

T A
Č R



Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v.v.i.

Program **Beta**

Technologické postupy pro vybrané technologie mapování - návrh

Číslo a název projektu: TB02CUZK002 - Integrace nové techniky a technologie do
procesu obnovy katastrálního operátu novým mapováním



VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETIKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ, v.v.i.

T A
Č R



Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v.v.i.

Program **Beta**

Technologické postupy pro vybrané technologie mapování - návrh Ověřená technologie

Tato ověřená technologie vznikla v rámci řešení programu BETA projektu č. TB02CUZK002 s názvem „Integrace nové techniky a technologie do procesu obnovy katastrálního operátu novým mapováním“ s finanční podporou TA ČR.

Zhotovitel: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.,
Ústecká 98, 250 66 Zdíby

Autor:

Ing. Václav Šafář

Motto roku 1998: Cílem fotogrammetrického mapování je sběr digitálních dat pro tvorbu DKM, podpora ostatních činností při této tvorbě a celkové zefektivnění a urychlení prací v katastru související s redukcí podílu práce geodetů v terénu a případná tvorba nových produktů souvisejících s nasazením nových digitálních technologií v resortu geodézie.

Motto roku 2016: ...“každý den používáme produkty a služby nad geodaty, pořízenými technologiemi fotogrammetrie a skenování i v katastru a při registraci práv. Katastrální mapu používáme v kompozici s ortofotem, digitální modely reliéfu a povrchu z laserového skenování nám umožňují identifikovat budovy a další prvky, které nám v mapě chybějí. Mobilní skenovací systémy či pořizování dat s využitím bezpilotních leteckých systémů mohou usnadnit nové katastrální mapování” (z projevu předsedy ČÚZK Ing. Karla Večeře na XXIII. Kongresu ISPRS v Praze dne 12. července 2016 [1]).

Zdíby, listopad 2016

Obsah

1. Úvod	6
2. Obecné charakteristiky a postupy moderní fotogrammetrie	7
2.1 Obecný popis instrumentária	7
2.2 Všeobecné charakteristiky moderních fotogrammetrických senzorů	11
2.3 Porovnání parametrů různých senzorů	13
2.4 Přídavná zařízení k novým senzorům pro letouny s posádkou	14
2.5 Přídavná zařízení pro letouny RPAS - určení parametrů vnější orientace.....	15
2.6 Další postup v metodách vyrovnání snímkových bloků	17
2.7 Semi-globální obrazová korelace	17
2.8 Požadavky na přesnost mapování polohopisu a výškopisu.....	18
2.9 Mezní hodnoty přesnosti určení souřadnic středů snímků a úhlů rotací.....	20
2.10 Mezní hodnoty přesnosti určení trajektorie pohybu leteckého laserového skeneru z letounu s posádkou.....	20
2.11 Mezní hodnoty přesnosti určení souřadnic středů snímků a úhlů rotací u RPAS	20
2.12 Eliminace zakrytých prostor na ortofoto, možnosti této eliminace a její důsledky	21
2.13 Požadavky na kvalitu digitálního modelu terénu a možnosti jeho pořízení a vliv na výslednou polohovou přesnost ortofoto.....	23
3. Technologické informace, postupy a popis vztahu RPAS a katastru	25
3.1 Krátké historické shrnutí použití fotogrammetrie v katastru ČR	25
3.2 Katastr nemovitostí a RPAS	27
3.3 Kamery pro použití pro RPAS	27
3.4 Přehled činností při obnově mapováním	28
3.5 Orientační hodnoty přesnosti fotogrammetrických produktů ve vztahu k GSD.....	30
4. Technologické postupy mapování pomocí RPAS Plánování snímkování.....	30
4.1 Cíl leteckého měřického plánování	31
4.2 Historie leteckého plánování v České republice.....	31
4.3 Plánovací a navigační softwary.....	31
Technické faktory ovlivňující letecké snímkování, skenování	32
Vnější faktory ovlivňující volbu parametrů snímkování RPAS	34

Základní vzorce pro plánování leteckého snímkování.....	34
Používání DMP 1G	35
Plánování leteckého snímkování v atypických lokalitách.....	35
5. Technologické postupy mapování pomocí RPAS - základny a kalibrace	36
5.1 Požadavky na prostor pro zřízení kalibrační základny.....	36
5.2 Rozložení trvale signalizovaných a stabilizovaných VB základny	38
5.3 Přesnost určení bodů výchozích bodů základny.....	39
5.4 Výsledky testování na kalibrační základně	39
6. Technologické postupy mapování pomocí RPAS Signalizace výchozích bodů	42
6.1 Parametry signalizace výchozích, kontrolních a podrobných bodů	42
6.2 Rozložení a požadovaná přesnost výchozích bodů	45
6.3 Rozsah signalizace podrobných bodů.....	46
7. Technologické postupy mapování pomocí RPAS Parametry leteckého snímkování.....	46
7.1 Vliv výšky letu, podélného a příčného překrytu a termínu snímkování na kvalitu ortofoto a digitálního modelu povrchu	46
7.2 Hodnocení expozičních podmínek	50
8. Technologické postupy mapování pomocí RPAS rozbor vlivu použitých prostředků na přesnost díla 50	
8.1 Vliv použité letecké neměřické kamery na kvalitu snímkování.....	50
8.2 Použitý software pro tvorbu ortofoto a digitálních modelů povrchů	52
8.3 Ověření polohové přesnosti ortofoto a výšky z digitálního modelu povrchu	54
9. Porovnání standardních fotogrammetrických postupů s postupy RPAS a charakteristika vhodných území pro nasazení fotogrammetrických technologií	55
9.1 Základní charakteristiky dálkově řízeného letadla	55
RPAS s pevným křídlem	56
Digitální kamery pro RPAS.....	56
9.2 Základní charakteristiky letadel s posádkou	57
Používaná fotogrammetrická letadla	57
Používané digitální fotogrammetrické kamery	59
9.3 Etapizace tvorby ortofot a mapování	60

9.4	Porovnání činností u letadla RPAS a letadla s posádkou	60
9.5	Časové porovnání etap tvorby ortofoto a mapování	61
9.6	Finanční porovnání RPAS s letadlem s posádkou	62
9.7	Hlavní výhody a nevýhody systémů RPAS v porovnání s letadlem s posádkou	64
9.8	Charakteristika území vhodného pro nasazení fotogrammetrických technologií	64
10.	Legislativní rámec použití RPAS pro mapování katastru Novým mapováním a návrh kroků možného nasazení RPAS v resortu ČÚZK.....	65
10.1	Obecné legislativní požadavky	65
10.2	Konkrétní požadavky a podmínky pro provoz bezpilotního letadla.....	66
11.	Celkový stručný souhrn při nasazení technologií RPAS v podmínkách mapování katastru nemovitostí postupem Nového mapování.....	68
	Potřebná rozhodnutí k případnému nasazení technologií RPAS v resortu ČÚZK.....	68
	Základní technicko-organizační požadavky pro použití technologií RPAS	69
	Základní podmínky k provozování komerčních leteckých prací RPAS v ČR:.....	69
12.	Závěr	70
13.	Seznam zkratk.....	71
14.	Zdroje a odkazy	73
15.	Přílohy.....	74
	Příloha č. 1 Výpočetní protokol testovací lokality Tymákov	74
	Příloha č. 2 Rozpracovaná Příručka provozovatele s poznámkami konzultanta	74

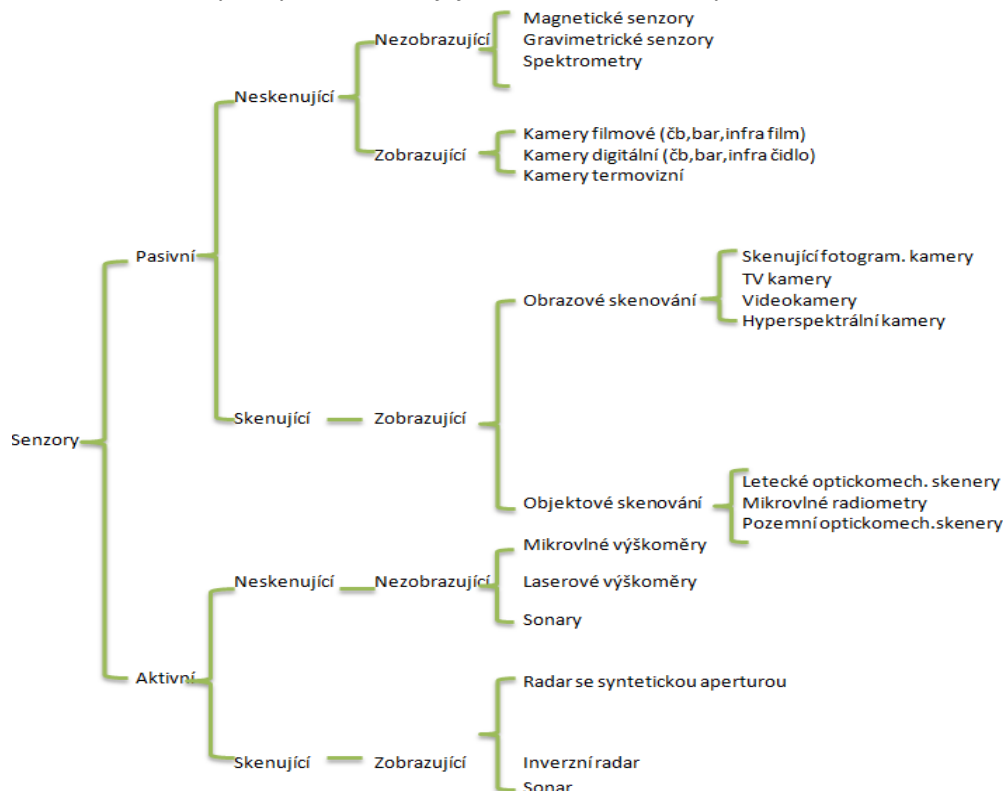
1. Úvod

Na základě usnesení vlády č. 871 z roku 2007 byla a ještě v současnosti v menším rozsahu je prováděna digitalizace katastrálních map (KM) viz přehled na [2] již převedených analogových map na plastových foliích, do digitální vektorové formy s doplněním parcel vedených ve zjednodušené evidenci. Vektorizované mapy jsou publikovány veřejnosti webovými aplikacemi ČÚZK (<http://services.cuzk.cz/vfk>), aplikace Dálkového přístupu do katastru nemovitostí nebo aplikace Nahlížení do katastru nemovitostí (<http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>). Díky těmto digitalizačním postupům by měly katastrální mapy, které jsou obnovené novým mapováním nebo převodem číselného vyjádření analogové mapy do systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) vykazovat vyšší přesnost. U map v souřadnicovém systému gusterbergsém a svatoštěpánském převedených do digitální podoby v S-JTSK by se měla, po odstranění hrubých chyb, deformací a uvedením do souladu SPI a SGI zvýšit kvalita výsledného mapového díla. Metodou Nového mapování by měla vznikat nejkvalitnější katastrální mapa. Převážná část prací při obnově Novým mapováním musí být provedena v terénu, což samo o sobě navyšuje cenu výsledného mapového díla. Pro obnovu mapování v rámci resortu ČÚZK existuje program, který obsahuje celý proces pro obnovu katastrálního operátu od vyhlášení obnovy až po vyhotovení nového výměnného formátu (VFK) pro import do informačního systému katastru nemovitostí (ISKN). Program s názvem MicroGeos Nautil je rozsáhlý nástroj pro obnovu, který pro resort ČÚZK vyvíjí a udržuje Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i. (VÚGTK) v současné době na platformě Microstation V8i. Při návrhu technologických postupů byl brán zřetel na současný postup obnovy mapování stanovený v předpisech resortu ČÚZK, zákon č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální zákon) [3], jeho prováděcí vyhláška č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální vyhláška) [4] a Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod č.j. ČÚZK 6530/2007-22 ze dne 20. prosince 2007 ve znění, dodatku č. 1 ze dne 25.1.2008 č.j. ČÚZK 338/2008-22, dodatku č. 2 ze dne 27.5.2009 č.j. ČÚZK 2390/2009-22 a dodatku č. 3 ze dne 3.6.2013 č.j. ČÚZK 11172/2013-22 a výsledného znění ze dne 30. ledna 2015 č.j. ČÚZK-01500 /2015-22 31 dále jen Návod [5]. Na základě analýz provedených v první etapě výzkumu byly stanoveny technologické postupy pro vybrané technologie mapování, které mají potenciál efektivního využití při mapování a jsou možnou alternativou pro měření podrobných bodů katastru standardními a v Návodu již popsány metodami a technologiemi. Na základě analýz byly vybrány k ověření postupy dat vytvořených bezkontaktními způsoby měření a navrženy metody tvorby podkladů pro obnovu Novým mapováním pomocí letecké fotogrammetrie. Ve fotogrammetrických technologiích byly navrženy k ověření technologie snímkování s dálkově pilotovanými leteckými systémy (Remotely piloted aircraft system - RPAS) a bylo provedeno porovnání (bez testování) se standardními letouny s osádkou. Pro testování technologií RPAS byly vybrány ve spolupráci se zástupci gestora v lednu 2015 vhodné lokality. Na lokalitách byla provedena testovací měření, která vedla k soupisu tohoto Technologického postupu vybrané technologie mapování, s hlavním cílem snížit náklady na zaměření podrobných bodů katastru.

2. Obecné charakteristiky a postupy moderní fotogrammetrie

2.1 Obecný popis instrumentária

V současné době se obvykle rozdělují bezkontaktní metody snímání podle typu senzorů, kterými jsou prováděny. Na Obrázku 1 je ukázáno jedno z možných rozdělení senzorů. Ze všech senzorů na obrázku uvedených se využívají pro tvorbu ortofotomap, digitálních modelů terénu a stereoskopické mapování především digitální kamery, skenující fotogrammetrické kamery a letecké optickomechanické laserové skenery. Sensory, které je možné použít pro mapování v katastru nemovitostí, jsou tedy jak ze skupiny pasivních senzorů, tak ze skupiny aktivních senzorů. V rámci Návodu [5] jsou v kapitole 4.3.7 *Pozemní laserové skenování* k měření v katastru akceptovány pozemní optickomechanické skenery a v kapitole 4.3.8 *Fotogrammetrické metody* jsou zastoupeny digitální a filmové kamery. V rychle se rozvíjejícím světě elektroniky, a v oboru snímacích

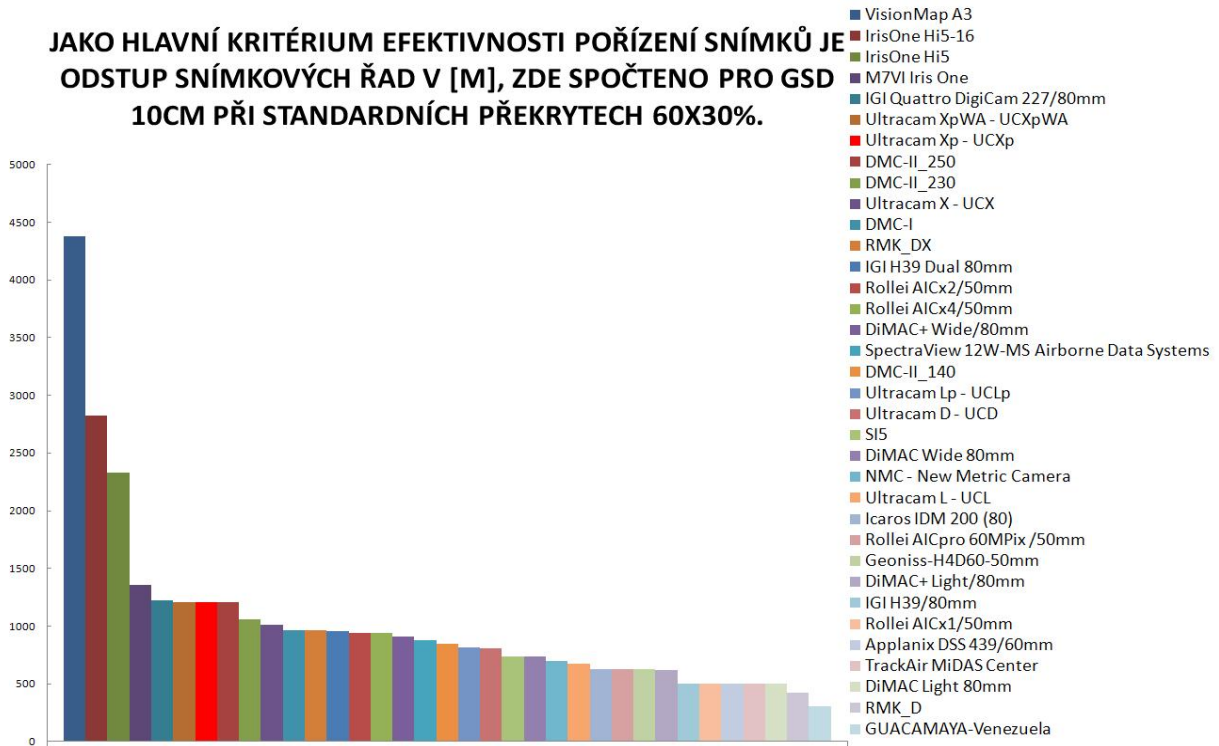


Obrázek 1 rozdělení typů senzorů

světlocitlivých čipů zvláště, se objevují nejen nové součástky mikroelektroniky, ale na nich založená aplikační zařízení. Výrobci leteckých senzorů tak vytváří ve velmi rychlém sledu nové a nové typy digitálních leteckých fotogrammetrických měřických i neměřických kamer. Dřívější situace kdy zásadní

inovační kroky v oboru výroby leteckých kamer se počítaly na desítky let, a například formáty filmu do leteckých kamer byly neměnné po dobu takřka 35 let, je již minulostí. Současní výrobci leteckých senzorů přicházejí na trh s novými kamerami v inovačním cyklu jednoho až třech let. Slovo senzor je použito i v dalším textu pro označení zařízení k velkoplošnému sběru dat pro účely tvorby ortofoto a digitálních modelů terénu a povrchu a případně pro účely stereoskopické mapování. Slovo senzor správně vystihuje současný stav na poli snímkovací techniky, neboť s označením kamera nelze v současném fotogrammetrickém světě vystačit. V současné době je možné pro potřeby mapování v katastru použít nejen digitálních zobrazujících kamer, ale rovněž i laserového skenování o vysoké hustotě s nízkými letícími nosiči RPAS. Zařízení jsou vyráběna v mnohých konstrukčních variantách. Hlavní výrobci digitálních velkoformátových fotogrammetrických senzorů jsou prakticky tři. VisionMap Ltd., 19D HaBarzel St., Tel Aviv, 6971025, Izrael; Vexcel Imaging GmbH, Anzengrubergasse 8, 8010 Graz, Rakousko; Leica Geosystems AG, Heinrich-Wild-Strasse, 9435 Heerbrugg, Švýcarsko. Existují další výrobci kamer, které jsou používány pro fotogrammetrické účely jak v provedení pro letouny s osádkou tak i RPAS, jako například firma Phase One A/S, Roskildevej 39, DK-200 Frederiksberg Dánsko nebo firmy, které odvozují svoji produkci fotogrammetrických systémů z těchto středně-měřítkových kamer jako například firma IGI mbH, Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces, Langenauer Str. 46, 57223 Kreuztal Německo nebo firmy které doplňují své výrobky těmito středně-formátovými kamerami jako například Teledyne Optech, 300 Interchange Way, Vaughan, Ontario, L4K 5Z8 Kanada. Jako měřičké kamery (tedy kamery, u kterých nejsou výrobcem garantovány parametry vnitřní orientace s dostatečnou přesností) lze použít celou škálu těchto kamer od profesionálních DSLR zrcadlovek až po běžné komerční kompaktní kamery. Porovnání efektivnosti použití jednotlivých typů kamer ukazuje Graf 1, který porovnává hlavní determinující faktor ceny snímkování – odstup snímkových řad (při stejné ploše snímkování, stejném q (30%) a stejném pixelu na terénu Ground Sample Distance - dále GSD). Při sestavování technologických linek pro bezkontaktní snímání musíme vždy brát v úvahu aktuální stav instrumentária na trhu, které musí být konfrontováno s požadavky na přesnost, úplnost a dalšími kvalitativními ukazateli a parametry pro mapování katastru. Při výběru a sestavení technologických linek a postupů musíme tedy brát v úvahu stav a technické možnosti současné fotogrammetrické, letecké techniky a avioniky, navigačních systémů, omezeními leteckého provozu nad snímkanými lokalitami a dalšími podmínkami determinujícími požadavky mapování. Pokud tyto podmínky a reálné možnosti současných aparatur a senzorů budou akceptovány, pak požadavky na data a produkty splní očekávání na výsledek mapování kladený. Technologii pro mapování netvoří tedy pouze senzor, ale i nosič senzoru. Jako

**JAKO HLAVNÍ KRITÉRIUM EFEKTIVNOSTI POŘÍZENÍ SNÍMKŮ JE
ODSTUP SNÍMKOVÝCH ŘAD V [M], ZDE SPOČTENO PRO GSD
10CM PŘI STANDARDNÍCH PŘEKRYTECH 60X30%.**



Graf 1 Efektivita použití senzorů – odstup snímkových letových drah

nosiče senzoru je možné použít buď letoun s posádkou, nebo letoun dálkově pilotovaný – RPAS. Použití RPAS má v České republice dlouhou tradici. V České republice se začaly používat RPAS v bývalém Geografickém ústavu Československé akademie věd v Brně již od roku 1974 a jsou pevně spojeny se jménem RNDr. Otakar Stehlík, CSc., který navrhl využívat letecké snímky z malé výšky pro studium eroze půdy při studiu současných reliéfových procesů. Na jeho pracovišti byly postupně vyvíjeny a provozovány RC-modely různých konstrukcí, které pořizovaly spolehlivě za pomoci upravených amatérských kamer, pracujících z počátku s kinofilmem, později pak výhradně se svitkovými filmy o šířce 6 cm, kvalitní černobílé, barevné i multispektrální snímky, ve viditelném i blízkém infračerveném pásmu spektra pro aplikace v zemědělství, lesnictví a ochraně přírody, ale i mapování. Na Obrázku 2 je multispektrální kamera Flexaret M-6 umístěná na modelu „Rogallo 1981“ v rukou J.Trnky. Další bezpilotní prostředek na Obrázku 3 byl v rukou Československé armády a poprvé byl vypuštěn v roce 1985. Šlo o ruský bezpilotní vojenský prostředek Tupolev Tu-143/VR-3 RejsDR-3. Otázka použití toho kterého typu RPAS je otázka související s velikostí lokality, kvalitativními požadavky na pořizovaná data a požadovaným termínem dodání výsledků. Tabulka 1 ukazuje nosiče RPAS užívané v České republice.



Obrázek 2 Multispektrální kamera Flexaret M-6 umístěná na modelu „Rogallo 1981“ v rukou J.Trnky (archív RNDr.Ladislava Plánky,CSc.).



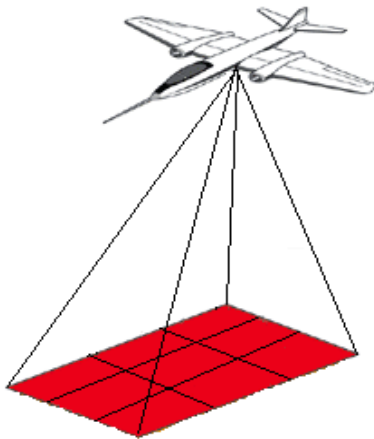
Obrázek 3 - DPLS Tupolev Tu-143/VR-3 RejsDR-3

Nosič	Typ nosiče
Flying Machine	dálkově ovládaná helikoptéra
RemoteSensing1	dálkově ovládaná helikoptéra
Gatewing X100	dálkově pilotovaný letoun
UX5 Trimble	dálkově pilotovaný letoun
MD4-1000 Microdrones	dálkově ovládaná helikoptéra
MD4-200 Microdrones	dálkově ovládaná helikoptéra
Geocopter Geodis	dálkově ovládaná helikoptéra
Sirius I, MAVinci	dálkově pilotovaný letoun
Geodrone 6	dálkově ovládaná helikoptéra
AirShipClub com 6m	dálkově pilotovaná vzducholod'
AirShipClub com 9m	dálkově pilotovaná vzducholod'
AirShipClub com 12m	dálkově pilotovaná vzducholod'

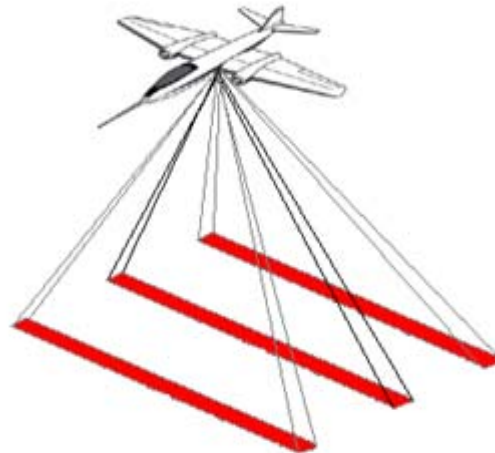
Tabulka 1 – Některé z nosičů RPAS používané v České republice pro mapování a DPZ

2.2 Všeobecné charakteristiky moderních fotogrammetrických senzorů

Pasivní zobrazující senzory lze rozdělit na rámové digitální kamery (Frame Camera), řádkové (skenující) kamery (Airborne Pushbroom Line Scanner) a digitální „stepující“ kamery. Konstrukční princip současné rámové digitální fotogrammetrické kamery vychází z konstrukce fotogrammetrických kamer, které snímkovaly na letecký film šíře 23cm. V počátcích výroby těchto digitálních kamer se výrobci snažili dosáhnout identické efektivity použití analogových kamer, tedy takového úhlu záběru kamery, který by byl identický s počtem elementů naskenovaného filmu a to při identické nebo porovnatelné velikosti pixelu obrazu analogového s digitálním. V tomto vztahu tedy záleží na počtu pixelu napříč směru letu a jeho fyzické velikosti na snímacím, respektive snímacích, čípech v ohniskové rovině kamery a tím následně na ohniskové vzdálenosti kamery. Obvykle se používá ke složení výsledného obrazu snímku dvou až devíti CCD nebo CMOS čipů, jejichž záběry se vzájemně překrývají a jsou syntopicky nebo současně exponovány. Obrázek 4 ukazuje princip konstrukce kamery se syntopickým systémem expozice snímků (například kamery od výrobce Vexcel řady UltraCam).

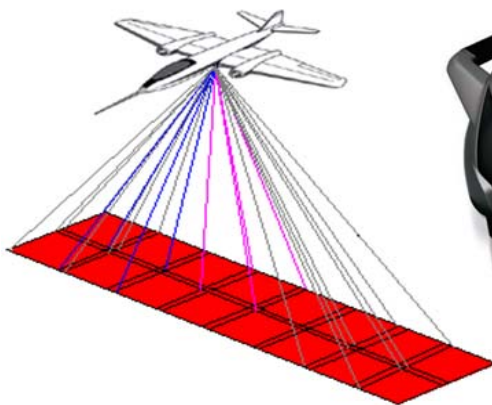


Obrázek 4



Obrázek 5

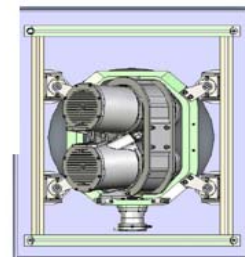
Obrázek 5 je charakteristickým pro konstrukci řádkové kamery typu ADS výrobce Leica. Nejnovější kamera ADS100 je tvořena dvěma děliči optického svazku směřujícími vpřed pod úhlem 25.6° stupňů a vzad pod úhlem 17.7° . Třetí svazek je nazýván nadírový a je promítán do středu ohniskové roviny. V ohniskové rovině snímače v místě dopadu světla všech třech optických svazků jsou umístěny čtyřřádkové senzory CCD citlivé k modré (435– 495 nm), zelené (525 – 585 nm), červené (619 – 651 nm) a blízké infračervené (808 – 882 nm) části spektra. Ve středu ohniskové roviny je umístěn jeden řádkový senzor citlivý k zelené barvě navíc a je zde tedy 5 čtyřřádkových CCD senzorů. Počet pixelů na jednom řádkovém snímači je 20 000 pixelů. Velikost jednoho pixelu snímače je $5\mu\text{m}$. Úhel záběru kamery napříč směru letu je v nadiru 77.3° a pro dělič směřující vzad 72.5° . Ohnisková vzdálenost kamery je 62,5mm. Všechny řádkové snímače jsou vybaveny elektronickou kompenzací smazu obrazu.



Obrázek 6



Obrázek 7



Obrázek 8



Obrázek 9



Obrázek 10

Na Obrázku 6 je schematicky znázorněn systém snímkování kývavým kamerovým dvojčtem od firmy VisionMap typu A3 a na Obrázku 7 je vyobrazení kamery typu A3 a na Obrázku 8 je schéma kamerového dvojčete A3. Pro přehlednost jsou na Obrázku 6 zvýrazněny jen některé dílčí snímky, které tvoří po přepočtení jeden tzv. supersnímek o šíři až 78.000 pixelů napříč směru letu. Všechna konstrukční schémata kamer se snaží zobrazit maximální množství pixelů napříč ose snímkování, aby při snímkování s požadovaným pixelem na zemi (Ground Sample Distance – dále GSD) měli ve srovnání s ostatními systémy co největší šíři pokrytí snímkovaného pruhu území na jedné náletové ose. Cílem navyšování počtu pixelů napříč směru letu je tedy snížení počtu snímkových řad (a ušetření maximálního množství paliva) a nabídnutí lepší ceny ve srovnání s jinými modely senzorů při zachování stejné kvality zobrazení a nominálních hodnot podélného a příčného překrytu snímků respektive obrazových dat. Na Obrázku 9 je Kamera firmy Leica DMCIII, na Obrázku 10 je fotogrammetrický senzor firmy Leica ADS100, který pořídil v roce 2015 ZÚ.

2.3 Porovnání parametrů různých senzorů

V Tabulce 2 níže jsou uvedeny základní technické charakteristiky současných velkoformátových senzorů.

Kamera	Souhrnná délka snímacího elementu [cm]	Souhrnná šířka snímacího elementu [cm]	FOV napříč směru letu v nadiru [st]	Ohnisková vzdálenost [mm]	Velikost pixlu na CCD [μm]	Souhrnný počet pixelů na výsledném "snímku"	
UltraCam Eagle	6,802	10,405	66,1	80,0	5,2	13 081	20 010
DMC III	5,690	10,034	57,2	92,0	3,9	14 592	25 728

ADS100	0,00002	10,000	77,3	62,5	5,0	5 (4řádků)	20 000
A3 Edge	formálně 7,104	formálně 57,720	formálně 85,2	300,0	7,4	9 600	78 000

Tabulka 2 Základní technické charakteristiky současných velkoformátových senzorů.

V Tabulce 3 níže jsou uvedeny základní technické charakteristiky současných neměřických kamer používaných k leteckému snímkování.

Název kamery	Rozměr čipu v [cm]		Počet pixelů na		Obvyklá f v [mm]	Orientační cena v Kč
	délka	šířka	délku	šířku		
iXU 150 UAV	4,38	3,29	8280	6208	55	960000
EOS 5D Mark III	3,60	2,40	5760	3840	35	120000
EOS 700D	2,23	1,49	5184	3256	20	32000
D100	2,37	1,56	3038	2000	14	46000
D800	3,59	2,4	7360	4912	35	92000
D7000	2,36	1,57	4928	3264	16	42000
Ricoh GR Digital	7,6	5,7	3648	2736	6	12000
Grasshopper 5Mp	7,1	8,4	2058	2435	8	8000
Canon EOS 550D	22,3	14,9	5184	3456	50	29500
Panasonic GX1	17,3	13,0	4592	3448	14	12000
Sony a5100	23,5	15,6	6000	4000	16	11500
Prosilica GT2450	8,4	7,1	2448	2050	16	10000

Tabulka 3 Základní technické charakteristiky některých současných neměřických kamer

2.4 Přídavná zařízení k novým senzorům pro letouny s posádkou

Současné digitální zobrazovací senzory potřebují obvykle pro vytvoření kvalitních snímků (obrazových dat) dat řadu přídavných zařízení. Jedním ze standardních je gyrostabilizační zařízení, které kompenzuje klonění (ω), klopení (ϕ) a snos (κ) letounu, tedy pohyby letounu způsobené turbulencemi a dalšími vlivy působícími na letoun během snímkového letu po letové dráze včetně vibrací způsobených vlastním letounem. Korekce těchto pohybů letounu je automaticky určena a řízena zpětnovazební adaptivní smyčkou spojenou s přesnou inerciální měřicí jednotkou, GNSS systémem pro určení polohy a vlastním snímačem. Všechny kompenzované veličiny a jejich hodnoty

jsou kontinuálně zaznamenávány pro potřeby následného zpracování snímaných dat. Gyrostabilizační zařízení umožňuje pořídit dokonale svislá obrazová data. Rozsah stabilizace pro standardní snímkování je obvykle pro úhel ϕ alespoň od -5° do $+5^\circ$, pro úhel ω od -8° do $+6^\circ$ a pro úhel κ od -30° do $+30^\circ$. Kontrola funkčnosti je prováděna kontinuálně dálkově pomocí speciálního řídicího a kontrolního systému. Dalším zařízením bývá jednotka inerciálního měření, která je obvykle součástí senzoru a je vybavena zařízením, která umožňují používat všechny GNSS systémy (Navstar, GLONASS, Galileo a Beidou a další). K dalšímu vybavení kamer patří ovládací panel operátora dozoru s klávesnicí upevněný na stojanu přichycenému k podlaze nebo trupu letounu a umožňující kontinuální kontrolu snímkování za letu promítáním barevného náhledu obrazu senzoru. Dalším vybavením je displej pilota obvykle integrovatelný do palubní desky letounu a propojený s avionikou letounu. Vlastní postup snímkování řídí software snímače obvykle prostřednictvím grafického uživatelského rozhraní standardizovaného směrem k běžným formátům CAD a obrazových dat. Software řídí veškeré komponenty snímače včetně automatické kontroly doby integrace a uvolnění manuálního snímače i detekci chyb v průběhu letu a provádí jejich korekci. Software rovněž umožňuje provést navigaci během přiblížování k snímkové lokalitě a k navigaci za letu na jednotlivých letových drahách.

2.5 Příkladná zařízení pro letouny RPAS - určení parametrů vnější orientace

Nové měřické systémy RPAS založené na pořízení leteckých neměřických snímků, nabízené většinou hlavních výrobců geodetické techniky (Trimble, Topcon, Leica, ...), se obvykle skládají z vlastního dálkově řízeného letadla (RPAS), kterým je např. model s pevným křídlem, model vrtulníku, multikoptéra nebo řízená vzducholod'. Letadlo je vybaveno motorky, vrtulemi, baterií, přijímačem GNSS, vysílačem telemetrických údajů, inerciální měřickou jednotkou, elektronickým magnetometrem, bezpečnostními prvky a senzory. Dále jej tvoří snímače obrazových dat, obvykle digitální barevná neměřická kamera. Systém zahrnuje i programové prostředky pro plánování snímkového letu, záznam trajektorie letu záznam parametrů vnějších orientací u všech exponovaných snímků (souřadnic XYZ expozičního centra a rotačních úhlů snímku v okamžiku expozice, dále EO) ze zařízení dGPS/INS.

Hlavním cílem použití zařízení dGPS/INS bylo v počátku jejich použití kolem roku 1998 významně zkrátit poměrně časově náročnou technologickou etapu analytické aerotriangulace nebo pro obnovu map středních měřítek jí eliminovat vůbec. Souřadnice spojovacích a výchozích bodů pro výpočet AT, respektive stanovení parametrů EO jednotlivých LMS, byly měřeny ručně nebo poloautomaticky na analytických stereoplotrech nebo prvních digitálních stereofotogrammetrických pracovních stanicích a výkon operátora nebyl více jak 23 proměřených modelů za směnu. Cílem snah o využití dGPS/INS bylo určit EO parametry přímo z těchto zařízení. Porovnáním kvality určení EO přímým georeferencováním pomocí INS a do té doby používaným nepřímým určením EO parametrů výpočtem AT (obvykle programy BLUH, ISAT, BINGO ...) se zabýval teoreticky již Schwarz [6], Škaloud [7] a v rámci rozsáhlého testování a porovnávání aparatur firem Applanix a IGI v rámci programu

OEEPE (Evropská organizace pro výzkum a vývoj ve fotogrametrii) Heipke 2002 [8], a dále například velmi rozsáhlé porovnání zařízení výše uvedených firem s nízkonákladovými INS systémy provedli při 10 výročí používání INS systémů provedli Mostafa a Hutton 2005 [9]. Většina těchto, a dalších, pramenů konstatovala, že u využití metod přímého určení parametrů EO leteckého měřického snímku nebo laserové aparatury je hlavní otázkou, zda přesnost parametrů EO bude dostatečná pro stereoskopické pozorování a mapovou tvorbu. Nejdůležitější otázkou tedy je, zda sestavené stereoskopické modely jsou bez vertikálních paralax, nebo s takovými zbytkovými paralaxami, které nebudou omezovat vyhodnocovatele leteckých snímků, případně budou-li tyto zbytkové vertikální paralaxy při stereoskopickém vyhodnocení způsobovat chyby v poloze a výšce na styku dvou modelů akceptovatelné z pohledu požadované přesnosti mapování. Při použití tradičních postupů aerotriangulace je v procesu relativní orientace vertikální paralaxa eliminována, respektive v moderním pojetí AT jsou po výpočtu AT (tedy po vyrovnání parametrů vnější orientace snímkového bloku a všech snímků v něm obsažených) stereoskopické modely připraveny pro vyhodnocení a jsou paralax prosté, což při přímém georeferencování metodou dGPS/INS nebylo standardně dosahováno. Ve většině prací analyzujících výsledky přímého georeferencování tak bylo konstatováno, že přímé georeferencování je akceptovatelné ve většině případů pouze při tvorbě ortofot s velikostí pixel na terénu (ground sample distance – GSD) větším jak 30cm a doporučení zněla k používání až pro tvorbu ortofotomap s GSD 50cm.

Vzhledem k těmto závěrům bylo očekáváno, že kvalita na trhu nabízených aparatur se zlepší natolik, aby v jakémkoliv případě a stavu snímkování (případně leteckého laserového skenování) byla hodnota zbytkové vertikální paralaxy akceptovatelná, tedy pod hodnotu 1,5 pixelu obrazu leteckého snímku pozorovaného na digitálních stereoskopických stanicích. Na základě tohoto v praxi akceptovatelného předpokladu vyplývá pro každou rotační složku (ω, ϕ, κ) rotací parametrů vnější orientace jednoduchá nerovnost určující mezní hodnotu tolerovatelné zbytkové chyby aparatury:

$$d_p \cdot 1,5 < H \cdot \text{tg } e_{\omega(\phi, \kappa)} \quad (1)$$

Kde - H je výška letu v [m], případně vzdálenost od objektu

- d_p je velikost pixel obrazu v [m]
- $e_{\omega(\phi, \kappa)}$ je RMSE daného rotačního úhlu IMU [deg]

Pokud uvážíme, že letecké měřické snímky pořízené na film analogovými kamerami typu RC30 nebo RMK TOP15 byly skenovány obvykle s rozlišením obrazu 14 mikrometrů, tak například při měřítku snímkování 1 : 4 000 byl výsledný skenovaný element obrazu 0,056m, a tedy tolerovatelná hodnota mezní vertikální zbytkové paralaxy 0,084m přičemž snímek byl pořízen z výšky 610m nad terénem. Aby hodnota tolerovatelné vertikální paralaxy byla menší jak 8,4cm nesměla by žádná z hodnot středních chyb rotací převýšit hodnotu 0,008 úhlového stupně, což například u modelů dGPS/INS firmy Applanix je pouze u modelu POS/AV510 a 610 viz Tabulka 4

2.6 Další postup v metodách vyrovnání snímkových bloků

Ke zlepšení RMSE hodnot rotací docházelo u nových na trh uváděných modelů dGPS/IMU postupně a potřebné kvality dosáhlo jen několik výrobců a to při vysokých cenách těchto senzorů pohybujících se v rozpětí mezi 1,5 až 3,5 miliony Kč. Neuspokojivé výsledky v počátcích přímého georeferencování vedly již kolem roku 2001 až 2003 k započatí prací na kombinované metodě vyrovnání snímkových bloků nazývané Integrated sensors orientation (ISO). Tato metoda byla založena na kombinaci obou metod, tedy metody přímého georeferencování a metody nepřímého určení parametrů vnějších orientací standardními aerotriangulačními postupy s cíly:

- snížit počet výchozích bodů pro vyrovnání snímkového bloku metodami aerotriangulačními a snížit tak náklady na signalizaci a měření těchto bodů v terénu
- dosáhnout zrychlení výpočtů aerotriangulace při použití metod a postupů autokorelace leteckých měřických snímků
- nalézt optimální váhový poměrem mezi hodnotami parametrů EO odvozených z GPS/IMU a iterativně stanovenými EO parametry u autokorelačních postupu
- zvýšit tuhost výpočetního bloku zvýšením počtu nadbytečných pozorování

Při ověřovacích testech ISO metody se výpočty a simulacemi kvality vstupních dat GPS/IMU do sdruženého kombinovaného výpočtu prokázalo, že je pro výpočty AT a vyrovnání snímkových bloků dostačující určit i pro nejpřesnější práce fotogrammetrického mapování polohu projekčních center LMS s přesností kolem 10cm a úhlová data postačí ke zrychlení výpočtu, respektive jeho provedení v jedné iteraci, s přesností 15 až 20 úhlových minut. Tato hodnota obvykle postačovala, aby většina softwarů pro vyrovnání snímkových bloků bez problémů automatizovaně identifikovala počátek korelačního prostoru (prostřednictvím postupných obrazových pyramid) a následně autokorelačními postupy vygenerovala dostatečný počet nadbytečných spojovacích bodů v rámci snímku, modelu a bloku. Většina softwarů v té době na trhu dostupných výše uvedených cílů dosáhla.

Řešení ISO však je použitelné pouze v oblasti leteckého měřického snímkování. Metody leteckého laserového skenování v té době vykazovaly významně vyšší přesnost ve vlastním určení nadmořské výšky terénu v porovnání s jejich polohovou přesností. Na hodnotě přesnosti určení polohy měřeného bodu při leteckém laserovém skenování se (mimo obtížněji určitelného místa z kterého se vrací (odráží) směrem k letounu potřebné energetické kvantum zaznamatelné přijímacím senzorem laseru) významně podepisovala i střední chyba jednotlivých rotací měřených IMU

2.7 Semi-globální obrazová korelace

Heiko Hirschmüller [10] popsal metodu účinnějšího zpracování stereoskopických dvojic prostřednictvím Semi-Globalní obrazové korelace (SGM) tím uvedl do pohybu velké množství programátorských týmů, které na základě jím uveřejněné algoritmizace upřesněné v následujících letech dalšími pracemi začali programovat jak vědecké, tak komerční postupy automatické korelace snímků. Hirschmüller v SGM vyřešil složitý postup (*na základě prací předchozích programátorů a teoretiků - vycházel přibližně z 20prací autokorelačních metod*) dynamicky se měnící velikosti

korelačního okolí na základě robustní shody výpočtu ve velkých plochách s předpokládaným přechodem do malých významně strukturovaných plošek obrazu v kterých jednak vyhledává ve všech směrech dominantní (pilotní – „moudrý“) pixel a potom významně mění přístup k postupu korelace obrazů s tím, že pro hodnocení okolí používá jen celočíselných hodnot a tím účinně zvyšuje rychlost výpočtů především na více jádrových procesorech. Již tehdy tím dal jasně najevo, že správná cesta výpočtů je cesta výpočtu na grafických kartách. Dalším inovativním a důležitým krokem řešené problematiky je eliminace, respektive významná redukce v jednom stereopáru neviditelných prostor multinásobným řešením výpočtu míst v kterých z počátečního páru nebyla obdržena informace a její doplnění do celkového modelu povrchu vypočítané scény. Zároveň v této fázi Hirschmüller postupně hodnotí prostory, kde zbudou prostory nevyřešené (tedy prostory bez informace), robustní kombinací všech snímků pak vybere mediánem hodnoty nejvíce se přibližující předpokládanému řešení a to i prostorech diskontinuit a krajů násobně překrytých scén. Tento hierarchický výpočetní postup otevřel cestu pro robustní vyrovnání snímků bez významné citlivosti k různým světelným podmínkám v různých snímcích stejné scény včetně souběžného vyrovnání radiometrických hodnot v jednotlivých snímcích.

Paradoxně tak Hirschmüller přispěl k tomu, že s masivním nástupem používání digitálních fotogrammetrických kamer po roku 2006 (*kdy doporučení ISPRS pro snímkování těmito kamerami bylo exponovat maximálně možný počet snímků do mezní rychlosti cyklu digitální kamery tedy podle typů a konstrukce kamery kolem 1,8 až 2,1 sekundy s hlavním cílem a úvahou, že vlastně každé projekční centrum je v rámci vyrovnání metodami ISO dalším „pevným“ bodem při vyrovnání snímkového bloku*), se významně snížily požadavky na kvalitu dat z INS vstupujících do vyrovnání snímkového bloku (zvýšenou tuhostí vyrovnávaného snímkového bloku). Prakticky při výpočtu se snímky s podélným překrytím větším jak 80% a při alespoň 30 až 35% příčném překrytu potřebu informací z INS eliminoval. Hirschmüllerův algoritmus založený na robustní automatické obrazové korelaci, lze navíc nasadit v jakékoliv aplikaci snímkování (*pozemní, mobilní, letecké*) s jakýmkoliv kamerami (*měřickými i neměřickými*) a při dostatečném vzájemném překrytu snímků scény lze realizovat výpočty bez prvotní znalosti parametrů nejen prvků vnější orientace, ale i vnitřní orientace kamer. Na základě Hirschmüllerova algoritmu je velmi pravděpodobně naprogramována většina současných SW pro vyrovnání snímkových bloků. Zavedením těchto postupů vyrovnání snímkových bloků se zvýšila rychlost zpracování AT v porovnání s 23 modely změřenými operátorem před 20 lety přibližně 80 krát a to při významně zvýšené kvalitě měření a snížené hodnotě RMSE na výchozích a kontrolních bodech po vyrovnání na srovnatelných snímkových blocích.

2.8 Požadavky na přesnost mapování polohopisu a výškopisu

Požadavky na přesnost mapování jsou stanoveny buď jako požadavky konkrétního zadavatele nebo jsou dány všeobecně závaznými technickými předpisy nebo normami. V případě ČÚZK je závazným předpisem pro stanovení přesnosti mapování v katastru Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod kde v Příloze č.1 jsou stanoveny kódy kvality mapování a kde je pro kód kvality 3 stanoveno,

že m_{xy} = základní střední souřadnicová chyba má hodnotu 0,14m a $u_{xy} = 2m_{xy}$ je mezní souřadnicová chyba podrobného bodu z grafického počítačového souboru a kontrolního měření a má hodnotu 0,28m.

Název GPS/INS	Přesnost projekčního středu snímku (m)	Rychlost (m/s)	Klopení & Klonění (deg)	Bočení (deg)	Typ Gyro	Hmotnost v gramech
POS AV 210	0.15	0.01	0.04	0.08	MEMS	1 500
POS AV 310	0.15	0.075	0.015	0.035	MEMS	1 250
POS AV 410	0.15	0.005	0.008	0.015	?	1 850
POS AV 510	0.15	0.005	0.005	0.008	FOG	2 200
POS AV 610	0.15	0.005	0.0025	0.005	RLG	2 600
IPAS NUS4	0.15	0.005	0.008	0.015	FOG	1 900
IPAS DUS5	0.15	0.005	0.005	0.008	FOG	750
IPAS NUS5	0.15	0.005	0.005	0.008	FOG	2 000
IPAS CUS6	0.15	0.005	0.0025	0.005	FOG	4 450
AEROcontrol I	0.05	0.005	0.008	0.015	FOG	2 200
AEROcontrol II	0.05	0.005	0.004	0.010	FOG	2 200
AEROcontrol III	0.05	0.005	0.003	0.007	FOG	2 200
Honeywell HG1700	?	?	?	?	RLG	900
SPAN LN200	0.05 (RTK)	0.01	0.005	0.008	FOG	4 500
OXTX Survey+	0.02 (RTK)	0.05	0.03	0.05	MEMS	2 400
Systron SDN500-CC01	3.9	0.1	0.06	0.09	MEMS	950
iMAR iNAV-RQH-10018	0.02	0.005	0.005	0.005	FOG	9 000
xSens Mti 100	1.0	0.1	0.20	0.30	MEMS	24
Vectornav VN100		?	0.5	2	MEMS	13

Tabulka 4 Porovnání přídavných zařízení dGPS/INS

Poznámka: GPS/INS FOG=Fiber Optic Gyros, RLG=Ring Laser Gyros, DTG= Dry Tuned Gyros, MEMS= mikro elektro mechanický systém

2.9 Mezní hodnoty přesnosti určení souřadnic středů snímků a úhlů rotací

Na základě nerovnosti (1) a hodnot v Tabulce 4 a požadavků uvedených v kapitole 3 lze odvodit, že vzhledem k tomu, že jak pro stereoskopické mapování, tak pro výrobu ortofotomap je nutné provést AT. Potom postačí, když souřadnice středů projekčních budou změřeny aparaturami GPS tak, aby jejich RMSE nebyla větší jak 10cm a úhly rotací postačí znát s RMSE 0,025 stupňů, aby bylo možné automaticky bez manuálního doměření spojovacích bodů spustit procesy autokorelace snímků.

2.10 Mezní hodnoty přesnosti určení trajektorie pohybu leteckého laserového skeneru z letounu s posádkou

Pro určení prostorové trajektorie leteckého laserového skeneru je potřeba v souvislosti s výškou, z které jsou data pořizována a s nastavením schématu sběru dat (pravidelné rozložení bodů měření nebo nastavení režimu sběru dat na tzv. profiloměr) a velikostí stopy laserového paprsku na terénu, použít pro dosažení optimálních výsledků takové GPS/INS které určí trajektorii pohybu nosiče, respektive vlastního leteckého skeneru s přesností v poloze 5cm a úhly rotací s přesností do 0,005 stupňů.

2.11 Mezní hodnoty přesnosti určení souřadnic středů snímků a úhlů rotací u RPAS

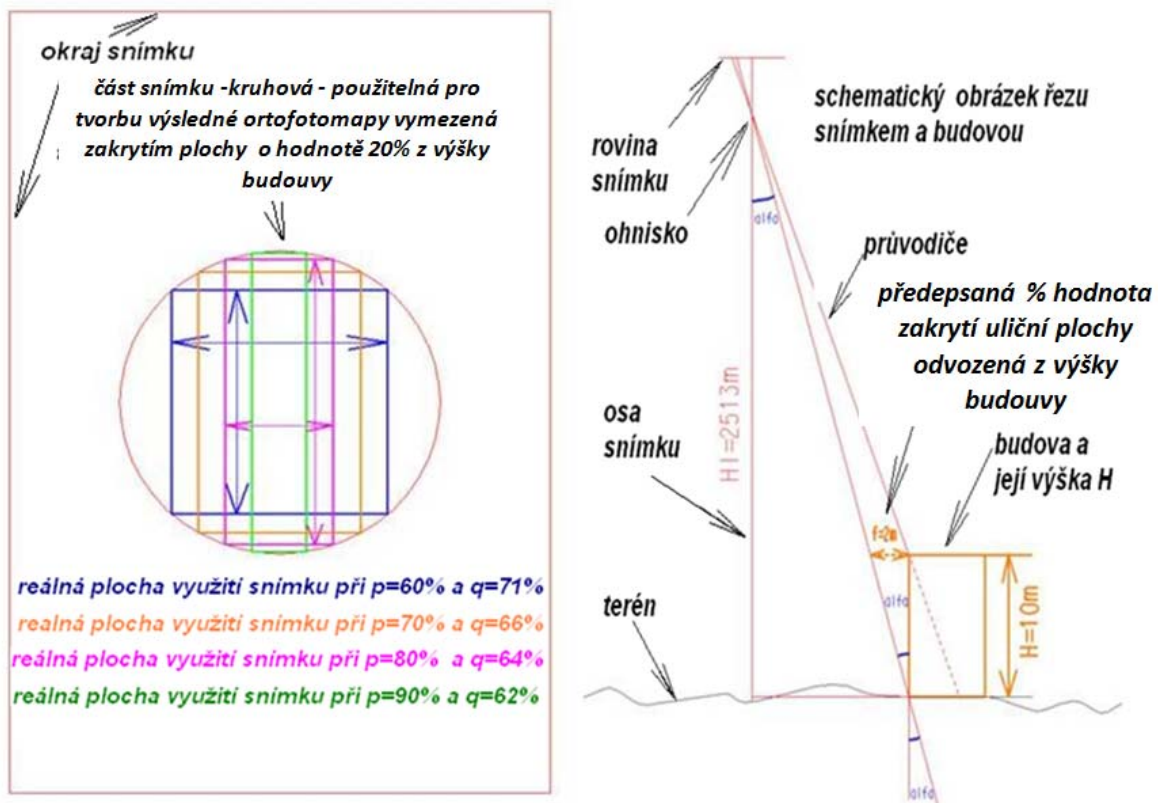
Vzhledem k nízké pořizovací ceně ve srovnání s letouny s posádkou na palubě a nízkými provozními náklady a v souladu s výše uvedenými konstatováními je nyní hlavním cílem osadit RPAS prostředky AHRS umožňující jednak bezpečný let po předem zvolené trajektorii nebo pod přímým řízením pilota-operátora a jednak umožňujícím pracovat s integrovaným zařízením PPP příjmu signálu GNSS a s nízkonákladovým IMU s gyroskopy typu MEMS s přesnostmi řádově 0,4 stupně v ω a ϕ , a 1,5 stupně v κ , které zabezpečí rychlý postup při počátečním nastartování korelace snímků při vzdálenostech od terénu, tedy výšky letu do 60m nad terénem. Pak je možné vyrobit ortofoto s GSD 4 až 5 cm jehož výsledná RMSE je v rozmezí 9 až 10 centimetrů a vyhoví podmínkám uvedeným v kapitole 3 pro kód kvality 3. Této přesnosti je možné dosáhnout při snímkování s podélným a příčným překrytem snímků nad 75% a výpočtem založeným na Hürschmullerově algoritmu. V současné době jsou na trhu produkty firem Agisoft, Pix4D, Inpho, Trimble, Bentley, PIEngineering a dalších, které umožňují vytvořit ze snímků z neměřických kamer DMT a DMP a snímky prosté distorzí, které můžeme na běžných stereoskopických stanicích dále vyhodnocovat. Cesta pro přímé georeferencování respektive obdržení dostatečně přesných parametrů vnější orientace je možná pokud, buď lokální úřad civilního letectví schválí do použití i těžší RPAS - pak lze použít i zařízení obdobná pro letouny s posádkou, jak uvádí například G. Conte 2013 [12] nebo v současné době se rychle rozvíjející možnosti nadbytečných měření pomocí několika lehkých a velmi levných (od 750 do 1.800Kč) INS založených na MEMS a především jejich komparaci jak uvádí Řehák, M., 2013 [11]. Tato cesta bude pravděpodobně ve spojení se silnými softwarovými nástroji zmíněnými v tomto odstavci

cestou k velmi efektivnímu nasazení jak snímkovací, tak laserskenové techniky na paluby RPAS prostředků s kterými bude možné plnit mapovací úkoly pro katastrální úřady a další zadavatele mapovacích prací.

2.12 Eliminace zakrytých prostor na ortofoto, možnosti této eliminace a její důsledky

Zobrazení trojdimenzionální reality světa leteckým snímkem pořízeným fotogrammetrickými rámovými kamerami do dvojdimenzionální plochy v ohniskové rovině kamery je zobrazením s centrální projekcí. Z podstaty tohoto zobrazení vyplývá, že plochy ležící za terénními předměty směrem od středu snímku nejsou na jednom snímku zobrazeny. Velikost těchto ploch u identických terénních předmětů narůstá směrem k okraji snímku, tedy se zvyšující se vzdáleností od středu snímku. V těchto plochách nemůžeme ani stereoskopicky mapovat ani se nám nezobrazí na vyrobené ortofoto. Tyto plochy nelze v reálném zobrazení běžného terénu (především měst) nikdy 100% eliminovat. Můžeme ale množství těchto zakrytých ploch významně snížit. Snížení zakrytých ploch můžeme dosáhnout, buď zvýšením hodnoty překrytí snímků a to jak podélného ale u současných digitálních velkoformátových kamer, které jsou obvykle obdélníkového formátu především navýšením meziřadového (příčného) překrytí a vytvořením ortofoto standardním postupem nebo tvorbou tzv. „True ortofoto“. Tato dvě řešení mají tak jako tak společný základ a to v navýšení příčného a podélného překrytí z obvykle používaných hodnot $p=60\%$ a $q=30\%$ na hodnotu, která odpovídá při tvorbě standardní ortofoto hodnotě v procentech zakrytí zadavatelem tolerované plochy přiléhající budově, nebo v případě požadavků na tvorbu True ortofoto na procentech přípustného zastíněného prostoru ve výsledné true ortofoto. Tato dvě řešení se zásadně liší cenově, neboť při tvorbě true ortofoto je nutné pořídit přesný digitální model všech terénních předmětů, především budov a ortorektifikační proceduru vykonat několikrát pro různé terénní předměty a terén jako takový (obvykle čtyřikrát – terén, vegetace, budovy a mosty a nadzemní konstrukce) a potom obvykle poloautomaticky složit z těchto dílčích ortofotomap jednu výslednou true ortofoto. I v této výsledné true ortofoto nalezneme místa, kde ze žádného snímku (i při navýšení překrytí na $p=80\%$ a $q=70\%$) není na terén přímýkající se terénnímu předmětu (budově) z žádného ze snímků vidět – součet těchto ploch může v ploše zástavby dosáhnout u true ortofoto až kolem 1% plochy města (podle typu a konfigurace zástavby k hlavnímu směru snímkování). V porovnání se standardní ortofoto, kterou pořídíme navýšeným překrytí snímků na 80% v podélném směru a na 60 až 70% v příčném směru je tedy snížení zastíněných ploch true ortofoto až 4 násobně menší jak u standardní ortofoto je však obvykle vykoupeno až 3 násobně vyšší cenou než u výroby standardní ortofoto. V případě, že požadujeme, aby ve výsledné ortofoto nebyla místa, kde by mezní úhel sklonu terénních předmětů (budov) překročil stanovenou hodnotu je nutné si uvědomit, že část plochy snímku použitelné do budoucí ortofoto nám určuje průnik kartografické roviny (v níž nám ortorektifikované snímky leží) s kuželem, jehož osa je identická s osou kamery v okamžiku expozice daného snímku a jehož vrcholový úhel (FOV) je dvojnásobkem námi požadované hodnoty, respektive

polovina FOV je námi požadovanou hodnotou. Následující grafické znázornění na Obrázku č.8 ukazuje vztah mezi zadavatelem požadovaným úhlem sklonu budov a možnostmi jeho dosažení různými variantami možných překrytů snímků. V Tabulce 5 je uveden počet snímků pro jednotlivé přípustné kombinace překrytů. Jednoznačně je z Obrázku 11 a Tabulky 5 vidět, že optimalizující vliv na eliminaci zakrytých ploch (allias dodržení předepsaného % zakrytí chodníku z výšky budov) má příčný překryt. Se zvyšujícím se počtem snímkovacích řad sice narůstá délka a doba letu v lokalitě a tedy jedna z významných finančních položek projektu - cena snímkování, ale daleko razantněji narůstá nutný počet snímků ke zpracování, který však netvoří při současných postupech zpracování snímků významnou složku ceny při tvorbě ortofoto, případně true ortofoto, což je vidět i z finančních relací uvedených v následujících kapitolách



Obrázek 11

Přibližné počty snímků a počet letových hodin v lokalitě při snímkování plochy 856km ² s podmínkou zastínění plochy chodníku budovou do 20% její výšky (tedy z 10m budovy může zakrývat budova jen 2m „chodníku“) a GSD 15cm pro kameru UltraCamXp	Počet LMS ke zpracování	Počet letových hodin v lokalitě
Při snímkování s překrytem p= 60% a q=71,4%	1781	60
Při snímkování s překrytem p= 70% a q=66,6%	2063	55
Při snímkování s překrytem p= 80% a q=63.6%	2859	52
Při snímkování s překrytem p= 90% a q=61.8%	5364	46

Tabulka 5 variabilita počtu snímků při stejných podmínkách zakrytí terénu budovou

Z Tabulky 5 také jasně vyplývá, že strategie a přístup většiny dodavatelů bude spočívat v navýšení podélného překrytu a snižování překrytu příčného a tedy zmenšení počtu letových drah při dodržení požadované podmínky „20%tního zakrytí“. Výsledný rozdíl je v objemu téměř 1/3 letových hodin což je prakticky 1/3 ceny, neboť při výkonech současných počítačů je trojnásobný rozdíl v počtu zpracovávaných snímků vůči ceně za palivo do letounu (a vůči celkové ceně produktu) prakticky zanedbatelný.

2.13 Požadavky na kvalitu digitálního modelu terénu a možnosti jeho pořízení a vliv na výslednou polohovou přesnost ortofoto

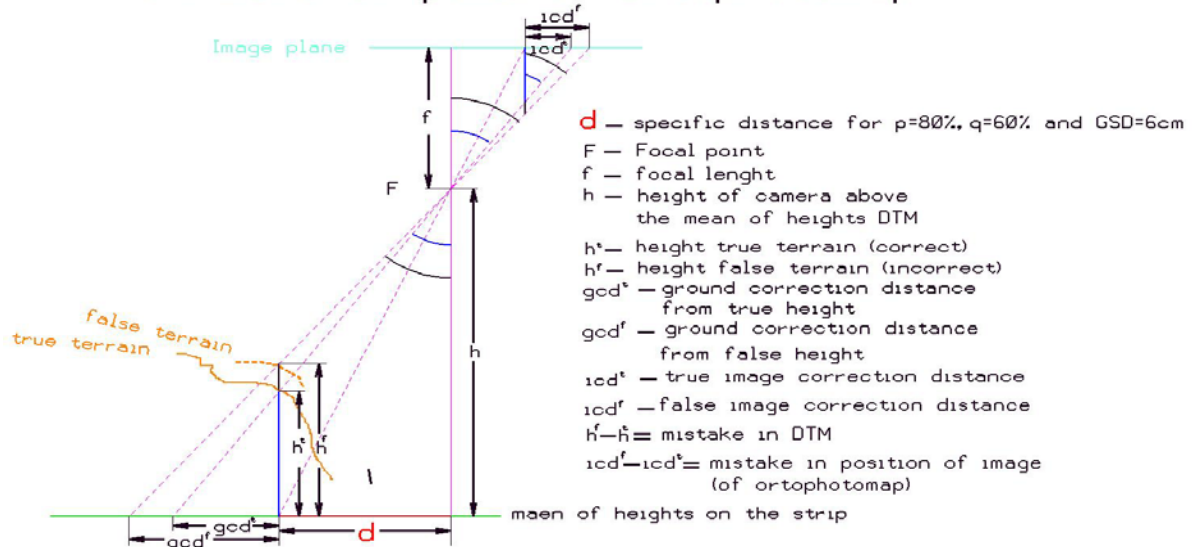
V současnosti většina dodavatelů ortofotomap řeší tvorbu digitálního modelu dvěma cestami, buď automatickou korelací, kdy umožňuje po ukončení AAT extrahovat výškové body z leteckých stereopárů nebo leteckým laserskenováním obvykle simultánně provedeným při snímkování digitálními fotogrammetrickými kamerami. V procesu korelace jsou používány filtry, jimiž lze zvýšit účinnost automatické korelace s vyloučením odlehlých měření a docílit tím vyšší čistoty výstupních dat. Jako vstupní filtry do výpočtu lze tedy vložit informace o typu terénu – rovinný, pahorkatina, horský a geomorfologické informace o terénních hranách s požadavky na teoretickou přesnost přímknutí vypočtené polohy výškového bodu k reálné skutečnosti a stanovit vyhlazovací charakteristiky diskontinuit terénu. Lze například zadat takové parametry, aby v rovinatém terénu byly vyhlazeny budovy, protože s jinými parametry a filtry by korelační program v místech, kde by „viděl“ dům, měřil po střeše, v místě kde by stál strom, by byl výškový bod určen na povrchu koruny stromu atd. Opačný případ a „opačné“ nastavení filtrů je potřeba při zadat při požadavcích na tvorbu DSM.

Možnost zaměřit terénní hrany před spuštěním korelačního programu se jeví obvykle jako výhodná, protože k nim výše zmíněné filtry a nastavení mohou v běhu programu přihlížet a v blízkosti těchto

hran korelované hodnoty podřídí těmto podpurným ručním měřením. Autokorelace může v některých oblastech snímků selhat, např. v místech s identickou denzitou snímků, respektive se špatnou strukturou a texturou předmětů na snímku zachycených. Pochopitelně je potřeba automaticky změřené body zkontrolovat, zda byly vygenerovány správně a zda nejsou např. na stromech a dalších překážkách, respektive terénních předmětech. Takovéto chyby je potřeba pro další zpracování opravit, anebo, což může být rychlejší, změnit parametry korelace a případné filtrace s cílem dosáhnout lepšího přimknutí měřených bodů k terénu nebo naopak při požadavcích na tvorbu povrchového modelu k povrchu všech struktur.

Měření výškopisu použitím leteckého laserskeningu je velmi výhodné pro rychlé pořízení digitálního modelu terénu, ale dodavatelé musí přihlížet k potřebám, požadavkům a předepsaným charakteristikám výsledného požadovaného digitálního modelu terénu (povrchu). Obvykle tedy není možné ani jednou z výše uvedených metod (automatickou korelací nebo leteckým laserskenováním) popsat optimálně terén bez změření povinných terénních hran (spojnic, breaklines). Tuto skutečnost je si potřeba uvědomit především při tvorbě podkladů přesného digitálního modelu používaného při projekčních pracích ve vodohospodářství a dopravě. Obrázek 12 znázorňuje chybu, která vznikne v poloze ortofoto na základě chyby v DTM respektive v DSM.

Scheme of the elevations error and its dependence on move of pixel in ortophotomap



Obrázek 12 Závislost chyby v poloze ortofoto na chybě ve výšce DTM

3. Technologické informace, postupy a popis vztahu RPAS a katastru

Zavedení metod pozemního laserového skenování do praxe katastru České republiky je posunem k modernizaci měřických metod a krokem správným směrem. Metoda pro určování podrobných bodů katastru byla zařazena do Návodu [5] kapitola 4.3.7 *Pozemní laserové skenování* mezi měřické metody dne 15.6.2013 tedy v dostatečném předstihu před praktickým nasazením této metody v měřické praxi soukromých firem. Po zavedení metody měření GNSS je tak přímo z Návodu umožněno použít další moderní metodu pro měření podrobných bodů katastru. Vzhledem k tomu, že metoda pozemního laserového skenování je již v Návodu [5] popsána, dále navrhované a rozváděné technologické postupy vybraných technologií mapování se budou týkat metod fotogrammetrických. Níže uvedené navrhované postupy byly prakticky odzkoušeny. O těchto zkouškách byl sepsán dokument: Praktické ověření navržených inovačních postupů na vybraných lokalitách a dokument předkládající návrhy úprav Návodu [5] Revize stávajících nařízení, vyhlášek a technických předpisů, vztahujících se k obnově novým mapováním

3.1 Krátké historické shrnutí použití fotogrammetrie v katastru ČR

Ve Výzkumném ústavu geodetickém, topografickém a kartografickém byla v minulosti řešena řada výzkumných úkolů souvisejících s možnostmi využití fotogrammetrického mapování pro účely evidence nemovitostí, především pro plošné vyhledávání, ověřování a určování identických bodů v mapách 1:2880 a síť PBPP v závazném referenčním souřadnicovém systému S-JTSK. M. Roule vypracoval a v roce 1974 ověřil technologii údržby a obnovy pozemkových map a map evidence nemovitostí v měřítku 1 : 2880 fotogrammetrickou metodou s převodem těchto map do S-JTSK a dekadického měřítka. Tato technologie, označovaná zkratkou FÚO (Fotogrammetrická obnova a údržba), byla vydána jako vnitřní předpis tehdejšího Českého úřadu geodetického a kartografického pod č.j. 3400/1971-4 [13]. Cílem technologického postupu bylo využít fotogrammetrické metody pro vytvoření podmínek k postupné obnově map evidence nemovitostí v závazném referenčním souřadnicovém systému a zobrazovací soustavě v dekadickém měřítku. Účelem bylo především, s využitím existujících Záznamů podrobného měření změn (ZPMZ), plošně ověřit a v S-JTSK určit síť bodů podrobného bodového pole a identických bodů na mapě 1 : 2880 pro následné vedení těchto map běžnými terestrickými metodami, eventuálně pro pozdější lokální dokončení mapování. Postup současně umožnil graficko-numerické vyhodnocení jednoznačně identifikovatelných hranic užívání, především v polních tratích, a to s redukovanou přesností. Při realizaci technologie FÚO v 70. a 80 letech nebyl její princip v podmínkách vedení užívacích vztahů k nemovitostem pochopen a dodržován a mnohde byl zaměněn za topografické mapování bez jakékoliv přednáletové signalizace. Zejména po živelném využívání leteckých snímků pořízených např. pro revizi topografických map v měřítku 1:10 000, přestal postup pro katastrální účely vyhovovat. Teprve po 40 letech byly v ČR

principy technologie FÚO pro KN uznány a využity, bohužel tentokrát již bez přispění fotogrammetrie – viz katastrální vyhláška č. 164/2009 Sb.

Přes další snahy odborníků ve VÚGTK, kdy v letech 1970 až 1985 bylo vypracováno kolem 20 výzkumných zpráv a podnětů k využití letecké fotogrammetrie pro mapování ve velkých měřítkách, došlo k praktickému nasazení těchto technologií pouze v několika desítkách až stovkách katastrálních území v českých zemích. Vzhledem k tehdy používanému měřítku snímkování pro vyhotovení Základní mapy velkého měřítka (1:6 500 až 1:7 500) a použitím morálně zastarávajících analogových vyhodnocovacích přístrojů při stereoskopickém vyhodnocení snímkových dvojic, se tyto postupy staly paradoxně hroblem dalšího rozvoje technologií fotogrammetrického mapování ve velkých měřítkách na našem území.

Na základě smlouvy o dílo uzavřené v rámci programu „Výzkumné zajištění oblasti zeměměřictví a katastru nemovitostí“ mezi firmou GEODIS BRNO, spol. s r.o. a ČÚZK byl postupně, ve spolupráci s Katastrálním úřadem Žďár nad Sázavou, realizován experimentální projekt v katastrálním území Domanín. Smyslem projektu bylo vyzkoušet možnosti obnovy katastrálního operátu nově nastupujícími technologiemi fotogrammetrického mapování ve velkých měřítkách a porovnat polohovou přesnost v určení souřadnic podrobných bodů jednotlivými měřickými metodami a postupy. Součástí úkolu bylo i ekonomické zhodnocení a navržení změn v Návodu pro obnovu katastrálního operátu a převod [14]. První krok nově navrhované technologie spočíval v možnosti využití měřických snímků pro revizi podrobného polohového bodového pole a pro zjištění průběhu hranic. Cílem této „předvýrobní“ etapy, bylo vytvořit ještě před zahájením místního šetření ortofoto se soutiskem stávající katastrální mapy a poskytnout tak pracovníkům KÚ účelný podklad pro zjištění, šetření a identifikaci průběhu vlastnických hranic, který by zároveň ukazoval aktuální stav terénu se zaměřením na extravilán katastrálního území. Dále se již postupovalo standardně dle [14], tj. šetřením průběhu hranic, signalizací výchozích a podrobných bodů, snímkováním, analytickou aerotriangulací (AAT), vytvořením náčrtů, vyhodnocením podrobných bodů nebo jejich geodetickým zaměřením v zakrytých částech terénu, editací souborů dat, kresbou katastrální mapy, rozbořem přesnosti a vyhodnocením efektivnosti použití fotogrammetrických metod v kombinaci s geodetickými. Bylo navrženo a zdůvodněno ihned změnit obsah nejméně 11 článků v [14]. Po odevzdání výsledků projektu „Domanín“, jejich kontrole a ověření bylo konstatováno tehdejší vedením resortu ČÚZK, že popsané moderní postupy a metody fotogrammetrického mapování ve velkých měřítkách pro účely katastru je možné vzhledem k přesnosti zaměření podrobných bodů používat, ale složitost mezioperačních kontrol, dodržování podmínek snímkování, skenování, aerotriangulace a vlastního fotogrammetrického mapování jsou natolik přísné, že by je bylo v podmínkách resortu obtížné dodržet a činnosti s tím spojené koordinovat. Současně bylo konstatováno, že certifikovat privátní subjekty k mapování pomocí fotogrammetrických metod rovněž nelze, neboť na straně katastrálních úřadů není vytvořen mechanismus ke kontrole výsledků mapování.

3.2 Katastr nemovitostí a RPAS

Následující odstavec je volnou citací článku: Využití RPAS pro mapování a monitoring (<http://www.tzb-info.cz/facility-management/14487-vyuziti-rpas-pro-mapovani-a-monitoring>) Prof. Dr. Ing. Karla Pavelky:

Katastr nemovitostí - tedy jeho mapová část – se v podmínkách ČR vede velmi přesně na základě přesných geodetických metod. Po roce 2000 se začala velmi rychle rozvíjet digitální letecká fotogrammetrická technologie, k dispozici byly přesné inerciální systémy, které díky GNSS a IMU (inertial measurement unit) umožňují přímo za letu poměrně přesně měřit prvky vnější orientace letecké fotogrammetrické komory. Fotogrammetrie se až na výjimky stereoskopického vektorového vyhodnocení prakticky plně zautomatizovala. Tento stav opět navodil otázku využití fotogrammetrie pro katastrální mapování. V současné době s novými technologiemi jsme opět v oblasti výzkumu z hlediska přesnosti a ekonomičnosti leteckých metod pro katastr. Vzhledem k tomu, že kompletní nové celostátní katastrální mapování prozatím není v dohledu z důvodu finančních i společensko-ekonomických, uvažuje se o nasazení leteckých metod jen pro menší oblasti nebo projekty pozemkových úprav. Využitelnost RPAS v oblastech tematického mapování má jistě svoje výhody a svoji budoucnost; nasazení pro katastr nemovitostí je otázkou efektivity a záleží zejména na typu mapovaného území. Pro tvorbu podrobného ortofota jako podkladu velkoměřítkových mapových děl jsou výstupy RPAS použitelné, pro potřeby katastru nemovitostí mají určité nedostatky a prozatím nedokáží plně nahradit metody klasické geodézie, zejména přesností a unifikací výsledků (téměř každý RPAS je jiný a má jiné kvalitativní parametry) a samozřejmě také díky limitům pro použití, danými zápojem a zastíněním vegetací, překrytem střech a běžně neviditelnými hranicemi pozemků. Přesto lze předpokládat, že RPAS budou pro katastr alespoň doplňkově využívány; je možné, že najdou více využití při pozemkových úpravách díky možnostem zjišťovat kvalitativní informace o území (na základě měření termálních, infračervených, multispektrálních či hyperspektrálních snímačů). Zde se jistě dočkáme významného výzkumu v nejbližších letech.

3.3 Kamery pro použití pro RPAS

V současné době prožíváme dynamický rozvoj využití snímků pořízených kamerami, které nebyly vyrobeny pro měřické účely. Pro pořízení snímků se používají běžně dostupné kamery vyráběné pro širokou veřejnost. Hlavní důvody pro použití běžných neměřických kamer například uvedených v Tabulce 3 pro měřické účely je jejich finanční dostupnost a rovněž jejich rozměry a hmotnost, která je v porovnání s kamerami měřickými pro letecké aplikace až stonásobná a pro kamery používané k pozemní a blízké fotogrammetrii desetinásobná. Zmíněné hmotnostní a finanční výhody neměřických kamer ve srovnání s kamerami vyrobenými pro měřické účely však byly po dlouhou dobu prakticky výhodami jedinými. Hlavní nevýhodou neměřických kamer bylo poměrně velmi komplikované určení parametrů vnitřní orientace kamer způsobené především použitím běžných komerčních objektivů, jejichž distorze dosahují u některých typů až několik stovek mikrometrů. Dalším problémem minulosti byla výpočetní rychlost počítačů. K nasazení neměřických kamer pro

použití v mapování muselo být splněno několik podmínek. Mezi hlavní podmínku patří určení distorzí v celé ploše snímků, respektive v jakémkoliv bodě snímku. Vzájemná vzdálenost bodů, v nichž je distorze určena, musí být taková, aby interpolace hodnot snímkových souřadnic bodů ležících mezi body, v nichž jsou určeny hodnoty distorze, neměla zásadní vliv na přesnost hodnot interpolovaných snímkových souřadnic těchto bodů. U některých objektivů však tento požadavek vede k tomu, že je nutné určit distorzi v kroku několika pixelů obrazu snímku. Pro stanovení hodnot distorzí je možné použít řadu metod, například distorze K s výpočtem 16 matematicky odvozených koeficientů, distorzní model vypočtený Čebyševovými polynomy až s 45 koeficienty pro každou složku souřadnic, Brownův model symetrických složek, Heikkilův čtyřkrokový model korekce distorzí a mnohé další. Jedním z komplexních řešení pro stanovení distorzí a všech dalších parametrů vnitřní orientace, určení parametrů vnější orientace neměřických snímků a výpočtu polohy a výšky bodů v předmětném prostoru ze snímků pořízených neměřickými kamerami je metoda korelace Semi Global Matching.

3.4 Přehled činností při obnově mapování

V Tabulce 6 Přehled činností při obnově mapování, která je přílohou č.52 Návodu [5] jsou červeně vyznačeny etapy v nichž je potřebné v případě použití metod fotogrammetrických (ať při snímkování letadlem s posádkou nebo pomocí RPAS) vykonat činnost.

Příloha č. 52 - Přehled činností při obnově mapování

	Činnost	Podle: KZ	V	N
ZAHÁJENÍ OBNOVY A PŘÍPRAVNÉ PRÁCE				
1	Oznámení o obnově mapování <i>[zveřejnit minimálně 6 měsíců předem (2 měsíce u části k.ú.)]</i>	§ 13a	§ 54	1.9, 4.1.1
2	Projekt obnovy			1.7 - 1.8
BUDOVÁNÍ PPBP				
3	Vybudování, revize nebo doplnění podrobného polohového bodového pole	§ 7	§ 50 odst. 3 písm. h), bod 12 přílohy	2
VÝBĚR A PŘÍPRAVA PODKLADŮ				
4	Založení a naplnění přehledu ZPMZ			3.1 - 3.4
5	Výběr využitelných podkladů		§ 56	3
ZJIŠTOVÁNÍ HRANIC				
6	Oznámení o zahájení obnovy <i>(zveřejnit minimálně 30 dnů předem)</i>	§ 11 odst. 1	§ 54 odst. 2	4.2
7	Jmenování předsedy komise	§ 14 odst. 2		4.2.1.2
8	Sestavení komise	§ 14 odst. 2	§ 55 odst. 1	4.2.1.2

	Činnost	Podle: KZ	V	N
9	Společné jednání - seznámení s cíly obnovy			4.2.1.2
10	Zjišťování hranic	§ 14	§ 55	4.2 (celý)
PODROBNÉ MĚŘENÍ				
11	Podrobné měření polohopisu		§ 60 písm. b)	4.3. - 4.4
OBNOVENÍ SGI				
12	Transformace rastrových obrazů základních podkladů (je-li nutná)			6.2.9 8.4
13	Určení souřadnic podrobných bodů, vytvoření databáze bodů		§ 63 odst. 4	3.5, 6.2.8 9.1
14	Vektorizace, tvorba společného graf. souboru			8.1 - 8.16
15	Doplnění hranic věcných břemen		§ 60 písm. c)	8.14
16	Doplnění parcel ZE		§ 60 písm. e)	8.16
17	Koncept DKM			8.17 - 8.21
18	Kontrola kresby, případné přečíslování parcel a vytvoření konečného grafického souboru		§ 59 odst. 1-3	8.20
OBNOVENÍ SPI				
19	Výpočet výměř		§ 77	10
20	Srovnávací sestavení parcel		§ 59 odst. 4	12
21	Návrh nového SPI a SGI		§ 61	14
22	Kontroly a technická zpráva			15
NÁMITKY				
23	Oznámení o dokončení obnovy	§ 16		16.1
24	Vyložení operátu k veřejnému nahlédnutí	§ 16		16
25	Řízení o námitkách	§ 16		16
26	Vyhlášení platnosti obnoveného operátu	§ 17	§ 62	17
27	Změny údajů o BPEJ		§ 33	11

Tabulka 6 Přehled činností při obnově mapováním

3.5 Orientační hodnoty přesnosti fotogrammetrických produktů ve vztahu k GSD

Determinujícími kritérii určujícími kvalitu výsledných fotogrammetrických dat při použití moderních digitálních leteckých měřických fotogrammetrických senzorů jsou stanovení exaktních parametrů snímkování a přesnosti požadovaných výsledků (vyrobených fotogrammetrických dat tedy ortofotomap, mapování ve 3D, mapování pro technickou mapu města, digitálních výškových, povrchové a terénních modelů). Požadujeme-li tedy uskutečnit snímkování pro potřeby tvorby ortofotomapy, mapování polohopisu a výškopisu a výpočet DSM, musíme stanovit, které z přesnostních kritérií bude limitující pro stanovení GSD obrazu leteckého snímku. Pro orientaci může posloužit například následující Tabulka 7, v které je tabelována závislost mezi velikostí GSD, přesností aerotriangulace, respektive fotogrammetrického vyrovnání, přesnosti stereoskopického vyhodnocení podrobných bodů. Tabulka 7 je sestavena z empirických hodnot reálné fotogrammetrické praxe při použití klasických fotogrammetrických velkoformátových digitálních kamer a standardních postupů AT pomocí proprietárních fotogrammetrických programů současnosti

GSD v metrech	Přesnost AT		Přesnost stereoskopického vyhodnocení podrobných bodů		Přesnost ortofoto (na jednoznačně identifikovatelných bodech)
	m(xy)	m(z)	m(xy)	m(z)	m(xy)
0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0,025
0.04	0.02	0.03	0.05	0.07	0,050
0.06	0.03	0.04	0.08	0.11	0,075
0.08	0.04	0.06	0.10	0.15	0,100
0.10	0.05	0.07	0.13	0.18	0,125
0.12	0.06	0.09	0.15	0.22	0,150
0.14	0.07	0.10	0.18	0.25	0,175
0.16	0.08	0.12	0.20	0.29	0,200
0.18	0.09	0.13	0.23	0.33	0,225
0.20	0.10	0.15	0.25	0.36	0,250

Tabulka 7 Závislost mezi GSD, přesností aerotriangulace, fotogrammetrického vyhodnocení a ortofoto

4. Technologické postupy mapování pomocí RPAS Plánování snímkování

4.1 Cíl leteckého měřického plánování

Cílem leteckého měřického plánování je připravit pro pilota a operátora měřícího systému (senzoru) takové podklady, aby byli schopni snímkovat senzorem ze správné polohy a výšky nad terénem a zabezpečili tak dodržení parametrů leteckého snímkování nebo leteckého laserového skenování dané lokality. Cílem je definovat polohu jednotlivých letových drah, jejich nadmořských výšek případně nadmořskou výšku jednotlivých expozičních center jednotlivých snímků v případě zvlněného terénu. Při leteckém snímkování jsou hlavními parametry:

1. GSD
2. podélný překryt mezi snímky
3. příčný překryt mezi řadami

Při leteckém laserovém skenování jsou hlavními parametry skenování:

1. hustota bodů na m²
2. typ rozložení bodů (pravidelné rozložení, profily)
3. procentuelní příčný překryt mezi řadami
4. šířka záběru laseru – (field of view) FOV

Dodržení výše uvedených parametrů při letu komplikuje reálný terén, jeho výškové rozdíly v jednotlivých částech lokality. Ze změnou vzdálenosti nosiče od zemského povrchu se mění zobrazené území na snímku (u skeneru šířka záběru) a také výše uvedené hlavní parametry měřických snímků nebo počty laserových bodů na metr čtvereční.

4.2 Historie leteckého plánování v České republice

Příprava podkladů pro uskutečnění měřického letu závisí na dostupnosti mapových podkladů a na způsobu navigace letounu nebo RPAS - na polohové a výškové přesnosti letu na jednotlivých letových drahách a určení míst jednotlivých expozičních snímků. V počátcích letecké fotogrammetrie šlo o nasnímkování lokality, kterou by bylo možno dále fotogrammetricky zpracovat. Postupně se letové plány připravovaly na základě topografických map s odečtením minimální a maximální nadmořské výšky na letové dráze a následným určením výšky letové dráhy. Exponování snímků se provádělo intervalometrem nebo regulátorem překrytu. Pro letecké snímkování rozlehlejších území v malých měřítkách se později používaly radiolokační zařízení umístěné na bodech o známých souřadnicích. Mezi kružnicové systémy navigační systémy patřily systémy Shoran, Hiran, Shiran a Aerodis s přesností navigace 50 až několik metrů. Systém Ratran usnadňoval snímkování s rovnoběžnými osami snímkových řad. S rozvojem globálních navigačních systémů (GNSS) se změnil i způsob navigace leteckých měřických letů, kdy do různých navigačních systémů se připravují různými způsoby letové plány na základě fotogrammetrických principů uvedených v 4.1.

4.3 Plánovací a navigační softwary

Každá společnost, která provozuje letecké snímkování, potřebuje navigační software. Výrobce senzorů zpravidla navigační, plánovací a snímkovací systém s RPAS dodává. Navigaci měřických letů je

však možno řešit proprietárními softwary v různých souřadných systémech. Mezi hlavní plánovací systémy s prakticky standardizovanými vstupy a výstupy jak pro velkoformátové, tak RPAS prostředky jsou IGIplan (<http://www.igi.eu/igiplan.html>), AeroTopol (GGS - Geotechnik, Geoinformatik & Service GmbH, <http://www.aerotopol.com/html/aerotopol.html>) a AeroPlan (Leica, http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-FPES_86824.htm)

Technické faktory ovlivňující letecké snímkování, skenování

Při plánování lokality je nezbytné si uvědomit faktory, které mohou významně ovlivnit výslednou kvalitu leteckého snímkování (skenování):

- charakter mapované lokality
 - intravilán, extravilán (zastíněné prostory)
 - členitost terénu
- stanovené parametry
 - požadovaná přesnost polohových a výškových dat produktu mapování
 - výsledné rozlišení primárních leteckých snímků
 - podélný a příčný překryt leteckých snímků
 - hustota bodů na m² u laserových dat
 - rozložení laserových bodů
 - příčný překryt skenovaných řad
- technické parametry senzoru
 - formát čipu, velikost pixel na čipu, ohnisková vzdálenost
 - cyklus kamery
 - kompenzace náklonů (omega, phi)
 - kompenzace snosu (kappa)
 - dosah (u skenerů)
- technické parametry nosiče RPAS
 - dostup
 - rychlost (minimální, maximální)
 - výdrž
- meteorologické podmínky
 - výška Slunce (zpravidla větší než 30stupňů, v horských terénech 40 stupňů a více pro snímkování pro mapování v katastru se doporučuje snímkovat pod oblačností)
 - roční období (volba podle účelu snímkování)
 - kouřmo (dohlednost)
 - vítr (zvýšení rychlosti kompenzace snímkováním s RPAS „na vítr“)
 - turbulence (nestandardní náklony, smaz a jeho přípustná zbytková hodnota)
 - zvýšení hladiny vodních toků (pokud například tvoří hranici k.ú. vodoteč.

Princip optického zobrazení

Nejdůležitějším prvkem fotografického zobrazování je fotografický objektiv, který umožňuje centrální projekci vytvořit v obrazové rovině (film, čip) obraz fotografovaného předmětu. Následně lze prostřednictvím prvků vnitřních a prvků vnějších orientace zaznamenaný obraz rekonstruovat pomocí příslušného softwarového vybavení a rekonstruovaný obraz dále bezkontaktně proměřovat nebo překreslovat.

Geometrie kamer

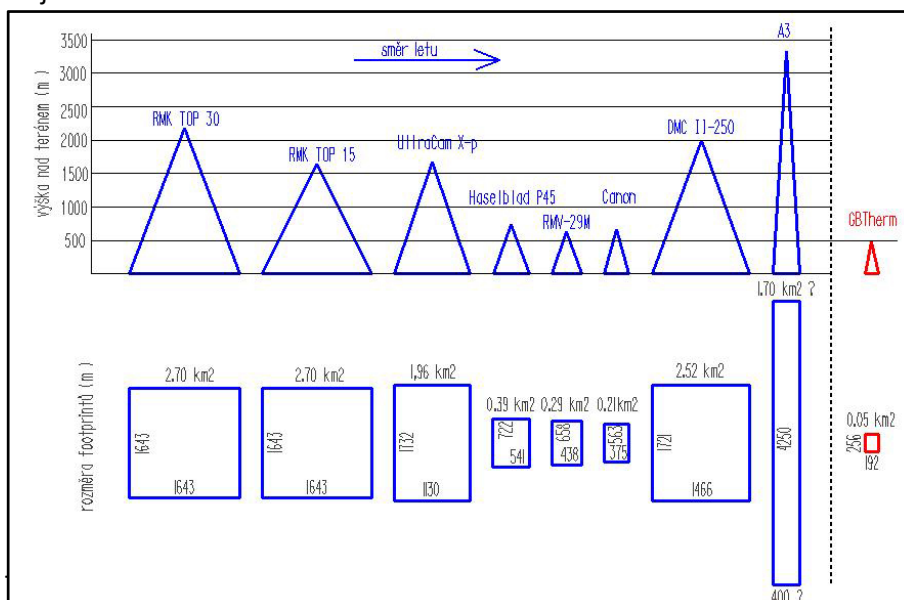
Mezi nejvíce používané velkoformátové měřické kamery ve světě patří kamery série UltraCam od firmy Vexcel a kamery série DMC od firmy ZI. Z kamer pro snímkování RPAS jsou to obvykle kamery z Tabulky 3 nebo obdobné, neboť na trhu existuje nepřeberné množství středoformátových a maloformátových kamer od různých výrobců. Všechny tyto kamery lze ve fotogrametrii používat, pokud jsou u nich určeny prvky vnitřní orientace. Tabulka 8 ukazuje a porovnává především velikosti snímacího čipu od standardních fotogrammetrických velkoformátových kamer k jednoduché zrcadlovce Canon.

Kamera	délka čipu (cm)	šířka čipu (cm)	ohnisková vzdálenost (mm)	velikost pixlu (mikrometr)	cyklová ní (vteřin)	počet pixlů	
Ultra Cam X-p	6.78	10.39	100.5	6.0	2	11 304	17 316
Hasselblad P45	3.68	4.91	50.0	6.8	3.5	5 412	7 221
RMV-29M	2.41	3.62	35.0	5.5	1	4 384	6 576
Canon EOS 1DSMarkIII	2.40	3.60	50.0	6.4	3.5	3 750	5 625

Tabulka 8 porovnání velikosti snímacího čipu při prakticky identické velikosti pixlu na čipu

Grafické porovnání kamer

Následující Obrázek 13 představuje grafické porovnání kamer při výsledném elementu 10cm Z obrázku jsou patrné různé náletové výšky nad terénem, různé rozměry a plochy footprintů při stejném GSD



Obrázek 13 Porovnání footprintů různých typů kamer – RPAS (Hasselblad, RW-29M a Canon)

Podstatným kritériem pro výběr kamery je cena za samotné snímkování, která se odvíjí od počtu řad a jejich celkové délky tedy od celkové doby letu. Pro celkovou rozvahu je nutné vypočítat náklady časové na snímkování RPAS, aby bylo možné připravit optimální postup pro snímkování dané části k.ú..

Vnější faktory ovlivňující volbu parametrů snímkování RPAS

Při přípravě letového plánu je nezbytné uvážit vnější faktory, které ovlivňují volbu parametrů snímkování letu RPAS:

- účel
 - k jakému účelu dílo slouží (uvědomit si charakter mapování katastru tvorba ortofoto a DMP)
 - jaká je přesnost díla (kód kvality 3)
 - volba výsledné rozlišení snímků pro kód kvality 3 nebo revizi (2,5cm a 5cm)
- typ lokality (extravilán, intravilán)
 - volba podélného a příčného překrytí s ohledem na zastíněné prostory (budovy, stromy, hluboká údolí) u leteckých snímků a použití odpovídajícího objektivu o $FOV > 100^\circ$
- parametry senzorů a nosičů
 - snímkování a cyklování kamery
 - u nosičů RPAS jsou hlavní faktory rychlost a dostup je nutné zvážit i dolet v rámci předpisů L2
- členitost terénu (nárůst ceny za snímkování)
 - s menšími výškami letu a s členitějším terénem roste počet výškově dělených řad (počet otáček) pro dodržení zvolených parametrů snímkování
 - členitý terén může výrazně ovlivnit výsledný čas a cenu snímkování
- omezení vyplývající z letových předpisů
 - minimální výška letu nad terénem
 - prostory s různými omezeními (města, letiště, státy, ..., hluk, ...)
 - utajované prostory

Základní vzorce pro plánování leteckého snímkování

- m - měřítkové číslo
- g.e. = GSD = ground sample distance = výsledné rozlišení
- pixel - velikost nejmenšího záznamového elementu na čipu
- f – ohnisková vzdálenost použitého objektivu
- FOV_b - úhel záběru ve směru letu
- FOV_a - úhel záběru napříč směru letu
- s_b - velikost čipu ve směru letu
- S_b - velikost zobrazeného terénu ve směru letu
- s_a - velikost čipu napříč směru letu
- S_a - velikost zobrazeného terénu napříč směru letu
- p - podélný překrytí, procentuelní hodnota
- b - vzdušná základna mezi dvěma snímky

q - příčný překryt, procentuelní hodnota

a - rozestup letových drah

Z_{max} - maximální nadmořská výška

Z_{min} - minimální nadmořská výška

ΔZ - rozdíl Z_{max} a Z_{min}

$h=H=AGL$ - výška letu nad fiktivní-srovnávací rovinou

H_a - nadmořská výška letu

H_f - nadmořská výška fiktivní-srovnávací roviny

v - rychlost

t - čas

s – dráha

s_m - reálný smaz (neostrost obrazu způsobená pohybem nosiče)

$$m = \frac{l}{f} = \frac{GSD}{pixel} = \frac{100a}{sa(100-q)} = \frac{100b}{sb(100-p)} = \frac{Sa}{sa} = \frac{Sb}{sb} \quad (2)$$

$$b = sbm \frac{100-p}{100} \quad (3)$$

$$a = sam \frac{100-q}{100} \quad (4)$$

$$FOVb = 2 \arctan \left(\frac{sb}{2f} \right) \quad (5)$$

$$H_a = l + H_f \Rightarrow H_a = \frac{\sum Z_i}{n} \text{ kde } Z_i = l + Z_{min} + \frac{2(Z_{max}-Z_{min})}{3} \quad (6)$$

Používání DMP 1G

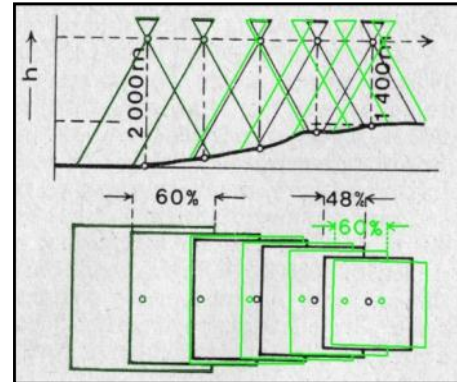
Pro použití při plánování snímkování konkrétního k.ú. bude vhodné využít DMP 1G. SRTM - celosvětový model, který používá řada firem dodávajících RPAS může mít výškovou chybou až kolem 20-ti metrů (místy až 300 metrů!). Pro většinu plánovacích a navigačních SW bude potřeba převést národní DMP 1G do souřadného systému ETRF2000 (obvykle v prostorových souřadnicích XZY – u některých SW Phi, Lambda, Hel).

Plánování leteckého snímkování v atypických lokalitách

Podkladem všech prací v letecké fotogrammetrii jsou letecké snímky se správnými parametry (výsledné rozlišení - GSD, podélný a příčný překryt). Tyto hodnoty jsou závislé při dané kameře na výškových poměrech terénu, které mění parametry jednotlivých snímků. Problémy s dodržáním naplánovaných a požadovaných hodnot rostou

- s větším rozlišením snímků (s nižšími letovými výškami obzvláště u RPAS)
- s většími členitostmi terénu (s většími výškovými rozdíly terénu)

Díky těmto faktům vzrůstají obvykle náklady na snímkování. Obrázek vpravo graficky znázorňuje, jak se mění footprints jednotlivých snímků a jejich podélné překryty při konstantní výšce letu v závislosti na převýšení. Pokud je možné s RPAS snímkovat metodou pin-point (po předem známých středech snímků) může být zavedení proměnlivého b (zelená kresba na Obrázku 14) vhodné k dodržení požadovaného konstantního podélného překrytu. Obvykle to možné u plánovacích softwarů pro RPAS není a proto se obvykle snímkuje



Obrázek 14

s překryty kolem 85% podélného překrytu a 60 až 65 příčného překrytu. Je nutné si uvědomit, že proměnlivé b (zachování konstantního podélného překrytu mezi snímky) neřeší problém s výsledným rozlišením snímků a příčným překrytem mezi řadami. Je vhodné použít i proměnlivý rozestup mezi řadami. Zde je ale nutné vzít v úvahu, že sice dojde k zachování minimálního q v problémových místech (zhuštění řad), ale v ostatních částech (v údolích) dojde ke zbytečně velkému překrytu a nárůstu počtu řad. Pro zachování stanovených parametrů je nezbytné použít výškové dělení řad (manuální) nebo lokalitu naplánovat s proměnlivým a i b a vhodně zvolenými podmínkami pro výškové dělení řad. Po zavedení přesného výškového modelu terénu v mezinárodním souřadném systému obvykle provede optimalizaci jak na aktuální směr větru v lokalitě tak na optimalizaci směru letových drah vůči tvaru lokality katastrálního území a jeho výškové členitosti.

5. Technologické postupy mapování pomocí RPAS - základny a kalibrace

5.1 Požadavky na prostor pro zřízení kalibrační základny

Při použití RPAS jako nosiče senzoru pro mapování ve velkých měřítkách jako je obnova Novým mapováním dle Návodu [5] je nutné zřídit ve vhodném prostoru kalibrační základnu, která bude snadno nebo poměrně snadno dosažitelná všem uživatelům resortu ČÚZK. Při použití neměřických kamer je kalibrační základna velmi vhodným zařízením k určení vnitřních parametrů jednotlivých kamer použitých pro snímkování. V České republice je pro RPAS již několik základen zřízeno, ale žádná z nich není optimální ve všech ohledech a potřebách. První základnou zřízenou v ČR ve prospěch kalibrace neměřických kamer byla a dosud je stále udržována městská velmi výškově členitá základna nazývaná BRNO-Líšeň, kterou však zbudoval soukromý podnik a o jejím všeobecném využití by bylo potřeba jednat. Základna a její body jsou přístupné, ale vzhledem k tomu, že základna je umístěna ve městě je pro testování neměřických kamer v případě nosičů RPAS obtížně využitelná. Další základnou byla pro kalibraci je základna vybudovaná v severočeském hnědouhelném revíru, která stejně jako její mladší sestra na homogenizační skládce dolů Tušimice jsou umístěny v prostoru

dolů a nejsou veřejně přístupné. V srpnu roku 2014 zřídil VÚGTK v.v.i., s laskavým svolením společnosti EUROVIA CS, a.s., na nepoužívaném úseku dálnice D11 blízko města Hradec Králové, testovací základnu o 101 kontrolních bodech. Tato základna je přístupná, ale po části nepoužívané dálnice v blízké budoucnosti lze očekávat, že další použití bude nemožné, protože dojde k zprovoznění a natření vodorovného značení. Poslední autorovi známou kalibrační základnou je základna zřízená na letišti Praha-Kbely s trvale stabilizovanými a signalizovanými body. Je velmi pravděpodobné, že existují ještě další kalibrační základny pro prostředky RPAS. Základny pro techniku RPAS jsou odlišné od standardních základen pro letecké snímkování, neboť velikost aktivní plochy snímače je ve srovnání s velkoformátovými kamerami až třicetinou této aktivní plochy a tedy rozmístění výchozích bodů pro testování, ani při významně vyšších GSD, než pro které jsou RPAS používány, nedostačuje ani ve smyslu rozložení výchozích bodů (VB) v kalibračním poli ani v jejich počtu na počet fotogrammetrických základen. Obecně lze říci, že základna musí být veřejně přístupná a je vhodné, aby byla dostatečně výškově členitá. VB musí být stabilizovány a signalizovány, ale nesmí být ohroženy významně provozem na pozemních komunikacích a musí být dostatečně odolná proti nenechavým. Musí umožňovat provést snímkování v rozmezí GSD 1 až 12cm. Body je vhodné stabilizovat vhodným měřickým hřebem nebo nástřelákem do pevného podkladu (asfalt, beton) a signalizovat měřickou značkou (bílou barvou) přímo na asfaltovém povrchu komunikace formou kruhu o průměru 30 cm se dvěma středovými výseky viz Obrázek 15.



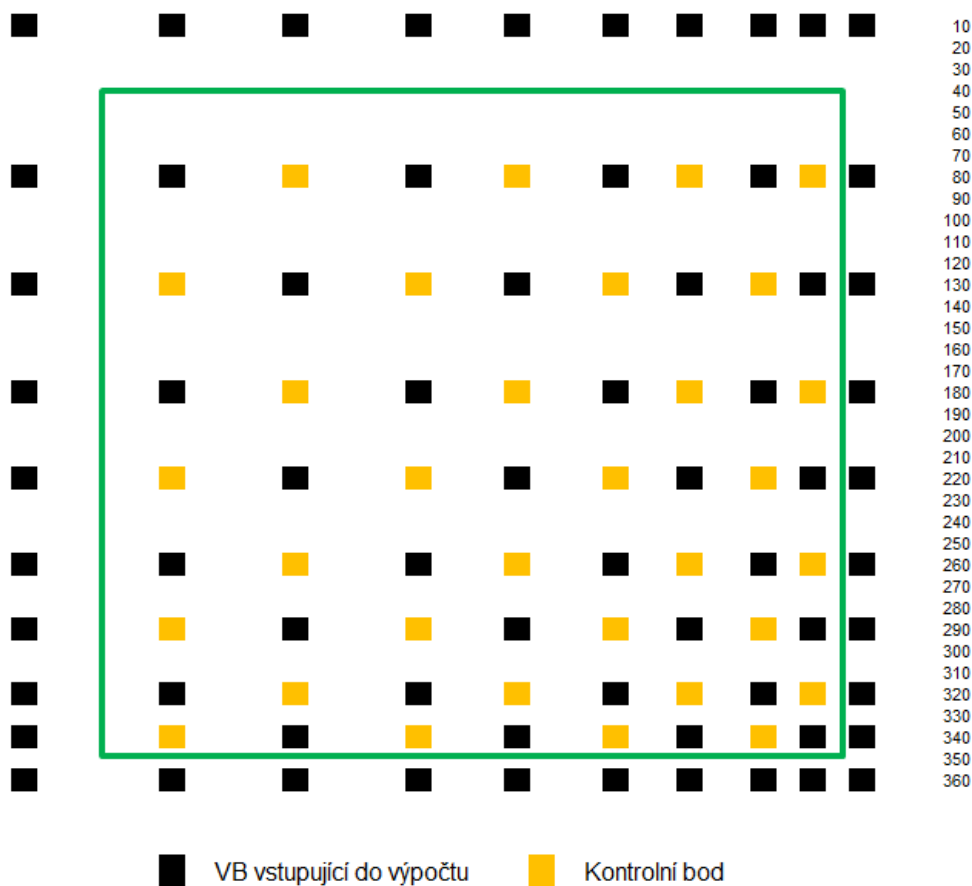
Obrázek 15 Ukázka signalizovaného bodu - v levé části snímku

Na základě zkušeností s budováním první základny pro RPAS D11, určením vztahu mezi GSD a hodnotami RMSE v poloze a výšce a rovněž na základě zkušeností se stanovením metodiky postupu určení zbytkových chyb na výchozích a kontrolních bodech se jeví vhodné založit a trvale udržovat prostorovou testovací a kalibrační základnu v oblasti Prahy na veřejně přístupném místě s malým dopravním provozem v pokud možno v málo obydlené výškově dostatečně členité oblasti s možností pravidelné údržby signalizace. Kalibrační základna pro RPAS by měla mít rozměr kolem 400x400m. Popis základny, souřadnice a místopisy výchozích bodů by měly být veřejně přístupné na portálu ČÚZK. Základna by měla být dostupná po veřejné komunikaci a obrázky, výkresy a popisné údaje

včetně souřadnic výchozích a kontrolních bodů by měly být uveřejněny na internetu. Jedna z menších základen pro GSD=1,5cm byla například na parkovišti na střeše obchodního domu v Brně (bez stabilizace - jako VB byly využity rohy parkovacích stání na vodorovném dopravním značení).

5.2 Rozložení trvale signalizovaných a stabilizovaných VB základny

Rozložení VB v rámci základny by mělo být uspořádáno tak, aby bylo možné provést snímkování s GSD 1 až 12cm a bylo možné uspořádat snímkování alespoň v jednom ze směrů převládajícího větru v dané lokalitě. Vzhledem k různé velikosti čipů v kamerách pro RPAS a různým ohniskovým vzdálenostem nebude možné vyhovět všem alternativám čipů, objektivů a jejich ohniskových vzdáleností avšak jisté optimum je uvedeno na Obrázku 16. Vždy je pro testování potřeba dbát toho aby počet VB a bodů kontrolních (dále KB - nevstupujících do fotogrammetrických výpočtů) byl v poměru polovin. Výpočetní program pro výpočet ortofoto a digitálních modelů povrchu a terénu musí být založen na algoritmu SGM respektive SfM. Odečet souřadnic polohy z ortofotomapy a výšky z digitálního modelu terénu je vhodné, aby byl proveden ručně. Výsledná RMSE nesmí přesahovat 1,5 násobek GSD v poloze a 2,5 násobek GSD ve výšce.



Obrázek 16 Rozložení 100 VB v kalibračním poli

5.3 Přesnost určení bodů výchozích bodů základny

Vzhledem k testování kamer, u kterých předpokládáme, že GSD obrazu bude kolem 2,5 až 3,5cm je nutné, aby přesnost určení VB a KB v kalibrační základně byla odpovídající GSD. Doporučuje se provést měření VB a KB v těchto krocích:

1. Určení výšek signalizovaných bodů je vhodné provést velmi přesnou nivelací.
2. Pro vyhodnocení určení výšek metodou GNSS je vhodné, aby byly výšky kontrolovaných bodů určeny 2x nezávisle s potřebným časovým odstupem a dvěma aparaturami GNSS.
3. Určení polohy signalizovaných bodů je vhodné provést dvěma technologiemi.
 - a) Terestrickým určením ve vztahu ke státnímu bodovému poli (S-JTSK). Pro polohové určení všech signalizovaných kontrolovaných bodů je vhodné zaměřit osnovy směrů tvořených body státní sítě a odpovídajících délek mezi body přístrojem Leica TCA 2003 nebo obdobným.
 - b) Technologií GNSS byly změřeny signalizované body technologií GNSS (Křovák 2013, model kvazigeoidu CR 2005). Měření bylo provedeno 2x, nezávisle a s potřebným časovým odstupem.

5.4 Výsledky testování na kalibrační základně

Kalibrační základna byla nasnímkována v únoru roku 2014. Testovací snímkový let byl proveden k určení polohové přesnosti ortofota a výškové přesnosti digitálního modelu povrchu. Ke snímkování byla zvolena neměřická kamera Canon 700D o velikosti snímacího čipu typu CMOS 5184x3456 pixelů (22,3 x 14,9mm) při velikosti pixlu na čipu 4,384x4,384 μm s objektivem Objektiv Canon EF 24mm f/2,8 IS USM. Jako nosič byl použit šestirotorový vrtulník s názvem UAV Hexacopter G6 viz Obrázek 17



Obrázek 17 UAV Hexacopter G6 firmy UpVision spol. s r.o. s Canon 700D

Kalibrační pole bylo snímkováno s nominálním GSD 1cm z průměrné výšky 68m nad terénem. Lokalita byla snímkována ve třech pětiřadových blocích se vzájemným překrytem bloků. Celá lokalita je

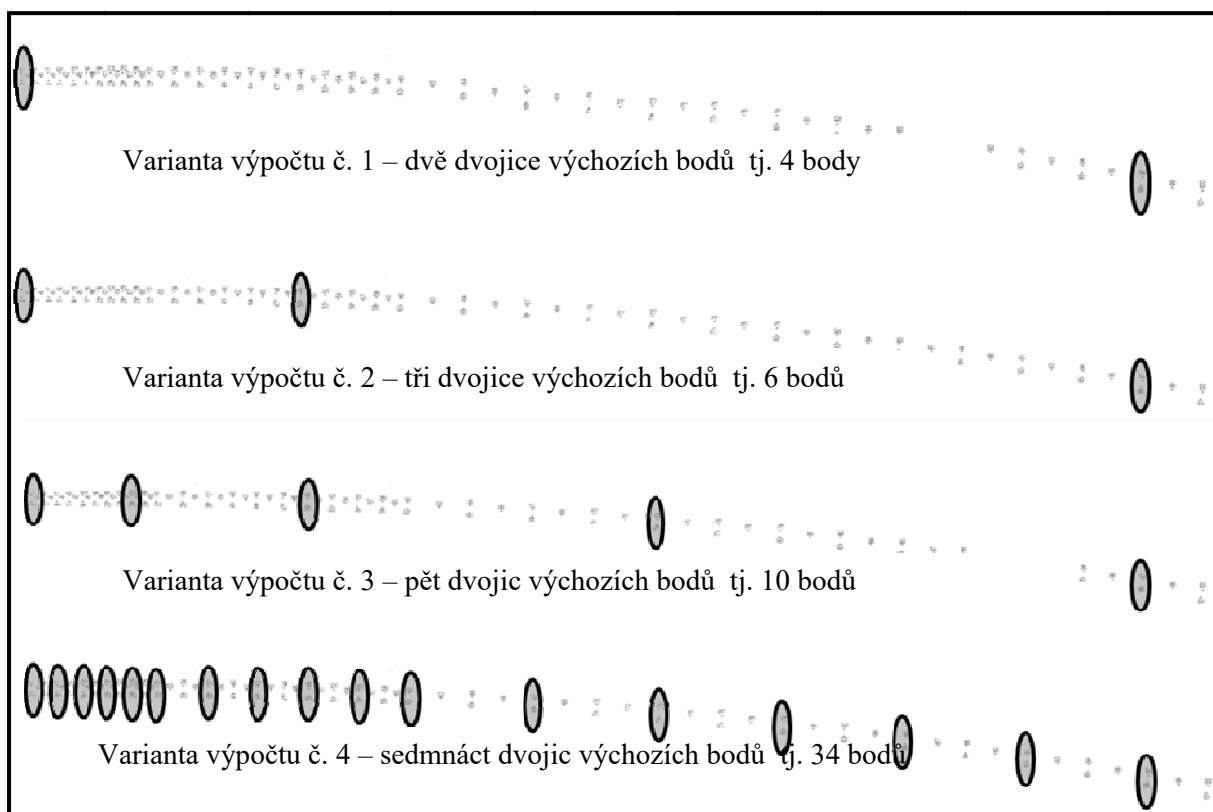
orientována severojižním směrem. Při podélném překrytu snímků 80%, a příčném překrytu 60% bylo pořízeno 1235 snímků, přičemž kamera byla umístěna kratší stranou ve směru letu. Snímky pokryly plochu přibližně 20ha. U všech snímků byly zaznamenány souřadnice projekčních center snímků ve WGS84. Tato centra byla převedena do JTSK a soubor parametrů je jedním ze vstupů pro fotogrammetrické zpracování programem Agisoft PhotoScan 1.0.0 build 1480 [15]. Do fotogrammetrických výpočtů bylo ručně na snímcích změřeno 34 výchozích bodů. Průměrný počet průvodičů byl pro jeden VB 18.

Postupně byly sestaveny a uskutečněny čtyři výpočty s různým počtem použitých VB a KB. První alternativa výpočtu byla provedena se čtyřmi známými výchozími body rozloženými po dvou na začátku a konci snímkové lokality. V druhé alternativě byly do konfigurace výchozích bodů varianty první vloženy další dva body uvnitř lokality. V třetí variantě byly vloženy do výpočtu další čtyři body vůči variantě dvě a celkový počet bodů výchozích bodů byl deset. Poslední alternativa výpočtu obsahovala všech 34 změřených bodů. Tyto body byly použity při výpočtu zbytkových chyb na kontrolních bodech ve všech výpočetních variantách jako body bez hodnoty střední chyby k analýze polohové přesnosti vytvořeného ortofoto a vygenerovaného výškového modelu. Pro výpočet ortofoto a digitálního modelu povrchu byl použit program [15]. Souřadnice kontrolních bodů byly určeny operátorem tak, že operátor vložil na střed signalizovaného bodu v ortofotomapě do výkresu dgn buňku s číslem bodu v programu Microstation V8i. Z dgn souboru pak byly tyto buňky s čísly hromadně vyeportovány do txt souboru a zpracovány v programu Excel Microsoft. Výšky těchto bodů byly odečteny z vygenerovaného prostorového modelu v programu RoadMap na místě poloh bodů odečtených s nulovou výškou při identifikaci poloh signalizovaných bodů. Vzhledem ke konfiguraci výchozích bodů

Popis varianty (hodnoty středních chyb v tabulce v [m]):		RMSE _{xy}		MAX		MIN		RMSE _z	MAX	MIN
		Y	X	Y	X	Y	X	Z	Z	Z
Varianta č.1	výpočet - vstupují 4 body, 96 bodů je kontrolních	1,014	0,080	1,664	0,107	-0,361	-0,173	2,148	3,753	-0,906
Varianta č.2	výpočet - vstupuje 6 bodů 94 bodů je kontrolních	0,041	0,041	0,113	-0,020	-0,020	-0,107	0,038	0,120	-0,113
Varianta č.3	výpočet - vstupuje 10 bodů 90 bodů je kontrolních	0,015	0,015	0,040	0,036	-0,035	-0,042	0,039	0,143	-0,094
Varianta č.4	výpočet - vstupuje 33 bodů 67 bodů je kontrolních	0,012	0,011	0,032	0,025	-0,014	-0,026	0,035	0,115	-0,093

Tabulka 9 Varianty výpočtů a střední chyby signalizovaných kontrolních bodů.

na základně je velmi důležitým faktem, že hodnoty rozdílů souřadnic na kontrolních bodech u variant výpočtu č. 2 a vyšší jsou jen nevýznamně vázány k počtu fotogrammetrických základen mezi výchozími body vstupujícími do fotogrammetrických výpočtů.



Obrázek 18 Varianty výpočtu souřadnic VB a KB

Z testování vyplývá, že pro dodržení přesnosti určení polohy a výšky podrobných mapovaných bodů postačí jeden výchozí bod na 100 až 120 snímkových základen. Tento poměr základen se však může významně změnit v případě použití metod RTK na palubě RPAS, kdy budeme znát vstupní parametry souřadnic středů snímků pořízených neměřickými kamerami s přesností v XYZ kolem 10cm (v budoucnosti i rotačních úhlů kamery v době expozice ze zařízení typu IMU) pak bude postačovat k určení polohy pouze 4 až 6 výchozích bodů na lokalitu. Vstup přesných parametrů vnějších orientací snímků v bloku (nebo alespoň jejich polohy jako v případě výrobků firmy Topcon (MaVinci) zkrátí významně čas potřebný na výpočet snímkového bloku.

6. Technologické postupy mapování pomocí RPAS Signalizace výchozích bodů

6.1 Parametry signalizace výchozích, kontrolních a podrobných bodů

Parametry signalizace výchozích, kontrolních i podrobných bodů jsou dány v současné době Návodem [5]. Vzhledem k tomu, že v navrhovaných technologických postupech mapování pomocí RPAS uvažujeme o provedení snímkování s $GSD=2$ až $3,5$ cm, se významně mění pohled na stabilizaci a signalizaci výchozích, kontrolních i podrobných bodů. Velikost signálu výchozích a kontrolních bodů je dostačující a jednoznačně interpretovatelná při velikosti kruhu případně použití signální ostře zelené fluoreskující barvy o průměru 2,5 násobku velikosti GSD tedy 5 až 8,5cm pro signalizaci na komunikacích a zpevněných plochách. Při použití větších signálů (o větším průměru) má operátor při proměrování VB pro AT, respektive fotogrammetrické výpočty, ztíženou úlohu, neboť ve větším signálu zobrazeném na snímku tzv. „plave“ a pointace na střed signálu je významně obtížnější. Na Obrázku 19 jsou znázorněny kolíky různé barevnosti s $GSD=2$ cm. Obrázek 20 ukazuje identické kolíky z úrovně terénu. Na Obrázku 21 je ukázka signalizovaného VB. Všechny VB musí být v širším plochem okolí (alespoň o průměru 20 pixelů obrazu), aby byl korektně interpretován, pointován, výpočetními postupy identifikován a korelován na všech snímcích na kterých je zobrazen. Pokud není v terénu zpevněných ploch lze jako dočasnou stabilizaci použít 180mm dlouhý hřebík a jako signalizační



Obrázek 19 kolíky různé barevnosti v pravé části v kroužcích pro snadnější identifikaci



Obrázek 20 kolíky různé barevnosti v třech směrech testovacího pole



Obrázek 21 VB nástřikem přes šablonu – průměr 5cm pro snímkování s GSD=2cm



Obrázek 22 stabilizace trvalá hřebem
signalizace nástřikem přes šablonu



Obrázek 23 dočasnou stabilizací hřebíkem
signalizace terčíkem

materiál použit kolečka z plastu (podložky do sešitu A4) pro školní sešity nastříkané na matovou stranu zelenou reflexní barvou s vyvrtaným otvorem o průměru hřebíku ve středu terčíku jak je



ukázáno na Obrázku 24. Vybraný signalizační materiál má malou specifická hmotnost, lze ho přes hřebík přitlout do půdy nebo na dřevěné předměty má však téměř nulovou rozložitelnost za běžných povětrnostních podmínek v terénu v terénu vydrží je měřitelný geodeticky a snadno interpretovatelný na snímcích dokud ho nepřeroste vegetace. Vzhledem k tomu že všechny materiály jsou velmi lehké

(signalizační kolečka, barva, šablona z plastu) a pouze měřické hřeby a hřebíky jsou jistou zátěží přesto

Ize ve dvou zaměstnancích (GNSS měřič a pomocník) změřit podle metodiky GNSS (dvakrát s posunem více jak 1,2 hodiny) stabilizovat a signalizovat výchozí a kontrolní body (případně body PBPP – pokud bude provedeno zhuštění bodového pole fotogrammetrickou metodou – výhodné ve vnitroblocích a pro GNSS metody nevhodných místech) v jednom intravilánu daného k.ú. v počtu cca 120 bodů za pracovní den. V běžně velkých obcích, jako byly obce testované, lze tedy (po kancelářské přípravě) provést stabilizaci, měření a signalizaci VB, KB a PBPP během dvou dní. Snímkování se doporučuje provést bezprostředně po ukončení signalizace, aby byl podklad ortofoto k dispozici před započítáním šetření hranic jako aktuální kvalitní podklad pro přípravu terénních prací.

6.2 Rozložení a požadovaná přesnost výchozích bodů

Rozložení a umístění výchozích, kontrolních a podrobných signalizovaných bodů v lokalitě je nutné plánovat s ohledem na hranice území, které je určené ke katastrálnímu mapování. Umístění těchto bodů se plánuje tak, aby tyto body byly pozorovatelné a měřitelné na nejméně 9 snímcích. Tohoto stavu lze dosáhnout tak že KB budou umístěny

1. Rovnoměrně v lokalitě a rovněž vně obvodu mapování
2. Každý bod na okraji lokality musí mít při $q=65\%$ nasnímkovány ještě další 4 řady za Vb který je na okraji lokality (jak je formálně znázorněno vztahem zelené čáry obvodu čtverce a rozložením VB a KB na Obrázku 16)
3. Každý bod, který je v koncových částech řady musí být ještě na dalších šesti snímcích v řadě (respektive řadách, jak je formálně znázorněno vztahem zelené čáry obvodu čtverce a rozložením VB a KB na Obrázku 16))
4. Celkový počet v lokalitě rozložených VB musí být v poměru k počtu pořízených snímků 1:120 VB
5. KB musí být rozloženy v lokalitě tak aby byly v polovině vzdáleností mezi VB a jejich počet musí být nejméně dvě třetiny počtu VB.

Tímto postupem se jednak body rozloží pravidelně v rámci lokality a celá soustava VB s průvodiči snímkových bodů pak vykazuje vyšší tuhost a tím nižší střední souřadnicovou chybu při měření a fotogrammetrických korelačních výpočtech. Vzhledem k tomu, že souřadnice výchozích bodů jsou určovány obvykle metodou GNSS tak již není nutné rozdělovat VB na body výškové a polohové, neboť každý bod je určen jako prostorový. Polohová přesnost výchozích bodů je sice uvedena v kapitole Návodu [5], ale jak již bylo konstatováno v kapitole 3.5 a Tabulce 7 a dalším textu s GSD obrazu se výrazně mění i požadavky na přesnost měření VB a KB. Hodnoty přesnosti v poloze a výšce všech typů měřených bodů vstupujících do fotogrammetrických výpočtů a zpracování musí mít relativní polohovou přesnost, vztaženou k sousedním bodům sítě, v hodnotě souřadnicové směrodatné odchylky $\sigma_{x,y}=15\text{mm}$. Nelze tedy vycházet ze stávajícího Podrobného polohového bodového pole, pro které je předepsána souřadnicová směrodatná odchylka $\sigma_{x,y}=40\text{mm}$

6.3 Rozsah signalizace podrobných bodů

Signalizaci podrobných bodů ve smyslu současného Návodu [5] není u podrobných bodů s přirozenou signalizací (rohy plotů, budov, apod.) nutná, neboť identifikace, interpretace a pointace předmětů katastru z vyhotoveného ortofoto a mračna bodů je možná a přímá. Signalizovat je v průběhu šetření hranic nutné pouze body bez přirozené signalizace postupem uvedeným v předchozích odstavcích. Body, u nichž je z jejich umístění zjevné, že je nebude možné určit z ortofoto (podrobné body v lese, body kolem vodotečí apod.) budou předepsány ke geodetickým měřením a nebudou signalizovány.

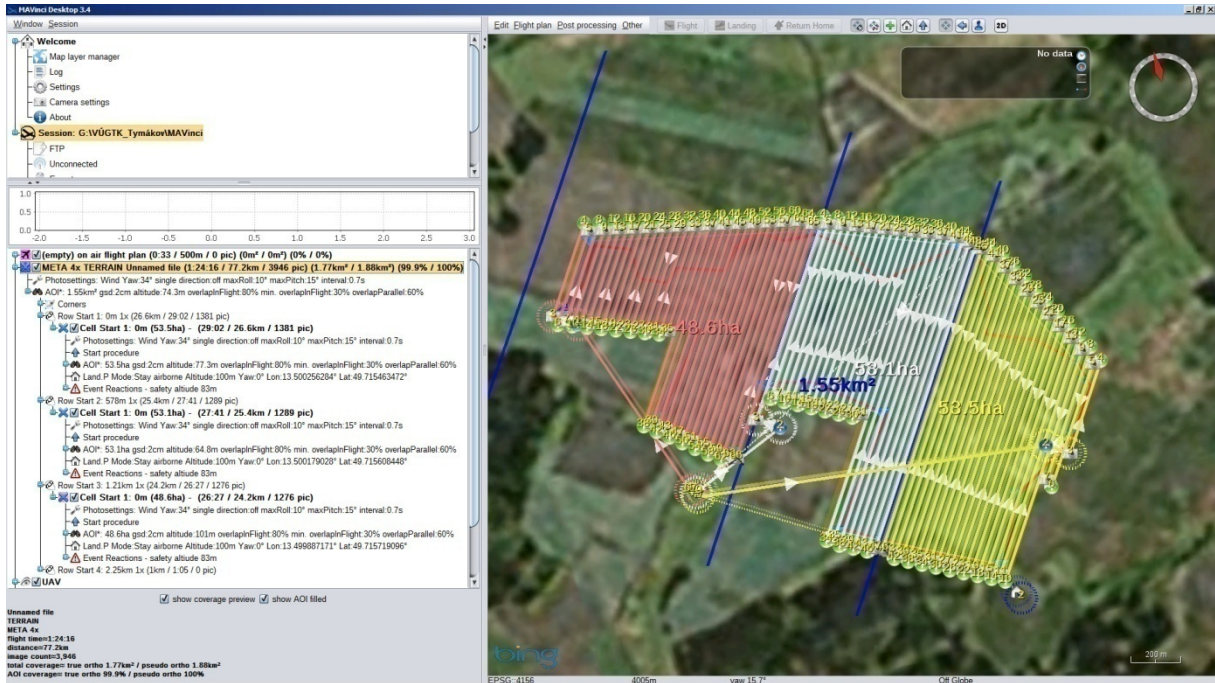
7. Technologické postupy mapování pomocí RPAS Parametry leteckého snímkování

Parametry leteckého snímkování zásadním způsobem ovlivňují výslednou kvalitu vstupních produktů pro katastrální mapování při použití fotogrammetrické metody. Jak u prvního snímkování před šetřením hranic, tak u druhého snímkování pro určení polohy podrobných bodů je naprosto nutné dodržet všechny parametry snímkování, které jsou uvedeny níže.

7.1 Vliv výšky letu, podélného a příčného překrytu a termínu snímkování na kvalitu ortofoto a digitálního modelu povrchu

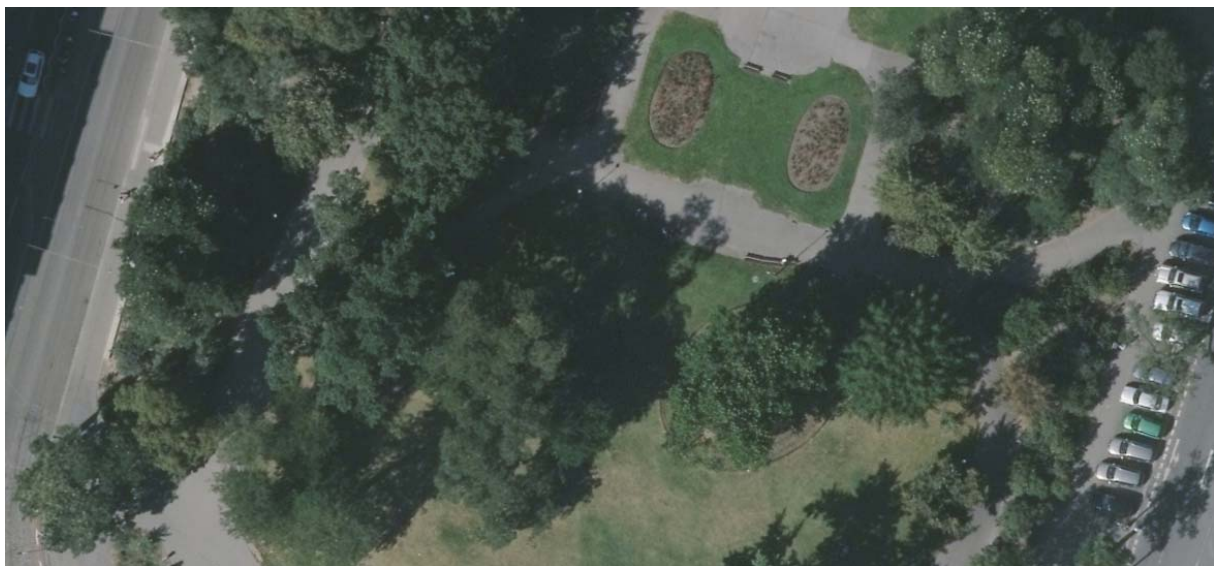
Dodržení GSD, podélného a příčného překrytu jsou spolu s kvalitně zaměřenými signalizovanými výchozími body hlavními předpoklady pro vytvoření podkladů jak pro přípravu šetření hranic, tak rovněž pro druhé snímkování pro určení polohy podrobných bodů. Vztah mezi GSD a přesností vyhodnocení podrobných bodů nebo interpretace bodů z ortofoto je dán v Tabulce 7. Podélný a příčný překryt musí být takový, aby všechny body plochy určené k mapování byly zobrazeny ba alespoň 9 snímcích. Tento požadavek je zabezpečen když podélný překryt bude 80% a příčný překryt bude 60% (při poměru stran čipu v kameře 3:2 až 4:3) a orientace kamery bude provedena tak, že delší strana čidla bude napříč směru letu RPAS. Doporučuje se, aby kamera měla FOV přes delší stranu čipu větší jak 100° . Na Obrázku 25 je ukázka plánu letu s GSD=2cm, podélným překrytem 80% a příčným překrytem 60% na testovací lokalitě intravilánu k.ú. Tymákov. Vlastní lokalita je rozdělena do tří snímkových bloků, které v součtu zobrazovali území 176 hektarů. Velikost lokality pro mapování byla 155ha. Ve východním (žlutém bloku) je patrné nedodržení zásad snímkování, kdy hranice mapování (červená čára souběžná s letovými drahami) je zachycena v některých částech pouze jednou snímkovou drahou místo drahami čtyřmi (aby byly vygenerovány i body digitálního modelu povrchu i na východních stěnách - fasádách- domů u okraje snímkového bloku. Rovněž jsou drobné nedostatky v počtu snímků na letových drahách za hranicí mapování, kde je potřeba, aby po snímku jehož střed leží za hranicí mapování bylo na každé snímkové dráze ještě nejméně 6 snímků, které zaručí jednak vygenerování dostatečné množství bodů v mračnu digitálního modelu povrchu na fasádách domů jednak oddělí prostor mapování od prostoru "náběhu korelace v řadě". Mezi těmito prostory je místo kde je nutné umístit VB, aby vlastní obvod mapování byl již v prostoru korelačně

čistém.



Obrázek 25 Plán snímování intravilání části k.ú. obce Tymákov

Jedním z parametrů, které ovlivňují především kvalitu interpretace všech bodů, jsou podmínky snímování a to jak termínové, tak meteorologické. Termínově je nutné, aby snímování proběhlo v



Obrázek 26 - ukázka snímku ve vegetačním období

mimovegetačním období bez olistění. Na Obrázku 26 a 27 je porovnání stejného prostoru snímkování o stejném GSD z období mimovegetačního a vegetačního. V případě porostů jehličnanů v intravilánu je jedinou pomocí vhodný defoliant.



Obrázek 27 - ukázka snímku ve vegetačním období

Další poměrně často diskutovanou otázkou je zda snímkování provádět pod souvislou oblačností nebo za svitu Slunce, případně jaký je minimální úhel Slunce pod kterým má být terén nasvícen. Když si uvědomíme jednak délku stínů v předjarním období a podzimním období (viz Obrázek 27) a jednak podmínky, které nás pak svazují při vyčkávaní na slunečné počasí, ale především významnou ztrátu interpretačního detailu při identifikaci podrobných bodů mapování v prostorách zastínění terénu terénními předměty jsou výhody snímkování pod souvislou oblačností poměrně zásadní. jak i dokumentují Obrázky 28 a 29.



Obrázek 28 Snímkování pod souvislou oblačností



Obrázek 29 Ortofoto při snímování za Slunce

7.2 Hodnocení expozičních podmínek

Expoziční podmínky musí umožnit použít takovou rychlost závěrky kamery, aby zbytkový smaz pixelu obrazu snímku byl menší než 1/2 snímkové GSD. Některé kamery však do režimu upřednostněné délky expozice (vůči cloně) není možné nastavit. V takovém případě je lépe tyto kamery nepoužívat nebo je nutné nastavit citlivost čipu (CCD nebo CMOS) tak, aby umožnili nastavit tak krátký čas, aby podmínka 1/2 GSD byla splněna. S navýšením citlivosti snímacího elementu však narůstají i problémy s vykreslením detailu především u kamer u kterých není možné ukládat originální obraz snímku ve formátu *.RAW v 12 (16) bitové hloubce a je možné ukládat snímek pouze komprimovaný ve formátu JPEG. I těmto kamerám je vhodné se v praxi rovněž vyhnout.

8. Technologické postupy mapování pomocí RPAS rozbor vlivu použitých prostředků na přesnost díla

Digitální kamery, kterými jsou letouny RPAS vybaveny existují v širokém rozsahu velikosti čipů, ohnisek objektivů a jejich druhů. Nejčastěji používané kamery jsou uvedeny v Tabulce 3. Výběr snímače je často ovlivněn skutečností, že u některých typů nosičů nelze umístit do nákladového prostoru RPAS jiný snímač, než který dodává výrobce nosiče. Tento fakt významně ztěžuje rozhodnutí o výběru vhodného prostředku RPAS.

8.1 Vliv použité letecké neměřické kamery na kvalitu snímkování

V Tabulce 3 je uvedeno několik typů kamer pro ilustraci a porovnání jejich vzájemných parametrů a charakteristik. V reálném světě je však optimalizace výběru při poměru cena/výkon vždy otázkou okamžité nabídky na trhu. Zásady pro výběr neměřické kamery pro účely mapování pomocí RPAS lze shrnout do následujících jednoduchých doporučení:

1. Tělo kamery by mělo tvořit s objektivem kompaktní celek
 - a) kamera a objektiv by měli mít vůči sobě neměnnou pozici, není tedy vhodné používat kameru sice s pevným ohniskem, která má ale v poloze bez napětí složen objektiv v těle kamery
 - b) pokud existuje jakákoliv pochybnost, že by vzájemná poloha těla a objektivu byla neměnná v čase zabezpečíme jí například ocelovými táhly mezi body uchycení řemene kamery a kraji filtru nebo sluneční clony objektivu
2. Objektiv by měl být objektiv s pevným ohniskem o úhlu záběru přes delší formát kamery větším jak 100° , pokud možno s mechanickým ostřením, nebo alespoň s možností automatické ostření vypnout, po testu zaostření na nekonečno objektiv přelepíme pevnou plastickou páskou, aby ho nebylo možné přeastřit na jinou hodnotu
3. Kamera nesmí mít elektronický stabilizátor snímače
4. Tělo kamery a objektiv musí mít takovou hmotnost, aby významně neomezoval výdrž RPAS

5. Obvykle platí, že čím větší rozměr čidla (při velikosti pixelu na čidlu v rozmezí 2,5 až 6 μ m) tím lepší a efektivnější parametry snímkování

V následující Tabulce 10 jsou uvedeny jako příklad základní hodnoty parametrů kamery Sony a5100

Parametr:	Hodnota:
Rozlišení:	24,3 Mpx
Typ snímače:	CMOS
Rozlišení fotografií:	3008x1688, 3008x2000, 4240x2400, 4240x2832, 6000x3376, 6000x4000
Poměr stran snímače:	3:2
Stabilizátor snímače:	Ne
Velikost snímače (mm):	23,5 x 15,6
Typ bajonetu:	Sony E
ISO - minimální citlivost:	100
ISO - maximální citlivost:	25600 údaj výrobce,- reálná mezní citlivost je 16000ASA
Typ závěrky:	Mechanická závěrka - upozornění - takřka žádný z výrobců neudává trvanlivost závěrky, praktické zkušenosti hovoří o tom že žádná závěrka nevydrží více jak 250.000 expozic, výměna závěrky však u většiny výrobců je do 2 týdnů za přijatelné ceny kolem 3.500 Kč
Rychlost sériového snímání:	6 sn./s údaj výrobce -reálná trvalá frekvence snímkování (cyklus této kamery) je 2 snímky za vteřinu při ukládání do komprimovaného JPEG formátu
Typ paměťového media:	SD 64GB
Formáty souborů:	JPEG, MPEG-4, RAW
Výdrž baterie:	400 snímků údaj daný výrobcem - reálným testem bylo zjištěno že kamera nasnímkuje po jedné sekundě 5200 snímků, zaznamenaná je

	na 64GB kartu a systém kamery udává že ubylo pouze 44% energie na její baterii.
Rozhraní:	HDMI, USB
Rozměry v mm:	110 x 63 x 36
Hmotnost:	283 g

Tabulka 10 základní parametry kamery Sony a5100

Pokud bychom pro tuto kameru použili například použili objektiv Samyang 8mm f/2,8 UMC s pevným ohniskem typu rybí oko bude zorný úhel objektivu v polovině šířky formátu kamery 120° a parametry snímkování pro GSD=2,5cm, p=80% a q=60% by byly následující:

1. Hodnota fotogrammetrické základny $b=20\text{m}$ (pro výše uvedené $p=80\%$)
2. Hodnota odstupu letových drah $a=60\text{m}$ (pro výše uvedené $q=60\%$)
3. Nominální výška letových drah nad terénem 51m
4. Při běžné rychlosti RPAS 21m/s (75km/h) lze snímkovat s požadovaným překrytem 80% a současně vyhovět rychlosti snímání kamery
5. Při použití expozičního času 1/2000 je zbytková hodnota smazu 1cm tedy menší jak požadovaná 1/2 GSD

8.2 Použitý software pro tvorbu ortofoto a digitálních modelů povrchů

Generování 3D objektů o vysoké hustotě je základním úkolem většiny aplikací v oblasti fotogrammetrie a počítačového vidění (tvorba 3D objektů, výroba digitálních modelů povrchů, detekce objektů a průzkum, automatická navigace, ...). Metody pro získání 3D informací lze rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní postupy založené na zpracování snímků se v poslední době ukázaly být konkurenceschopné laserovým a optickým skenerům, tedy aktivním postupům získání 3D informací a to jak pokud jde o přesnost, tak pokud jde o cenu měřických aparatur a flexibilitu jejich použití. Jádro pasivních postupu tvoří korelace snímků, tedy nalezení odpovídajících si dvojic (n-tic) identických elementů zobrazených na snímcích. Tyto postupy se skládají buď z úlohy končící kalibrací kamery a orientací snímků, zde se pak mluví o „řidké“ korelaci (kdy k vyřešení této úlohy postačí několik menších částí obrazu pravidelně rozložených v ploše stereoskopického modelu), nebo jde o „hustou“ korelaci pro tvorbu ploch prostorových předmětů v celé ploše mapování. Všechny algoritmy korelace stereoskopických snímkových dvojic o vysokém rozlišení obrazu (GSD=2 až 10cm) vycházejí ze studia velkého množství efektivních algoritmů vytvářených řadou expertních týmů v posledních 25

letech. Pro fotogrammetrické výpočty je tedy v současné době možné použít řadu výpočetních softwarů které z neměřických snímků vytvoří měřické podklady k mapování. Určení vztahu odpovídajících si obrazových elementů například až 12 snímcích je základním krokem k plně automatizované 3D rekonstrukci objektů založené na obrazové korelaci snímků. Použití lokálně přizpůsobeného vícehodnotového postupu výpočtu prostorových objektů v rámci různých výpočetních scénářů a postupů, jež překonávají běžné postupy globálních metod optimalizace korelačních výpočtů jsou základem a jádrem pro výpočetní postupy založené na výpočetních postupech korelace odpovídající hodnotám obrazových přechodů v obecně různých částech obrazu. Sloučená hodnota pro výpočet prostorového tělesa ze snímků bývá obvykle vypočtena při lineárním rozšíření v křížení částí obrazu snímků. Pro vyhlazení vypočtené části prostorového tělesa pomocí modifikace 3D Gaussova jádra je obvyklým řešením využití čelních rovnoběžností používaných ve většině lokálních korelačních metod. Uvedené kroky jsou integrovány do hierarchického systému, který využívá pro korelační výpočet adaptivní okna v ploše snímku. Tímto postupem jsou řešeny problémy podél diskontinuit výsledného povrchu vypočtených těles (typické u hierarchických korelačních metod). Lokální korelace snímků je založena na definici okolí primárního referenčního (moudrého) pixelu. Předpokládá se, že v rámci okolí tohoto pixelu sdílí tyto pixely s ostatními stejně se průběžně měnící nepoměry denzit a intenzit. Základem adaptivních přístupů je tedy skutečnost, že pixely v rámci oblasti výpočtu by měly mít podobné denzity a očekává se, že zmenšením korelačního okolí v souladu se vzdáleností od referenčního pixelu bude okolí rychleji korelováno a budou vytvořeny výsledné prostorové plochy. O agregaci všech těchto nástrojů pro výpočty korelací a jejich vzájemnou optimalizaci při vhodných strategiích výpočtu korelace se pokoušela řada autorů. Náklady na agregaci jsou "drahé" především výpočetním časem, protože podpora regionu obrazu je variabilní pro každý pixel a řešení se ubírá podle různých směrů a násobí se jeho vzájemná účinnost korelací vlastního okolí. Když sousedství podpory korelace má obdélníkový tvar o konstantní velikosti, pak hodnota na nalezení moudrého-pixelu může být účinně prováděna přes filtry vstupních hodnot a tím omezíme postup "nad všechny směry". Jejich použití v nákladech agregace může výrazně snížit výpočetní zátěž, protože sumace zahrnující odpovídající hodnoty pixelů budou provedeny pouze jednou. Většina těchto postupů vychází z adaptace postupů Hirschmüllerova (Semi global matching). Výkony současných algoritmů umožňují vytvářet ortofoto, modely povrchů objektů ze snímků velkého měřítká s kamerami o různých ohniskových vzdálenostech a různých typů od leteckých měřických velkoformátových kamer po běžné poloprofesionální zrcadlovky a kompakty pracující na různých bázích zobrazení s vysokým i s nízkým GSD fotografického obrazu. Výsledky je však vždy nutné porovnávat s přímými geodeticky určenými sadami bodů. Tlakem zákazníků na dodavatele softwaru se postupně daří jednotlivé kroky výpočetních algoritmu jasně dokládat, reprodukovat, a exaktně dokumentovat a vyhnout se postupům "black box", kterých je bohužel na trhu s těmito softwary většina. Softwary, které jsou nyní na trhu poměrně dominantní, a umožňují vyrovnání snímkových bloků pro dosažení nejlepších možných výsledků mapování a vysoce přesné a radiometricky vyrovnané ortofotomapy jsou odvozeny, jak plyne i z výše uvedeného, od metod dense image

matching a to například výpočetními programy a postupy založenými na Surface Reconstruction from Imagery (SURE), Semi-Global Matching (SGM), Stereo Multi Matching (SMM) nebo Structure from motion (SfM). Vhodný program pro fotogrammetrické zpracování by měl umožnit rovněž vytvořit z neměřických snímků snímky bez distorzí pro případné potřeby vyhodnocení snímků na stereoskopických stanicích. Z reálných SW na trhu lze uvést produkty firem Agisoft, Pix4D, Inpho, Trimble, PIEngineering, Bentley a dalších, které umožňují vytvořit ze snímků z neměřických kamer ortofoto a DMP (případně snímky prosté distorzí, které můžeme na běžných stereoskopických stanicích dále vyhodnocovat).

Pro snímkování testovacích lokalit byl použit program firmy PhotoScan s názvem Agisoft, který byl VÚGTK, v.v.i. zakoupen a Ústav ho vlastní. Program je však z pohledu uživatelského částečně programem typu "black box" (asi v úrovni identické s použitím postupů popsanych a předepsaných Návodem pro použití GNSS aparatur pro měření v katastru), což pro testování postupů v tomto případě nebylo na překážku protože se všechny hodnoty poloh bodů kontrolovaly pomocí přímého geodetického měření. Postup výpočtu probíhá v několika fázích. První je načtení dat do programu a vytvoření projektu výpočetního bloku. V této fázi se snímky celého bloku zavedou do podadresáře projektu. Pokud jsou známy alespoň přibližné parametry vnějších orientací snímků vloží se soubor s těmito informacemi do metadat projektu, pokud parametry vnějších orientací nejsou známy je potřeba v některém ze souřadných systému tyto parametry formálně zavést aby výpočet mohl v další fázi provést (při neznalosti parametrů vnitřní orientace kamery) počáteční tzv. zarovnání bloku snímků tedy prvotní orientaci snímků v rámci snímkového bloku. Po ukončení této etapy je vložen do projektu seznam souřadnic výchozích bodů a jsou manuálně určeny polohy alespoň prvních tří výchozích bodů na více jak třech snímcích, následně je spuštěn program výběru a měření výchozích bodů na všech snímcích kde jsou výchozí body označeny. Dále je spuštěn výpočet bodového mračna jehož součástí jsou určení parametrů vnitřní orientace kamery, vyrovnání a určení zbytkových chyb na výchozích bodech a vytvoření prostorového mračna bodů vyjadřující digitální model povrchu. Úroveň přesnosti korelačního výpočtu lze volit v několika úrovních, které odpovídají agregaci pixelů vstupujících do výpočtu. Poslední fází výpočtu je tvorba ortofoto, kdy jednotlivé body mračna jsou zobrazeny do horizontální roviny z vybraného snímku (z nejbližšího okolí středové části příslušného snímku). V rámci výpočtů ortofoto lze programem rozdělit ortofoto do jednotlivých částí (pro snazší manipulaci s rastrem ortofoto), ale bohužel v tomto SW nelze vytvořit výřezy ani podle kladu náčrtů ani podle kladu mapových listů mapy 1:500 nebo 1:1000. Výsledný protokol o výpočtu má poměrně chudou rozborovou část, nicméně pro doložení základních fotogrammetrických charakteristik kvality výpočtů je dostatečný. Ukázka výpočetního protokolu testovací lokality je jako Příloha 1

8.3 Ověření polohové přesnosti ortofoto a výšky z digitálního modelu povrchu

Postupy ověření polohové přesnosti výsledného ortofoto a digitálního modelu povrchu je možné pouze geodetickými metodami. Na testovací lokalitě intravilánu k.ú. Tymákov bylo porovnáno

s geodetickým měřením polohy a výšky 80 kontrolních bodů, které nebyly použity ve fotogrammetrických výpočtech. Porovnáním hodnot polohy 80 kontrolních bodů zaměřených geodetickými metodami v státním souřadnicovém systému a souřadnic těchto kontrolních bodů interpretovaných z ortofotomapy vedlo ke zjištění průměrné absolutní hodnoty rozdílů 2,52cm v poloze a 3,75cm ve výškách. Podrobnější komentář a rozbor je součástí dokumentu: Praktické ověření navržených inovačních postupů na vybraných lokalitách.

9. Porovnání standardních fotogrammetrických postupů s postupy RPAS a charakteristika vhodných území pro nasazení fotogrammetrických technologií

V posledních letech se řada organizací zabývá myšlenkou využít při mapování RPAS. Při rozhodování o použití RPAS jsou obvykle porovnávány jeho vlastnosti a možnosti s vlastnostmi a možnostmi tradičního letounu s posádkou. V současnosti těchto organizací přibývá, a to se zvýšenou dostupností levných a dostupných RPAS a neustále se zdokonalujících komerčních i volně šířených programů pro zpracování snímků z neměřických kamer.

9.1 Základní charakteristiky dálkově řízeného letadla

RPAS pro použití při mapování se jeví jako vhodný nosič dálkově řízené letadlo s pevným křídlem nebo říditelná vzducholod'. Letadlo s pevným křídlem je, při hodnotě GSD=2,5 až 6cm, vhodnější vzhledem ke svojí rychlosti než model vrtulníku nebo multikoptéry. Říditelná vzducholod' je sice srovnatelná s rychlostí modelu vrtulníku nebo multikoptéry, ale oproti těmto zařízením má významně vyšší výdrž, a tím kompenzuje svoji hlavní nevýhodu, kterou je poměrně nízká hodnota rychlosti větru, při které může být vzducholod' vypuštěna. Dalšími typy RPAS jsou hybridní konstrukce, které umožňují vertikální start a přistání jako multikoptéry. Po dosažení potřebné výšky přechází stroj hybridní konstrukce do vodorovného letu jako letadlo s pevným křídlem. Tato konstrukce tak kombinuje výhody multikoptér (potřeba poměrně malého místa na start a přistání bez katapultů a přistávacích zařízení) a výhodu letadel s pevným křídlem (rychlost vlastního letu). Start letadla je zabezpečen odhozem z ruky nebo katapultem různé konstrukce. Přistání je obvykle provedeno na břicho letadla, padákovým systémem nebo řízeným nárazem do zavěšeného vertikálního lana přistávacího zařízení, nebo přechodem do visu a svislého pohybu u hybridních konstrukcí. Rozpětí křídel letounů určených k mapování polohopisu a výškopisu a tvorbě ortofot je od 65 do 300cm a délka letounu se pohybuje od 45 do 260cm. Pohon letadla je buď elektrický s příkonem motoru od 250 do 1000W, což při použití baterií s kapacitou 2500 až 12000mAh umožní výdrž letadla kolem 45 až 90 minut, nebo je obstarán lehkými spalovacími motory. Motor pohání tlačnou nebo tažnou vrtuli u letadel s pevným křídlem, u vrtulníků a multikoptér rotor (rotory). V těchto konstrukčních konfiguracích je teoretický dostup letounu od 2500 do 5000 metrů nad terénem. Rychlost letounu je

v rozpětí od 40 do 90km/h. Hmotnost letounu je v intervalu od 0,7 do 25kg včetně užitečné zátěže. V případě mapování tvoří užitečnou zátěž především snímače. Snímačem umístěným v letadle a pořizujícím letecké neměřické snímky je digitální kamera, obvykle se snímacím čipem typu CMOS s velikostí snímacího elementu od 5,7x7,6mm po 24,0x36,0mm. Nominální velikost obrazového prvku (pixelu) na tomto snímacím elementu je v rozpětí 2,1 až 7,4 μ m. Systém je obvykle vybaven autopilotem, který umožňuje autonomní a automatické vedení letounu po letových drahách ve snímkové lokalitě. Řada výrobců v současné době nabízí jako součást vybavení RPAS inerciální měřickou jednotkou (Inercial Measuring Unit - IMU), která v kombinaci s dGPS aparaturou umožňuje po ukončení letu spočítat (na základě zápisu okamžiku expozice do časové osy GPS) prostorovou polohu a rotační úhly vztažené k národnímu souřadnému systému a obdržet tak parametry vnějších orientací všech snímků pořízených ve snímkové misi. Všechny tyto popsané údaje hrají důležitou roli při rozhodování organizace o výběru a pořízení nejvhodnějšího RPAS s pevným křídlem při plnění úkolů mapování.

RPAS s pevným křídlem

V Tabulce 11 jsou uvedeny hlavní charakteristiky několika vybraných RPAS s pevným křídlem určených k mapování a tvorbě ortofotomap. Dalšími typy s obdobnými parametry jsou Geoscan 101, AG Wing, Hirrus a řada dalších.

Typ letounu /parametr:	Trimble UX5	MAVinci SIRIUS Pro	Ebee	Aero Mapper EV2	Topodrone -100	Pteryx	BRAMO R gEo	S180Mk. 2
Rozpětí/Délka v [cm]:	100/65	163/122	96/48	200/114	200/80	280/140	230/96	180/170
Rychlost v [km/h]:	80	65	40-90	60	80	50	58	40-100
Výdrž v [min]:	50	45	40	60	60	55	90	60
Hmotnost v [kg]:	2,5	2,7	0,7	4,5*	4,5	5,0	3,8*	5,0

* bez hmotnosti kamery

Tabulka 11 Základní charakteristiky vybraných letounů s pevným křídlem

Digitální kamery pro RPAS

Digitální kamery, kterými jsou letouny RPAS vybaveny existují v širokém rozsahu velikosti čipů, ohnisek objektivů a jejich druhů. Nejčastěji používané kamery jsou uvedeny v Tabulce 3. Výběr snímače je často ovlivněn skutečností, že u některých typů nosičů nelze umístit do nákladového

prostoru RPAS jiný snímač, než který dodává výrobce nosiče. Tento fakt významně ztěžuje rozhodnutí o výběru vhodného prostředku RPAS.

9.2 Základní charakteristiky letadel s posádkou

Fotogrammetrická letadla jsou obvykle jednou z modifikací běžných dopravních letadel nebo speciálních letadel používaných například v zemědělství. Fotogrammetrické letadlo by mělo umožnit umístění a jednoduchou montáž současných digitálních kamer a ostatních typů senzorů (leteckých skenerů, multispektrálních a hyperspektrálních kamer, atd.). Na parametry letadla, jakými jsou cestovní rychlost, stoupavost, dolet a výdrž, je vždy nutné při jeho pořízení nahlížet v souvislosti s převažujícím typem leteckých snímkovacích prací, které bude organizace vykonávat. Pokud bude například hlavním produktem činnosti organizace tvorba ortofotomap s GSD kolem 15 až 20cm a organizace bude provádět mapovací práce v měřítku 1:5 000, potom bude letadlo vybírat jednak podle geomorfologických charakteristik terénu (a tedy průměrné nadmořské výšky terénu pravděpodobného místa nasazení letounu) a v souvislosti s tím pořídí digitální kameru s odpovídající ohniskovou vzdáleností a následně pak může vybírat spíše levnější letadla s nepřetlakovanou kabinou s vysokou rychlostí letu, tedy s výkonnými pístovými motory. V případě, že hlavním úkolem bude tvorba ortofot s GSD 5cm, potom organizace již nebude, při rychlosti cyklu současných kamer, pořizovat letadlo vyznačující se vysokou rychlostí letu, ale hlavním cílem bude pořídít letoun, který bude mít co nejmenší provozní náklady. Vyspecifikovat požadavky na snímkovací letoun není jednoduché především v případě nutnosti zabezpečit pořízení větší škály produktů jedním letounem. V těchto případech bývají požadavky na charakteristiky letounu až protichůdné a výsledným nákupem letounů je vždy kompromis, který obvykle nepřináší patřičný ekonomický efekt a organizace je obvykle nucena po uplynutí několika snímkových sezón přehodnotit své postupy a priority ve snímkování. Výsledkem těchto požadavků a skutečností je stav, kdy větší fotogrammetrické firmy mají obvykle letadla s velmi různorodými vlastnostmi, aby mohly plnit celý sortiment produktů moderní fotogrammetrie od tvorby ortofoto a šikmých snímků s GSD od 2 do 5cm, kde jsou používána jednomotorová pomalu letící letadla, přes letadla pro pořízení snímků s GSD mezi 5 až 20cm, kde se používají letadla převážně dvoumotorová s pístovými motory až po letadla s vysokou rychlostí, stoupavostí, dostupem a výdrží pro snímkování s GSD nad 20cm, kde jsou používána letadla s turbovtulovými motory. Digitální fotogrammetrické kamery dodává v současnosti pouze několik výrobců. Kamery pokrývají svými rozměry výsledného digitálního obrazu a nabízenými ohniskovými vzdálenostmi potřeby běžné fotogrammetrické praxe. Kamery jsou vybaveny celou řadou přídatných zařízení od displejů pilota a navigátora přes gyrostabilizační platformy po IMU/GPS jednotky a další podpůrná zařízení.

Používaná fotogrammetrická letadla

V Tabulce 12 jsou uvedeny hlavní charakteristiky prvních deseti nejčtenějších fotogrammetrických modifikací letadel používaných evropskými subjekty. Letadla uvedená v tabulce slouží pouze k pořizování leteckých snímků digitálními kamerami a nejsou mimo sezónu převáděna do jiného

druhu leteckých činností a prací. Z Tabulky 12 je patrná značná různorodost charakteristik a parametrů letadel, z kterých se odvíjí jejich použití, které je však determinováno nejenom těmito technickými parametry, ale i cenou letové hodiny, do které se promítají jak náklady na pořízení letounu, tak náklady na průběžné opravy a kontroly letounu, školení a přezkušování posádek a především náklady na palivo. K objasnění úvahy o optimálním výběru letounu pro použití v konkrétní lokalitě použijeme čtyři jednoduché příklady. V prvním příkladu je úlohou provést snímkování s GSD=25cm na ploše 6000km² v rovinatém území 200km od domovského letiště. V tomto případě bude optimální využít na snímkování letoun Beechcraft King AIR B200, neboť na 4500m.n.m. (při použití kamer s běžným ohniskem) bude spotřeba turbín na minimum a celá akce bude provedena při vhodném počasí ve dvou vzletech. Druhý příklad je shodný, ale úlohou je snímkovat s GSD=12,5cm.

Parametr/ letadlo	Počet letadel	Max. vzletová hmotnost [t]:	Stoupa- vost [m/s]:	Rychlost cest. [km/h]:	Dostup [m]:	Dolet [km]:	Vytrva- lost [h]:
Piper PA-31*	18	3,10	5,6	387	7 200	1 620	4,2
Cessna 402B Businessliner	13	2,95	8,0	355	7 350	2 160	5,5
Partenavia P68	11	2,08	6,0	277	5 490	2 658	9,6
Beechcraft King AIR B200	10	5,67	12,2	515	9 800	2 880	6,0
Cessna C206	9	1,63	5,1	235	7 600	1 164	5,0
Piper PA-32**	9	1,55	4,4	251	4 350	1 530	5,5
Cessna 404	8	3,81	7,8	398	8 060	1 030	3,5
Aero Comman- der- Rockwell690	6	4,66	15,0	445	9 300	2 820	5,6
Diamond DA42	5	1,90	4,8	314	5 580	1 300	4,5
Pilatus PC6	4	2,66	5,1	222	7 620	1 411	7,0

Tabulka 12 Hlavní charakteristiky deseti nejčtenějších fotogrammetrických letadel v Evropě

* zahrnutý všechny typy (Navajo B,C, Chieftain, Mojave)

**zahrnutý všechny typy (Cherokee A-E, Saratoga)

Poznámka: údaje jsou zvtaženy k základní modifikaci a mohou se od daného konkrétního letounu lišit

Jak bylo naznačeno v odpovědi prvního příkladu zde již zmíněné letadlo použít nelze, neboť hodinová cena by se (z důvodu vysoké spotřeby paliva turbínami v malé letové výšce) zvedla prakticky na dvojnásobek. V tomto případě bude vhodnější použít letadla Cessna 402B Businessliner, které bude plnit snímkování efektivně a na pět vzletů daný úkol s rezervou velmi efektivně splní. Třetím příkladem je opět stejná situace, ale ve vysokohorském terénu a GSD=8cm. Zde budeme volit letadlo s nízkou minimální rychlostí, aby mohlo bezpečně manévrovat v horských údolích, jenž bude nutno snímkovat v jejich osách. Optimální volbou by byl Pilatus PC6, neboť jeho další předností (neuvezenou v tabulce) je jeho minimální bezpečná rychlost, která je kolem 100km/h. Pokud bude možné, je vhodné použít kameru s ohniskem 210mm k dalšímu zvýšení bezpečnosti letu. Posledním příkladem je snímkování s GSD=4cm městské a průmyslové aglomerace o rozsahu 1000km². Zde bude nutné z důvodu bezpečnosti provozu použít dvoumotorové letadlo s malou rychlostí letu vzhledem k požadovanému GSD a rychlosti cyklu většiny kamer. Vhodným typem bude Partenavia P68, která i svou poměrně malou hlučností bude nad městem dobrou volbou. Tyto příklady jsou uvedeny pro přiblížení postupů při porovnávání možného použití letadel s posádkou a RPAS, které je uvedeno v dalších odstavcích.

Používané digitální fotogrammetrické kamery

Tabulka 13 rozšiřuje parametry uvedené v kapitole 2.3 v Tabulce 2 a porovnává nejmodernější kamery

Příklad - lokalita 40x50km, 200km od domovského letiště, rychlost stoupání 4m/s , p=60%, q=30%, GSD=20cm, výdrž letounu 5,5h	VisionMap A3 Edge	DMC-III	Leica ADS100	Ultracam EAGLE	IGI Quattro DigiCam	Ultracam UCXp
Odlítaných [km]:	206	576	700	729	781	881
Čas celkový [h]:	3,5	4,8	5,2	5,3	5,5	6,1
Letových drah:	4	11	14	14	15	17
Počet snímků:	268	480	14	697	765	974
Počet misí:	1	1	1	1	1	2
Ohnisková vzd.[mm]:	300	92	67	210	80	100
Výška letu [m]:	8108	4717	2680	8076	2666	3350
Odstup letových os [m]:	10920	3655	2800	2801	2590	2423
Ftgm. Základna [m]:	768	1200	formáln ě 67%	1046	1020	904
Základnový poměr:	0,09	0,25		0,13	0,38	0,27

Tabulka 13 Porovnání parametrů fotogrammetrických kamer

na lokalitě popsané v horní části tabulky. Limitní faktory snímkování ve střední Evropě jsou dva, a to počasí a řízení letového provozu. Obvykle ani jeden z těchto faktorů nelze ovlivnit. V pohledu těchto skutečností je snaha snímkové mise plnit v co nejkratším čase. Kamery jsou seřazeny v tabulce zleva doprava od nejkratšího času pořízení snímků celé lokality po čas nejdější. Pokud budeme snímkovat menší lokality pomocí RPAS obvykle na limitní faktory pro snímkování letouny s posádkou nenarazíme.

9.3 Etapizace tvorby ortofot a mapování

Tvorba map a ortofot je organizačně náročná činnost sestávající z mnoha etap vzájemně se časově prolínajících, ale přesto jasně navazujících činností, v kapitolách 5 až 7 jsou popsány základní etapy výroby při použití RPAS, které jsou ještě stručně shrnuty na konci této Zprávy. Většina činností je pro obě srovnávané technologie prakticky identická.

9.4 Porovnání činností u letadla RPAS a letadla s posádkou

Otázka, zda použít ke snímkování RPAS nebo letadlo s posádkou, souvisí s velikostí lokality, kvalitativními požadavky na pořizovaná data, termínem dodání výsledků a nabízenou cenou za dodání požadovaných produktů. V Tabulce 14 jsou uvedeny přibližné orientační odhady poměrů mezi RPAS a letadlem s posádkou. Tabulku je třeba brát orientačně, protože nebyla odvozena od žádného konkrétního typu RPAS a letounu s posádkou. Přesto si můžeme představit například za RPAS letadlo MAVinci SIRIUS Pro (blíže Tabulka 11) – a za fotogrammetrický letoun Cessna C206 (blíže Tabulka 12).

RPAS	Přibližný odhad poměrů mezi RPAS : Letadlem s posádkou	Letadlo s posádkou
1	hmotnosti prostředku	1000
1	provozních nákladů*	100
1	pořizovací ceny prostředku (nosiče)	25
1	nákladů na výcvik (přezkušování) pilotů a operátorů**	20
1	relativní operativnosti v případě snímání jednoho cíle	15
1	ceny pravidelně opakovaného snímání plochy do 5kmsq	10
1	adaptability nasazení senzorů	5
5	relativní operativnosti v případě snímání více cílů	1
10	rychlosti snímkování vůči velikosti plochy při stejném GSD	1
10000	efektivity při snímání GSD>10cm nad 20kmsq	1

Tabulka 14 Přibližný odhad poměrů mezi RPAS a Letadlem s posádkou

* na straně RPAS jsou započteny provozní náklady osobního vozidla

** do odhadu zahrnuto palivo i náklady na pravidelné roční přezkoušení, poplatky za examinaci pilotů, atd.

Všeobecné doporučení pro rozhodování mezi RPAS a letadly s posádkou nelze prakticky stanovit, neboť mimo výše uvedeného záleží při výběru nosiče významně například i na výdrži RPAS. Lze se však přidržit zásady, že pokud potřebujeme snímky s menším rozměrem GSD (tedy s lepším rozlišením detailů na snímku) při menší ploše lokality, je vhodnější použít RPAS než letoun s posádkou. Přesto lze v obecní rovině porovnat parametry, účinky, možnosti a částečně i efektivitu využití RPAS a běžných fotogrammetrických letounů porovnat, jak je uvedeno v následujících odstavcích. Konkrétní použití té či oné technologie je vždy dáno uvážlivým hodnocením konkrétních požadavků na výsledky snímkování, na velikost lokality (respektive lokalit, případně středních vzdáleností mezi nimi), dalších podmínek snímkování a samozřejmě celkové ceny dané technologie. Cena bude ve svém důsledku hlavním rozhodovacím kritériem a bude determinovat možnosti využití toho či onoho instrumentária v tom kterém případě. Vzhledem k tomu, že se předpokládá použití dvou náletů má velkou výhodu cena použití RPAS, ať ve variantě vlastnictví RPAS ČÚZK nebo ve variantě objednávek snímkování pomocí RPAS u subjektů na trhu disponujícími RPAS a příslušnými povoleními.

9.5 Časové porovnání etap tvorby ortofoto a mapování

V Tabulce 15 je uvedeno přibližné porovnání výrobních časů potřebných na jednotlivé etapy činnosti u obou technologií - RPAS a snímkování s letadlem s posádkou.

Časové porovnání etap tvorby v hodinách na identické lokalitě o 5km ² s GSD 5cm	Letadlo RPAS	Letadlo s osádkou
Tvorba projektu	0,50	0,75
Příprava výchozích bodů v terénu	3,00	1,50
Plánování snímkového letu	0,50	1,00
Předletová příprava	0,50	1,00
Snímkový let v lokalitě	3,00	0,02
Zpracování snímků a záznamy po ukončení letu	0,50	0,50
Příprava snímků a dat k výrobě ortofot a mapování	0,50	1,00
Vlastní tvorba ortofotomap a DSM a DTM	5,00	0,25
Vlastní mapování na úrovni SM 1: 5000 střední obtížn.	95,00	90,00
Celkem hodin	108,5	96,02
Cena při hodinové sazbě 450Kč	48 825	43 209

Tabulka 15 Časové porovnání etap tvorby ortofoto a mapování

9.6 Finanční porovnání RPAS s letadlem s posádkou

Tabulka 16 uvádí finanční náklady jednotlivých etap výroby (významně agregovaných) u obou technologií - RPAS a snímkování s letadlem s posádkou při odevzdání stejně kvalitních výsledných produktů zadavateli.

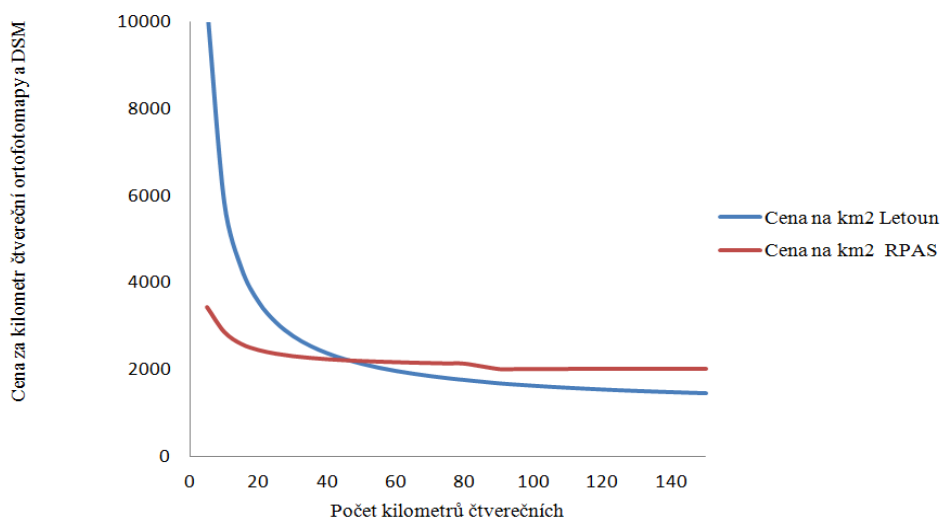
Finanční náklady etap na identické lokalitě o 5km ² s GSD 5cm vzdálená 200km od letiště v Kč	RPAS	Letadlo
Přesun do lokality a zpět (RPAS autem)	2 400	45 800
Příprava výchozích bodů v terénu (u Letadla samostatné měření)*	2 500	5 800
Náklady na snímkování v lokalitě	30	4 900
Odpisy na kameře	250	3 500
Odpisy na letadle	3 000	880
Odpisové náklady na SW (plánování, zpracování ortofot, mapování)	3 000	250
Celkové náklady	11 180	61 130

Tabulka 16 Finanční náklady jednotlivých etap výroby

* včetně signalizačního a stabilizačního materiálu - Plastmark (20 VB u RPAS , 5 VB u letadla s posádkou - připraví vyslaná geodetická skupina)

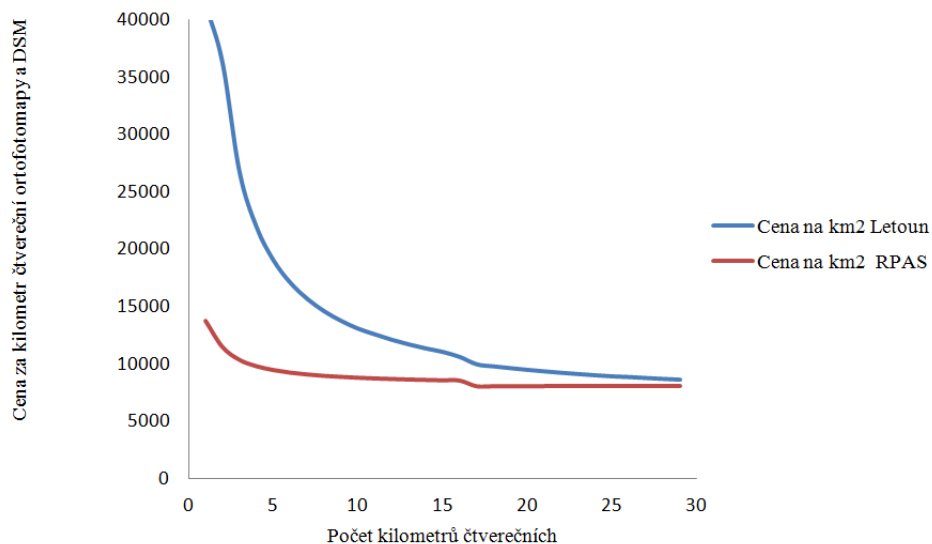
Pro úplnost uvedme, že RPAS by pořídila přibližně 1800 až 2200 snímků podle typu použité kamery s $p=80\%$ a $q=60\%$ a snímkovala by ve dvou vzletech po dobu přibližně 85 minut na přibližně 34 řadách. Letadlo s posádkou by pořídilo běžnou digitální rámovou fotogrammetrickou kamerou přibližně 43 snímků na 3 letových drahách s překrytí $p=60$ a $q=30\%$ a v lokalitě by strávilo včetně otáček 12 minut. Pro tento případ lze konstatovat, že celková cena bez zisku a daně by byla za RPAS přibližně 60.005,-Kč a při použití letounu s posádkou 104.399,-Kč při dodání prakticky identických produktů. Při hledání limity použití RPAS v dalších odstavcích se omezíme v tomto srovnání pouze na prakticky automatizovaně vyrobitelné produkty tedy ortofoto a digitální model povrchu. Graf 2 porovnává ceny ortofot a DSM pořízených oběma technologiemi. Z grafu vyplývá, že do plochy 45 km² je levnější řešení technologií RPAS následně pak řešení s letadlem s posádkou. K tomu však je nutno dodat, že při 45km² bude obsluha RPAS snímkovat a budovat výchozí body přibližně 10 dní a pořídí cca 19 000 snímků a ortofoto a DSM nedodá dříve, jak za 35 dní. Tedy v součtu s jistou rezervou se dodá dílo za 50 dní - prakticky za dva měsíce. Technologie standardního letadla, po stabilizaci a signalizaci výchozích bodů, která potrvá dva dny, nasnímkuje 45km² v jednom snímkovém letu a pořídí 360 digitálních snímků. Zpracování požadovaného ortofota a DSM nepřesáhne i s technologickými prodlevami 8 dní.

Porovnání cen ortofot a DSM pořízených RPAS a Letadlem s osádkou při GSD=5cm
(orientační, přibližně bez zisku a DPH)



Graf 2 Porovnání cen ortofot a DSM pořízených postupy RPAS a Letadlem s osádkou při GSD=5cm

Porovnání cen ortofot a DSM pořízených RPAS a Letadlem s osádkou při GSD=2cm
(orientační, přibližně bez zisku a DPH)



Graf 3 Porovnání cen ortofot a DSM pořízených postupy RPAS a Letadlem s osádkou při GSD=2cm

Cenové křivky se však protnou již na 25km², pokud zkrátíme vzdálenost do lokality z letiště startu na polovinu tedy na 100km. Z toho lze učinit závěr, že limita pro tvorbu ortofot s GSD=5cm pomocí technologie RPAS je na úrovni 10 až 15km². V Grafu 3 jsou všechny podmínky identické jako v Grafu 2, ale GSD=2cm a plocha snímkování začíná na 1km².

Z Grafu 3 vyplývá, že technologie RPAS je ve srovnání s pořízením snímků letadlem s posádkou levnější při GSD=2cm až do plochy 30km² (při doletu z letiště vzdáleného 200km). Na 1km² bude obsluha RPAS snímkovat přibližně 2300 snímků. Za jeden den stihne stabilizovat a signalizovat výchozí body a ve stejný den provede snímkování. Zpracování 1km² by proběhlo za cca 5 až 6 dní. Technologie standardního letadla, po stabilizaci a signalizaci výchozích bodů, která potrvá jeden den, nasnímkuje 1km² v jednom snímkovém letu a pořídí 52 digitálních snímků na třech řadách. Zpracování požadovaného ortofota a DSM nepřesáhne i s technologickými přestávkami 5 dní.

Cenové křivky se protnou na 16km², pokud zkrátíme vzdálenost do lokality z letiště startu na polovinu, tedy na 100km.

Z těchto propočtů lze učinit závěr, že limita pro tvorbu ortofot s GSD=2cm pomocí technologie RPAS je na úrovni 5 až 6km², přihlídneme-li k tomu, že vzhledem k cyklu většiny kamer, by muselo i pomalé letadlo letět na klapkách, lze říci, že **při GSD v intervalu od 2 do 3cm při plochách do 5km² má dominantní postavení technologií RPAS.**

9.7 Hlavní výhody a nevýhody systémů RPAS v porovnání s letadlem s posádkou

Hlavními výhodami RPAS z pohledu fotogrammetrického je operativnost nasazení a použití, nízká pořizovací cena ve srovnání s letadlem s posádkou a rovněž významně nižší cena digitální kamery a prakticky nulové náklady na provoz, které s možností snímkovat v malých výškách pod oblačností významně zvyšují šance RPAS konkurovat letadlům s posádkou při potřebě snímkování s GSD do 3cm a velikosti lokality do cca 5 km². V případě GSD větších jak 3cm bude vždy otázkou rozsah lokality a vzdálenost letiště s letadlem s posádkou a digitální rámovou fotogrammetrickou velkoformátovou kamerou. Další výhodou RPAS je poměrně rychlý postup výroby a možnosti dodání výsledků v počtu několika dní.

Nevýhodu RPAS (vůči letadlům s posádkou) jsou omezené možnosti použití vyplývající z rychlosti větru při které lze RPAS vypustit a bezpečně přistát. V současné době se však u modernějších typů RPAS přibližuje přípustná hodnota pro bezpečný provoz limitům lehčích letadel s posádkou.

9.8 Charakteristika území vhodného pro nasazení fotogrammetrických technologií

Pro použití fotogrammetrických metod pro mapování katastru je vždy nutné uvážit všechny charakteristiky konkrétního katastrálního území. Mezi hlavní kritéria pro rozhodování, lze zařadit

1. plochu a tvar k.ú.
2. výškovou členitost mapovaného území
3. v případě mapování celého k.ú. jeho zalesnění
4. předpokládaný počet měřených podrobných bodů
5. předpokládaný počet bodů, který bude nutné doměřit geodeticky

6. způsob stabilizace vlastnických hranic a doba odstupu druhého snímkování od šetření vlastnických hranic
7. přehlednost a typ zástavby intravilánu (liniové zástavba obce, kruhová zástavba, roztroušená zástavba atd...)
8. zvážení možnosti a efektivity použití totálních stanic spojených s GSSN ve srovnání s použitím technologií RPAS

10. Legislativní rámec použití RPAS pro mapování katastru Novým mapováním a návrh kroků možného nasazení RPAS v resortu ČÚZK

10.1 Obecné legislativní požadavky

Letectví se v souvislosti s rychlým vývojem technologií a kontinuálními změnami v občanské společnosti neustále dynamicky mění a vyvíjí. Hlavním a nevratným krokem bylo v souvislosti s uvolněním společenských poměrů po roce 1989 využití vzdušného prostoru pro nově vznikuvšího obor rekreačního létání. Pro tento segment létání bylo nutné definovat nové zákonné normy. Extremně vzrůstající zájem o letectví byl regulován velmi problematicky a ÚCL řešilo za pochodu legislativní požadavky a snažilo se je skloubit s požadavky obecného letectví a mezinárodních pravidel a úmluv. Ve obdobné situaci je ÚCL i nyní, kdy bezpilotní letecké systémy jsou dostupné téměř komukoliv. Roste tak tlak na ÚCL směrem od organizací zabývajících se profesně bezpilotním průmyslem, od bruselské Komise EU a tlak ze strany EASA rovněž nelze pominout. Všechny tyto důvody vedly ÚCL k potřebě definovat provoz RPAS z hlediska legislativy.

Hlavní rozdíl u bezpilotních leteckých systémů vůči letadlům s posádkou je v tom, že tyto technologie dospěly do fáze, kdy jejich velikost odpovídá místu v batohu a jejich dostupnost v se posledních letech posunula od původního prodeje ve specializovaných obchodech až k prodeji v každém obchodě s užitou elektronikou, případně prodejně hraček.

Masová dostupnost a cenová nenáročnost mají za následek, že si tuto technologii může koupit téměř každá osoba a ani věkově není nákup této techniky omezen. Tento fakt je dalším důvodem a potřebou regulace provozu RPAS a to především proto, že většina nových uživatelů nemá žádné zkušenosti s leteckým ani modelářským provozem a neuvědomují si potencionální rizika svého jednání ve vzdušném prostoru ČR. Civilní využívání vzdušného prostoru a provoz letadel podléhá v ČR zákonu č. 49/1997 Sb. o civilním letectví. Dle § 2 odst. 2 se pro účely tohoto zákona nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 20 kg. Provoz modelů letadel tak podléhá především občanskému zákoníku a z něj vyplývající odpovědnost pilota byla a je zcela dostačující přesto dne 1. března 2012 vešel v platnost Doplněk X předpisu L2 dle ustanovení § 102 odst. 2 zákona o civilním letectví, který nově zavedl pojem „bepilotní letadlo“, pro jehož provoz

stanovil podmínky přibližující se ke zvyklostem v pilotovaném letectví a velmi striktně tak rozdělil modelářské aktivity od komerčního využití bezpilotních leteckých prostředků.

Dálkově ovládané letadlo využívané pro čistě sportovní, soutěžní a rekreační účely je nazýváno modelem letadla. Pojmy jako bezpilotní letadlo, bezpilotní prostředek, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), jeho zkrácená podoba UA (Unmanned Aircraft), nebo RPA (Remotely Piloted Aircraft) nebo RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) a nově z angličtiny přejatý ÚCL do českých terminologického pojmu letectví pojem dron (drone) jsou víceméně synonyma a platí pro ně v Doplněku X stejná definice jako pro bezpilotní letadlo.

Doplněk X stanovuje závazná pravidla pro provoz všech bezpilotních letadel nebo modelů letadel se vzletovou hmotností nad 20 kg, zatímco pro modely letadel jsou z něj vyplývající letová omezení pouze doporučením. Dohled nad veškerým provozem ve vzdušném prostoru ČR včetně letadlové techniky a piloty provádí Ministerstvem dopravy zřízený Úřad pro civilní letectví ČR (ÚCL). Úplné znění Doplněku X je možné najít například na stránkách Letecké informační služby Řízení letového provozu ČR: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>

Základním kamenem Doplněku X je bezpečnost. Provoz bezpilotního letadla smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. Doplněk X určuje přesná pravidla nejen pro komerční, ale i vědecké účely využití UAV a především definuje v jakých letových hladinách se smí UAV pohybovat, jak daleko od letišť, ochranných zón a stejně tak za jakých podmínek je povolený provoz nad zástavbou a další plynoucí omezení. Všechny RPAS musí být provozovány na vizuální dohled pilota (VLOS – visual line of sight) bez optických pomůcek, a let nesmí být bez povolení ÚCL provozován při současném pohybu pilota technickým zařízením. Bepilotní letadla jsou dále rozdělena do váhových kategorií, konkrétně $\leq 0,91$ kg, $0,91 - 7$ kg, $7 - 20$ kg, > 20 kg. Pro tyto kategorie plynou různá omezení a pravidla. Kromě Doplněku X se na provoz UAV vztahuje i závazné stanovisko Úřadu na ochranu osobních údajů dostupné na stránkách https://www.uouu.cz/files/stanovisko_2013_1.pdf

10.2 Konkrétní požadavky a podmínky pro provoz bezpilotního letadla

Požadavky na provoz RPAS podle Doplněku X je možné rozdělit na několik vrstev. První vrstvou požadavků jsou všeobecné požadavky vyplývající z Doplněku:

1. bezpilotní letadlo podléhá evidenci ÚCL
2. pilot bezpilotního letadla podléhá evidenci ÚCL
3. bezpilotní letadlo musí mít uzavřené pojištění
4. podmínkou evidence pilota je prokázání základní schopnosti bezpečně řídit bezpilotní letadlo a požadovaného rozsahu teoretických znalostí, které stanoví ÚCL
5. podmínkou provozu bezpilotního systému je povolení k létání vydané ÚCL. Povolení k létání nahrazuje doklad o osvědčení letové způsobilosti a je dokladem o evidenci bezpilotního systému. Povolení k létání obsahuje seznam evidovaných pilotů a nahrazuje tak průkaz způsobilosti pilota;

6. podmínkou provozování leteckých prací (LP) a leteckých činností pro vlastní potřebu (LČPVP) je povolení k provozování těchto činností vydané ÚCL
7. bezpilotní letadlo musí být označeno ohnivzdorným identifikačním (ID) štítkem se jménem a telefonním číslem provozovatele a poznávací značkou, byla-li přidělena
8. bezpilotní letadlo musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem (fail-safe systém), který při selhání řídicího a kontrolního spoje provede ukončení letu.
9. součástí Doplnku X jsou i schémata názorně popisující jednotlivé letové scénáře, omezení a požadavky kladené na bezpilotní letadlo nebo model letadla a na jeho pilota které musí být splněny

Poznámka: Pro zobrazení omezení ve vzdušném prostoru slouží aplikace AisView na stránkách Řízení letového provozu nebo například mobilní aplikace MAIA, která na základě GPS v mobilním telefonu zobrazí omezení celé Evropy a současně obsahuje znění platné legislativy v ČR. <http://aisview.rlp.cz/>

Druhou vrstvou požadavků jsou postupné kroky k získání registrace bezpilotního letadla u ÚCL.

1. podání žádosti o evidenci pilota, letadla bez pilota a povolení k létání
2. potvrzení od pojišťovny o uzavřeném pojištění odpovědnosti za škody způsobené provozem letadel

Po odeslání žádostí podle bodu 1. zahájí ÚCL správní řízení, případně informuje o nedostacích a následně předběžně přidělí letadlu imatrikulační značku potřebnou pro zřízení pojištění.

Následuje tvorba provozní příručky letadla sestávající z následujících částí:

- Správa a řízení provozní příručky
- část A – Obecná ustanovení
- část B – provoz letadel
- část C – Směrnice pro jednotlivé druhy leteckých prací
- část D – Požadavky na výcvik a kvalifikace personálu organizace
- část E – Postupy pro údržbu
- část F – Bezpečnostní postupy
- přílohy – normální kontrolní seznamy, deník údržby, deník letadla, deník pilota

Pokud je provozní příručka ÚCL odsouhlasena formálně ve všech částech (podrobné studium a připomínkování provozní příručky ÚCL se děje ve fázi Povolení provozování Leteckých prací nebo Leteckých činností pro vlastní potřebu viz dále) je třetí vrstvou požadavků (po zaplacení správních poplatků) k získání povolení k létání teoretické a praktické zkoušky inspektory ÚCL, které probíhá v předem domluveném termínu na předem domluvené venkovní ploše. Přezkoušení se skládá z těchto kroků:

- kontrola totožnosti žáků
- kontrola technického stavu letadla
- ověření letových vlastností při MTOM
- kontrola správné funkce fail-safe

- ukázka typické letové činnosti, spolupráce pilota a asistenta
- let do maximální vzdálenosti VLOS
- praktické přezkoušení žáka
- složení teoretického testu žáka
- podpis protokolů o přezkoušení

Na základě úspěšného absolvování teoretického a praktického přezkoušení a zaplacení správního poplatku za změny v evidenci je vystaveno rozhodnutí o vydání Povolení k létání (PKL), kde po nabytí právní moci Úřad vydá finální Povolení k létání. Povolení k létání je časově omezené, jsou v něm uvedeni všichni evidovaní piloti pro dané bezpilotní letadlo.

Takto vystavené Povolení opravňuje piloty k provozu letadla ve vzdušném prostoru České republiky, ale ne k provozování Leteckých prací nebo Leteckých činností pro vlastní potřebu (LČpVP).

Povolení k létání letadla bez pilota na palubě je tak prvním krokem k získání povolení k provozování Leteckých prací nebo LČpVP, které je potřebné ke komerčnímu provozu UAV. Získání tohoto povolení je na rozdíl od Povolení k létání předmětem několika formálních kroků. Kromě vyplněné žádosti je potřeba doložit doklady o praxi, podnikatelský plán nebo plán využití státní správou, přehled pilotů, a především dopracovat kompletní provozní příručku RPAS pro letecké práce (jako nástin obsahu Příručky je Příloha č. 2, která ukazuje pracovní verzi Příručky s poznámkami konzultanta příručky). Po schválení definitivního znění příručky od ÚCL a zaplacení správního poplatku je vydáno povolení k provozování Leteckých prací společně s provozní specifikací. Tyto dokumenty jsou opět časově omezené.

S povolením k Leteckým Pracím (LP) je poté možné provozovat bezpilotní letecké prostředky v něm uvedeném pro komerční nebo vědecké účely dle omezení popsanych v Doplnku X a jeho dalších zněních a výkladech.

Poznámka: V poslední době se pracuje v Evropské komisi a v organizacích jako například v EASA (European Aviation Safety Agency) na harmonizaci legislativy pro bezpilotní letecké systémy napříč členskými evropskými státy, jelikož legislativa je v každém státě Evropy v jiném stavu a v celoevropském zájmu je významné zjednodušení provozu UAV v leteckém prostoru (Řižský protokol) a tržní poptávce užívání RPAS v Evropě je potřeba do budoucna sjednotit podmínky provozu těchto prostředků.

11. Celkový stručný souhrn při nasazení technologií RPAS v podmínkách mapování katastru nemovitostí postupem Nového mapování

Potřebná rozhodnutí k případnému nasazení technologií RPAS v resortu ČÚZK

1. organizační rozhodnutí o zařazení nebo nezařazení technologie RPAS mezi postupy určení polohy podrobných bodů mapování

2. v případě kladného rozhodnutí bodu 1. provést změnu Návodu [5]
3. v případě kladného rozhodnutí bodu 1. provést plné pilotní ověření in house na základě výběrového řízení na dodávku ortofoto a DMP externí firmou na konkrétním k.ú.
4. v případě kladného výsledku v procesu in house rozhodnutí o pokračování externími dodávkami nebo nákupem vlastního vybavení, vyškolení vlastních pilotů a odborníků na zpracování fotogrammetrických dat
5. pokud v 4. kladné rozhodnutí v případě vlastního provozování je nutné rozhodnout o počtu RPAS v resortu, vypracovat metodiky výcviku, provozních příruček, postupu letových prací, postupu certifikace pilotů a operátorů u ÚCL a návrhy na organizační začlenění pracovišť RPAS v resortu, případně zřízení středisek pro výcvik posádek

Základní technicko-organizační požadavky pro použití technologií RPAS

Při použití RPAS pro určování podrobných bodů mapování je potřebné:

1. rozhodnout zda pro mapování konkrétního k.ú. je metoda RPAS vhodná dle 9.8
2. pokud ano provést stabilizaci a signalizaci VB dle 6.1 až 6.3
3. naplánovat první snímkový let lokality pro potřeby šetření s GSD=2,5cm s podélný překrytem p 80% a příčný překrytem q 60% s tím, aby za jakoukoliv částí hranice snímkové lokality bylo na všech letových drahách pořízeno ještě nejméně šest snímků vně hranice lokality, s tím že kamera RPAS by měla mít větší FOV jak 100°
4. uskutečnit první snímkový let
5. vytvořit ortofoto jako podklad pro šetření vlastnických hranic
6. po šetření vlastnických hranic a vyznačení hranic v terénu kolíky nebo signalizací podrobných bodů barvou na pevném podkladě provést druhý snímkový let
7. vytvořit druhé ortofoto a digitální model povrchu
8. identifikovat na základě digitálního šetřícího náčrtu podrobné body z druhého snímkování a určit jejich souřadnice z ortofoto a podrobné body budov určit z mračna bodů povrchového digitálního modelu ve vhodném programu jako horizontální řezy budov ve vhodné výšce nebo vůči vhodné rovině
9. provést měření na kontrolních bodech, vytvořit všechny potřebné seznamy, záznamy a dokumentaci podle Návodu [5]

Základní podmínky k provozování komerčních leteckých prací RPAS v ČR:

1. pojištění RPAS
2. přidělená registrační značka RPAS (OK-XXXX)
3. teoretické a praktické zkoušky pro dané RPAS každého pilota
4. platné povolení k létání pro každé RPAS
5. schválená letecká příručka od ÚCL
6. platné povolení k leteckým pracím (komerční i výzkumné práce)
7. je vhodné aby organizace vlastnila pokud možno více jak jedno UAV (zastupitelnost)

8. je vhodné mít ke snímkování vyčleněné minimálně 2 piloty na jeden konkrétní RPAS (daného OK-XXXX) přezkoušené od ÚCL a zapsané v povolení k létání
9. je vhodné si vyškolit při více RPAS u organizace techniky k údržbě RPAS a vytvořit základní sady náhradních dílů pro UAV a spotřebního materiálu s každoroční obměnou baterií
10. je nutné počítat s investicemi do SW pro zpracování – plánovací, grafické, video editory a počítačové a programové vybavení pro práci s mračny bodů a ortofoto

Poznámka: Povolení leteckých prací prodlužuje se na základě doložení letových deníků registrovaných pilotů a zaplacení správních poplatků.

12. Závěr

Fotogrammetrie směřuje, za pomoci korelací vytvořených mračen bodů, k mapovacím postupům založeným na vyhodnocení tohoto prostorového mračna. Postupem určení obvodů budovy řezem mračna bodů vhodnou horizontální rovinou tak zcela eliminuje významnou nevýhodu stereoskopického fotogrammetrického mapování "po obvodu střešního pláště". Rozdělení prací do dvou snímkových letů pak v případě řešení snímkování RPAS in house dává možnost jakkoliv kombinovat postupy RPAS s postupy geodetického měření bez významného navýšení nákladů (v porovnání s cenami uvedenými v některých pracích hodnotících finanční náklady na nové mapování zpracovaných na ZUP v minulých letech).

13. Seznam zkratek

AA	A eronautical A uthority
AAT	A lytická A erotriangulace
ASIC	A pplication- S pecific I ntegrated C ircuit
CCD	C harge- C oupled D evice
CMOS	C omplementary M etal- O xide- S emiconductor
CZEPOS	Síť permanentních stanic GNSS České republiky
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DB	D atabáze
DMP	D igitální M odel P ovrchu
DMT	D igitální M odel T erénu
EF	E asy F ocus
FOV	F ield o f V iew
FPGA	F ield- P rogrammable G ate A rea
Galileo	Evropský globální navigační satelitní systém
Glonass	G lobalnaya n avigatsionnaya s putnikovaya s istema
GNSS	G lobální N avigační S atelitní S ystém
GPS	G lobal P ositioning S ystem
GSD	G round S ample D istance
HW	H ard w are
Hz	H erz
IFR	I nstrument F light R ules
IMU	I nertial M easurement U nit
INS	I nertial N avigation S ystem
ISO	I nternational O rganization for S tandardization
k.ú.	katastrální území
kHz	kilo H ertz
KO	K atastrální o perát
KÚ	K atastrální ú řad

T A
Č R



Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v.v.i.

Program **Beta**

NOTAM	Notice to Airmen
PPBP	Podrobné polohové bodové pole
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
SBET	Smoothed Best Estimate Trajectory
SGM	SemiGlobal Matching
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SW	Software
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
VFR	Visual Flight Rules
WFS	Web Feature Service
WGS84	World Geodetic System 1984
WMS	Web Map Services

14. Zdroje a odkazy

- [1] Večeře K., Dostupné na: <https://slideslive.com/38897597/isprs-opening-ceremony-karel-vecere>
- [2] Dostupné na <http://www.cuzk.cz/Katastr-nemovitosti/Digitalizace-a-vedeni-katastralnich-map/Digitalizace-katastralnich-map/Digitalizace-katastralnich-map.aspx>
- [3] Zákon č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální zákon)
- [4] Vyhláška č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální vyhláška)
- [5] Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod č.j. ČÚZK 6530/2007-22 ze dne 20. prosince 2007 ve znění, dodatku č. 1 ze dne 25.1.2008 č.j. ČÚZK 338/2008-22, dodatku č. 2 ze dne 27.5.2009 č.j. ČÚZK 2390/2009-22 a dodatku č. 3 ze dne 3.6.2013 č.j. ČÚZK 11172/2013-22 a výsledného znění ze dne 30. ledna 2015 č.j. ČÚZK-01500 /2015-22 31
- [6] Schwarz, K.P., Chapman, M.A., Cannon, M.E. nad Gong, P., 1993. An integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remote sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59(11): 1167-1674
- [7] Skaloud, J., Bruton, A.M. and Schwarz, K.P., 1999. Detection and filtering of short/term (1/f) noise in inertial sensors. NAVIGATION, Journal of The Institute of Navigation, 46(2): 97-107
- [8] Heipke, C.; Jacobsen, K.; Wegmann, H. 2002 (b): Analysis of the results of the OEEPE test "Integrated Sensor Orientation". In: Integrated Sensor Orientation, OEEPE Official Publication No. 43, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main, pp. 31 - 49.
- [9] Hutton, J. and Mostafa, M., 2005. 10 years of direct georeferencing for airborne photogrammetry, GIS Business (GeoBit), 11: 33-41
- [10] Hirschmüller, H., 2005, Accurate and Efficient Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information, IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR'05, Vol. 2, San Diego, CA, USA, pp. 807-814
- [11] Rehak, M., Mabillard, R., Skaloud, J., International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013 UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany
- [12] G. Conte, A. Kleiner, P. Rudol, K. Korwel, M. Wzorek, P. Doherty International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Volume XL-1/W2, 2013 UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany, Paparazzi IMUs

- [13] Roule, M.: Technologický postup pro údržbu a obnovu map evidence nemovitostí fotogrammetrickou metodou s převodem těchto map do S-JTSK a dekadického měřítka. Č.j. 3 400/1971-4. Praha, ČÚGK 1971.
- [14] Návod pro obnovu katastrálního operátu 1997 ze dne 30. dubna 1997 č.j. ČÚZK- č.j. 21/1997-23, Dostupné na: <http://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK.aspx>
- [15] Zbudilová, J.: Obnova katastrálního operátu novým mapováním v katastrálním území Tachov, Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky, Plzeň 2015
- [16] <http://www.agisoft.ru/products/photoscan/professional/>
- [17] <http://www.mavinci.de/en/siriuspro>
- [18] http://www.canon.com/technology/s_lab/light/003/05.html
- [19] http://industrial.phaseone.com/iXU_camera_system.aspx
- [20] <http://microdrones.com/company/media-relations/press-releases/microdrones-unveils-the-new-microdrone-md4-3000.php>
- [21] <http://uas.trimble.com/ux5>
- [22] <http://upvision.cz/>
- [23] <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [24] <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube>
- [25] <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/evidence>
- [26] <http://www.caa.cz/stanovisko-uradu-na-ochranu-osobnich-udaju-k-provozu>

15. Přílohy

Příloha č. 1 Výpočetní protokol testovací lokality Tymákov

Příloha č. 2 Rozpracovaná Příručka provozovatele s poznámkami konzultanta - část A

T A
Č R



Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v.v.i.

Program **Beta**

Příloha č. 1: **Výpočetní protokol testovací lokality Tymákov**

Číslo a název projektu: TB02CUZK002 - Integrace nové techniky a technologie do procesu obnovy katastrálního operátu novým mapováním



VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETICKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ, v.v.i.

Agisoft PhotoScan

Processing Report

21 April 2015



Survey Data

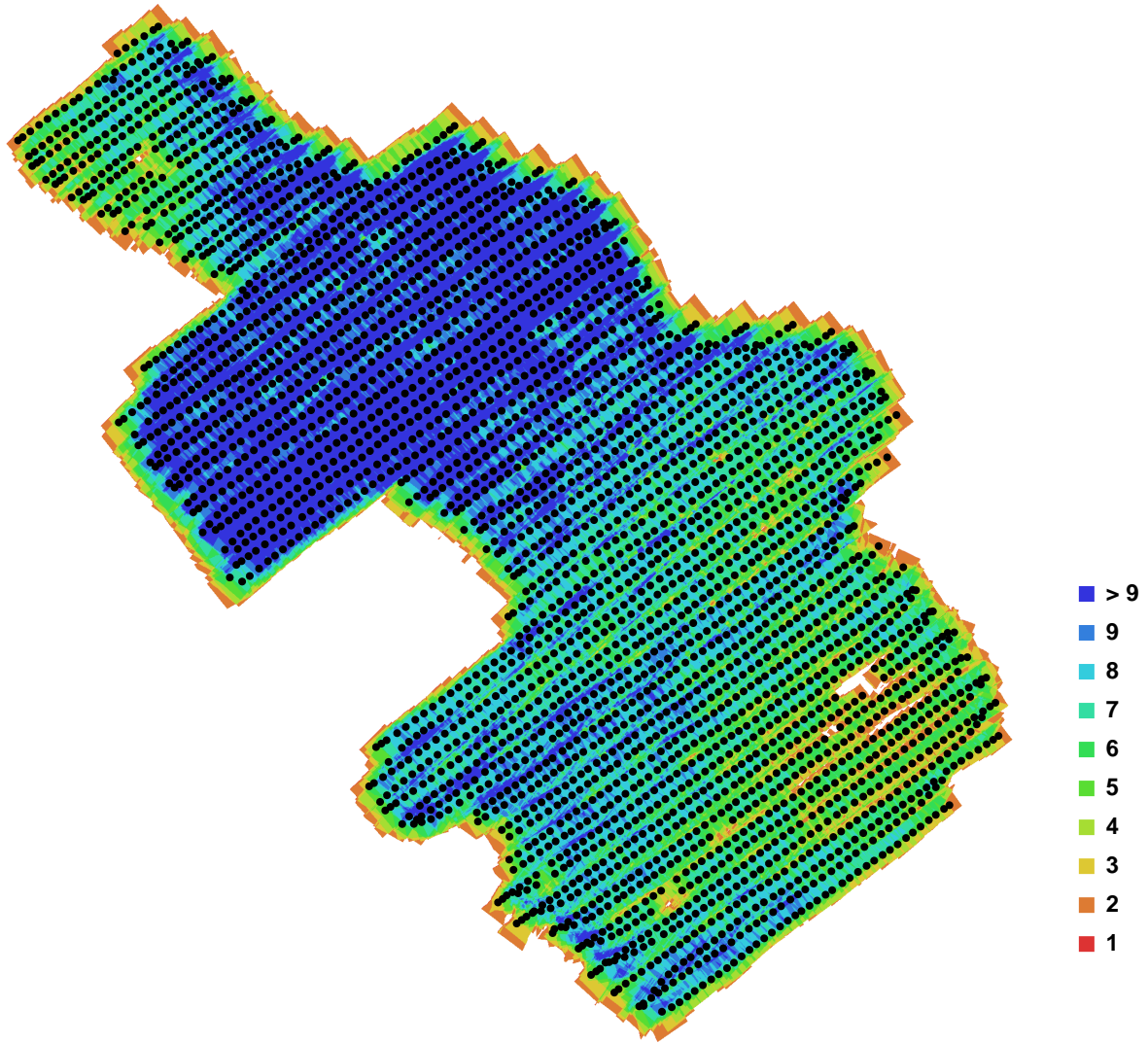


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	3184	Camera stations:	3127
Flying altitude:	71.2883 m	Tie-points:	12906728
Ground resolution:	0.0168439 m/pix	Projections:	41893056
Coverage area:	1.8584 sq km	Error:	0.669143 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
LumixGX1-Pancake14mm	4592 x 3448	14 mm	3.76742 x 3.7703 um	Yes

Table. 1. Cameras.

Ground Control Points



Fig. 2. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
6002	-0.000182	-0.003569	-0.006473	0.007394	3	0.276182
6003	0.001115	0.003279	-0.000732	0.003540	6	0.508781
6005	0.001285	0.001821	-0.003492	0.004143	8	0.376225
6006	-0.004907	-0.000666	-0.003751	0.006212	9	0.341914
6008	0.000420	-0.005125	-0.001991	0.005514	11	0.372636
6009	-0.001879	0.004537	0.006545	0.008182	9	0.268066
6010	-0.008426	0.006095	0.013274	0.016863	13	0.155154
6012	0.003779	0.010854	-0.005412	0.012704	8	0.238131
6014	-0.003244	0.005551	-0.008929	0.011003	13	0.276798
6015	-0.002386	-0.022149	-0.007413	0.023478	8	0.512547
6016	-0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000		

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
6017	-0.002102	-0.003092	0.003047	0.004824	7	0.288002
6019	0.003086	0.000347	-0.000911	0.003236	7	0.293068
6020	-0.001846	0.008249	-0.007551	0.011334	7	0.321472
6021	0.011311	-0.004652	0.014937	0.019305	5	0.348493
6023	-0.002111	0.004884	-0.004929	0.007253	5	0.410286
6024	0.001499	-0.002034	0.003392	0.004229	4	0.125961
6025	0.001646	0.004753	0.002310	0.005535	6	0.477832
6026	-0.000164	-0.001454	0.001286	0.001949	10	0.182462
6028	-0.007837	0.004548	-0.014953	0.017484	4	0.426764
6030	-0.000775	-0.000064	0.001317	0.001530	6	0.479958
6031	0.000870	-0.000010	0.000088	0.000874	3	0.244230
6032	0.005399	-0.011686	0.011712	0.017403	11	0.241000
6066	-0.000976	-0.000291	0.004626	0.004737	11	0.306856
6070	0.008058	-0.003892	-0.010665	0.013922	13	0.346640
Total	0.004218	0.006557	0.007173	0.010594	187	0.332321

Table. 2. Control points.

Digital Elevation Model

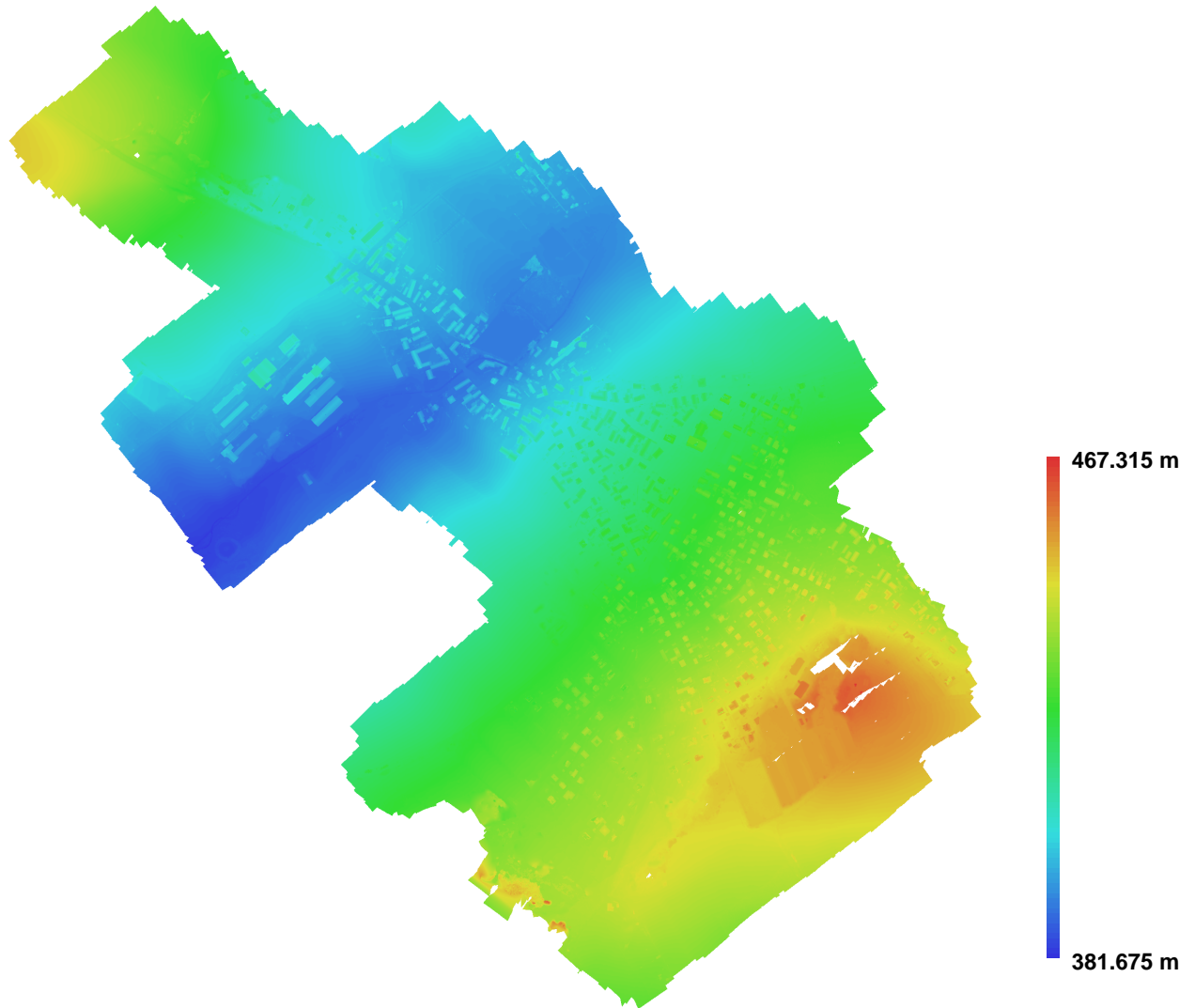


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.0336878 m/pix
Point density: 8.17804 points per sq m

T A
Č R



Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v.v.i.

Program **Beta**

Příloha č. 2: Rozpracovaná Příručka provozovatele s poznámkami konzultanta - část A

Číslo a název projektu: TB02CUZK002 - Integrace nové techniky a technologie do procesu obnovy katastrálního operátu novým mapováním



VÝZKUMNÝ ÚSTAV GEODETICKÝ, TOPOGRAFICKÝ A KARTOGRAFICKÝ, v.v.i.

Provozní příručka UAS pro letecké práce

Číslo výtisku:

Schváleno ÚCL
pod č.j.:

Dne:

Provozní příručka

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 1 z 5

Správa a řízení provozní příručky

1. Kontrolní seznam platných stran

Strana	Datum účinnosti	Strana	Datum účinnosti
1 - 36	1.1.2016		

2. Změny a opravy

Číslo změny a opravy	Datum účinnosti	Datum zařazení a podpis	Měněná část	Poznámky
První vydání	1. 1. 2016			

Provozní příručka

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 1 z 5

3. Rozdělovník

Výtisk č.	Umístění
1	V kanceláři
2	Úřad pro civilní letectví
3	u letounu

4. Definice a zkratky

CTR - Řízený okresek letiště
LKR - Omezený prostor
ATZ - Letištní provozní zóna neřízeného letiště
LKP - Zakázaný prostor
OP - Ochranná pásma letišť
LKD - Nebezpečný prostor
G / E - Označení třídy vzdušného prostoru
TSA - Dočasně vyhrazený prostor
ARP - Vztažný bod letiště
TRA - Dočasně vymezený prostor
AMSL - Nadmořská výška
AGL - Nad úroveň země
UA(V) - letadlo určené k provozu bez pilota na palubě
UAS - systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu
ÚCL - úřad civilního letectví

5. Osoba odpovědná za správu a řízení provozní příručky

Ing.

ZÁMĚRNĚ NEPOUŽITO

6. Obsah provozní příručky

Správa a řízení provozní příručky

1. Kontrolní seznam platných stran
2. Změny a opravy
3. Rozdělovník
4. Definice a zkratky
5. Osoba odpovědná za správu a řízení provozní příručky
6. Obsah provozní příručky

Část A Obecná ustanovení

Část B Provoz letadel

Část C Směrnice pro jednotlivé druhy leteckých prací

Část D Požadavky na výcvik a kvalifikace personálu organizace

Část E Postupy pro údržbu

Část F Bezpečnostní postupy

1. Postupy k zajištění ochrany civilního letectví před protiprávními činy
2. Postupy k zajištění ochrany osobních údajů

Přílohy

Seznam příloh

Provozní příručka, Část A
Obecná ustanovení

Změna 00		Datum účinnosti 1.1.2016		Strana 5 z
--------------------	--	------------------------------------	--	-------------------

**Provozní příručka, Část A
Obecná ustanovení**

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 6 z

Část A

Obecná ustanovení

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 7 z

1 Organizace a rozdělení odpovědnosti

Základní informace o organizaci

Jsme renomovaná společnost s více než dvaceti lety zkušeností v oboru geodézie a počtem realizovaných zakázek se řadíme mezi nejvýznamnější geodetické firmy v České republice.

Stručný popis činnosti organizace

Naše pole působnosti je od veškerých prací v katastru nemovitostí přes znalecké posudky a smlouvy, komplexní pozemkové úpravy, implementaci geografických informačních systémů u správců či obcí, fotogrammetrii až po speciální geodetické práce na stavbách.

Organizační struktura

Jednatelé:

Vedoucí oddělení inženýrská geodézie:

Zaměstnanec, pilot UAV, odpovědný za provoz a náležitosti UAS

Zaměstnanec, pilot UAV

Rozdělení odpovědností v organizaci:

Organizace zavedla a udržuje systém managementu kvality splňující požadavky ČSN EN ISO 9001:2009

Ing.

odpovědný za ekonomiku provozu, řízení společnosti, strategické cíle

Ing.

odpovědný za oddělení inženýrské geodézie, technický ředitel

oblast fotogrammetrie a UAV

osobně odpovědný Ing.

Ing.

vedoucí pododdělení fotogrammetrie

osobně odpovědný Ing.

Provozovatel a vlastník UAS:

Pilot UAV

Odpovědnost provozovatele a vlastníka UAS:

- zachování letové způsobilosti UAS

- umožňuje na žádost ÚCL provedení kontroly provozu a letové způsobilosti bezpilotního systému v rozsahu dle požadavku ÚCL

Odpovědnost pilota:

- bezpilotní systém bude používán pouze k účelu, ke kterému byl navržen, vyroben a schválen ÚCL

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 8 z

- bude provozovat pouze UAS, jehož způsob použití a technické parametry jsou v souladu s požadavky, které definuje předpis L2, Doplněk X, nestanoví-li ÚCL jinak
- za provedení bezpečného letu, včetně předletové přípravy a kontroly
- zaznamenává informace o letu do deníku letadla nebo rovnocenného dokumentu. Informace obsahují datum letu, jméno pilota, označení letadla, místo vzletu a přistání, doba letu, druh letové činnosti, potenciální události související s bezpečností letu

Účel provozní příručky

Provozní příručka popisuje způsob, jakým organizace provádí svoji činnost a provozní personál organizace je povinován své úkoly vykonávat v souladu s provozní příručkou ve znění schváleném Úřadem.

Celý rozsah působnosti příručky je závazný pro Ing. a Ing..

Odkazy:

- Předpis L 2 – Pravidla létání – Doplněk X – Bezpilotní systémy
- Předpis L 2 – Pravidla létání – Doplněk 4 – Systémy dálkově řízeného letadla
- Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a prováděcí vyhláška č. 108/1997 Sb.
- Zákon č. 310/2006 Sb., o nakládání s bezpečnostním materiálem
- Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví
- Zákon č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích
- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech
- Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně
- Zákon č. 245/2001 Sb., o vodách
- Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí
- Stanovisko č. 1/2013 Úřadu pro ochranu osobních údajů ve znění pozdějších předpisů

2 Vydaná povolení organizaci, povolené druhy leteckých prací

Typy letadel:

-

Druhy leteckých prací

- provádění leteckého snímkování

Předpokládané oblasti provozu

- celé území České Republiky

Předpokládané oblasti nasazení

- povrchové doly, otevřená krajina, pole, louky, lesy, extravilán obce

3 Systém řízení jakosti

N/A zde popište stručně systém řízení jakosti, který máte ve firmě tedy 9001 a jak jí budete uplatňovat v rámci provozu pododdělení fotogrammetrie a navažte asi tak:

Systém řízení jakosti je popsán v dokumentaci společnosti. Pododdělení fotogrammetrie při obdržení zakázky posoudí uskutečnitelnost mise vzhledem k geomorfologickým charakteristikám terénu a možnostem startu a přistání. Když jsou splněny podmínky pro uskutečnění letu vedoucí

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 9 z

pododdělení fotogrammetrie naplánuje leteckou misi. Území snímkování je vybráno tak, aby nezasahovalo do ochranných pásem letišť a jiných objektů. Při plánování mise jsou sledovány veškeré závazné podklady ICAO, AIP a instrukce NOTAM, aby bylo zabezpečeno, že po dobu mise nejsou v předmětném prostoru naší letové činnosti žádná omezení leteckého provozu. Veškeré informace související se snímkováním územím jsou zapisovány do letového deníku.

4 Doba služby a odpočinku

N/A Tady buď nějak rozumně popíšeš v souladu s níže uvedenými pravidly a s odkazy na ně, že je to s nimi v souladu nebo je tam natvrdo nakopíruješ, ale to přijde takový hodně náhradní řešení.

Doba služby a odpočinku odpovídá zákonným normám zakotveným v leteckém zákoně a vyhlášce č. 466/2006 Sb. V leteckém zákoně jsou to paragrafy 22a až 22c. A ve vyhlášce jsou to paragrafy 1 a 15 až 20.

a. Letecký zákon

§ 22a

- Ministerstvo dopravy stanoví k zajištění bezpečnosti civilního letového provozu prováděcím právním předpisem pravidla pro určení maximální doby ve službě, doby letové služby, doby letu, minimální požadavky na odpočinek včetně odpočinku při překračování více časových pásem, principy dělené služby, principy pro použití zesílené a zdvojené posádky a pravidla pro určování letové zálohy členů posádek letadel (dále jen "bezpečnostní letová norma").
- Tuzemští letečtí dopravci a provozovatelé leteckých prací stanoví v souladu s bezpečnostní letovou normou způsob určení maximální doby ve službě, doby letové služby, doby letu, minimální požadavky na odpočinek včetně odpočinku při překračování více časových pásem, principy dělené služby, principy pro použití zesílené a zdvojené posádky a pravidla pro určování letové zálohy členů posádek letadel (dále jen "bezpečnostní letová norma provozovatele").
- O schválení bezpečnostní letové normy provozovatele, včetně jejich případných změn, před nabytím jejich účinnosti rozhoduje Úřad na žádost tuzemského leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací. Před schválením bezpečnostní letové normy provozovatele prověří Úřad vnitřní systém kontroly tuzemského leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací k zajištění jejího dodržování. V případě zjištění závažných nedostatků vnitřního systému kontroly Úřad zamítne žádost tuzemského

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 10 z

leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací o schválení bezpečnostní letové normy provozovatele.

- V případě zamítnutí žádosti tuzemského leteckého dopravce o schválení bezpečnostní letové normy provozovatele Úřad zahájí řízení o odejmutí osvědčení leteckého provozovatele. V případě zamítnutí žádosti provozovatele leteckých prací o schválení bezpečnostní letové normy provozovatele Úřad zahájí řízení o odejmutí povolení k provozování leteckých prací.
- Úřad může schválit na základě odůvodněné žádosti tuzemského leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací výjimku z bezpečnostní letové normy provozovatele pro jednotlivý let.

§ 22b

Tuzemský letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací je povinen

- zajistit dodržování limitů stanovených v souladu s bezpečnostní letovou normou,
- po dobu nejméně 15 měsíců uchovávat záznamy o době služby, době letové služby, době letu a jejích prodlouženích a době odpočinku a jejím zkrácení,
- do 28 dnů od okamžiku prodloužení maximální doby letové služby o více než 1 hodinu nebo zkrácení doby odpočinku o více než 1 hodinu předložit Úřadu kopii záznamu o těchto skutečnostech s odůvodněním.

§ 22c

Člen posádky letadla je povinen

- dodržovat bezpečnostní letovou normu provozovatele,
- vést záznamy o jím vykonané době služby, době letové služby, době letu a jejích prodlouženích a o době odpočinku a jejím zkrácení,
- předkládat tuzemskému leteckému dopravci nebo provozovateli leteckých prací záznamy podle písmene b) před každým výkonem letové služby, vykonává-li činnost člena posádky letadla pro více leteckých dopravců nebo provozovatelů leteckých prací.

Člen posádky letadla nesmí vykonávat letovou službu, je-li si vědom, že vlivem jeho únavy nebo aktuálního zdravotního stavu by mohlo dojít k ohrožení bezpečnosti letového provozu.

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 11 z

Velitel letadla je povinen předložit po ukončení letu tuzemskému leteckému dopravci nebo provozovateli leteckých prací záznam o prodloužení doby letové služby nebo zkrácení doby odpočinku.

b. Vyhláška č. 466/2006 Sb.

§ 1

Touto vyhláškou se stanoví pravidla pro určení maximální doby ve službě, doby letové služby, doby letu, minimální požadavky na odpočinek včetně odpočinku při překračování více časových pásem, principy dělené služby, principy pro použití zesílené a zdvojené posádky a pravidla pro určování letové zálohy členů posádek letadel (dále jen "bezpečnostní letová norma"):

- v návaznosti na přímo použitelný právní předpis Evropských společenství¹⁾ leteckého dopravce vykonávajícího svou činnost letouny,
- leteckého dopravce vykonávajícího svou činnost vrtulníky a provozovatele leteckých prací,
- provozovatele letecké záchranné služby.

§ 15 Základní pojmy

- Pro účely části třetí této vyhlášky se rozumí
- časem zahájení služby hodina určená leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací k nástupu člena posádky vrtulníku nebo letadla do služby,
- členem letové posádky vrtulníku nebo letadla pilot, palubní technik a letecký navigátor, určený do služby ve vrtulníku nebo letadle během doby letu,
- členem posádky letadla člen letové posádky s příslušným průkazem způsobilosti, který se účastní letu na palubě letadla,
- členem posádky vrtulníku člen letové posádky a palubní průvodčí s příslušným průkazem způsobilosti, který se účastní letu na palubě vrtulníku,
- dnem časový úsek dvaceti čtyř hodin po sobě jdoucích začínající v 0.00 hod. jednotného světového času,

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 12 z

- dnem volna kalendářní den vyznačený v rozpisu služeb domovského letiště, kdy nejsou členu posádky vrtulníku nebo letadla uloženy leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací služební povinnosti,
- dobou letové služby časový úsek začínající v hodině určené leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací nebo skutečným zahájením služby přihlášením se člena posádky vrtulníku nebo letadla do služby, která zahrnuje let nebo sérii letů, a končící uplynutím doby poletové činnosti po posledním letu této letové služby,
- dobou letu časový úsek od okamžiku, kdy se rotory vrtulníku začnou otáčet do okamžiku, kdy vrtulník naposledy zastaví na konci tohoto letu a rotory se zastaví, nebo časový úsek od okamžiku zahájení prvního pohybu letadla za účelem provedení vzletu až do okamžiku zastavení letadla na určeném místě stání nebo do vypnutí posledního motoru, nastane-li později,
- dobou služby časový úsek začínající nástupem člena posádky vrtulníku nebo letadla do služby v hodině a místě nařízeném leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací a končící okamžikem, kdy člen posádky vrtulníku nebo letadla nemá žádné služební povinnosti,
- domovským letištěm pro letadla letiště v místě určeném členu posádky letadla provozovatelem leteckých prací,
- domovským letištěm pro vrtulníky územně vymezená plocha nebo plocha vymezená na konstrukci, určená pro vzlety a přistání vrtulníků, nacházející se v místě určeném členu posádky vrtulníku leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací,
- kalendářním dnem časový úsek dvaceti čtyř hodin po sobě jdoucích začínající v 0.00 hod. místního času,
- místní nocí nepřetržitý časový úsek osmi hodin mezi 22.00 hod. až 8.00 hod. místního času,
- přemístěním přesun člena posádky vrtulníku nebo letadla z jednoho místa výkonu služby do druhého, s výjimkou jeho přepravy,
- přepravou přesun člena posádky vrtulníku nebo letadla z místa výkonu služby do místa vhodného ubytování a zpět,
- službou plnění povinností nařízených členu posádky vrtulníku nebo letadla leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací souvisejících s

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 13 z

jejich podnikáním jako držitele osvědčení leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací,

- vhodným ubytováním samostatná místnost pro každého člena posádky vrtulníku nebo letadla, umístěná v nehlukném prostředí, vybavená lůžkem, s dostatečnou ventilací, popřípadě zařízením pro regulaci teploty a intenzity světla a
- základním odpočinkem nepřetržitá doba, během níž nejsou členu posádky vrtulníku nebo letadla uloženy žádné služební povinnosti.

§ 16 Doba služby

- Doba služby zahrnuje
 - dobu letové služby,
 - dobu částečného odpočinku,
 - dobu přemístění nebo přepravy,
 - dobu školení, povinného přezkušování a výcviku,
 - dobu povinného posuzování zdravotní způsobilosti,
 - dobu výkonu jiné činnosti vyžadované leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací, zejména administrativní práce v kanceláři, účast na pravidelných hodnotících pohovorech prováděných osobou pověřenou leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací, pravidelné předkládání zápisníků letů ke kontrole prováděné osobou pověřenou leteckým dopravcem nebo provozovatelem leteckých prací, udržování a aktualizace vlastní, leteckými předpisy stanovené, provozní dokumentace, u osob schválených do funkcí Úřadem pro civilní letectví vlastní výkon kontrolních oprávnění a provádění pravidelných školení nebo sekání trávy a další údržba vzletové a přistávací dráhy či místa pro vzlety a přistání.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací zajistí, aby celková doba služby člena posádky vrtulníku nebo letadla nepřekročila
 - 60 hodin v průběhu sedmi kalendářních dnů po sobě jdoucích,
 - 190 hodin v průběhu dvaceti osmi kalendářních dnů po sobě jdoucích,
 - 1800 hodin v průběhu dvanácti kalendářních měsíců po sobě jdoucích.

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 14 z

§ 17 Doba letu

- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací zajistí, aby celková doba letu všech letů nebo celkový počet všech startů pro jednopilotní posádku vrtulníku nebo letadla nepřekročily
 - 7 hodin nebo 70 startů v průběhu dvaceti čtyř hodin po sobě jdoucích,
 - 90 hodin v průběhu dvaceti osmi kalendářních dnů po sobě jdoucích,
 - 900 hodin v průběhu dvanácti kalendářních měsíců po sobě jdoucích.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací může zvýšit limit podle odstavce 1 písm. a) nejvýše o jednu hodinu nebo 10 startů, a to maximálně třikrát v sedmi kalendářních dnech po sobě jdoucích.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací zajistí, aby celková doba letu všech letů nebo celkový počet všech startů pro vícepilotní posádku vrtulníku nebo letadla nepřekročily 8 hodin nebo 80 startů v průběhu dvaceti čtyř hodin po sobě jdoucích.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací může zvýšit limit podle odstavce 1 písm. b) se souhlasem člena posádky vrtulníku nebo letadla nejvýše o 10 hodin, a to maximálně čtyřikrát v období dvanácti kalendářních měsíců po sobě jdoucích. Tento limit nelze zvýšit ve dvou po sobě jdoucích kalendářních měsících.

§ 18 Doba letové služby

- Doba letové služby zahrnuje
 - dobu letu včetně předletové přípravy,
 - dobu prostoje po započetí služby,
 - dobu stání vrtulníku nebo letadla při mezipřistání,
 - dobu bezpečnostních přestávek,
 - dobu poletové činnosti,
 - dobu výkonu činností uvedených v § 16 odst. 1, následuje-li po nich let bez předchozího základního odpočinku.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací stanoví čas zahájení letové služby tak, aby umožnil provedení dostatečné předletové přípravy podle typu vrtulníku nebo letadla a druhu provozu. Předletovou přípravou

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 15 z

se rozumí kontrola stavu vrtulníku nebo letadla před provedením letu a navigační a jiná příprava na let prováděná v souladu se schválenou Provozní příručkou leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací. Délka doby předletové přípravy činí nejméně 15 minut.

- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací stanoví dobu poletové činnosti po skončení posledního letu dané služby podle typu vrtulníku nebo letadla a druhu provozu. Poletovou činností se rozumí uvedení vrtulníku nebo letadla do stavu schopného předání pozemním technickým složkám po skončení všech aktivit na jejich palubě, rozbor letu s posádkou a podání hlášení o průběhu letu a mimořádných událostech, které během něho nastaly. Délka doby poletové činnosti činí alespoň 15 minut.
- Maximální denní limit doby letové služby je 12 hodin.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací poskytne členu posádky vrtulníku nebo letadla bezpečnostní přestávku v délce alespoň 30 minut nejdéle po čtyřech hodinách třiceti minutách doby letu.
- Jestliže počet přistání během doby letové služby přesáhne 4 přistání za hodinu, poskytne letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací členu posádky vrtulníku nebo letadla bezpečnostní přestávku po každých třech hodinách doby letu. Bezpečnostní přestávka slouží výhradně k odpočinku.
- Nastanou-li během doby letové služby podle odstavce 3 okolnosti, za nichž nelze poskytnout po třech hodinách doby letu bezpečnostní přestávku, lze bezpečnostní přestávku zahájit z důvodu dokončení letu později, nejdéle však po třech hodinách patnácti minutách.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací může stanovit letovou službu jako dělenou letovou službu. Stanoví-li letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací letovou službu jako dělenou letovou službu, může zvýšit maximální denní limit doby letové služby na 15 hodin.

§ 19 Požadavky na odpočinek

- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací zajistí, aby byl členu posádky vrtulníku nebo letadla poskytnut základní odpočinek před

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 16 z

zahájením letové služby v délce alespoň jedenácti hodin s možností odpočinku na lůžku nejméně osmi hodin.

- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací může zkrátit dobu základního odpočinku až na 9 hodin, jestliže doba následujícího základního odpočinku bude o dobu zkrácení prodloužena.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací prodlouží dobu základního odpočinku
 - na 36 hodin zahrnujících 2 místní noci v období sedmi kalendářních dnů po sobě jdoucích, které začíná v 0.00 hod. jednotného světového času ve dni následujícím po dni, v němž člen posádky vrtulníku nebo letadla nastoupil do služby po ukončení předchozího prodlouženého základního odpočinku podle tohoto ustanovení nebo podle písmene b),
 - na 60 hodin zahrnujících 3 místní noci v období deseti kalendářních dnů po sobě jdoucích, které začíná v 0.00 hod. jednotného světového času ve dni následujícím po dni, v němž člen posádky vrtulníku nebo letadla nastoupil do služby po ukončení předchozího prodlouženého základního odpočinku podle písmene a) nebo podle tohoto ustanovení.
- Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací stanoví v rozpisu služeb členu posádky vrtulníku nebo letadla dny volna v rozsahu
 - 7 dnů v kalendářním měsíci, do kterých lze zahrnout dobu základního odpočinku, a
 - 24 dnů v kalendářním čtvrtletí, do kterých lze zahrnout dobu základního odpočinku.
- Den volna musí zahrnovat dvě místní noci. Den volna stanovený v rozpisu služeb, který nebyl z provozních důvodů poskytnut, musí být členu posádky vrtulníku nebo letadla v nejbližším možném termínu nahrazen jiným dnem volna.
- Nad rámec dnů volna podle odstavce 4 může letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací poskytnout členu posádky vrtulníku nebo letadla další dny volna, do kterých lze zahrnout dobu základního odpočinku.

§ 20 Požadavky na ubytování

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 17 z

Letecký dopravce nebo provozovatel leteckých prací zajistí členu posádky vrtulníku nebo letadla vhodné ubytování, jestliže

- dočasně změni členu posádky vrtulníku nebo letadla domovské letiště,
- poskytne členu posádky vrtulníku nebo letadla částečný odpočinek, nebo
- člen posádky vrtulníku nebo letadla tráví dobu odpočinku mimo domovské letiště na základě příkazu leteckého dopravce nebo provozovatele leteckých prací

5 Obecné provozní postupy a omezení

5.1 Předletová příprava

5.1.1 Postupy pro schválení/přijetí úkolu

Vnitřní schvalovací postup organizace

N/A

Zde buď stručně popíšeš postupy které máte v rámci ISo tedy asi někde budete mít „tok zodpovědností“ tedy kdo co jak schvaluje (přijetí zakázky, její posouzení realizovatelnosti, zařazení do výroby , založení deníku zakázky , přes plánování, lítáním, výrobu až po fakturaci a expedici a pozákazkový servis)

Zajištění analýzy vhodnosti systému/vybavení pro splnění úkolu

N/A

Tedy zde popíšeš jakým způsobem se bude hodnotit jestli je úkol proveditelný tedy nejen technicky třeba z geomorfologického hlediska, ale že se posoudí i stav a prostor z hlediska bezpečnosti – VVN. Rozsáhlé vodní plochy ...)

Metodika volby odpovědného personálu

N/A Zde něco jakovšechny osoby manipulující s letounem prochází interním firemním školením a jsou seznámeny s touto Provozní příručkou.

Obecná omezení vztahující se k povolení organizace

N/A

Postup zajištění souhlasu vlastníka pozemku / provozovatele plochy dle § 14 vyhlášky č. 108/1997 Sb.

- předem se informuje příslušný obecní úřad a předloží se návrh na zajištění bezpečnosti třetích osob na leteckém provozu nezúčastněných taky že vzlet a přistání je prováděno na pozemcích objednatele tedy obvykle obce

5.1.2 Standardní meteorologická minima

Postup zajišťování meteorologických předpovědí a podmínek

Asi napsat něco jako firma bude používat atd....

- webovou aplikací Řízení letového provozu AisView - <http://aisview.rlp.cz/>

- webovou aplikací Českého hydrometeorologického úřadu - <http://portal.chmi.cz/>

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 18 z

Meteorologická minima

- ve vzdušném prostoru třídy G vně oblaků a ve vzdušném prostoru jiné třídy jen v minimální vzdálenosti od oblaků 1500 m horizontálně a 300 m vertikálně. Ustanovení 2.2.12 doplňku O, Předpisu L 2 se neuplatňuje. Taky asi připsat něco jako:

Protože letoun bude provozován pouze v režimu VLOS (v dohledu pilota), je navíc možné létat pouze za takových meteorologických podmínek, které pilotovi umožní stálý vizuální kontakt s letadlem na vzdálenost potřebnou k provádění leteckého snímkování. Povětrnostní situaci vyhodnocuje pilot nebo operátor před zahájením každého letu, start nelze uskutečnit pokud

- konstantní rychlost větru vyšší než XX m/s
- rychlost poryvů vyšší než YY m/s
- a teplota okolního vzduchu je v rozsahu -TT – JJ °C

Poznámka: Souprava Letounu je vybavena anemometrem (to bych ale fakt koupil stojí to cca 4000Kč a pak máš opravdu jasno kolik fouká a zapracoval bych to do postupu úkonů v předletové přípravě a zápisu do deníku

5.1.3 Charakteristika místa plánovaného plnění úkolu

Vzdálenost od budov a hustě osídlených území

- 150 m a ještě bych připjal slovní hodnocení

Letoun jehož maximální vzletová hmotnost je xxkg se nesmí za letu přiblížit k jakémukoliv hustě osídlenému prostoru na horizontální vzdálenost menší než bezpečnou. Bezpečnou vzdáleností se rozumí taková horizontální vzdálenost, která i v případě nastalé nouzové situace vyloučí možnost ohrožení

Vzdálenost od osob nezúčastněných na provozu

- 150 m okay ale tady musí být zcela určitě něco jako...

Letoun jehož maximální vzletová váha je XX kg, se nesmí v průběhu vzletu a přistání přiblížit k jakékoliv osobě jiné než pilot nebo osobě přímo zapojené do provozu na vzdálenost menší než bezpečnou. Dále se nesmí za letu přiblížit k jakékoliv osobě, prostředku nebo stavbě, které nejsou součástí mapování, na horizontální vzdálenost menší než bezpečnou. Bezpečnou vzdáleností se rozumí taková horizontální vzdálenost, která i v případě nastalé nouzové situace vyloučí možnost ohrožení.

Nyní je již pouze bezpečná vzdálenost a není nikde vyjádřena její délková hodnota tedy vzdálenost od ...

Pozemní provoz / vodní doprava

- bez výjimky ÚCL není povoleno bezpilotně létat v ochranném pásu podél liniových staveb letoun nesmí létat v ochranných pásmech stanovených příslušnými právními předpisy:

- podél nadzemních dopravních staveb
- podél tras nadzemních inženýrských sítí
- podél tras nadzemních telekomunikačních sítí
- uvnitř zvláště chráněných území
- v okolí vodních zdrojů
- v okolí objektů důležitých pro obranu státu

Nad těmito ochrannými pásmy smí být let prováděn pouze způsobem vylučujícím jejich narušení za běžných i mimořádných okolností.

Letecký provoz

- provozování UAV je pod leteckým provozem

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 19 z

Letroun jehož maximální vzletová hmotnost je menší než XX kg, smí létat v těchto oblastech:

- ve vzdušném prostoru třídy G (vzdušný prostor G je ustanoven mimo řízené okrsky letiště od země do 1000 ft AGL včetně)
- v letištní provozní zóně neřízeného letiště nebo v řízeném okrsku letiště pouze do výšky 100 m nad zemí a mimo ochranná pásma letiště
- V letištní provozní zóně neřízeného letiště nebo v řízeném okrsku letiště ve vzdálenosti menší než 5 500 m a ve výšce vyšší než 100 m nad zemí na základě rozhodnutí příslušného stanoviště řízení letového provozu.

Překážky

- podle naplánované výšky letu zhodnotit objekty typu komín, jeřáb v dané lokalitě letu

Výskyt překážek je vždy analyzován jak na základě dostupných DTM (SRTM) Google v průběhu plánování letecké mise, tak je prostor prověřen před započítáním leteckých prací přímou rekognoskací v terénu. V případě překážek, které se v prostoru vykonávaných leteckých prací vyskytnou v jejich průběhu musí mít pilot připraveny postupy (včetně záložních), kterými se bude moci aktivním manuálním řízením letounu překážce vyhnout. Výskyt překážek a výsledek jejich rekognoskace je zapsán do deníku.

Nouzové plochy

- podle místní situace, délka dráhy pro vzlet 10 m, délka dráhy pro přistání 30 m Vhodné nouzové plochy jsou vytipovány předem při plánování letu na základě orotofotomap (mypa.cz nebo Google) a jsou před vlastním snímkovým letem pilotem nebo operátorem rekognoskovány a o tomto úkonu je proveden zápis do deníku.

Analýza rizik

- provoz bezpilotního letadla nesmí být prováděno v zakázaných, nebezpečných a jiným uživatelem aktivovaných omezených, rezervovaných a vyhrazených prostorech Tohle je hlavní perla na které dostanou každého - takže hoši tady je to o tom že zde musíte vymyslet něco sami protože bych nerad ani zprostředkovaně nesl zodpovědnost za jakékoliv vyjádření.

5.1.4 Provoz v blízkosti neřízených letišť

Podmínky provozu

- omezení ve vzdálenosti do 5,5 km od vztažného bodu letiště
- na základě splnění podmínek stanovených provozovatelem letiště a na základě koordinace s letištní letovou informační službou (AFIS), se stanovištěm poskytování informací známému provozu nebo s provozovatelem letiště, není-li AFIS nebo poskytování informací známému provozu zajištěno.

5.1.5 Provoz v řízeném vzdušném prostoru

- v řízeném okrsku (CTR a MCTR) letiště do výšky 100 metrů nad zemí, s výjimkou povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu a v horizontální vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu řízeného letiště, s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL nebo v případě leteckých prací na základě koordinace s příslušným stanovištěm řízení letového provozu a provozovatelem letiště.

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 20 z

5.1.6 Provoz s ohledem na zakázané, nebezpečné, omezené, rezervované a vyhrazené prostory

- Provoz *bezpilotního* letadla a/nebo modelu letadla nesmí být prováděn v zakázaných, nebezpečných a jiným uživatelem aktivovaných omezených, rezervovaných a vyhrazených prostorech s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL.

- Žádost o povolení k létání nad rámec standardně udělených provozních omezení musí být podán na ÚCL, kromě obecných náležitostí podání vyplývajících ze správního řádu obsahovat: předpokládané datum letu, příp. série letů; místo provedení letu s návrhem vymezení dopadové oblasti a popis zamýšleného letu; požadované výjimky ze standardně udělených provozních omezení pro konkrétní letadlo spolu s návrhem odpovídajících bezpečnostních opatření pro zajištění bezpečnosti

- Identifikace omezených prostor jsou aktuální na webové adrese Řízení letového provozu, aplikace AISview <http://aisview.rlp.cz/>

5.1.7 Provoz s ohledem na ochranná pásma

- S výjimkou, kdy tak povolí ÚCL na základě předchozího souhlasu příslušného správního orgánu či oprávněné osoby, se let *bezpilotního* letadla nesmí provádět v ochranných pásmech stanovených příslušnými právními předpisy podél nadzemních dopravních staveb, tras nadzemních inženýrských sítí, tras nadzemních telekomunikačních sítí, uvnitř zvláště chráněných území, v okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obranu státu. Nad těmito ochrannými pásmy smí být let prováděn pouze způsobem vylučujícím jejich narušení za běžných i mimořádných okolností.

- Identifikace v rámci předletové přípravy

5.1.8 Vymezení provozu v dohledu pilota

Maximální výška 300 m AGL.

Maximální vzdálenost letadla od pilota 700 m.

UAV musí pro pilota zůstat viditelný do té míry, aby pilot UAV nejen viděl, ale aby dokázal určit jeho polohu a směr letu. Toto opatření je nezbytné především pro zajištění bezpečnosti ostatního potenciálně konfliktního letového provozu (i jiných UAV). Uvedených 700 m nelze tedy ve všech případech z pochopitelných důvodů v plném rozsahu využít, v závislosti na reliéfu terénu případně jiných okolnostech může být maximální vzdálenost menší i větší.

Minimální bezpečné vzdálenosti

- Od osob a hustě zabydlených oblastí 150 m
- ve vzdušném prostoru třídy G vně oblaků a ve vzdušném prostoru jiné třídy jen v minimální vzdálenosti od oblaků 1500 m horizontálně a 300 m vertikálně

5.1.9 Firemní postupy a politika pro provoz FPV (First Person View)

Osoba mající trvale *bezpilotní* letadlo ve vizuálním dohledu plní funkci velitele letadla a má možnost kdykoliv okamžitě převzít řízení.

No ještě by se to asi dalo rozšířit takhle:

Při létání s *bezpilotním* systémem nejsou principy FPV. Letoun je používán pouze v dohledové vzdálenosti od pilota. Pilot má v jakýkoliv okamžik leteckého snímkování možnost změnit režim letu z automatického na manuální. Kontrolu snímků v průběhu leteckého

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 21 z

snímkování vykonává operátor pozemní obsluhy. Operátor vykonává kontrolu integrity vlastního snímkovaného území a provádí korekce expozičních parametrů snímání. Tyto úkony jsou oddělené od úkonů souvisejících s pilotáží letounu (to nevím jestli to opravdu bude neznám tak detailně konstrukci ale mělo by to být)

5.2 Obecné postupy pro let

Odpovědnost pilota:

- bezpilotní systém bude používán pouze k účelu, ke kterému byl navržen, vyroben a schválen ÚCL
- bude provozovat pouze UAS, jehož způsob použití a technické parametry jsou v souladu s požadavky, které definuje předpis L2, Doplněk X, nestanoví-li ÚCL jinak
- za provedení bezpečného letu, včetně předletové přípravy a kontroly
- zaznamenává informace o letu do deníku letadla nebo rovnocenného dokumentu. Informace obsahují datum letu, jméno pilota, označení letadla, místo vzletu a přistání, doba letu, druh letové činnosti, potenciální události související s bezpečností letu

Zajištění zdravotního stavu posádky - prohlášení a pokyny k zajištění odpovídajícího zdravotního stavu členů posádky před zahájením provozu.

Před vstupem do zaměstnání zaměstnanci prošli vstupním lékařskou prohlídkou. Opakovaná lékařská prohlídka není k výkonu funkce požadována.

V přípravě před letem je potřeba zkontrolovat meteorologické situace v místě, kde bude probíhat let:

- webovou aplikací Řízení letového provozu AISView - <http://aisview.rlp.cz/>
- webovou aplikací Českého hydrometeorologického úřadu - <http://portal.chmi.cz/>

V blízkosti letišť je třeba kontrolovat NOTAM zprávy:

- webová aplikace ŘLP <http://notam.rlp.cz/>

Další aktivity v okolí:

- webovou aplikací Řízení letového provozu AISView - <http://aisview.rlp.cz/>

Posouzení a vyhodnocení letové způsobilosti je na pilotovi letadla, dle vizuální kontroly a kontroly mechanicky pohyblivých součástí letadla.

Letadlo nemá minimální ani doporučené vybavení. Vybavení, které je uvedené v kapitole 1. části B příručky, je povinné pro každý let.

Sluneční brýle jsou doporučené výbavou pilota.

Vyhrazení prostoru na zemi, zamezení přístupu do oblasti letu a do místa vzletu/přistání, zábor veřejného prostranství (jak, kdy, kdo a v jakém rozsahu).

Vyhrazení prostoru pro přistání na zemi (max. 30 m) dělá pilot před samotným startem letadla.

Zvláštní okolnosti, které je třeba vzít v úvahu za vysokých a nízkých teplot (kapacita baterií, výkon motoru, fyzická omezení pilota, vliv na úsudek a rozhodování pilota, atd.).

Doporučený rozsah teploty pro provoz UAS je s ohledem na baterie a elektroniku letadla od 0°C do 50°C. Při nižších teplotách klesá kapacita akumulátoru.

Pilot při řízení cyklu letu má zakázáno využití mobilního telefonu, pokud to není nutné za zvláštních okolnostech při cyklu letu.

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 22 z

5.3 Postupy pro využití VKV rádia

N/A To je správný do toho je nutné investovat a tady musí být uvedeno že budou oba mít zkoušky telegrafisty

5.4 Obecné postupy po letu

Po každém letu je třeba řádně vyplnit příslušnou dokumentaci a záznamy, jejichž vedení je jedním z předmětů inspekce Úřadu při auditech provozovatele.

Deník letadla – kde se vyplňuje datum letu, jméno pilota, označení letadla, místa vzletu a přistání dobu letu a celkovou dobu letu, druh letové činnosti a potenciální události související s bezpečností letu – dle Předpisu L 2, Doplněk X

- vzor deníku viz Příloha č. 3 této příručky

Až se tam dočtu tak se podívám ale mělo by tam určitě být:

Pilot po každém lete zapíše záznam do deníku letadla. Deník letadla obsahuje následující údaje:

- Datum a rok
- Konkrétní bezpilotní letadlo použité k letu (poznávací značka)
- Lokalita (zeměpisné souřadnice ve formátu WGS-84 nebo zeměpisné označení (vzdálenost a směr od nejbližšího význačného bodu))
- Čas letu (čas vzletu a čas přistání, označení, zda se jedná o časy místní nebo UTC)
- Doba letu (v případě více letů se stejným letadlem v jednom dni uveďte celkovou dobu letu, kterou jednotlivý pilot vykonal, a která bude zaznamenána do deníku letadla)
- Počet přistání (v případě více letů se stejným letadlem v jednom dni uveďte celkový počet přistání, které jednotlivý pilot vykonal)
- Poznámky (např. druh letu (úkol, zakázka), jiné podstatné informace, mimořádné situace)
- Podpis pilota (pro ověření správnosti a pravosti informací uvedených v deníku)

Deník údržby UAS - Viz Část E provozní příručky

Asi by zde mělo být něco jako

Deník údržby UAS bude vedený v elektronický formě a v psané formě. Psaná forma bude neustále při bezpilotním systému v přepravní bedně. Elektronická forma bude vedena na palikaci **a sem doplníš tu aplikaci co jsem poslal** Po letovém dni doplní pilot veškeré záznamy do elektronické formy. Tím se zamezí případné ztrátě nebo zničení deníků údržby. Do deníků údržby se zapíše každá kontrola stavu jednotlivých komponentů. Taktéž se zapíšou záznamy o provedené údržbě a provedených opravách. Každý záznam musí obsahovat datum, informace o kontrole a podpis osoby, která kontrolu vykonala

Postupy pro uchování záznamů a dokumentace:

- Výcvik / kvalifikace – se zaznamenávají do deníku letadla, po zaplnění deníku letadla se zavede nový a vyplněný se uloží do archivu firmy
- Systémové záznamy – jsou uloženy v archivech firmy
- Digitální záznamy – jsou uloženy na diskových polí v kanceláři firmy Papírové záznamy – jsou uloženy v archivech firmy

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 23 z

- Technické záznamy – jsou uloženy v archivech firmy
- Splněné kontrolní seznamy (aplikují-li se) – jsou uloženy v archivech firmy
- Papírová záloha digitálních záznamů – jsou uloženy v archivech firmy

Nehody, incidenty, události

Bezpilotní letadla jsou stejně jako ostatní letadla v souladu s ICAO Annex 13, resp. v ČR leteckým předpisem L 13, předmětem hlášení nehod a incidentů.

Hlášení musí být provedeno způsobem, který je uveden v leteckém předpise L 13. Bližší informace, včetně formuláře hlášení a kontaktů, naleznete na webových stránkách Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod (ÚZPLN) www.uzpln.cz. Viz též podmínky v provozním povolení od Úřadu.

Formuláře ÚZPLN jsou připraveny zejména pro události spojené s klasickými letadly s pilotem na palubě. Při vyplňování události související s bezpilotními letadly postupujte podle vlastního uvážení, která políčka a jak vyplnit, zejména však využijte pole "I - Popis události a rozsah poškození" pro detailní popis události volnou řečí. Doporučuje se uchovat kopii podaného hlášení pro interní využití nebo pro dobrovolné hlášení událostí, aplikuje-li se.

6.1 Pokyny a činnosti následující po nehodě, incidentu nebo události

Postupy hlášení v těchto případech souvisejících s provozem bezpilotního letadla (tyto pokyny jsou vylepeny na vnitřním víku obou letounu):

- Lehké i vážné zranění osob, jak třetích osob, tak i vlastního personálu
 - lokalizace místa neštěstí - dojezd na místo
 - poskytnutí první pomoci pomocí lékárničky ve voze
 - přivolání rychlé zdravotnické záchranné služby – číslo 155
 - přivolání Policie ČR – číslo 158
 - kontaktování pojišťovny
 - vyplnění formuláře o letecké nehodě na www.uzpln.cz
- Škody na majetku třetích osob
 - lokalizace škod a kontrola zda nedošlo ke zranění osob
 - přivolání Policie ČR – číslo 158
 - kontaktování pojišťovny, přivolání likvidátora škod
 - vyplnění hlášení o vzniku letecké nehody nebo incidentu na www.uzpln.cz

Dokumentace při nehodě, incidentu nebo události: (????)

- *Vůči Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod a Úřadu;*

Provozní příručka, Část A

Obecná ustanovení

Změna
00

Datum účinnosti
1.1.2016

Strana 24 z

- vyplnění hlášení o vzniku letecké nehody nebo incidentu na www.uzpln.cz
- Pro rozvoj vnitřního systému organizace (pro zjištění, zda došlo k systémové chybě organizace);
- Vůči pojišťovně;
- nahlášení pojistné události na webové adrese <http://www.csobpoj.cz/>
- Pro vyšetřování ze strany Policie ČR (Je-li to použitelné, oddělené uchování systémových záznamů a dokumentace, pokud je následné vyšetřování očekávatelné).

6.2 Postupy hlášení nehod, incidentů, událostí

Předpis, vztahující se k povinnosti hlásit letecké nehody, incidenty a události jsou k nalezení na adrese <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-13/data/print/L13-cely.pdf>.

Informování ÚZPLN

Využití on-line formuláře ÚZPLN na adrese http://www.uzpln.cz/cs/on-line_In.

Dle Přílohy 2 nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 v platném znění

4 Letecké práce

Podrobný popis jednotlivých druhů a související analýzy rizik jsou řešeny v Části C provozní příručky.

Druh provozu

- VFR - za viditelnosti;
- VLOS – v dohledu pilota

Druhy prováděných leteckých prací (dle § 20, odst. 1 vyhlášky č. 108/1997 Sb.):

- provádění leteckého snímkování;