

EFEKTIVITA, KVALITA A MOŽNOSTI SENZORŮ UAV VE PROSPĚCH BIM ŽELEZNIČNÍCH KOMUNIKACÍ

EFFECTIVENESS, QUALITY AND POSSIBILITIES OF UAV SENSORS
IN THE FIELD OF BIM RAILWAY TRACKS

*Václav ŠAFÁŘ*¹, *Pavel ČERNOTA*²

Abstract:

The paper evaluates the possibilities of data acquisition using UAV in the process of Information Modeling of Railway Communications, from the creation of map data for assessment of the construction purpose, through documentation for design, measurement of actual state of construction or reconstruction of the railway track up to the creation of data for its manipulation.

Abstrakt:

Článek hodnotí možnosti pořizování dat pomocí UAV v procesu Informačního modelování železniční komunikace od tvorby mapových podkladů pro hodnocení záměru výstavby, přes podklady pro projektování, měření skutečného stavu provedení stavby nebo rekonstrukce železniční trati až k tvorbě podkladů k jejímu provozování.

1 ÚVOD

Výstavba a rekonstrukce železničních komunikací je velmi komplikovaný proces jak prostorově, finančně, tak i organizačně. Příprava, realizace a vlastní proces rekonstrukce nebo výstavby železniční trati na dlouhou dobu změni okolní terén a prostředí se stavbou související. Hlavními podklady, z nichž je vycházeno ve většině fází přípravy, projekce, výstavby a provozování a údržby železniční trati, jsou měřické podklady pořízené početnou škálou měřických metod. Mezi tyto metody patří metody geodetické, fotogrammetrické, laserové skenovací a to jak terestrické tak letecké, metody dálkového průzkumu země a metody nedestruktivní diagnostiky i metody kontaktního geologického průzkumu prováděného vrtanými a kopanými sondami. Tyto metody poskytují svými výstupy základní informace pro všechny fáze výstavby nebo rekonstrukce železniční trati a to jak v procesu studia variant tras, jednání a výběrech variant možných tras nebo postupů rekonstrukce, přes podklady pro vypracování projektové dokumentace, vlastní práce spojené s realizací stavby včetně postupů kontrolujících nezávisle průběh výstavby a čerpání finančních prostředků na tuto výstavbu až po měření spojená s uvedením komunikace do provozu.

V současné době se řada organizací zabývá myšlenkami využití dronů pro zvýšení efektivity pořizování vstupních dat pro projektování a rekonstrukce liniových komunikací a integraci těchto činností v procesu Building Information Modelling (BIM). Obecným požadavkem z pohledu měřictví je zachování kvality mapových podkladů pro projekční práce a výsledků měření prvků stavby v průběhu výstavby, při dodržení všech zákonných

¹Šafář Václav, Ing., Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i., Ústecká 98, 250 66 Zdiby, 226 802 350, vaclav.safar@vugtk.cz

²Černota Pavel, Doc., Ing., Ph.D., VŠB TU Ostrava, HGF, Institut geodézie a důlního měřictví

požadavků a kvality práce při měření a mapování tak, aby tyto podklady posloužily k rozhodování a řízení všech fází procesu od vize a návrhu po údržbu a provozování železniční komunikace. Mezi organizace zvažující použití dronů pro tyto činnosti patří i Správa železniční dopravní cesty (SŽDC), která uvažuje o použití dronů v různých fázích výstavby železnic od výběru trasy, tvorby podkladů pro projekční nebo rekonstrukční práce, sledování průběhu výstavby, měření skutečného stavu provedení železniční stavby až po sledování vývoje, změn ve stavu železničního svršku a jeho údržby v dlouhém časovém období desítek let. SŽDC (respektive Středisko železniční geodézie - SŽG) prostřednictvím Státního fondu dopravní infrastruktury (SFDI) vyhlásilo v roce 2016 soutěž na téma „Studie současných možností sběru dat nezávislých na železničním provozu z technologických nosičů pohybujících se v malé výšce“, dále „Studie“. Soutěž vyhrál kolektiv autorů pod vedením Institutu geodézie a důlního měřictví Hornicko-geologické fakulty VŠB TU Ostrava. Studie dala odpovědi na možnosti využití výsledků použití produktů vytvořených za pomoci dronů v 2. a 3. třídě přesnosti ve smyslu ČSN 01 3410 [1]. Autoři uskutečnili reálné testy na zadaném úseku železniční trati. Součástí studie bylo rovněž stanovení orientačních provozních nákladů v závislosti na výkonu ve vybraných oblastech sběru dat a porovnání těchto postupů s postupy současnými z hlediska nákladů, časové náročnosti a kvality výstupů. Při návrhu technologických postupů testování, a následném využití dronů, byl brán zřetel na současné závazné postupy dané Metodickým pokynem pro měření prostorové polohy koleje (SŽDC M20/MP004) [2], zákonem č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální zákon) [3], jeho prováděcí vyhláškou č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální vyhláška) [4] a Nařízením vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání [5]. Autoři článku vychází při hodnocení použitelnosti dronů rovněž z obsahu Usnesení vlády č. 958, o významu metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v České republice a návrhu dalšího postupu pro její zavedení, ze dne 2. listopadu 2016 [6] a z obsahu Koncepce zavádění metody BIM v České republice vydané Odborem stavebnictví a stavebních hmot Ministerstva průmyslu a obchodu ČR z června 2017 [7].

2 BIM

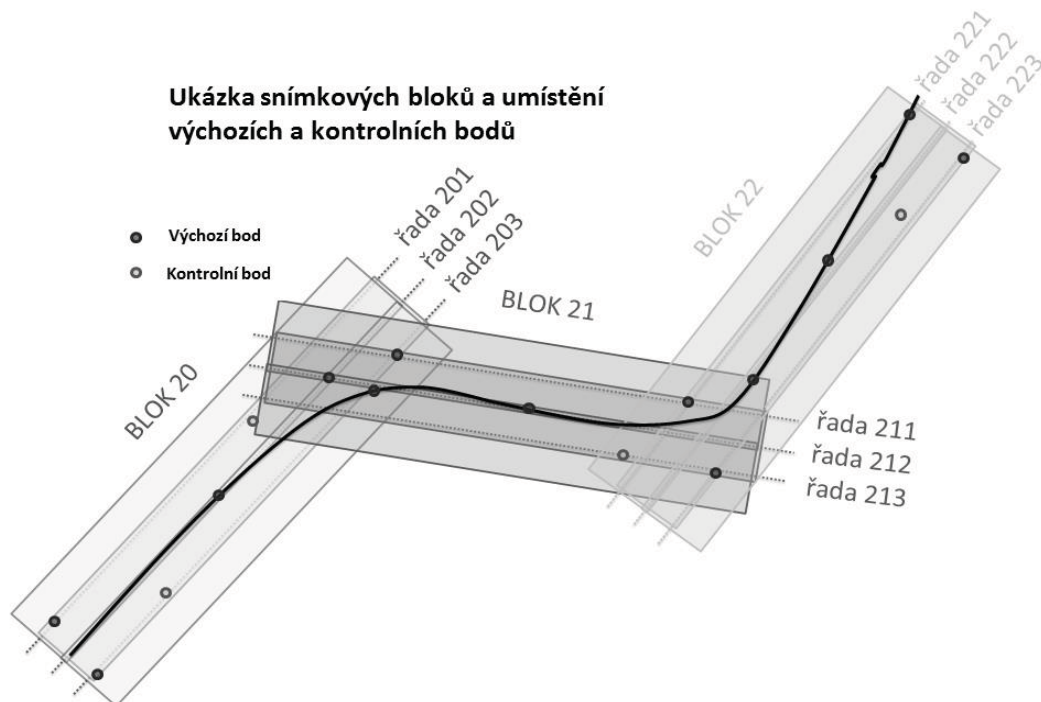
Digitalizovaná data dokumentace staveb a digitální data modelů BIM jsou organizována v technologii BIM. Zpracování stavební dokumentace v digitálním trojdimenzionálním prostředí není v ČR novinkou. Na základě mezinárodních zkušeností a tehdy v platnost vstupujících norem ISO v klasifikační třídě 25.040.40 „Měření a zvládání průmyslových procesů“ byly v ČR v oblasti dopravních staveb vypracovány Ředitelstvím silnic a dálnic (ŘSD) již v roce 1998 předpisy požadující jednotný postup tvorby trojdimenzionálních dat pro zabezpečení podkladů projekčních činností, projekci samé a přístup k datům v procesu údržby a provozování pozemní komunikace. Těmito předpisy byly například C1 - Datový předpis pro tvorbu digitálních map pro Ředitelství silnic a dálnic ČR [8] a předpis B2 pro tvorbu digitální mapy Základní mapy dálnice pro ŘSD ČR [9]. Na tyto měřické normativy navazovali předpisy pro plnou trojdimenzionální projekční činnost při výstavbě a rekonstrukci dálnic. V průběhu poměrně dlouhého období implementace těchto postupů do praxe byly souběžně řešeny otázky ochrany autorských práv, licenční politiky producentů softwaru pro trojdimenzionální mapování a projektování. S obdobnými prostředky a prakticky identickými cíli vstoupili do procesu 3D mapování i odborné orgány SŽG.

Obecným cílem BIM je snížení nákladů finančních, časových a organizačních při zachování požadavků kvality všech činností v celém životním cyklu stavby, tj. ve fázi koncepčního návrhu, při výstavbě, provozování a správě nemovitosti. Proces BIM je procesem založeným na interoperabilitě, spolupráci a kooperaci odborníků různých profesí nad jedním centrálním modelem liniové stavby. Centrální digitální troj a vícedimenzionální plán liniové stavby by měl a musí být sjednocujícím podkladem, prostředím a úsilím všech účastníků procesu BIM.

3 BIM A UAV

O vztahu BIM a UAV je napsána řada příspěvků a vědeckých pojednání jako například [10], [11] a [12]. Většina z těchto příspěvků je však ryze teoretická a nereflkuje ani obecné standardy a již platné základní normy v oblasti BIM a již vůbec ne národní předpisy v ČR. Velmi dobře nám však tyto příspěvky poslouží jako průvodce pro sestavení BEP (Prováděcího plánu uskutečnění a realizace BIM) v případě konkrétních staveb na železnici v ČR. Z pohledu BIM jsou postupy a nasazení UAV velmi efektivní, ale je nutné v návaznosti na technické předpisy uvedené výše, vždy zvážit jejich reálné možnosti, především v souvislosti s požadavky na přesnost vstupů pro projektování a měření v průběhu výstavby, která je limitující pro použití výsledků získaných prostřednictvím a využitím dronů a jejich senzorů.

V roce 2016 byla vypracována Studie na trati číslo 271 v délce přibližně 13,7 km. Pro snímkování byl zvolen pixel na terénu – Ground sample distance - GSD=1cm. Lokalita byla rozdělena do 43 snímkových bloků. V lokalitě bylo signalizováno 173 výchozích a kontrolních bodů (VB, KB) zeleným kruhem o průměru 43mm. Body byly stabilizovány obvykle měřickým hřebem. Rozložení a umístění VB a KB v lokalitě reflektovalo hranice, v kterých byly vytvářeny meziprodukty pro mapování prostorové osy koleje. Souřadnice VB byly změřeny z objednatelem dodaného ŽBP přímým geodetickým měřením odvozeným z tohoto pole v souřadnicovém systému JTSK a výškovém systému Bpv.



Obr. 1 Ukázka snímkových bloků a umístění výchozích a kontrolních bodů

Snímkování lokality bylo provedeno v 43 snímkových blocích. Průměrná délka snímkového bloku byla 350 metrů. Snímkové bloky se vzájemně překrývaly o cca 50 metrů. Lokalita byla snímkována pozemním bezpilotním vrtulníkem-hexakoptérou MikroKopter Hexa XL v modifikaci firmy UpVision spol. s r.o. jako senzor byla použita digitální jednooká zrcadlovka Canon EOS 700D. Prostřední řada byla umístěna do osy trati a dvě boční řady byly od této osy vzdáleny 20 metrů, což je vzdálenost odpovídající pro danou výšku letu a parametrům kamery příčnému překrytu mezi řadami 60 %, podélný překrytí byl 80%. Celkově bylo exponováno a do dalšího zpracování vstoupilo v součtu všech 43 bloků 11 391 snímků.

Fotogrammetrické výpočty a tvorba ortofoto a digitálního modelu povrchu byly vyhotoveny s cílem vytvořit podklady pro určení průběhu prostorové osy koleje a prostorové polohy předmětů mapování železničního svršku. Výslednými produkty byly - digitální model povrchu, digitální model reliéfu a bežešvé ortofoto. Zpracování snímků proběhlo víceetapově a byla použita řada programových nástrojů moderní fotogrammetrie. Pro vyhledání spojovacích bodů a pro prvotní výpočet parametrů vnitřní a vnější orientace byl použit program Agisoft Photoscan Professional. V tomto programu byla provedena identifikace VB a KB, zpřesnění prvků vnitřní a vnější orientace a tvorba DMP. V programu Trimble INPHO - verze 7.1.3 byl modul DTMaster použit pro úpravu digitálního modelu povrchu a digitálního modelu terénu. Modul OrthoMaster posloužil následně k ortorektifikaci snímků a modul OrthoVista k vytvoření bežešvého ortofoto.

Dostatečné množství VB umožňovalo provést několik variant výpočtů v rámci blokové aerotriangulace. Byly vytvořeny celkem tři varianty s různou kombinací použitých VB. KB byly měřeny samostatně a nevstupovaly v dané variantě do výpočetního procesu. Byla jasně prokázána závislost kvality výsledných produktů na konfiguraci a počtu VB a rovněž doložena přesnost určení běžného podrobného bodu mapování metodami UAV. Mračna bodů generovaná z leteckých snímků pořízených v průběhu testu byla z důvodů výpočetních kapacit vypočtena automatickou obrazovou korelací nastavenou na střední úroveň korelace, což prakticky znamená, že snímky nebyly korelovány pixel na pixel, ale na pixel integrovaný součtem čtyřech pixelů sousedních. I přes zvolenou úroveň integrace vstupních snímků trvalo generování mračna bodů přibližně tři dny na 16 počítačích spojených v účelovou síť. Výsledkem bylo mračno bodů čítající 1 084 342 059 bodů. Celé mračno čítající více než miliardu bodů bylo exportováno do souboru ve formátu LAS verze 1.4 dle standardu ASPRS. Zároveň na něm byla provedena základní klasifikace pro vytvoření digitálního modelu reliéfu (DMR). Takto upravené mračno DMR bodů bylo exportováno rovněž do souboru LAS.

Při dodržení zásad použití UAV sepsaných ve Studii lze docílit hodnoty RMSE v poloze do 2 cm a odchylky ve výšce do 4 cm. V souvislosti s nutným dodržením v současné době platných předpisů při výstavbě a rekonstrukci železničních tratí je možné použít v procesu BIM metody snímkování a skenování (obecně tvorby mračen bodů) pomocí dronů s kamerami nebo skenery na jejich palubě pouze v několika fázích tvorby dat vstupujících do procesu BIM.

3.1 POUŽITÍ UAV PRO TVORBU PŘEHLEDOVÉHO AKTUÁLNÍHO ORTOFOTO, DMP A VISUALIZACE PROJEKTU

Pro projednávání variant trasy železniční trati nebo její rekonstrukce a seznámení odborné i laické veřejnosti s projednávanými alternativami a postupy je vhodné provést snímkový let v pruhu území, který pokryje celé řešené území včetně ochranných

a bezpečnostních pásem železniční trati i s potřebnou rezervou, především v oblastech budoucího křížení s ostatními komunikacemi. Let musí být uskutečněn s takovými parametry snímkování, aby přesnost podrobných bodů mapování v poloze a výšce byla do 6 cm. Aby tato hodnota mohla být dodržena, je nutné snímkovat s elementem GSD < 4 cm. Pracovní ortofoto pak slouží společně s modelem povrchu jako podklad pro vlastní projekční práce a jako základ pro 3D vizualizaci terénu při odborném a veřejném projednávání DÚR a rovněž jako podklad pro měřický náčrt při vytyčování stavby v terénu a výsledků rekognoskace a průzkumu terénu stavby z pohledu možných kolizí se stávajícími cizími i vlastními infrastrukturami. Snímky nebo skenovaný povrch v případě použití laserové skenovací aparatury na palubě UAV slouží rovněž pro tvorbu dat výškopisu vyjádřeného formou trojdimenzionálních diskrétních bodů nebo prostorových vrstevnic. Na základě vyhodnocení účelového polohopisu a výškopisu z vytvořeného ortofoto a DMT je takto vzniklý primární datový soubor zpracován do finální podoby pro potřeby projektantů a na základě standardizovaného formátu předáván projekční organizaci. Soubory účelových map a podkladů musí být vyhotoveny standardně v plných (neredukovaných) souřadnicích JTSK, 3. kvadrant, ve výškovém systému BpV. Výsledným elaborátem sloužícím ke studiu trasy i následným projekčním pracím jsou digitální soubory polohopisu a výškopisu těchto účelových map. Mapové objekty reálně se vyskytující v terénu jsou obvykle uspořádány podle tabulek mapových objektů s unikátním ID a s atributy předepsanými BEP respektive BIM, nejméně však vyjadřující obsah účelové digitální katastrální mapy, mapových objektů, výplně ploch, parcel účelového polohopisu, bodových polí, vytyčovací sítě podrobných bodů, čísel podrobných bodů a značek podrobných bodů. Rovněž obsahují návaznost na v terénu identifikované a nalezené inženýrské sítě.



Obr. 2 - Ukázka mapování účelového polohopisu a výškopisu fotogrammetrickými metodami jako příprava pro projekt křížení stávající železniční trati s budoucí dálnicí

3.2 LASEROVÉ SKENOVÁNÍ Z UAV PRO TVORBU DIGITÁLNÍHO MODELU PRO PROJEKČNÍ ČINNOST PO VÝBĚRU A SCHVÁLENÍ VARIANTY ŽELEZNIČNÍ TRATI

Metoda měření pomocí technologií leteckého laserskenování z UAV umožňuje získat po ukončení snímkového letu a zpracování dat velmi hustý a vysoce přesný digitální model terénu a digitální model povrchu. Prakticky lze data DMT využít jako pomocný údaj pro vytváření digitálního modelu povrchu terénních překážek a dále pro digitální model terénu očištěného o terénní předměty. Po následném vyrovnání výsledků a potřebných filtrací terénních předmětů obdržíme DTM lokality s hustotou měření až 300 bodů na metr čtvereční (v otevřeném terénu) s přesností ve výškách 0,03m. takto obdržený přesný digitální model v pruhu potřebném pro projekční činnost, je možné využít následně pro měření kubatur přemístěných materiálů v průběhu výstavby. Lety s laserovými skenovacími aparaturami je vhodné vykonat v mimovegetačním období, aby nebylo nutno odpočítávat výšku travních porostů a porostů kulturních plodin a byl skenován holý terén bez porostů.



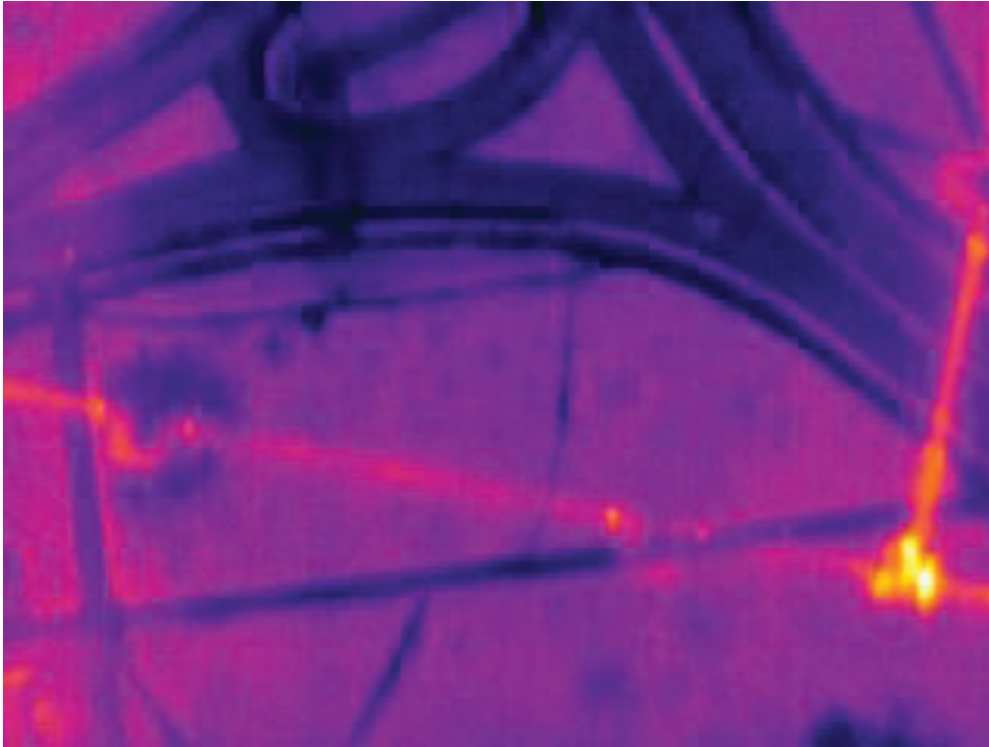
Obr. 3 - Ukázka dat z leteckého laserového skenování – podklady pro přeložku R55 v kontaktu s železniční tratí

Díky vysoké hustotě, rychlosti, kvalitě a zejména prostorové přesnosti takto pořízených mračen bodů představuje tato metoda jednu z nejefektivnějších metod získávání prostorových informací pro projekční práce související s výstavbou železniční komunikace nebo její rekonstrukce. Hlavní použití tak nachází v oblastech přípravy přesných digitálních modelů pro projekční práce.

3.3 TERMOVIZNÍ SNÍMKOVÁNÍ Z UAV JAKO DOPLNĚK PRO VYHLEDÁVÁNÍ POTRUBNÍCH INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ

Termografie je metoda bezkontaktního měření povrchové teploty sledovaného objektu. Detektor termografické kamery měří objektem vyzařovanou elektromagnetickou radiaci v infračervené oblasti spektra. Číselně lze toto pásmo vyjádřit v rozmezí vlnových délek $\lambda = 0,75 \mu\text{m}$ až 1 mm. Skutečnost, že záření přímo závisí na povrchové teplotě objektu (popisuje Planckův vyzařovací zákon, Wienův posunovací zákon a Stefan-Boltzmanův

zákon), umožňuje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit. Výsledkem leteckého termografického měření jsou podklady pro sledování tepelných projevů sledovaných objektů. V případě použití této měřické metody je možné, v případě příznivých a optimálních teplotních podmínek (vhodné rozdíly teplot vody v potrubí vůči okolnímu terénu) identifikovat polohu uložení potrubí v zemi a doplnit tak dokumentaci inženýrských sítí v případě pochyb o poloze takového potrubí do podkladů pro projektování. Termografické záznamy je možno prezentovat stejně jako jiné mapové polohopisné podklady. Podobně jako u leteckých měřických, také fotogrammetrickým zpracováním termografických snímků vyrobíme termografické ortofoto a získáme možnost měřit vzdálenosti a ploch v superpozici s ortofoto ve viditelném pásmu.



Obr. 4 Termografické snímky tepelných rozvodů pod tělesem městského okruhu Hradec Králové

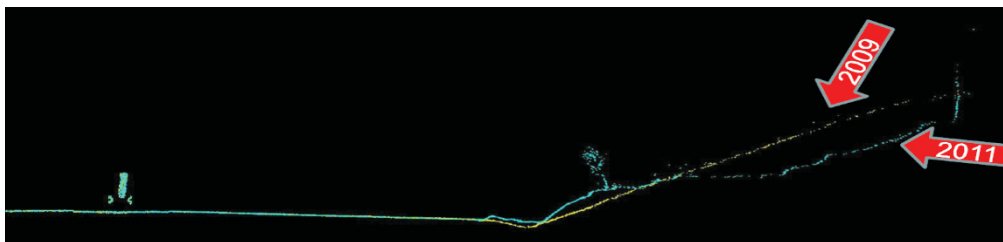
3.4 POUŽITÍ UAV PRO MONITORING A MĚŘENÍ OBJEMŮ HMOT V PRŮBĚHU VÝSTAVBY ŽELEZNIČNÍ TRATI

Pro určení objemu odtěžených a přemístěných hmot v průběhu výstavby pozemní komunikace je potřebné, aby byl terén změřen před zahájením rekonstrukce železniční trati. Pokud bylo ve fázi přípravy projektové dokumentace provedeno letecké snímkování s pomocí UAV (nebo letecké laserové skenování pomocí UAV nebo letounu s osádkou) v duchu metod výše popsaných v potřebném plošném rozsahu a kvalitě je možné vyjít z těchto měření jako měření počátečního stavu pro následné výpočty objemu přemístěných hmot. Následně pak na základě postupných měření mračen bodů generovaných ze snímků nebo přímo měřených laserem z paluby UAV v potřebných časových intervalech a obdobích (daných plánem postupu stavebních prací) lze vypočítat odtěžený, přemístěný, navrstvený a dočasně uložený materiál na zemnicích a přispět tak ke kvalitnímu doložení objemu vykonaných prací ve fakturách za ně vystavených. Případně opačně kontrolovat tímto rozsah vykazovaných prací. Výhody použití UAV při řešení těchto úkolů jsou v porovnání s letouny s osádkou především v jejich operativnosti, rychlosti nasazení, relativní nezávislosti na povětrnostních podmínkách a rovněž v následné rychlosti změření DTM, zpracování modelů a výpočtu

rozdílů těchto dvou digitálních modelů terénu a určení rozdílů kubatur v celé ploše stavby s vysokou přesností určení rozdílů objemů.

Pro průběh a kontrolu postupu prací na stavbě železniční trati nebo její rekonstrukci lze rovněž použít lety s videokamerou na palubě UAV. Vzniká tak jednoduchý avšak neměřický záznam, který ale může být důležitým doplňkem pro záznam průběhu výstavby železniční trati a může sloužit jako doplněk dokladu dodavatele stavby při pravidelných kontrolních dnech. Videozáznamem tak lze jednak kontinuálně zobrazovat a dokladovat stav postupu prací, ale rovněž lze předvést meziměsíční porovnání zobrazované stavby rekonstruované železnice. Po ukončení výstavby lze záznamy použít k vytvoření animace o průběhu výstavby.

Obecně lze konstatovat, že základem pro proměrování, vizualizaci, posuzování stavu a určování kubatur je vždy prvotní záznam, od kterého se naše pozorování časově odvíjí a které určuje počátek odměřování hodnot lineárních, plošných a prostorových. Jako prvotní pro tato porovnání lze vzít poslední zaznamenaný stav, který se shoduje s projektem nebo technickými podmínkami. Jakou měřickou metodou, respektive jakou technologií pořízení bodových mračen použijeme pro zjištění stavu v daném okamžiku výstavby je relativně nepodstatné. Je tedy možné k pozorováním, vizualizacím či výpočtům kubatur, sesuvů nebo posunů svahů vzít předchozí laserskenová měření provedená z UAV nebo generovaná z leteckých snímků. Jakýkoliv podklad však musí mít $RMSE_{xyz} < 0,04m$.



Obr.5 Ukázka porovnání dvou mračen laserových bodů před sesunem a po sesunu svahu

4 ZÁVĚR

Fotogrammetrie s použitím UAV směřuje od stereofotogrammetrického vyhodnocení leteckých snímků k vytvoření mračen bodů získaných korelačními postupy z leteckých neměřických snímků nebo laserovým skenováním z UAV. V rámci procesu BIM tak mohou technologie UAV přispívat při budování železničních komunikací nebo jejich rekonstrukci všude tam, kde postačí přesnost polohových souřadnic odečtených z ortofoto $m_{xy} = 0,04 m$ (ze snímkování s $GSD < 2,5cm$), neboť viditelné předměty na ortofoto pak lze bezpečně interpretovat, pointovat a odečíst souřadnice předmětů s touto přesností. V digitálním modelu povrchu lze na plochých předmětech, jako jsou přejezdy, lože trati, nástupiště a budovy dosáhnout přesnosti se střední odchylkou $m_z = 0,06 m$. Stereoskopickým pozorováním a vyhodnocováním prostorového mračen bodů lze hodnotu odchylky určení souřadnic prostorového bodu očekávat na úrovni $m_{xyz} = 0,05m$. Tímto postupem se poměrně zásadně mění přístup k zpracování dat pořízených fotogrammetrickými metodami. Postupem určení obvodů nádražních budov, řezů nástupišť, sloupů osvětlení a dalších prvků mapování železničního svršku prostorovým pozorováním mračen bodů nebo řezy mračen bodů vhodnými horizontální a obecnými rovinami, tak postupně eliminuje významnou nevýhodu stereoskopického klasického fotogrammetrického mapování budov "po obvodu střešního pláště". Fotogrammetrické metody UAV lze tedy při platnosti předpisů v podmínkách SŽDC použít v rámci BIM pouze tam, kde postačí polohová přesnost určená z ortofotomap v kódu

kvality 3 dle [1] při snímkování s GSD = 2 až 2,5 cm. V případě použití snímkování s GSD = 1 cm pak lze dosáhnout kódu kvality 2 s tím, že výšky v plochých částech prostoru mapování budou třídám přesnosti vyhovovat, ale výšky předmětů typu kolejnice (respektive jejich temene) je nutné měřit jinými měřickými metodami. Postupy UAV tedy nevyhoví v žádném případě požadavkům předpisu [2]. Z tohoto důvodu nelze v rámci BIM využít pro přípravu projektu výstavby nebo rekonstrukce železniční trati jinak než jako informativní a lokalizační podklad pro výstavbu a rekonstrukci trati. V průběhu výstavby pak je velmi výhodně využít UAV pro sledování postupu prací a v průběhu provozování a údržby jako vysoce kvalitní podklad pro připravovaný informační systém „ŽEBAGED“ u SŽDC a SŽG.

Mimo výše uvedené možné použití v rámci BIM lze technologie UAV použít i při mapování a určování pohybů vertikálního okolí železničních tratí, především k mapování a měření skalních stupňů a svahů, pro kontrolu jejich stability, případně periodické kontrole těchto prostorů a potenciálně nestabilních útvarů a stanovení pohybů a změn těchto útvarů. Podklady získané těmito měřeními pak slouží k výrobě jednak ortofoto v nestandardních zobrazovacích rovinách a jednak mohou sloužit jako podklad k provedení sanací těchto terénních tvarů.

LITERATURA

- [1] ČSN 01 3410 Mapy velkých měřítek
- [2] Metodický pokyn pro měření prostorové polohy koleje (SŽDC M20/MP004) č.j. S2772/2016-SŽDC-013 ke dni 11. března 2016
- [3] Zákon č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální zákon)
- [4] Vyhláška č. 357/2013 Sb., o katastru nemovitostí (Katastrální vyhláška)
- [5] Nařízení vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání
- [6] Usnesení vlády č. 958, o významu metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v České republice a návrh dalšího postupu pro její zavedení, ze dne 2. listopadu 2016
- [7] Koncepce zavádění metody BIM v České republice vydané Odborem stavebnictví a stavebních hmot Ministerstva průmyslu a obchodu ČR z června 2017
- [8] C1 - Datový předpis pro tvorbu digitálních map pro Ředitelství silnic a dálnic ČR
- [9] B2 – Předpis pro tvorbu digitální mapy Základní mapy dálnice pro ŘSD ČR
- [10] Tuttas, S., Braun, A., Borrmann, A., and Stilla, U.: Comparison of photogrammetric point clouds with BIM building elements for construction progress monitoring, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-3, 341-345
- [11] Hichri, N., Stefani, C., De Luca, L., Veron, P., and Hamon, G.: From point cloud to BIM: a survey of existing approaches, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W2, 343-348
- [12] Roca, D., Armesto, J., Lagüela, S., and Díaz-Vilariño, L.: Lidar-equipped UAV for building information modelling, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5, 523-527.

Lektoroval: *doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.*
Vysoké učení technické v Brně