

Česká zemědělská univerzita v Praze

## **Odhad výše poškození zemědělských kultur zvěří pomocí RGB kamery a UAV**

Metodika

Karel Kuželka, Peter Surový

Praha 2017

## **Dedikace**

Metodika vznikla jako výstup projektu NAZV QJ1520187 „Vývoj bezpilotních prostředků pro monitoring v lesním hospodářství“ řešeného v letech 2015-2018.

Metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství České republiky, odborem koncepcí a ekonomiky lesního hospodářství pod číslem 75844/2017-MZE-16222/M161.

## **Oponenti**

Ing. Přemysl Janata, Ph.D. – Správa Krkonošského národního parku

Ing. Roman Bystrický – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem

Autorský kolektiv	Karel Kuželka, Peter Surový
Rok vydání	2017
Vydání	1. vydání
Vydal	Česká zemědělská univerzita v Praze
Tisk	Tribun EU s.r.o., Cejl 892/32, Brno
Náklad	30 ks
Rozsah	54 stran
ISBN	978-80-213-2814-3

## Obsah

<b>I.</b>	<b>Cíl metodiky .....</b>	<b>5</b>
<b>II.</b>	<b>Současný stav problematiky .....</b>	<b>6</b>
<b>III.</b>	<b>Vlastní metodický postup .....</b>	<b>8</b>
III.1	Proveditelnost snímkování a výběr vybavení .....	8
III.1.1	Požadavky na vybavení a kritéria výběru .....	8
III.1.2	Určení základních parametrů leteckého snímkování.....	13
III.1.3	Nastavení parametrů snímkování .....	21
III.2	Postup snímkování pomocí UAV.....	25
III.2.1	Plánování leteckých prací.....	25
III.2.2	Vykonání leteckého snímkování .....	27
III.3	Zpracování snímků.....	29
<b>IV.</b>	<b>Srovnání novosti postupů .....</b>	<b>39</b>
<b>V.</b>	<b>Popis uplatnění certifikované metodiky .....</b>	<b>41</b>
<b>VI.</b>	<b>Ekonomické aspekty .....</b>	<b>41</b>
<b>VII.</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>42</b>
<b>VIII.</b>	<b>Seznam publikací, které předcházely metodice .....</b>	<b>44</b>
<b>IX.</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>45</b>
IX.1	Grafy pro určení výšky letu na základě známých parametrů fotoaparátu pro požadovanou pozemní vzdálenost vzorků (prostorové rozlišení) .....	45
IX.2	Grafy pro určení rychlosti letu na základě známých parametrů fotoaparátu pro požadovaný překryv snímků .....	48
IX.3	Grafy pro určení rychlosti letu pro fotogrammetrické zjišťování trojrozměrné struktury lesa.....	52



## I. Cíl metodiky

Metodika nazvaná „Odhad výše poškození zemědělských kultur zvěří pomocí RGB kamery a UAV “ byla vytvořena v rámci projektu NAZV QJ1520187 „Vývoj bezpilotních prostředků pro monitoring v lesním hospodářství“ řešeného v letech 2015-2018.

Zvýšené populační hustoty spárkaté zvěře ohrožující ekonomické zájmy lesnictví, zemědělství a dalších oblastí lidské činnosti jsou v posledních desítkách let hlášeny z většiny zemí Evropy. Velmi citelné jsou škody způsobené zvěří na zemědělských kulturách. Pro stanovení náhrad za vzniklé škody je potřeba znát a doložit rozsah poškození. Přesné fyzické zaměření poškozených ploch je nejen ekonomicky neefektivní, ale vede k dalšímu poškození plodiny. Využití kvalifikovaného odhadu poškození pohledem je pak metodou s neznámou přesností, a při nehomogenním rozmístění škod v zemědělské kultuře může být i značně zavádějící.

Projekt, jehož výstupem je tato metodika, je zaměřen na ověření možností využití bezpilotních leteckých prostředků (UAV) pro operativní snímkování zemědělských kultur za účelem objektivní kvantifikace poškození kultur zvěří. Hlavním cílem metodiky je poskytnout podrobný postup použití AUV pro získání mapy poškození a pro plošnou kvantifikaci poškození zemědělských kultur.

Metodika je určena především pro subjekty vykonávající letecké práce při mapování lesních porostů, případně přímo pro provozovatele bezpilotního letadla z řad odborné veřejnosti v zemědělství, kteří mají zájem o vytvoření nebo získání informací o aktuálním stavu poškození kultur zemědělských plodin pomocí bezpilotního letadla. Popsané postupy vyžadují značné odborné znalosti a dovednosti z oblasti provozu UAV, pořizování a zpracování fotografií. Postupy předpokládají využití bezpilotního letadla vázané na splnění všech legislativních omezení (současný stav v r. 2017 je popsán v Doplňku X – Bepilotní systémy předpisu L 2 – Pravidla létání) a specializovaného softwarového vybavení.

Výstupem uvedených postupů jsou georeferencované mapy poškození kultur zemědělských plodin, které mohou být zobrazeny v kontextu stávajících map

nebo ortofotomap, nebo mohou být zdrojem pro kvantifikaci škod na zemědělských kulturách.

## II. Současný stav problematiky

Pro kvantifikaci poškození zemědělských kultur zvěří je teoreticky možné použít exaktní metodu fyzického zaměření poškozených ploch např. s využitím přesných GNSS zařízení. Tato metoda je ale velice pracná, ekonomicky neefektivní a navíc přináší nutnost pohybu osob v zemědělské kultuře, což vede ke zvýšení škod na zemědělské plodině. Proto se obvykle k odhadu škod na zemědělských kulturách větších polních celků (několik desítek hektarů) používá kvalifikovaného odhadu.

Dálkový průzkum Země (DPZ) je definován jako detekce, rozpoznávání a vyhodnocování objektů na zemském povrchu snímaných a zaznamenávaných pomocí vzdálených zařízení bez fyzického kontaktu se zkoumanými objekty (Franklin, 2001). Prudký rozvoj metod DPZ v posledních dekadách je následován jejich využitím v hospodářské úpravě lesů jako cenný zdroj informací při mapování a monitorování aktivit a změn na lesních majetcích.

DPZ nabízí široké spektrum technik, které různými způsoby zaznamenávají objekty na zemském povrchu a jejich vlastnosti projevující se odrazivostí různých typů vlnění v širokém spektru vlnových délek. Přirozených zdrojů záření využívá klasické snímkování ve viditelném spektru nebo v jiných kanálech, zejména infračerveném, případně v rozšířeném spektru s větším počtem kanálů s využitím multispektrálních a hyperspektrálních senzorů. Pro zkoumání objektů ale mohou být využity i umělé zdroje vlnění – jedná se především o rádiové vlny (Synthetic-aperture radar), světlo ve viditelném nebo jiném spektru (LiDAR), případně zvuk (sonar).

V minulosti již bylo využití metod leteckého průzkumu pro hodnocení škod na zemědělských plodinách testováno, avšak kvalita snímků (zejména prostorové rozlišení snímků) a přesnost jejich umístění do souřadnicového systému se ukázaly jako limitující faktor pro přesnou kvantifikaci škod. Prostorové rozlišení, které u klasického leteckého snímkování dosahuje standardně 20 cm/pixel

(Getzin, Nuske, & Wiegand, 2014), byla výsledkem technických možností metod leteckého snímkování, zejména kombinací minimální letové rychlosti a výšky letadel při snímkování.

Tyto nedostatky klasických leteckých snímků mohou být překonány použitím UAV. Malé bezpilotní prostředky (UAV – Unmanned Aerial Vehicles) představují finančně efektivní alternativu pro letecké mapování malých území s nedostížitou kombinací prostorového a časového rozlišení (Wallace, Lucieer, Malenovský, Turner, & Vopěnka, 2016). Snímkování pomocí UAV lze provádět v libovolný čas, realizace snímkování je do značné míry nezávislá na počasí (Grenzdörffer, Engel, & Teichert, 2008) a snímky poskytují rozlišení v řádu jednotek milimetrů na pixel.

Aktuální snímky s vysokým rozlišením pořízené pomocí UAV nachází své využití v průmyslu a stavebnictví (Nikolic et al., 2013), ekologických studiích (Rosnell & Honkavaara, 2012), v lesnictví pro zjišťování biomasy nebo inventarizačních veličin (Goodbody, Coops, Marshall, Tompalski, & Crawford, 2017). V zemědělství nachází snímání z malých bezpilotních letadel uplatnění např. pro zjišťování růstu plodin, pro detekci heterogenity v zavlažování a hnojení (Herwitz et al., 2004), optimalizaci sklizně (Grenzdörffer et al., 2008) a další aplikace precizního zemědělství (López-Granados et al., 2016; Torres-Sánchez, Peña, de Castro, & López-Granados, 2014)

Přestože samotné georeferencované snímky pořízené z UAV mohou představovat silný nástroj pro monitoring stavu zemědělské kultury, v popředí zájmu využití UAV je fotogrammetrická trojrozměrná rekonstrukce lesních porostů pomocí metody Structure from Motion, která umožňuje rekonstruovat 3D pozici bodů identifikovaných ve fotografiích pomocí relativních posunů identifikovaných objektů v sérii snímků pořízených z různých směrů. Ať už je výsledkem mapování georeferencovaná ortomozaika, nebo 3D bodové mračno připomínající výstup laserového skenování, bezpilotní prostředky osazené RGB fotoaparátem představují díky flexibilitě využití a vysokému rozlišení výsledných produktů snímkování vysoce efektivní nástroj pro monitoring poškození kultur zemědělských plodin.

## III. Vlastní metodický postup

### III.1 Proveditelnost snímkování a výběr vybavení

Před samotným zahájením příprav na provedení bezpilotního leteckého snímkování vybrané lokality je vhodné provést teoretický rozbor proveditelnosti snímkování. Následující kapitola je shrnutím poznatků o možnostech a požadavcích na vybavení a jsou rozepsána kritéria výběru vhodného vybavení. Vzhledem k použitému vybavení mohou být následně optimalizovány parametry letu na základě prostorových vztahů a požadavků výpočetních algoritmů zpracování snímků.

#### III.1.1 Požadavky na vybavení a kritéria výběru

##### **Bezpilotní letadlo**

V současné době je k dispozici široké spektrum bezpilotních prostředků umožňující výběr vhodného typu prostředku v závislosti na konkrétních podmínkách a požadavcích pro každou aplikaci tak, aby byly optimálně využity specifické vlastnosti každého z vyvíjených leteckých prostředků. Mezi kritéria výběru vhodného leteckého prostředku pro konkrétní aplikaci patří především hmotnost senzoru, který bude využit k získávání dat, požadavky na délku letu a vybrané letové parametry související s umožněním sběru dat pomocí vybraného typu senzoru. Primární rozhodnutí směřuje k výběru mezi dvěma diametrálně odlišnými typy bezpilotních prostředků – multikoptéry a letouny (křídly).

##### *Multikoptéry*

Charakteristikou multirotorových leteckých prostředků obecně je vysoká ovladatelnost, multikoptéry disponují schopností snížit rychlost letu na minimum či dokonce na nulovou rychlost letu, což je vlastnost velmi důležitá při pořizování snímků v horších světelných podmínkách, kdy potřebná delší expozice by při vyšších rychlostech způsobovala pohybovou neostrost snímků, případně při podrobném snímání z nižších výšek s potřebou velkého překryvu snímků. Možnost využití některých typů senzoru může být vázána na malou rychlost letu, což činí multikoptéry nepostradatelnými. Díky vertikálnímu vzletu



a přistání mohou být nasazeny i v komplikovaném terénu, kde k provedení pomalého a kontrolovaného vzletu či přistání postačí cesta nebo srovnatelně malá plocha rovného povrchu. Umožňují také definovat trasu letu zcela přesně včetně ostrých změn směru letu, snímkování je tak omezeno pouze na skutečně zájmové území. Přesné řízení a manévrovatelnost jsou zachovány i při větším zatížení prostředku. Využití multikoptér je omezeno maximální délkou letu, která u současných modelů dosahuje nejvýše kolem 30 minut při letu s nízkou zátěží, přičemž zvyšování zátěže klade vysoké nároky na spotřebu baterií a maximální dobu letu výrazně snižuje.

Základním kritériem pro výběr mezi multikoptéry je požadovaná specifikace senzoru. Některé UAV jsou již vybaveny integrovanými kamerami a není již možné je osadit jiným senzorem. V případě potřeby využití senzorů dosahujících vyšší kvality snímků je potřeba vybírat z nabídky UAV, které umožňují uživatelsky připojit zvolený fotoaparát pomocí příslušného stabilizačního závěsu (gimbalu).

V době vydání této metodiky (2017) jsou pro snímkování zemědělských kultur vhodné zejména multikoptéry čínského výrobce DJI. Pro zavěšení externího fotoaparátu lze doporučit modely F550, S900 a Matrice 600 Pro, seřazené vzestupně podle užitečné zátěže. Z vhodných modelů vybavených integrovanou kamerou lze zmínit kompaktní model Mavic Pro a univerzální Phantom 4 Pro výrobce DJI nebo model GoPro Karma vybavený kamerou GoPro.

### *Letouny*

Silnou stránkou letounů, prostředků s pevnými křídly, je v porovnání s multikoptéry velmi nízká spotřeba energie a tím výrazně delší maximální doba letu. Rychlost letu se nedá výrazně snížit; minimální rychlost pro udržení prostředků tohoto typu ve vzduchu je přibližně 20 km/h (se zátěží více) a let je pouze horizontální, z čehož plynou hlavní nevýhody letounů: potřeba většího prostoru pro vzlet, přistání i otáčení a nemožnost přizpůsobit letové parametry potřebám senzorů. Značné náklony během letu znehodnocují některé snímky. Jejich využití je na místě, pokud je třeba nasnímkovat rozsáhlé území bez potřeby získání velmi detailních záznamů. Nejvhodnějším letounem pro použití za účelem mapování lesních porostů je aktuálně (2017) letoun senseFly eBee.

## **Fotografické vybavení**

Fotogrammetrická rekonstrukce objektů a mapování s využitím bezpilotních prostředků je specifickou fotografickou aplikací, která má zvláštní nároky na vlastnosti použité fotografické techniky. Při výběru konkrétního modelu fotoaparátu je třeba vzít v úvahu několik specifických kritérií. Není možné dokonale vyhovět všem kritériím, z nichž některá jsou často v protikladu. Je ale potřebné uvážit, jakým způsobem budou pořízené fotografie a výsledné odvozené produkty (3D bodová pole, ortofotomozaiky) ovlivněny vlastnostmi fotoaparátu a zvolit přiměřený kompromis vyhovující konkrétnímu účelu fotogrammetrického mapování. Pro výběr vhodného fotografického vybavení je vhodné vzít v úvahu zejména následující parametry.

### *Hmotnost fotoaparátu*

Hmotnost vybavení umístěného na bezpilotní prostředek má limitující vliv zejména na maximální dobu letu, ale také na jeho ovládání, manévrovatelnost a rychlost. Vzhledem k tomu, že fotoaparát je obvykle dominantní složkou neseného vybavení, je třeba klást důraz na minimalizaci hmotnosti použitého fotoaparátu. Tento požadavek je naneštěstí často v protikladu s požadavky na další parametry fotoaparátu.

### *Pevný objektiv*

Nevýhoda pohyblivého objektivu, který při se při vypnutém fotoaparátu zasouvá do těla přístroje, spočívá v nestálých parametrech objektivu; při každém vysunutí je pozice optických členů objektivu mírně odlišná. To je nevýhodou zejména pro kalibraci objektivu, kalibrační prvky pak nejsou konstantní. Další nevýhoda nastává při použití v prašném prostředí. Prach a nečistoty zvířené rotory a usazené na objektivu jsou zaneseny do pohyblivých částí fotoaparátu, kde při pohybech objektivu působí abrazivně a dlouhodobě degradují kvalitu fotoaparátu. Ze stejných důvodů je vhodné vybrat objektiv s vnitřním ostřením, u něhož veškerý pohyb během ostření probíhá pouze uvnitř objektivu a nedochází ke změně délky tubusu ani k rotacím vnějších prvků objektivu. Změny parametrů objektivu může způsobit také pohyblivý člen objektivu sloužící pro redukci vibrací a stabilizaci obrazu při pohybu. Doporučuje se raději používat objektivy bez stabilizačního systému, případně stabilizaci vypnout.

### *Pevná ohnisková vzdálenost*

Objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností obecně přináší lepší obrazovou kvalitu při srovnání s objektivy s proměnnou ohniskovou vzdáleností (zoom objektivy). U zoom objektivů navíc hrozí riziko změny ohniskové vzdálenosti během snímání sekvence fotografií, což výrazně komplikuje zpracování dat a tvorbu odvozených produktů.

### *Manuální ostření*

Možnost vypnout automatické ostření je důležitým požadavkem pro zajištění stálého zaostření fotografií. Při automatickém zaostřování může být každý snímek zaostřen jinak, což velmi znesnadňuje vytváření odvozených produktů, zejména detekci identických bodů v záběru a skládání snímků do mozaiky. Automatické zaostřování před exponováním každého snímku navíc prodlužuje čas mezi vydáním povelu k pořízení snímku a samotnou expozicí. V případě záběru s malým kontrastem může být zaostřovací čas velmi dlouhý, případně k zaostření vůbec nemusí dojít, a snímek je pak buď exponován rozostřený, nebo vůbec exponován není.

### *Rozlišení senzoru*

Rozlišení senzoru (počet světločivných buněk) odpovídá počtu pixelů (obrazových bodů) pořízeného snímku. Je zřejmé, že větší množství pixelů představuje větší míru detailu ve fotografii. Samotné vysoké rozlišení senzoru ale nezaručuje vysokou kvalitu fotografií. Naopak, velké množství pixelů umístěných na senzoru malých rozměrů může být spíše kontraproduktivní.

Aby na senzor mohlo být umístěno velké množství pixelů, musí mít každý pixel velmi malé rozměry. Čím je plocha pixelu menší, tím méně světla na něj dopadne při exponování snímku a tím více musí být výstupní signál zesílen k vytvoření správně exponované fotografie. Výsledkem zesilování signálu je snížená obrazová kvalita, patrná zejména v přítomnosti šumu. Rozlišení senzoru musí být proto uvažováno zároveň s velikostí senzoru.

### *Velikost senzoru*

Velikost senzoru má zásadní vliv na vlastnosti a kvalitu pořízených fotografií v několika různých ohledech.

Velikost senzoru spolu s ohniskovou vzdáleností objektivu determinuje zorný úhel. Šíře záběru při použití objektivu o dané ohniskové vzdálenosti je úměrná rozměru senzoru; čím větší senzor, tím širší záběr. Efekt velikosti senzoru na šíři záběru je popsán pomocí tzv. ekvivalentní (také efektivní) ohniskové vzdálenosti. Ekvivalentní ohnisková vzdálenost je ohnisková vzdálenost, jakou by měl objektiv se stejným zorným úhlem na fotoaparátu vybaveném senzorem o standardním rozměru 35 mm (tzv. full-frame). Objektiv o ohniskové vzdálenosti 50 mm má na full-frame fotoaparátu (fotoaparát vybavený snímačem o velikosti kinofilmového políčka) ekvivalentní ohniskovou vzdálenost 50 mm. Při použití na fotoaparátu se senzorem o polovičních rozměrech má ekvivalentní ohniskovou vzdálenost 100 mm – má stejnou šíři záběru, jakou by měl objektiv o ohniskové vzdálenosti 100 mm na full-frame fotoaparátu.

S velikostí senzoru souvisí hloubka ostrosti ve fotografii, neboli rozsah vzdáleností, v nichž se fotografovaný objekt jeví jako ostrý. Zatímco u malých senzorů bývá obvykle ostrá celá scéna, velké senzory (např. full-frame) při nastavení stejného clonového čísla vygenerují fotografie, v nichž zaostřený objekt kontrastuje s rozostřeným popředím i pozadím.

Větší senzory tvoří kvalitnější obrazy díky větší ploše každé jednotlivé buňky (pixelu) senzoru. Ploše pixelu je úměrný počet fotonů, které jsou pixelem senzoru zachyceny a převedeny na výsledný obraz. Menší počet fotonů musí být při přepočtu na obrazové hodnoty více násoben (zesilován), což vede ke snížené obrazové kvalitě a zvyšování šumu. Větší kvalitu obrazu u většího senzoru můžeme odvodit i ze statistického zákona velkých čísel. Čím větší je počet provedených měření (počet zachycených fotonů pixelem), tím více naměřená data (pixelová hodnota ve fotografii) odpovídají skutečnému stavu (skutečnému jasů scény).

S velikostí senzoru souvisí výraznost jevu zvaného difrakce. Difrakce je ohyb světla, který ve fotoaparátu nastává na hraně clony a způsobuje rozptýlení paprsku světla. Ty pak na senzoru místo bodů vytvářejí plošné disky, čímž vzniká neostrost fotografie. Difrakce je přítomna vždy a nelze ji zcela eliminovat, její vliv je ale ve fotografii patrný zejména při silném zaclonění (vysoká clonová

čísla) a u fotoaparátů s malým senzorem. V obou případech je příčinou malý otvor v cloně a tím pádem velký podíl světelných paprsků ovlivněných hranou clony.

Popsané vlivy velikosti senzoru lze shrnout do obecného konstatování, že u fotoaparátu s větším rozměrem senzoru lze očekávat vyšší obrazovou kvalitu. Menší hloubku ostrosti u velkých sensorů je možné kompenzovat dostatečným zacloněním, aby fotografovaná scéna byla ostrá v celém potřebném rozsahu. Negativa velkých sensorů jsou pouze dvě: větší hmotnost a vyšší pořizovací cena fotoaparátů s velkými senzory. Za rozumný kompromis zajišťující dostatečnou obrazovou kvalitu a přitom vyhovující cenou a hmotností zařízení jsou senzory formátu APS-C, jejichž rozměry odpovídají přibližně 2/3 rozměru full-frame senzoru.

V roce 2017 patří mezi nejvíce využívané senzory pro UAV fotogrammetrii fotoaparát Sony Alpha 6000, případně další modely řady Sony Alpha (5000, 5100), vybavené manuálním objektivem s pevným ohniskem značek Samyang nebo Voigtländer, dále kompaktní fotoaparát Ricoh GR2, kamera GoPro, případně fotoaparáty mobilních telefonů, např. Huawei Honor 9.

### **III.1.2 Určení základních parametrů leteckého snímkování**

#### **Určení výšky letu**

Letová výška je jedním ze základních parametrů letu ovlivňujících kvalitu obrazového materiálu. Výběr optimální letové výšky vzhledem k technickým parametrům vybavení je klíčový pro získání kvalitních záběrů a v důsledku také produktů odvozených z pořízených snímků.

Optimální letová výška je determinována volitelným parametrem: požadovaným prostorovým rozlišením snímku neboli rozměru části zemského povrchu reprezentovaným na digitálním snímku jedním obrazovým bodem, pixelem. Optimální letová výška dále závisí na technických parametrech použitého optického senzoru. Těmito ovlivňujícími parametry jsou rozlišení senzoru, jeho rozměry a ohnisková vzdálenost použitého objektivu.

### Výpočet

Ohnisková vzdálenost objektivu spolu s rozměrem senzoru determinují zorný úhel (ZÚ) podle vzorce:

$$ZU = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{h}{2f} \right)$$

Kde  $ZU$  je zorný úhel,  $h$  je rozměr senzoru a  $f$  je ohnisková vzdálenost.

Čím větší je vzdálenost mezi senzorem a čočkou, která obraz láme, tedy ohnisková vzdálenost objektivu, tím menší je úhel záběru objektivu. Se zvětšujícím se senzorem se naopak zorný úhel rozšiřuje. Tyto dva parametry mohou být souhrnně popsány pomocí tzv. ekvivalentní ohniskové vzdálenosti objektivu pro full-frame senzor (ekvivalent 35 mm). To je fiktivní hodnota udávající ohniskovou vzdálenost objektivu, který by na standardním senzoru o rozměrech 35 x 24 mm měl tentýž zorný úhel.

Při známém zorném úhlu objektivu a vzdálenosti fotografovaného objektu od senzoru lze určit rozměr fotografovaného objektu:

$$l = 2 \cdot v \cdot \tan \frac{ZU}{2}$$

kde  $v$  je vzdálenost fotografovaného objektu od senzoru (tj. výška letu při svislém snímání povrchu z UAV) a  $l$  je skutečný rozměr fotografovaného objektu (délka zobrazené části povrchu). Rozměr objektu podělený počtem pixelů odpovídá rozměru části objektu, který je zaznamenán jedním pixelem snímku, a tedy zároveň představuje lineární vzdálenost mezi středy sousedních pixelů na zemi označovanou jako pozemní vzdálenost vzorků  $GSD$  (Ground Sampling Distance):

$$GSD = \frac{l}{r}$$

kde  $GSD$  je pozemní vzdálenost vzorků (představuje lineární vzdálenost mezi středy sousedních pixelů na zemi) a  $r$  je počet pixelů (délka řady), které zobrazují v rovině objektu rozměr  $d$ .

Tento vztah lze využít k výpočtu vzdálenosti senzoru od fotografovaného objektu takové, aby rozměr pixelu odpovídal předem definovanému prostorovému rozlišení:

$$v = \frac{l}{2 \cdot \tan ZU}$$

Dva vztahy definované rovnicemi lze zkombinovat a zjednodušit tak, že výsledný vztah již neobsahuje zorný úhel, pouze vstupní parametry pro jeho výpočet, tedy velikost senzoru a ohniskovou vzdálenost objektivu:

$$v = \frac{GSD \cdot r \cdot f}{h}$$

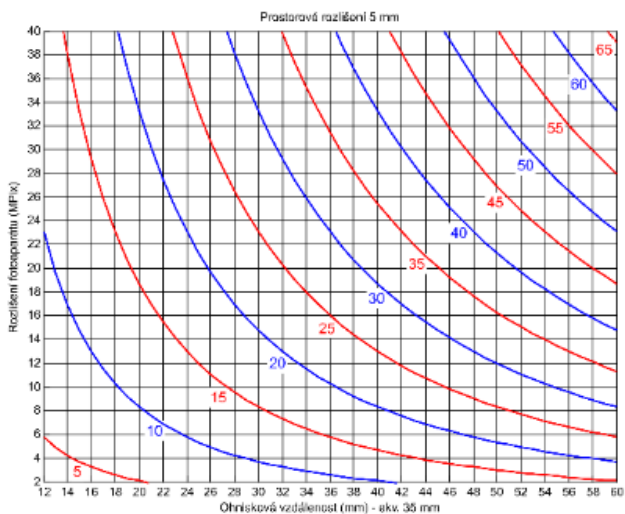
Jedná-li se o fotografování povrchu z bezpilotního prostředku, takto vypočítaná vzdálenost odpovídá takové letové výšce, kdy pixel snímku odpovídá části fotografovaného povrchu o předem definovaném rozměru.

### *Grafy*

S využitím výše popsaných vztahů byla vytvořena série grafů pro určování výšky letu na základě rozlišení senzoru a ekvivalentní ohniskové vzdálenosti použitého objektivu pro různá požadovaná prostorová rozlišení snímků. Grafy byly vytvořeny s předpokladem standardního poměru stran snímku 3:2. Při použití senzoru o poměru stran 4:3 či 16:9 je výška letu pro získání snímků s tímž prostorovým rozlišením mírně odlišná; pro určení přesné výšky letu by bylo potřeba výšku letu odečtenou z grafu vynásobit konstantou 0,9806, resp. 1,0393. Pro praktické použití tak lze odlišnost mezi různými poměry stran senzoru zanedbat; letová výška se liší v řádu nízkých jednotek procent.

Prostorové rozlišení snímku je v těchto tabulkách průměrný rozměr jednoho pixelu na fotografovaném objektu. Vzhledem k tomu, že je jedná o centrální projekci, dochází ke geometrické deformaci pixelů. Skutečný rozměr pixelu na kraji snímku je tedy větší než deklarované prostorové rozlišení, zatímco pixely blízko středu snímků reprezentují část objektu o menším rozměru.

Vytvořená série grafů obsahuje grafy pro požadované prostorové rozlišení 1 mm, 5 mm, 10 mm, 50 mm a 100 mm.



Obrázek 1 Ukázka grafu pro určení výšky letu na základě známých parametrů fotoaparátu pro požadované prostorové rozlišení 5 mm

### Určení vzdálenosti mezi následujícími snímky a rychlosti letu

Dalším ze základních letových parametrů je rychlost letu. Letová rychlost je významným faktorem ovlivňujícím kvalitu fotografií: zejména při zhoršených světelných podmínkách, kdy je potřeba pro zajištění správné expozice snímků exponovat delším časem, a při nízkých letových výškách, kdy je fotografovaný objekt je blízko senzoru, může vyšší rychlost letu být příčinou pohybové neostrosti ve snímcích. Objektivně posoudit kvalitu světelných podmínek a přizpůsobit jí rychlost letu podle předem definovaných pravidel není v reálné situaci možné, navíc v tomto ohledu má velký vliv kvalita konkrétního senzoru (možnost navýšení ISO citlivosti senzoru bez výrazného snížení kvality snímků) i objektivu (zejména světelnost a kresba objektivu při nižších clonách) použitých pro snímkování. Obecně lze říci, že při využití kvalitní techniky a výběru vhodného počasí pro snímkování není riziko pohybové neostrosti kritickým faktorem a nejdůležitějším kritériem stanovení rychlosti letu.

Frekvence snímání fotografií při dlouhodobém sekvenčním snímání je omezena, zejména rychlostí čipu zpracovávajícího snímky a rychlostí zápisu na



paměťovou kartu. Letová rychlost pak ovlivňuje především vzdálenost mezi pořízením jednotlivých fotografií, a tím překryv jednotlivých snímků. Právě překryv jednotlivých fotografií je důležitým parametrem pro možnost jejich dalšího zpracování a různé metody zpracování vyžadují předem známé procento překryvu sousedních fotografií. Požadovaný překryv fotografií je tedy hlavním limitujícím faktorem pro rychlost letu, v závislosti na možnostech rychlosti sekvenčního snímání použitého fotoaparátu.

### *Výpočet*

Ohnisková vzdálenost objektivu spolu s rozměrem senzoru determinují zorný úhel (ZÚ) podle vzorce:

$$ZU = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{h}{2f} \right)$$

kde  $ZU$  je zorný úhel,  $h$  je rozměr senzoru a  $f$  je ohnisková vzdálenost.

Při známém zorném úhlu objektivu a vzdálenosti fotografovaného objektu od senzoru (v tomto případě konkrétně výšce letu) lze určit rozměr fotografovaného objektu (záběru senzoru):

$$l = 2 \cdot v \cdot \tan \frac{ZU}{2}$$

kde  $v$  je vzdálenost fotografovaného objektu od senzoru (výška letu) a  $l$  je skutečný rozměr fotografovaného objektu – délka záběru senzoru na povrchu země.

Pro dosažení požadovaného relativního překryvu dvou následujících snímků musí tedy vzdálenost mezi místy pořízení těchto snímků odpovídat:

$$d = l \cdot (1 - P_{rel})$$

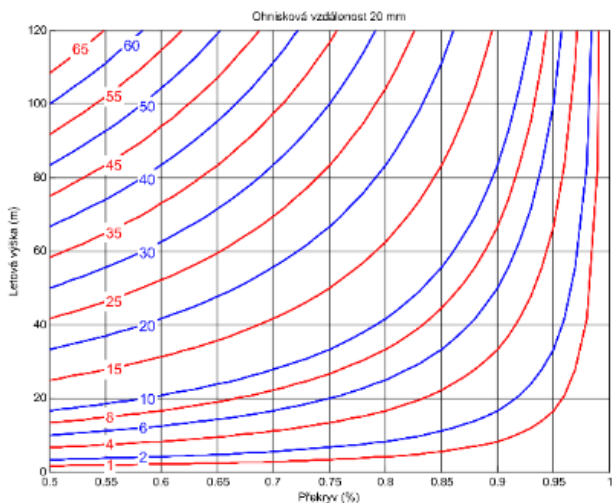
kde  $P_{rel}$  znamená relativní překryv dvou následujících snímků. Rychlost letu  $w$  je součinem vzdálenosti mezi snímky  $d$  a frekvence pořízení snímků  $freq$ .

$$w = d \cdot freq$$

## Grafy

S využitím výše popsaných vztahů byla vytvořena série grafů pro určování rychlosti letu na základě požadovaného relativního překryvu následujících snímků a letové výšky. Jednotlivé grafy v sérii se liší ohniskovou vzdáleností (eq. 35 mm) použitého objektivu.

Grafy byly vytvořeny s předpokladem standardního poměru stran snímku 3:2 a s předpokladem pořízování snímků na šířku – delší strana snímku je kolmá na směr letu. Posledním předpokladem je dlouhodobá frekvence snímání fotografií 1 Hz neboli jeden snímek za sekundu. Vzhledem k možnostem současných fotoaparátů dlouhodobě snímat, zpracovávat snímky a ukládat na paměťovou kartu se jedná o rozumný předpoklad rychlosti snímání. Při použití fotoaparátu s možností rychlejšího záznamu snímků po celou dobu letu lze rychlost odečtenou z grafů vynásobit počtem snímků za sekundu, které je daný fotoaparát schopen dlouhodobě zaznamenávat.

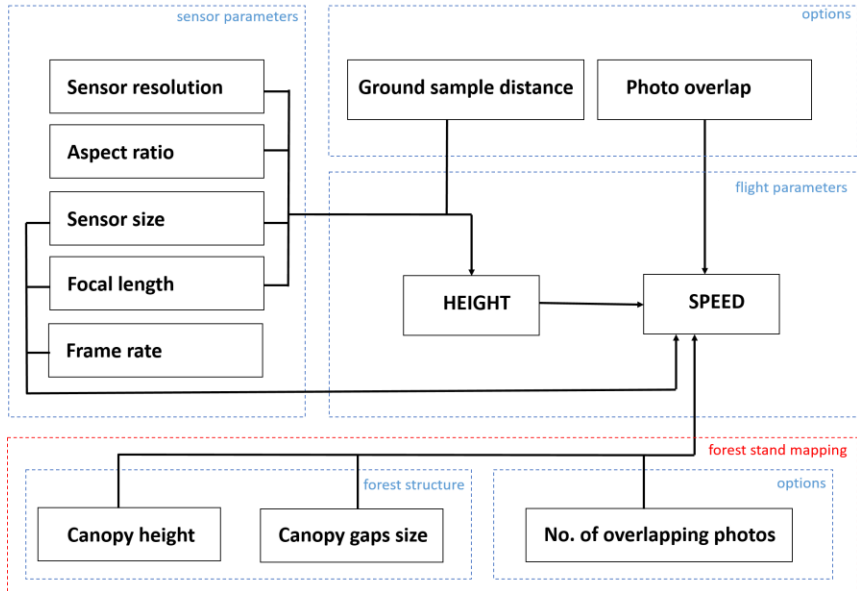


Obrázek 2 Ukázka grafu pro odečtení rychlosti letu pro ohniskovou vzdálenost objektivu 20 mm

Vytvořená série grafů obsahuje grafy pro ohniskovou vzdálenost použitého fotoaparátu 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm a 50 mm.

## Interaktivní nástroj pro výpočet parametrů letu

Pro interaktivní a uživatelsky snadné určení parametrů letu byl vytvořen webový nástroj FLIP COIN Tool (FLight Parameter Calculator – Online INteractive Tool).



Obrázek 3 Pracovní postup webového nástroje FLIP COIN Tool

Jedná se o interaktivní nástroj nahrazující použití vytvořených grafů. Na základě identických výpočtů je výška letu odvozena z vlastností použitého senzoru a optického vybavení vzhledem k požadované pozemní vzdálenosti vzorků (GSD). Pro výpočet rychlosti letu je využita předem určená letová výška, požadovaný podélný překryv snímků a parametry senzoru.

Výstupem webového nástroje je hodnota maximální letové výšky pro zajištění snímků s požadovanou pozemní vzdáleností prvků a hodnoty maximální vzdálenosti mezi následujícími fotografiemi a z ní odvozené maximální rychlosti letu. Tytéž výstupní parametry jsou zobrazeny v grafické formě v rámci vygenerovaných grafů.

**FLIP COIN Tool**  
**FLight Parameter Calculator - Online Interactive Tool**

**Sensor parameters**

Resolution  MPx

Aspect ratio  
 3 : 2       4 : 3       16 : 9

---

**Focal length**

Full Frame Equivalent       Real

Focal length  mm      Focal length  mm

Sensor size:   x  mm

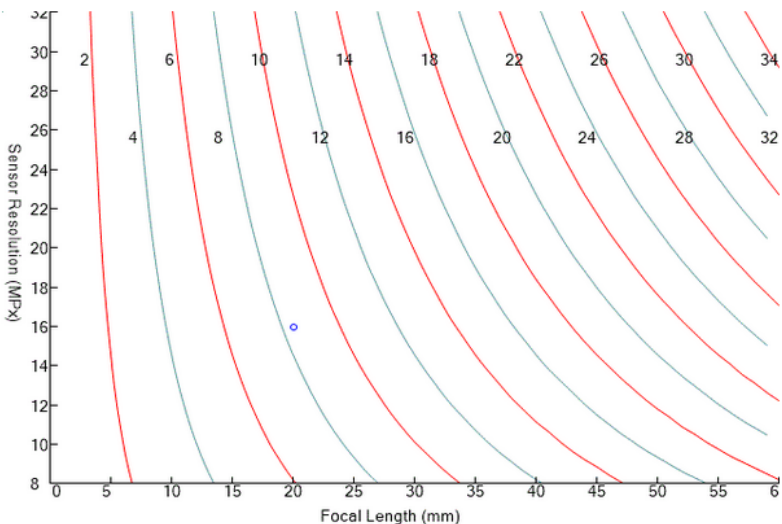
---

**Flight height calculation**

Desired ground sampling distance  mm

Maximum flight height for given resolution = 8.4 m



Obrázek 4 Grafické rozhraní nástroje FLIP COIN Tool

### III.1.3 Nastavení parametrů snímkování

Cílem je získat správně exponovanou fotografii při zajištění dostatečné obrazové kvality a ostrosti snímků. Expozici můžeme ovlivnit nastavením třech parametrů – clony, expozičního času a citlivosti ISO. Změna každého z parametrů ale ovlivňuje nejen expozici, nýbrž také kvalitu výsledných fotografií.

#### *ISO*

Hodnota ISO vyjadřuje zdánlivou citlivost senzoru fotoaparátu na světlo. Fotony dopadající na světločivnou buňku senzoru generují elektrický náboj. Ten je následně převeden na pixelovou hodnotu fotografie pomocí funkce (tzv. převodní charakteristika) simulující logaritmickou odezvu lidského oka na jas. Při zvýšení hodnoty ISO je stejný elektrický náboj převeden na vyšší pixelovou hodnotu. Zvýšíme-li ISO dvojnásobně (např. z hodnoty 100 na 200), získáme stejně exponovanou fotografii, jako kdybychom vyfotili scénu s dvojnásobným jasem. Stejný efekt má také dvojnásobné prodloužení expozičního času nebo odclonění o jeden krok (snížení clonového čísla 1.4 krát, což odpovídá dvojnásobnému zvětšení plochy otvoru clony). Zvýšení ISO umožňuje získat správně exponovanou fotografii i při horších světelných podmínkách.

Zvýšením ISO tedy dochází k zesílení analogového signálu senzoru před převedením signálu na pixelové hodnoty fotografie. Každé zesílení signálu s sebou ale nese snížení kvality, zejména zvýraznění šumu. Dá se říci, že zesilování signálu pomocí zvýšení hodnoty ISO při horších světelných podmínkách má stejný efekt jako zesilování signálu při zaznamenání scény senzorem malých rozměrů. V obou případech na sensor dopadne malé množství fotonů a výsledný obraz je vytvořen zesílením slabého zachyceného signálu.

Pro zajištění kvalitních snímků je potřeba nastavit ISO na nízké hodnoty. Maximální ISO, při němž ve fotografii ještě není patrné snížení obrazové kvality, je závislé na kvalitě snímače. Obvykle lze ISO zvyšovat až do hodnoty 400, aniž by byl v obraze patrný zvýšený šum. Správně nastavené ISO je minimální hodnota, která umožňuje při dané cloně a expozičním čase správně exponovat snímek. Teprve při zhoršených světelných podmínkách zvyšujeme ISO až do

hodnoty 400. Při předpokladu měnících se světelných podmínek během letu je možné zvolit automatické nastavení ISO. V každé fotografii se tak ISO může mírně lišit tak, aby každý snímek při pevně nastavené cloně a expozičním čase byl správně exponován.

### *Clona*

Clona je otvor, kterým vniká světlo do optické soustavy fotoaparátu. Nastavení clony ovlivňuje expozici a ostrost fotografie.

Množství světla dopadajícího na senzor je úměrné ploše otvoru clony. Při větším zaclonění dopadá na senzor méně světla. Velikost otvoru clony se vyjadřuje pomocí tzv. clonového čísla. Clonové číslo je poměr ohniskové vzdálenosti použitého objektivu a efektivního průměru clony (otvoru, kterým vniká světlo). Clonové číslo se obvykle mění v geometrické řadě, kdy každý následující člen má hodnotu 1.4 (tj.  $\sqrt{2}$ ) násobně větší než předcházející (1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22). Plocha otvoru clony je tak při zvětšení clonového čísla o jeden krok poloviční. Pro zachování stejné expozice při zvětšení clonového čísla o jeden krok je potřeba dvojnásobně prodloužit expoziční čas.

S rostoucí clonou se zvětšuje hloubka ostrosti fotografie, subjektivní zóna ostrosti před a za zaostřenou vzdáleností. Při minimální cloně bude ostrý pouze úzký pás kolem roviny zaostření, při zvyšování clony se zóna ostrosti rozšiřuje. Při velkých clonových číslech se může zóna ostrosti rozšířit na celý rozsah vzdáleností ve fotografii.

Clona ovlivňuje i kvalitu kresby objektivu. Při plně otevřené cloně se nejvíce projevují optické vady objektivu, při zaclonění se vliv optických vad snižuje. Vyšší clona ale nutně neznamená ostřejší obraz. Se stoupajícím clonovým číslem (menší otvor pro průchod světla) dochází k výraznějšímu vlivu difrakce a obraz ztrácí ostrost, zejména v zaostřené vzdálenosti. Nejostřejší fotografie tak dosáhneme při takovém zaclonění, kdy je minimalizováno souhrnné rozostření dané oběma vlivy. Tato hodnota zaclonění je označována termínem *sweet spot* a je individuální pro každý objektiv. Obvykle ale objektiv nejlépe vykresluje v oblasti středního zaclonění, při clonových číslech mezi 5,6 až 8.

Clonové číslo v rozsahu 4–5,6 je obvykle vhodné nastavení clony pro snímkování zemědělských kultur pomocí UAV. Tato clona je obvykle blízká sweet spot objektivu, což zaručuje optimální kresbu. Zároveň hloubka ostrosti pro snímkování zemědělských kultur nemusí být příliš velká, neboť se nepředpokládá velký rozsah vzdáleností fotoaparátů od objektů ve fotografii. Už při takto malém zaclonění bude hloubka ostrosti dostatečná na to, aby při snímkování standardních zemědělských kultur zóna ostrosti pojmulu jak plodiny, tak povrch terénu. Větší zaclonění s sebou nese jak postupně rostoucí vliv difrakce, tak nepříjemný efekt nutnosti prodlužovat expoziční čas či zvyšovat ISO pro docílení správné expozice.

### *Expoziční čas*

Expoziční čas ovlivňuje expozici fotografie jednoduchým způsobem: čím déle je senzor fotoaparátu exponován, tím více světla dopadne na snímač a tím je fotografie světlejší. Expoziční čas pro správnou expozici je nepřímě úměrný jas scéně – snížili-li se jas scéně na polovinu, je nutné prodloužit expoziční čas na dvojnásobek. Rizikem při použití delších expozičních časů je vznik pohybové neostrosti. Pro eliminaci neostrosti musí být expoziční čas natolik krátký, aby pohyb objektů v záběru nebyl během expozice pozorovatelný.

Při snímkování z bezpilotních prostředků je možné odhadnout maximální expoziční čas, při kterém nedojde pohybem dronu k pohybové neostrosti, z rychlosti letu a pozemní vzdálenosti vzorků (GSD). Aby pohyb nebyl ve fotografii patrný, je potřeba, aby vzdálenost, kterou bezpilotní prostředek urazí během exponování snímku, byl menší než polovina GSD. Maximální expoziční čas lze tedy vyjádřit jako:

$$t_{max} = \frac{GSD}{2 \cdot v}$$

kde *GSD* je pozemní vzdálenost vzorků (představuje lineární vzdálenost mezi středy sousedních pixelů na zemi) a *v* je rychlost bezpilotního prostředku. Při pořizování snímků s *GSD* 0,02 m z bezpilotního prostředku letícího rychlostí 5 m/s, je maximální expoziční čas zabezpečující neznamenatelnou pohybovou neostrost roven 1/500 s. Je potřeba počítat také s tím, že dochází nejen k lineárnímu pohybu posunem bezpilotního prostředku, ale také ke kývání,

případně rotaci. Obecně platí, že při pohybu bezpilotního prostředku by neměl být expoziční čas nikdy delší než  $1/400$  s, nanejvýš  $1/200$  s při použití gimbalu.

## Obrazový formát

Výstupem procesu exponování senzoru a zpracování signálu počítačem fotoaparátu je obrazový soubor. Standardním výstupním formátem fotografií je formát JPEG, který využívá stejnojmennou ztrátovou kompresi pro zmenšení datové velikosti souboru. Pro fotogrammetrické mapování je důležité maximalizovat kvalitu snímků a míru detailu. Při nastavování velikosti a kvality snímku proto vždy volíme maximální rozlišení snímku a nejvyšší kvalitu (nejmenší kompresi) obrazu.

Lepší fotoaparáty umožňují ukládat snímky také ve formátu nezpracovaného signálu ze snímače převedeného do digitální podoby (tzv. raw formáty). Jedná se o bezztrátovou formu uložení dat, která vyžaduje postprocessing (následně zpracování) v počítači, aby byla převedena do obrazového souboru. Konverze raw souborů do výsledné fotografie poskytuje vysoký stupeň uživatelské kontroly a umožňuje provádění editací bez destruktivních změn v obraze. Počítače navíc obvykle disponují lepším výpočetním výkonem a delším časem na zpracování než fotoaparáty, při zpracování raw fotografií tak mohou být aplikovány složitější a náročnější algoritmy odstranění šumu či doostření, navíc s plnou uživatelskou kontrolou, pro dosažení kvalitnějších fotografií s lepším vykreslením detailů. Raw formáty jsou schopné uchovat vyšší dynamický rozsah v porovnání s JPEG formátem. Dynamický rozsah scény je podíl mezi jasem nejsvětějšího a nejtmašího bodu scény. Dynamický rozsah snímku je podíl nejvyššího a nejnižšího jasu, které byly senzorem fotoaparátu zachyceny v jedné fotografii, aniž by byly namapovány na čistě bílou (přepal) nebo čistě černou barvu (žádný signál). Aby byla scéna správně exponována ve světlech i stínech, je potřeba, aby dynamický rozsah snímku byl větší, než je rozsah scény. V opačném případě dochází k přexponování (přepálení) jasných nebo podexponování tmavých míst scény – všechny vyšší jasy jsou namapovány na bílou, všechny nižší na černou barvu. Díky možnosti uchovat větší dynamický rozsah umožňuje raw formát při vhodné úpravě získat snímek s lepší kresbou detailů ve světlech a ve stínech. Nevýhodou raw formátů je výrazně větší datová



velikost souborů a tím nároky na uchování jak v kartě fotoaparátu, tak následně v počítači.

Pokud je fotoaparát vybaven možností ukládat data v raw formátu, je vhodné tuto možnost využít. Při následném zpracování je možné dosáhnout kvalitnějších výsledků, obvykle i při využití dávkového zpracování fotografií s jednotným nastavením editace a konverze.

## III.2 Postup snímkování pomocí UAV

### III.2.1 Plánování leteckých prací

V rámci plánování snímkování zájmového území musí pilot UAV provést následující bezpečnostní opatření:

- Zkontrolovat předpověď počasí pro daný den a čas v oblasti operace. Není možné provádět lety, pokud prší, sněží nebo vane silný vítr ( $> 12$  m/s). Předpověď počasí spolu s detailní předpovědí větru poskytuje webová služba a mobilní aplikace Windy nebo Windguru, podrobnou předpověď počasí nabízí také The Weather Channel.
- Prozkoumat předem oblast operace pomocí Google Earth, Google Maps nebo jakéhokoli jiného dostupného mapového zdroje, místních mapových dat, nebo pomocí plánovacího a řídicího letového softwaru.
- Vyhodnotit a naplánovat potenciální místa pro nouzová přistání pomocí plánovacího a řídicího letového softwaru. Dostupnost ploch vhodných pro nouzová přistání by měla být brána v potaz jako prioritní pro plánování letu. Pokud je to možné, místa vhodná pro nouzová přistání mohou být buď nahrána do systému. Pilot se s jejich umístěním má seznámit dopředu, aby se včasným vyhodnocením jejich vhodnosti předešlo problémům.
- Vzít v potaz potenciální hrozby a nebezpečné objekty (elektrické vedení, antény, stromy, budovy, chodci, doprava apod.). Všechny faktory jsou synchronizovány při plánování výchozí pozice a oblastí nouzového přistání.
- Ověřit, že operace není plánována v bezletové zóně nebo v zóně s omezením létání. Pro ověření lze využít webovou mapovou službu AisView, kterou provozuje Řízení leteckého provozu ČR, s.p.
- Ověřit, že operací nebudou narušeny lidské aktivity.

- Zkontrolovat, zda by jakákoli aktivita v oblasti mohla ovlivnit nebo zabránit operaci.
- Předem zvážit trvání a rozsah operace, a případně oznámit její konání oznámit příslušným úřadům minimálně 12 hodin před operací.
- Použít reflexní vestu, pokud bude operace probíhat na veřejném místě s pravděpodobným výskytem veřejnosti.

Výběr lokality pro pozemní stanici by se měl řídit pravidly vyplývající z doplňku X – Bezpilotní systémy předpisu L 2 – Pravidla létání vydaného Ministerstvem dopravy ČR, v platném znění.

- Při plánování lokality vzít do úvahy legislativní omezení provozování UAV (doplňk X, znění roku 2017):
  - Minimální vzdálenost od osob 50 m
  - Minimální vzdálenost od budov 100 m
  - Minimální vzdálenost od hustě zastavěného území 150 m
  - Neprovazovat let podél nadzemních dopravních staveb, inženýrských a telekomunikačních sítí
  - Výhled na UAV po celou dobu naplánovaného letu
- Pro analýzu nového operačního místa použít Google Earth nebo jiný dostupný mapový podklad oblasti. Za pomoci mapových informací vyhodnotit možnosti a alternativy (výchozí poloha, nouzové přistávací plochy) spolu s potenciálními hrozbami (elektrické vedení, antény, stromy, budovy, doprava, lidé, nemocnice, letiště apod.). Synchronizovat všechny faktory pro stanovení předběžného plánu zahrnujícího výchozí polohu (jednu nebo více alternativních) a nouzové přistávací plochy.
- Pro zvýšení efektivity leteckého mapování je možné před zahájením leteckých prací vytvořit mapu vzdušného prostoru zobrazující rozsah potenciálních operačních míst splňující podmínky pro umístění operačního místa pro mapovanou lokalitu, zejména přímý výhled na UAV během letu. Tato mapa je vypočítána na základě digitálního modelu povrchu.

Přímo na místě je nutné ověřit, zda bylo teoretické plánování operace provedeno dobře a zda nebyly narušeny podmínky provedení letu:

- Ověřit skutečné počasí v daný čas na místě letu. Pokud prší, sněží nebo vane silný vítr (> 12 m/s), ukončit naplánovaný let.

- Ověřit, že nedošlo ke změnám v charakteru místa. Změnit letový plán a umístění pozemní stanice a nouzových přistávacích ploch, pokud byla zjištěna nějaká změna (nové budovy, stavební práce, práce na silnici, společenské akce apod.).

### **III.2.2 Vykonání leteckého snímkování**

#### **Příprava a kontrola vybavení před odjezdem do terénu**

Před odjezdem do terénu, nejlépe den před operací zkontrolovat veškeré vybavení, které bude použito:

- Zkontrolovat UAV – funkčnost motorů, vrtule bez poškození, ramena, správné připevnění a připojení všech součástí.
- Zajistit plné nabití baterií pro UAV a pro dálkové ovládání.
- Zkontrolovat aktuálnost firmwaru v UAV i vysílači a kompatibilitu verzí. Zkontrolovat funkčnost softwaru pro plánování letu.
- Zkontrolovat spojení mezi UAV a PC nebo mobilním zařízením.
- Zkontrolovat fotoaparát – plné nabití baterií, náhradní baterie podle rozsahu operace, paměťové karty s dostatečnou kapacitou, funkčnost zařízení pro spouštění snímkování.
- Zkontrolovat počítač – plně nabité baterie, dostatečná kapacita disku pro zálohování fotografií, spojení s UAV.

Pro usnadnění práce v terénu je vhodné dopředu naplánovat a uložit letovou trasu. Letová trasa má být editovatelná, aby mohla být na místě upravena, budou-li v terénu zjištěna fakta znemožňující let po původní naplánované trase.

Připravit a zkontrolovat další vybavení, bude-li potřeba – terče pro pozemní kontrolní body, GNSS přístroj pro zaměření pozic kontrolních bodů apod.

#### **Předletová příprava v terénu**

- Pilot posoudí svou kondici a zhodnotí, zda je schopen provést plánovaný úkol. V případě, že aktuální zdravotní stav a kondice pilota může ovlivnit bezpečnost letu, let by měl být odložen.

- Zkontrolovat, že je vše podle plánu, předpověď počasí souhlasí a nehrozí žádná nová rizika.
- Zaznamenat pozici GPS.
- Provést kalibraci kompasu UAV.
- Zkontrolovat, že veškeré vybavení, které má být použito, je na místě a povést jeho předletovou kontrolu:
  - Správně upevněná a zapojená baterie.
  - Správně upevněné motory, vrtule, kryty.
  - Správné uchycení ramen.
  - Funkční radiové a datové spojení.
  - Zkontrolovat upevnění fotoaparátu k UAV, přítomnost paměťové karty, zaostření, expoziční parametry.
  - Vše probíhá podle letového plánu, ovládací software a UAV je připraven a spojení je navázáno.
  - UAV má zafixovanou GPS pozici.
  - Je vydán signál, že UAV je připraveno ke startu.

### **Provedení snímkovacího letu**

- UAV je připraven ke vzletu na zemi ve výchozí pozici.
- Do UAV je nahrána letová trasa pro sběr dat.
- Zaznamenání výchozí pozice (Home point) a automatický nebo manuální start UAV. V případě komplikovanějších podmínek (blízkost překážek, vítr) je doporučeno provést vzlet UAV manuálně a automatický pohyb UAV zahájit v bezpečné vzdálenosti od překážek.
- UAV letí na počáteční bod trasy definovaný pozicí a výškou.
- Automatické nebo manuální řízení UAV nad oblastí letu během sběru dat.
- Po dokončení sběru dat automatický návrat do výchozí pozice (Home Point).
- Ověřit, že je na výchozí pozici, vše připraveno na přistání. Automatický nebo manuální přistávací postup.
- Odpojit baterii ihned po přistání.

### **Protokolování a stažení dat**

- Po ukončení mise UAV náležitě uložit do přepravního/skladovacího boxu.
- Zaznamenání letu. Záznam o letu obsahuje všechny nezbytné informace (datum a čas, letový čas, poznámky, povětrnostní podmínky, odezvu UAV) a

popis neobvyklých situací a nežádoucích incidentů. Některé modely UAV podrobně zaznamenávají celý průběh letu. Tyto záznamy slouží jako letová kniha a není potřeba vytvářet další letový protokol.

- Zpět v kanceláři všechna letová data stáhnout z UAV pomocí paměťové karty, Bluetooth nebo přes USB připojení, letovou zprávu zapsat a archivovat ve složce z dané mise.
- Všechny snímky uložit do PC pro editaci a zpracování.
- Provést technickou kontrolu UAV a ověřit, že je připraven pro další úkol.

### **Hlášení havárií, nesprávného chování letounu a různých typů selhání**

- V případě nehody, kde je zraněn člověk, by měla být kontaktována zdravotnická služba a policie, a o nehodě by měl být okamžitě informován UCL nebo jiný orgán, od kterého má subjekt provádějící monitoring povolení k použití UAV.
- V případě nehody pouze s materiální škodou by měli být kontaktováni všichni zúčastnění (poškozený, vlastník pozemku, policie, hasiči atd.)

## **III.3 Zpracování snímků**

### *Zálohování*

Před zahájením zpracování fotografií je doporučeno zálohovat celou sadu pořízených snímků na externí disk, server nebo do cloudu pro případ, že by soubory byly během manipulace poškozeny nebo ztraceny.

### *Export z raw formátu*

Pokud byly snímky zaznamenány v tzv. raw formátu, je potřeba před dalším zpracováním provést tzv. postprocessing a následně fotografie vyexportovat do běžně zpracovatelného formátu JPEG pomocí vhodného softwaru (Zoner Photo Studio, Adobe Photoshop, Adobe Phtoshop Lightroom, příslušný software dodávaný výrobcem fotoaparátu). Při exportu raw souborů je nutné dbát zejména na správné nastavení redukce šumu, která při snímání do formátu JPEG probíhá automaticky ve fotoaparátu. Nízká úroveň redukce šumu může mít za následek zhoršenou úspěšnost automatické detekce identických bodů ve snímcích v důsledku narušení charakteristických skupin pixelů šumem; naopak příliš silná filtrace šumu rozostřuje hrany a snižuje úroveň detailu ve snímku.

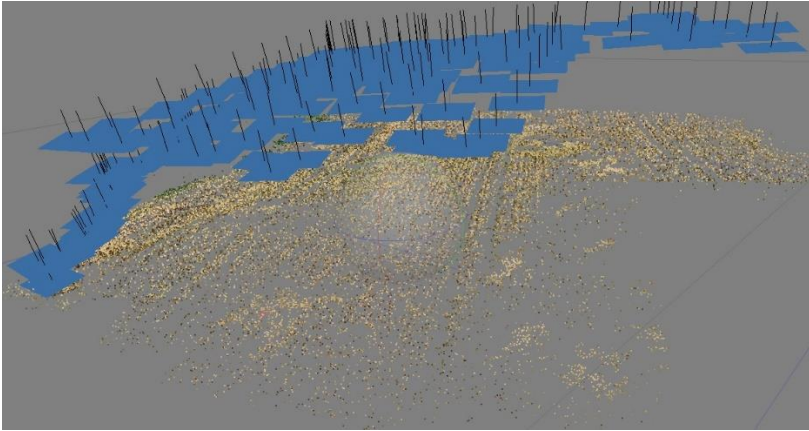
Vhodné je před exportem provést vylepšení a vyrovnaní jasů snímků, zejména pokud byly expoziční parametry nastaveny manuálně a v průběhu snímkování došlo ke změně světelných podmínek. Pro zpracování většího počtu snímků je vhodné využít automatické dávkové zpracování raw fotografií.

#### *Odstranění nekvalitních fotografií*

Přítomnost rozmazaných nebo nekonzistentních fotografií ve zpracovávaném souboru může negativně ovlivnit zarovnání celé sady fotografií před tvorbou trojrozměrného bodového mračna nebo ortomozaiky. Před samotným zahájením zpracování fotografií je doporučeno nekvalitní fotografie odstranit. Pro identifikaci rozmazaných fotografií ve větších souborech mohou být využity funkce automatické detekce rozmazání umožňující identifikovat potenciálně problematické fotografie.

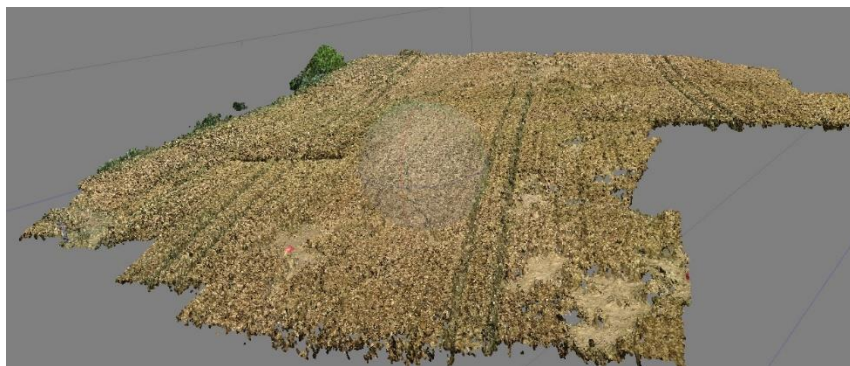
#### *Zarovnání fotografií a tvorba bodového mračna*

Zarovnání pořízených fotografií a vygenerování trojrozměrného bodového mračna je realizováno pomocí některého z komerčně nebo volně dostupných programů pro blízkou průsekovou fotogrammetrii. V roce 2017 jsou k dispozici komerční software Agisoft PhotoScan, RealityCapture nebo Pix4D nabízející desktopový software i cloudovou službu zpracování dat. Z nekomerčních produktů lze využít programy VisualSFM nebo MicMac. Samotný proces zpracování fotografií a vytvoření trojrozměrného bodového mračna je závislý na zvoleném softwaru. Podrobný postup a možnosti nastavení jsou popsány v manuálu konkrétního softwaru.



*Obrázek 5 Pozice fotoaparátu během snímkování a mračno uzlových bodů (tie points)*

Postup tvorby bodového mračna je prakticky totožný pro všechny programy. V první fázi je vytvořeno trojrozměrné mračno uzlových bodů (tzv. tie points) nalezených pomocí algoritmů SIFT, SURF apod., které slouží pro zarovnání pořízených fotografií. Na základě vybraných bodů je možné optimalizovat zarovnání fotografií. Po zarovnání fotografií je vygenerováno husté bodové mračno podrobných bodů. Každý bod je definován souřadnicemi v 3D prostoru a souřadnicemi v barevném prostoru (obvykle RGB) definujícími barvu bodu. Body hustého bodového mračna reprezentují povrch objektů ve snímcích v trojrozměrném prostoru a mohou sloužit pro rekonstrukci trojrozměrné struktury lesních porostů nebo pro odvození digitálního modelu povrchu (DSM – digital surface model) a digitálního modelu terénu (DTM – digital terrain model). V dalším postupu je z trojrozměrného mračna bodů vygenerována polygonová síť (mesh) představující generalizovaný povrch snímaných objektů. Na polygonovou síť je namapována textura objektů získaná z fotografií a následně je vypočítán svislý průmět obarvené sítě do horizontální roviny, tedy ortomozaika. Ortomozaika představuje obrazovou mapu snímaného území po odstranění geometrického zkreslení způsobeného projekcí fotografovaných objektů na senzor a geometrickou distorzí objektivu.



*Obrázek 6 Bodové pole popisující trojrozměrné pozice povrchu objektů*

### *Georeferencování*

V případě, že jsou pořízené snímky geotagované (je známa pozice jejich pořízení, nejčastěji ve formě GPS souřadnic zaznamenaných v EXIFu fotografie), probíhá georeferencování bodového mračka i ortomozaiky automaticky během zpracování fotogrammetrickým softwarem. Výsledný produkt je pak lokalizován v rámci globálního souřadnicového systému.

Pro fotografie bez zaznamenané pozice je nutné provést georeferencování pomocí tzv. vlíčovacích bodů. Jedná se o značky jednoznačně identifikovatelné na snímcích, jejichž přesná pozice v polohovém a výškovém souřadnicovém systému může být určena pomocí pozemních metod měření. Jako vlíčovací body mohou být použity jednoduché kříže, které jsou identifikovatelné i při malém prostorovém rozlišení snímků (Mikita, Janata, & Surový, 2016; Puliti et al., 2015), nebo unikátní markery, které poskytuje např. software Agisoft PhotoScan. Tyto markery jsou ve snímcích manuálně nebo automaticky (ve druhém případě) identifikovány a jsou jim přiřazeny souřadnice požadovaného souřadnicového systému.

Pro dostatečné prostorové určení a ortorektifikaci produktů je potřeba, aby vlíčovací body byly rozmístěny rovnoměrně po celém rozsahu snímaného území; především je potřeba zajistit přítomnost vlíčovacích bodů na okrajích snímkaného území, neboť extrapolace transformačních funkcí mimo rozsah daný měření může způsobit chyby vysokých hodnot v kalibraci a



ortorektifikaci. Teoreticky je minimální konfigurací trojice vlíčovacích bodů netvořících přímku. V praxi jsou používány minimálně čtyři vlíčovací body v rozích snímkaného území s preferencí dalších podpůrných vlíčovacích bodů uvnitř plochy pro malá území (do 0,5 ha); v případě větších ploch roste i počet vlíčovacích bodů.

Vlíčovací body jsou automaticky nebo manuálně identifikovány ve fotografiích během jejich zpracování fotogrammetrickým softwarem. Změřené 3D pozice vlíčovacích bodů jsou vloženy do softwaru a slouží k provedení korekcí automatického zarovnání snímků a k referencování výsledného bodového mračka a ortomozaiky.

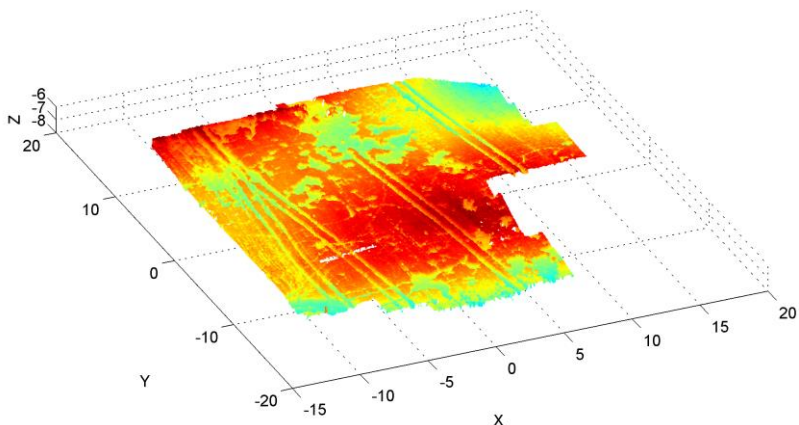
Georeferencovaná ortomozaika může být zobrazena pomocí GIS programů nebo webových mapových služeb přímo na základní nebo letecké podkladové mapě, což poskytuje možnost prohlížení a vyhodnocení ortomozaiky v prostorovém kontextu a provedení dalších analýz.

Kvantifikace poškození zemědělských kultur zvěří

#### *Popis struktury trojrozměrného mračka bodů*

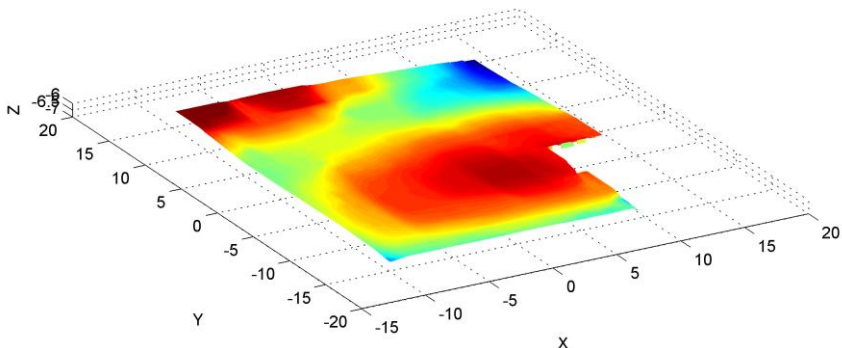
Mračko bodů ze snímků zvěří částečně poškozené zemědělské kultury obsahuje body reprezentující půdní povrch pole i povrch plodiny. V těch částech kultury, kde nedošlo k poškození plodiny zvěří, je oblak bodů tvořen především body reprezentující vrcholové části rostlin. Značná hustota kultury pšenice omezuje viditelnost do nižších úrovní struktury a na povrch terénu, a tím do značné míry eliminuje možnosti nalezení identických bodů v těchto úrovních a výpočet jejich 3D pozic.

V místech zálehů zvěře a vyšlapaných pěšinek, kde je plodina polámana a leží na půdním povrchu, reprezentují body vytvořeného 3D bodového pole povrch poškozené zemědělské plodiny, který je prakticky totožný s povrchem terénu. Body na terénu převažují také v kolejnicích vytvořených v poli pro udržování kultury během jejího pěstování.



*Obrázek 7 Výšková mapa popisující skutečný povrch zemědělské kultury v 3D pohledu*

Zjednodušeně se dá říci, že povrch 3D bodového pole reprezentujícího poškozenou zemědělskou kulturu je tvořen dvěma plochami: plochou reprezentující povrch terénu a plochou reprezentující generalizovanou obálku povrchu plodiny; tato drhá plocha v 3D oblaku bodů chybí v místech, kde došlo k poškození plodiny zvěří, dále v místech, kde plodina nevzešla a plochách určených pro jiné účely (koleje určené pro pojezd zemědělské techniky). Vzdálenost těchto dvou ploch odpovídá horní výšce plodiny. Ta je prostorově proměnlivá (obvykle nižší na krajích pole), avšak díky homogenitě výšek sousedních rostlin je poměrně konstantní v malém měřítku. Generalizovaná výška plodiny, jakožto rozdíl výšky horní vrstvy plodiny a výšky terénu, tak může být poměrně dobře modelována spojitou plochou.



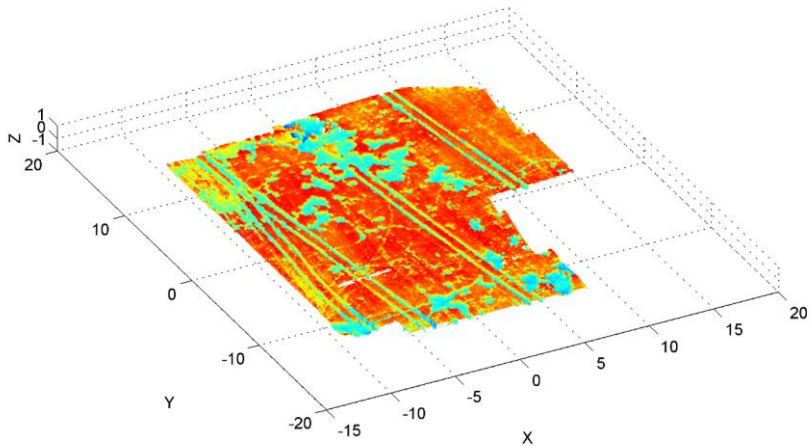
*Obrázek 8 Hypotetická výšková mapa povrchu nepoškozené plodiny (CHM) ve 3D pohledu.*

Detekce a určení rozsahu poškození plodiny v zásadě spočívá v automatické segmentaci 3D bodového mračka a klasifikaci těchto segmentů do dvou tříd: části, kde je oblak bodů tvořen především body reprezentujícími vrcholové části rostlin, a části poškozené zvěří s výškou odpovídající výšce terénu, kde plodina byla sešlapána zvěří k půdnímu povrchu.

Model skutečného povrchu pole (DSM – digital surface model) je vytvořen jako čtvercový rastr pokrývající celé zájmové území (plochu zemědělské kultury) s buňkami o rozměru 0,05 m. Pro každou buňku je vypočítána hodnota výškové mapy povrchu pole jako medián souřadnic Z (výšek) všech bodů nalezených v rozsahu dané buňky. V místech nepoškozené plodiny je většina bodů umístěna na vrcholových částech plodiny a medián výšek se pohybuje blízko střední výšky plodiny v dané buňce. Naopak v poškozených částech je převážná část bodů umístěna na povrchu terénu; medián jejich výšek tedy popisuje výšku terénu.

Výšky v takto vytvořeném modelu povrchu jsou determinovány součtem dvou složek: výšky terénu a výšky plodiny v každé buňce. Aby byl eliminován vliv sklonu a zvlnění terénu, je potřeba od této výškové mapy odečíst výškovou mapu terénu (DTM – digital terrain model). Ukázalo se, že vzhledem ke značné hustotě zemědělských kultur je počet bodů přímo na terénu mizivý; vytvoření

modelu terénu z bodového mračna je velmi komplikované. Vliv terénu může být eliminován pomocí opačného přístupu: vytvořením hypotetické výškové mapy povrchu plodiny (CHM – crop height model) pro nepoškozenou plodinu.



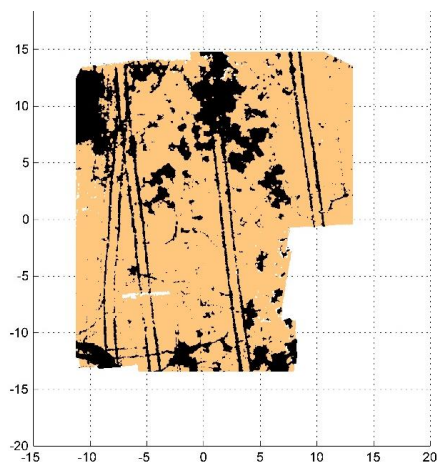
*Obrázek 9 Mapa výšek plodiny ve 3D pohledu*

Pro každou buňku výškové mapy povrchu nepoškozené plodiny je její hodnota definována jako kvantil teoretického rozdělení výšek v blízkém okolí buňky, aby byla eliminována možnost vzniku výškové mapy z extrémních a odlehlých hodnot. Výsledky analýzy volby kvantilu ukazují, že kvantilový odhad je robustní metoda a lze použít libovolnou hodnotu kvantilu v rozsahu 0,85 a 0,99; volba hodnoty v tomto rozsahu má zanedbatelný efekt na výslednou mapu povrchu. Pro klasifikaci byla využita hodnota kvantilu 0,95. Blízké okolí musí být určeno tak, aby jeho rozměr byl větší než polovina rozměru maximální souvislé poškozené plochy, aby i největší poškozená plocha byla správně pokryta modelem povrchu nepoškozené plodiny. Na druhou stranu, čím větší okolí buňky je použito k výpočtu hodnoty buňky, tím více generalizovaná je vznikající výšková mapa; terénní změny menšího měřítka není generalizovaná mapa schopna podchytit. Optimální velikost kernelu závisí na podmínkách konkrétního území – na velikosti poškozených ploch a členitosti terénu.

Pro aplikaci kvantilového filtru je vytvořeno pohyblivé okno, tzv. kernel, o velikosti odpovídající zvolenému rozměru okolí. Pro každou buňku je okno posouváno tak, aby daná buňka tvořila střed pohyblivého okna. Hodnota centrální buňky kernelu je pak odvozena jako teoretický kvantil pravděpodobnostního rozdělení odhadnutého z buněk překrytých tímto pohyblivým oknem.

Odečtením hypotetické výškové mapy nepoškozené plodiny od výškové mapy skutečného povrchu vzniká mapa výšek plodiny. Tato mapa se skládá v zásadě ze dvou rovin reprezentujících nepoškozenou plodinu s výškou přibližně nulovou a poškozené plošky, jejichž výška je nižší o průměrnou výšku plodiny. Buňky této mapy mohou být snadno rozděleny do dvou tříd na poškozené a nepoškozené plochy pomocí statistické metody K-mean clustering pro dvě třídy.

Výsledkem automatické segmentace mapy výšek plodiny je binární rastr popisující poškozená místa v povrchu zemědělské plodiny. Kromě skutečného poškození zemědělské plodiny ale výsledný rastr reflektuje také koleje pro pojezd zemědělské techniky a jiná místa bez vzešlé plodiny. Tato místa nemohou být přičtena k ploše plodiny poškozené zvěří, je proto nutné tato místa detekovaného poškození plodiny z kvantifikace poškození vynechat. Eliminovat z mapy poškození koleje pro pojezd techniky je možné buď manuálním výběrem v GIS softwaru, nebo pomocí dalších obrazových operací, jmenovitě pomocí operací dilation a erosion (rozšíření a následné zmenšení) oblastí klasifikovaných jako nepoškozená plodina v rozsahu odpovídajícímu polovině tloušťky kolejí, které jsou ze segmentovaného obrazu odstraňovány.



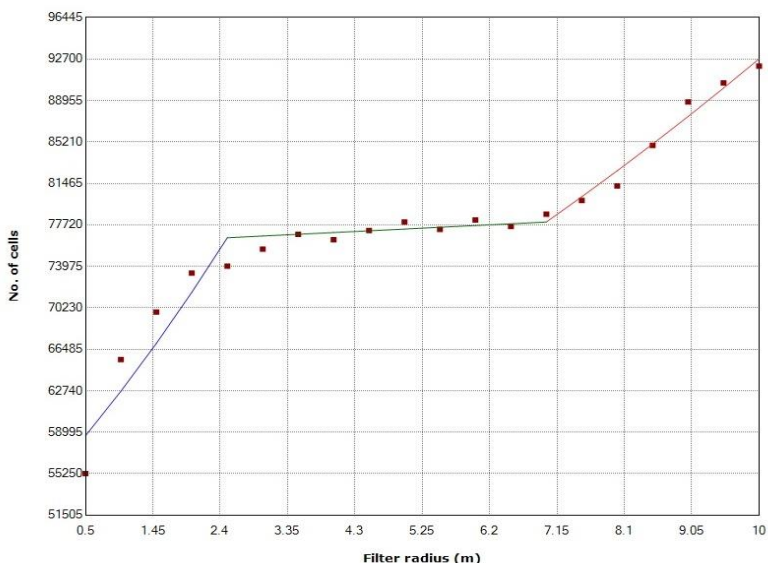
*Obrázek 10 Výsledek automatické klasifikace poškozených (černá) a nepoškozených (oranžová) ploch v zemědělské kultuře*

#### *Nalezení optimálního poloměru kvantilového filtru*

Poloměr kvantilového filtru významně ovlivňuje výsledek klasifikace. Optimální poloměr filtru je dán dvěma parametry: rozměr poškozených ploch v kultuře a složitost terénu. Stanovení optimálního poloměru filtru pro danou lokalitu je možné provést pomocí analýzy trendu rostoucího počtu buněk klasifikovaných jako poškozená plodina s rostoucím poloměrem filtru.

Při použití malého poloměru filtru neobsahuje kernel vytvořený pro buňky uprostřed poškozených oblastí žádnou buňku nepoškozené plodiny a nelze zde detekovat rozdíl mezi skutečným povrchem plodiny a teoretickým povrchem. Tyto buňky budou mylně klasifikovány jako nepoškozené. Celkový počet buněk klasifikovaných jako poškození je nízký. S rostoucím poloměrem filtru počet buněk správně klasifikovaných jako poškozená plodina se bude postupně zvětšovat. Poté, co je již veškeré poškození správně detekováno, další rozšiřování filtru nemá na klasifikaci vliv až do dosažení takového poloměru filtru, kdy se projeví terénní nerovnosti a nižší části pole jsou nesprávně klasifikovány jako poškozené. Při opakované klasifikaci s proměnlivým poloměrem filtru lze v postupném nárůstu počtu buněk klasifikovaných jako poškozené pozorovat dva segmenty strmého gradientu, kdy jsou některé buňky

mylně klasifikovány, a mezi nimi oblast s žádným nebo malým sklonem, která reprezentuje rozsah vhodných poloměrů filtru pro korektní klasifikaci.



#### IV. Srovnání novosti postupů

Škody na kulturách plodin na zemědělských pozemcích jsou obvykle kvantifikovány pomocí kvalifikovaného odhadu při pozemním pozorování. Zvláště u větších kultur je odhad rozsahu poškození obvykle založen na pozorování limitovaného vzorku, který nezaručuje reprezentativnost pro celou zemědělskou kulturu. Takový odhad může být značně zavádějící.

Letecké snímky s dostatečným prostorovým rozlišením poskytují ucelený přehled aktuální situace a umožňují vyhodnotit výši škod po kalamitě v celém rozsahu zemědělské kultury nebo většího zájmového území. Ve srovnání s metodou kvantifikace pomocí podrobné pochůzky zájmovým územím přináší popsané postupy výraznou časovou úsporu a eliminují nutnost vstupovat do kultury a tím navyšovat aktuální rozsah poškození.

Oproti klasickému pilotovanému letadlu nabízí UAV velmi vysokou flexibilitu nasazení. UAV je připraveno k letu ihned po nabití baterií a naplánování tras a operačních míst, a může tak být nasazeno v řádu hodin od okamžiku, kdy byla zjištěna potřeba zmapovat poškození, přičemž na místo operace je dovezeno osobním automobilem. Možnost startu UAV je omezena aktuálními povětrnostními podmínkami, zejména srážkami, mlhou a silným větrem. Na druhou stranu, vzhledem k tomu, že snímkování je prováděno v malé výšce, obvykle do 100 m nad terénem, oblačnost není překážkou snímkování.

Další výraznou výhodou nasazení UAV je vysoké prostorové rozlišení snímků, nepřekonatelné běžným leteckým snímkováním. Prostorové rozlišení, závislé na konkrétním snímači a letové výšce, dosahuje obvykle centimetrových až subcentimetrových hodnot a umožňuje tak podrobné hodnocení nasnímané oblasti.

Omezením využití UAV je doba letu limitovaná kapacitou baterií a maximální vzdálenost UAV od operátora limitovaná legislativou nedovolující let UAV mimo vizuální kontakt operátora. Avšak i při uvažování těchto omezení, efektivní letové doby 25 minut a maximální vzdálenosti od operátora 500 m je možné během jednoho letu získat obrazová data pro tvorbu ortomozaiky na území o rozloze až 40 ha.

Komerčně dostupná a snadno ovladatelná bezpilotní letadla jsou technologií několika posledních let, která pozvolna nachází široké uplatnění v ekologických i průmyslových aplikacích. Pro operativní letecké snímkování za účelem kvantifikace škod v zemědělských kulturách v současnosti neexistuje alternativní technologie, která by umožnila provést snímkování se srovnatelným prostorovým rozlišením a časovou flexibilitou. Tato metodika popisuje postup operativního snímkování a následného odhadu škod s využitím techniky dostupné v roce 2017. Zároveň jsme svědky překotného vývoje v oblasti bezpilotních letadel, obrazových sensorů, algoritmů zpracování obrazu i komerčního softwarového vybavení. Je proto potřeba sledovat vývoj a v souladu s technologickým pokrokem inovovat i popsané postupy.



## V. Popis uplatnění certifikované metodiky

Detailní informace o poškození zemědělských kultur zvěří a změnách poškození v čase jsou základem pro nárokování náhrad škod. Popsané postupy jsou uplatnitelné pro mapování poškození zemědělských plodin v libovolném měřítku, časově a finančně efektivní jsou ale při uplatnění v lokálním měřítku předem vytipovaných kultur. Časová i finanční efektivita je dána rozsahem území určeného ke zmapování. Maximální rozsah území zmapovaného popsány postupy během jednoho dne činí přibližně 200 ha, v závislosti na rozmístění mapovaných zemědělských kultur a komplikovanosti přesunů.

Metodika odhadu výše poškození zemědělských kultur zvěří pomocí RGB kamery a UAV může být uplatněna vlastníky nebo nájemci zemědělských pozemků pro doložení škod při podávání žádosti o náhradu škod. Zároveň může sloužit státní správě jako zdroj aktuálních údajů pro kontrolu vykazovaných škod. Uplatnění nalezne tato metodika také v oblasti vědy a výzkumu, kde se očekává další vývoj a zpřesňování uvedených postupů pro kvantifikaci poškození kultur zemědělských plodin.

## VI. Ekonomické aspekty

Postupy popsané v této metodice umožňují významně snížit náklady na provedení podrobného mapování poškození zemědělských kultur, které může být alternativně provedeno pomocí pozemního pozorování. Ekonomická výhodnost operativního snímkování pomocí bezpilotního letadla ve srovnání s pozemním průzkumem spočívá především ve výrazné redukci spotřeby pracovního času.

Fyzické zaměření poškození v modelovém území (kultura pšenice o rozloze přibližně 0,3 ha) pomocí GNSS přijímače trvalo několik hodin práce dvou osob a vyžadovalo velmi podrobnou pochůzku územím pro odhalení všech poškozených ploch. Mapování téže oblasti pomocí UAV včetně potřebné předletové přípravy a stažení dat bylo provedeno jednou osobou v čase kratším než hodina. Automatická analýza pořízených snímků trvala přibližně další hodinu. Časová úspora při použití popsanych postupů je mnohem výraznější

při mapování větších území. Během jednoho letu UAV v délce 30 min může být efektivně zmapováno až 20 ha zemědělské kultury. Kvantifikace rozsahu škod přímým měřením v tomto rozsahu se stejnou přesností by vyžadovala několikadenní práci. Během jednoho dne tak může být zmapováno území až o rozloze v řádu stovek hektarů.

Základem pro určení ekonomické náročnosti postupů je pořizovací cena samotného bezpilotního letadla a další fixní náklady na jeho provozování. Kompletní bezpilotní systém vybavený kamerou a přenosem obrazu na zem je v současnosti možné pořídit už v cenové hladině kolem 30 tis. Kč. Náklady na evidenci UAV a získání povolení k létání od UCL činí přibližně 5 tis Kč, roční náklady na pojištění odpovědnosti z provozu UAV dosahují přibližně 10 tis. Kč. Výrazným počátečním nákladem je pořízení software na zpracování snímků umožňující tvorbu bodových mračen a ortomozaiky, který je v řádu desítek tisíc korun. Náklady na samotné snímkování už jsou tvořeny téměř výhradně personálními náklady na operátora UAV. Vzhledem k možnému rozsahu zmapované oblasti pak tyto náklady nepřesahují řád desítek korun na hektar zmapovaného území.

Vzhledem k současnému trendu vývoje technických prostředků použitých v metodice lze očekávat možnost rychlejšího a podrobnějšího zmapování zemědělských kultur během letu i navýšení délky letu bezpilotních prostředků. V důsledku legislativních omezení ale nelze do budoucna počítat s velkoplošným mapováním poškození zemědělských kultur.

## VII. Seznam použité literatury

Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., Marshall, P., Tompalski, P., & Crawford, P. (2017). Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes a review and case study. *Forestry Chronicle*, 93, 71–81. <https://doi.org/10.5558/tfc2017-012>

Grenzdörffer, G., Engel, a, & Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *International*

*Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 1207–1213. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.41.4.287>

Herwitz, S. R., Johnson, L. F., Dunagan, S. E., Higgins, R. G., Sullivan, D. V., Zheng, J., ... Brass, J. A. (2004). Imaging from an unmanned aerial vehicle: Agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(1), 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.02.006>

López-Granados, F., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., de Castro, A. I., Mesas-Carrascosa, F. J., & Peña, J. M. (2016). Early season weed mapping in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps against weed thresholds. *Precision Agriculture*, 17(2), 183–199. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9415-8>

Mikita, T., Janata, P., & Surov, P. (2016). Forest stand inventory based on combined aerial and terrestrial close-range photogrammetry. *Forests*, 7(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/f7080165>

Nikolic, J., Burri, M., Rehder, J., Leutenegger, S., Huerzeler, C., & Siegwart, R. (2013). A UAV system for inspection of industrial facilities. In *2013 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1109/AERO.2013.6496959>

Rosnell, T., & Honkavaara, E. (2012). Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors*, 12(1), 453–480. <https://doi.org/10.3390/s120100453>

Thiel, C., & Schmillius, C. (2016). Comparison of UAV photograph-based and airborne lidar-based point clouds over forest from a forestry application perspective. *International Journal of Remote Sensing*, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1225181>

Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.009>

Wallace, L., Lucieer, A., Malenovsky, Z., Turner, D., & Vopěnka, P.

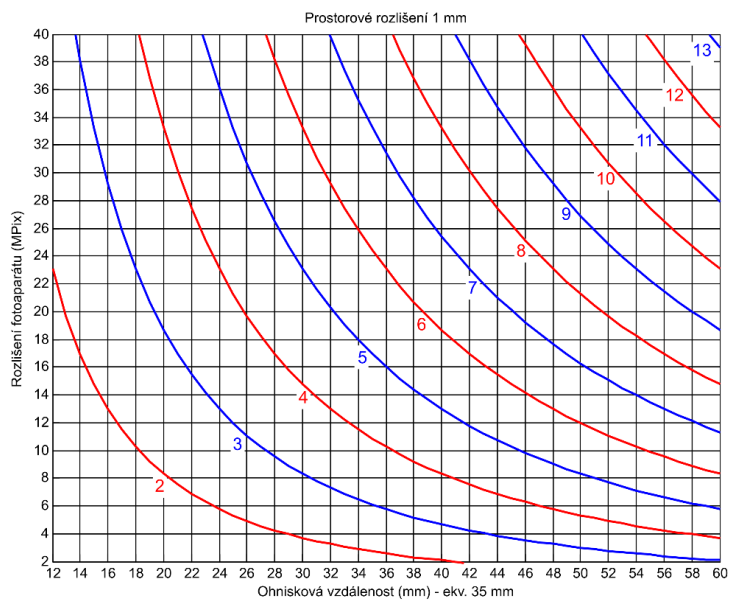
(2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/f7030062>

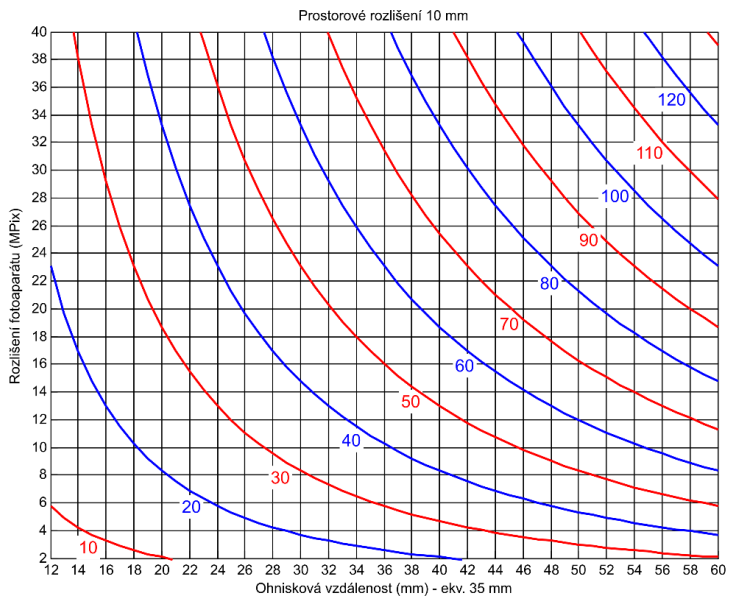
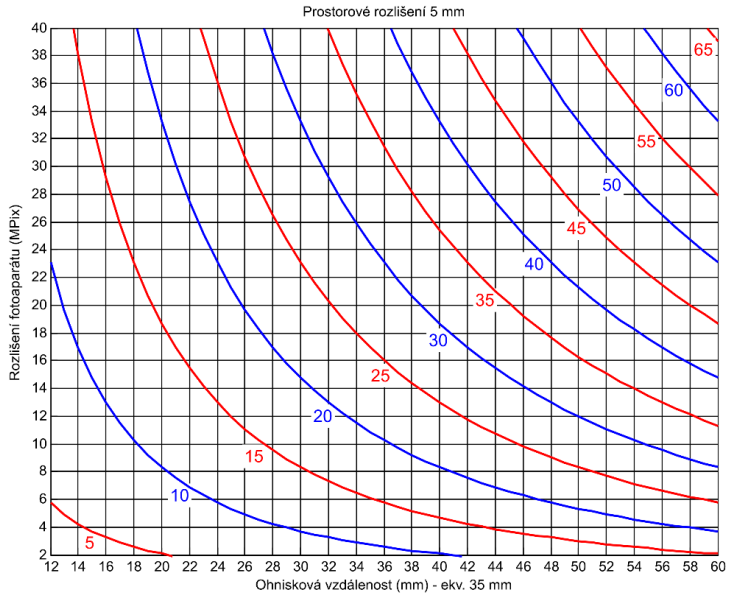
### **VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice**

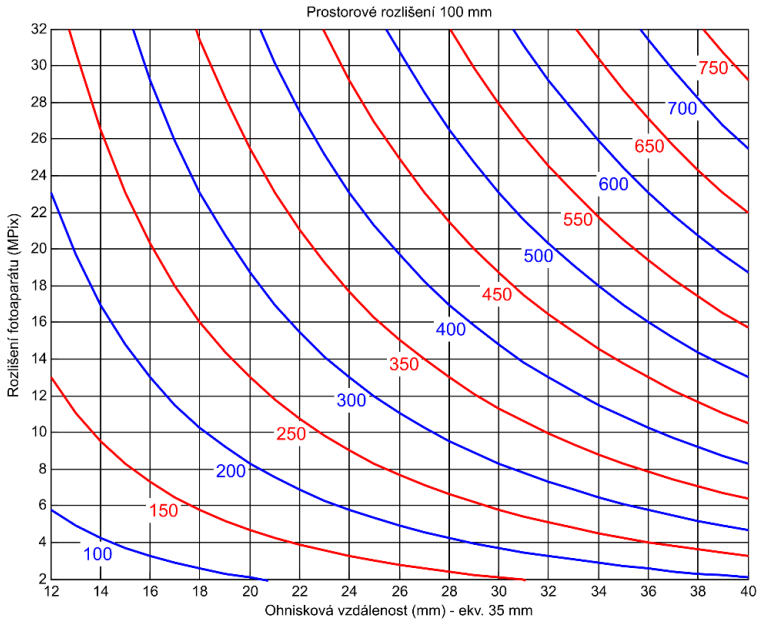
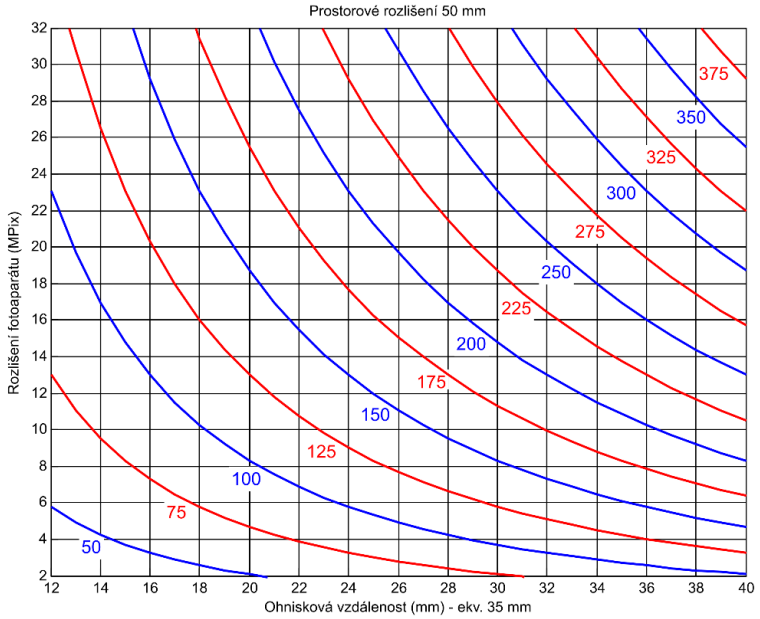
Kuželka, K., Surový, P. (2017) Automatic detection and quantification of wild game crop damage using an unmanned aerial vehicle (UAV) equipped with an optical sensor payload: a case study in wheat, *European Journal of Remote Sensing*, DOI: 10.1080/22797254.2017.1419442

## IX. Přílohy

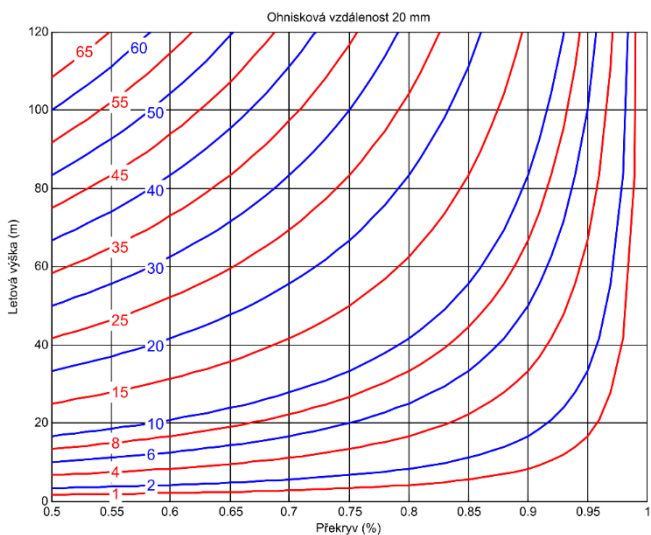
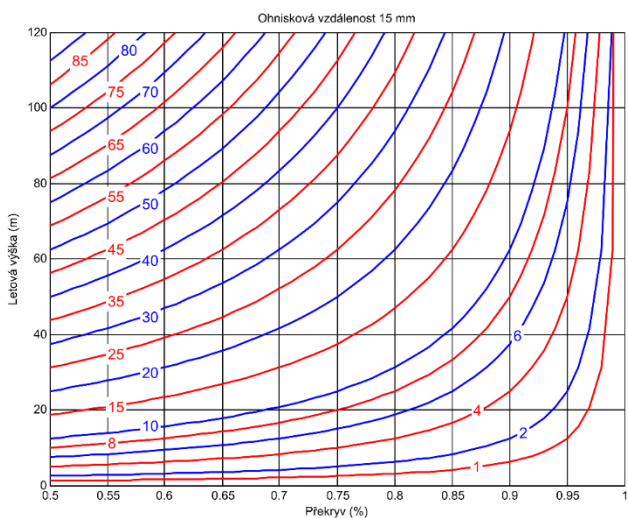
### IX.1 Grafy pro určení výšky letu na základě známých parametrů fotoaparátu pro požadovanou pozemní vzdálenost vzorků (prostorové rozlišení)



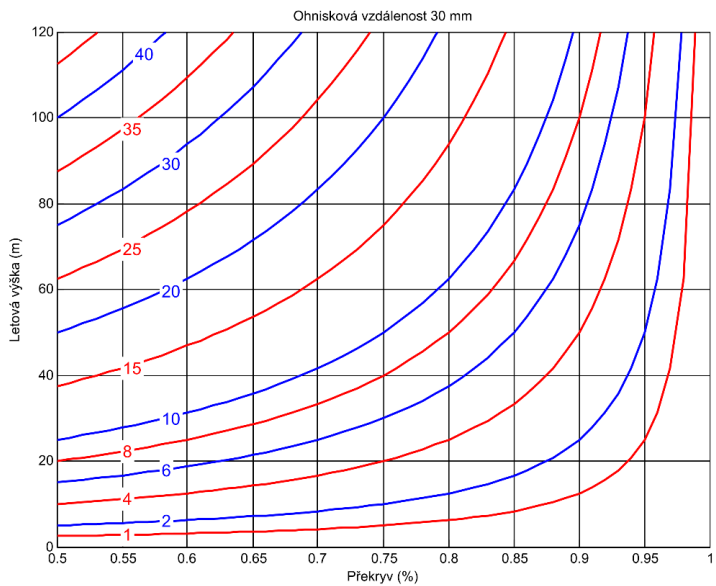
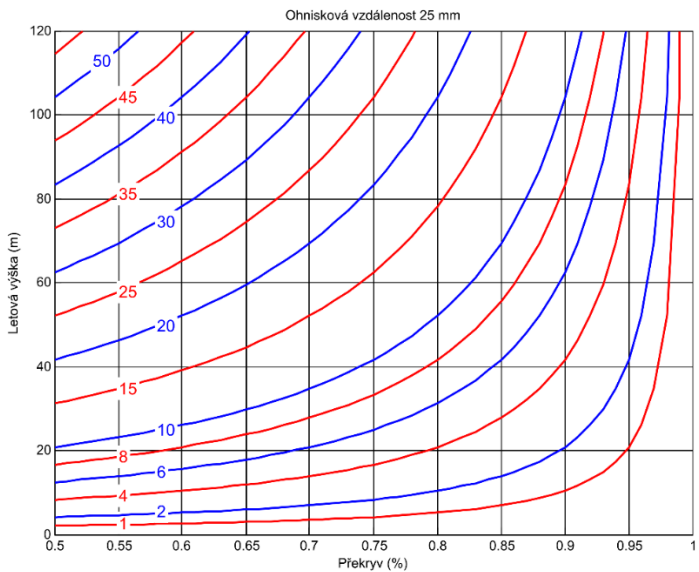


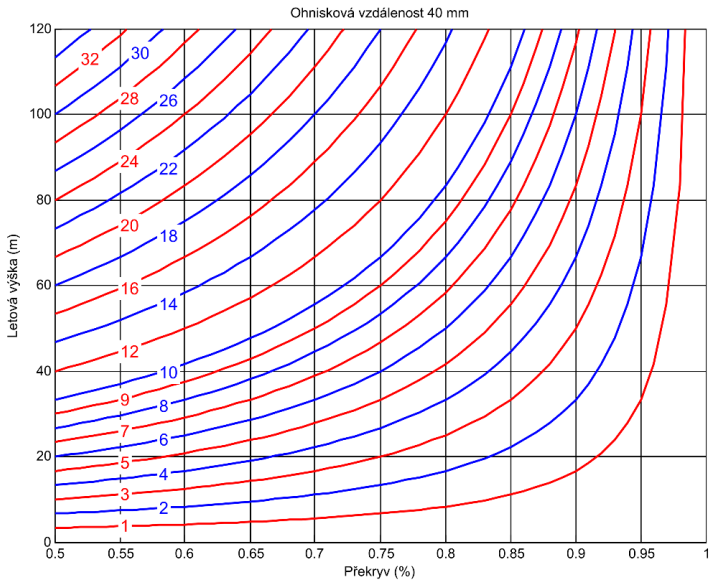
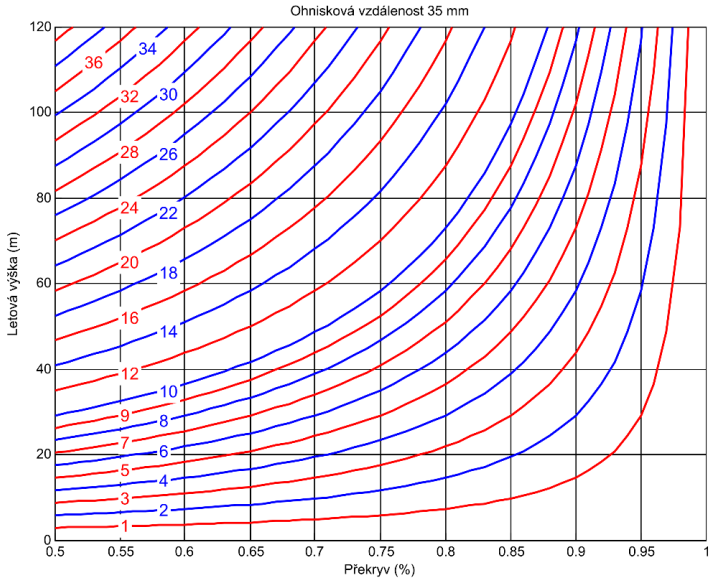


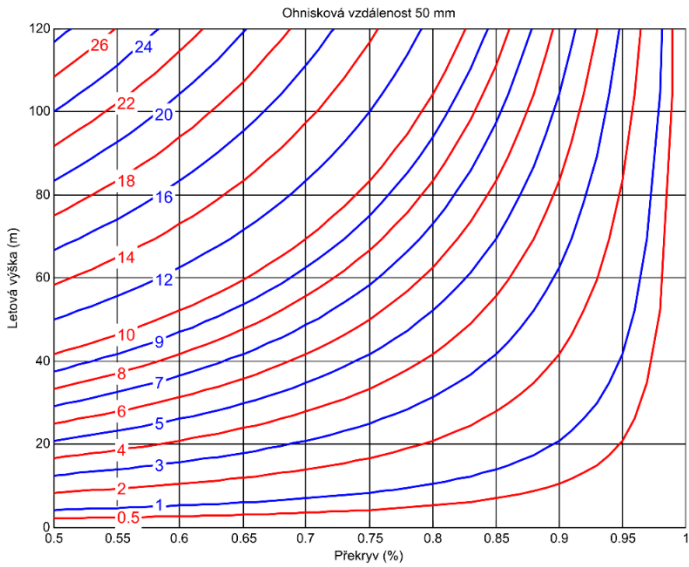
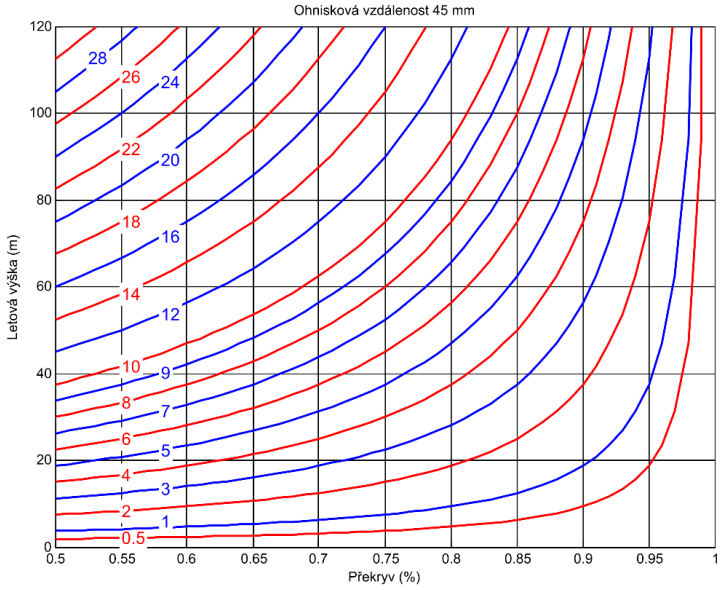
## IX.2 Grafy pro určení rychlosti letu na základě známých parametrů fotoaparátu pro požadovaný překryv snímků











### IX.3 Grafy pro určení rychlosti letu pro fotogrammetrické zjišťování trojrozměrné struktury lesa

