

Ředitelství
Na Břehu 267/1a, 190 00 Praha 9
tel.: +420 222 860 111, IČ: 41693205
e-mail: podatelna@cizp.cz
ISDS: zr5efbb
www.cizp.cz www.cizp.cz

Č.j.: ČIŽP/OTOIP/2024/1513
Spis: ZN/ČIŽP/OTOIP/89/2023

Vyřizuje: Martin Marko
Telefon: 222 860 370

Datum: 29.5.2024

Zpráva z letecké práce

Měcholupy u Předslavi

20. 12. 2023



Na základě požadavku **ČIŽP, oblastního inspektorátu Plzeň** (dále jen „OI Plzeň“) byla provedena letecká práce (dále jen „LP“) v lokalitě:

- část pozemku parc. č. 67/3, k.ú. Měcholupy u Předslavi (v minulosti využívaná jako skládka odpadů a od roku 2021 jako deponie výkopku při budování ČOV a kanalizace v obci Předslav).

Kontrolní úkon se týkal kontrolovaných osob:

- Obec Předslav
- IMOS BRNO, a.s.

Snímkování a laserové skenování bezpilotním systémem ČŽP bylo v zájmovém území provedeno dne **20. 12. 2023 cca mezi 11:30 – 12:30.**

Požadované výstupy:

- letecké RGB snímky pro zpracování ortofoto mozaiky zájmového území s navázkou odpadů
- výpočet kubatury navážky odpadů **za využití:**
 - **RGB fotografií** získaných snímkováním bezpilotním prostředkem (UAV) s digitální fotogrammetrickou kamerou a následně vypočítaným digitálním modelem povrchu (DEM) zájmové oblasti
 - **Hustého bodového mračna z laserového skenování** zájmové oblasti bezpilotním prostředkem s laserovým skenerem
- dat z leteckého laserového skenování pro Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního z roku 2011 (georeferencované bodové mračno)

Provedené úkony v rámci LP:

- zaměření vlčovacíh (GCP) a kontrolních bodů geodetickou RTK sestavou GNSS přijímače GEOMAX Zenith60
- snímkování pomocí UAV - automatický let, svislé a šikmé snímkování za účelem tvorby ortofoto mozaiky a digitálního modelu povrchu (DEM) z RGB snímků (formát JPEG)
- snímkování pomocí bezpilotního prostředku - automatický let, svislé a šikmé snímkování za účelem tvorby ortofoto mozaiky a DEM
- laserové skenování zájmového území bezpilotním prostředkem za účelem získání hustého bodového mračna pro následné provedení výpočtu kubatury a porovnání s fotogrammetrickou metodou výpočtu

Úkony následující po provedení LP:

Zpracování dat v Agisoft Metashape Professional

- zarovnání fotografií (Alignment)
- převod souřadnic snímků oficiální transformační rovnicí (webová služba [ČÚZK: Geoportál \(cuzk.cz\)](https://cuzk.cz)) do souřadnicového a výškového systému EPSG:5514
- výpočet vázacích bodů (Tie Points)
- filtrace vázacích bodů
- optimalizace vázacích bodů (funkce Gradual Selection)
- výpočet hustého bodového mračna (Point Cloud)
- výpočet digitálního modelu povrchu (DEM)
- výpočet ortofoto mozaiky
- vymezení rozsahu navážky polygonem
- export digitálního modelu povrchu navážky dle hranice polygonu do formátu LAZ pro další zpracování v programu CloudCompare

Zpracování dat v DJI TERRA

- zpracování dat z laserového skenování v programu DJI TERRA

Zpracování dat v programu CloudCompare

- filtrace bodových mračen v programu CloudCompare pomocí funkcí CSF Filter a Label Connected Components

- výpočet kubatury v programu CloudCompare z upravených bodových mračen pomocí funkce Compute 2.5D Volume
- výpočet objemu navážky v zájmové lokalitě v programu CloudCompare za využití referenční vrstvy bodového mračen z DMR 5G modelu ČR (zdroj: ČUZK)
- výpočet objemu navážky v zájmové lokalitě v programu CloudCompare

Zpracování dat v programu Q-GIS

- zpracování profilů tělesa (stav k datu provedení LP – 20. 12. 2023) a interpolované referenční plochy DMR 5G modelu ČR z roku 2011
- vizualizace parcel zájmové oblasti na podkladu ortofota z bezpilotního prostředku ze dne 20. 12. 2023

Bezpilotní prostředek:

- Matrice 300 RTK, maximální vzletová hmotnost: 9 000 g
- registrační číslo provozovatele UAS: CZE2o2y8ok9m8355
- Systém RTK: ANO
- Poskytovatel polohových korekcí: CZEPOS, centimetrová přesnost

Kamery a senzory:

- DJI Zenmuse P1 (fotogrammetrická kamera)

čip	CMOS Full-Frame 35.9 x 24 mm
rozišení	45 MPx (8192 x 5460)
ohnisková vzdálenost	24 mm, pevná

1 Zpracování RGB snímků ze snímkování provedeném kamerou Zenmuse P1

Tab. 1.1 Charakteristika snímkování

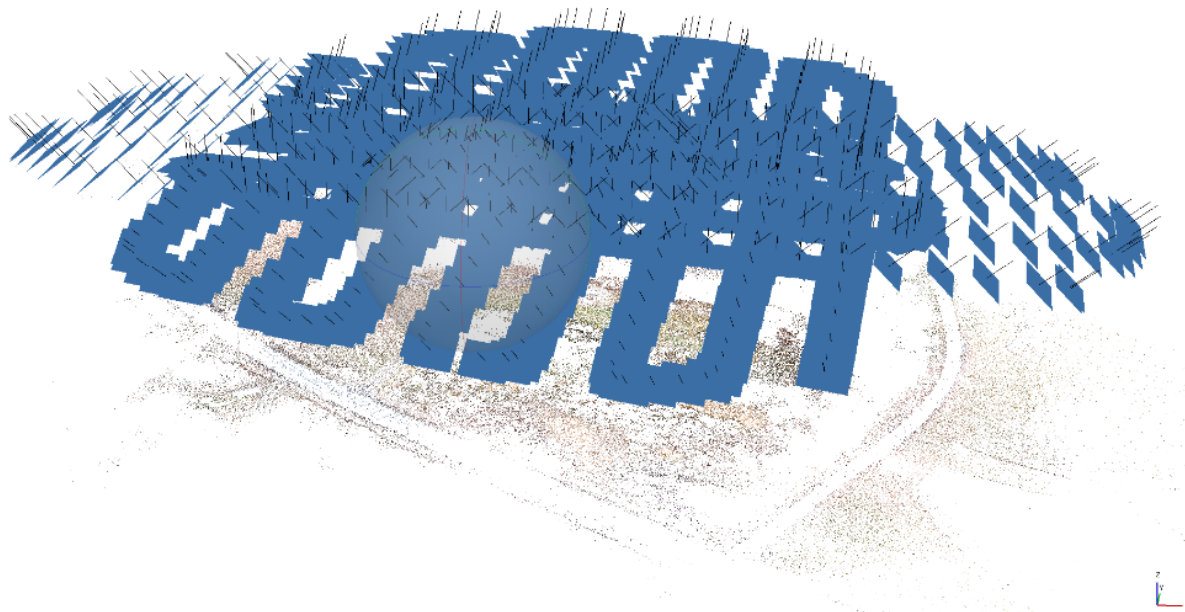
UAS	DJI Matrice 300 RTK
kamera / senzor	Zenmuse P1, 24 mm
výška letu (AGL)	46 m
GSD	8.5 mm/pix
počet snímků	665
datum/čas snímkování	20. 12. 2023 / 11:30 až 12:00
RTK / přesnost / poskytovatel	ANO /centimetrová přesnost / CZEPOS
vlíčovací body	ANO (body č.: 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10 a 13)
kontrolní body	ANO (body č.: 4, 5, 9, 11 a 12)

Fotografie, vlíčovací a kontrolní body byly zpracovány v programu **Agisoft Metashape Professional**.

Z 665 zarovnaných fotografií (Alignment) bylo vypočítáno řídké mračno bodů (vázací body), husté bodové mračno, digitální model povrchu (DEM) a ortofoto mozaika. V rámci zpracování bodového mračen vázacích bodů byla použita funkce filtrování bodů (*Gradual Selection*) a optimalizace po každém kroku filtrace. Zpracování bodových mračen a modelů bylo provedeno na základě výpočtů z dat o poloze vlíčovacích bodů, které byly zaměřeny geodetickou **RTK sestavou GNSS přijímače GEOMAX Zenith60** s korekcemi polohy na centimetrové úrovni. Poloha celkem 8 vlíčovacích a 5 kontrolních bodů byla korigována na

jednotlivých fotografiích v rámci procesu zpracování dat manuálně za účelem dosažení maximálně přesného výsledku přesnosti modelu. Níže je uveden postup tvorby řídkého a hustého bodového mračka, filtrace bodů, zpracování digitálního modelu povrchu a ortofoto mozaiky.

Obr. 1. 1 Poloha RGB snímků po jejich zarovnání - 665 zarovnaných snímků



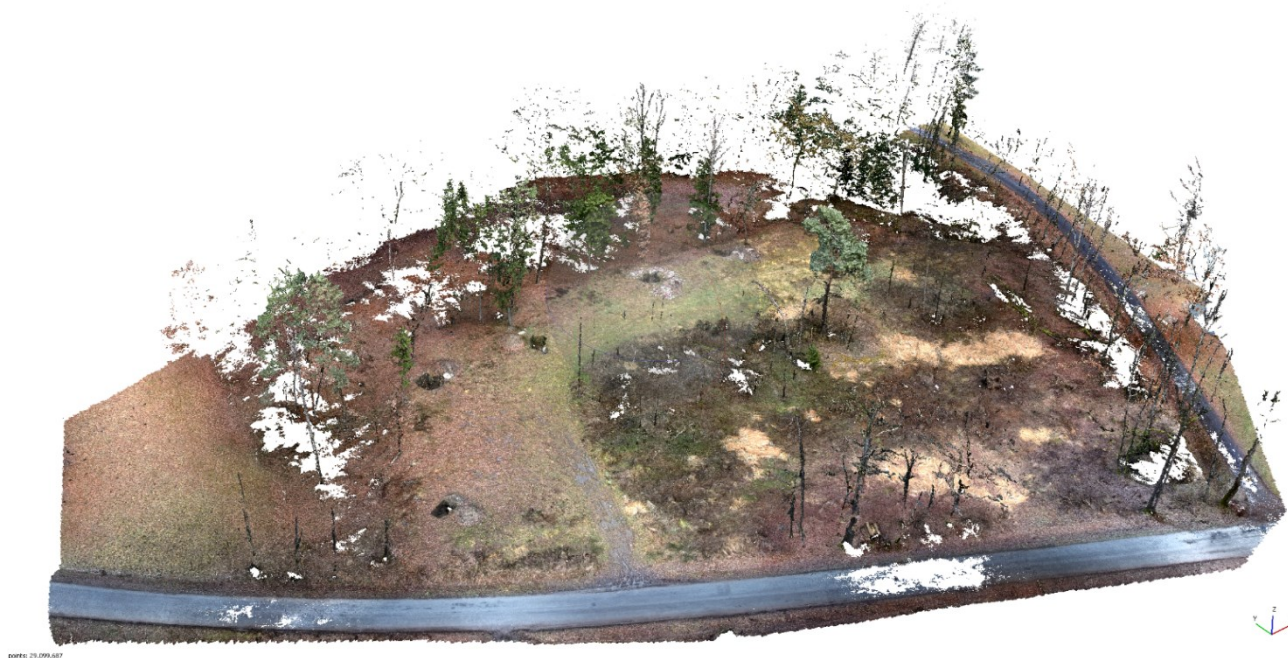
Obr. 1.2 Mračno vázacích bodů (*Tie Points*)

- přibližně 147 500 vázacích bodů po provedené filtraci bodů funkcí „Gradual Selection“ v programu Agisoft Metashape Professional.

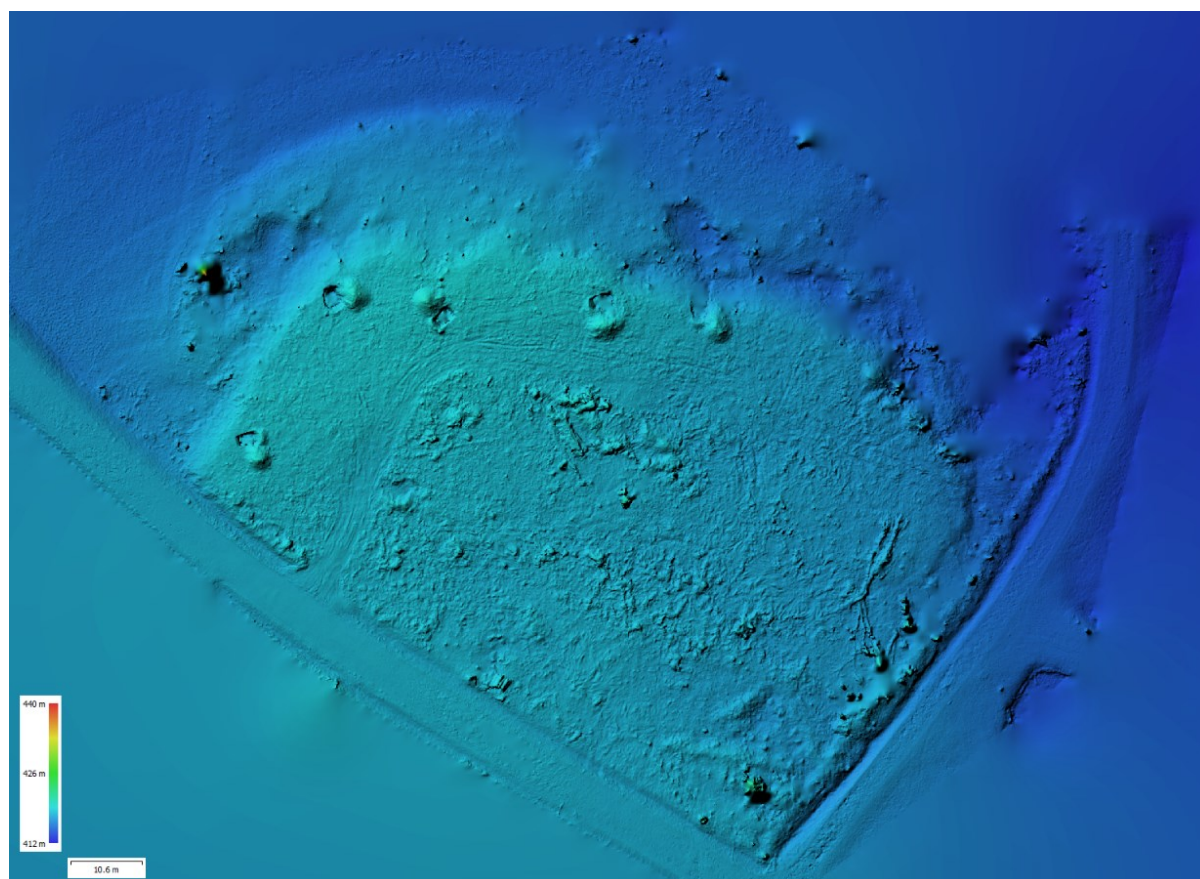


K filtrování bodů byly použity následující funkce: *Image Count* + optimalizace, *Reconstruction Uncertainty* + optimalizace, *Projection Accuracy* + optimalizace a *Reprojection Error* + optimalizace.

Obr. 1.3 Husté bodové mračno – (cca 68,6 milionu bodů, po provedené filtraci bodů)



Obr. 1.4 Digitální model povrchu (DEM), rozlišení – 3,53 cm/pix



Obr. 1.5 Ortofoto mozaika – GSD (prostorové rozlišení snímku) 9 mm/pix



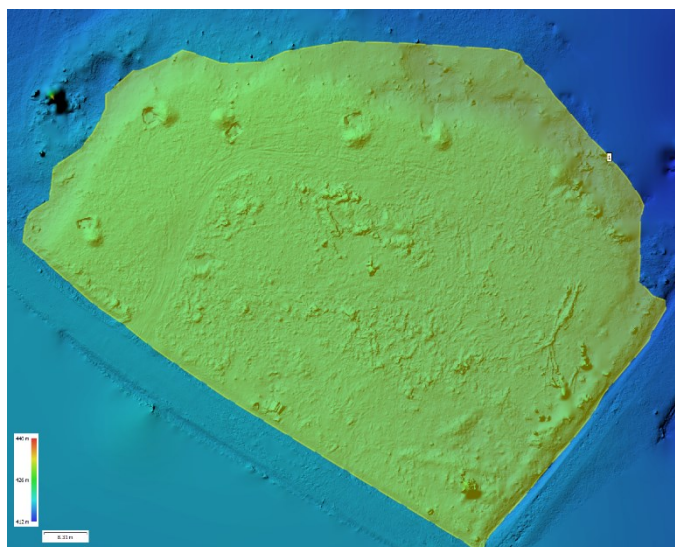
Tab. 1.2 Parametry modelu z hlediska přesnosti:

RMS Reprojection Error	0,27 pix
Celková souřadnicová chyba	7 cm
Průměrná odchylka na 5 kontrolních bodech	9 cm

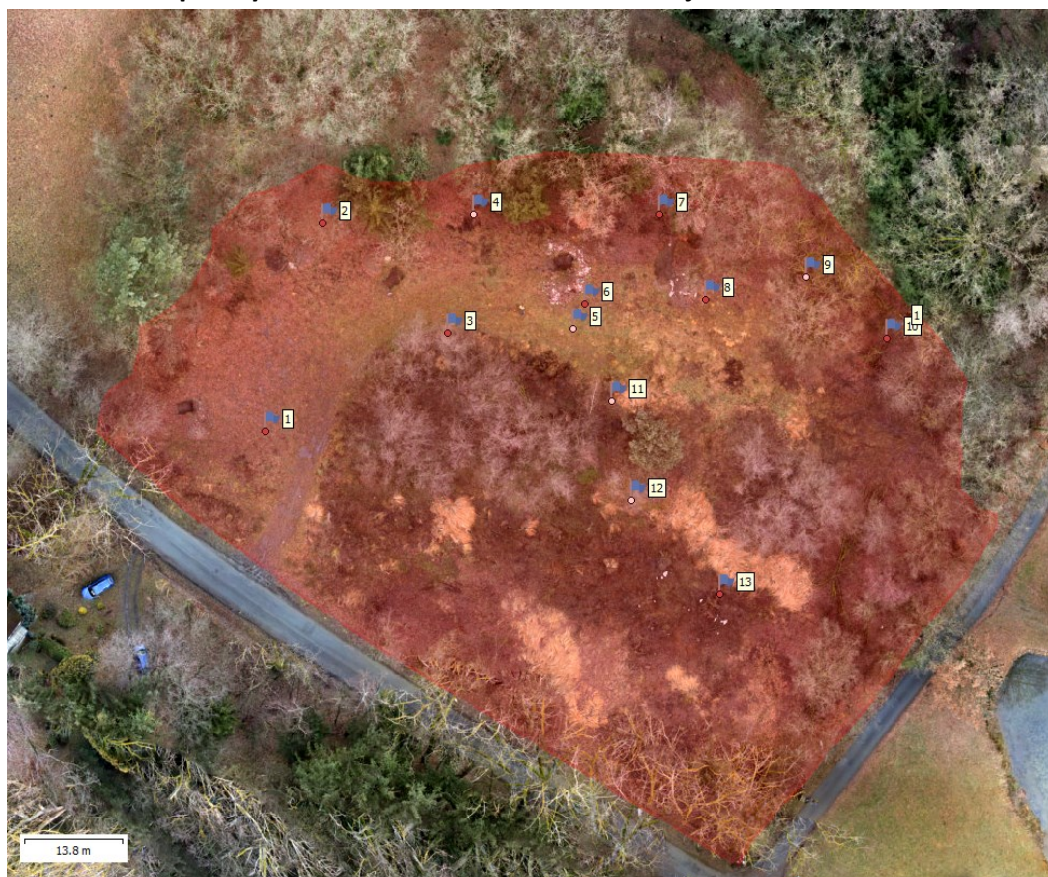
Vymezení rozsahu navážky:

V zájmové oblasti byl v programu Agisoft Metashape Professional vymezen polygon navážky na základě studia podkladů – digitálního modelu povrchu a ortofotomapy vypočítaných z pořízených snímků a na základě pochůzky.

Obr. 1.7 vymezení navážky polygonem (vizualizace na DEM)



Obr. 1.8 zobrazení polohy vlíčovacích akontrolních bodů v zájmové lokalitě



Tab. 1.3 Přehled vlíčovacích (červený bod) a kontrolních bodů (bílý bod)

Vlíčovací body	ANO (body č.: 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10 a 13)
Kontrolní body	ANO (body č.: 4, 5, 9, 11 a 12)

Přesné umístění polohy vlíčovacích a kontrolních bodů na jednotlivých fotografiích bylo provedeno ručně na středy bodů vyznačených značkovačem v rámci jejich zaměření v terénu.

2 Zpracování dat z laserového skenování senzorem Zenmuse L1

Husté bodové mračno bylo získáno laserovým skenováním pomocí senzoru Zenmuse L1 a nastavením všech parametrů mise pro získání optimálního výsledku (viz tabulka níže).

Tab. 2.1 Charakteristika laserového skenování

UAS	DJI Matrice 300 RTK
Kamera / senzor	Zenmuse L1
Výška letu (AGL)	70 m v místě startu
Režim skenování	Triple / 160 KHz / Repetitive
Boční přesah lidarů	50 %
Přední přesah lidarů	70 %
RTK / přesnost	Ano /centimetrová přesnost
Rychlost letu	4,7 m/s
Point Cloud Density	523 point/m ²
GSD (pro doplňkovou optickou kameru)	1,1 cm/pixel
Elevation optimization	aktivováno

Husté bodové mračno zájmové oblasti pořízené laserovým skenerem Zenmuse L1 dne 19. 7. 2022

Bodové mračno bylo zpracováno v programu DJI TERRA (verze 3.5.0) z dat získaných laserovým skenováním, s využitím RTK korekcí s centimetrovou přesností (poskytovatel CZEPOS). Bodové mračno bylo vytvořeno v souřadnicovém systému ETRS89/UTM zone 33N (N-E) a následně exportováno ve formátu .las. Vzhledem k tomu, že program DJI TERRA neobsahuje oficiální transformační rovnice pro převod mračna do souřadnicového systému S-JTSK, výškový systém BpV, bylo mračno převedeno prostřednictvím transformačního programu a knihovny EZJTZÚ (verze 2019-10-01) do tohoto souřadnicového a výškového systému.

Obr. 2.1 Vizualizace zpracovaného bodového mračna v programu DJI Terra – RGB spektrum



3 Objemové výpočty

Objemy navážek v zájmové lokalitě

Výpočty provedené v programu CloudCompare se týkají rozdílových výškových modelů za využití funkce „Volume“ z mračen bodů sestavených na základě RGB snímků nebo laserových skenů pořízených bezpilotním systémem ČIŽP (za využití vlíčovacích a kontrolních bodů zaměřených GNSS stanicí s RTK korekcemi).

Objemové výpočty byly provedeny za využití referenční vrstvy bodů z leteckého laserového skenování provedeného v roce 2011 (DMR 5G model ČR).

Jako vstupní data pro výpočet kubatury byla použita:

- a) data z leteckého laserového skenování pro Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) od Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, která byla v zájmové lokalitě pořízena v roce **2011** (list „KLAT01_5g.xyz“) a byla použita jako referenční bodové mračno,
- b) **665** fotografií zájmové lokality nasnímaných pomocí bezpilotního prostředku dne **20. 12. 2023**, zpracovaných metodou fotogrammetrie v softwaru *Agisoft Metashape Professional* do hustého bodového mračna,
- c) husté bodové mračno zájmové lokality pořízené laserovým skenerem Zenmuse L1
- d) husté bodové mračno navážky exportované dle vymezeného polygonu (vnější hranice navážky) do formátu .laz určeného pro další zpracování v programu CloudCompare – jedná se o 2 mračna bodů, jedno vypočítané na základě optických RGB snímků a druhé z laserového skeneru.

Husté bodové mračno navážky bylo exportováno z programu Agisoft Metashape Professional podle hranice – polygonu, který je uveden na obr. č. 1.7, a to do formátu LAZ.

Preprocessing fotogrammetrického bodového mračna navážek proběhl v softwaru *CloudCompare* a zahrnoval filtraci bodů na spodní a nespodní vrstvu pomocí funkce *CSF Filter* (s nastavenými parametry *Relief* a *Cloth Resolution* s hodnotou 0,1). Vyfiltrované nespodní body zachycující zpravidla vegetaci a šum se výpočtu dále neúčastnily.

Výpočet objemu proběhl v softwaru *CloudCompare*, a to na základě rozdílových analýz mezi bodovým mračnem DMR 5G z roku 2011 a vyfiltrovaným fotogrammetrickým mračnem spodních bodů z 20. 12. 2023. Stejný postup byl zvolen i pro mračno bodů získané laserovým skenerem Zenmuse L1. K výpočtu objemu byla využita funkce *Compute 2.5D Volume* v programu CloudCompare.

4 Profily v zájmové ploše

V programu Q-GIS byly vytvořeny pomocí funkce „Profile Tool“ profily v zájmovém území. Jako referenční plocha byla zvolena vrstva DMR 5G modelu ČR (2011), která byla interpolována do formátu .tiff.

Do stejného formátu byl exportován DEM zájmové plochy vypočítaný z RGB fotografií pořízených ČIŽP za pomoci UAV a fotogrammetrické kamery dne 20. 12. 2023.

Profily doplňují výpočty a vizualizace rozdílových modelů v zájmové oblasti (samostatné přílohy č. 1 a 2 zprávy z LP).

Referenční plocha (DMR 5G model ČR) byla korigována o 25 cm na ose „z“ směrem dolů (pomocí funkce „Raster Calculator“ v programu Q-GIS).

Obr. 4.1 Vizualizace profilu č. 1 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu ČR z roku 2011.

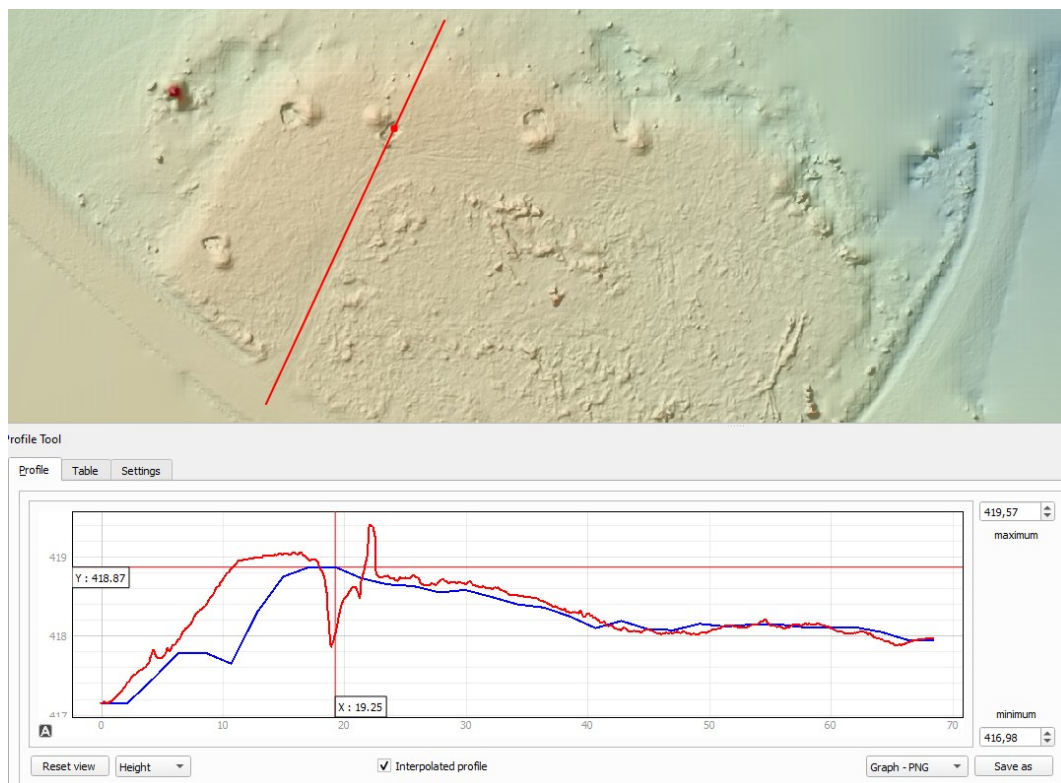


Modře zbarvený profil – DMR 5G model ČR, referenční DEM z roku 2011

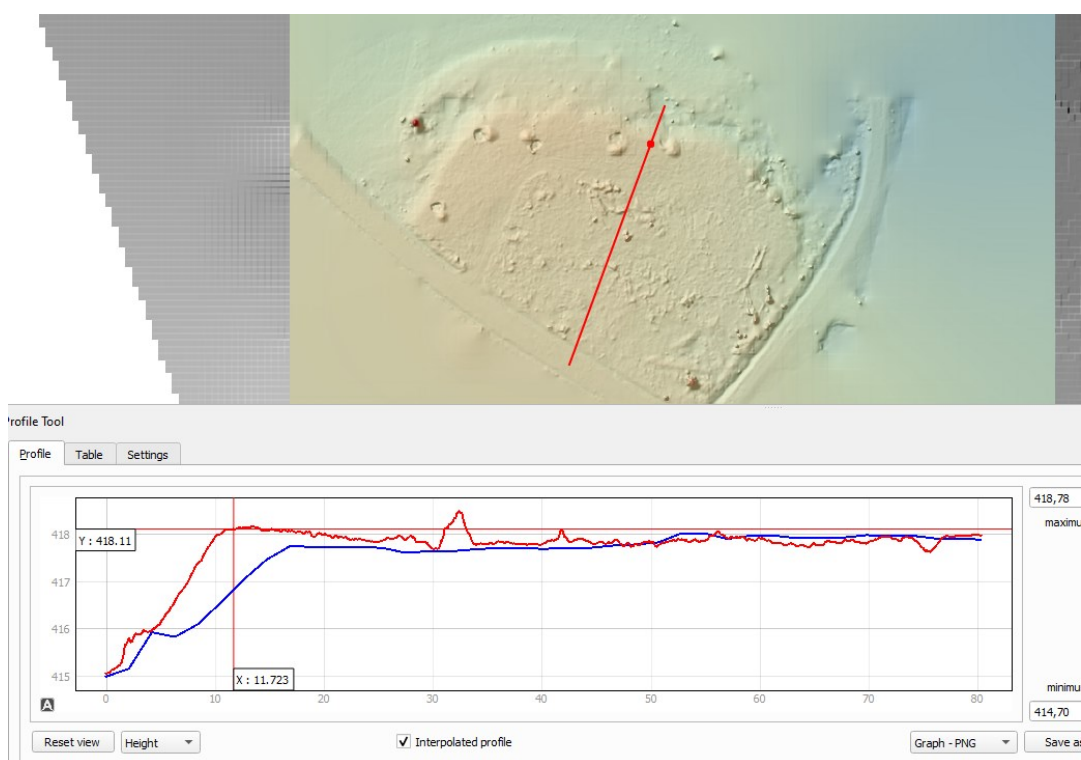
Červeně zbarvený profil – DEM vypočítaný z RGB bodového mračka z 20. 12. 2023 (snímkování ČIŽP, prostřednictvím UAV a fotogrammetrické kamery)

Referenční DEM DMR 5G modelu ČR byl dle výpočtů z přílohy č. 1 této zprávy posunut na ose Z o 25 cm směrem dolů. Na řezu je patrné, že silnice, jako stálá plocha, se nachází na úrovni DEM z 20. 12. 2023.

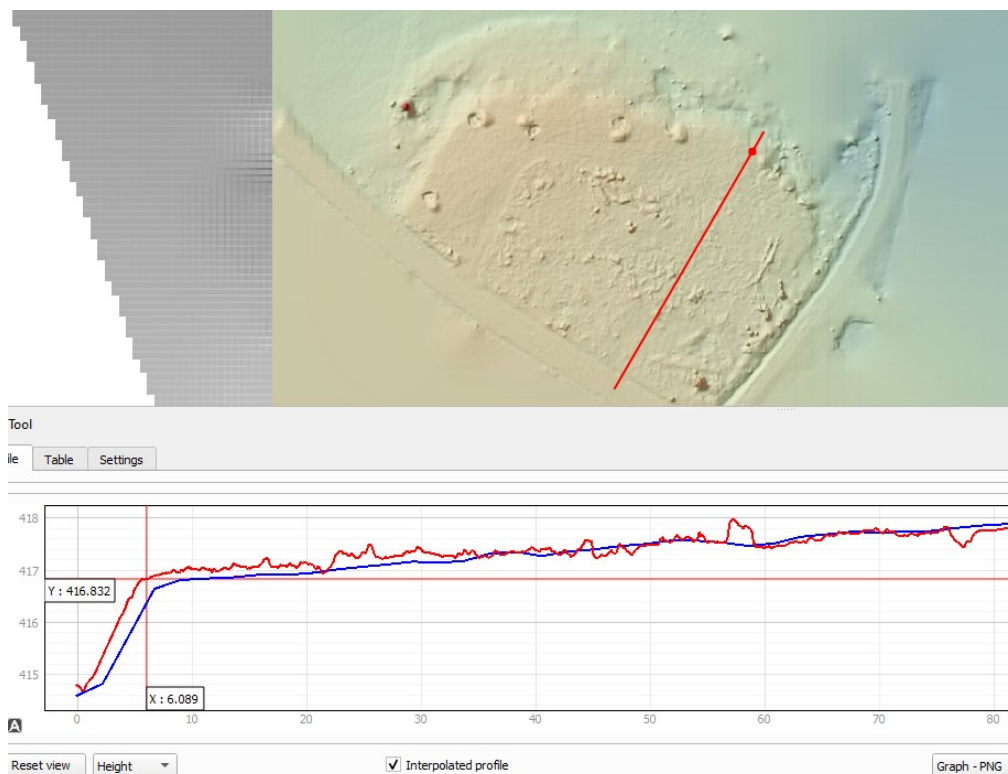
Obr. 4.2 Vizualizace profilu č. 2 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



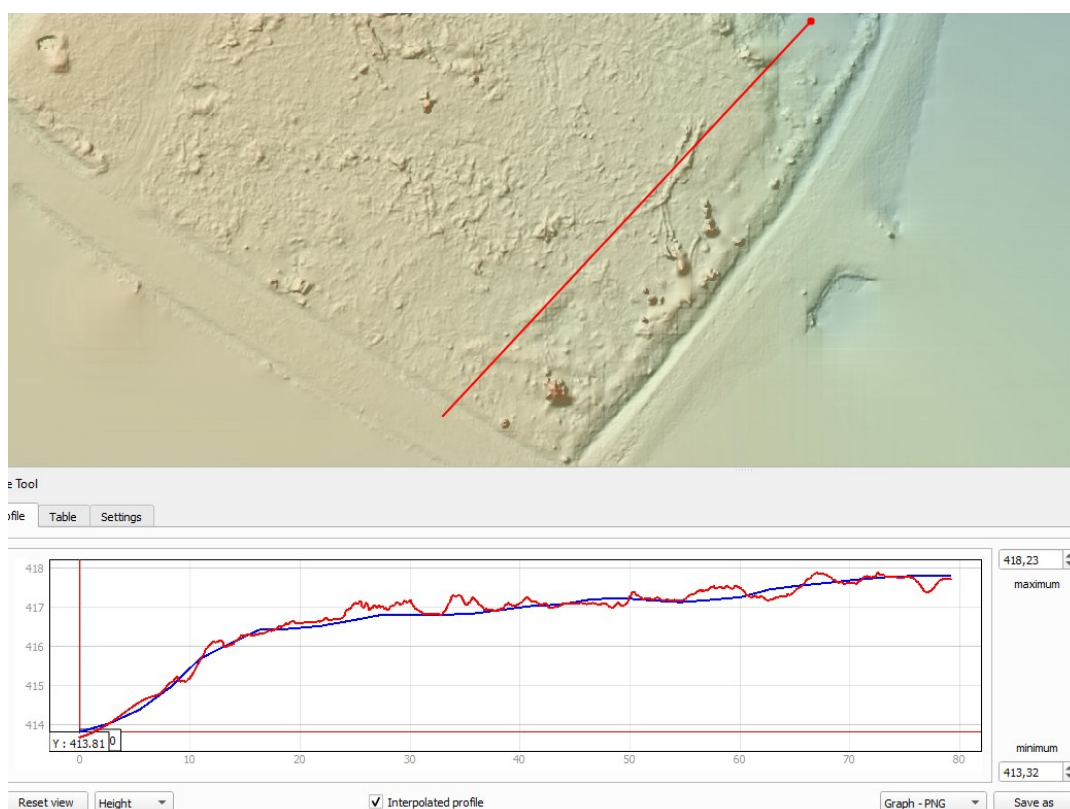
Obr. 4.3 Vizualizace profilu č. 3 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



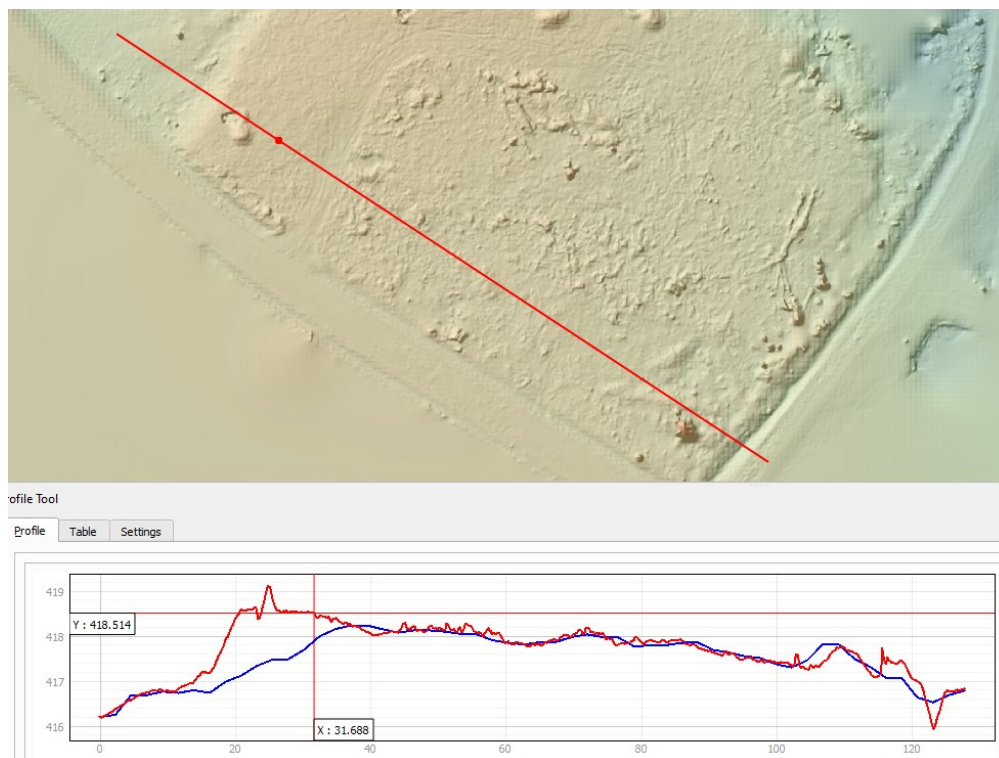
Obr. 4.4 Vizualizace profilu č. 4 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



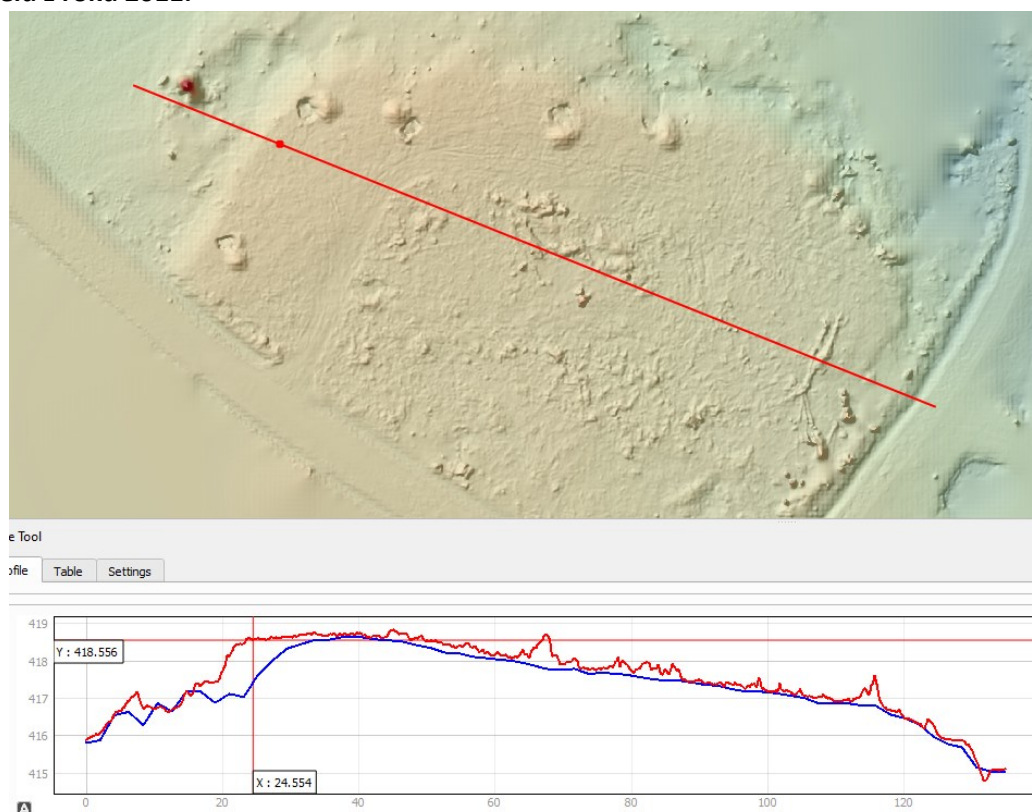
Obr. 4.5 Vizualizace profilu č. 5 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



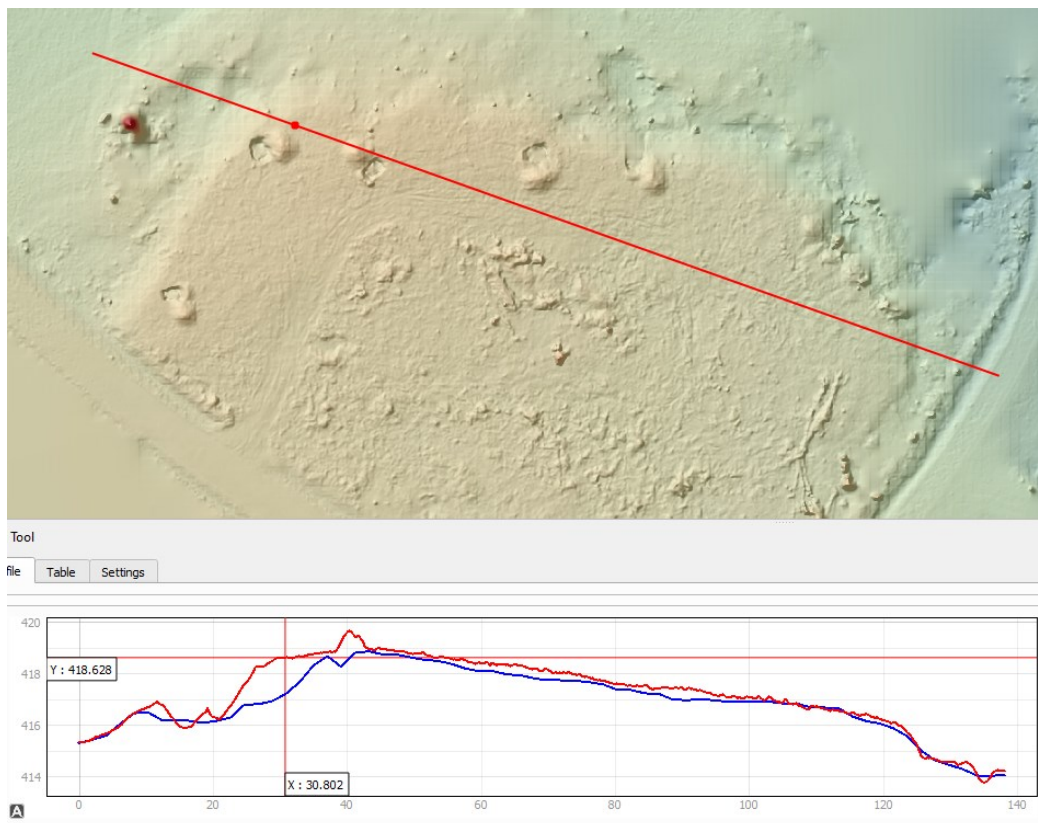
Obr. 4.6 Vizualizace profilu č. 6 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



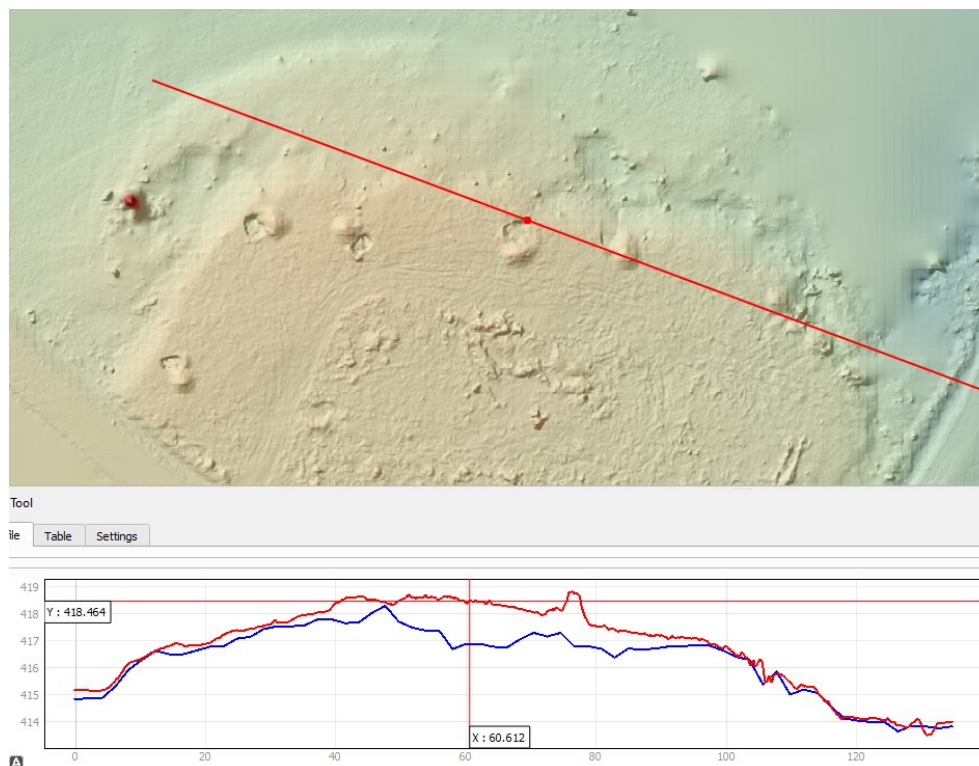
Obr. 4.7 Vizualizace profilu č. 7 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



Obr. 4.8 Vizualizace profilu č. 8 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



Obr. 4.9 Vizualizace profilu č. 9 v DEM z 20. 12. 2023 na podkladu interpolované referenční vrstvy DMR 5G modelu z roku 2011.



5 Závěr

Hlavním cílem letecké práce bylo pomocí fotogrammetrického zpracování RGB snímků zájmové lokality za využití vlčovacíh a kontrolních bodů zaměřených přesnou GNSS stanicí s RTK korekcemi vytvořit husté bodové mračno, digitální model povrchu/terénu a ortofoto mozaiku a následně ověřit objemovou bilanci, která by ověřila přítomnost navážky zemin a dalších materiálů na bývalé skládce odpadů. Jako referenční plocha pro výpočty objemových změn byla zvolena data z laserového skenování ČR z roku 2011 (list „KLAT01_5g.xyz“), která jsou pro ČIŽP dostupná od ČÚZK.

Pro ověření metody výpočtu bylo v rámci inspekčního šetření kromě RGB snímků pořízeno i husté bodové mračno stejné oblasti za pomoci laserového skeneru DJI Zenmuse L1 (3 - odrazový skener).

Postupy výpočtů jsou uvedeny v této zprávě, včetně příloh č. 1 a 2, ve kterých jsou uvedeny detailní informace a vizualizace postupů pomocí snímků obrazovek z jednotlivých programů, které byly pro analýzu dat využity.

Vzhledem k tomu, že byly použity pro výpočet zcela odlišné technologie (RGB snímky a husté bodové mračno z laserového skeneru), nejsou výsledky objemových změn zcela identické. Samotný laserový skener má odchylku bodového mračna stanovenou výrobcem na hodnotu 10 cm, u fotogrammetrické kamery se pohybujeme v jednotkách cm. Při výpočtech byl kladem maximální důraz na přesnost, i vzhledem k tomu, že se jedná o relativně malou plochu, která je navíc částečně pokryta stromy a vegetací.

Odchylka digitálního modelu vypočítaného na základě RGB snímků je u 5 kontrolních bodů na hodnotě 9 cm. Nicméně díky přítomnosti silnice v zájmové oblasti byly odchylky korigovány posunem referenční vrstvy DMR 5G modelu, jak je to ve zprávě uvedeno. Toto je doloženo i na řezech v obou srovnávaných vrstvách (rastrové modely ve formátu .tiff). V případě laserového skenu z LIDARu Zenmuse L1 je navíc díky této technologii bodové mračno více detailní i pod stromy a navíc prochází lépe vegetačním krytem. I tento faktor se podílí na výsledku objemové bilance.

V příloze č. 1 je uveden výpočet objemu za využití hustého bodového mračna z RGB snímků.

Kladný přírůstek materiálu proti referenční vrstvě DMR 5G modelu ČR (po korekci) dosahuje hodnoty: **1 870 m³.**

V příloze č. 2 je uveden výpočet objemu za využití hustého bodového mračna z laserového skenování.

Kladný přírůstek materiálu proti referenční vrstvě DMR 5G modelu ČR (po korekci) dosahuje hodnoty: **1 560 m³.**

S velkou pravděpodobností lze konstatovat, že se vypočítaná kladná bilance pohybuje v rozmezí 1560 1 870 m³.

Příloha č. 3 obsahuje také archivní ortofota oblasti (zdroj ČÚZK). Z těchto podkladů je zřejmé, že se v zájmové lokalitě vyskytují terénní úpravy na snímcích až v roce 2021. Na předchozích ortofotech z let 2011 až 2019 nejsou patrné žádné navážky materiálů. Z tohoto důvodu je využití DMR 5G modelu ČR dané oblasti pro uvedené postupy relevantní.

Přílohy:

Příloha č. 1: Priloha 1_Mecholupy_objemove vypocty_RGB_mracno.pdf

Příloha č. 2: Priloha 2_vypocty_lidar_mracno.pdf

Příloha č. 3: Priloha 3_Mecholupy_ortofota_RES.pdf

Zprávu zpracoval:

Mgr. Martin Marko

Vedoucí oddělení podpory inspekční činnosti a chemické bezpečnosti, Ř-ČIŽP

V Praze dne: 29. 5. 2024