

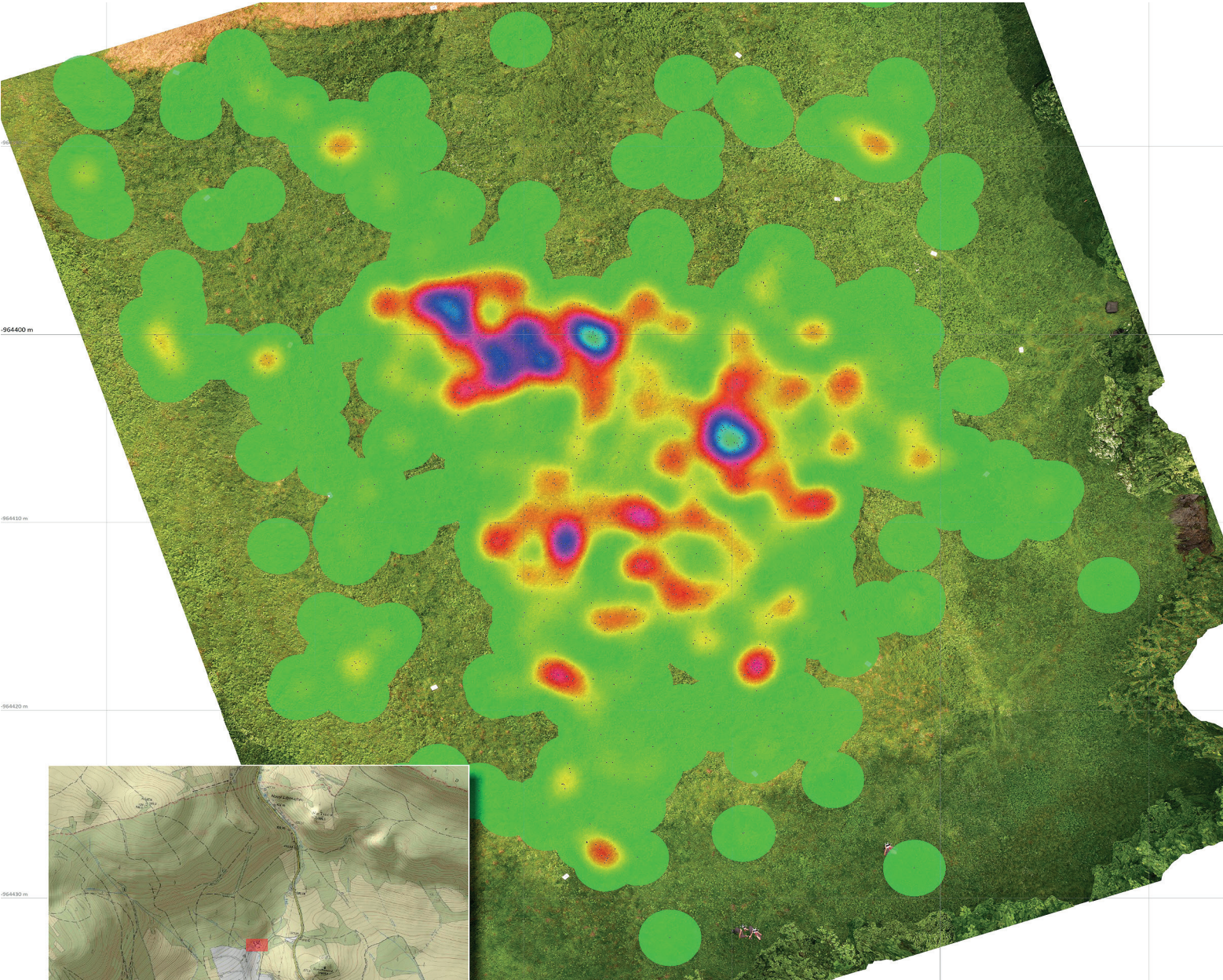
Využití bezpilotních prostředků v ochraně přírody

Vladimír Hůda, Jiří Bělohoubek

Použití čím dál dokonalejších bezpilotních prostředků – dronů – přináší v poslední době nové, mnohdy nečekané aplikace v řadě oborů lidské činnosti. Drony využívají filmaři, záchranáři, vojáci i policisté, jsou využívány při měření

v lomech i na stavbách. V poslední době se také objevují úvahy o využití dronů při monitorování stavu ovzduší nebo při expresním doručování zásilek. Ani ochrana přírody nezůstává stranou.

Obr. 1: Vstavačová louka Libouchec, mapa hustoty na podkladu fotomapy. Zpracoval Vladimír Hůda



Cíle výzkumu

Jednou z perspektivních oblastí využití dronů je sběr dat pro tvorbu digitálního modelu povrchu a přesných ortofotomap s vysokým rozlišením. Této oblasti dálkového průzkumu země se často říká blízká fotogrammetrie a v zahraniční literatuře též UAV (Unmanned Aerial Vehicle) photogrammetry.

Takové fotomapy mají potenciál stát se důležitým zdrojem dat v ochraně přírody. Umožňují zaznamenat a dále studovat například šíření invazních druhů, stav a změny přírodních biotopů, migrační trasy zvířat a mnoho dalších charakteristik. Fotomapy s vysokým rozlišením umožňují dokonce identifikovat na povrchu i velice malé objekty jako například květy rostlin.

V naší práci jsme se soustředili na ověření možnosti využití podrobných fotomap k přesnému mapování a dokumentaci populace chráněných druhů rostlin. Zaměřili jsme se na populaci bledule jarní (*Leucojum vernum*) v PR Arba v k.ú. Srbská Kamenice, okres Děčín, a populaci prstnatce májového (*Dactylorhiza majalis*) ve VKP Vstavačová louka u Libouchce, k.ú. Libouchec, okres Ústí nad Labem. Na začátku stála úvaha, zda by vysoce podrobné fotomapy mohly být základem pro monitoring výskytu populace chráněných rostlin. Cílem bylo prověřit možnosti tvorby takto podrobných fotomap, stanovit omezující podmínky pro jejich vytvoření, popsat charakter biotopu, který je vhodný pro takový způsob mapování a prozkoumat interpretační hodnotu získaných výsledků.

K tomuto účelu byly vytipovány dvě lokality s odlišnou charakteristikou porostu, rozlohou a četností výskytu zkoumaného druhu: přírodní rezervace Arba v obci Srbská Kamenice a Vstavačová louka u Libouchce. PR Arba je vlhkomilná louka v nivě říčky Kamenice, kde je dominantním druhem bledule jarní (*Leucojum vernum*). Vstavačovou louku u Libouchce tvoří podobný biotop s výskytem bohaté populace prstnatce májového (*Dactylorhiza majalis*) a dalších významných indikačních druhů (upolín evropský, ostřice bleďá, o. Hartmanova, prvosenka jarní, ocún jesenní, koromáč olešníkový atd.). Obě lokality jsou dlouhodobě sledovány a je na nich prováděn pravidelný management s cílem podpořit prosperitu chráněných druhů. Výsledky mohou být proto cenné i pro hodnocení managementu.

Sběr dat v terénu

Práce v PR Arba byly naplánovány a uskutečněny 31. 3. 2016 za zatažené oblohy s občas-



Obr. 2: Autoři při terénní práci v PR Arba. Foto archiv EASYmap, a. s.

nými přeháňkami. Práce na Vstavačové louce u Libouchce byly uskutečněny 24. 5. 2016 za polojasné oblohy bez deště. Vlastnímu sběru dat předchází příprava a plánování letu, což zahrnuje také zhodnocení výškových poměrů, rozlohy a identifikaci případných překážek či letových omezení. Předem je také zpravidla vytvořen letový plán, který bezpilotnímu prostředku říká, po jaké trase, jakou rychlostí a v jaké výšce má letět.

Rozlišení výsledné fotomapy je funkcí ohniska, velikosti obrazového snímače, počtu snímacích prvků a vzdálenosti kamery od povrchu. Čím podrobnější mapu požadujeme, tím níže musíme létat, nebo snímat objektivem

s delším ohniskem, nebo čipem s větším rozlišením. Je na výzkumníkovi, jakou kombinaci parametrů zvolí a jak naplánuje sběr dat, aby vedl k použitelnému výsledku. Naším cílem bylo vytvoření ortofotomapy s rozlišením pod 5 mm/pixel, a výška letu tudíž musela být okolo 8 m nad terénem.

K pořízení fotografií byl použit bezpilotní letoun DJI Phantom 3 Professional, osazený kamerou s pevným ohniskem 5 mm a čipem o úhlopříčce 1/2,3" s 12 Mpix rastrem.

Bezpilotní prostředek je vybaven vlastním GNSS přijímačem. Samotný údaj o místě pořízení jednotlivých fotografií získaný z palubního GNSS přijímače

však není dostatečný pro přesnou rozměrovou či polohovou kalibraci výsledného modelu a pro správné umístění mapy. Model bez dodatečné délkové nebo polohové korekce je sice topologicky správný, tedy tvar a vzájemné vztahy odpovídají předloze, může však trpět chybou rozměrovou i polohovou. Z tohoto důvodu je nezbytné model kalibrovat, a to buď rozměrově, vyznačením kalibračních úseček o známé délce, nebo polohově vložením vlícovacích bodů (GCP – Ground Control Points) o známých souřadnicích.

Před provedením fotogrammetrických letů byly na monitorované ploše umístěny kódované terče. Jejich poloha byla zaměřena geodetickým GNSS přijímačem, přístrojem v režimu RTK, využívajícím korekce dodávané pozemními stanicemi sítě ČEPOS. Byla tak získána informace o poloze GCP s přesností 0,02 až 0,04 m.

Po umístění GCP je možné provést samotný měřický let, během něhož jsou v pravidelných intervalech pořizovány snímky monitorovaného území. Ten v obou případech probíhal v manuálním režimu s ohledem na nízkou výšku letu a blízkost vzrostlých stromů. V jiných případech, kdy nehrozí kontakt s překážkou, je výhodnější provést let po předem naprogramované trase. Vhodně navržená trasa letu a interval pořizování snímků jsou důležité pro zajištění dostatečného překrytí. Během letu v prostoru PR Arba bylo pořízeno 202 kolmých i šikmých snímků, v prostoru VKP Vstavačová louka u Libouchce bylo použito 355 kolmých a šikmých snímků. Smyslem pořízení šikmých snímků, kdy osa kamery svírá s povrchem úhel asi 60°, je doplnit obrazovou informaci na okrajích, kde může být zkoumaná plocha překryta vyšší vegetací.

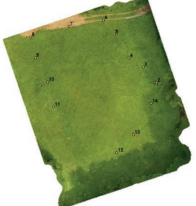
Čas potřebný k terénnímu sběru dat byl asi 60 minut. Z této doby byla doba vlastního letu okolo 15 minut, zbytek zabraly přípravné práce a umístění, zaměření a sběr terčů GCP.

Výsledkem jsou fotografie opatřené geotagem, tedy informací o poloze, a přesné souřadnice vlícovacích bodů.

Zpracování dat

Žádoucím výsledkem zpracovaných dat je georeferencovaný model a ortofotomapa lokality s potřebným rozlišením. Souřadnice získané z palubního GNSS je nejprve nutné transformovat do stejného souřadnicového systému, v jakém

Tab. 1: Srovnání modelů. Zpracoval Vladimír Hůda

Parametr	PR Arba	VKP Vstavačová louka u Libouchce
počet snímků	202	355
rozlišení fotomapy	5,9 mm/pixel	4,7 mm/pixel
rastr DMP	94,6 mm/pixel	38,2 mm/pixel
pokrytá oblast	7402 m ²	2725 m ²
počet GCP	9	12
náhled neoříznuté fotomapy		

jsou zaměřeny GCP, což v řešených případech je S-JTSK. Tyto transformované souřadnice jsou načteny ke snímkům namísto původních souřadnic, což usnadňuje pozdější zarovnání a nalezení obrazů GCP na snímcích. V některých případech je možné tuto operaci částečně automatizovat použitím GCP s kódovanými čísly, za předpokladu, že použité označení GCP odpovídá číselnému kódu a použitý program automatickou detekci umožňuje. Na takto připraveném souboru dat je provedeno zarovnání, a je-li to nutné, označí se na snímcích ručně další vázací body. Ty slouží jako vodítko pro přesnější automatické zarovnání. Doplnění vázacích bodů je často nezbytné při mapování terénu pokrytého vyšší travou nebo bylinnou vegetací bez výrazné textury. Pro kvalitní výsledek je důležité, aby snímky byly ostré, kontrastní, bez dodatečných úprav procesorem kamery a s minimální nebo žádnou komprimací.

Po zarovnání snímků jsou spočteny a dále upřesněny parametry kamery, které charakterizují prvky vnitřní orientace, jako je ohnisko, rozložení distorze v obrazu apod.

Z takto připraveného souboru dat a parametrů je spočteno husté bodové mračno. Bodové mračno je třeba dále analyzovat a odfiltrovat body, které se nacházejí výrazně mimo pravděpodobný průběh povrchu. Je také možné klasifikovat body představující nežádoucí objekty, jako jsou stavby, technologie či některá vegetace, a tyto body dále ignorovat při tvorbě síťového modelu.

Bodové mračno je možné přímo načíst k dalšímu zpracování do GIS programu nebo vyexportovat georeferencovanou ortofotomapu a georeferencovaný digitální výškový model, obojí ve formátu GeoTIFF, což byl postup zvolený autory.

Základní parametry obou vytvořených modelů a fotomap shrnuje [Tab. 1](#).

Vyhodnocení dat

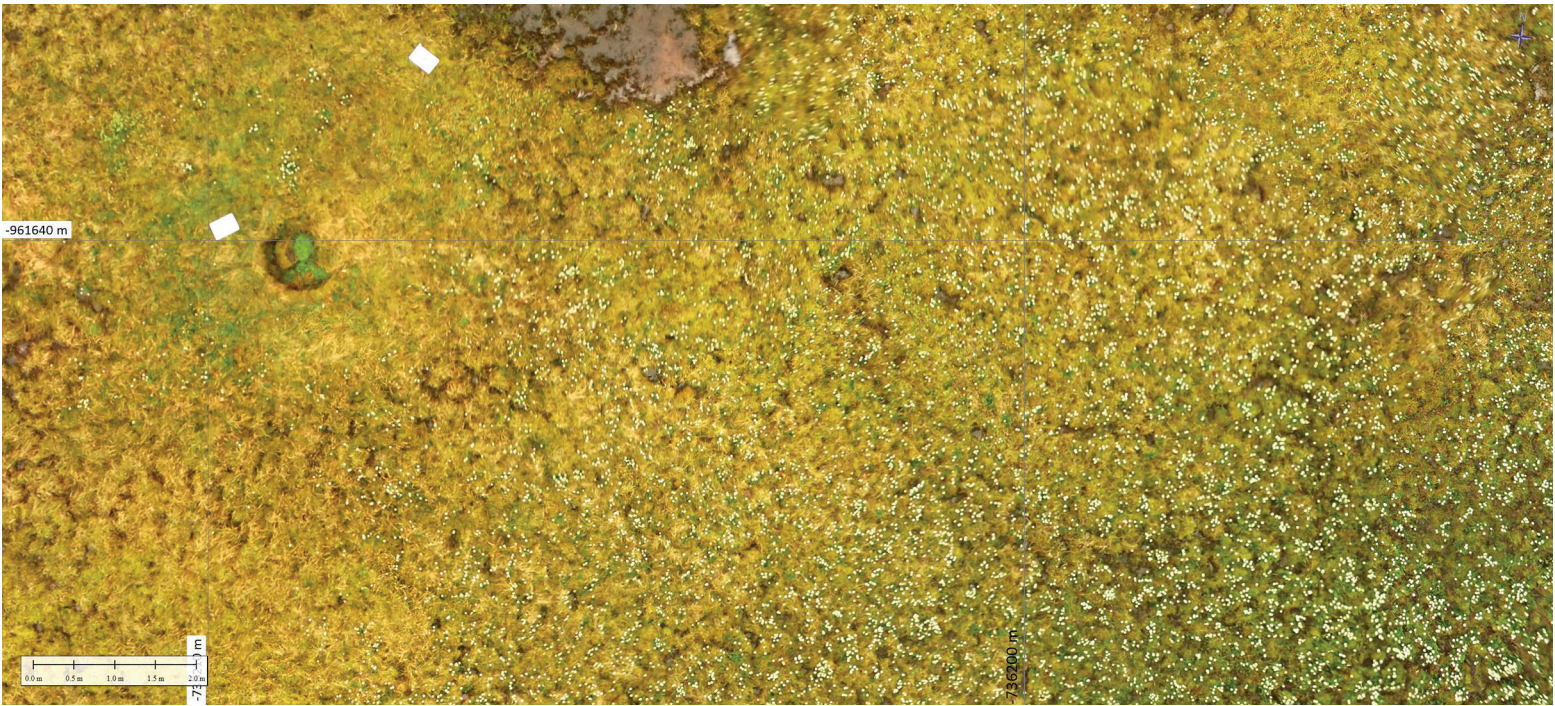
Cílem bylo získat informaci o velikosti a hustotě rozložení hustoty populace bledule jarní v PR Arba a o počtu a poloze jedinců ve VKP Vstavačová louka u Libouchce. K tomu byly použity pouze vytvořené ortofotomapy, nikoliv rastrové výškové modely. Ty by však mohly najít využití při sledování jiných dynamických procesů, při kterých dochází ke změnám ve tvaru terénu.

Z minulých šetření bylo známo, že počet výskytů sledovaných jedinců se na monitorovaných plochách liší, výskyt květů bledule jarní v PR Arba dosahuje desítek tisíc, u prstnatce májového u Libouchce se pohybuje mezi jedním a dvěma tisíci. Z toho důvodu byl zvolen odlišný postup vyhodnocení dat získaných v každé z lokalit.

Vyhodnocení dat z PR Arba

Počet květů na mapované ploše je značný ([Obr. 3](#)) a již na první pohled je zřejmé, že není účelné zaznamenávat polohu každého z nich, jakkoliv to po technické stránce možné je. Smyslem mapování má být podklad pro hodnocení stavu populace jako celku a jeho porovnání se stavem v dalších letech.

Na ploše výskytu bledule jarní byla vytvořena bodová síť o velikosti buněk 1 m² a ve středu každé z buněk byl zkonstruován bod. V každé z buněk byl poté ručně zjištěn počet zaznamenaných květů, a to přímo spočtením všech výskytů ve čtverci nebo extrapolací podle počtu výskytů v charakteristickém zlomku čtverce. Zjištěný počet



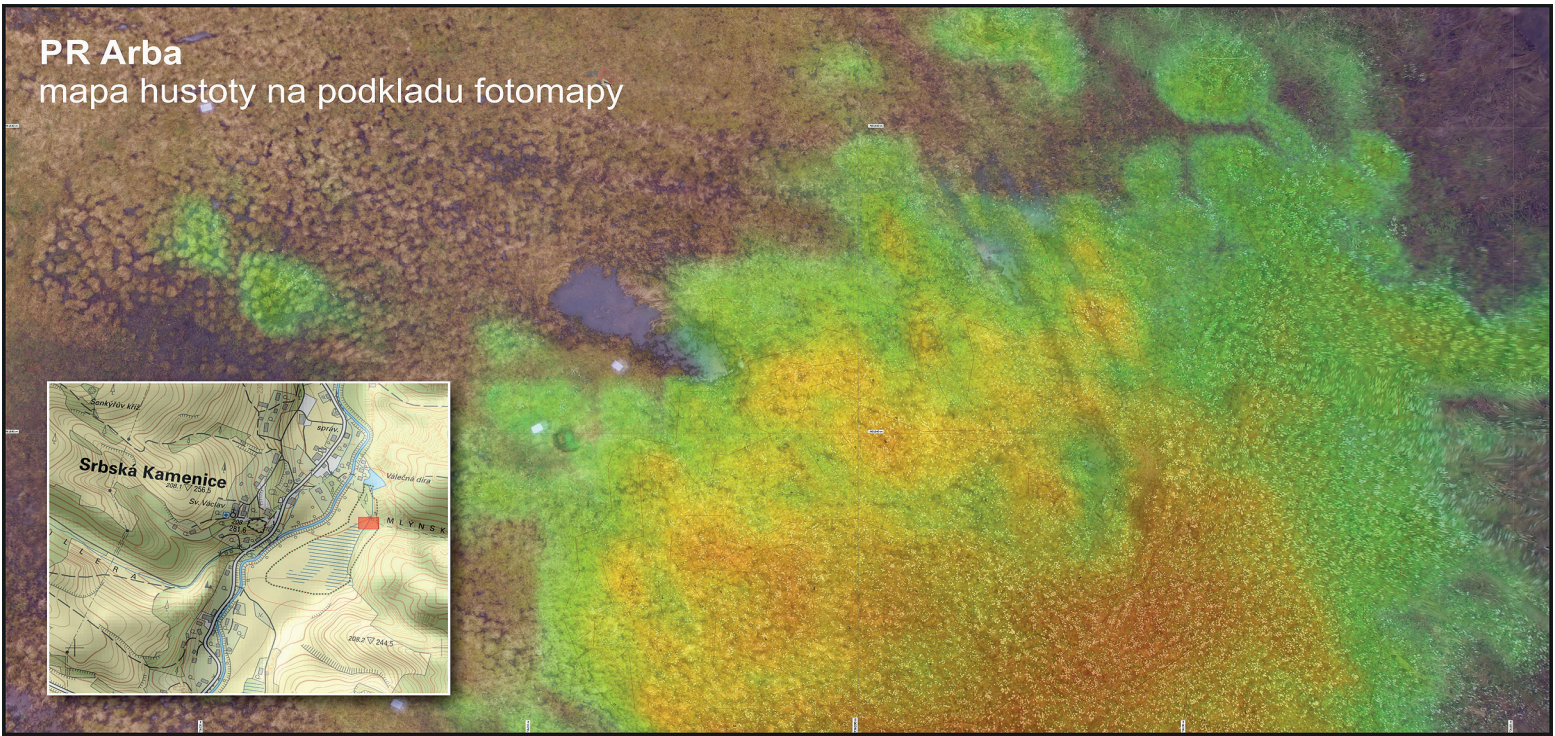
Obr. 3: Výřez z fotomapy PR Arba. Zpracoval Vladimír Hůda

výskytů v buňce pak byl nastaven jako atribut příslušného bodu. Takto vzniklé bodové pole reprezentuje měrnou hustotu výskytu květů v jeho okolí. V dalším kroku byla vygenerována rastrová vrstva, tady vlastně mapa hustoty, která interpoluje mezilehlé hodnoty a poskytuje názornější pohled na distribuci květů ve sledované ploše.

Mapa hustoty výskytu květů v superprojekci s fotomapou umožňuje zajímavé studium vztahů mezi polohou a hustotou populace v blízkém okolí ([Obr. 4](#)). Celkem bylo na ploše 2269 m² identifikováno 45 708 květů s maximem hustoty populace okolo 150 květů/m². Mapa pokryla téměř celou plochu výskytu květů bledule jarní, s výjimkou jižní části, kde se již nachází souvislý porost stromů.

Vyhodnocení dat z VKP Vstavačová louka u Libouchce

Zde byl použit poněkud odlišný postup než v předchozím případě. Nad fotomapou byly v prostředí GIS vytvořeny ručně body v místech výskytu každého z jedinců sledované populace a takto vzniklé bodové pole bylo základem pro další analýzy.



Obr. 4: Mapa hustoty výskytu bledule jarní. Zpracoval Vladimír Hůda

Princip fotogrammetrie a optické korelace
Fotogrammetrie rozhodně není novou metodou získávání dat k popisu zemského povrchu. Princip sám je znám téměř tak dlouho jako fotografie samotná. Letecká fotogrammetrie se velkého rozšíření dočkala zejména již ve 20. století, ovšem využívala veliké a drahé nosiče (letadla) a fotogrammetrické komory (kamery) a výstupy z nich byly dostupné jen armádě a státní správě. Novinkou několika posledních let je dostupnost levných a sofistikovaných nosičů v kombinaci s lehkými a poměrně kvalitními kamerami. Jako nosič může být využit dálkově řízený letoun, ale také upoutaný drak nebo upoutaný balon. Využití malého bezpilotního prostředku s možností orientace v prostoru pomocí palubního GNSS přijímače, přenosem obrazu s vysokým rozlišením na monitor operátora a s možností předem naprogramovat požadovanou letovou trasu, se pro takový účel nabízí.

ného objektu, které mají dostatečné překrytí ve svislém i vodorovném směru a dostatečnou ostrost.
Prvním krokem je odhad pozic, ze kterých byly pořízeny jednotlivé snímky. K tomu slouží přibližný údaj o poloze kamery při pořízení snímku získaný z údajů palubního GNSS přijímače. Pro zarovnání snímků je potřeba identifikovat markanty, tzv. vázací body (tie points), na snímcích stejné oblasti, pořízených z různých míst. Identifikace vázacích bodů se děje automaticky, a umožňuje-li to použitý software, může být doplněna i ručně označenými vázacími body. K automatické identifikaci vázacích bodů se nejčastěji používá algoritmus SIFT (Scale-invariant feature transform), který ve snímcích vyhledává a následně spojuje místní dominantní gradienty kontrastu. Po nalezení dostatečného počtu vázacích bodů (řádově desítek tisíc) jsou upřesněny pozice snímků a případně i prvky vnitřní orientace. Vázací body, tzv. řídké bodové

Tento přístup umožňuje v rozumném čase dospět k výsledku, který je přesnější a umožňuje i rozsáhlejší analýzy. Není však rozumně použitelný tam, kde je počet výskytů o jeden a více řádů vyšší. Z bodového pole je pak generována například mapa hustoty, která pro každé místo znázorňuje hustotu výskytu daného prvku na zvolenou plošnou jednotku, zde metr čtvereční. Je na tvůrci mapy a účelu jejího užití, jaké konkrétní parametry pro konstrukci mapy zvolí. Řešitel pro způsob výpočtu rozdělení hustoty použil Gaussovu distribuci. Takto vzniklá mapa pro výskyt prvku znázorňuje hustotu v jeho okolí podle Gaussovy křivky a příspěvky blízkých prvků se počítají.

Bodové pole lze vizualizovat i jinými způsoby, například nalezením polygonů vymezujících ty části plochy, které jsou nejbližší ke každému z prvků bodového pole.

Výsledkem monitoringu je informace o počtu květů prstnatce májového a o poloze každého z nich. Na mapě bylo takto identifikováno 1419 výskytů.

Možnosti využití

Cílem bylo ověření možností tvorby podrobných fotomap a ověření možností interpretace získaných výsledků. Podařilo se sestavit fotomapy s rozlišením okolo 5 mm/pixel, a to i za situace, kdy mapovanou oblast pokrýval travní a bylinný porost o výšce až 40 cm. Na těchto mapách je možné identifikovat objekty o velikosti několika centimetrů, v našem případě jednotlivé květy. Polohy květů je možné změřit s velkou přesností a vytvořit tak znám o stavu populace s nebyvalou podrobností.

Využití bezpilotních prostředků v kombinaci s dalšími postupy může přinést skokový nárůst v kvalitě dat o některých chráněných druzích. Bez využití UAV fotogrammetrie tyto výsledky nebylo možné opatřit nebo by jejich pořízení bylo neúměrně nákladné.

Fotomapy jsou pořízeny šetrně k samotnému předmětu ochrany. Pohyb výzkumníků v chráněném území se omezuje pouze na umístění vlíčovacích bodů po obvodu chráněné plochy. Případné riziko poškození se tak minimalizuje. Fotomapa navíc přináší informaci o distribuci společenstva a tuto informaci uchovává pro pozdější ověření nebo studium a může být i na dálku sdílena s jinými uživateli.

Využití fotogrammetrie se ale nemusí omezovat pouze na mapování výskytu jednotlivých rostlin,

nebo květů. Přehledné ortofotomapy pořízené z větší letové výšky s typickým rozlišením 30 až 60 mm/pixel se mohou mozaikovitě skládat. Další potenciál spočívá ve využití možnosti získat přesný model terénu. Podrobné fotomapy a modely povrchu mohou nalézt využití například v těchto oblastech ochrany přírody:

- hodnocení účinnosti krajinného managementu;
- vymezení areálu rozšíření některých invazních druhů, a to i na nepřístupných lokalitách, a sledování dynamiky vývoje;
- snadné mapování hranic krajinných prvků, jako jsou mokřady nebo určité typy vegetace;
- sledování průběhu lokálních biokoridorů;
- mapování a přesná dokumentace poškození přírody a krajiny, rozsahu černých skládek;
- dokumentace stavu území nebo vegetace k určitému datu;
- sledování a přesné měření některých dynamických přírodních procesů, jako jsou sesuvy, zátrhy, vodní eroze, a to porovnáním dvou různých modelů povrchu;
- mapování nepřístupných skalních bloků nebo opuštěných povrchových lomů a pískoven;
- sledování škod na přírodě a krajině způsobených suchem nebo povodněmi;
- po doplnění nosiče multispektrální kamerou také monitoring zdravé vegetace prostřednictvím NDVI indexu (Normalizaed Difference Vegetation Index).



Obr. 6: Výřez z fotomapy VKP Vstavačová louka u Libouchce. Zpracoval Vladimír Hůda

Nezbytné předpoklady a vybavení
Každý uživatel bezpilotního prostředku musí mít na paměti, že při jeho provozu užívá společný vzdušný prostor a že existují pravidla pro pohyb v něm. Autoritou, která stanoví pravidla užívání společného prostoru a bdí nad jejich dodržováním, je Úřad pro civilní letectví (ÚCL). V ČR upravuje provoz bezpilotních prostředků doplněk X, leteckého předpisu L2, který stanoví podmínky provozu a také určitá omezení. S výjimkou rekreačně sportovního užití podléhá evidenci jednak pilot, a jednak také samotný bezpilotní prostředek. Jak praví uvedená norma, je podmínkou evidence pilota prokázání praktických dovedností a teoretických znalostí v rozsahu, který stanoví ÚCL, což se ověřuje zkouškou. Má-li být bezpilotního prostředku užito

i k výzkumné, experimentální nebo výdělečné činnosti, musí být jeho provozovatel také držitelem povolení k provádění leteckých prací či leteckých činností prováděných pro vlastní potřebu. Z platné legislativy tedy jednoznačně plyne, že využití bezpilotního prostředku v ochraně přírody, je podmíněno všemi výše uvedenými náležitostmi.

Požadavky na pilota, letoun a provozovatele však nejsou jediné, které musí být splněny. Osoba nebo tým, který provádí sběr dat, jejich zpracování a vyhodnocení, musí splňovat i řadu požadavků stran odbornosti a materiálního vybavení.

Tento nezbytný rozsah uvádí přehledně **Tab. 2**.

Tab. 2: Nezbytné předpoklady a vybavení. Zpracoval Vladimír Hůda

Technické předpoklady	Oprávnění a kvalifikace
vlastnictví nebo užívání bezpilotního systému	povolení k létání letadla bez pilota na palubě
	povolení k provozování leteckých prací popřípadě leteckých činností prováděných pro vlastní potřebu (LP, LČVP)
	platné pojištění škod způsobených provozem bezpilotního prostředku
vlastnictví nebo užívání geodetického GNSS přístroje a přístup do sítě permanentních stanic pro získávání korekčních údajů	znalost práce s geodetickými prostředky (geodetický GNSS přístroj, totální stanice apod.)
vlastnictví licence k užívání programu pro automatickou korelaci a výpočet bodového mračna	znalost práce s korelačními fotogrammetrickými programy pro tvorbu DMP (Photoscan, Pix4D, RECAP 360 apod.)
vlastnictví licence k užívání vhodného GIS, jde-li o komerční produkt	znalost práce s GIS

Popsaná metoda je velmi efektivní, dvoučlenný tým je schopen výsledky monitoringu dodat do 48 nebo i 24 hodin od terénního sběru dat.

UAV fotogrammetrie má ještě další výhodu – je levná a její nízká cena umožňuje používat přesné fotomapy tam, kde to dříve možné nebylo a tím zefektivnit vynaládání prostředků na péči o přírodu a krajinu.

Nepřesná znalost prvků vnitřní orientace fotogrammetrické komory se nahrazuje statistickým vyhodnocením velkého počtu snímků a mohutným počítačovým výkonem. Nezbytné prvky vnitřní orientace se počítají při každém zpracování datové sady. Pro fotogrammetrickou metodu, která využívá 2D informaci z mnoha snímků objektu, nebo dokonce z videosekvence, se užívá označení Structure from motion (SfM).

Informace o prostorovém uspořádání je čerpána podobně jako při stereoskopickém obrazu získávaném párem lidských očí a následně rekonstrukci prostorového uspořádání v mozku.

Proces rekonstrukce prostorového uspořádání objektu probíhá v několika krocích, zpravidla ve specializovaném programu. Nezbytnou podmínkou je sada snímků měře-

mračno (sparse point cloud), tvoří přibližnou charakteristiku povrchu, neboť při správném postupu a kvalitních zdrojových datech leží na rekonstruovaném povrchu. Dalším krokem je výpočet hustého bodového mračna (dense point cloud). Výsledkem tohoto výpočtu je množina bodů o souřadnicích X, Y a Z včetně jejich barevné hodnoty R, G a B. Typický použitelný model povrchu terénu získaný pomocí UAV fotogrammetrie obsahuje do 100 mil. bodů, pořízených z několika stovek fotografií. Podrobnější model nebo hustší bodové mračno zpravidla neposkytuje hodnotnou dodatečnou informaci a navíc rostou nároky na výpočetní výkon během zpracování a při dalším použití podkladů.

Husté bodové mračno je primárním zdrojem pro další datové výstupy jako síťový model, rastr digitálního modelu povrchu nebo ortofotomapa.