

Nasazení mobilní SLAM technologie pro operativní aktualizaci stavu terénu v podmínkách uhelného velkolomu

Deployment of Mobile SLAM Technology for Operational Terrain Updates in Open-Pit Coal Mine Conditions / Einsatz der mobilen SLAM-Technologie zur operativen Aktualisierung des Geländezustands im Braunkohletagebau

ING. STANISLAV DEJL¹, ING. MARCEL BREJCHA, PH.D.²

¹VŠB - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Katedra geodézie a důlního měřictví; dejl@sdas.cz

²VŠB - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut kombinovaného studia Most

Přijato: 4. 2. 2025, recenzováno: 5. a 19. 5. 2025

ABSTRAKT

Letecká fotogrammetrie za použití UAV, resp. využití BODOVÝCH MRAČEN je ve společnosti Severočeské doly a.s., Chomutov používána od roku 2021. Hlavním využitím této metody je aktualizace důlně měřické dokumentace. Nové metody mapování mohou díky své operativnosti zajistit lepší aktuálnost dokumentace. Umožňují mapování složitých geologických oblastí, nestabilních skluzových oblastí nebo nepřístupných nebezpečných míst. To může pozitivně ovlivnit předcházení rizik a zvýšení bezpečnosti práce. Bylo provedeno testování možnosti doplnění metody DRON-MRAČNO mobilním pozemním skenováním a registrací „cloud to cloud“ v době, kdy nelze UAV kvůli počasí použít.

Aerial photogrammetry using UAVs, or rather the use of POINT CLOUDS, has been used in Severočeské doly a.s., Chomutov since 2021. The main use of this method is the update of mining survey documentation. New mapping methods can ensure better up-to-date documentation due to their operability. They enable mapping of complex geological areas, unstable slip areas or inaccessible dangerous places. This can positively affect risk prevention and increase work safety. Testing of the possibilities of supplementing the DRONE-CLOUD method with mobile ground scanning and "CLOUD TO CLOUD" registration was carried out at a time when UAVs cannot be used due to the weather.

Luftbild-Photogrammetrie mit UAVs, insbesondere unter Verwendung von Punktwolken, wird bei Severočeské doly a.s., Chomutov seit 2021 eingesetzt. Hauptzweck dieser Methode ist die Aktualisierung der bergmännischen Vermessungsdokumentation. Neue Kartierungsmethoden ermöglichen dank ihrer operativen Flexibilität eine bessere Aktualität der Dokumente. Sie ermöglichen die Vermessung komplexer geologischer Strukturen, instabiler Rutschungsbereiche oder unzugänglicher Gefahrenstellen. Dies kann zur Risikoprävention und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit beitragen. Es wurden Tests zur Ergänzung der Methode DROHNE-PUNKTWOLKE mit mobilem terrestrischem Scanning und Cloud-to-Cloud-Registrierung durchgeführt – insbesondere in Situationen, in denen UAVs aufgrund der Wetterbedingungen nicht eingesetzt werden können.

Klíčová slova: fotogrammetrie, UAV, dron, TLS, mobilní skenování, bodové mračno, digitální model terénu
Keywords: photogrammetry, UAV, drone, TLS, mobile scanning, point cloud, digital terrain model

1 | ÚVOD

Na Severočeských dolech a.s., Chomutov (SD a.s.), útvaru měřictví a geologie (ÚMG, dříve OMG) je na obou těžebních lokalitách, Doly Nástup Tušimice (DNT) a Doly Bílina (DB), více než 40 let používána jako hlavní mapovací metoda pro aktualizaci digitálního modelu terénu (DMT) a kubaturní výpočty letecká fotogrammetrie. Postupně došlo k přechodu od černobílých fotografií přes barevné fotografie k digitálnímu snímkování. Do roku 2021 se jednalo o letecké měřické snímkování (LMS) prováděné letadlem, které neslo měřickou kameru. Po zpracování snímků a po provedení potřebných výpočtů probíhalo ve fotogrammetrických programech určování souřadnic X, Y a Z jednotlivých objektů a terénu fotogrammetrie ÚMG. V roce 2021 byla na Severočeských dolech a.s. „klasická“ metoda leteckého měřického snímkování nahrazena novou metodou LMS, pracovně nazývanou „DRON – MRAČNO“ [3].

2 | METODA „DRON – MRAČNO“

2.1 | PARAMETRY A HLAVNÍ VYUŽITÍ METODY

V současnosti se používá na SD a.s. jako hlavní metoda pro aktualizaci důlně měřické dokumentace metoda „DRON – MRAČNO“. Jedná se především o práci s digitálním modelem terénu (DMT), protože, jak bylo v minulosti uvedeno [3], tato metoda není momentálně v podmínkách uhelných velkolomů vhodná pro práci s polohopisnými prvky typu budova, patka sloupu, svodidlo apod. Pro získání digitálních snímků, ortofotomapy a bodového mračna je naším externím dodavatelem [1] používána kamera DJI Zenmuse P1 nesená dronem DJI M300 RTK (obrázek č. 1).

Externí dodavatel v programu Agisoft Metashape vytváří metodou obrazové korelace bodová mračna, jejichž každý bod má souřadnice X, Y a Z. Snímkování je provedeno tak, aby byl podélný překryt soused-

ních snímků 80 % a příčný překryt 70 %. Po provedení snímkování a zpracování dodavatel předá barevné digitální letecké měřické snímky o velikosti pixelu max 5,5 cm ve formátu JPG. Dalším a nejdůležitějším produktem je georeferencované bodové mračno. Požadovaná hustota podrobných bodů je min. 10x10 cm ve standardních formátech (LAS, E57, TXT...). Požadovaná přesnost vlivovacích a kontrolních bodů musí odpovídat min. 2. třídě přesnosti ($m_{xy} \pm 0,08m$, $m_z \pm 0,07 m$). V neposlední řadě obdržíme barevnou ortofotomapu s velikostí pixelu min. 5,5cm ve formátu TIFF + TFW. Kvůli značné velikosti dat (až stovky GB) vozí dodavatel data na přenosném médiu (přenosný HDD).

Fotogrammetri následně provádí v programu Carlson Point Cloud Advance výběr a převod mračna bodů do vektorové podoby pro potřebnou interpretaci hran terénu, bodů a dalších nadzemních objektů s ohledem na jejich další využití. Tímto způsobem vzniká nový digitální model terénu a následně jsou ve speciálních programech pro správu DMT (KVAS a ATLAS) prováděny kubaturní výpočty skryvky a uhlí. Kromě aktualizace základního digitálního

modelu terénu a kubaturních výpočtů se tato metoda osvědčila i pro jiné, dále uvedené úlohy.

2.2 | ÚČELOVÉ SNÍMKOVÁNÍ Z MALÉ VÝŠKY

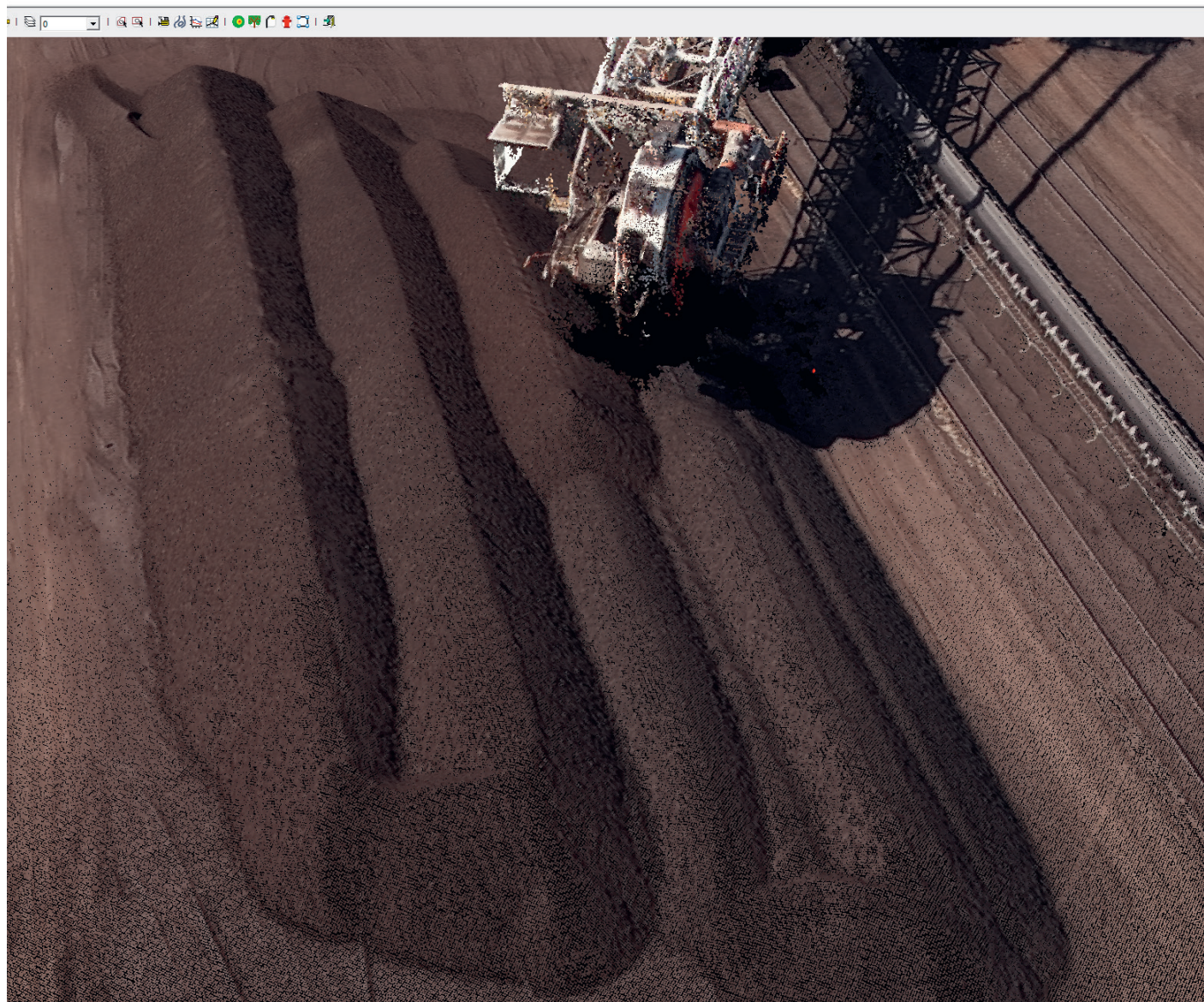
Technologie DRON-MRAČNO je ve srovnání se snímkováním letadlem v některých případech výhodnější. Jedním z nich je snímkování řádově menších oblastí z menší výšky, které je operativnější a podrobnější. Jako příklad může sloužit mimořádné snímkování v září 2021, kdy bylo potřeba nasnímkovat skluzovou oblast jižně od těžby rýpadla KU300/K68. Snímkování skluzové oblasti jižních závěrných svahů o rozloze cca 0,25 km² bylo provedeno z menší výšky v hustotě bodového mračna 2,5x2,5 cm [3].

Dalším příkladem využití metody je mimořádné snímkování skládek uhlí na DNT pro inventarizaci uhelných zásob na konci každého kalendářního roku (obrázek č. 2).

Kromě těchto případů se nově začala využívat technologie DRON-MRAČNO pro vyhodnocování některých geologických prvků, jako jsou tektonické



Obr. 1: Dron DJI M300 RTK s kamerou DJI Zenmuse P1. (Foto: AEROVISION Group s.r.o.)



Obr. 2: Homogenizační skládka uhlí na DNT – bodové mračno.

poruchy, výrazná rozhraní vrstev apod., i v nepřístupných částech těžebních řezů.

2.3 | GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE S POMOCÍ UAV

Těžební společnosti jsou na základě báňské legislativy povinné dokumentovat všechny geologické práce a zaznamenávat geologické skutečnosti zjištěné při hornické činnosti. Způsob získávání informací o geologické stavbě se většinou odehrává za vysokých nákladů a jedinečných příležitostí. Proto je potřeba ji provádět co nejúplněji a nejodborněji.

Na lokalitách SD a.s. (lom Bílina a doly Nástup Tušimice) se roční těžba odehrává na ploše i více než 5 km², tedy na mnohem větších plochách, než v běžných lomech (pro srovnání běžná pískovna o velikosti do 0,2 km², lom Zbraslav 0,5 km²). Geologická dokumentace každého těžebního řezu, o délce až několika kilometrů a výšce i 30 m, se provádí někdy

i vícekrát za rok. Jedná se tedy o ohromné plochy, které musí geologické oddělení zdokumentovat mnohdy v náročných a někdy nedosažitelných podmínkách (např. ve svrchní části řezu – obrázek č. 3). V těchto nepřístupných částech geolog obvykle odhaduje nebo interpoluje. Od roku 2021 využívá SD a.s. k zaměření stavu lomu UAV, jehož výstupy se dají použít právě i pro geologickou dokumentaci nepřístupných částí těžebních řezů.

Geolog dostane každé náletové období (cca jednou měsíčně) zpracované mračno bodů celého zájmového území. Hlavní výhodou je možnost si zaměřit z mračna bodů každý geologický fenomén i v nepřístupných částech těžebního řezu. Navíc práce s mračnem bodů je v počítači poměrně rychlá, takže během cca 1-2 hodin může geolog prohlédnout a proměřit geologické fenomény v celém lomu. Nabízí se také možnost rovnou vypočítat kubatury hmot např. u sesuvu. Ke všem těmto datům se může



Obr. 3: Těžební řez na dolech Nástup Tušimice. Na tomto příkladu by geolog zakreslil výrazné světlé jílovité proplástky v uhlenné sloji a zejména tektonickou poruchu (zlom) v pravé části snímku. V takto dokonalém stavu řezu by byla použitelná i metoda UAV.



Obr. 4: Příklad úspěšného použití UAV pro geologickou dokumentaci zdeformované svrchní části uhlenné sloje na lomu Bílina. Geologická rozhraní jsou zde jasně vidět.

kdykoliv vrátit a přehodnotit, zatímco když v terénu něco opomene, tak po týdnu už nemusí mít možnost toto ověřit. Takto bylo vyhodnoceno například nevýrazné vrstevní rozhraní v nadložních jílech (obrázek č. 4), kdy se naopak projevila odstup od těžebního řezu a možnost pozorovat celou situaci zpozzdálí, což geolog na místě často nemá možnost.

Dvouleté používání výsledků UAV pro geologické účely však odhalilo značné slabiny této metody. Je-li totiž se snímkuje prostor o relativně velké ploše, není hustota mračna bodů dostatečná pro drobné geologické struktury. Použitelné jsou pouze u velkých a hlavně kontrastních struktur, např. tmavé uhlí vs. světlá vrstva jílu (obrázek č. 4). Při dokumentaci těžebních řezů si geolog plánuje práce i s ohledem na počasí a stáří stěny po odtěžení rýpadlem. Období náletu UAV však nemá geolog možnost nijak ovlivnit a běžně se stává, že jsou nálety prováděny např. po dešti (vlhké těžební řezy maskují geologii) nebo už po sesunutí části řezů s nestabilním materiálem. V takovém případě jsou výsledky nepoužitelné.

2.4 | NEDOSTATKY METODY „DRON-MRAČNO“

Technologie „DRON – MRAČNO“ má však určitá omezení, která jsou daná mj. nepříznivým počasím. Konkrétně je velmi limitující vítr (max. rychlost větru pro použití uvedeného zařízení je 12 m/s), dále déšť a sníh,

a v neposlední řadě nízká oblačnost a mlha. Na velkolomech SD a.s. by mělo být prováděno barevné snímkování menšího rozsahu (DB 40 km² a na DNT 24 km²) 10x ročně a 2x ročně snímkování velkého rozsahu (DB 56 km² a na DNT 45 km²), zpravidla k 1. dubnu a 1. říjnu (obrázek č. 5).

Vzhledem k uvedeným rozsahům je jasné, že délka snímkování se pohybuje v řádech hodin a s jedním strojem je možné nasnímkovat plochu maximálně 15-20 km² za den. Problematika používání této metody na uhelných velkolomech byla řešena již dříve [3].

Důsledkem nepříznivého počasí především v podzimních a zimních měsících je pak nutnost LMS posunout, v krajním případě zcela zrušit. Především teplotní inverze jsou pro snímkování problémové. I když je v okolí lomů krásné slunečné počasí, mohou zůstat lomy velkou část dne pod příkrovem mlhy (obrázek č. 6).

Letadlo, kterému v minulosti stačilo na snímkování obou lokalit 1,5-2 hodiny, mohlo v takovém případě počkat na letišti v Karlových Varech. Po rozpuštění mlhy se vrátilo a LMS provedlo. To při použití UAV vzhledem k potřebnému času na snímkování není možné.

Jako náhradní mapovací metoda se samozřejmě



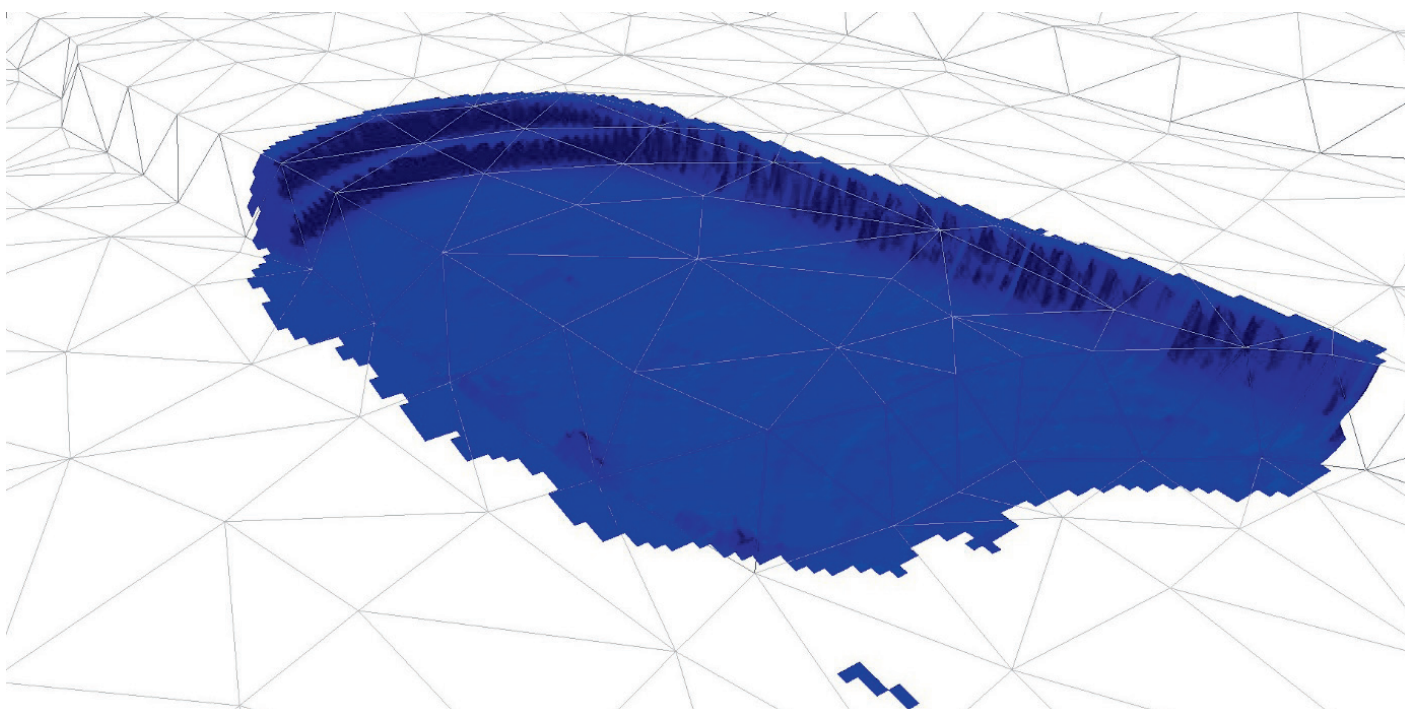
Obr. 5: Oblasti snímkování DNT podle priorit.



Obr. 6: Podzimní mlha v dole Bílina.

nabízí klasické tachymetrické měření terénu, které je vzhledem k rozloze lomů o počtu velkostrojů neefektivní. Nemluvě o bezpečnosti práce vzhledem k často „vyskluzovaným“ a tudíž nebezpečným těžebním stěnám.

Tím se dostáváme k další možné „náhradní“ metodě zaměření DMT, a to je Systém pro sledování polohy rýpadel a zakladačů prostřednictvím GNSS [2,4]. Tento systém, kterým byla postupně od roku 2009 osazena všechna rýpadla na SD a.s., mj. vytváří DMT ve formě tzv. „dynamické mapy“ (obrázek č. 7).



Obr. 7: Systém GNSS sledování polohy velkostrojů – DMT ve formě „dynamické mapy KVAS“.

Takto vytvořený DMT ovšem může vykazovat horší přesnost, hlavně ve výšce. Dále nepostihuje dostatečně výsledný tvar terénu, který je dodatečně změněn skluzovými projevy v těžebních lávkách a případnými úpravami zemními stroji (výjezdy mezi etážemi, odvodňovací příkopy apod.).

Proto bylo rozhodnuto o otestování použití statického i mobilního terestrického laserového 3D skenování s využitím SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technologie. V tomto článku je provedeno vyhodnocení zatím jen mobilního skenování.

3 | MOBILNÍHO SKENOVÁNÍ - TERÉNNÍ PRÁCE

3.1 | PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Pro test skenování byl vybrán postup rýpadla KU 300s/9 na 2. uhelném řezu Dolů Nástup Tušimice. Jednalo se o postup rýpadla v délce cca 350 m. Šířka záběru byla cca 50 m a výška řezu 8-10 m. Pláň v postupu rýpadla byla v době skenování již upravená dozery a u paty řezu byl vykopán odvodňovací příkop (obrázek č. 8). Do stěny řezu bylo naistalováno 6 plastových terčů 15 x 15 cm, které sloužily jako kontrolní, resp. vlíčovací body, a které byly zaměřeny GNSS aparaturou Trimble R12i (obrázek č. 9).

Jako výchozí stav pro následující porovnávání byl vytvořen výřez bodového mračka z 3. 7. 2024. Mračko bylo získáno fotogrammetrickou metodou s vy-

užitím snímků pořízených kamerou nesenou bezpilotním prostředkem (UAV). Bodová mračka byla dodavatelem vytvořena z leteckých měřických snímků metodou obrazové korelace (obrázek č. 10). Data byla naimportována k dalšímu zpracování do programu Carlson.

3.2 | POUŽITÁ TECHNIKA

Pro testování nové metody aktualizace s využitím mobilního laserového 3D skenování byl použit skener HERON LITE Color od firmy Gexel (obrázek č. 11). Důvodem této volby byl předpoklad nízké hodnoty šumu vytvořeného mračka bodů a doprovodný software Reconstructor dodávaný k tomuto skeneru. Důležitou součástí tohoto programu jsou funkce pro cloud to cloud registraci mraček bodů.

3.3 | SKENOVÁNÍ TESTOVACÍHO TĚŽEBNÍHO HORIZONTU

Skenování bylo provedeno celkem dvakrát. Jako hlavní měření bylo skenování přístrojem HERON, a to ve dvou režimech, z automobilu a ručně. V prvním případě byl skener připevněn na automobil speciální trojnožkou s přísavkami (obrázek č. 12). Skenování probíhalo ve dvou přibližně rovnoběžných trasách. Jednou blíže k těžební stěně a následně zpět v místech původní těžební stěny. Příprava ske-



Obr. 8: Uhlenný řez vytvořený rýpadlem KU 300s/9.



Obr. 9: Signalizace kontrolních, resp. vlíčovacích bodů.

neru včetně upevnění na automobilu trvala cca 10 minut, vlastní skenování 400 m těžebního postupu necelé 4 minuty. Druhé skenování se skenerem v ruce, kdy bylo území procházeno ve smyčkách tak, aby byla postižena celá plocha těžby. Skenování trvalo necelých 20 minut.

4 | ZPRACOVÁNÍ BODOVÝCH MRAČEN

Získaná data byla v kanceláři firmy DATA System, s.r.o. Teplice zpracována v programech Heron Desk-

top a Reconstructor od společnosti Gexcel (obrázek č. 13). Registrace výsledného mračna bodů aktuálního stavu těžebního horizontu proběhla dvěma způsoby.

- CLOUD TO CLOUD registrací,
- registrací s využitím vlíčovacích bodů.

Registrace CLOUD TO CLOUD proběhla mezi mračnem bodů pořízeným metodou obrazové korelace fotogrammetrie (obrázek č. 10) jako referenčním mračnem a mračnem bodů získaným 3D mo-



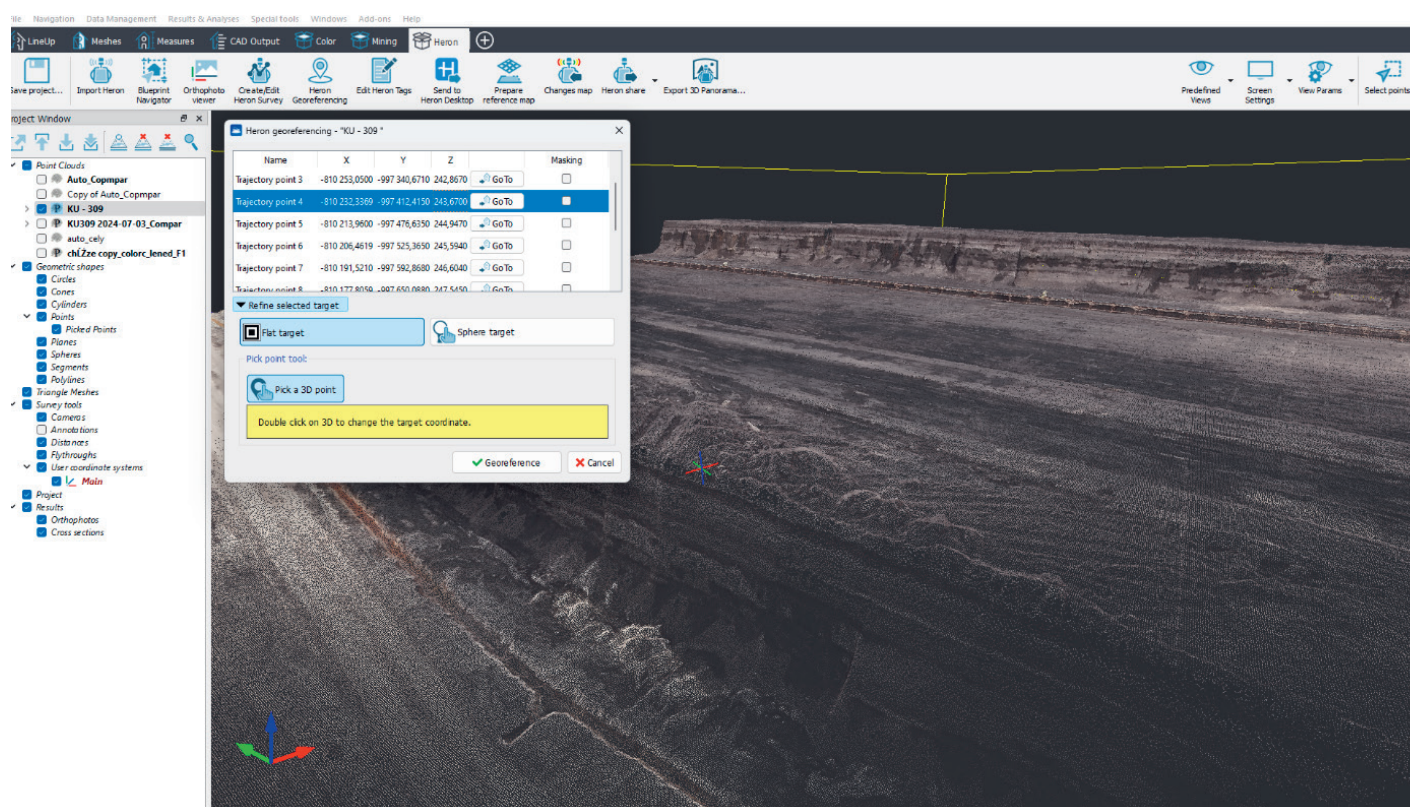
Obr. 10: Výřez bodového mračna získaného metodou „DRON-MRAČNO“ z 3. 7. 2024 v sw Carlson.



Obr. 11: Skener HERON LITE Color od firmy Gexcel.



Obr. 12: Skener HERON na trojnožce s přísavkami na terénním automobilu.



Obr. 13: Prostředí programového systému Reconstructor při registraci.

bilním skenováním s využitím skeneru Heron Lite Color (obrázek č. 14).

Jako alternativa byla provedena i registrace s využitím předem signalizovaných vlíčovacích bodů. Naše pozornost se ale dále zaměřila hlavně na registraci CLOUD TO CLOUD. Následně byla provedena aktualizace výchozího bodového mračna (obrázek č. 15).

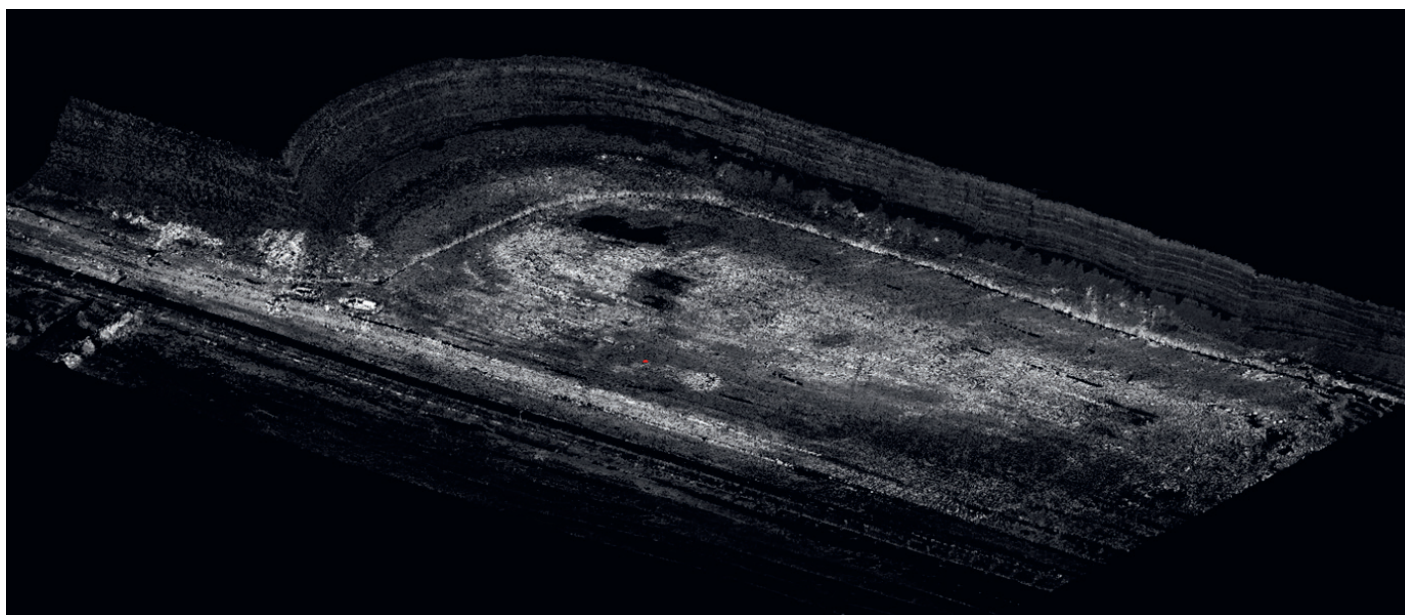
5 | VÝSLEDKY – POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD

5.1 | MRAČNO BEZ VLÍCOVACÍCH BODŮ – KONTROLNÍ BODY

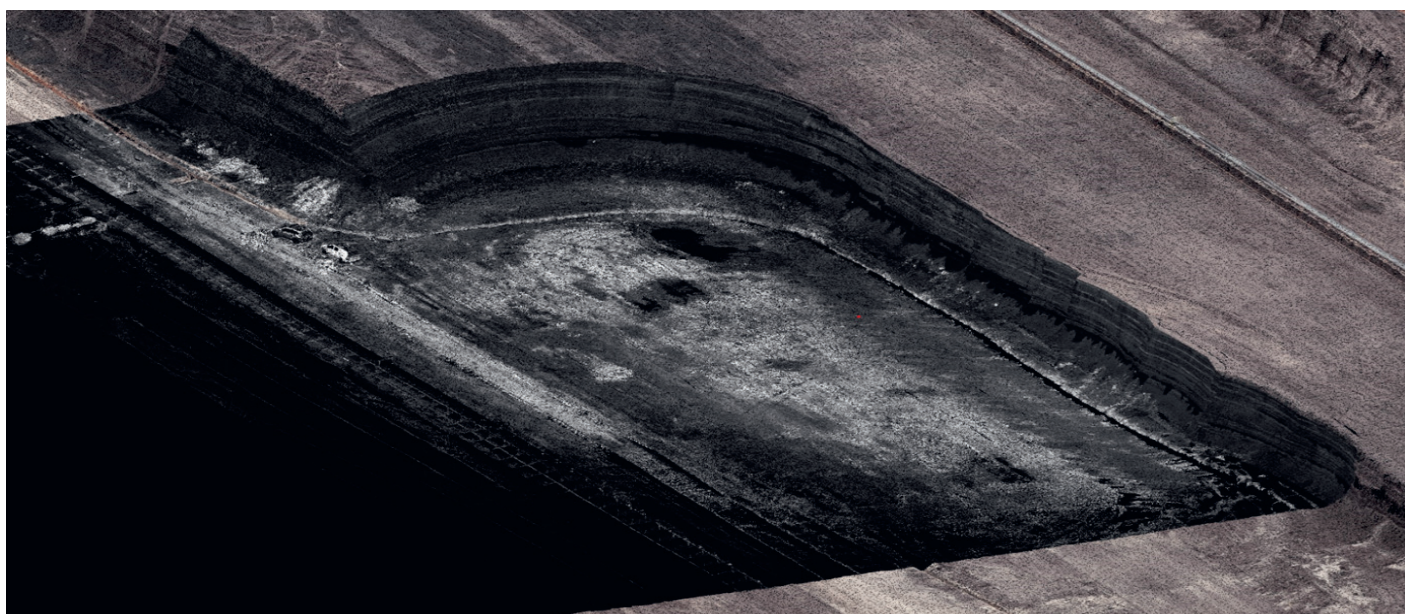
První kontrola byla provedena porovnáním souřadnic kontrolních bodů (zaměření GNSS) se souřadni-

cemi odečtenými v programu Carlson z bodového mračna pořízeného bez VB, tedy metodou CLOUD TO CLOUD.

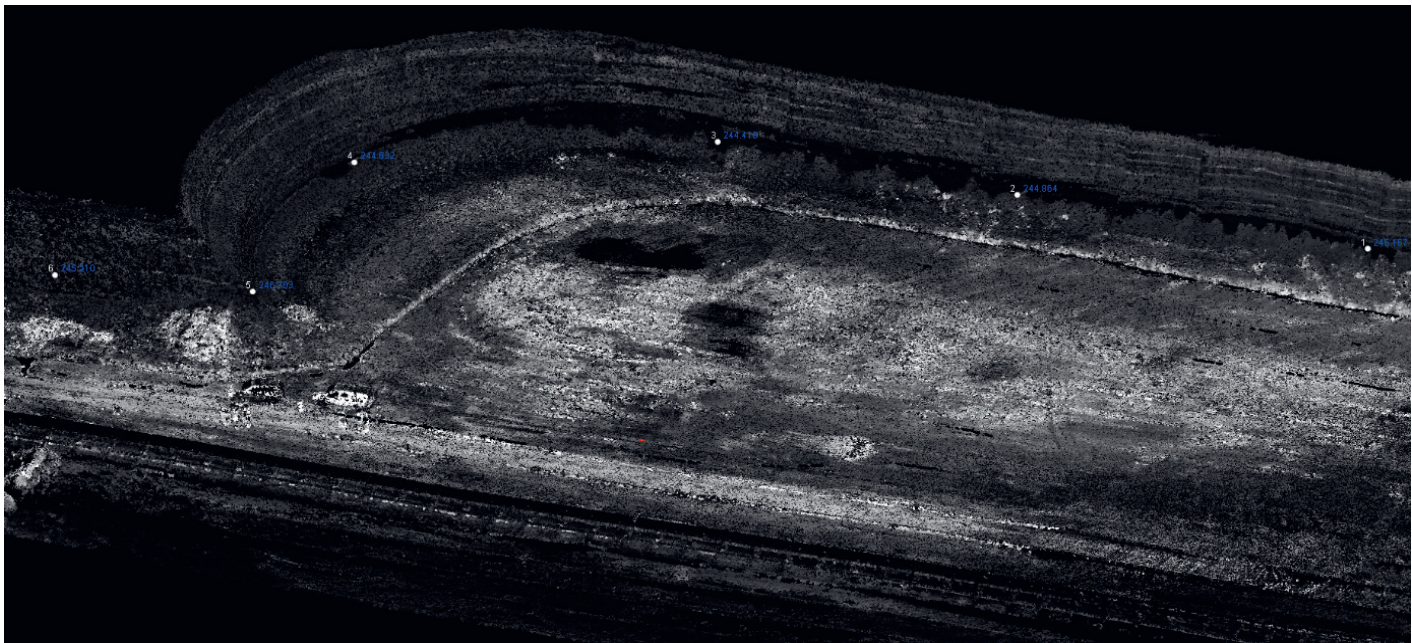
Následující tabulka (obrázek č. 17) ukazuje porovnání souřadnic bodů získaných GNSS měřením se souřadnicemi odečtenými z bodového mračna v programu GROMA. Výsledky porovnání jsou až neuvěřitelně dobré. Střední souřadnicové chyby se pohybují od 1 do 2 cm, odchylky ve výšce jsou maximálně 4 cm. Je to nejspíš shoda náhod, protože to technicky není prakticky možné. Dá se předpokládat, že se v tomto případě sečetly nepřesnosti z metody „DRON-MRAČNO“ (obrazové korelace) a metody CLOUD TO CLOUD. Další plánované testy ukážou, jak přesná je tato metoda.



Obr. 14: Bodové mračno získané 3D mobilním skenováním s využitím skeneru Heron Lite Color.



Obr. 15: Výchozí bodové mračno po provedené aktualizaci.



Obr. 16: Odečtení souřadnic kontrolních bodů z mračna bodů v programu Carlson.

Bod	GNSS zaměření			Odečtení z bodového mračna			Dosažené odchylky			
	Y	X	Z	Y	X	Z	dY	dX	dZ	sxy
101	810156,98	997465,04	246,17	810156,96	997465,07	246,17	0,021	0,032	0,003	0,02
102	810164,15	997432,65	244,86	810164,15	997432,64	244,86	0,004	0,014	0,004	0,01
103	810170,25	997404,87	244,45	810170,20	997404,84	244,41	0,052	0,028	0,04	0,03
104	810191,36	997380,32	244,61	810191,35	997380,31	244,63	0,01	0,013	0,022	0,01
105	810218,67	997387,64	246,71	810218,68	997387,64	246,70	0,005	0,002	0,007	0
106	810223,70	997369,99	245,22	810223,71	997369,99	245,21	0,011	0,003	0,01	0,01

Obr. 17: Výsledky porovnání souřadnic kontrolních bodů v programu GROMA.

5.2 | MRAČNO BEZ VLÍCOVACÍCH BODŮ – POROVNÁNÍ S MRAČNEM Z UAV

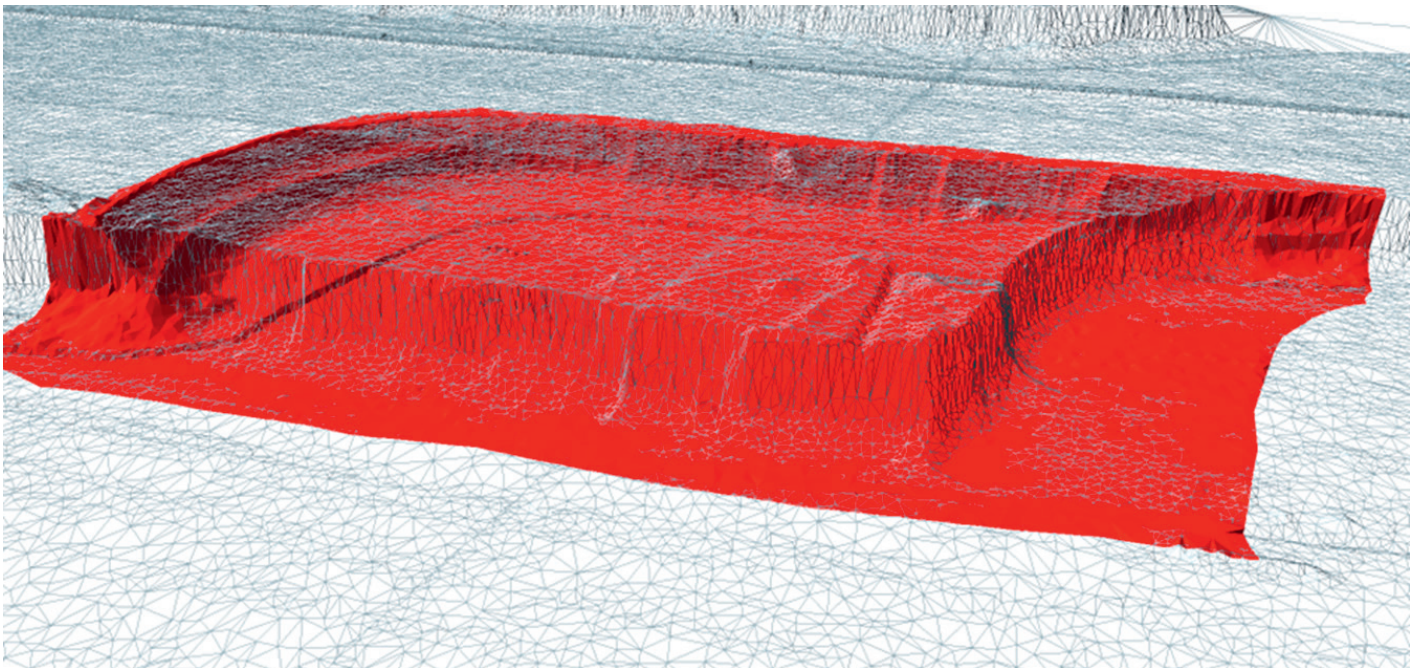
Následně bylo provedeno porovnání skenování bez použití vlíčovacích bodů a metody „DRON-MRAČNO“. Dne 5. 8. 2024, což bylo tři dny před našim skenováním, bylo provedeno pravidelné LMS celého uhelného lomu bezpilotním prostředkem (UAV). Výsledkem toho bylo opět bodové mračno vytvořené z leteckých měřických snímků metodou obrazové korelace. Protože je testována náhradní metoda pro aktualizaci digitálního modelu terénu (DMT), byla provedena další kontrola formou porovnání kubaturního měření. Kubatury byly spočítány v programu Báňský model od firmy KVASoftware, ve kterém jsou pravidelně prováděny kubaturní výpočty a aktualizace DMT na lokalitě Doly nástup Tušimice. Pro vyhodnocení rozdílů byla bodová mračna převedena do formátu TIN a DXF a importována do programu Báňský model (obrázek č. 18).

Výchozím stavem bylo mračno vytvořené metodou „DRON-MRAČNO“ z pravidelného LMS ze dne

3. 7. 2024. Jako referenční byla zvolena kubatura z mračna z UAV ze dne 5. 8. 2024. Následně byl proveden kubaturní výpočet z mračna z 3D skenování Heronem ze dne 8. 8. 2024 získaného metodou CLOUD TO CLOUD. Pro zajímavost byly výsledky porovnány i s kubaturou ze systému GNSS sledování velkostrojů. Výsledky jsou patrné z tabulky (obrázek č. 19). Z nich je jasné, že mobilní skenování a metoda CLOUD TO CLOUD je pro potřeby důlního měřictví, resp. pro naplnění Důlně měřického předpisu [6] plně dostačující.

Porovnání metod a 3D modelů vzniklých oběma metodami je dobře patrné i z obrázku č. 20, což je zobrazení 3D ploch vytvořených z TINů. Je zde vidět i to, že větší chyba je na plošině těžebního řezu, zatímco ve stěně vykazují data lepší výsledky.

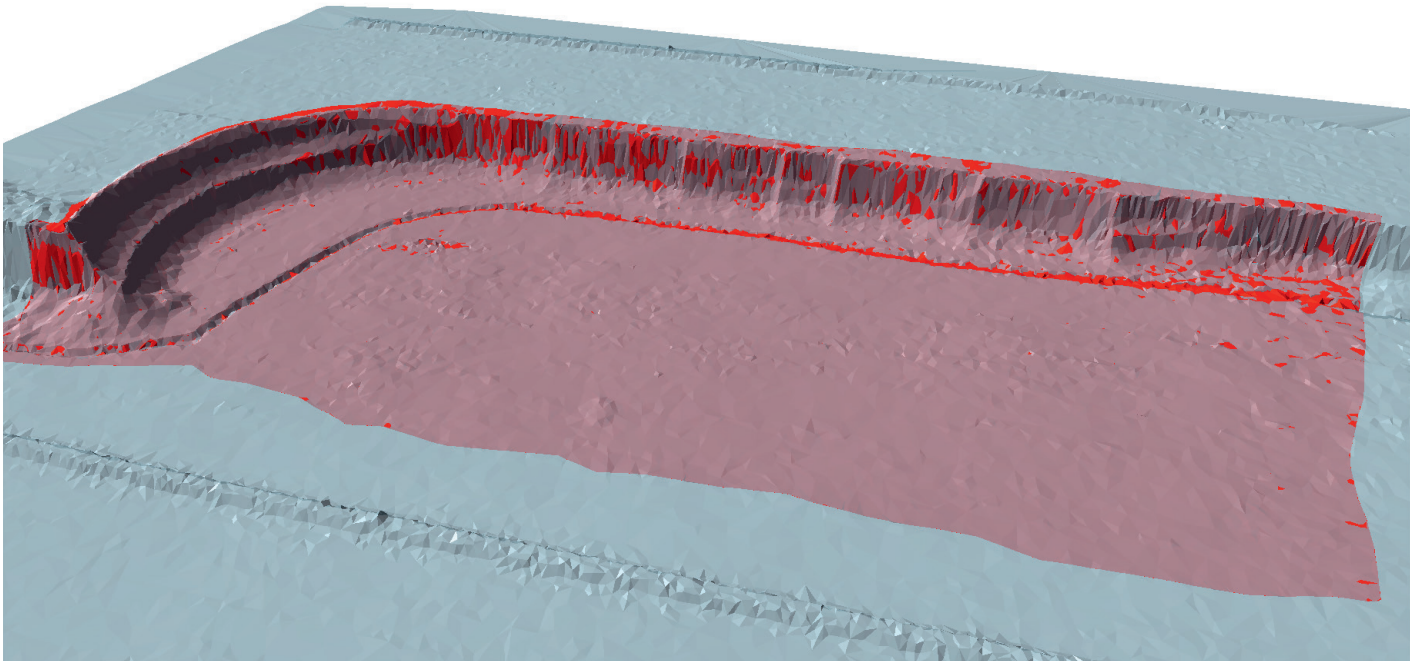
Dobré výsledky porovnání bodových mračen ve stěně uhelného řezu jsou hezky vidět i v detailu 3D modelů v programu Carlson (obrázek č. 21). Ještě lepších výsledků by bylo patrně dosaženo, kdyby byl naskenovaný i terén za hranou uhelného řezu, tzn.



Obr. 18: Bodová mračna v 3D modulu programu Báňský model firmy KVASoftware.

Výsledky kubaturního měření postupu KU 309 z bodových mračen, resp. TINů							
(Výchozí stav - bodové mračno z UAV ze dne 3. 7. 2024)							
Metoda	Datum	Výkop	Násep	Kubatutura		Rozdíl	
		[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	%	Výška [cm]
UAV	5. 8. 2024	-35517	205	35312			
Heron	8. 8. 2024	-36081	145	35936	624	1,8 %	7,8
DM-GNSS	5. 8. 2024	-36511	184	36327	1015	2,9 %	12,7

Obr. 19: Výsledky porovnání kubaturního měření z jednotlivých metod.



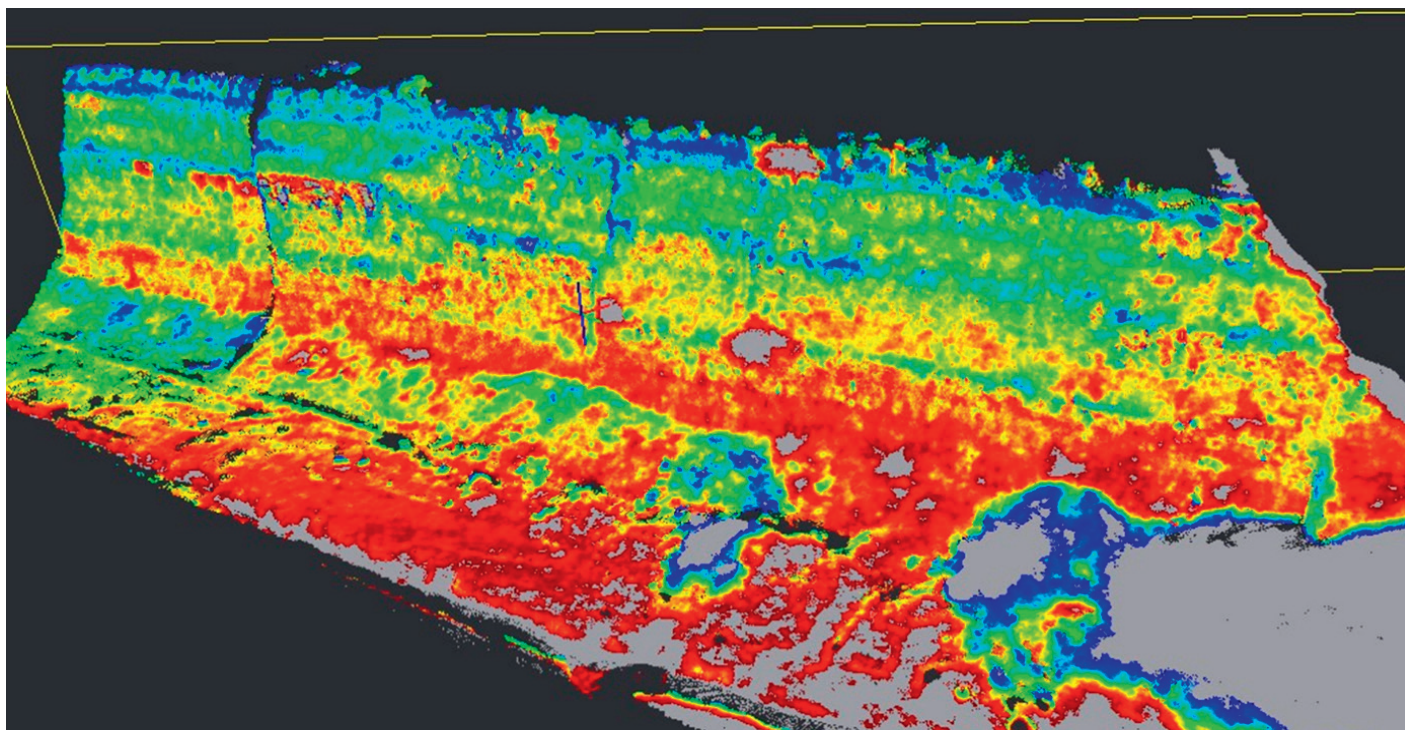
Obr. 20: Porovnání TINů získaných metodou „DRON-MRAČNO“ (šedá) a skenováním Heronem (červená).

na horní plošině předchozího řezu. To bude testováno v rámci skenování plánovaných v budoucnu, kdy bude k dispozici vlastní mobilní skener v oddělení měřictví na SD a.s.

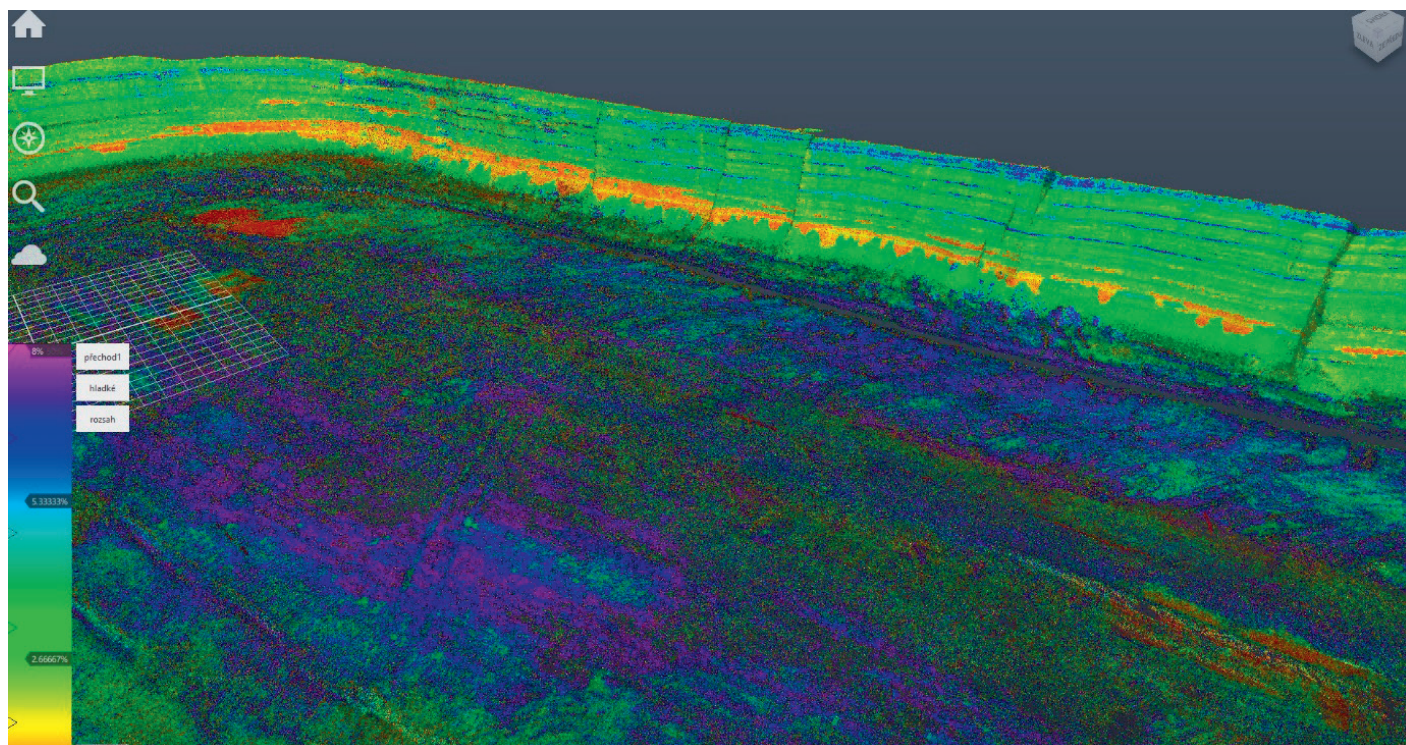
6 | SHRnutí

Testování mobilního TLS v podmínkách hnědouhelného velkolomu přineslo několik poznatků. Překva-

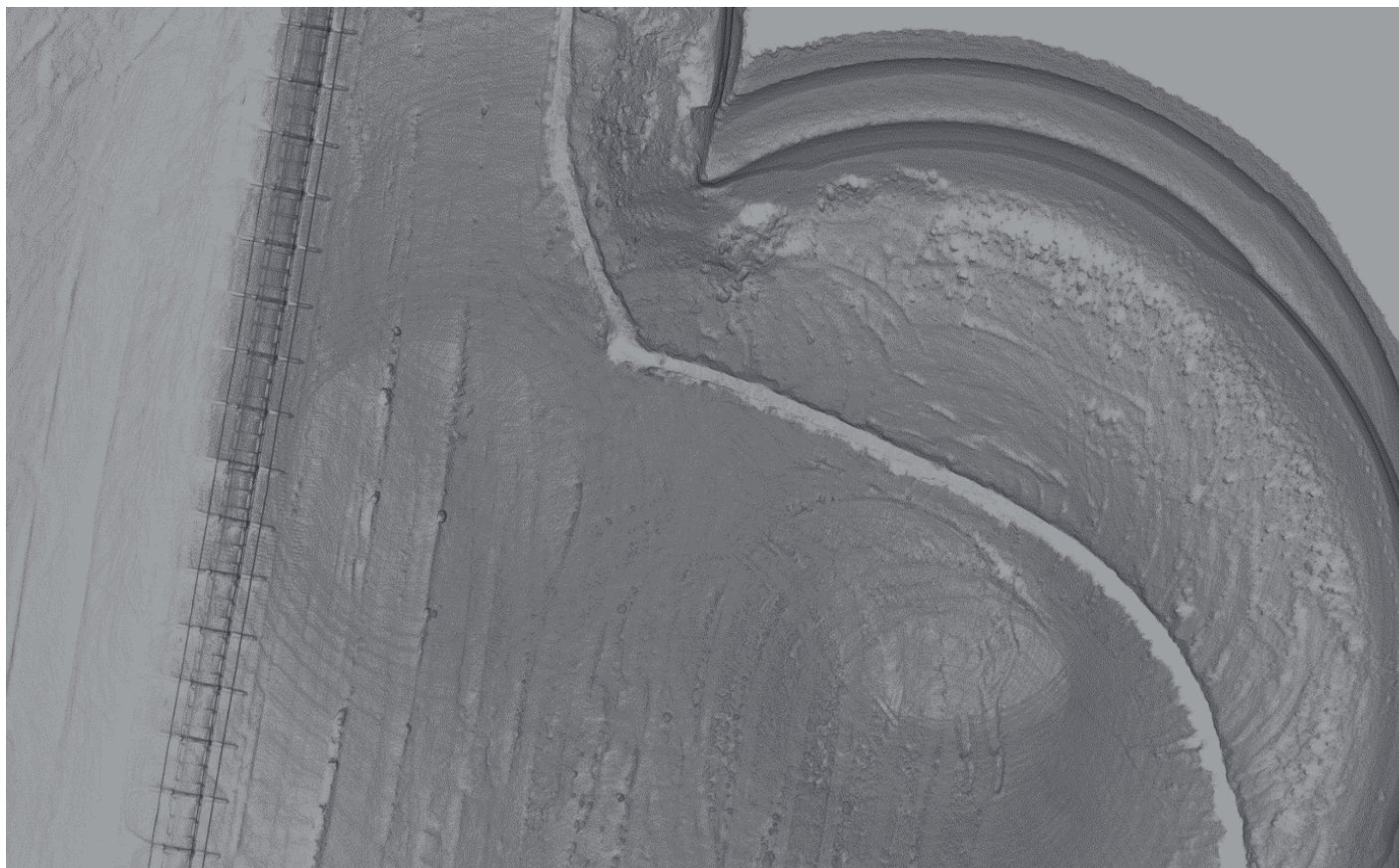
pivě dobrá je reflektance uhlé stěny. Předpokládali jsme, že lesklé tmavé uhlí bude vykazovat daleko horší schopnost odrážet laserové paprsky. Skeny dopadly velice dobře. Díky tomu můžeme konstatovat, že metoda CLOUD TO CLOUD je pro důlní měřictví na uhlých velkolomech, resp. aktualizaci DMT použitelná. A co víc, z výsledků práce je patrné, že tato metoda je zcela dostačující a odpovídá požadovaným přesnostem. Obrovským přínosem této



Obr. 21: Detail porovnání mračen z metody „DRON-MRAČNO“ a skenování Heronem v programu Carlson.



Obr. 22: interpretace bodového mračna zobrazených barevných intenzitách odrazu.



Obr. 23: Výstup ve formě tzv. Blueprintu.

metody je rychlost a operativnost s ohledem na vliv povětrnostních podmínek. V případech, kdy nelze v podzimních a zimních měsících na uhelných velkolomech provádět zaměření metodou „DRON-MRAČNO“, jedná se o plnohodnotnou náhradu, alespoň pro kubaturní měření a aktualizaci DMT. Již dnes je možné tvrdit, že je v silách oddělení měřictví měsíční postupy velkostrojů na SD a.s. zaměřit během jednoho dne. Dále že i s následným zpracováním budou dispozici kubaturní výsledky a aktuální DMT stejně rychle touto metodou jako s dronem, ne-li dříve. Z doposud získaných výsledků je patrné, že VB ani není třeba instalovat, čímž se zaměření změnového stavu terénu značně urychlí.

Překvapivě zajímavá je interpretace bodového mračna v intenzitách. To by mohlo být přínosné nejen pro práci s DMT, ale také pro práci geologů. Velice dobře jsou patrné geologické struktury, konkrétně jednotlivé vrstvy sedimentů v uhelné sloji (obrázek č. 22). Také tektonika (zlomové poruchy) je v mračnech dobře identifikovatelná. To by mohlo být přínosné pro geology mj. při zaměřování a klasifikaci tektoniky ve vztahu k bezpečnosti práce.

Zajímavým výstupem pro práci měřičů i geologů může být i výstup ve formě tzv. Blueprintu (obrázek č. 23). V podstatě se jedná o promítnutí horizontálních nebo vertikálních řezů do roviny do podoby „rentgenového snímku“, jak je patrné na části DPD zachycené při skenování.

7 | ZÁVĚR

Metoda CLOUD TO CLOUD je pro aktualizaci DMT a kubaturní měření v podmínkách uhelných velkolomů zcela dostačující a odpovídá požadovaným přesnostem. Hlavní výhodou této metody je rychlost a operativnost i při nepříznivém počasí, kdy nelze provést zaměření metodou „DRON-MRAČNO“.

Dalším přínosem je možnost využití metody pro aktualizaci geologické dokumentace, a to především v případech, kdy nelze využít bodová mračna z dronů. Konkrétně na uhelných řezech na dole Bílina, kde se uhelná sloj vyskytuje v hloubce 200 m a více a bodová mračna získaná metodou obrazové korelace jsou pro geology nepoužitelná.

Testování terestrického laserového 3D skenování s využitím SLAM technologie, resp. metodu CLOUD TO CLOUD, bude dále pokračovat. Už teď jsou k dispozici data ze skenování mobilním skenerem Leica BLK360. Dále budou na SD a.s. k dispozici dva nové skenery, Leica RTC360 a FARO Orbis.

LITERATURA

- [1] AEROVISION GROUP s.r.o.: Provoz bezpilotního letounu, Lokace: důl Bílina, technická zpráva studie o provozu bezpilotních systémů na Severočeských dolech a.s., 06/2020, Praha.
- [2] SLÁDEK, V., VRUBEL, M., VRUBLOVÁ, D.: Systém pro sledování polohy rýpadel a zakladačů – proces přípravy dat a nastavení sys-

tému. Mezinárodní konference Geodézie a Důlní měřictví 2019, XXVI. konference SDMG, z. s., 2019, ISBN 978-80-248-4353-7.

[3] DEJL, S., SLÁDEK, V., STRAHLHEIM, P.: Nová metoda leteckého měřického snímkování na Severočeských dolech a.s. Mezinárodní konference Geodézie a Důlní měřictví 2022, XXVIII. konference SDMG, z. s., 2022, ISBN 978-80-248-4644-6.

[4] SLÁDEK, V., DEJL, S., KAPICA, R., VRUBLOVÁ, D., BAUER, R.: System for Monitoring the Position of Brown Coal Blast Furnaces and Safety Work, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 11/2023, <http://doi.org/10.29227/IM-2023-02-59>.

[5] ŠTRONER, M., POSPÍŠIL, J.: Terestrické skenovací systémy. České vysoké učení technické, Praha, 2008, ISBN 978-80-01-04141-3.

[6] Vyhláška Českého báňského úřadu č. 435/1992 Sb. o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem, MONTANEX a.s. Ostrava, 2020, ISBN 978-80-722-5416-3.

[7] ZUBÍČEK, V., HUDEČEK, V., ORLÍKOVÁ, L., DANDOŠ, R., JADVIŠČOK, P. et al.: Thermal signatures of relict coal spoil, waste and tailing dumps. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. s. 1-13. ISSN 1748-0930. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/17480930.2023.2263264>.