést a které umožňují rozličné způsoby a výstupy leteckého monitoringu. U speciálních senzorů, stejně jako u fotoaparátů, dochází s vývojem také ke zmenšování, což umožňuje jejich použití ve spolupráci s UAV. Zaznamenávané informace tak nemusí být pouze obrazové, může se jednat např. o měřičské údaje.

3.6.1 Vybavení speciálními senzory

Bezpilotní prostředky s laserovými skenery nacházejí uplatnění ve stavebnictví, kde slouží pro přesné a rychlé zaměření okolí a následné převedení do 3D modelu, který slouží jako podklad pro další práce. S použitím tzv. multispektrálních kamer, které dokáží zachytit více spekter než klasické RGB kamery lze vytvořit podrobné aplikační mapy zemědělských oblastí, pomocí kterých lze přizpůsobit místo a rozsah hnojení. Pomocí těchto kamer lze také provádět kontrolu vegetace, či identifikovat přítomné látky v zemi. Kontrola je prováděna na základě odrazivosti světla od listů rostlin, pomocí kterého je možné určit, kolik chlorofylu v sobě obsahují. Z tohoto ukazatele lze zjistit zdraví rostlin, ale také např. aktuální vlhkost půdy nebo její kvalitu. Jedním z výstupů multispektrálního snímkování jsou tzv. indexní mapy, které jsou barevně odlišeny v intervalu 0 až 1, kde jednotlivé intervaly blíže specifikují, o jaký porost se jedná. Obrázek 12 představuje indexní mapy pořízené společností G4D. Obrázek A rozděluje oblast do intervalů se stejným rozsahem, B do pěti stejných oblastí. Hodnoty 0,6 až 1 představují zdravou a hustou vegetaci, interval 0,2 až 0,5 pak řídkou nebo zatěžovanou. Čísla menší než 0,2 jsou kameny nebo písek a záporné hodnoty představují vodu. [34], [36]



Obrázek 12 - indexní mapy z multispektrálních snímků [36]

Mezi další speciální vybavení lze zařadit senzory měřící koncentraci znečištění ovzduší, díky kterým lze měřit znečištění v různých výškách např. nad průmyslovými oblastmi. Pomocí těchto senzorů lze také určit, kterým směrem se pohybují toxické výpary při požárech či chemických haváriích. Drony vybavené senzory pro měření radiace byly nasazeny po havárii jaderné elektrárny Fukušima v Japonsku, kde představovaly jedinou možnost, jak oblast bezpečně prozkoumat. [37]

3.6.2 Transport a logistika

Využívání bezpilotních prostředků k transportním účelům představuje jednu z možných alternativ především pro přepravní společnosti, které v nich vidí prostředek pro rychlé doručení zboží za minimální náklady. Prototypy takových prostředků jsou již testovány a s postupem času se počítá s možností jejich využití pro komerční transport zboží. Kromě doručování zásilek k zákazníkům mají tyto drony potenciál také pro využití v logistice ve velkých skladech, kde by mohly do jisté míry nahradit lidskou obsluhu při expedici zboží. Mezi další uplatnění může patřit také doručování jídla na objednávku. Podobné způsoby rozvozu jsou již také aplikovány v několika zemích, žádný ale zatím nepřekročil rámec testovacího provozu. Některé restaurace zavádí ve snaze odlišit se od konkurence roznáškové drony také ve vnitřních prostorech, kde nahrazují lidskou obsluhu. Transportní drony nemusí sloužit nutně pouze komerčním účelům. Mezi nesené vybavení lze zařadit například i pomůcky nápomocné při záchraně lidských životů. Takové stroje jsou pak na místě nehody dříve než samotní záchranáři. Jedno z takových řešení testují záchranáři v Holandsku, kteří vysílají tzv. Ambulance Drone vybavený defibrilátorem pro poskytnutí první pomoci svědků nehody. Tento prostředek dokáže letět rychlostí až 100 km/h a v okruhu 12 km je schopen dorazit na místo do jedné minuty. Je vybaven tak, aby operátor mohl komunikovat s přítomnými osobami a měl přehled o dění na místě. [34], [38]



Obrázek 14 - doručovací dron společnosti DHL [39]



Obrázek 13 - Ambulance Drone [38]

Aby byla přeprava efektivní, musí být tyto prostředky schopné rozpoznávat překážky a létat samostatně. Takové technologie již existují a stále se zdokonalují, problém však představují zákony daných států, které na tento vývoj nestíhají dostatečně reagovat. Například dle předpisů v ČR musí být bezpilotní prostředek provozován v přímé viditelnosti pilota a takovéto využívání je zde zakázáno. Masové nasazení by vyžadovalo začlenění do letového prostoru ostatních leteckých prostředků a přizpůsobení tak, aby nedocházelo ke střetům s pilotovanými stroji a ohrožení osob na jejich palubě. Letové zóny ale bývají často na hranici své bezpečné kapacity a zajistit koordinaci s autonomními prostředky by bylo velmi náročné. Bezpečnostní riziko představuje také samotný pohyb nad hustě obydlenými oblastmi. Ačkoliv k pádu dronů v důsledku selhání systémů dochází jen zřídka, pro jejich autonomní pohyb musí být definovány takové postupy a opatření, aby v případě selhání nedošlo k ohrožení obyvatel. Využívání dronů pro přepravu zboží a jiných pomůcek má velký potenciál a díky tlaku přepravních společností lze očekávat postupné přijímání opatření pro jejich nasazení. Do té doby je jediným možným využitím nasazení ve vnitřních prostorech, které nespádají do letového prostoru. [39]

3.6.3 Záchranné a bezpečnostní složky ČR

Bezpilotní prostředky nachází své uplatnění postupně také u záchranných a bezpečnostních složek ČR. Počet sloužících dronů je zatím malý a obvykle dochází ke koupi pouze pár kusů pro otestování jejich způsobilosti při plnění úkolů v daných složkách. Zejména policie má odlišné nároky na jejich schopnosti související se specifickým zaměřením jednotlivých útvarů. Pro potřeby nasazení při pátracích akcích a monitorování událostí většího rozsahu byl v polovině roku 2016 představen „Bezpilotní rotorový univerzální systém“ (BRUS) speciálně vyvinutý ve Vojenském technickém ústavu na zakázku pro policii ČR. Středočeská policie dostala do provozu 2 stroje tohoto typu, které spolu s výcvikem a potřebným vybavením stály cca 2 miliony Kč. Stroj je vybaven 6 tichými motory na třiramenné uhlíkové konstrukci, váží přibližně 10 kg a letový čas převyšuje 40 minut se schopností operovat do vzdálenosti 10 km. Kromě běžné kamery je dále vybaven nočním viděním a termovizí. Díky velikosti a relativně dlouhému letovému času ho lze využívat v situacích, kdy by bylo nasazení policejního vrtulníku nebezpečné nebo v daný moment neekonomické. [40]



Obrázek 15 - dron Policie ČR [40]

Podobné profesionálně zaměřené prostředky využívají také záchranáři horských služeb. Jedním z takových zařízení je Robodrone Kingfisher, který užívá v testovacím provozu horská služba ve Špindlerově Mlýně. Jedním z jeho hlavních úkolů je pomoci záchranářům s lokalizací osob v nouzi. V případě sesuvu laviny může být vybaven zařízením lokalizujícím lavinové majáky, které u sebe nosí lyžaři. Pro potřeby první pomoci je také vybaven záchranným balíčkem se zahřívacím vybavením, jídlem a lampičkou, které zajistí potřebné minimum před příchodem záchranářů. Hasičské jednotky v současné době nejsou vybavovány speciálními bezpilotními prostředky. Některé útvary však využívají komerčně nabízených dronů vybavených videokamerami, které jim zajišťují lepší přehled o situaci na místě nehody či požáru. Často slouží také jako podpůrný prostředek při zásahu pro podporu rozhodování velitele. Drony ke své činnosti zatím nepoužívá ani rychlá záchranná služba. Díky své přímé trajektorii k místu nehody a tím snížení potřebného času k dosažení cíle se jeví jako ideální prostředky první pomoci, obzvláště v hustě obydlených oblastech. V nejbližších letech tak lze s velkou pravděpodobností očekávat nasazování podobných strojů, jako je již zmíněný Ambulance Drone. [41], [42]

3.6.4 Zábava

S rozšiřováním dostupnosti a snižováním ceny se na trhu objevují bezpilotní prostředky určené především pro zábavní využití. Létání s těmito drony je díky asistenčním systémům relativně jednoduché a běžný uživatel je schopen naučit se základy pilotování během jednoho dne. Často tak tvoří první krok při seznamování se s multikoptéry. Typickým příkladem dronů určených pro zábavu jsou miniaturní koptéry schopné létat

i v menších místnostech. Jejich výhodou je především ohromná odolnost vůči pádům a nízké pořizovací náklady. Jedním z takových prostředků je kvadrokoptéra CX – 10 od společnosti Cheerson s rozpětím rotorů 32 mm. Na trhu existuje také shodně veliký model vybavený kamerou s možností pořizování záznamu. Trendem ve využívání bezpilotních prostředků pro zábavu je také možnost natáčení videa během sportovních aktivit, aniž by bylo třeba věnovat se pilotáži. Tyto drony po vypuštění sledují uživatele volným terénem z určené vzdálenosti pomocí naváděcího zařízení, které nosí u sebe (např. v podobě náramku na ruce) a pořizují záznam jeho činnosti. Objevuje se také speciální kategorie dronů určených pro nejrůznější letecké závody. Vzhledem k velikosti a rychlosti těchto dronů je obtížné pilotovat je pozorováním ze země, proto bývají vybaveny kamerami, které zprostředkovávají přenos v reálném čase do speciálních FPV (First Person View) brýlí na očích pilota. FPV závody patří mezi nejčastější soutěže dronů. Obvykle se závodí na kratších, speciálně postavených tratích s různými překážkami a průletovými body ale existují i dráhy nacházející se v prostorách starých budov či v lese. Tyto závody jsou velmi populární také u diváků díky přenosu obrazu z jednotlivých strojů. Rostoucí oblibu o tento druh „sportu“ dokazují také mezinárodně konané závody v USA. [34], [43], [44]



Obrázek 17 - závodní FPV dron [45]



Obrázek 16 - mikrokoptéra Cheerson CX - 10 [vlastní foto]

3.7 Klady a zápory oproti konvenčním leteckým prostředkům

Hlavní rozdíl a výhoda plyne ze samotného názvu těchto prostředků. Díky schopnosti operovat bez posádky na palubě je provoz těchto strojů mnohem bezpečnější především v nebezpečných podmínkách jako jsou např. živelné pohromy, zamořené oblasti či zhoršené

počasí. Jsou také ideálním nástrojem pro monitorování těžko přístupného terénu, kde by let s konvenčním strojem nebyl z důvodu jeho velikosti možný. Obecně se dá říci, že výhody dronů plynou především z jejich hlavních parametrů, mezi které patří menší velikost, jednoduchý provoz a snadné ovládání. Většina bezpilotních prostředků dnes využívá elektrický pohon na baterie. Použití znovu dobíjecích akumulátorů společně s cenou za spotřebovanou energii na jeden let pohybující se v řádech několika korun poskytují značnou úsporu oproti potřebě leteckého paliva u pilotovaných strojů. Malá velikost znamená také snadnější manipulaci a vysokou mobilitu. V případě leteckého snímání se mohou díky tichému pohonu a menším rozměrům pohybovat v nižších letových hladinách a pořízené snímky pak poskytují větší detaily. Při snímání menších území je jejich využití také několikanásobně levnější, než v případě letadla nebo vrtulníku. V členitém nebo nepřístupném terénu vynikají schopností vzlétnout a přistát z velice malé plochy, bez potřeby vyhrazených prostor. S podporou přímého přenosu pořizovaného záznamu na pozemní stanoviště pilota jsou ideálním prostředkem pro monitorování nebo dohled při konfliktních akcích. Všechny tyto schopnosti tvoří společně výhodu obrovské flexibility nasazení těchto strojů. [13], [34]

Výhoda v jejich nasazení na malém území zaniká při potřebě zachytit oblasti většího rozsahu. V doletové vzdálenosti a letové výdrži nemohou drony konkurovat pilotovaným leteckým prostředkům. Výjimky s delším letovým časem tvoří pouze moderní armádní drony vybavené spalovacími motory. Dolet komerčních bezpilotních prostředků je do značné části limitován kapacitou akumulátorů. Dalším problémem je omezená nesená hmotnost. Ačkoliv je nesené vybavení stále menší, profesionální fotoaparát či kamera stále vyžadují velmi výkonný nosný prostředek a velkou kapacitu akumulátorů. Nevýhodou pro samotné uživatele je pak nejednotná legislativa pro provoz dronů v různých zemích. Velkým omezením je také fakt, že drony nejsou vybaveny tzv. odpovídači, které mají na palubě všechny konvenční letecké prostředky a které zprostředkovávají identifikaci a přesnou polohu stroje v letovém prostoru. Díky tomu nejsou viditelné ani na radarech a hrozí nebezpečí střetu s pilotovanými prostředky. K takovým střetům může dojít i v případě, kdy uživatel dodržuje letová pravidla, ale v dané chvíli se pohybuje např. v prostoru, kam se chystá přistát záchranářský vrtulník. Pilot ho při přiblížení může snadno přehlédnout a na jeho přítomnost posádku neupozorní ani řízení letového provozu. [34]

3.8 Základní parametry multikoptér

Požadavky kladené na dron se znatelně liší podle účelu, pro který je konstruován. Sestavení univerzálního bezpilotního prostředku schopného vykonávat všechny běžné činnosti je téměř nemožné a výsledek takového pokusu skončí pravděpodobně strojem, který není způsobilý k plnohodnotnému vykonávání žádné z činností. Využití snímkovacího dronu k natáčení pomocí videokamery je při splnění podmínek na nosnost možné, nelze jej ale využívat k FPV závodům, které vyžadují úplně jiné parametry. Účelové zaměření je tedy důležité znát ještě před samotným pořízením, případně stavbou multikoptéry. I přes možné využití k některým podobným účelům je vhodné stanovit si jeden konkrétní, kterému budou přizpůsobeny požadované parametry. Důležitou součástí při výběru stroje jsou také finanční nároky, které se rovněž liší dle účelového zaměření. Jednoduché multikoptéry lze pořídit do deseti tisíc korun, včetně veškerého vybavení. Profesionální prostředky schopné nést velké videokamery mohou znamenat investice v řádech sta tisíc korun. V této kapitole budou popsány základní parametry, které je důležité zohlednit při výběru bezpilotního prostředku.

3.8.1 Velikost a typ rámu

Velikost rámu nejvíce odpovídá účelovému zaměření multikoptéry a obvykle se od ní odvíjejí i ostatní parametry. Rozměry prostředku udávají prostředí, ve kterém ho lze provozovat. Velké multikoptéry nejsou příliš vhodné pro pohyb v menších prostorech nebo v interiéru, kde se vyžaduje rychlá odezva na řídicí signály. Z hlediska ovládání platí stejná pravidla, jako u ostatních bezpilotních prostředků, tedy čím je multikoptéra větší, tím je těžší a na řídicí povely obvykle reaguje méně citlivěji, je stabilnější a poskytuje více času pro korekci pohybu než malé stroje. Rozměrné rámy znamenají horší manipulaci a také dražší náhradní díly. Typ rámu a počet pohonných jednotek se nejčastěji volí dle požadované nosnosti a stability. Multikoptéry s více než 4 motory umístěnými po obvodu jsou stabilnější a méně náchylné na poryvy větru.

3.8.2 Nosnost

Při volbě multikoptéry je důležité počítat s hmotností, kterou je schopna nést. Nosnost obvykle udává hmotnost doplňkového užitečného zatížení, ostatní nezbytné vybavení (např. baterie) se do ní již nezapočítávají. U komerčně prodávaných multikoptér bývá tento údaj uveden ve specifikaci, při stavbě vlastního prostředku je nutné přizpůsobit komponenty požadované nosnosti. S nosností souvisí také pojem maximální vzletová

hmotnost, který udává maximální váhu multikoptéry jako celku se kterou je stále schopna letu. Pro většinu motorů lze nalézt informace s teoretickou nosností v kombinaci s určitou velikostí (a stoupáním) vrtulí a počtem článků v akumulátorech. V souvislosti s váhou celé multikoptéry a neseného vybavení je pak zvolena vhodná kombinace tak, aby nedocházelo k přílišnému přetěžování na úkor horší ovladatelnosti a kratší doby letu. Při montáži dodatečných zařízení je pak důležité také jejich umístění vzhledem k těžišti multikoptéry. Řídicí systém je schopen nevyváženost automaticky kompenzovat ale v případě silnějších poryvů větru může dojít ke snížení stability a zhoršení ovladatelnosti.

3.8.3 Letový čas a rychlost

Letový čas úzce souvisí s maximální vzletovou hmotností. Opět závisí na přesném účelu, pro který bude multikoptéra využívána a také na vybavení, které ponese na palubě. Pro delší automatický let je vhodné uzpůsobit prostředek tak, aby zvládal co největší možný čas ve vzduchu a mohl se v případě komplikací vrátit zpět s dostatečnou rezervou kapacity baterií. Takové stroje jsou často vybaveny velkými vysokokapacitními bateriemi, které ale zároveň zvyšují jejich hmotnost. Pro maximální dobu letu jsou dále využívány motory s vysokým krouticím momentem v kombinaci s velkými vrtulemi, které umožňují let při nižších otáčkách a tím menší spotřebě energie. Letový čas představuje u multikoptér z důvodu jejich koncepce pohonu poměrně problém. Průměrná doba, po kterou jsou schopny letu, se pohybuje okolo 20 minut v závislosti na způsobu letu (manévrování s častou změnou letové výšky je náročnější, než samotný vis na místě). S narůstající hmotností tato doba navíc poměrně rychle klesá. Z tohoto důvodu jsou pro jejich konstrukci mnohdy využívány díly z lehkého uhlíkového kompozitu. Pro zvýšení rychlosti letu se v souvislosti s motory a velikostí vrtulí využívá opačného postupu. Jsou využívány vysokootáčkové motory, které ale nemají tak velký krouticí moment, proto jsou vybavovány menšími vrtulemi. Menší vrtule znamenají celkově menší velikost i nosnost. Obvykle jsou také využívány baterie s nižší kapacitou a počtem článků. [34], [46]

3.8.4 Řídicí elektronika

Schopnosti multikoptéry se do značné míry odvíjejí od schopností její řídicí jednotky. Pro manuální létání v přímé viditelnosti není potřeba využívat složitějších systémů pro kontrolu letu, nicméně základní systém řízení musí být na palubě prostředku přítomen vždy. Na trhu je k dostání velké množství jednotek s různými schopnostmi a volitelným

příslušenstvím. Pro malé drony, u kterých se nepočítá s využíváním velkého množství funkcí a doplňkového vybavení existují malé jednotky se základními funkcemi, např. pro GPS a přenos videa, které zbytečně nezvyšují jejich hmotnost. Před pořízením daného systému řízení je vhodné ověřit si rozsah funkcí a kompatibilitu s rozšiřujícím vybavením. Pro větší multikoptéry to mohou být například různé senzory pro stabilizaci letu, které musí být podporovány daným systémem nebo také schopnost ovládat dálkově funkce fotoaparátu určitého výrobce a modelu. Vhodné je také zohlednit softwarovou podporu pro nastavování letových parametrů a plánování automatických letů. Mezi nejčastěji využívané palubní systémy patří například jednotky od společností DJI a 3D Robotic. Existují také otevřené (open source) systémy vyvíjené komunitou zabývající se touto problematikou. Mezi ně patří i jednotky PixHawk či ArduPilot Mega založené na elektronické platformě Arduino. Výhodou open source systémů jsou rozsáhlejší možnosti nastavení a možnost využívat je pro více prostředků a různé typy rámu. Uzavřené systémy naopak při použití doporučeného příslušenství zajišťují bezproblémový chod a snazší implementaci. [44]

3.8.5 Bezpečnostní prvky

Během provozu větších multikoptér s drahým vybavením na palubě je nezbytné snížit riziko zničení či ztráty v případě neočekávané komplikace. Proto existují opatření, která se snaží těmto rizikům předcházet a pokud k nim dojde, alespoň minimalizovat škody, které by mohly vzniknout pádem stroje. Tyto systémy jsou obvykle součástí řídicí jednotky a patří mezi ně mimo jiné i chování stroje v případě ztráty signálu z pozemního ovladače, ztráty GPS, poklesu napětí na baterii atd. Existují různé způsoby reakce od okamžitého přistání až po automatický návrat na místo vzletu a pro každou situaci se hodí jiný postup. Například v případě nebezpečně nízkého napětí na baterii by stroj nemusel být schopný vrátit se zpět na místo odletu a je tak bezpečnější přistát ihned. Vše samozřejmě záleží na prostředí, ve kterém se pohybuje a je důležité věnovat těmto nastavením pozornost před startem. Mezi další bezpečnostní prvky lze považovat i tzv. bezpečný kruh, který umožňují některé jednotky nadefinovat. Jedná se o kružnici s předem definovanou velikostí, ze které nedovolí řídicí systém multikoptéře vylétnout. Podobné nastavení slouží především začátečníkům, může být ale použito i v případě, kdy se stroj pohybuje ve vysokých výškách a odhadnout jeho vzdálenost je obtížné. V případech, kdy již nelze pádu zabránit se používají padáky, které jsou vystřelovány ručně nebo automaticky při překročení bezpečného náklonu. Kromě způsobů minimalizace škody je pro bezproblémový provoz důležitá především snaha

předejít situacím, kdy k nějakému incidentu dojde. Proto k bezpečnostním prvkům patří také řádná předletová kontrola bezpilotního prostředku.

3.8.6 Gimbal

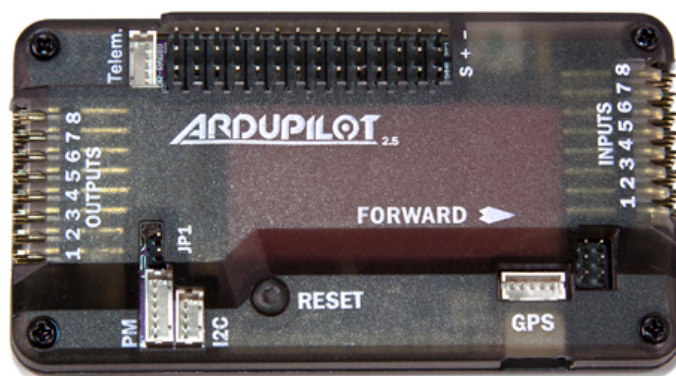
Tímto pojmem se označuje gyroskopicky stabilizovaný úchyt záznamových a jiných zařízení, který automaticky kompenzuje výkyvy způsobené pohybem stroje a působením větru. Udržuje např. fotoaparát ve stále stejné pozici, a to bez ohledu na pohyb multikoptéry, čímž usnadňuje cílené snímání dané oblasti a minimalizuje riziko rozostření snímků. Gimbaly se rozlišují podle několika parametrů, nejčastěji dle počtu ovládaných os, typu pohonného ústrojí a maximální nosnosti. Pro profesionální natáčení se využívají 3osé gimbaly, které lze natáčet všemi směry a obvykle jsou ovládány samostatně jinou osobou než pilotem. Nejčastější je pohyb ve dvou osách, kde chybějící otáčení kolem vlastní osy zajišťuje multikoptéra vlastním otočením. K pohonu gimbalu se využívají servomotory nebo střídavé motory. Letecké snímání lze realizovat s úchytem se servomotory, který je méně přesný ale zároveň lehčí a pro dané určení dostačující. Pro pořizování videozáznamu je vhodnější pohon střídavými motory, který lépe kompenzuje vznikající pohyby. Držáky jsou obvykle spojeny s multikoptérou pomocí gumových silentbloků, které redukuje vibrace vzniklé pohybem vrtulí.

3.8.7 Požadavky na snímovací multikoptéru

Pro využití multikoptéry za účelem leteckého snímání jsou nejdůležitějšími parametry nosnost, stabilita, letový čas, kvalita záznamového zařízení a jeho stabilizace. V případě využití kompaktního fotoaparátu je zapotřebí multikoptéra s nosností alespoň 0,5 kg. S profesionálním snímovacím zařízením tento údaj narůstá, je proto důležité znát předem hmotnost celkového vybavení, které bude nesené na palubě. Nezbytnou součástí je gimbal s nosností odpovídající hmotnosti fotoaparátu. V závislosti na velikosti snímovaných oblastí je třeba zohlednit čas potřebný k pořízení snímků a přizpůsobit mu maximální dobu letu. S ohledem na stabilitu během letu a nosnost se často využívají multikoptéry s více než čtyřmi motory. Je to také z důvodu bezpečnosti. V případě selhání jednoho z motorů kvadroptéry se stroj stává nekontrolovatelným a nelze zajistit kontrolované přistání. S využitím více motorů lze tomuto předejít. Bez ohledu na účelové zaměření by měl být dron vybaven bezpečnostními prvky pro prevenci pádu, v případě dražšího vybavení na palubě také nouzovým padákem. [34], [47]

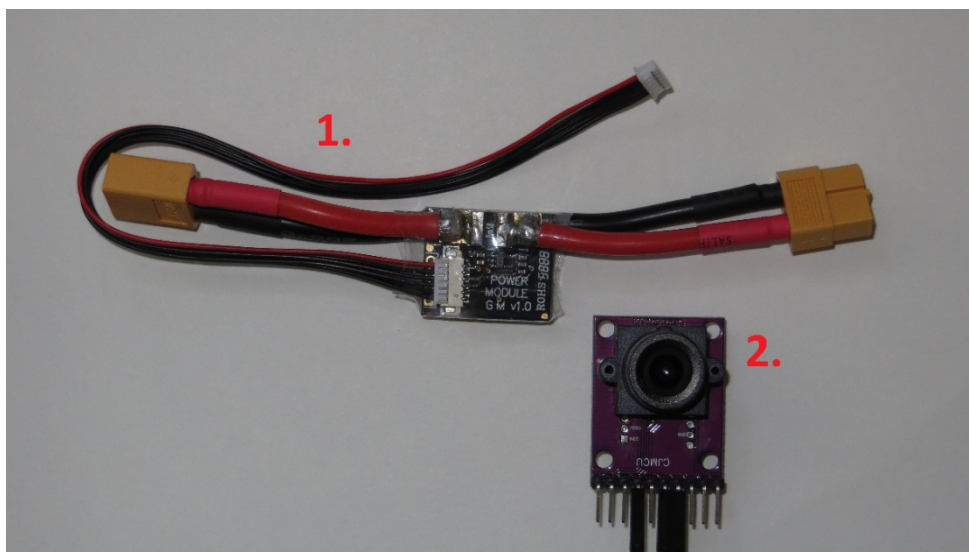
3.9 ArduPilot Mega (APM)

ArduPilot je univerzální open – source řídicí systém a autopilot určený pro bezpilotní prostředky, který disponuje funkcemi od dálkově ovládaného letu pomocí mnoha letových režimů, až po provádění naplánovaných autonomních misí. Kromě multikoptér s až osmi motory podporuje také klasické vrtulníky, letadla a vozidla. Je vyvíjen komunitou DIY (Do It Yourself) Drones specializující se na civilní využívání bezpilotních prostředků. Je rozšířen především z důvodu široké oblasti využití a díky otevřenému systému také relativně nízkým pořizovacím nákladům. Základní jednotka je schopna ovládat až 8 kanálů a zahrnuje v sobě tříosý gyroskop, akcelerometr, kompas, barometrický senzor pro určení výšky, GPS modul a vestavěný procesor, který v případě přerušení rádiového signálu zajistí navrácení stroje zpět do místa vzletu a přistání. Pro automatické lety je k dispozici vnitřní paměť, kam jsou ukládána telemetrická data získaná během letu. V souvislosti s primárním účelem se někdy kromě názvu ArduPilot využívá také ArduCopter nebo ArduRover. Jedná se však pouze o značení, modul je stejný a lze jej využít univerzálně. [48], [49]



Obrázek 18 - jednotka APM [48]

K základní jednotce existuje řada doplňkových senzorů. Při nedostatečné přesnosti GPS nebo v oblastech s horším signálem lze využít tzv. motionflow senzor, který pomáhá zafixovat vznášení stroje na stejném místě. Při provozování automatických letů se využívá modul pro přenos telemetrických údajů v reálném čase do pozemní stanice. Během letu má tak pilot k dispozici údaje o umístění, rychlosti pohybu, stavu baterií atd. Výhodou tohoto řešení je obousměrný přenos umožňující měnit nastavení jednotky bez nutnosti kabelového propojení a vkládat příkazy během automatického letu. K dalším využívaným senzorům patří ukazatel napětí na baterii. Jednotka podporuje také přímé připojení padáku. [50]



Obrázek 19 - příklad volitelného vybavení. 1 - Modul sledování napětí. 2 - Motionflow senzor [vlastní foto]

Výhodou open – source řešení je existence volně dostupných firmwarů pro jednotlivé druhy bezpilotních prostředků. Využívat ho tak lze i bez znalostí programování. Po připojení k PC stačí pouze definovat používaný typ stroje a stáhnout software. Díky komunitní podpoře vznikají stále nové verze přidávající nové funkce a podporu senzorů. Pro zkušené programátory stále existuje možnost vložení vlastního kódu, nezávisle na existujících řešeních. K dispozici jsou také volně dostupné multiplatformní programy pro změnu nastavení, plánování misí a sledování trajektorie během letu. Mezi nejznámější patří například APM Planner2 či Mission Planner. [48]

3.10 Budoucnost Dronů

Se stálým rozvojem technologie a narůstajícím počtem provozovaných dronů lze předpokládat další začleňování těchto prostředků do každodenního života obyvatel. Z tiskových zpráv mnoha mezinárodních společností obsahujících informace o testování služeb vykonávaných drony vyplývá, jak atraktivním se toto odvětví stává. Se změnou legislativy se očekává masivnější nasazení dronů, pohybujících se v běžném letovém prostoru, určených pro přímou přepravu zboží zákazníkům. Mezitím se objevují bezpilotní prostředky využívané např. v průmyslových provozech, skladech a jiných vnitřních prostorech, kde je jejich začlenění z hlediska legislativy mnohem jednodušší. Technologie dostupné běžným uživatelům znamenají neustálé zdokonalování a nové způsoby využívání dronů. Kromě autonomních prostředků narůstá také počet lidí zaměstnaných v souvislosti s jejich provozem. Velký potenciál mají drony využívané u záchranných a bezpečnostních

složek, kde doposud slouží především jako efektivní monitoring cílových oblastí, jejich schopnosti a využití se však budou postupně rozvíjet. Americký autor Ian G. R. Shaw označuje současný vývoj jako éru policejních dronů, kdy jsou drony využívány nejen pro boj s teroristy v nepřátelské zemi ale také jako prostředky chránící obyvatele před kriminální činností na území „vlastního“ státu. Objevují se také první policejní drony vybavené zbraněmi (např. paralyzér či střelba gumovými projektily). Klíčovým faktorem se stává postupná miniaturizace, kdy bude možné využívat množství tichých prostředků o velikosti hmyzu schopných vniknout do obsazených budov a nepozorovaně vyhodnocovat situaci. Podobné technologie již využívají armádní složky a jen otázkou času, kdy budou taková řešení dostupná i pro civilní sektor. [6]

Je zřejmé, že drony se postupem času stanou nedílnou součástí moderní společnosti a budou zastávat mnoho činností od zajištění bezpečnosti až po zefektivnění pracovních procesů. Provozování bezpilotních prostředků přinese rovněž výhody v podobě nových pracovních příležitostí. Let bez přítomnosti pilotů na palubě zajišťuje možnost nasazení i v oblastech, kde by to riziko ohrožení posádky konvenčního prostředku nedovolilo. Ačkoliv současně s vývojem vznikají obavy zneužití, faktem je, že modely dálkově ovládaných prostředků jsou provozovány již delší dobu a hromadné útoky pomocí nich nejsou evidovány. Určité riziko zneužití však existuje, podobně jako u každé technologie. Je ale důležité si uvědomit konkrétní zdroj ohrožení, kterým samotná technologie bezpilotních prostředků jistě není. Rizikovým faktorem je v tomto případě pouze ten, kdo drony ovládá a účel k jakému je využívá.

4 Vlastní práce

4.1 Použitý bezpilotní prostředek

Vzhledem k velikosti zamýšleného snímaného území a důrazu na vyšší detaily snímků byla pro realizaci práce použita multikoptéra, která ze všech typů bezpilotních prostředků zajišťuje zároveň nejvyšší stabilitu během snímání. Na trhu lze pořídit velké množství profesionálních dronů určených přímo ke snímání území, které jsou ale velmi finančně náročné a neumožňují téměř žádné způsoby individualizace a instalace doplňkových vybavení. Víceúčelové komerční multikoptéry lze k tomuto účelu využít také, ovšem většinou v omezené míře a jejich pořizovací náklady jsou rovněž vysoké. Při případné havárii obvykle nastává problém s náhradními díly, jejichž dostupnost a cena může být omezena stářím stroje. Z těchto důvodů byla zvolena realizace formou vlastní stavby z dílů nakoupených u rozličných výrobců, s cílem minimalizovat náklady na prostředek ale zároveň také zajistit spolehlivý provoz. V případě havárie či selhání některé z částí stroje existuje velké množství alternativních náhradních dílů a nehrozí tak jejich nedostupnost jako v případě komerčně nabízených prostředků. Drony dodávané kompletně sestavené jsou obvykle seřizeny tak, aby byly připraveny okamžitě k letu. V případě vlastní stavby bylo nutné provést důkladné nastavení jak po fyzické stránce, tak softwarové.



Obrázek 20 - hexakoptéra využitá pro práci [vlastní foto]

Základ multikoptéry tvoří šestiramenný rám o velikosti 550 mm (velikost obvodové kružnice, na které jsou umístěny motory). Počet ramen byl zvolen jako kompromis mezi bezpečností v případě selhání některého z motorů a pořizovacími náklady. Pro ideální

kompenzaci výpadku motoru je ideální počet motorů 8, což by s sebou ale přineslo zvýšení ceny a hmotnosti (také nosnosti, na kterou ale nejsou kladeny tak vysoké nároky z důvodu relativně nízké nesené zátěže). Šest motorů umožní zkušenějšímu pilotovi při výpadku jednoho z nich kontrolované přistání bez poškození. Základní rám byl oproti původním plánům vlastní výroby zakoupen jako stavebnice. Je tvořen centrální deskou, která v sobě má integrované vodivé spoje, které by jinak musely být nahrazeny klasickými vodiči znamenajícími dodatečnou zátěž a místo pro vznik potencionální závady. Pro lepší stabilitu za zhoršených povětrnostních podmínek a nerušené záběry z fotoaparátu je stroj opatřen zatahovacím podvozkem. Vzhledem k provádění misí ve vysokých letových hladinách je hexakoptéra vybavena světelným značením usnadňujícím vizuální určení její orientace ze země.

4.1.1 Řízení a pozemní stanice

Multikoptéra je vybavena osmi kanálovým přijímačem pracujícím na frekvenci 2,4 GHz, která eliminuje nebezpečí pádu z důvodu okolního rušení. Je ovládána pomocí bezdrátové osmi kanálové RC soupravy Futaba FX – 18 doplněné o 2,4 GHz modul Spektrum DSM2. V manuálním módu ovládá souprava základní funkce nezbytné pro kontrolovaný let, mezi které patří stoupaní/klesání, klopení, klonění a otáčení kolem vlastní osy. Zbylé 4 kanály mohou být využity pro doplňující vybavení. V tomto případě je k dalším kanálům přiřazeno ovládání podvozku, fotoaparátu a volba letového režimu. Pro volbu letového režimu se doporučuje minimálně tři polohový přepínač tak, aby kromě manuálního módu umožňoval ještě 2 další vhodné pro využití ve snímkování. Použitá souprava je vybavena posuvníkem umožňujícím nastavení až pěti různých módů. Pro manuální létání je přiřazen také jeden kanál k ručnímu ovládání spouště fotoaparátu.

Pro systém řízení byla zvolena jednotka APM 2.6 ArduCopter založená na softwarové platformě Arduino. Důvodem volby je vysoká podpora z řad komunitních uživatelů a tím zajištěná aktualizace firmwaru i programů pro nastavování multikoptéry a plánování misí. Do základní desky je kromě ovládání gimbalu připojena veškerá elektronika, včetně motorů. Stará se tak o kompletní řízení multikoptéry a získává potřebné informace pro let přímo z jednotlivých senzorů. Jednotka je doplněna o externí GPS anténu s vlastním kompasem, napájecí desku měřící aktuální napětí na baterii a modul zprostředkávající bezdrátový přenos telemetrický dat do pozemní stanice. Modul

s přijímačem signálu je opatřen konektorem USB pro přímé připojení k podporovanému zařízení.

Pro účely plánování automatických misí je nezbytné nadefinovat průběh letu na pozemní stanici. Jako stanice může sloužit téměř jakékoliv zařízení, které umožní propojení s řídicím systémem (pomocí kabelu či bezdrátově). Mezi podporovaná prostředí patří např. Windows, Mac a Android. V této práci byl využit open – source program Mission Planner v prostředí operačního systému Windows. Průběh letu tak lze naplánovat např. na stolním počítači a poté na místě určení pouze pomocí ovládací soupravy spustit misi. Nicméně přenosné zařízení umožňuje během letu přijímat letová data a sledovat pohyb stroje na mapě v případě, že se dostane na delší vzdálenosti od pilota. To umožňuje také případný včasný zásah, pokud by došlo k nenadálé změně pohybu (či výšky) mimo naplánovaný koridor. Jako pozemní stanice byl pro účely práce použit tablet Lenovo Miix 300.



Obrázek 21 - hexakoptéra včetně použitého vybavení [vlastní foto]

4.1.2 Fotoaparát a gimbal

O pořizování leteckých snímků se stará kompaktní digitální fotoaparát Canon PowerShot SX260 HS. Je opatřen 12megapixelovým CMOS snímačem s 20násobným zoomem. Pro snímkování je vhodný také díky vestavěnému GPS přijímači, bez kterého by bylo složité získat polohu v době pořízení snímku. V manuálním režimu dovoluje fotoaparát nastavení potřebných parametrů (citlivost na světlo, rychlost uzávěry atd.) přesně dle

aktuálních světelných podmínek. Nevýhodou v porovnání s jinými kompaktními fotoaparáty je jeho vyšší hmotnost, která činí 231 g a je důležité s ní počítat při prvotním návrhu jednotlivých komponent multikoptéry. Pro účely této práce byl vybrán již vlastněný fotoaparát, který poskytuje dostatečně kvalitní snímky bez nutnosti investovat nemalé finanční prostředky do profesionálních zařízení.

Pro uchycení a stabilizaci fotoaparátu byla použita konstrukce gimbalu vytvořená na míru daného fotoaparátu. Důvodem vlastní stavby je především pořizovací cena nabízených univerzálních úchytnů, která u rozměrnějších zařízení přesahuje částku 1000 Kč. Gimbal byl navržen v prostředí CAD systému a poté vytisknut na 3D tiskárně. Celkové náklady jsou tak několikanásobně nižší a rozměry odpovídají konkrétnímu fotoaparátu. Stabilizace probíhá ve dvou osách a zajišťuje ji samostatná řídicí elektronika nezávisle na hlavním řídicím systému. Pro pohon jsou použity 2 elektromotory. Horizontální stabilizace je neřízená a pouze udržuje fotoaparát ve vodorovné hladině, vertikální naklápění je řízeno RC soupravou.

4.1.3 Letové parametry

Přesné letové parametry stroje lze spolehlivě zjistit pouze jejich reálným měřením v provozu. Nicméně existují nástroje, které poskytují orientační hodnoty v případě, kdy je multikoptéra pouze ve formě návrhu. Díky tomu lze odvodit základní parametry hotového stroje a případně provést potřebné úpravy pro zlepšení. Tyto výpočty mohou posloužit i jako orientační přehled parametrů, které by jinak byly obtížně měřitelné (nebo nejsou pro dané využití tolik důležité, ale vyplatí se je znát). K výpočtu letových údajů byl použit online nástroj eCalc. Webové prostředí je kompletně přeložené do českého jazyka, a kromě multikoptér podporuje i další bezpilotní prostředky. Jeho základní verze je zdarma, disponuje ale omezeným počtem nabízených výrobců. Roční licenci pro nástroj xcopterCalc zaměřený na multikoptéry lze pořídit za 6 dolarů (USD). Výpočet probíhá na základě vyplnění všech podstatných údajů o stroji, jakou je například váha, počet motorů, kapacita napájecích článků, velikost vrtulí atd. Pro každou součást nezbytnou k letu (motor, regulátor atd.) lze zvolit přímo výrobce daného komponentu, což podstatně urychluje práci. V opačném případě by bylo nutné údaje naměřit přímo na součásti a vyplnit je ručně. Nástroj disponuje rozsáhlou databází existujících výrobců, a tak v případě použité multikoptéry nebyl problém s nalezením přesného modelu a výrobce i přes použití některých komponentů, které nejsou tolik rozšířeny. Získané údaje jsou teoretické a od těch skutečných se mohou

lišit, nelze se na ně tedy stoprocentně spoléhat. Samotný provozovatel služby xcopterCalc uvádí rozdílnost teoretických hodnot od skutečných v rozmezí +/- 15 %. Z vypočtených hodnot byla reálně testována pouze doba letu, která hrála při provozu největší roli a částečně také nosnost. Rozdíly mezi vypočteným a skutečným letovým časem ukazuje tabulka níže. K nesenému vybavení byla pouze přidána dodatečná zátěž o hmotnosti 500 g, se kterou byl měřen letový čas při teplotě vzduchu cca 23 °C. Doba letu byla měřena při stabilním visu multikoptéry. Výsledný letový čas klesl z 21 minut na 14 minut a 21 sekund. Maximální nosnost nebyla testována, teoretická se pohybuje kolem 2,5 kg. V tomto případě by se však doba letu pohybovala v řádech jednotek minut.

Teplota [°C]	23	12	0
Vypočtený čas (eCalc)	15 min 32 s	15 min 54 s	11 min 48 s
Reálný čas	21 min 11 s	16 min 32 s	10 min 15 s
Odchylka	36,37%	3,98%	-13,14%

Tabulka 3 - rozdíly letových časů [vlastní tvorba]

Skutečné letové časy se v některých případech od těch skutečných významně odchylovaly. Je to dáno především použitými akumulátory. I přes podobné parametry se baterie mohou lišit v závislosti na výrobci a na stáří. Přesný letový čas tedy nelze přesně spočítat. Nicméně při teplotách vzduchu od 12 °C byl výsledný letový čas vždy delší než vypočítaný, tzn., že stanovený teoretický čas lze považovat za určité minimum, které dokáže prostředek zvládnout. Při teplotách rovných nebo nižších než 0 °C se zhoršují vlastnosti použitých akumulátorů, které by pro delší lety bylo nutné obalit izolačním materiálem.

4.2 Předletová příprava

Před prvním letem je nezbytná důkladná příprava stroje a veškerého vybavení. V případě zanedbání vzniká velké riziko havárie. Nastavení řídicího systému a příslušenství se věnují následující podkapitoly. Předletovou přípravu se nicméně důrazně doporučuje provádět před každým vzletem. Ačkoliv ze strany softwaru hrozí jen nepatrné riziko ztráty již nastavených hodnot, veškeré vodivé spoje, konektory a uchycení jsou vlivem provozních vibrací z určité části neustále zatěžovány. Zanedbání kontroly letovaného spoje na napájecím modulu vedlo při testování k uvolnění kabelu a přerušení veškerého napájení stroje. Pokud by podobná situace nastala během letu, došlo by k nekontrolovanému pádu a téměř jistému zničení. K zajištění větší bezpečnosti byla multikoptéra dodatečně vybavena přídatným displejem s přesným ukazatelem napětí na baterii a zvukovým signálem v případě poklesu pod stanovenou mez.

Kromě vizuální kontroly samotného stroje umožňuje použitý software definovat také tzv. předletový checklist. Jedná se o předem nastavený seznam požadavků, které musí být splněny, aby bylo možné provést odjištění motorů a vzlétnout. Systém například nedovolí roztočit motory, pokud není zachycen dostatečně kvalitní signál GPS, baterie má příliš nízké napětí nebo v případě, že některý z přístrojů není správně zkalibrován.

4.2.1 Nastavení řídicí jednotky

Použitý řídicí systém je univerzální pro všechny běžné druhy bezpilotních prostředků. Pro konkrétní typ je tedy nutné nahrát příslušný firmware. Ke komunikaci jednotky s PC je nutné stáhnout ovladač volně dostupný na internetových stránkách komunity ArduCopter. Výběr firmwaru a veškeré nastavení jednotky bylo provedeno v programu Mission Planner. Stažení a instalace probíhá automaticky po volbě typu multikoptéry. Ve výchozím nastavení je automaticky nainstalován nejnovější software, v případě nutnosti jsou k dispozici také předchozí verze. Z důvodu použití staršího typu externí GPS antény, která nebyla v aktuální verzi rozpoznána, bylo nutné u použité jednotky zvolit starší firmware. Dalším nezbytným krokem je kalibrace senzorů. Bez správného seřízení by jednotka zasílala nesprávné údaje do pozemní stanice a nebyla by schopna vykonávat automatický let. Seřízení probíhá rovněž pomocí PC. Po úspěšné kalibraci lze ze získaných dat určit přesnou polohu hexakoptéry, její orientaci v prostoru, správné určení světových stran atd. Následuje kalibrace RC soupravy a přiřazení jednotlivých módů k určenému kanálu. Mezi další rozšířené možnosti nastavení patří například omezení maximálního náklonu, rychlost stoupání, přiřazení doplňkových senzorů atd.

4.2.2 Příprava fotoaparátu

Použitý digitální fotoaparát neumožňuje v základním provedení využít dálkového ovládání k pořízení snímku. Pro automatické focení by v tomto případě bylo nutné vybavit gimbal přidavným servomotorem, který by tlačil na spoušť fotoaparátu. Vzhledem k neustálému pohybu během letu by toto řešení nemuselo fungovat spolehlivě a znamenalo by také další nárůst hmotnosti. Další možností je rozšíření funkcí fotoaparátu pomocí nadstavby původního softwaru. Takové řešení umožňuje CHDK (Canon Hack Development Kit) vyvíjený komunitou uživatelů pod licencí GNU pro svobodný software. Toto rozšíření přidá řadu funkcí, které lze k účelu snímkování využít. Především se jedná o možnost ovládat činnost fotoaparátu dálkově připojením do řídicího systému přes mini USB

konektor. Část kabelu připojenou do modulu APM je nutné upravit do podoby kompatibilní s konektory na jednotce. Komunikace a ovládání fotoaparátu pak probíhá převedením pulzně šířkové modulace (PWM) vystupující z jednotky do elektrických impulsů, které je fotoaparát schopen rozeznat. Upravený kabel dokáže přenášet pouze 2 stavy (0 a 1), které pro aktivaci spouště postačí, nicméně v případě nutnosti lze konektor modifikovat tak, aby dokázal rozeznat až 6 různých stavů na základě trvání elektrických impulsů a k jednotlivým stavům pak lze přiřadit konkrétní činnosti. K další přidané funkci patří možnost nahrání vlastních scriptů, které dokáží aktivovat jednotlivé funkce fotoaparátu. Po jejich spuštění dochází ke čtení příchozích impulsů do USB konektoru a na jejich základě vykonávají nadefinovanou činnost. Mezi podporované jazyky pro psaní scriptů patří uBASIC a Lua. V práci byl použit první zmiňovaný. Rozšíření je instalováno na externí paměťovou kartu a nijak nepřepisuje základní software, po jejím vyjmutí je tedy fotoaparát uveden do výchozího továrního stavu.

Pro kvalitní a ostré snímky je nezbytné správné nastavení gimbalu, aby nedocházelo k rozostření vlivem pohybu stroje. Mezi základní parametry patří síla motorů potřebná ke stabilizaci, reakce na výkyvy, redukce kmitání motorů atd. Ze získaných snímků bylo zjištěno, že ostrost fotky není nejvíce ovlivňována pohybem multikoptéry ale především vibracemi, které vznikají od motorů stroje. Tyto vibrace lze částečně eliminovat použitím vhodných tlumících spojů (silentbloků) gimbalu s multikoptérou a správným nastavením reakcí stabilizátoru. Vhodnější, než snaha o tlumení je však odstranit zdroj vibrací. Z tohoto důvodu byly použity pevnější vrtule z uhlíkových vláken, které byly před letem vyváženy na vyvažovače. Pro větší účinnost by bylo dále vhodné vyvážit také rotující pláště motorů. Během testovacích letů bylo určeno základní nastavení fotoaparátu pro zajištění kvalitních snímků.

Doporučené nastavení fotoaparátu:

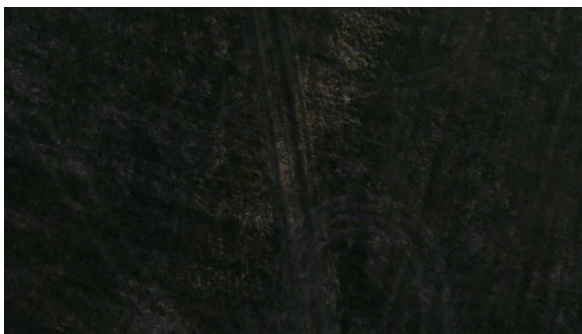
- Hodnota citlivosti ISO: 400.
- Rychlost závěrky: 1/500 nebo kratší.
- Clonové číslo: v závislosti na zvolené rychlosti závěrky a světelných podmínkách. Raději tmavší snímky než příliš světlé se zaniklými detaily.
- Optická stabilizace: vypnuta
- GPS: zapnuto

Doporučené nastavení se může mírně lišit v závislosti na okolních podmínkách během provádění mise. Vždy je třeba přizpůsobit clonové číslo tak, aby nedocházelo k přeexponovaným snímkům. V takovém případě vznikají příliš světlé snímky, na kterých zanikají detaily, které nelze v plné míře kompenzovat ani následnou úpravou. Pokud to světelné podmínky dovolí, je vhodné nastavit rychlost závěrky co možná nejkratší (v tomto případě až 1/2000), aby nedocházelo k rozmazání fotografií. Snímky určené pro zpracování ortofotomapy byly pořizovány v rozlišení 4000 x 3000 pixelů a ukládány ve formátu jpeg.



Obrázek 22 - přeexponovaný snímek se zaniklými detaily [vlastní foto]

Za zhoršeného okolního světla bylo stanoveno minimum rychlosti závěrky na 1/500. Při delších časech vzniká velké množství nekvalitně zachycených fotografií. V některých případech může docházet k pořizování snímků, které jsou na první pohled tmavé se špatně rozlišitelnými detaily. Takové snímky lze jednoduše softwarově upravit a zachycené detaily zvýraznit. Obecně je ale výhodnější (pokud to podmínky dovolují) věnovat určitý čas nastavení fotoaparátu před každým letem tak, aby nebylo nutné snímky po zachycení výrazně upravovat. Následné úpravy velkého počtu fotek znamenají velké zdržení před zpracováním. Některé programy nicméně umí spolehlivě vylepšit obrazovou kvalitu během zpracování a tvorby výsledné mapy. Záleží však na konkrétním nástroji, a ne vždy vede toto řešení k uspokojivým výsledkům.



Obrázek 23 - tmavý snímek před úpravou [vlastní foto]



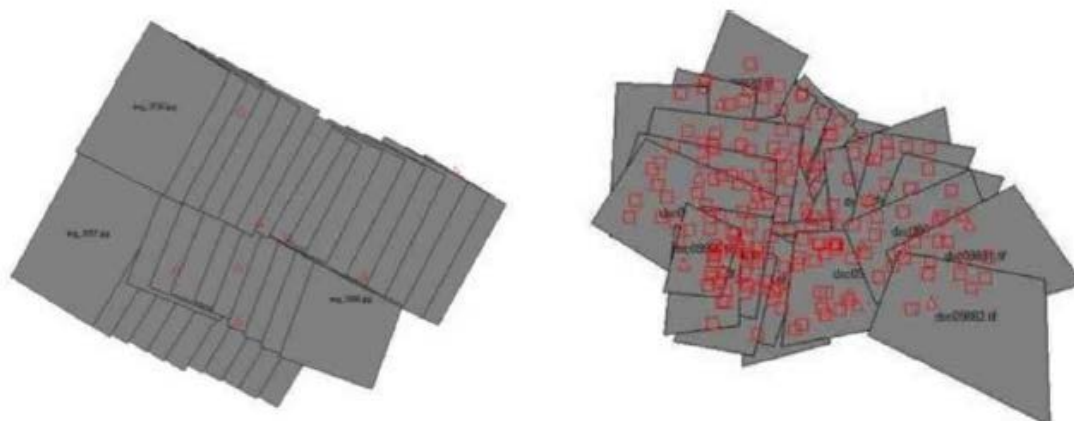
Obrázek 24 - upravený snímek s detaily [vlastní tvorba]

4.3 Příprava mise

Samotné provedení mise je nezbytné předem důkladně naplánovat, a to především proto, aby se předešlo případné kolizi. Vybrané území je vhodné před plánováním navštívit, případně provést zkušební let a zjistit, zda se na místě nevyskytují překážky, které by bránili provedení ostrého letu. Zejména v případě automaticky zvolené trajektorie je důležité, aby se multikoptéra nedostala během stoupaní do kontaktu např. se stromy a aby měla vyhrazený dostatečně velký prostor pro vzlet a přistání (s ohledem na přesnost GPS přijímače). Zkušební let v manuálním režimu nastíní, jaké podmínky lze v daných výškách očekávat (stálá viditelnost ze země, nárazový vítr atd.) a lze se na ně snáze připravit. Každý stroj zvládá poryvy větru odlišně v závislosti na jeho velikosti, vyvážení, počtu motorů atd. Stejně tak má své limity i řídicí jednotka či zkušenosti pilota při manuálním letu. Tato omezení je třeba brát v potaz během plánování. Ideální podmínky pro provedení mise jsou za jasného počasí s co nejmenší rychlostí větru. Během testovacích letů se nejvíce osvědčilo létat spíše k večeru, kdy je stále dostatek světla a rychlost větru je minimální.

4.3.1 Zvolené letové režimy

Pro účely snímkování existuje řada letových režimů od manuálního letu a pořizování snímků až po plně automatické ovládání všech činností. V této práci byl použit manuální režim s automatickou kontrolou letové hladiny, spolu s intervalovým pořizováním snímků a režim samostatného letu, kdy veškerý pohyb i získávání snímků obstarává řídicí systém. Většina moderních bezpilotních systémů v dnešní době využívá především automatických režimů z důvodu snazšího ovládání a přesnému výpočtu míst, kde dojde k pořízení snímku. V oblastech, kde je riziko ztráty GPS signálu je stále vyžadován manuální či poloautomatický let s přístroji nezávislými na příjmu satelitních dat. Od zvoleného způsobu snímkování a stylu letu se odvíjí charakteristika pořízených dat.



Obrázek 25 - rozdíl v uspořádání snímků v automatickém a manuálním letu [13]

Výsledkem automatického letu je díky předem stanovené letové trase konstantní uspořádání snímků z hlediska úhlu pořízení a také mezi nimi vzniká pravidelný překryt. Při manuálním řízení dochází k pořizování kontinuálně během letu bez ohledu na orientaci prostředku. Neexistuje žádná pevně definovaná trajektorie letu a překrytí u jednotlivých snímků se liší. Manuální režim letu je jednodušší z hlediska plánování a nehrozí nehoda zapříčiněná špatně naplánovanou trasou letu. Je důležité během letu sledovat rychlost stroje a udržovat ji v nižších hodnotách (cca 1 – 3 m/s), aby byl fotoaparát schopen zaostřit. Při špatném nastavení fotoaparátu či špatných okolních podmínkách může vyšší rychlost znamenat nedostatečně ostré snímky. Pro větší oblasti je vhodné zvolit metodu automatického letu. Na následné zpracování jsou z důvodu vyššího počtu snímků z různých úhlů kladeny vyšší nároky na výpočet.

4.3.2 Způsob pořizování snímků

V závislosti na různých režimech letu byly také použity odlišné způsoby zachycování snímků. Ke každému z režimů byl přiřazen jednoduchý skript ovládající spoušť fotoaparátu. V plně automatickém režimu obstarává celý proces snímkování řídicí jednotka, která přivádí elektrické impulsy do konektoru automaticky ve spočítaných časových intervalech dle naplánované trajektorie. Běžící skript v tomto případě čeká na impuls, který vyhodnotí jako příkaz k pořízení fotografie a po jeho vykonání se následně vrátí zpět do stavu vyčkávání. V manuálním letu by ruční ovládání spouště mohlo odvádět pozornost od řízení. Pro tyto případy je použit skript ve formě jednoduché nekonečné smyčky, který pořizuje snímky v daném intervalu (v tomto případě každé 2 vteřiny), dokud nedojde k jeho ruční deaktivaci. Každý ze skriptů je uložen na paměťové kartě fotoaparátu. Firmware neumožňuje souvislý

běh více programů v jednu chvíli, před každým letem je tedy nezbytné nahrát a aktivovat vždy pouze jeden příslušný skript. Pro případy pořizování testovacích snímků sloužících např. ke kalibraci fotoaparátu lze využít skript pro automatické lety také v manuálním módu a ovládat spoušť pomocí přepínače na vysílači.

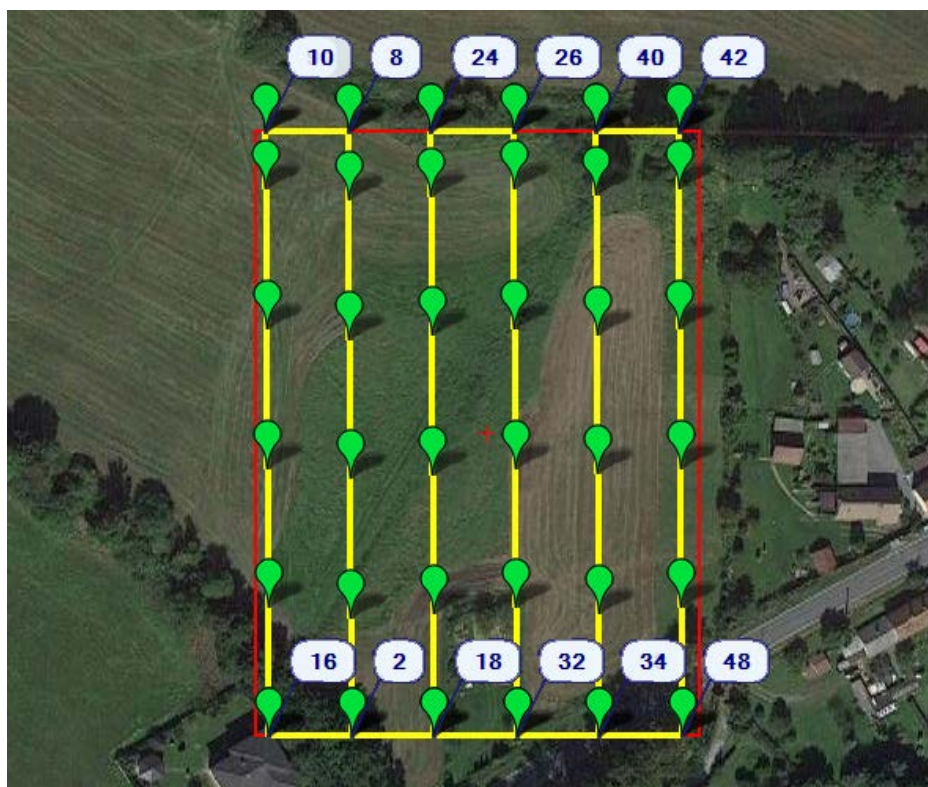
<pre>print "Script bezi, ctu hodnoty" sleep 1000 goto "interval" :interval p = get_usb_power if p > 0 then goto "vyfot" goto "interval" :vyfot press "shoot_full" sleep 50 release "shoot_full" goto "interval"</pre> <p><i>Obrázek 26 - skript pro jednotlivé snímky [vlastní tvorba]</i></p>	<pre>print "Script bezi, ctu hodnoty" p=0 while p=0 press "shoot_full" sleep 50 release "shoot_full" sleep 2000 wend</pre> <p><i>Obrázek 27 - skript pro snímkování ve smyčce [vlastní tvorba]</i></p>
---	---

4.3.3 Definování trajektorie

V režimu manuálního letu byla trajektorie řešena volnými přelety nad danou oblastí bez předchozího softwarového plánování (pouze s automatickým držením výšky). Vzhledem k těžšímu určení přesné polohy prostředku ze země by snaha o přesný, předem definovaný let byla obtížná. Ačkoliv použitý SW umožňuje vymezit oblast, ze které se nelze vzdálit, a to ani v plně manuálním režimu, vzhledem k relativně malému území stačilo během snímkování sledovat přesnou polohu přenášenou do pozemní stanice.

Trajektorie automatického letu byla vypočítána automaticky v programu Mission Planner. Samotné plánování začíná definováním velikosti snímané oblasti, typu multikoptéry, fotoaparátu, požadované výšky snímání (případně rozlišení výsledných snímků) a rychlostí, které budou během vykonávání dodržovány. Po zadání těchto parametrů program vypočte ideální rozmístění waypointů (průchozích bodů). Kromě letových bodů přidá software na začátek sekvence také příkaz, který po absolvování přesně vypočítané vzdálenosti automaticky aktivuje spoušť fotoaparátu. Snímání tak probíhá průběžně během letu bez zastavování stroje. Součástí výpočtu je i orientační doba letu. Výslednou trajektorii lze dále libovolně upravovat a přidávat waypointy dle potřeby. V případě problémů v podobě neostrých snímků lze trasu upravit tak, aby před každou aktivací spouště

fotoaparátu stroj zastavil. Program nastaví let tak, aby se stroj do potřebné výšky dostal během cesty do prvního průchozího bodu, je tedy důležité dbát na to, aby se v cestě během stoupání nevyskytla překážka, případně upravit trajektorii tak, aby došlo k vystoupaní hned po vzletu. Po skončení úprav je trajektorie nahrána do řídicí jednotky a po přepnutí automatického módu je vykonána. Ačkoliv je mise ve výchozím nastavení plánována jako plně automatický let od vzletu po přistání, v praxi se osvědčilo trasu částečně modifikovat, aby začínala až po manuálním vzletu a končila několik metrů nad zemí tak, aby mohl pilot přistát manuálně. Je to především z toho důvodu, že přistávací plocha není obvykle dokonale rovná, bez překážek a autopilot by mohl mít s přistáním problémy. V krajním případě by mohlo dojít k překlopení a poškození stroje. Pro automatické přistání by bylo vhodné doplnit stroj o senzor vzdálenosti od země.



Obrázek 28 - vypočítaná trajektorie pro automatický let v SW mission planner [vlastní tvorba]

4.4 Provedení mise

Po důkladné přípravě a kalibraci všech senzorů a řídicího systému je multikoptéra připravena na uskutečnění letu. Den provedení je důležité plánovat předem s ohledem na viditelnost a povětrnostní podmínky. V závislosti na typu prováděné mise je nezbytné aktivovat ve fotoaparátu příslušný script. Snímkování bylo nezávisle na způsobu letu vždy realizováno ve výšce 50 metrů nad zemí.

Pro manuální snímkování není třeba do řídicí jednotky nahrávat žádnou zvolenou oblast pro snímkování. Současně lze misi do jisté míry vykonat i bez pozemní stanice, nicméně je vhodné ji použít, aby mohl pilot sledovat prostor, nad kterým již letěl a zároveň mohl kontrolovat, zda neletí příliš vysokou rychlostí, která by mohla znehodnotit pořízené snímky. Samotné provedení spočívá ve vystoupení do potřebné výšky (přesná výška je přenášena opět do pozemní stanice), kde dojde k přepnutí do režimu udržování letové hladiny a ručně se aktivuje script pro pořizování fotografií. Poté je zvolená oblast několikrát důkladně přeletěna tak, aby došlo k pořízení snímků s dostatečným překryvem a nikde na mapě nebyla „slepá“ místa. Manuální let se sekvenčním snímáním byl vykonán během 12 minut s celkovým počtem 102 snímků.



Obrázek 29 - znázornění trajektorie letu v manuálním režimu [vlastní tvorba]

V případě automatického letu pilot obstarává pouze přípravu stroje k letu a případně se stará o vzlet a přistání. Po vzletu dochází k manuálnímu přepnutí do automatického režimu a trajektorii včetně aktivace spouště ovládá řídicí systém. Výsledná trajektorie letu tak odpovídá předem nastavené cestě. Povinností pilota vyplývající ze zákona je provozovat dron tak, aby na něj měl po celou dobu vykonávání mise přímý dohled a mohl zasáhnout v případě krizové události. Po pořízení snímků dron v závislosti na definici mise buď přistane nebo sklesá do nastavené výšky, kde řízení převezme pilot a přistane ručně. Automatický let trval cca 6 minut, během kterých bylo pořízeno 32 snímků.

4.5 Vytvoření ortofotomapy

Pro vytvoření finální mapy ze získaných snímků byly zvoleny programy uvedené v následujících podkapitolách. Jedná se o výběr softwarových prostředků, ve kterém se vyskytují programy určené pro práci s fotografiemi a vytváření fotografických map i specializované nástroje pro zpracování leteckých snímků a tvorbu ortofotomap. Ve výběru byly použity jak bezplatné, tak komerční programy. Pro analýzu kvality zpracování byly využity snímky pořízené v režimu manuálního letu, a to především z důvodu jejich většího množství, které zajistí více alternativních fotografií pro případ, že některé z nich nebudou pořízené v dostatečné kvalitě.

Všechny nástroje byly pro zajištění objektivních výsledků měření výkonnosti (v případě, že zpracování dat probíhalo na straně lokálního stroje) provozovány na identickém osobním počítači. HW a SW vybavení použitého počítače:

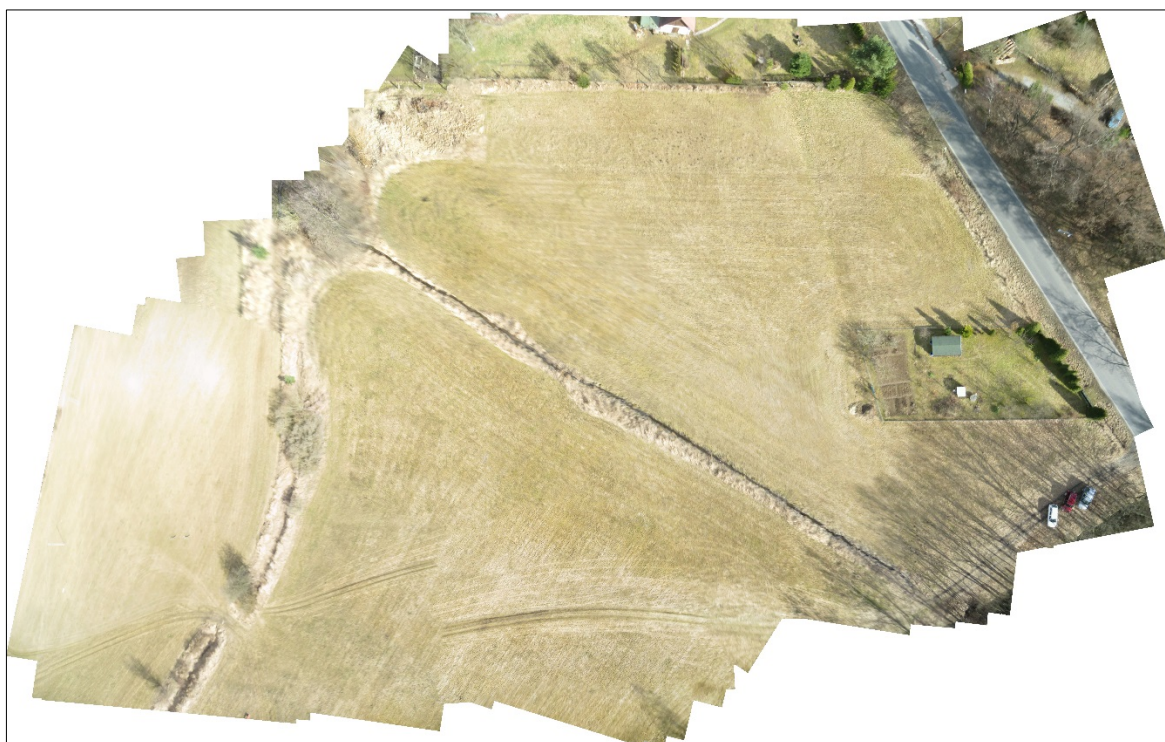
- Operační systém: Windows 7 Professional SP1 (x64)
- Operační paměť: 16 GB
- Procesor: Intel Core i5 – 4690K 3,50 GHz
- Grafická karta: MSI GeForce GTX 260 SLI (x2)

4.5.1 Image Composite Editor (ICE)

Tento program není speciálně určený pro tvorbu ortofotomap, nicméně pokud nejsou vyžadována žádná dodatečná měření a určování polohy na výsledné fotomapě, dokáže snímky spolehlivě spojit do jednoho a tím vytvořit mapu. Jedná se o bezplatný nástroj vyvíjený společností Microsoft. Je primárně určený pro tvorbu panoramatických fotografií. Nepracuje tedy s GPS umístěním jednotlivých snímků a výsledná mapa rovněž není nijak umístěna vzhledem k zeměpisným polohám. Nenese v sobě tedy ani žádné informace o místě, kde byly pořízeny snímky a její případné umístění je nutné provádět ručně. GPS souřadnice přiřazené snímkům nejsou využívány ani při jejich skládání. O veškerou práci se snímky a jejich správné napojení se stará algoritmus programu pouze na základě samotného snímku. Veškeré operace probíhají automaticky bez nutnosti zásahu přímo na klientském stroji, kde program běží.

Vzhledem k určení programu je práce s ním jednoduchá a nevyžaduje žádné další zkušenosti s tvorbou leteckých map ani panoramat. Pro vytvoření mapy stačí do nástroje vložit získané snímky a nechat zpracovat. Program disponuje několika možnými efekty,

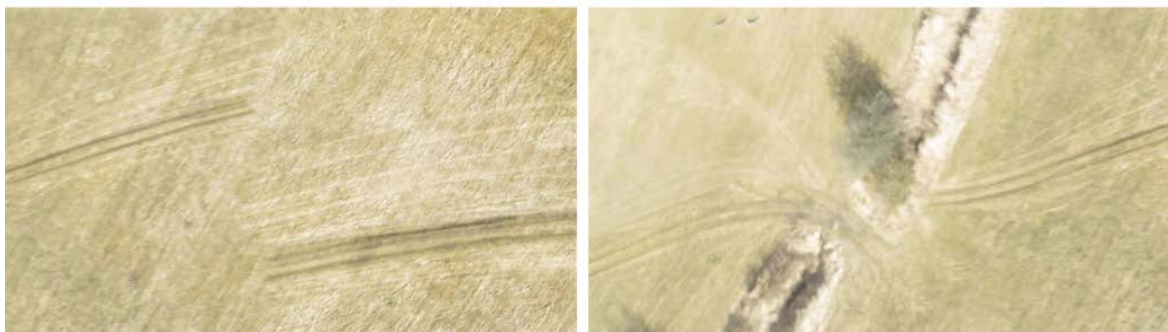
keré lze při tvorbě panoramat využít. Pro tvorbu letecké mapy je důležité nastavit nástroj tak, aby nebyl použit žádný z efektů a nedošlo tak ke znehodnocení výstupu. Během procesu tvorby mapy dochází nejprve k natočení všech snímků tak, aby na sebe jednotlivě navazovaly a teprve poté je z nich vytvořena výsledná mapa. Celý proces trval celkově 4 minuty a 12 vteřin. Během zpracování využíval program pro své výpočty přes 7 GB paměti RAM. Z celkových 102 snímků jich bylo pro vytvoření mapy použito 98. Po spojení lze upravit pouze orientaci a případný ořez výsledné mapy, žádné další možnosti editace vzniklého výstupu program neumožňuje. Výhodou ICE je možnost uložení mapy v několika formátech určených pro obrazové soubory nebo ve formátu přímo pro Adobe Photoshop pro případné další úpravy. V tomto případě byl použit formát JPG v nejvyšší kvalitě. Výsledný rozměr obrazu činí 9100 x 14409 pixelů. Samotný soubor má velikost 19,3 MB.



Obrázek 30 - mapa vytvořená v programu ICE [vlastní tvorba]

Výsledkem zpracování je vytvořená mapa s několika nesrovnalostmi. Přechody mezi jednotlivými snímky jsou poměrně dobře vyvážené ale některé fotografie se nepodařilo spojit tak, aby na sebe přesně navazovaly. Program disponuje mnoha výstupními formáty, což lze ocenit zejména v případě ukládání ve speciálních formátech pro grafické nástroje. Vzhledem k nulové podpoře GPS souřadnic nedisponuje ani žádným souřadnicovým výstupem. Ze všech testovaných nástrojů kladl ICE největší nároky na operační paměť,

zároveň byl také nejrychlejší z hlediska zpracování výstupu. Tento nástroj, ač není určený přímo na tvorbu map, je vhodný pro uživatele, který pro další práci nevyžaduje georeferenční umístění (umístění pomocí GPS souřadnic) snímků a výsledné mapy. Z hlediska uživatelské přívětivosti je jeho ovládání velmi snadné a grafické zpracování v podobě velkých ikon zlepšuje přehlednost a orientaci v ovládacích prvcích.



Obrázek 31 - ICE – nepřesné napojení snímků [vlastní tvorba]

4.5.2 AirPhotoSE

Tento zdarma dostupný software byl vyvinut speciálně pro účely práce s leteckými fotografiemi. Dokáže upravit pořízené snímky, které nebyly vytvořeny přesně kolmo proti zemskému povrchu a tím eliminovat zkreslení výsledné ortofotomapy. Kromě vytváření map disponuje také dalšími možnými výstupy, mezi které patří digitální modely terénu nebo vytvoření trojrozměrného zobrazení nasnímaného území. Díky podpoře více pracovních oken lze program jednoduše využít také k ručnímu skládání např. na územní mapy. SW umožňuje také každý jednotlivý snímek automaticky upravit (kontrast, jas, vyvážení barev aj.) a případně do něj manuálně vložit tzv. keypoint (klíčový bod, který následně slouží pro spojení více snímků). Nástroj dokáže pracovat s GPS souřadnicemi uloženými ve snímcích pomocí využívání externího programu Google Earth, nevyužívá je však pro tvorbu ortofotomapy. V tomto případě jsou snímky skládány na základě předem definovaných nebo automaticky vypočtených klíčových bodů.

Pro využití všech nabízených funkcí se od uživatele předpokládá určitá znalost problematiky práce s leteckými snímky, určování bodů atd. Tvorbu samotné ortofotomapy bez vlastních nadefinovaných klíčových bodů lze však realizovat i bez předchozích znalostí. Nejedná se o nástroj vyvinutý softwarovou společností ale o tvorbu jedince, což je při práci s ním patrné, zejména z pohledu designu a uživatelské přívětivosti. Program je vyvíjen od roku 2011. Prvním krokem při vytváření mapy je výběr vstupních dat. Ta jsou podporována ve velkém množství existujících formátů, včetně RAW. Nevýhodou tohoto nástroje

v případě zpracování většího množství dat jsou jeho omezené možnosti využívání operační paměti, které jsou dle autora způsobeny použitou grafickou knihovnou OpenGL. Po potvrzení výběru jsou zobrazeny automaticky vylepšené náhledy, ze kterých lze v případě potřeby dále vyřadit nevyhovující snímky. Automatické vylepšení lze aplikovat také na výstupní mapu, program ale nedokáže dostatečně sjednotit upravovanou kvalitu jednotlivých snímků a ve výsledné mapě jsou pak patrné přechody mezi nimi. Po spuštění zpracování jsou nejdříve vypočteny klíčové body. Tento proces trval při počtu 102 snímků 15 minut a 21 vteřin. Průměrně bylo v každém snímku identifikováno 17 228 klíčových bodů. Dle klíčových bodů probíhá následně otáčení a spojování jednotlivých snímků. Díky omezené velikosti paměti trval tento proces 1 hodinu a 21 minut, během kterých nebylo pro potřeby programy využito více než 800 MB operační paměti. Po skončení spojení snímků dochází k finální úpravě výsledné mapy. Tento proces trval 32 minut. Celkové zpracování bylo tedy dokončeno za 2 hodiny a 8 minut. Software AirPhotoSE je vhodný spíše k tvorbě ortofotomapy z menšího počtu snímků, jejichž zpracování není tolik časově náročné. Pro porovnání závislosti rychlosti zpracování na počtu použitých fotografií bylo provedeno také měření s menším počtem snímků. Bylo vybráno 20 snímků, což zkrátilo výpočet klíčových bodů na 2 minuty a 28 vteřin. Spojování snímků bylo dokončeno během 2 minut a 12 vteřin. Proces tvorby finální podoby mapy trval 8 minut. Autor softwaru doporučuje manuálně upravit orientaci snímků tak, jak budou následně vloženy do mapy, což následně zrychlí celý proces napojování fotografií a také může dojít ke zvýšení přesnosti napojení. Tento postup lze však opět aplikovat v případě menšího počtu snímků, ze kterých lze jejich finální orientaci odhadnout. Hodí se tedy spíše pro snímky získané automatickým letem, které jsou relativně stejně orientované díky rovné trajektorii při snímkování. Výstup lze uložit ve všech obvyklých obrazových formátech či jiných souborů umožňujících uložení obrazu. Výsledný rozměr mapy je 10894 x 8051 pixelů a ve formátu bmp činí velikost souboru 250 MB. Méně kvalitní výstup v podobě jpg obrazu v nejvyšší možné kvalitě má velikost 11 MB.



Obrázek 32 - mapa vytvořená v AirPhotoSE [vlastní tvorba]

Výsledný obraz se ve většině případů podařilo z jednotlivých snímků spolehlivě složit. Software automaticky uloží každý upravený snímek, který vkládá do mapy, a tak lze v případě potřeby některé z fotografií odebrat a použít jiné (za předpokladu, že zůstane zachován dostatečný překryt tak, aby na mapě nevznikala prázdná místa). Přesnost napojení lze hodnotit velmi kladně. Určitým nedostatkem je nedostatečné maskování přechodů snímků. Na spojeném obrazu tak lze relativně snadno identifikovat jednotlivé fotografie. Program nabízí automatickou obrazovou úpravu, která se ale zaměřuje pouze na samotné snímky, nikoliv na výstup. Řešením může být ruční úprava či výběr takových snímků, které se od sebe liší jen minimálně. Nevýhodou při zpracovávání většího množství dat je omezená schopnost softwaru využívat dostupnou operační paměť. Díky tomu jsou výpočty mnohdy mnohonásobně delší. Menší hardwarové nároky na druhou stranu mohou znamenat výhodu v případech, kdy jsou výpočty prováděny na méně výkonných stanicích. Rozložení ovládacích prvků programu je srozumitelné i pro nového uživatele. Grafické zpracování prostředí odpovídá starší koncepci programu a malému počtu jeho aktualizací od vydání. Pro zachycení větší oblasti je vhodné pořizovat snímky z větší výšky, což zajistí menší počet potřebných fotografií a také minimalizuje množství viditelných přechodů na výsledné mapě.



Obrázek 33 - AirPhotoSE – viditelné přechody mezi snímky [vlastní tvorba]

4.5.3 Pix4D

Pix4D představuje specializovaný software pro zpracování leteckých dat z bezpilotních prostředků. Dokáže pracovat s velkým množstvím nasbíraných dat, ze kterých díky velkému překrytí fotografií vytváří přesné výstupy i v případě jejich pořízení pomocí méně kvalitního fotoaparátu. Hlavní výstup tvoří georeferencovaná (umístěná pomocí souřadnic GPS) ortofotomapa a digitální model terénu. Mezi další výstupy patří například model se zobrazením místa pořízení jednotlivých snímků, trojrozměrné zobrazení snímané oblasti nebo soubor ve formátu kml určený pro mapový software Google Earth. Plná verze programu se všemi nabízenými funkcemi nese označení Pix4Dmapper Pro a její cena činí 260 EUR za měsíc (cca 7000 Kč). Roční licence je nabízena za cca 70 000 Kč. Časově neomezenou verzi s garantovanou roční podporou pak Pix4D nabízí za 6500 EUR. Pro účely této práce byla použita 15denní zkušební verze, která disponuje všemi funkcemi. Výhodou tohoto nástroje je fakt, že výrobce nabízí 2 různé možnosti zpracování dat. Jedním ze způsobů je stažení programu do vlastního PC, ve kterém budou následně probíhat veškeré výpočty. Druhým řešením je využití client – server aplikace, která umožní nahrát data na cloudové úložiště a zpracovávat výpočty na straně serveru. Toto řešení je obzvláště vhodné v případech, kdy klientská stanice nedisponuje dostatečným výpočetním výkonem a zpracování dat by trvalo neúměrně dlouho. Obě metody zpracování jsou dostupné také ve zkušební verzi.

Zpracování v klientské aplikaci probíhá automaticky bez nutnosti zásahů uživatele. Prvním krokem je nahrání příslušných snímků, ze kterých je následně automaticky zjištěn systém souřadnic, georeferenční umístění jednotlivých snímků, včetně vertikální a horizontální přesnosti a model fotoaparátu použitý k jejich pořízení. V případě požadavku na vyšší přesnost lze GPS údaje snímků manuálně upravit tak, aby co možná nejvíce odpovídaly skutečnému pořízení snímku. V tomto případě byly hodnoty ponechány tak, jak

byly zaznamenané GPS jednotkou ve fotoaparátu. Následuje zvolení požadovaného výstupu. Mezi standardní výstupy v podobě mapy lze dále zvolit například vytvoření 3D modelu nasnímaného objektu. Při použití speciálně určených snímacích zařízení umožňuje program také výstupy v podobě multispektrálních, RGB, termálních a jiných účelně zaměřených map. Po zvolení výstupu jsou na mapě zobrazeny body reprezentující místo pořízení snímku. Proces zpracování je rozdělen do 3 fází. První krok reprezentuje prvotní zpracování dat, ve kterém dochází k identifikaci klíčových bodů, kalibraci a spojování jednotlivých snímků. Po skončení nabízí program trojrozměrné zobrazení všech klíčových bodů, pomocí kterého lze po kliknutí na jednotlivý bod zjistit, v kolika snímcích byl identifikován. Ve druhé fázi dochází k vytvoření mračna bodů, které slouží k sestavení 3D modelu oblasti. Tato část není nezbytně nutná k tvorbě mapy a lze ji při zpracování vynechat. Posledním krokem je vytvoření samotné ortofotomapy. Všechny fáze v sobě zahrnují 23 dílčích operací. Program během svého zpracování využíval maximálně 2 GB operační paměti. Na rozdíl od předchozích dvou testovaných nástrojů, kladl Pix4D při výpočtech maximální nároky na CPU. Při výpočtech se tak využití procesoru programem udržovalo z velké části na 100 %. Počet využívaných jader procesoru a objem přidělené paměti lze upravit v nastavení softwaru. Celková doba zpracování 102 snímků činila 51 minut. Časové rozdělení pro jednotlivé fáze činí 14 minut pro úvodní zpracování, 21 minut pro tvorbu 3D modelu a 19 minut potřebných k vytvoření ortofotomapy. Program nabízí pouze jeden obrazový výstup mapy ve formátu tif. Výsledný soubor má velikost 132 MB a obrazové rozlišení 8987 x 14012 pixelů.

Zpracování na straně serveru probíhá bez jakýchkoliv nutných změn nastavení a vyžaduje pouze nahrání podkladových dat. Doba odesílání snímků je závislá na jejich počtu a rychlosti internetového připojení. Nahrání 102 snímků o celkové velikosti 459 MB trvalo při změřené rychlosti uploadu 4,98 Mb/s cca 12 minut. Po skončení následovalo oznámení o začátku zpracování a také orientační čas jeho dokončení, který byl stanoven na 1 hodinu a 10 minut. Reálný výpočet byl k dispozici po 39 minutách. Výsledná data lze stáhnout samostatně pro každý výstup nebo jako kompletní projekt, který lze otevřít v klientské aplikaci (velikost projektu činí 1,6 GB). Zároveň se soubory ke stažení dochází k automatickému zaslání reportu o průběhu na zvolený email. Ze zprávy vyplývá, že proces zpracování ortofotomapy (fáze 3) trval 6 minut a 5 vteřin. Výpočty byly prováděny na stroji s CPU Intel Xeon E5 – 266 v3 2,9 GHz a s operační pamětí o velikosti 59 GB.



Obrázek 34 - výstup vytvořený v Pix4D [vlastní tvorba]

Výsledkem zpracování je spolehlivě složená souřadnicově určená ortofotomapa, na které nelze rozlišit hranice jednotlivých snímků a na první pohled působí dojmem jednoho celistvého snímku, což je jeden z hlavních požadavků při tvorbě ortofotomap. Nepřesně napojených snímků je na celém obraze minimum. Výhodou umístění mapy pomocí GPS souřadnic je možnost jejího vložení do mapových nástrojů a mít tak k dispozici detailnější obraz než v případě dostupných snímků z družic. Vzhledem k pouze jednomu výstupnímu formátu je v případě potřeby tento formát nutné převést na jiný pomocí dalších programů. Při vypracovávání práce byl k otevírání a ukládání odlišných formátů použit software Adobe Photoshop. Rychlost zpracování se odvíjí od výkonu stanice, velkou výhodou je proto možnost zpracovat data na serverové stanici poskytované výrobcem a stáhnout již vyhotovené soubory. Nevýhodou pro uživatele, který se snímkováním nezabývá ve velké míře jsou vysoké pořizovací náklady na software, které odpovídají spíše profesionálnímu využití ke komerčním účelům. Nutno dodat, že s vyšší cenou dostává uživatel plnohodnotný software s online podporou zpracování, který lze využívat nejen k tvorbě ortofotomap. Uživatelské prostředí i grafické zpracování je velmi přívětivé a základní práci s programem díky minimálnímu počtu kroků zvládne i nový uživatel.



Obrázek 35 - Pix4D – nalezené nesrovnalosti [vlastní tvorba]

4.5.4 Icaros

Icaros reprezentuje dalšího ze zástupců nástrojů specializujících se na práci s leteckými snímky a tvorbu mapových výstupů. Jako hlavní výhody uvádí výrobce především možnost zpracování dat z rozsáhlých oblastí a jednoduchost ovládání. Jedná se o komerční program. Během práce byla využita 30denní zkušební verze programu OneButton Standard. Nejkratší možná doba, na kterou lze zakoupit licenci je 1 rok a cena základní verze činí 1 200 USD (cca 30 500 Kč). Kromě ortofotomap disponuje program funkcemi pro tvorbu 3D modelů i práci s multispektrálními snímky. Zpracování probíhá na klientském PC a vyžaduje stažení aplikace, které je rozděleno do několika kroků. Po nainstalování programu je automaticky vygenerován unikátní klíč pro daný počítač, který je nezbytné vložit dle pokynů výrobce do webového formuláře a odeslat. Následně je na zvolenou emailovou adresu zaslán licenční soubor, který umožní aplikaci spustit.

Před zpracováním dat je nezbytné založit nový projekt. Po zvolení umístění snímků a přečtení GPS souřadnic program dodatečně stáhne data týkající se oblasti jejich pořízení. Zvýšení kvality výstupu napomáhá možnost blíže specifikovat typ terénu, který byl snímán (rolišuje se, zda byla focena vegetace či budovy, včetně hustoty jejich rozmístění). Po potvrzení prvotního nastavení je zobrazena mapa s body, ve kterých došlo k pořízení snímků. K samotnému zpracování dochází po volbě požadovaného výstupu čili georeferencované mapy. Prvním krokem je vypočtení klíčových bodů jednotlivých snímků a následné hledání shody, na základě které budou fotografie spojeny. Během procesu poskytuje program přehledné informace o své činnosti a porovnávané dvojice snímků vždy zvýrazní a vypíše jejich názvy. HW nároky během této operace jsou kladeny především na CPU, který byl po celou dobu využívám v rozmezí 90 – 100 %. V prvotní fázi vypočítávání klíčových bodů bylo využito 1,2 GB paměti RAM. Během hledání shod mezi body bylo využito od 80 do 350 MB RAM. V další fázi dochází k pozicování snímků, které je

následováno finálním spojováním do souvislého obrazu. Součástí výstupu je také digitální model terénu. Během celého průběhu zpracování byla detekována také síťová aktivita programu. Její účel se nepodařilo zjistit, nejspíše však poskytuje podporu při zpracování a ukládání mezivýsledků. Zpracování dat a vygenerování výstupu bylo dokončeno za 21 minut. Výsledná mapa je automaticky generována ve formátu tif. Velikost souboru činí 319 MB a obrazové rozlišení je 7501 x 11001.



Obrázek 36 - mapa vytvořená v programu Icaros OneButton [vlastní tvorba]

Na vygenerovaném výstupu nelze rozeznat přechody mezi jednotlivými snímky ani při bližším zkoumání. Výjimku tvoří fotografie, které nebyly dostatečně zaostřené vlivem pohybu multikoptéry. Toto ale nelze považovat za selhání softwaru. Z hlediska přesnosti napojení lze pozorovat menší odchylky. Čas potřebný ke zpracování lze vzhledem k ostatním porovnávaným nástrojům hodnotit jako velmi dobrý. Program ve výchozím nastavení automaticky provedl obrazovou úpravu mapy, která je v porovnání s originálním zobrazením výrazně tmavší, zároveň ale částečně zvýrazňuje detaily povrchu. Uživatelské prostředí se z počátku užívání nejeví příliš intuitivně a množství volitelného nastavení může být pro začátečníka složité. Nicméně program je schopen většinu potřebných dat zjistit automaticky z nahraných fotografií bez nutnosti změn ze strany uživatele. Kladně působí hardwarové nároky, které byly z testovaných nástrojů jedny z nejnižších. Výstup tvoří

podobně jako u Pix4D obraz ve formátu tif bez možnosti volby jiných typů. Nejkratší možné období, na které lze software zakoupit je 1 rok, což může být nevýhodné pro uživatele, kteří zpracovávají letecké snímky jen zřídka a na delší období by pro něj nenašli uplatnění. Na roční období vychází základní verze v porovnání s konkurenty levněji.



Obrázek 37 - Icaros – nalezené nesrovnalosti [vlastní tvorba]

4.5.5 Agisoft PhotoScan Professional

Poslední z testovaných SW nástrojů se rovněž řadí do kategorie programů určených speciálně po práci s leteckými snímky. Dokáže vytvářet výstupy v podobě ortofotomap, digitálních modelů terénu i 3D modelů vybraných objektů. Jedná se o komerčně nabízený nástroj (oficiálním distributorem pro ČR je společnost G4D), jehož neomezenou licenci pro jednu pracovní stanici lze zakoupit za cenu 108 906 Kč. Během práce byla využita nabídka na měsíční trial verzi poskytovaná výrobcem softwaru.

Po přidání fotografií ke zpracování jsou zobrazena místa jejich pořízení získaná z GPS údajů a náhledy jednotlivých snímků. Zpracování je zahájeno výpočtem klíčových bodů, pomocí kterých je určena shoda mezi překryvnými snímky a sestavením modelu z těchto bodů. Tento proces trval 14 minut a 10 vteřin, během kterých bylo využito maximálně 850 MB operační paměti, většinu času se však využití pohybovalo okolo hodnoty 480 MB (+- 10 MB). V průběhu výpočtů byl CPU využíván v rozmezí 97 – 100 %. Dalším krokem pro vytvoření ortofotomapy je převedení získaných bodů do polygonálního modelu (tzv. Mesh model) nebo digitálního modelu terénu (DEM), které tvoří podklad pro tvorbu výsledné mapy. Tvorba obou modelů trvala řádově jednotky vteřin. Čas vytváření ortofotomapy se odvíjí od zvoleného podkladového modelu. Zatímco s použitím Mesh modelu probíhala tvorba 1 minutu a 34 vteřin, v případě DEM trval proces 2 minuty a 26 vteřin. Oba výstupy se lišily pouze drobnými odchylkami. Po porovnání byl zvolen první zmiňovaný model. Celkový proces generování mapy byl dokončen v čase 15 minut a 44 vteřin. Soubor ve formátu tif má rozlišení 9730 x 13174 pixelů a jeho velikost činí 170 MB.



Obrázek 38 - mapa vytvořená v programu Agisoft [vlastní tvorba]

Z hlediska přesnosti napojení jednotlivých snímků nabízí výsledný obraz velmi dobrý výsledek. Po celé mapě lze nalézt minimum nesrovnalostí, které neodpovídají skutečnosti. Většina těchto odlišností se vyskytuje na okrajích mapy, kde již nebyl k dispozici dostatečný počet kvalitních snímků. Vyvážení barev a expozice jednotlivých fotografií utváří dojem jednotlého snímku a přechody mezi nimi nejsou viditelné (vyjma případů neostrých snímků). Z hlediska časové náročnosti na zpracování výstupu vykazuje program velmi dobré výsledky. Uživatelské prostředí a rozmístění ovládacích prvků vyžaduje v případě nového uživatele určitý čas k seznámení, aby nedocházelo k častému opětovnému hledání již jednou použitých funkcí. Na výběr je také z velkého množství nastavení a funkcí pro zpracování, u kterých se předpokládá určitá znalost této problematiky. Nicméně i v případě volby přednastavených hodnot lze vygenerovat kvalitní výstupy. Na rozdíl od většiny dříve testovaných programů se zde proces generování spouští jednotlivě pro každý požadovaný výstup, což umožňuje vynechání těch nepotřebných a zkrácení času zpracování. Vygenerovanou mapu lze exportovat do několika formátů, mezi které patří tif, jpeg, png, kml aj. HW nároky jsou kladeny především na výpočetní výkon procesoru. Využití operační paměti při žádném z realizovaných zpracování nepřesáhlo 1 GB. Cena za

plnou verzi programu je pro běžného uživatele poměrně vysoká, výhodou je, že licence není nijak časově omezená a od zakoupení ji lze využívat trvale.



Obrázek 39 - Agisoft – nalezené nesrovnalosti (vlevo použitý DEM, vpravo Mesh model) [vlastní tvorba]

4.5.6 Porovnání použitých SW nástrojů

Jednotlivá softwarová řešení byla porovnávána pomocí bodového hodnocení na základě předem stanovených kritérií ohodnocených váhami dle důležitosti. Důležitost těchto kritérií byla zvolena z pohledu uživatele, který s podobnými nástroji nemá zkušenosti a s ohledem na maximální kvalitu výsledného výstupu. Přesností zpracování je myšlena celková návaznost jednotlivých snímků tak, aby se netvořily viditelné rozdíly v napojení. Kromě kvality spojení je dále hodnocena kvalita přechodů mezi snímky. Cílem je docílit takového stavu, kdy nebudou hranice snímků pozorovatelné (tzn. dojde ke sjednocení barevného nastavení snímků). Dalším hodnotícím kritériem je rychlost zpracování snímků a vytvoření výstupního obrazu. Kromě rychlosti byly sledovány také hardwarové nároky, které byly v průběhu výpočtů kladeny na klientskou stanici. Mezi další oblasti hodnocení byla zařazena celková uživatelská přívětivost a logika rozmístění ovládacích prvků. Bylo porovnáváno množství výstupních formátů podporované jednotlivými nástroji. Posledním kritériem hodnocení byla cena, za kterou se SW nabízí. Při porovnávání byla použita stupnice bodů v rozmezí 1 – 5 bodů, kde nejvyšší finální hodnota představuje nejlepší výsledek.

Hodnotící kritérium	Váha	Hodnocení					Hodnota				
		ICE	AirPhoto	Pix4D	Icaros	Agisoft	ICE	AirPhoto	Pix4D	Icaros	Agisoft
Přesnost zpracování	0,23	3	4	5	4	5	0,69	0,92	1,15	0,92	1,15
Přechody snímků	0,18	4	3	5	5	5	0,72	0,54	0,9	0,9	0,9
Rychlost zpracování	0,16	5	1	3	4	4	0,8	0,16	0,48	0,64	0,64
Uživatelské prostředí	0,14	4	3	5	4	4	0,56	0,42	0,7	0,56	0,56
Výstupní formáty	0,13	4	4	5	5	5	0,52	0,52	0,65	0,65	0,65
HW nároky	0,11	3	5	4	4	5	0,33	0,55	0,44	0,44	0,55
Cena	0,05	5	5	3	4	3	0,25	0,25	0,15	0,2	0,15
Σ	1	28	25	30	30	31	3,87	3,36	4,47	4,31	4,6
Pořadí							4.	5.	2.	3.	1.

Tabulka 4 - bodové hodnocení dle stanovených kritérií [vlastní tvorba]

Z výsledků hodnocení vyplývá, že programem s nejvyšší hodnotou je Agisoft PhotoScan Professional. Tento nástroj dosáhl vysokého ohodnocení ve většině sledovaných kritériích. V porovnání s konkurenty drobně ztrácí z hlediska přehlednosti a logického rozmístění ovládacích prvků. Ze sledovaných prostředků je také nejdražší, což lze ale částečně kompenzovat neomezeným trváním licence. Tento nástroj disponuje všemi funkcemi, které jsou vyžadovány při práci s leteckými snímky a tvorbě ortofotomap, včetně možnosti GPS výstupů. Hlavním kritériem pro hodnocení byla přesnost zpracování, ve které dosáhl spolu s programem Pix4D nejvyššího hodnocení. U obou nástrojů lze pozorovat jen velmi drobné odchylky.

Druhým v pořadí se stal Pix4D, který oproti softwaru Agisoft ztrácí delší dobou zpracování a většími nároky během provádění výpočtů. Mezi hlavní výhody tohoto programu se řadí vysoká přesnost zpracování, možnost GPS výstupů a také funkce cloudového zpracování. Jeho pořizovací cena je podobně jako u SW od Agisoft relativně vysoká. Z pohledu uživatele začátečníka nabízí jednoduché rozhraní a ovládání.

Třetí pozici v hodnocení obsadil OneButton společnosti Icaros. Stejně jako v předchozích dvou případech se jedná o komerčně nabízený specializovaný nástroj, jehož cena je ale z testovaných placených programů nejnižší. Tento software rovněž disponuje

mnoha funkcemi využívanými při práci s leteckými snímky. Jeho uživatelské prostředí je přívětivé, množství nastavovaných parametrů a preferencí může být ale pro běžného uživatele poměrně složité. Program nicméně spolehlivě pracuje i s výchozím nastavením, které připraví automaticky dle údajů získaných ze snímků. Z pohledu přesnosti napojení jednotlivých snímků byly nalezeny větší rozdíly než v případě 2 již zmiňovaných nástrojů.

Poslední 2 místa jsou obsazena nástroji dostupnými zdarma. 4. místo získal program Image Composite Editor, který není primárně určen pro tvorbu ortofotomap, ale jedná se o software k tvorbě panoramat. To znamená, že nedisponuje tolika funkcemi, ani podporou GPS výstupů. Ze všech nástrojů dokázal výstup zpracovat nejrychleji, zároveň ale také s největšími nesrovnalostmi v napojování snímků. Jeho nároky na operační paměť byly rovněž nejvyšší. Přejechy mezi jednotlivými snímky byly jen nepatrně horší než v ostatních případech. Mezi jeho hlavní výhody patří jednoduchost ovládní, uživatelské přívětivost a cena. Posledním z testovaných nástrojů je AirPhotoSE. Tento software je primárně určen pro menší počet snímků z větších výšek. Při více fotografiích je doba zpracování mnohonásobně delší než u ostatních programů a přechody mezi snímky jsou dobře rozeznatelné. Jeho uživatelské prostředí díky jeho stáří v porovnání s ostatními nástroji ztrácí. Výhodou jeho použití je jeho dostupnost zdarma a malé nároky na hardware.

Jednotlivé nástroje byly testovány na stejné pracovní stanici a se stejnými vstupními daty, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků. Dle úvodních předpokladů dosáhly největšího hodnocení komerční nástroje speciálně určené k tomuto účelu. Kvalita výstupních formátů byla ve většině případů velmi podobná, nicméně drobné rozdíly se zde vyskytovaly a na jejich základě byly přiřazeny body. U nástrojů dostupných zdarma byly nalezené rozdíly větší, nicméně stále se dají považovat za použitelné.

5 Výsledky a diskuse

Na základě poznatků a výsledků získaných během vypracování práce byly zhodnoceny jednotlivé kroky provedené v jejím průběhu. Zároveň byly navrženy doporučené postupy, které by měly zajistit další zkvalitnění výstupu. Dále bylo provedeno porovnání výsledků s existujícími družicovými mapovými podklady a se snímky pořízenými specializovanou společností.

5.1 Použitý bezpilotní prostředek

Použitá hexakoptéra se ukázala být schopným nástrojem pro provádění leteckého snímkování, zejména z pohledu její stability a schopnosti pomalého letu pro získání ostrých snímků. Větší počet motorů než v případě běžnějších 4 motorových multikoptér byl do určité míry nutností kvůli větší nosnosti, a to především z důvodu hmotnosti fotoaparátu, která převyšuje standardní kamery osazované do podobných strojů. Nevýhodou použití řídicího systému ArduPilot byla nutnost zajistit komunikaci se všemi použitými senzory, které pocházely od různých výrobců a mnohdy nebyly jednotkou podporovány. Řešením bylo hledání starších či modifikovaných firmwarů nahrávaných do modulu a několikanásobné absolvování prvotní kalibrace pro zjištění funkčnosti všech periférií. Takováto situace by v případě zakoupení již zkompletovaného stroje od konkrétního výrobce nejspíše nenastala. Komerčně prodávané drony nicméně obvykle nenabízí tak rozsáhlé možnosti individualizace, jako v případě použité multikoptéry vybavené AP modulem. Díky otevřené platformě řídicího systému lze stroj dodatečně vybavit velkým množstvím doplňkových senzorů pro zlepšení stabilizace a zajištění větší ochrany proti havárii. Po získání fungujícího softwaru jednotky představoval řídicí systém po celou dobu provádění letů spolehlivý prostředek pro stabilizaci stroje a řízení automatických letů.

Nedostatkem, který se vyskytl při práci s multikoptérou byla místy neuspokojivá schopnost stabilizátoru fotoaparátu tlumit vibrace přenášené od motorů. I přes použití karbonových vrtulí, které byly vyváženy stále vzniká rušení přenášené k fotoaparátu. Částečný útlum se podařilo zajistit posílením antivibračních prvků, které tvoří spojení držáku s tělem multikoptéry a nahrazení původních plastových částí gimbálu pevnějšími, vyrobenými z duralu. Toto řešení zmírnilo kmitání celého těla stabilizátoru, nicméně při pořizování snímků stále dochází v některých případech k rozostření fotografie, a to i při téměř nehybném visu stroje. Během dalších prací na multikoptéře je plánováno posunutí

celého gimbalu co nejbliže ke středu stroje, což by mělo rovněž zmírnit vibrace a rušení způsobeného prouděním vzduchu od vrtulí přes fotoaparát.

Výsledné pořizovací náklady hexakoptéry činí 18 304 Kč. V této částce není zahrnuta cena RC soupravy a pozemní stanice, které měl již autor k dispozici. Použitý fotoaparát byl rovněž použit z důvodu jeho vlastnictví autorem, nicméně v průběhu zpracování došlo k samovolné poruše a přístroj již nešel zapnout. Vzhledem k již provedené modifikaci a sestavení gimbalu na míru byl zakoupen stejný (použitý) typ přístroje v hodnotě 3 000 Kč. Komerčně nabízenou kvadrokoptéru DJI Phantom 4, kterou lze rovněž využít ke snímkování lze pořídit s kompletním vybavením za 32 390 Kč [51]. Největší výhodou tohoto stroje oproti použité hexakoptéře je detekce překážek a nesená videokamera, která dokáže snímat v rozlišení 4K.

5.2 Kvalita výstupu

Kvalita snímků získaných během letů odpovídá kvalitě použitého fotoaparátu. Při správném nastavení a spolehlivé stabilizaci je multikoptéra schopna pořizovat snímky i pomocí běžného kompaktního digitálního fotoaparátu. Je přirozené, že takovýto fotoaparát není schopen konkurovat kvalitou profesionálně zaměřenému vybavení, nicméně získané snímky dokazují, že uspokojivé výsledky lze získat i bez drahých snímacích zařízení. Při porovnání výstupu se snímky z mapové aplikace Google Earth je patrné, že mapa vytvořená pro účely této práce poskytuje při větším přiblížení detailnější zobrazení než v případě družicového nasnímání. Toto srovnání demonstruje hlavní výhody využití snímkových prostředků v podobě detailního zobrazení menších oblastí. S ohledem na minimální finanční náročnost při využívání již zakoupeného bezpilotního prostředku dovoluje toto řešení rovněž častější aktualizaci snímků sledovaných oblastí a tím také větší aktuálnost výsledné mapy. Rozlišení vytvořené mapy je dle výpočtů provedených ve zpracovatelských programech 1,66 cm/ pixel.



Obrázek 40 - porovnání výstupu s mapovými podklady aplikace Google Earth [vlastní tvorba]

Pro porovnání výstupů s daty získanými odborníky v tomto oboru byla vybrána společnost UpVision s. r. o., která se specializuje na využití bezpilotních prostředků pro účely tvorby ortofotomap, digitálních modelů a mnoha dalších leteckých obrazových výstupů, včetně poskytování konzultačních služeb v této oblasti. Na základě emailové komunikace se spoluzakladatelem a spolumasitelem společnosti p. Jakubem Karasem byly poskytnuty základní údaje o strojích využívaných touto společností a nástrojích použitých pro následné zpracování. UpVision využívá k pořizování leteckých snímků full frame zrcadlovky, čemuž odpovídá také větší velikost multikoptér, které jsou schopné tuto váhu nést. Jedním s využívaných strojů je hexakoptéra DJI Matrice 600 Pro s rozpětím ramen přes 1 metr, která dokáže nést až 6 kg a zároveň je vybavena několikanásobným jištěním avioniky pro případ poruchy. Mezi využívané fotoaparáty patří například Canon 5D Mark II. Focení probíhá výhradně v manuálním režimu, který je upravován dle okolních podmínek před každým realizovaným letem. Pro možné další úpravy expozice jsou snímky ukládány ve formátu raw. Ke zpracování výstupu v podobě ortofotomap je využíván software Agisoft Photoscan Pro, který byl testován také v této práci a dosáhl nejlepších výsledků.



Obrázek 41 - foto pořízené společností UpVision [zdroj: UpVision s.r.o.]

Při porovnání výstupů získaných během vypracování práce s výstupy této společnosti je patrné, že snímky pořízené profesionály jsou mnohonásobně kvalitnější. Mezi hlavní příčiny patří především kvalita použité techniky (která se v případě UpVision pohybuje řádově ve statisících Kč) a zkušenosti z oblasti pilotování a fotografování. Obě provedení mají společné focení manuálním režimem a rovněž program používaný pro zpracování. Cílem tohoto porovnání není snaha konkurovat kvalitou profesionální technice a provedení letů ale poukázat na společné rysy, které platí jak pro amatérské, tak pro profesionální snímkování, a především demonstrovat výhody blízkých leteckých fotografií, které vyniknou nejvíce právě v rukou odborníků v této oblasti.

5.3 Použité programy

Softwarové prostředky využité v této práci byly vybírány na základě posouzení autora s ohledem na co možná nejvyšší kvalitu výsledného zpracování. Oproti původním předpokladům se nepodařilo nalézt větší množství nástrojů, které by byly dostupné zdarma a tím využitelné pro amatérské účely snímkování. Váha přikládaná pořizovací ceně byla nicméně záměrně ohodnocena nízkou důležitostí tak, aby byla největší pozornost věnována kvalitě výstupu.

6 Závěr

Cílem této práce bylo demonstrovat možnosti využití bezpilotního prostředku v oblasti leteckého snímání území, následné analýzy získaných dat a vytvoření ortofotomapy s využitím vybraných nástrojů. Vedlejším cílem bylo využití vlastního sestaveného prostředku vybaveného řídicím systémem ArduPilot. Vlastní multikoptéra byla vybavena běžně dostupným kompaktním digitálním fotoaparátem upraveným pro účely dálkového ovládání jeho funkcí. Nástroje použité pro zpracování výstupu byly hodnoceny na základě předem stanovených kritérií. Z výsledků bodového hodnocení všech testovaných softwarů byl určen ten, který nejlépe splnil kladené požadavky. V závěru práce je vyhodnocen průběh zpracování, porovnání získaných snímků a jsou formulována doporučení, která by měla zajistit další zkvalitnění výstupu.

Při zpracování práce se objevily problémy v podobě nekompatibility SW řídicí jednotky s použitými komponenty a selhání fotoaparátu. Nekompatibilita softwaru byla vyřešena nahráním starší verze firmwaru, která s jednotlivými moduly dokázala komunikovat. Původní fotoaparát byl nahrazen dodatečně zakoupeným stejným modelem. Během samotných letů a realizace snímání nedošlo k žádnému selhání ani havárii. Zpracování ve vybraných programech proběhlo rovněž bez komplikací.

Výsledkem práce je spolehlivě fungující multikoptéra schopná jak manuálního, tak automatického letu. Díky aplikované softwarové nadstavbě je možné ovládat fotoaparát dálkově pomocí vlastních skriptů, které mohou být vyvolány manuálně pilotem nebo automaticky řídicí jednotkou multikoptéry. Na základě získaných dat bylo zjištěno, že použití snímků z manuálního provedení letu je i přes delší dobu zpracování výhodnější především díky velkému překrytí jednotlivých fotografií, které umožňuje případné nahrazení nekvalitního snímku jiným bez vzniku prázdných míst na mapě. Pořizovací náklady takto sestaveného stroje jsou v porovnání s komerčně nabízenými multikoptéry nižší. Oproti již zkompletovaným multikoptérám byla před prvním letem nutná kompletní kalibrace a nastavení řídicí jednotky. Využití této multikoptéry pro snímání území se z hlediska finanční náročnosti na provedení, rychlosti nasazení a kvality snímků ukázalo jako vhodné řešení pro případy, kdy jsou kladeny zvýšené nároky na detailní zobrazení (při zachování nižších pořizovacích nákladů) nebo častější aktualizaci mapy. Konkrétním využitím může být například posuzování škod po přírodních katastrofách, mapování stavu vegetace, kontrola rovnoměrného nanášení látek podporující růst apod. Na základě výsledků bodového

hodnocení bylo zjištěno, že nejvíce vyrovnaných výsledků dosáhly komerčně nabízené softwarové prostředky. U všech programů bylo stanoveno výsledné pořadí. Z testovaných nástrojů získal nejlepší hodnocení Agisoft PhotoScan Professional, který vykazoval nejlepší výsledky ve většině klíčových kritériích, zejména pak v přesnosti napojení snímků. Proto by v případě dalších zpracování se stejně nebo podobně stanovenými nároky bylo využití tohoto softwaru ze všech testovaných nejvhodnější. Dále bylo zjištěno, že kvalitu získaných snímků ovlivňuje nejvíce použité snímací zařízení a jeho stabilizace. Porovnání s mapovými podklady získanými družicovými snímky ukázalo, že výstupy získané pomocí multikoptéry poskytují detailnější zobrazení. Ve srovnání se společností speciálně zaměřenou na letecké snímkování lze nalézt stejné postupy, které byly použity i v této práci. Jedná se především o manuální nastavení fotoaparátu a použitý software pro zpracování, který byl v této práci vyhodnocen jako nejvhodnější. Specializované softwarové nástroje navíc disponují více možnými formáty, pomocí kterých lze modelovat digitální model terénu nebo trojrozměrné znázornění celé oblasti. Toto celé za použití stejných snímků jako v případě tvorby mapy. Z jednoho letu tak lze získat velké množství výstupů různého typu. Při osazení speciálními senzory lze navíc jednoduše získat nástroj umožňující provádění dalších speciálních metod posuzování stavu oblasti (např. multispektrální či tepelná analýza). V případě dalšího využití v této oblasti by bylo vhodné zajistit lepší stabilizaci fotoaparátu pro maximalizaci kvality získaných dat. Ačkoliv kvalitu získaných dat nelze přímo srovnávat se snímky získanými profesionální technikou, pro účely s menšími nároky na detail se multikoptéra vybavena digitálním fotoaparátem ukázala jako plně dostačující prostředek pro letecké snímkování oblastí s následnou tvorbou mapových podkladů.

7 Použitá literatura

1. UAV. *The UAV: Unmanned Aerial Vehicle*. [Online] [Citace: 20. 7. 2016.] <http://www.theuav.com/index.html>.
2. Úřad pro civilní letectví. *Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla?* [Online] [Citace: 20. 7. 2016.] <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>.
3. Murphy, Robin R. *Disaster Robotics*. Cambridge : The MIT Press, 2014. 9780262321303.
4. Visingr, Lukáš. *Bezpilotní vzdušné prostředky*. ATM. 2006, 10.
5. Remote Piloted Aerial Vehicles. *Remote Piloted Aerial Vehicles : An Anthology*. [Online] [Citace: 21. 7. 2016.] http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html.
6. Shaw, Ian G. R. *Understanding Empire. The Rise of the Predator Empire: Tracing the History of U.S. Drones*. [Online] 2014. [Citace: 21. 7. 2016.] <https://understandingempire.wordpress.com/2-0-a-brief-history-of-u-s-drones/>.
7. Wikipedia. *V-1 flying bomb*. [Online] 2016. [Citace: 21. 7. 2016.] https://en.wikipedia.org/wiki/V-1_flying_bomb.
8. Meijer, Germano. *Military Drones. From a Software Studies perspective*. Software Studies: Codes and Images : Universiteit Utrecht, 2013.
9. Vítek, Jan. *Svět Hardware. Dron: zabiják i pomocník*. [Online] 10. 11. 2014. [Citace: 21. 7. 2016.] <http://www.svethardware.cz/dron-zabijak-i-pomocnik/39615-2>.
10. Krock, Lexi. NOVA. *Time Line of UAVs*. [Online] 2002. [Citace: 21. 7. 2016.] <http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>.
11. Military Factory. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAVs) and Drone Aircraft*. [Online] [Citace: 22. 7. 2016.] <http://www.militaryfactory.com/aircraft/unmanned-aerial-vehicle-uav.asp>.
12. Reg, Austin. *Aerospace Series: Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment*. Hoboken : Wiley, 2010. ISBN: 9780470664803.

13. Řehák, Martin. Využití bezpilotních prostředků ve fotogrametrii. *Diplomová práce*. Praha : ČVUT, Fakulta stavební. Katedra mapování a kartografie, 2012.
14. Professional Aerial Photographers Association. *History of Aerial Photography*. [Online] [Citace: 11. 8. 2016.] http://professionalairphotographers.com/content.aspx?page_id=22&club_id=808138&module_id=158950.
15. Roubal, Pavel. Zpracování snímků pořízených z UAS. *Diplomová Práce*. Brno : VUT v Brně. Fakulta stavební. Ústav geodézie, 2014.
16. Polák, Michal. VTM. *Vzducholodě nabírají druhý dech*. [Online] [Citace: 11. 8. 2016.] <http://vtm.e15.cz/vzducholode-nabiraji-druhy-dech>.
17. Sobička, Ivan. Technet. *Možná nevíte, že z Prahy se létá do stratosféry třikrát denně už 56 let*. [Online] 4. 11. 2013. [Citace: 11. 8. 2016.] http://technet.idnes.cz/stratocaching-meteorologicke-balony-ds7-/tec_tecnika.aspx?c=A131031_135545_veda_mla.
18. Mazochová, Věna. Žurnál online. *S balonem lze pořídit letecký snímek za paketel*. [Online] 14. 9. 2014. [Citace: 11. 8. 2016.] <http://m.zurnal.upol.cz/prf/zprava/clanek/s-balonem-lze-poridit-letecky-snimek-za-pakatel/>.
19. Project Loon. [Online] [Citace: 11. 8. 2016.] <https://www.solveforx.com/loon/>.
20. Quest UAV. *Fixed Wing Versus Rotary Wing For UAV Mapping Applications*. [Online] 30. 4. 2015. [Citace: 12. 8. 2016.] <http://www.questuav.com/news/fixed-wing-versus-rotary-wing-for-uav-mapping-applications>.
21. Parrot. *Parrot Disco*. [Online] [Citace: 12. 8. 2016.] <http://www.parrot.com/ces/>.
22. Wikipedie. *Vrtulník*. [Online] 2016. [Citace: 12. 8. 2016.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vrtuln%C3%ADk>.
23. KDS. *Flymentor 3D*. [Online] [Citace: 12. 8. 2016.] <http://www.kdsmodelsusa.com/category-s/1868.htm>.

24. Audronis, Ty. *Building Multicopter Video Drones*. místo neznámé : Packt publishing, 2014. 9781782175438.
25. Adam, Juniper. *The Complete Guide to Drones*. : Octopus Publishing Group, 2015. ISBN: 9781781573075.
26. Novák, Jan A. Droneweb. *FAA vydala doporučení pro předpisy týkající se dronů*. [Online] 11. 4. 2016. [Citace: 17. 8. 2016.] <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/47-pravo-legislativa-faa>.
27. Veselovský, Martin. Aktualne.TV. *Tisíce bezpilotních dronů v Česku porušují zákon*. [Online] 27. 1. 2015. [Citace: 17. 8. 2016.] <http://video.aktualne.cz/dtvv/tisice-bezpilotnich-dronu-v-cesku-porusuji-zakon/r~57bf54c0a5f211e4a7d8002590604f2e/>.
28. Opluštil, Milan. Určení řízení pohybových stavů Quadrocoptery. *Diplomová práce*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, 2014.
29. Úřad pro civilní letectví. *Podle kterého předpisu se řídí provoz bezpilotních letadel / systémů?* [Online] [Citace: 17. 8. 2016.] <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/proc-byly-pozadavky-na-ua-stanoveny-a-podle-ktereho-predpisu>.
30. Úřad pro civilní letectví. *Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy*. [Online] [Citace: 17. 8. 2016.] <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy>.
31. Předpis L 2 - Pravidla létání. *Doplněk X - Bepilotní systémy*. 2014.
32. Maštalka, Jiří. Bepilotní letadla a ochrana osobních údajů. *ÚOOÚ - Informační bulletin*. 2015, 3.
33. Pustina, Tomáš. Provoz dronů (nejen) v ČR a jeho právní aspekty. *ÚOOÚ - Informační bulletin*. 2015, 3.
34. Karas, Jakub a Tichý, Tomáš. *DRONY*. Brno : Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

35. Eisenbeiss, Henry. The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. [Online] 2011. [Citace: 20. 8. 2016.] <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>.
36. Speciální aplikace. *G4D*. [Online] [Citace: 22. 8. 2016.] <http://www.g4d.cz/letecke-snimkovani/specialni-aplikace>.
37. Madrigal, Alexis C. Inside the Drone Missions to Fukushima. *The Atlantic*. [Online] 28. 4. 2011. [Citace: 22. 8. 2016.] <http://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/04/inside-the-drone-missions-to-fukushima/237981/>.
38. Sustainable urban delta. *Ambulance Drone*. [Online] [Citace: 23. 8. 2016.] <http://sustainableurbandelta.com/ambulance-drone/>.
39. DHL. UNMANNED AERIAL VEHICLES. *A DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry*. [Online] 2014. [Citace: 22. 8. 2016.] http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trend_report_uav.pdf.
40. MrK, Týdeník Policie. Týdeník Policie. *Policie představila nový služební DRON, má noční vidění i termovizi*. [Online] 14. 6. 2016. [Citace: 23. 8. 2016.] <http://tydenikpolicie.cz/policie-predstavila-novy-sluzebni-dron-ma-nocni-videni-i-termovizi/>.
41. Pašková, Miroslava. Security magazín. *Dron jako další záchranář Horské služby*. [Online] 9. 4. 2016. [Citace: 23. 8. 2016.] <http://www.securitymagazin.cz/technologie/-1404049916.html>.
42. Komosný, Štěpán. Požáry.cz. *Hasiči Fosfa a.s. jsou první hasičskou jednotkou vybavenou dronem, na každé směně mají jednoho pilota*. [Online] 31. 1. 2016. [Citace: 23. 8. 2016.] <http://www.pozary.cz/clanek/128700-hasici-fosfa-a-s-jsou-prvni-hasicskou-jednotkou-vybavenou-dronem-na-kazde-smene-maji-jednoho-pilota/>.

43. Minařík, Petr. Drone centrum. *Drone nationals - první mezinárodní závody dronů*. [Online] 23. 2. 2016. [Citace: 24. 8. 2016.] <http://www.droncentrum.cz/drone-nationals-prvni-mezinarodni-zavody-dronu/>.
44. John, Glover. *Drone University*. US : Drone University, 2014. ISBN: 9780692316030.
45. FPV24.com. *Lumenier QAV250 Mini FPV Quadcopter - Carbon Fiber Edition*. [Online] [Citace: 24. 8. 2016.] <http://www.fpv24.com/de/lumenier/lumenier-qav250-mini-fpv-quadcopter-carbon-fiber-edition-6956>.
46. justdrones. *How to Choose a Quadcopter*. [Online] [Citace: 30. 8. 2016.] <https://justdrones.com.au/how-to-choose-a-quadcopter/>.
47. Yeager, Charles. envatotuts+. *How to Choose a Camera Drone for Aerial Photography*. [Online] 19. 6. 2015. [Citace: 1. 9. 2016.] <http://photography.tutsplus.com/tutorials/how-to-choose-a-camera-drone-for-aerial-photography--cms-24225>.
48. ArduPilot. *ArduPilot Mega*. [Online] [Citace: 1. 9. 2016.] <http://www.ardupilot.co.uk/>.
49. Wikipedia. *Ardupilot*. [Online] 12. 8. 2016. [Citace: 1. 9. 2016.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ardupilot>.
50. Anderson, Chris. DIY Drones. *ArduPilot*. [Online] 20. 7. 2013. [Citace: 1. 9. 2016.] <http://diydrones.com/notes/ArduPilot>.
51. CZC.cz. *DJI Phantom 4, 4K Ultra HD kamera*. [Online] [Citace: 10. 3. 2017.] https://www.czc.cz/dji-phantom-4-4k-ultra-hd-kamera/197933/produkt?gclid=CMTC9rvqy9ICFU4z0wod2ckN7Q&dclid=CI3d_Lvqy9ICFd6MdwdjB8Iaw.

8 Přílohy

8.1 Ukázky samostatných snímků



Příloha 1 - snímek oblasti a



Příloha 2 - snímek oblasti b

8.2 Detailní výstupy jednotlivých SW



Příloha 3 - mapa vytvořená v AirPhotoSE



Příloha 4 - mapa vytvořená v Image Composite Editor



Příloha 5 - mapa vytvořená v Pix4D

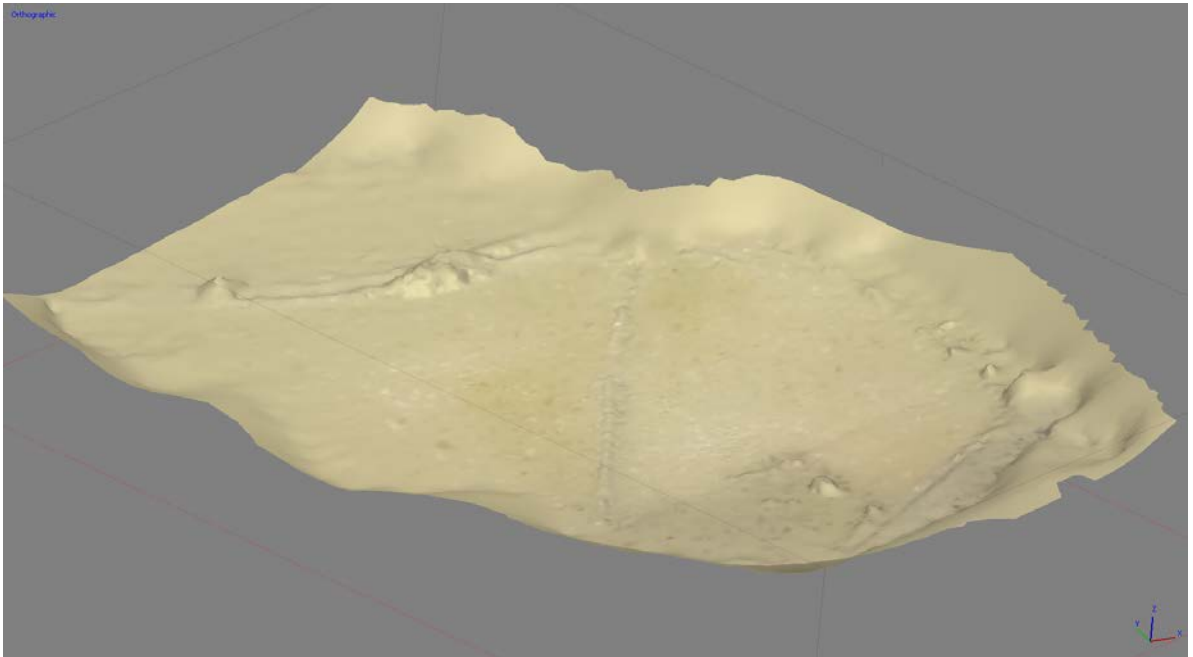


Příloha 6 - mapa vytvořená v SW Icaros

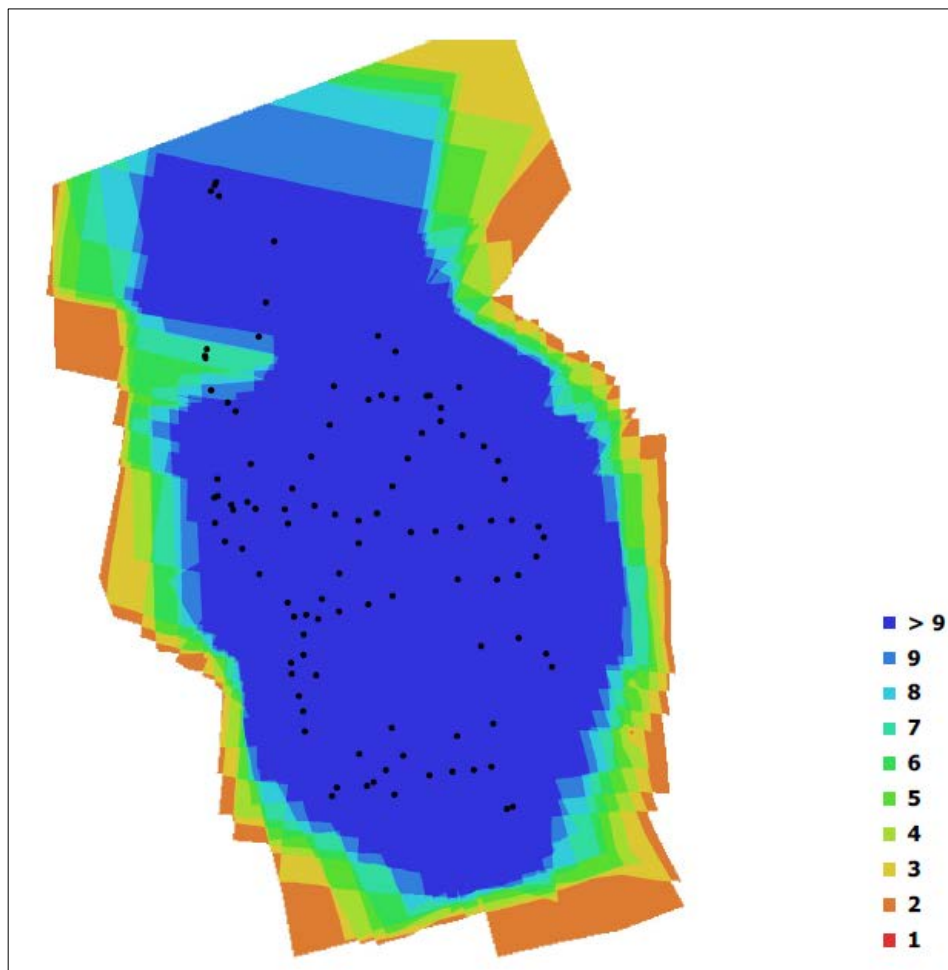


Priloha 7 - mapa vytvořená v SW Agisoft

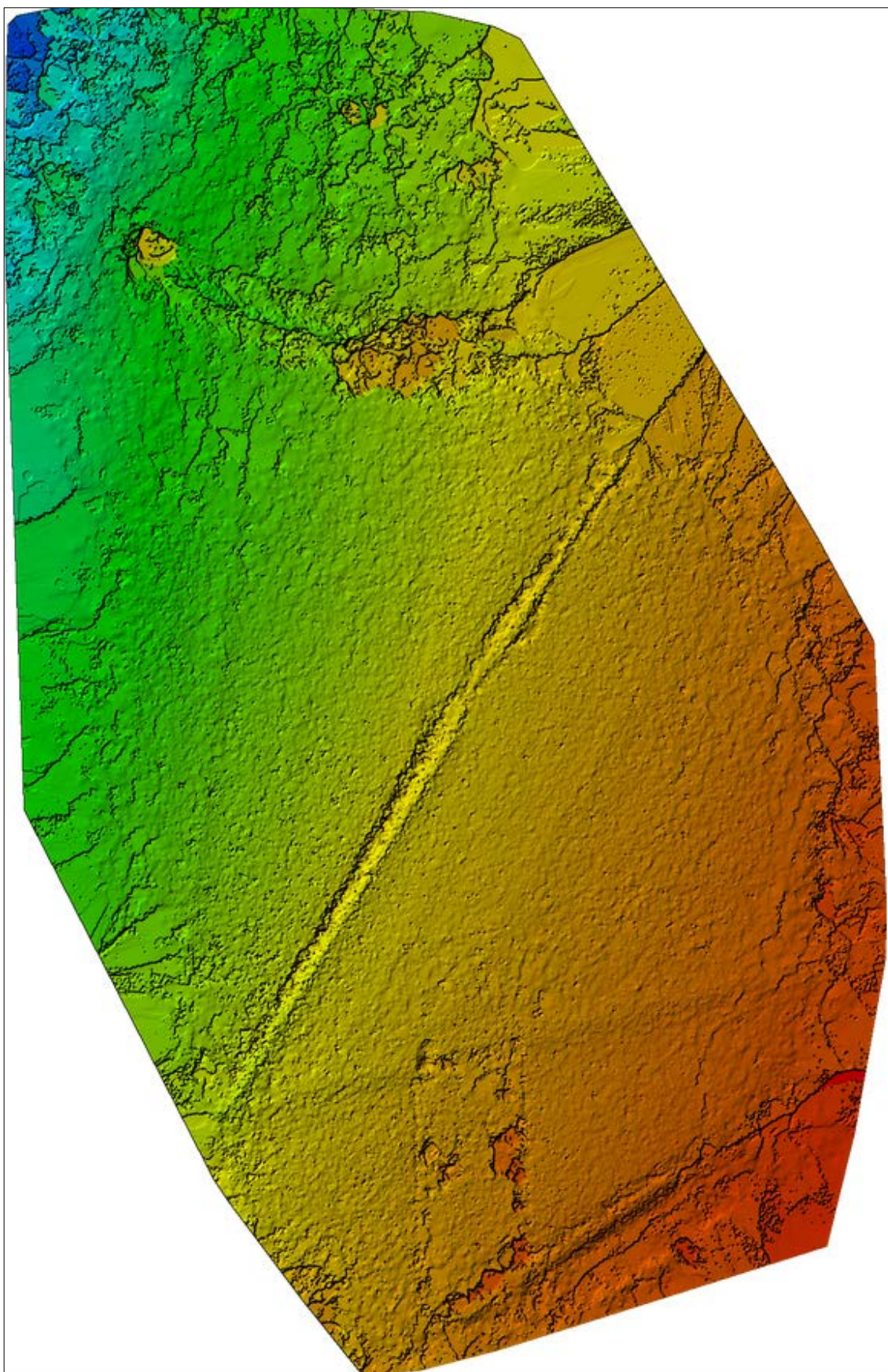
8.3 Další možné výstupy



Příloha 8 - model terénu vytvořený v SW Agisoft



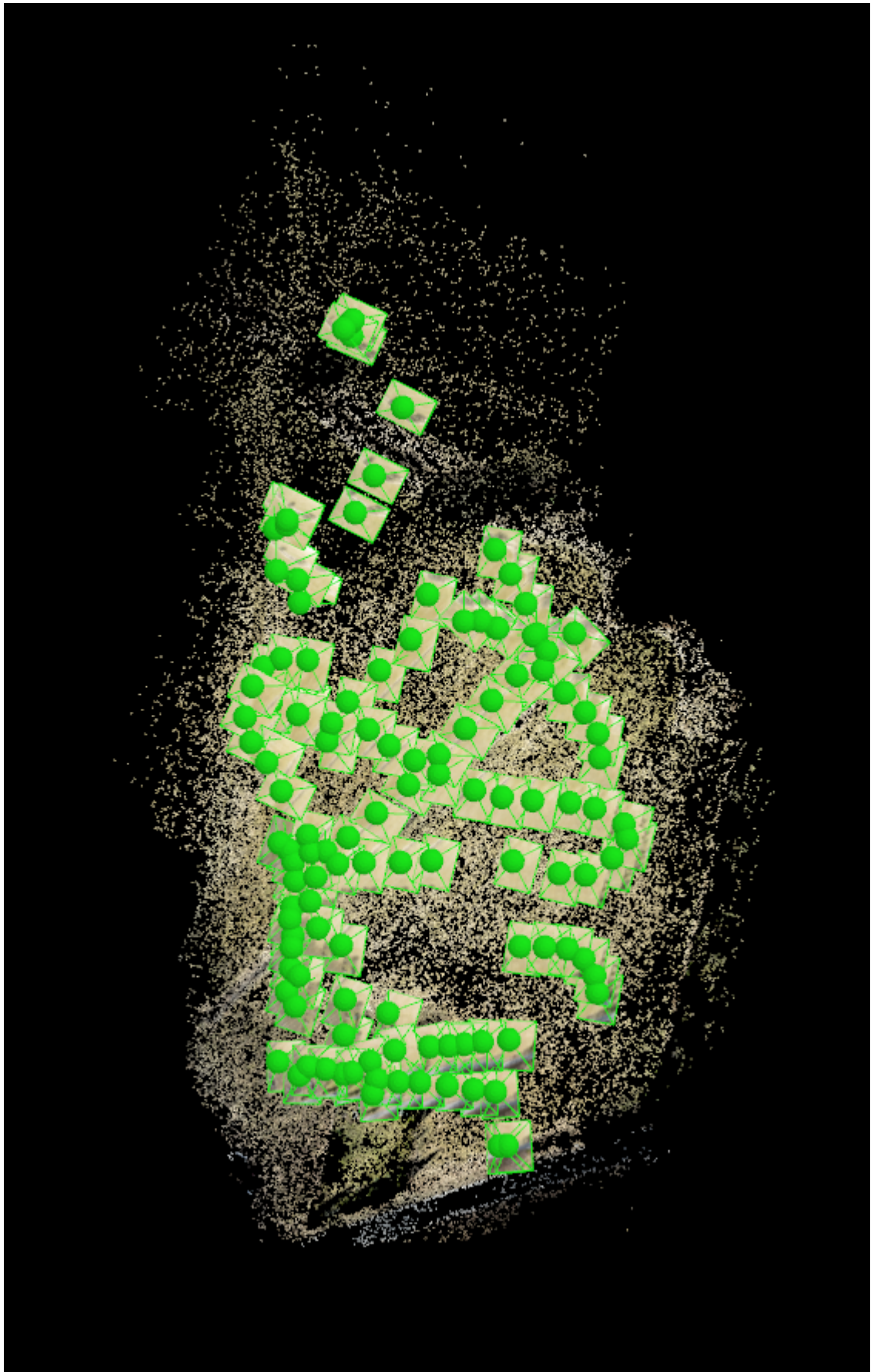
Příloha 9 - počet překryvných snímků oblasti – Agisoft



Příloha 10 - digitální model povrchu – Pix4D



Příloha 11 - trojrozměrné zobrazení oblasti. Pix4D



Příloha 12 - pozice získání snímků, včetně vypočtených klíčových bodů. Pix4D