

Úskalí při definování parametrů vnitřní a absolutní orientace archivních leteckých měřických snímků

Ing. Václav Šafář, Ph.D.,
Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v. v. i.,
Ing. David Kaňa, Ph.D.

Abstrakt

Článek pojednává o postupech automatizovaného vyhledání rámových značek (RZ) na archivních leteckých měřických snímcích (ALMS), měření jejich snímkových souřadnic, nalezení okrajů snímků, výpočtu velikosti minimální eliminace okrajů snímků, průměrování hodnot vzájemné polohy RZ a přetvořením ALMS na jednotný rozměr včetně určení parametrů vnitřní orientace. Další část se věnuje postupu tvorby historického ortofota z takto připravených snímků automatizovaným výpočtem svazkového vyrovnání prováděným externím procesem na pozadí modulu OrthoEngine za použití knihovny Celery instalované jako python služba, kdy je svazkové vyrovnání a nalezení parametrů vnějších orientací ALMS řešeno nejprve v lokálním systému a následně je provedena (na základě interpretace výchozích bodů ze současných podkladů) transformace do souřadnicového systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). V závěru je krátce popsán postup ortogonalizace ALMS a tvorba vlastního ortofota.

Difficulties in Defining Internal and Absolute Orientation Parameters of Archival Aerial Photos

Abstract

The article deals with procedures of automated search of fiducial marks (FM) on archival aerial photos (AAP), measuring coordinates of FM, finding of the aerial photos edges, calculation of the minimal edge elimination of the aerial photos, averaging of the FM relative positions values and AAP modification to a uniform dimension including internal orientation parameters determination. Furthermore, it deals with the description of historical orthophoto creation from modified AAP by the automated calculation of the bundle adjustment performed by an external process on the background of the OrthoEngine module using a Celery library. This library is installed as a python service, where the alignment and finding of external parameters AAP is solved firstly in the local system and then (based on the interpretation of the starting points from the current background) transformed into the S-JTSK geodetic system. Finally, the procedure of AAP orthogonalization and creation of final orthophoto is briefly described.

Keywords: Archive aerial photos, fiducial marks, internal orientation, external orientation, bundle adjustment, orthophoto

1. Úvod

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v. v. i., jako hlavní řešitel a Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v. v. i. (VÚGTK), Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i. a Zemědělské družstvo Maleč jako další řešitelé řešili v období let 2015 až 2018 projekt podporovaný Technologickou agenturou České republiky (TAČR) v programu EPSILON „Využití digitálních technologií zpracování archivních leteckých měřických snímků (ALMS) pro skutečné zaměření staveb odvodnění v systému S-JTSK“. Důvodem k předložení projektu TAČR byl a je současný stav dokumentace melioračních staveb, které ve valné většině nezaznamenávají reálnou polohu drenážního detailu, neboť v době jejich kolaudace nebyly změřeny reálné polohy těchto prvků meliorace v S-JTSK. Cílem řešení projektu bylo vytvořit postup zpracování ALMS držných Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem generála Josefa Churavého (VGHMÚř) ve prospěch majitelů pozemků nebo nájemců, kteří na meliorovaných plochách hospodaří. Řešitelé projektu postupnými kroky vytvořili poloautomatizovaný systém zpracování polohově správné dokumentace drenážního systému z ALMS. Řešení je sestaveno z několika navazujících programů. V prvním kroku si uživatel vyberou na základě dostupného portálu ALMS Českého

úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) [1] vhodné snímky ke zpracování. Výběr snímků je proveden řešením úlohy překrytí daného prostoru melioračního obvodu a obvodu snímků překrývajících vybraný meliorační obvod. Program pro vyhledávání vhodných snímků byl vyvinut jako třívrstvá webová aplikace, kdy jednotlivé prostory vyhodnocené na základě dB Pulec-farmář (portál e-agri - MZe, v které jsou rozlišeny jednotlivé meliorační obvody včetně jejich vektorového vyjádření s údaji o ukončení roku výstavby) a dat portálu ALMS ČÚZK. Vzhledem k využití v tenkém klientu webového prohlížeče na straně klienta (zemědělce nebo projekční firmy), byla služba konfigurována tak, aby bylo možno data načítat ve standardním formátu GeoJSON [2]. Po ukončení výběru ALMS je automatizovaně vytvořena objednávka snímků, kterou uživatel odešle k VGHMÚř. Tyto kroky s vysokou mírou podpory uživatele a automatizace celého procesu vedoucí k získání skenovaných analogových ALMS pro další zpracování jsou podrobně popsány v [3]. Hlavním přínosem této fáze zpracování je efektivní výběr ALMS potenciálně vhodných k identifikaci skutečného průběhu meliorace.

Dalšími kroky popsány v následujícím textu je automatizovaný postup zpracování ALMS jejich přetvořením do podoby vhodné pro zpracování postupy svazkového vyrovnání a korelačních výpočtů s cílem vytvořit výsledné ortofoto pro interpretaci polohy a průběhu prvků drenážního detailu.

2. Postup určení prvků vnitřní orientace, svazkového vyrovnání, vnější orientace ALMS a tvorba ortofoto

Dále popsané postupy určení prvků vnitřní orientace, svazkového vyrovnání, výběru výchozích bodů, určení prvků vnější orientace v S-JTSK slouží k automatickému sestavení ortofota uživatelem vybrané lokality, a tedy vytvoření produktu, na kterém lze interpretovat polohu prvků drenážního detailu a případně vektorizovat polohu těchto prvků.

2.1 Postup určení prvků vnitřní orientace

ALMS které uživatel obdrží z VGHMÚř jsou skenovány na speciálních fotogrammetrických skenerech s vnitřní přesností nájezdu na identické místo ve snímku přibližně 2 mikrometry tedy cca jednu sedminu velikosti běžného skenovacího elementu. Snímky jsou vkládány do skeneru po jednotlivých záběrech, neboť tak jsou uchovávány v archivu leteckých snímků u VGHMÚř. Z toho vyplývá, že přes pečlivé vkládání snímků do skeneru obsluhou skeneru, je počátek skenování vůči rámovým značkám ALMS obecný. Vyvinutý program pro sjednocení a přetvoření snímků vyhledá rámové značky na jednotlivých ALMS a snímky podle nich upraví tak, aby byly připraveny pro obrazovou korelaci a další digitální zpracování. Program je koncipován jako bez-instalační. Pro svůj běh program vyžaduje pouze běhovou knihovnu Microsoft Visual C++, která je součástí distribučního balíčku Microsoft. Program podporuje tři druhy rámových značek archivních leteckých snímků. Další rámové značky je možné do knihovny značek doplnit. Řešitelé postupovali při dodržení všech běžných fotogrammetrických standardů pro přetvoření ALMS v následujících krocích:

1. Sestavení obsahu knihovny rámových značek (RZ) ALMS.
2. Rozmístění jednotlivých RZ v ALMS.
3. Automatizace identifikaci RZ v obrazu ALMS.
4. Určení souřadnic RZ v pixlech obrazu snímku.
5. Vypočtení hodnot RZ a jejich průměrování vůči všem snímkům sady snímků.

6. Nalezení okrajových částí analogových snímků a výpočet velikosti oříznutí snímků.
7. Přepočet velikosti obrazu a přetvoření původního ALMS.
8. Uložení dat výsledných přetvořených snímků pro další zpracování nebo pro zpracování v softwaru třetích stran.

2.1.1 Sestavení obsahu knihovny rámových značek ALMS

Digitální archivní letecký snímek je ze svého reálného analogového originálu skenován na fotogrammetrických skenerech. ALMS jsou tedy skenovány u VGHMÚř v celém obsahu leteckého snímku od okraje k okraji. Geometrické parametry ALMS zabezpečují RZ. Ukázka třech typů rámových značek, které vzhledem k jejich vysoké četnosti v archivu ALMS byly vybrány do knihovny RZ kamer ilustruje [obr. 1](#).

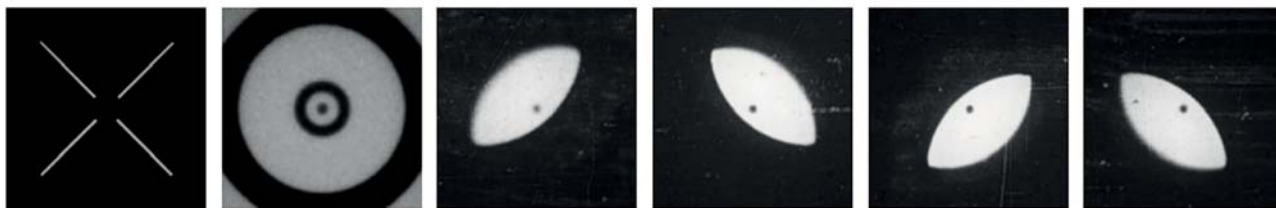
Další typy RZ jsou vyobrazeny na [obr. 2](#). Jakékoliv další RZ lze do vytvořené knihovny RZ vložit.

2.1.2 Rozmístění jednotlivých rámových značek v ALMS

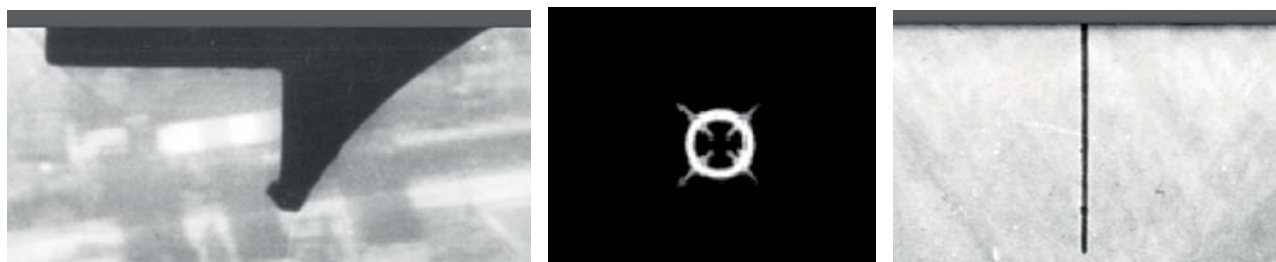
ALMS mohou mít své RZ rozmístěny ve čtyřech alternativách. První je umístění RZ v rozích ALMS. Druhou možností je umístění RZ na ALMS ve středech stran. Tyto dvě skupiny uspořádání RZ ve snímku jsou nejčastější. Třetí možností je kombinace RZ v rozích i středech ALMS a posledním systémem rozmístění značek je umístění série RZ po celém obvodu rámu snímku jak je patrné z [obr. 3](#).

2.1.3 Automatizovaná identifikace rámových značek v obrazu snímku

Automatická identifikace obrazu RZ v ALMS je založena na metodách hodnocení okolí bodů ve snímku a jeho specifikací v rámci okolí RZ. Nejdříve se dle vzoru RZ a v obsahu obrazu ALMS vypočítají klíčové body a jejich deskriptory metodou SURF (Speeded-Up Robust Features). Dále se pomocí algoritmu RANSAC (RANDOMSampleConsen)



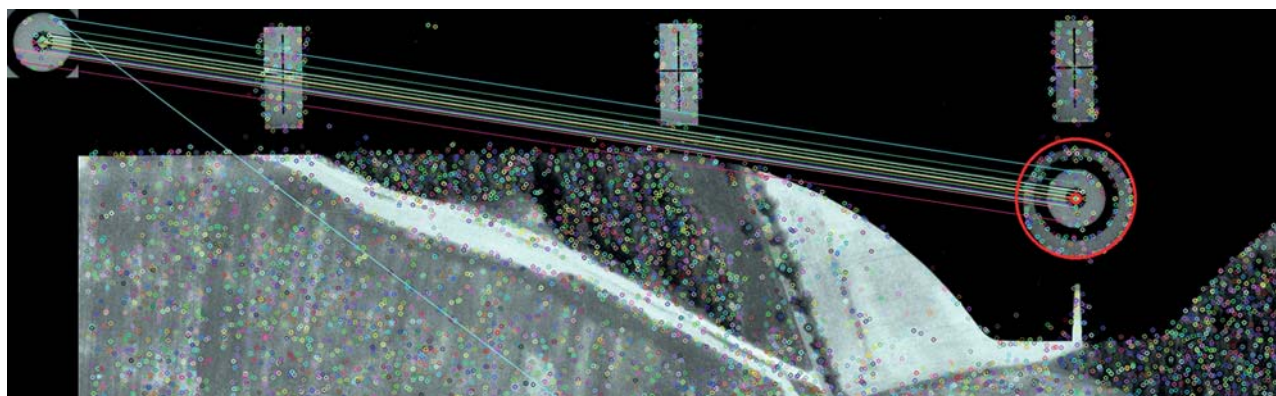
Obr. 1 Nejfrekventovanější tvary RZ ALMS v archivu snímků VGHMÚř



Obr. 2 Další tvary RZ na ALMS



Obr. 3 Doplnkové RZ v celé délce obvodu ALMS



Obr. 4 Automatická identifikace RZ, porovnání s knihovnou RZ a její geometrizace

hledají pouze správné páry bodů. Jako poslední krok se vypočte homografie a určí se poloha detekované značky. Výsledek výpočtu a identifikace okolí na základě rozpoznání značky obsažené v knihovně RZ je na [obr. 4](#).

2.1.4 Určení souřadnic rámových značek v pixlech obrazu snímku

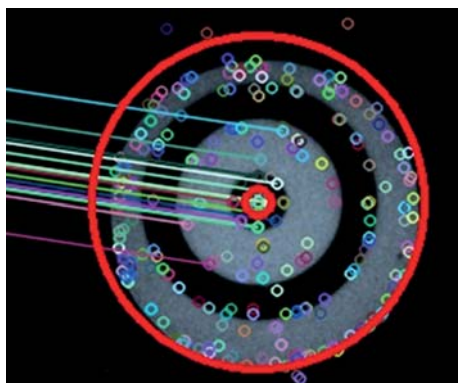
Na základě rozpoznání RZ a geometrizace její vnitřní části (na [obr. 4](#) vnitřní kroužek značky) je stanoveno těžiště značky a vypočten pixel středu vnitřní části značky v pixelových souřadnicích obrazu viz [obr. 5a, 5b](#). Všechny RZ od každého ALMS jsou uloženy do dočasného souboru pro další výpočty.

2.1.5 Výpočet hodnot rámových značek a jejich průměrování vůči všem snímkům sady snímků

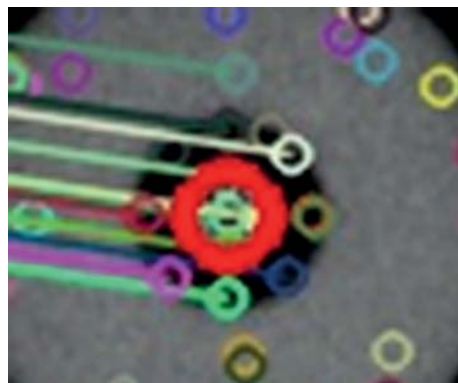
Po vypočtení všech RZ všech ALMS z vybrané sady snímků se zprůměrují všechny vypočtené hodnoty, stanoví se systematický posun, který se eliminuje jako rozdíl od mediánu hodnot jednotlivých RZ. V dočasných souborech se stanoví „základní matice rozměru snímku“.

2.1.6 Nalezení okrajových částí analogových snímků a výpočet velikosti oříznutí snímků

Snímky ALMS, které mají vstoupit do korelačních výpočtů pro sestavení ortofota zachyceného území je nutné tzv.



Obr. 5a Geometrizace vnitřní části RZ



Obr. 5b Určení souřadnic pixelu těžiště značky

odmaskovat, tedy oříznout tyto snímky o části zobrazující rámové údaje nebo samotný rám snímku. Automatickými postupy jsou po nalezení okrajů snímky ořezány o neobrazové části tak, aby tvořily obraz bez těchto částí původního snímku.

2.1.7 Přepočet velikosti obrazu a přetvoření původního ALMS

Po zprůměrování hodnot velikosti oříznutí ALMS o části zobrazující rámové údaje, místa na snímku s prostory kolem RZ a vlastní rám snímku byly přepočteny velikosti snímku vůči RZ, respektive vůči jejich průměrným pozicím vypočteným v kroku podle 2.1.4. Tímto postupem je zajištěno, že přepočet skenovaných ALMS a přetvoření do podoby ALMS vhodných ke zpracování v dalším postupu je korektní vůči všem postupům dobré praxe. Tímto postupem má sada snímků nakoupená od VGHMÚř Dobruška i nadále identickou ohniskovou vzdálenost, metrika snímku se skenovacím elementem 15 mikrometrů zůstane zachována, hlavní bod snímku i bod symetrie budou identické na všech leteckých snímcích dané sady a rozměr všech snímků v pixlech bude identický pro všechny snímky, které vstoupí do dalších výpočtů.

2.1.8 Uložení dat výsledných přetvořených snímků pro další zpracování nebo pro zpracování v softwaru třetích stran

Přetvoření ALMS může uživatel (farmář nebo projekční firma) provést dvěma postupy. Prvním postupem je, že si z adresy <http://www.vugtk.cz/euradin/TH01030216/2016-V002/ProgramNapustim.html> stáhne program pro přetvoření na svůj počítač a úpravy si provede spuštěním dávky programu na svém počítači. Pro zdárný chod programu je potřeba, aby uživatel zkontroloval, zda po stažení a instalaci program připravil předepsanou adresářovou strukturu. Druhou alternativou je provést výpočet na serveru VÚGTK, v. v. i. a ponechat tak snímky přímo na datovém serveru, kde budou probíhat další výpočty a tvorba ortofota.

2.2 Automatický výpočet svazkového vyrovnání

Cílem vytvoření modulu pro triangulaci a mozaikování snímků bylo poskytnout uživatelům jednoduché webové rozhraní, kam vloží své snímky automaticky transformované do detekovaných rámových značek spolu s manuálně měřenými výchozími body. Řetězec aplikací pak tyto snímky analyzuje a plně automaticky bez zásahu uživatele sestaví výsledné ortofoto. Uživatel tedy na své straně nepotřebuje žádné softwarové vybavení, pouze webový prohlížeč a připojení k internetu.

Fáze zpracování:

1. Detekce a výpočet klíčových bodů.
2. Párování klíčových bodů – určení relativní orientace.
3. Výpočet inkrementálního svazkového vyrovnání.
4. Transformace snímkového svazku do S-JTSK.
5. Ortogonalizace a mozaikování do výsledného ortofota.

V současné době je problematika automatického zpracování neuspořádaných kolekcí snímků kromě komerčních aplikací řešena také řadou open source projektů. Pro první tři výše uvedené fáze byla použita knihovna OpenMVG [5], která zároveň integruje open source knihovnu Ceres [6] pro výpočet svazkového vyrovnání.

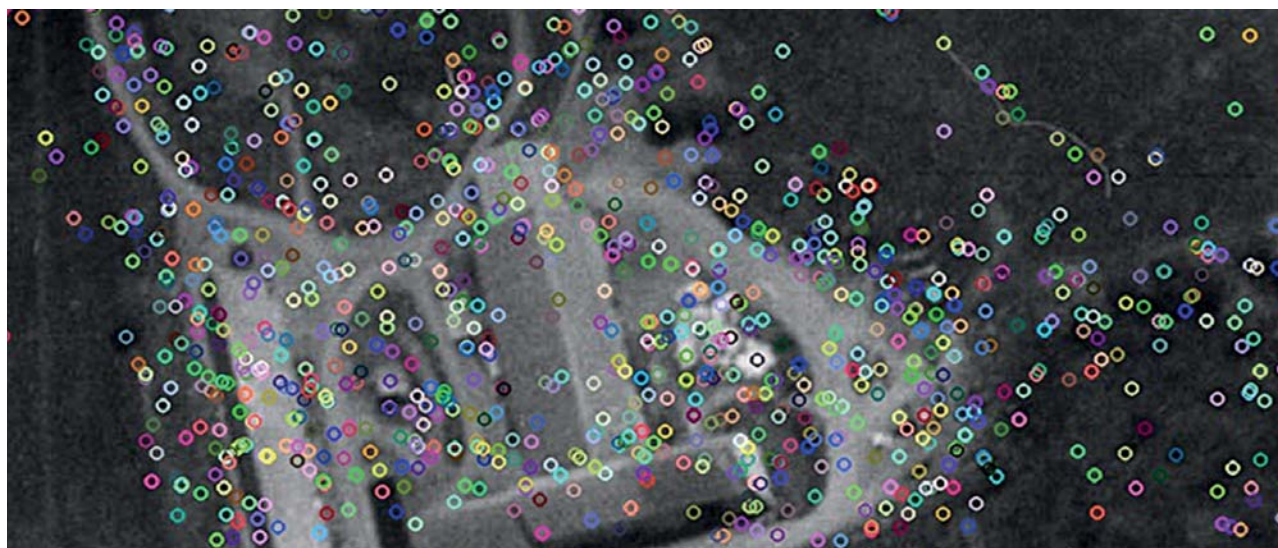
2.2.1 Detekce a výpočet klíčových bodů

Klíčové body jednoznačně charakterizují oblast obrazu tak, aby tato oblast mohla být nalezena a porovnána se stejnou oblastí v jiném snímku (obr. 6).

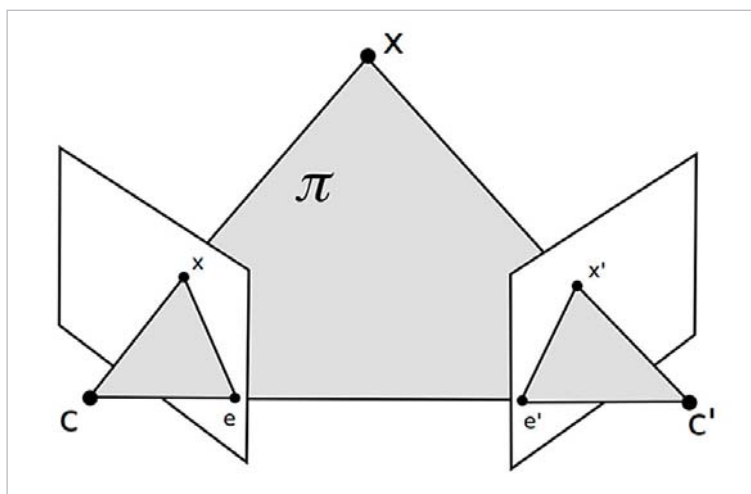
Pro detekci a porovnávání významných bodů ve snímku je v knihovně OpenMVG ve výchozím nastavení použit detektor SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [7]. Tento detektor je na rozdíl od prosté korelace mezi dvěma oblastmi ve snímcích částečně invariantní vůči změně geometrie pohledu tedy rotace (cca 15 stupňů) a změny měřítka a je rovněž částečně invariantní vůči šumu.

2.2.2 Párování klíčových bodů – určení relativní orientace

Jsou-li na každém snímku detekovány klíčové body včetně deskriptorů, lze přistoupit k jejich párování a nalezení



Obr. 6 Ukázka detekovaných klíčových bodů



Obr. 7 Znáznornění epipolární geometrie

odpovídajících si dvojic bodů – korespondencí, které vznikly průmětem bodu ve třírozměrném prostoru do obou snímků a které tak budou mít velice podobné deskriptory. Míra shody dvou klíčových bodů je jednoznačně definovatelná na základě euklidovské vzdálenosti jejich SIFT deskriptorů.

V případě, že není kolekce snímků předem uspořádaná a nejsou předem známy vztahy mezi jednotlivými snímky, je potřeba porovnat snímky „každý s každým“.

Sady korespondencí klíčových bodů získaných párováním obvykle bývají zatíženy chybami a falešnými korespondencemi, které vznikají z důvodů změny polohy kamery, změny osvětlení, šumu digitálního obrazu, atd. Tyto falešné korespondence lze eliminovat použitím geometrického kritéria – epipolární podmínky (obr. 7).

Bod X v třírozměrném prostoru tvoří společně s projekčními centry C a C' epipolární rovinu. Průnikem epipolární roviny s projekčními rovinami vznikají epipolární přímky – epipoláry, které procházejí body x a x' což jsou průměty bodu X do projekční roviny. Tyto přímky zároveň procházejí epipóly e a e' , kde epipól je průmět projekčního centra jedné kamery do projekční roviny kamery druhé. Algebraickým vyjádřením epipolární podmínky je následující vztah:

$$[x', y', 1] F \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = 0, \quad (1)$$

kde F je fundamentální matice o rozměrech 3×3 a hodnoty 2 definující relativní vztah mezi dvěma kamerami nezávisle na struktuře scény. Pro výpočet fundamentální matice není tedy nutné znát parametry vnitřní orientace jednotlivých kamer.

V knihovně OpenMVG [5] je pro výběr korespondencí klíčových bodů splňujících epipolární podmínku implementován algoritmus RANSAC [8] umožňující iterativně nalézt nejlepší řešení vyhovující danému modelu, tedy rovnici $x'Fx = 0$ a vyřadit chybně detekované korespondence. Výpočet fundamentální matice je řešen 7/8 bodovým algoritmem [9].

2.2.3 Výpočet inkrementálního svazkového vyrovnání

Na základě vypočtených relativních orientací pro jednotlivé snímky lze určit přibližné prostorové souřadnice od-

povídající snímkovým souřadnicím detekovaných korespondencí, které slouží jako odhad vstupních parametrů vstupujících do komplexního svazkového vyrovnání.

Cílem svazkového vyrovnání je nalezení optimálních parametrů vnější a vnitřní orientace včetně koeficientů radiální distorze objektivu a takových prostorových souřadnic, pro které je minimalizována vzdálenost mezi průměty bodů v prostoru do snímku a jejich detekovanými snímkovými souřadnicemi. Opravy jsou přisuzovány bodům v třírozměrném prostoru a také parametrům vnější i vnitřní orientace.

Hodnoty parciálních derivací lze určit jednak analyticky derivací funkce podle jednotlivých proměnných a jednak numericky. Z důvodu značné komplexnosti funkčních vztahů pro výpočet snímkových souřadnic, kdy je analytické odvození obtížné, je v knihovně Ceres [6] použit numerický způsob řešení.

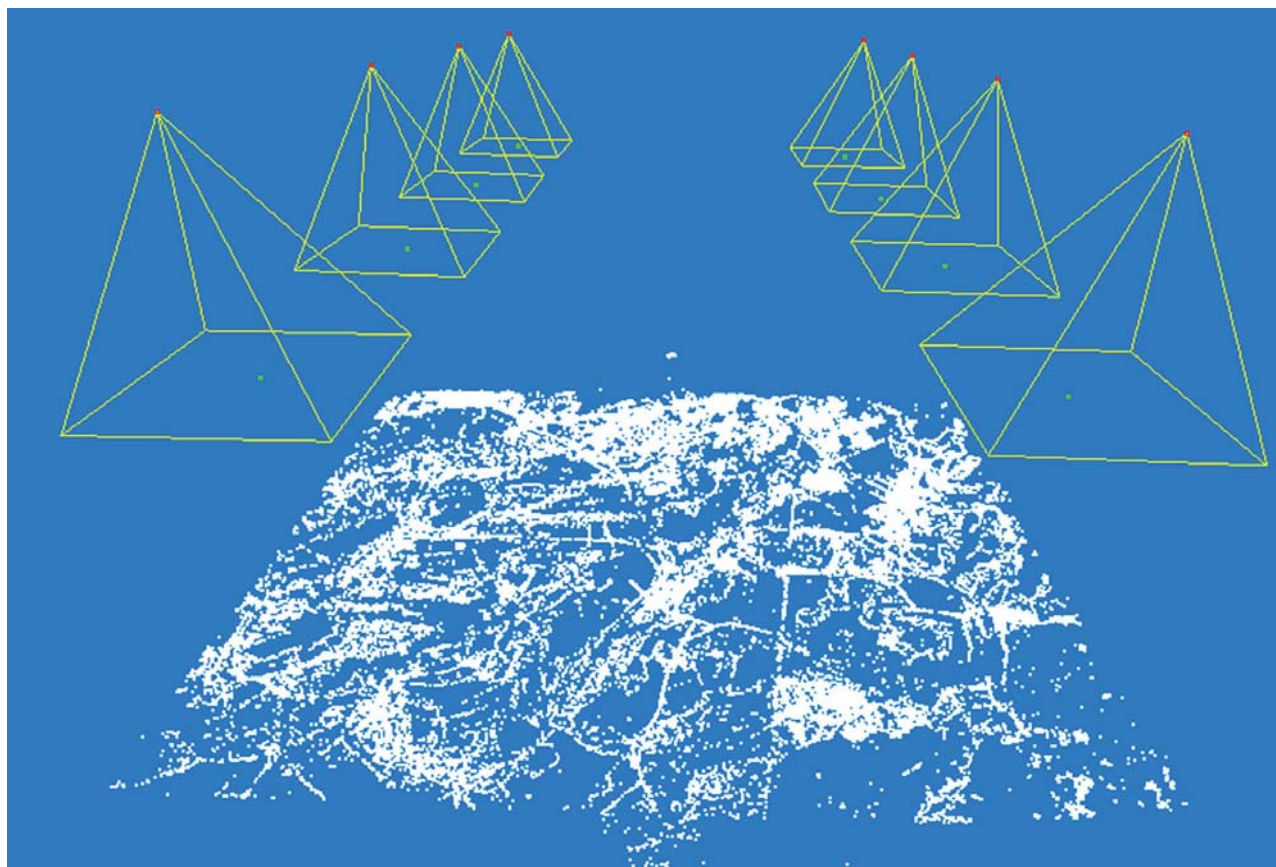
Na počátku výpočtu je vybrána nejvhodnější dvojice snímků, např. podle počtu detekovaných klíčových bodů. Projekční centrum prvního snímku v této dvojici definuje počátek lokálního souřadnicového systému, rotační matice vnější orientace prvního snímku je zvolena jako jednotková matice. Každý snímek z této dvojice obsahuje klíčové body detekované i na dalších snímcích, právě pomocí těchto korespondencí jsou do lokálního souřadnicového systému „připojovány“ další snímky. Po každé iteraci je provedeno svazkové vyrovnání – vizualizovaný výsledek na obr. 8.

2.2.4 Transformace snímkového svazku do S-JTSK

Poslední etapou určování parametrů vnější orientace je transformace do geodetického souřadnicového systému 3D podobnostní transformací s využitím výchozích bodů.

Protože jsou snímkové souřadnice měřeny vždy na dvou a více snímcích, je možné určit 3D souřadnice v relativním souřadném systému. Tyto souřadnice jsou použity spolu se souřadnicemi výchozích vlíčovacích bodů v geodetickém systému pro výpočet parametrů 3D podobnostní transformace. Pomocí určeného transformačního klíče jsou pak transformovány souřadnice 3D bodů včetně vypočtených parametrů vnější orientace do geodetického systému.

Experimentálně bylo dosaženo nejvíce konzistentních výsledků (návnaznosti snímků na výsledném ortofotu) při



Obr. 8 Vizualizace výsledků svazkového vyrovnání testovací lokality Krouna, bíle jsou znázorněny detekované klíčové spojovací body, červeně vypočtené souřadnice projekčních center

svazkovém vyrovnání v lokálním souřadnicovém systému a následnou 3D transformací v porovnání s finálním svazkovým vyrovnáním s výchozími body v S-JTSK. Autoři si tento fakt vysvětlují značnou vnitřní tuhostí snímkového svazku a nesouladem modelu terénu použitého k interpolaci výšek výchozích bodů se skutečností zachycenou na archivních leteckých snímcích před desítkami let.

Implementační detaily:

Výpočet klíčových bodů, relativní orientace a svazového vyrovnání jsou výpočetně náročné úkoly, které i pro menší sadu obsahující řádově jednotky nebo desítky snímků trvají řádově minuty. Je zřejmé, že operace takového typu nelze spouštět v kontextu webového serveru. Jednou z knihoven řešících problematiku asynchronních operací je knihovna pro jazyk Python Celery, která byla použita při vývoji uživatelského rozhraní. Uživatel z webového serveru spustí výpočet v samostatném procesu na pozadí a webový server pouze monitoruje stav výpočtu a není nijak zatěžován. O komunikaci webového serveru se spuštěnými procesy se stará in-memory databáze Redis použitá jako message broker. Výhodou tohoto řešení je libovolná škálovatelnost, knihovna Celery umožňuje spouštět úlohy i v síťovém prostředí, prakticky je možné sestavit libovolný cluster v závislosti na požadovaném výpočetním výkonu.

V předchozí části (2.2.3) popsané svazkové vyrovnání je řešeno v lokálním systému. Pro transformace do S-JTSK je potřeba nalézt výchozí body (VB). VB pro fotogrammetrické výpočty a tvorbu ortofota je možné vybrat ručně nebo sestavit potřebný textový soubor pomocí aplikace [4] <http://www.vugtk.cz/euradin/gcp/>.

Ruční sestavení souboru VB je založeno na výběru VB z údajů ČÚZK, a to buď z obsahu katastrální mapy, z již vyhotoveného ortofota o velikosti GSD (Ground sample distance – velikost pixelu na zemi) alespoň identické s velikostí GSD naskenovaného ALMS, nebo využitím souřadnic trigonometrických bodů (TB). Poslední možnost je sice teoreticky nejpřesnější, ale naše schopnosti identifikovat na historických snímcích TB, s výjimkou triangulačních věží a signalizačních bodů IV. a V. řádu, je velmi omezená, rovněž tak potřebnou hustotou VB pro potřeby tvorby ortofota obvykle identifikovatelný počet TB nevyhovuje. Pro výběr VB je možné použít body na snímcích archivních s body v katastru (například na obr. 9a a jeho detailu obr. 9b je situace z ALMS). Na obr. 10a je identická situace ze snímkování současného a výřez katastrální mapy je na obr. 10b.

K souřadnicím získaným postupem odečtu z portálu ČÚZK je potřeba poznamenat, že jejich odečítání nebo měření pomocí funkcí přichytávání kurzoru k lomovým bodům je podle ČÚZK vždy pouze orientační. Z tohoto důvodu se doporučuje uživatelům odečítat souřadnice VB z již zhotovených ortofot, a to takové body, u nichž je předpoklad, že od doby, kdy byl ALMS pořízen, nezměnily svoji polohu. V případě pochybností se doporučuje zaměřit body VB geodeticky v terénu z bodů interpretovaných z ALMS. Automatizovaný postup je popsán v následujících odstavcích.

Jak již bylo uvedeno, svazkové vyrovnání (bundle adjustment) je řešeno nejprve v lokálním systému. Pro transformaci do S-JTSK jsou potřeba měřené výchozí body. Na



Obr. 9a Situace na ALMS



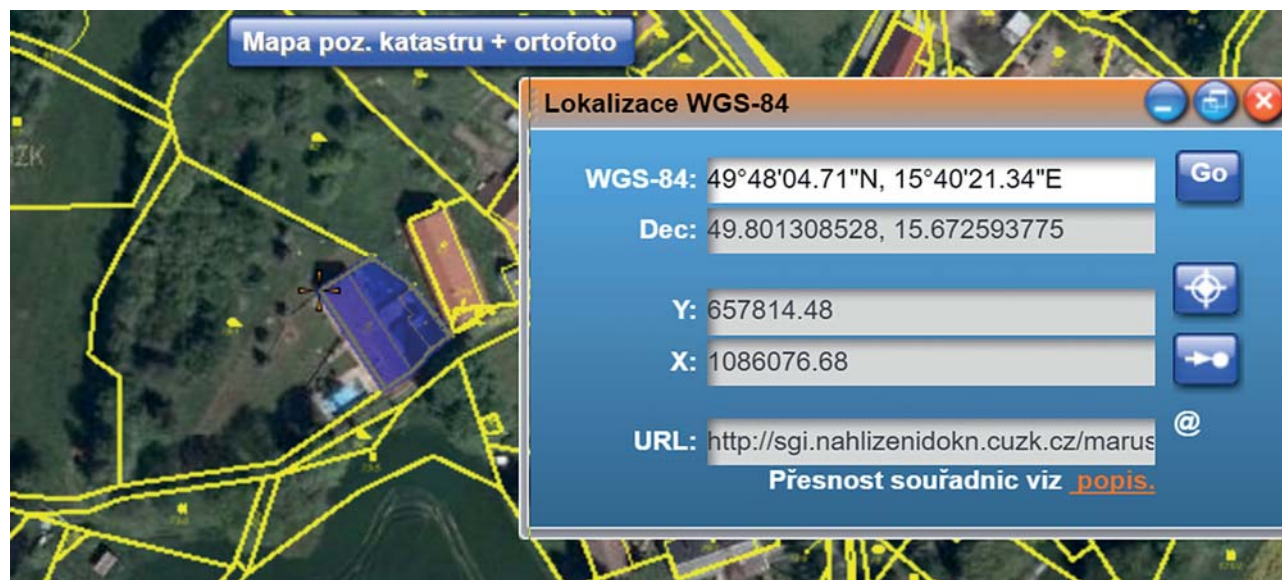
Obr. 9b Detail ALMS



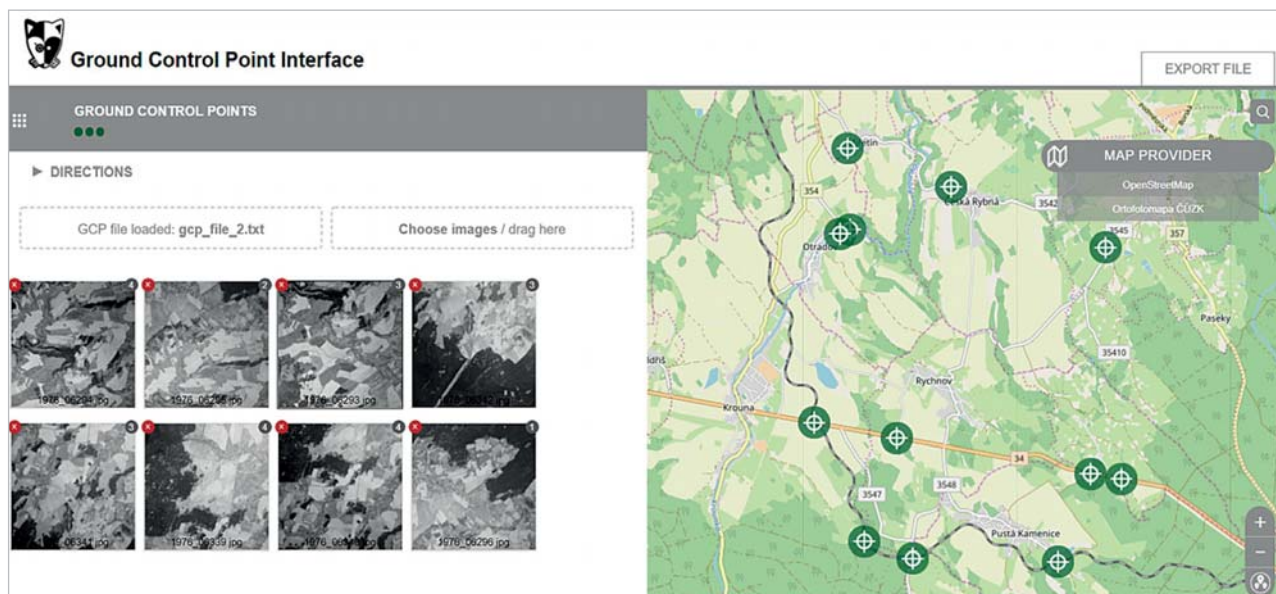
Obr. 10a Situace současného ortofota

adrese <http://www.vugtk.cz/euradin/gcp/> byla proto na-
instalovaná aplikace pro měření vřícovacích bodů. Jedná
se o klon aplikace z repositáře <https://github.com/posm/posm-gcpi>, kde byly modifikovány zdroje pro podkladové
vrstvy a výstupní souřadnicový systém. Snímky se do apli-
kace vkládají pouze lokálně v prohlížeči, nikam se nepo-
sílají. Výsledkem měření je pak textový soubor obsahující
měřené snímkové souřadnice v souřadnicovém systému
snímku a jejich 2D ekvivalenty v S-JTSK. Takto vzniklý sou-
bor uživatel odešle na server VÚGTK, v. v. i., kde je z digi-
tálního modelu dodatečně interpolována souřadnice Z.
Každý vřícovací bod je potřeba měřit alespoň na dvou
snímcích, aby bylo možno vypočítat jeho 3D souřadnice
i triangulací v lokálním souřadnicovém systému, ve kte-
rém probíhá prvotní svazkové vyrovnání.

Obr. 11 zobrazuje aplikaci pro měření vřícovacích bo-
dů, v levé části jsou zobrazeny letecké snímky v pravé části
měřené 2D vřícovací body v geodetickém systému na tes-
tovací lokalitě Krouna.



Obr. 10b Ukázka odečtení souřadnic z katastru nemovitostí v S-JTSK



Obr. 11 Webová aplikace pro měření souřadnic výchozích bodů



Obr. 12 Znáznornění masky použité při mozaikování snímků do výsledné ortofotomapy

2.2.5 Ortogonalizace a mozaikování do výsledného ortofota

Finálním krokem zpracování ALMS po přetvoření snímků, svazkovém vyrovnání a transformaci do S-JTSK je ortogonalizace a mozaikování snímků do výsledného ortofota. Pro ortogonalizaci je používán digitální model terénu (DMT) ČR s pravidelným krokem 20 m. Další alternativou blízké budoucnosti je výpočet DMT korelací vlastních ALMS.

Jedním z cílů tohoto výzkumného úkolu bylo rovněž vytvoření modulu OrthoEngine pro automatické mozaikování. Protože je letecké měřické snímkování obvykle prováděno s dostatečným překrytem, je zřejmé, že každé místo ortofotomapy je zachyceno na dvou a více snímcích a je tedy nutné definovat funkci, která jednoznačně a optimálně vybere takové části jednotlivých snímků, které jsou optickými vadami objektivu zatíženy co nejméně. V modulu pro mozaikování byla implementována funkce, kdy je pro každý pixel výsledné ortofotomapy pomocí projekce jeho 3D souřadnice v geodetickém systému do roviny snímku nalezen takový snímek, kde je vzdálenost

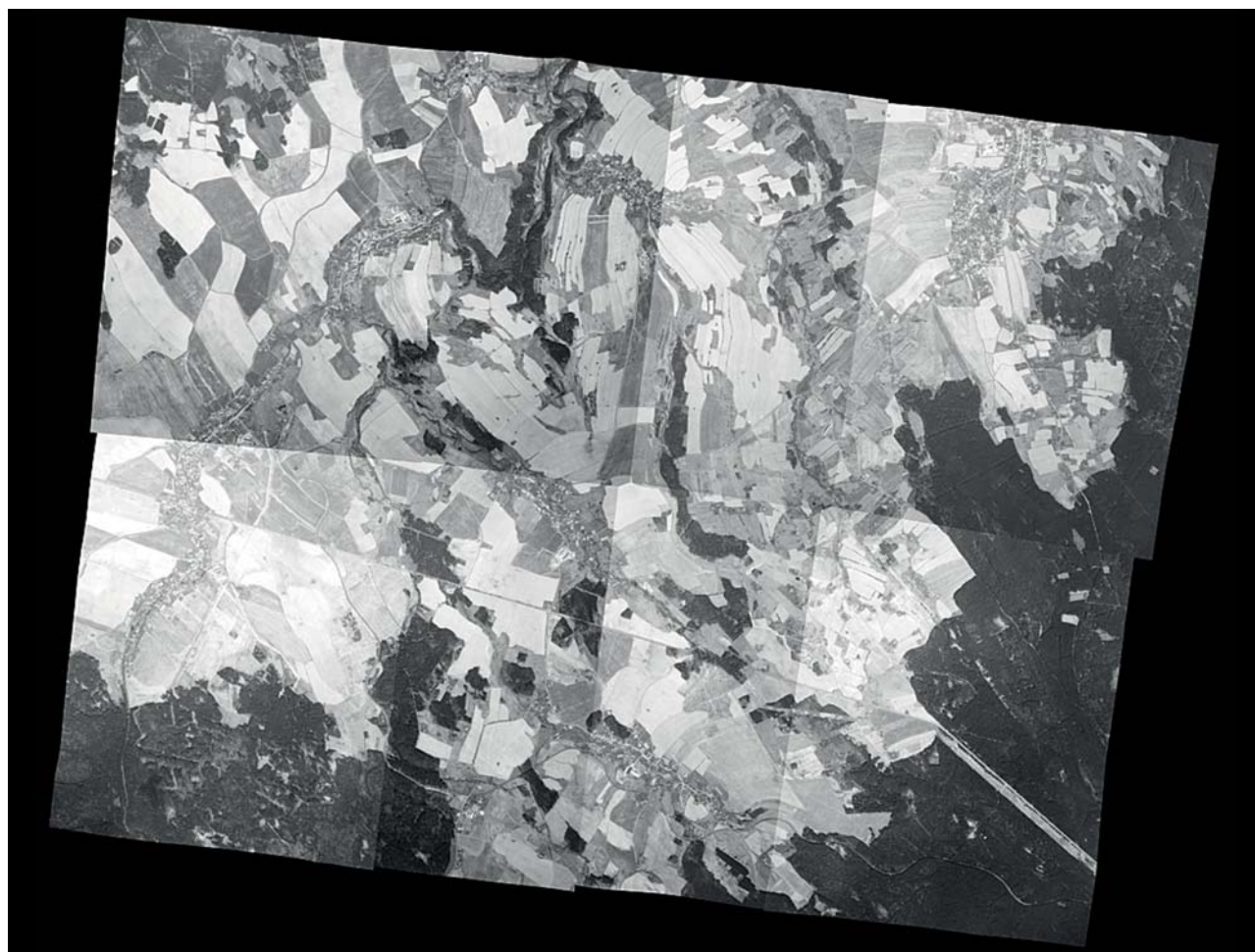
průmětu 3D souřadnice od optické osy v zobrazovací rovině minimální. Pro účely vizualizace lze jednotlivé snímky nahradit úrovněmi šedi a znázornit části použité ve výsledné ortofotomapě (obr. 12). Operace výběru nejvhodnějšího snímku pro každý pixel je prováděna automaticky za běhu programu; odpadá tak nutnost ortorektifikace a ukládání všech snímků v celém rozsahu.

Z důvodu zachování obrazové kvality jsou R, G, B hodnoty jednotlivých barevných kanálů určovány bilineární transformací z nejbližšího okolí pixelu ve zdrojovém snímku.

Pro modul OrthoEngine bylo rovněž vytvořeno webové rozhraní, vstupem je digitální model terénu, parametry vnější a vnitřní orientace v nativním formátu knihovny OpenMVG a 2D souřadnice vlíčovacích bodů. Protože je v současném řešení pro ortogonalizaci použit existující digitální model, který běžný uživatel nemá k dispozici, zpracování probíhá na serveru VÚGTK, v. v. i a výsledná ortofotomapa je následně uživateli nabídnuta ke stažení.

3. Závěr

Cílem sestavení ortofota je umožnit interpretovat a znázornovat vztahy v době stavby drenážního systému a identifikovat z vytvořeného ortofota co největší počet prvků drenážního systému. Výsledné interpretace a vektorizace prvků drenážního systému provedené nad ortofotem jsou údaje dokumentované, získané a interpretované (a interpretovatelné) a jsou vytvořeny exaktními zpětně doložitelnými a kontrolovatelnými postupy. Výsledná interpretace údajů i samotné ortofoto je z pohledu autorského práva kartografickým vyjádřením výsledků původního výzkumu dosaženého uživatelem. Na obr. 13 je ukázka zpracování 8 snímků z oblasti Krouny na Českomoravské vysočině výše uvedenými postupy. Rozbory přesnosti polohového určení prvků drenážního detailu budou uvedeny v navazujícím článku „Archivní letecký snímek cesta k informaci o poloze melioračního systému“.



Obr. 13 Ortofoto z 8 ALMS, západně obec Krouna, severovýchodně obec Proseč

LITERATURA:

- [1] Geoportál ČÚZK. [online]. Dostupné na: <http://geoportal.cuzk.cz>.
- [2] GEOJSON. [online]. Dostupné na: <http://geojson.org>.
- [3] AUGUSTÝN, R.: ODPOVIM - Odpovídač polohových informací o melioracích, Geodetický a kartografický obzor, 62/104, 2016, č. 11, s. 233-237.
- [4] Ground Control Point Interface. [online]. Dostupné na: <http://www.vugtk.cz/euradin/gcp>.
- [5] Moulon, Pierre, Pascal Monasse, Romuald Perrot and Renaud Marlet. „OpenMVG: Open Multiple View Geometry“. RRPR@ICPR (2016). [online]. Dostupné na: <http://imagine.enpc.fr/~marletr/publi/RRPR-2016-Moulon-et-al.pdf>.
- [6] Ceres Solver. [online]. Dostupné na: <http://ceres-solver.org>.
- [7] LOWE, D. G.: Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International journal of computer vision. Springer, 2004, roč. 60, č. 2, s. 91-110.
- [8] FISCHLER, M. A.-BOLLES, R. C.: Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM. 1981, roč. 24, č. 6, s. 381-395.
- [9] HARTLEY, R.-ZISSERMAN, A.: Multiple view geometry in computer vision. 2nd ed. Cambridge University Press, 2003, 655 s. ISBN 05-215-4051-8.

Do redakce došlo: 30. 11. 2018

Lektorovala:
Ing. Renáta Šrámková,
SURVEYE, s. r. o.