



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

FOTOGRAMMETRICKÉ ZAMĚŘENÍ SKLÁDKY KOMUNÁLNÍHO

ODPADU MICHALOVICE

PHOTOGRAMMETRIC SURVEY OF THE MUNICIPAL WASTE LANDFILL

MICHALOVICE

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Katedra speciální geodézie

Praha, 2020

Jan Zbírál



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zbiral** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **468464**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra speciální geodézie**
Studijní program: **Geodézie a kartografie**
Studijní obor: **Geodézie, kartografie a geoinformatika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Fotogrammetrické zaměření skládky komunálního odpadu Michalovice

Název bakalářské práce anglicky:

Photogrammetric survey of the municipal waste landfill Michalovice

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D., katedra speciální geodézie FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.02.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Fotogrammetrické zaměření skládky komunálního odpadu Michalovice zpracoval samostatně a uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s právními předpisy.

V Praze dne

.....

(podpis autora)



PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Rudolfovi Urbanovi Ph.D. za věnovaný čas, připomínky a rady ke zpracování. Dále bych rád poděkoval firmě SCE CZ s.r.o., která mi propůjčila přístroje a software nutný pro vypracování bakalářské práce. Velké díky také patří mé rodině, která mi byla oporou po celou dobu studia.



Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje fotogrammetrické zaměření objektu skládky komunálního odpadu v obci Michalovice. Dále popisuje postup vyhodnocení naměřených dat a následný výpočet kubatur. Při sběru dat bylo využito technologie GNSS a UAV. Pro zpracování byl využit software Agisoft Photoscan. Výpočet kubatur byl proveden v programech Bentley PowerCivil for Czech republic V8i a následně CloudCompare v2.11 beta, aby bylo možné výsledky porovnat.

Klíčová slova

Skládka TKO, fotogrammetrie, UAV, GNSS, Agisoft PhotoScan, CloudCompare, Bentley PowerCivil, kubatury, DMT, mračno bodů, vrstevnice

Abstract

This bachelor thesis describes the photogrammetric survey of the municipal waste landfill in Michalovice. It also describes the procedure of evaluation of measured data and subsequent calculation of the cubature. GNSS and UAV technologies were used for data collection. Agisoft Photoscan software was used for processing. Cubature calculations were performed in Bentley PowerCivil for the Czech Republic V8i and then CloudCompare v2.11 beta to compare the results.

Keywords

Municipal waste landfill, photogrammetry, UAV, GNSS, Agisoft PhotoScan, CloudCompare, Bentley PowerCivil, cubatures, DMT, point cloud, contour lines



Obsah

Abstrakt.....	5
Klíčová slova.....	5
Abstract	5
Keywords	5
Seznam použitých zkratk	8
1 Úvod	9
2 Lokalita a zájmový objekt	10
3 Metody měření a zpracování	11
3.1 Globální navigační satelitní systémy	11
3.2 Fotogrammetrie	12
3.2.1 UAV	13
3.2.2 Metoda Structure from Motion	13
3.3 Princip výpočtu kubatur z TIN.....	14
3.4 Princip výpočtu kubatur z mračna bodů.....	14
4 Použité přístroje a programy	15
4.1 Leica Viva NetRover GS08plus.....	15
4.2 Leica Viva CS10 3.5G	15
4.3 DJI Phantom 3 Advanced.....	15
4.4 Agisoft PhotoScan Professional 1.3.2.4164.....	16
4.5 Bentley PowerCivil for Czech republic V8i	16
4.6 CloudCompare v2.11 beta.....	17
5 Postup měření a zpracování.....	17
5.1 Tvorba vlíčovacích a kontrolních bodů.....	17
5.2 Snímkování	19
5.3 Vyhodnocení naměřených dat.....	20



5.4	Výpočet kubatur	26
5.4.1	Výpočet pomocí Bentley PowerCivil for Czech republic V8i... ..	27
5.4.2	Výpočet pomocí CloudCompare v2.11 beta	30
6	Výsledky.....	31
6.1	Výsledky měření	31
6.2	Výstupy zpracování.....	32
6.3	Výsledky výpočtů kubatur	34
7	Závěr.....	36
	Seznam literatury	37
	Seznam obrázků	38
	Seznam tabulek	39
	Seznam příloh	39



Seznam použitých zkratk

DMT – Digitální model terénu

GNSS – Globální navigační satelitní systémy

RTK – Real-time kinematic

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

TIN – Triangulated irregular network

GSM – Groupe Spécial Mobile

TKO – Technický a komunální odpad

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

DEM – Digital elevation model

CAD – Computer aided design

GLONASS – Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema

CZEPOS – Česká síť permanentních stanic pro určování polohy

Bpv – Balt po vyrovnání



1 Úvod

V dnešní době jsou v České republice stovky skládek komunálního odpadu. Tyto objekty, jak již plyne z jejich názvu slouží ke svozu odpadu ze svých spádových oblastí. Při množství odpadu, který je v současnosti produkován, rostou skládky do obřích rozměrů. S ohledem na ekologické dopady těchto objektů existují platné předpisy plynoucí ze zákona o odpadech, které musí skládka splňovat.

Z Mladé Boleslavi a okolí se odpad sváží na skládku komunálního odpadu, která se nachází v obci Michalovice. Tato skládka se rychle plní, a proto je nutné pravidelně zjišťovat její plnost. Tyto údaje ovšem nejsou evidovány při příjezdu každého popelářského auta, a proto provozovatel této skládky zadal zakázku, ve které požadoval vyhotovení digitálního modelu terénu pro tento objekt a zjištění množství navezeného odpadu za poslední rok.

Jako podklady byl k dispozici DMT (digitální model terénu) z předchozího zaměření. Vystala otázka, jakou metodu měření použít. Zaměření pomocí běžných geodetických metod například pomocí tachymetrie by vzhledem k velikosti skládky a zároveň její svahovitosti bylo velmi časově náročné. Proto byla vybrána metoda UAV fotogrammetrie.

Bylo nutné vytvořit vlíčovací a kontrolní body, které byly signalizovány značkou vytvořenou pomocí spreje okolo objektu. Ke snímkování byl použit dron DJI Phantom 3 Advance a kamera dodávaná výrobcem. K vyhodnocení snímků a vytvoření požadovaných výstupů byl využit software Agisoft PhotoScan. Pro následný výpočet kubatur bylo použito více softwarů. Toto rozhodnutí bylo učiněno, aby bylo možné provést porovnání výsledků mezi jednotlivými programy, které používají k výpočtu jiné metody.

Tato bakalářská práce popisuje zaměření dat a vyhotovení výstupů požadovaných zadavatelem. Zadavatel požadoval vyhotovení digitálního modelu ve formátu .dgn a .dwg a také protokol o výpočtu kubatur. Dále bakalářská práce obsahuje porovnání výsledků výpočtu kubatur v různých programech, různými metodami.



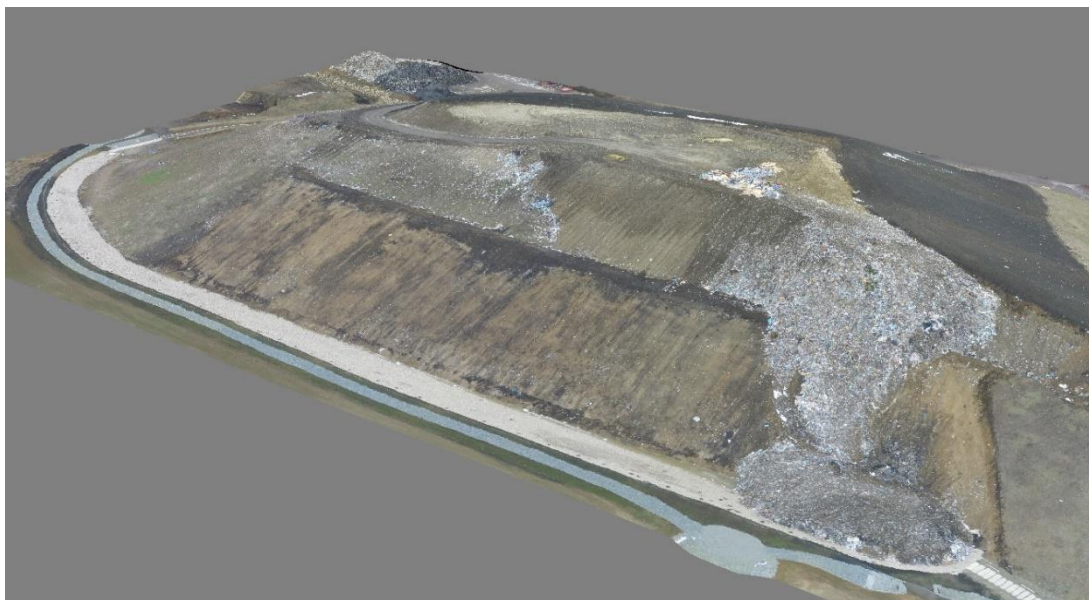
2 Lokalita a zájmový objekt

Zájmový objekt (skládka) se nachází v obci Michalovice nedaleko Mladé Boleslavi. Jedná se o příměstskou část statutárního města Mladá Boleslav spadající do katastrálního území Podlázky.

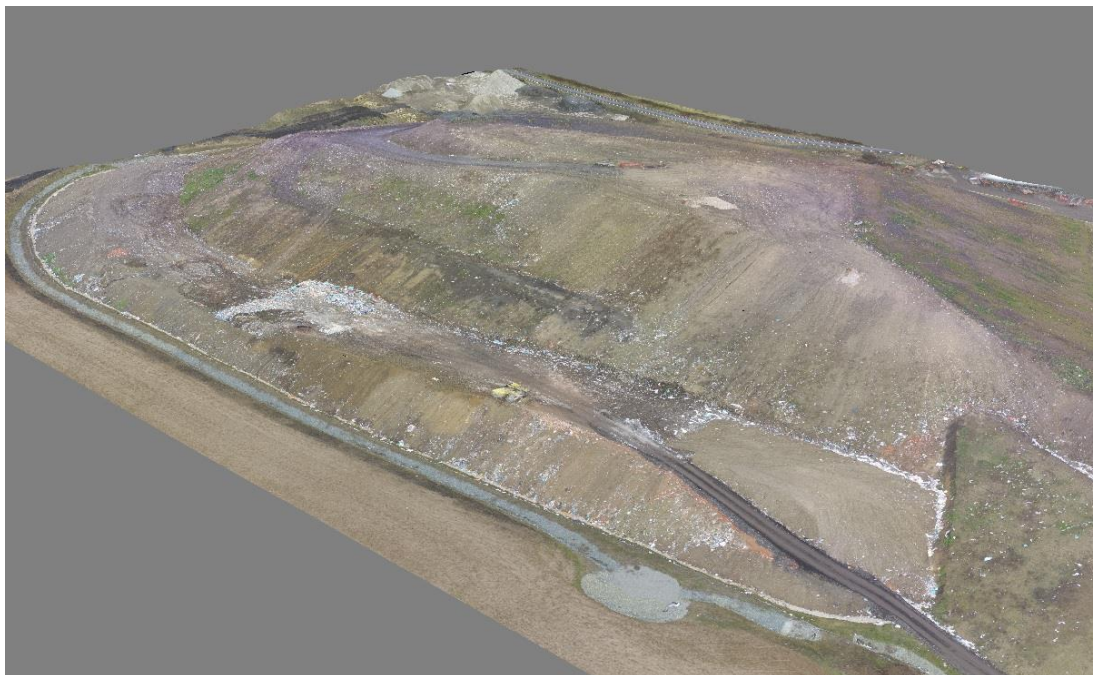
Jde o skládku komunálního odpadu, sloužící pro ukládání odpadního materiálu vyprodukovaného ve městě Mladá Boleslav a okolí. Provozovatelem objektu je společnost COMPAG Mladá Boleslav s.r.o. patřící do skupiny COMPAG, jenž je součástí rakouského koncernu BRANTNER. Společnost nabízí široké spektrum komunálních služeb včetně již zmíněného svozu odpadu.

Objekt skládky se nachází v severozápadní části obce. Povolení k provozování této skládky bylo uděleno ministerstvem životního prostředí ČR dne 20.9.2007. Původní seznam pozemků pro objekt skládky byl v průběhu let několikrát změněn.

Ukládání odpadu je v současné době prováděno do nové kazety realizované v rámci rozšíření skládky v roce 2018. Toto rozšíření bylo provedeno z jihozápadní strany objektu skládky a bylo nutné zjistit objem navezeného odpadu mezi roky 2019 (Obr. 1) a 2020 (Obr. 2). Severovýchodní svah objektu skládky již prošel revitalizací, čímž byl v této části navrácen původní krajinný ráz.



Obr. 1 Stav skládky na začátku roku 2019



Obr. 2 Stav skládky na začátku roku 2020

3 Metody měření a zpracování

Tato kapitola pojednává o metodách využitých pro zaměření objektu skládky komunálního odpadu a následném vyhodnocení a zpracování naměřených dat.

Zadavatel zakázky udal požadavek na přesnost určení vřícovacích a kontrolních bodů na 0,14 m. Dále vznesl požadavek na maximální hodnoty chyb transformace na 0,14 m.

3.1 Globální navigační satelitní systémy

Globální navigační satelitní systémy, dále jen GNSS, jsou jednou z nejběžnějších metod pro určení prostorové polohy bodů. Ke zjištění prostorové polohy se využívá družic na oběžné dráze Země a přijímače umístěného na měřeném bodě. Obecně by se dal princip této metody popsat jako prostorové protínání z délek. Z toho vyplývá, že měřenými daty jsou délky mezi družicemi a přijímačem. Tyto délky jsou zjišťovány pomocí rozdílu času vyslání signálu z družice a času přijetí signálu přijímačem. Pro určení polohy je potřeba znát data z alespoň čtyř družic. Pro samotné prostorové protínání z délek by stačila data ze tří družic, ale kvůli nedostatečné přesnosti hodin přijímače je nutné provést opravu hodin přijímače pomocí čtvrtého měření.



Existuje několik GNSS systémů. Pro naše měření je nejvyužívanější systém společnosti GPS NAVSTAR. Dále jsou využívány systémy GLONASS a Galileo. Rozdíly mezi těmito systémy jsou například ve výšce oběžné dráhy, po které družice obíhají planetu. Dále ve sklonu oběžných drah, množství družic, jejich rychlosti a dalších podobných údajích.

V geodézii je využívána metoda fázového měření. Pro měření prostorových souřadnic touto metodou je zapotřebí dvou vysílačů, přičemž jeden je umístěn na bodě o známých souřadnicích. Fázové měření lze dále dělit na jednotlivé metody, kde tou nejvyužívanější je metoda RTK.

V České republice se namísto druhého vysílače využívají data z referenčních stanic. Referenční stanice jsou přijímače umístěné na bodech o známých souřadnicích provádějící nepřetržité měření. V České republice je několik sítí referenčních stanic. Pro naše potřeby byla využita síť referenčních stanic CZEPOS. Tato síť je provozovaná Zeměměřickým úřadem.

Při měření metodou RTK jsou data vyhodnocována v reálném čase. Princip této metody spočívá v tom, že referenční stanice je umístěna na bodě o známých souřadnicích a přijímač je umístěn na body určované. Mezi přijímačem a referenční stanicí probíhá komunikace pomocí internetového připojení a přijímači na určovaném bodě jsou zasílány korekce. Přesnost této metody je 25 až 50 milimetrů.

Metoda RTK byla využita k zaměření prostorové polohy vlícovacích a kontrolních bodů. [5]

3.2 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je obor zabývající se získáváním geometrických informací z obrazového záznamu.

Principem fotogrammetrie je určení vztahu mezi polohou snímkaného předmětu na snímku a jeho polohou v terénu. Aby bylo možné tento vztah určit, je nutné znát několik hodnot. Prvně je nutné znát prvky vnitřní orientace. Tyto hodnoty jsou určeny pro měřickou komoru a jsou uváděny výrobcem. Prvky vnitřní orientace jsou konstanta komory, poloha hlavního snímkového bodu a průběh radiální a tangenciální distorze. Následně je nutné znát prvky vnější orientace snímku. Těmi jsou prostorové souřadnice středu vstupní pupily a tři úhly stočení snímku. Tyto informace jsou určovány pro každý snímek zvlášť. V případě pozemní fotogrammetrie je možné



hodnoty prvků vnější orientace zjistit pomocí běžných geodetických metod, ale v případě letecké fotogrammetrie jsou hodnoty úhlů stočení snímku většinou neznámé. V případě snímkování bez zařízení využívajícího metodu GNSS RTK je neznámá i poloha středu vstupní pupily. Proto je řešení prvků vnější orientace u leteckých snímků děleno do dvou kroků. Prvním krokem je relativní orientace. V tomto kroku se vytvoří stereomodel v lokální souřadnicové soustavě. V druhém kroku je prováděna absolutní orientace. V tomto kroku je model vytvořený za pomoci relativní orientace transformován do geodetických souřadnic.

Metoda fotogrammetrie byla využita k zaměření objektu skládky [1]

3.2.1 UAV

UAV je zkratka pro Unmanned Aerial Vehicle, tedy bezpilotní létající prostředek. Bepilotní je zde myšleno ve smyslu nepřítomnosti pilota na palubě prostředku. Obecná definice UAV zní:

- UAV je letadlo bez posádky, které může být řízeno na dálku, nebo létat samostatně pomocí předem naprogramovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů.

Provoz UAV v České republice upravuje legislativa. Ze zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a z prováděcí vyhlášky č. 108/1997 Sb. vyplývá povinnost dodržovat předpis L 2 – Pravidla létání, kde provoz UAV je uváděn v Doplnku X – Bepilotní systémy a Dodatkem 4 – Systémy dálkově řízeného letadla. V ČR je nutné pro provozování UAV získat povolení. [2]

3.2.2 Metoda Structure from Motion

Jedná se o metodu vyhodnocení dat získaných pomocí letecké fotogrammetrie. Metoda spočívá v identifikaci charakteristických bodů na několika snímcích a v rekonstrukci poloh kamery při pořizování snímků. Následně je provedeno svazkové vyrovnání, díky kterému jsou určeny všechny parametry vnější i vnitřní orientace. K využití této metody je nutné docílit dostatečného překryvu snímků. Překryv snímků by měl být mezi dvěma následujícími snímky v řadě 60 % a mezi sousedními řadami by měl být překryv alespoň 25-30 %. [3]

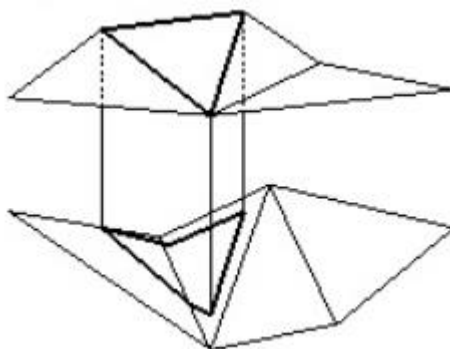


3.3 Princip výpočtu kubatur z TIN

K tomuto výpočtu jsou nutné dva DMT tvořené TIN, objem je vypočten pro oblast, pro kterou jsou k dispozici oba modely. TIN je nepravidelná trojúhelníková síť tvořená na základě dat určených pro vytvoření DMT, v tomto případě mračna bodů. Výpočet spočívá v promítání trojúhelníků hlavního modelu terénu na model projektovaný. Tímto krokem se vytvoří hranoly (Obr. 3). Následně jsou vypočteny objemy těchto hranolů a jejich součet určuje výslednou kubaturu celé oblasti.

Přesnost tohoto výpočtu je limitována přesností modelů do výpočtu vstupujících.

Tento princip výpočtu využívá program Bentley PowerCivil for Czech republic V8i.



Obr. 3 Promítnutí trojúhelníku z hlavního DMT na vedlejší DMT

3.4 Princip výpočtu kubatur z mračna bodů

K tomuto výpočtu jsou nutné dvě mračna bodů vyobrazující zájmovou oblast. Výpočet spočívá v součtu obsahů buněk vytvořených nad rovinou, do které je promítnuta plocha mračna bodů. Rozdělení roviny na buňky je definováno velikostí kroku sítě, který určuje velikost strany buněk. Vzorec výpočtu objemu buněk je:

$$dV = \text{Krok sítě}^2 * \text{Rozdíl výšek}$$

Kde dV je objem jedné buňky. Rozdíl výšek je myšlen rozdíl mezi výškami mračen bodů v místě počítané buňky.

Přesnost výpočtu je ovlivněna velikostí kroku sítě. Tato hodnota určuje velikost čtverců, na které je rovina rozdělena.

Tento princip výpočtu používá program CloudCompare v2.11 beta.



4 Použité přístroje a programy

V této kapitole budou popsány přístroje, které byly využity pro zaměření souřadnic vřícovacích a kontrolních bodů (Obr. 4) a přístroje použité pro snímkování zájmového území. Dále budou v kapitole popsány programy použité pro zpracování.

4.1 Leica Viva NetRover GS08plus

Jde o dvoufrekvenční přijímač, tedy schopný přijímat frekvence L1 (1575,42 MHz), L2 (1227,60 MHz). Dále je tento přijímač schopen přijímat frekvence L2C. Přijímat je možné signály ze systémů GPS NAVSTAR a GLONASS. K propojení přijímače a kontroleru slouží technologie Bluetooth.

4.2 Leica Viva CS10 3.5G

Kontroler sloužící pro ovládání GNSS přijímače. Je vybaven GSM modemem pro připojení k internetu. Kontroler využívá síť referenčních stanic CZEPOS. Pro připojení k přijímači slouží taktéž technologie Bluetooth.



Obr. 4 Leica Viva NetRover CS08plus + Leica Viva CS10 3.5G

4.3 DJI Phantom 3 Advanced

Jedná se o kvadrokoptéru (poháněnou čtyřmi elektromotory) od společnosti DJI se zabudovanou kamerou (Obr. 5). Hmotnost tohoto zařízení je 1,28 kg, a diagonální velikost 689 mm. Se zařízením je možné dosáhnout letové rychlosti až 16 m/s.



Pro potřeby fotogrammetrie je podstatná možnost využití letového režimu F-mode. V tomto režimu je aktivní funkce IOC, která umožňuje nastavení směru letu, který dron dodrží, čímž se eliminuje možnost drobných změn kurzu při ovládání uživatelem.

Součástí UAV je zabudovaná kamera, která má zorný úhel 94° , ohniskovou vzdálenost 20 mm, rozsah ISO 100 – 1600. Tyto vlastnosti a parametry má kamera v režimu pořizování fotografií (použito při náletu), při pořizování videozáznamu jsou parametry jiné.



Obr. 5 DJI Phantom 3 Advanced

4.4 Agisoft PhotoScan Professional verze 1.3.2.4164

Jedná se o specializovaný program, který umožňuje zpracování pořízených snímků. Umožňuje generování mračen bodů, tvorbu ortofota a DMT.

Program byl využit ke zpracování nasbíraných dat.

4.5 Bentley PowerCivil for Czech republic V8i

Jedná se o CAD systém. Jeho součástí jsou funkce CAD sloužící pro kresbu, funkce pro práci s DMT a funkce pro provádění výpočtů. Tento program obsahuje mnoho dalších funkcí, které však jsou pro tuto bakalářskou práci nepodstatné.

Program byl využit pro výpočet kubatur z TIN a tvorbu příloh.



4.6 CloudCompare v2.11 beta

Jedná se o Open Source program sloužící pro práci s mračny bodů. Umožňuje jejich editaci a zpracování. V programu je možné provádět mnoho různých výpočtů.

Program byl využit pro výpočet kubatur z mračen bodů.

5 Postup měření a zpracování

V této kapitole je popsán postup sběru a zpracování dat chronologicky podle toho, jak práce probíhaly.

5.1 Tvorba vlíčovacích a kontrolních bodů

Pro potřeby letecké fotogrammetrie bylo nutné vytvořit dostatečný počet vlíčovacích a kontrolních bodů. Vlívovací body jsou podle [4] body sloužící pro geometrickou transformaci nejčastěji obrazových dat do jiného souřadnicového systému.

Tyto body byly rovnoměrně rozvrženy okolo objektu skládky TKO. Zkratka TKO vyjadřuje zaměření skládky na ukládání technického a komunálního odpadu. Body byly signalizovány pomocí reflexního spreje, jehož barva byla vybrána tak, aby byla v co největším kontrastu s okolním terénem. Značka vlíčovacích bodů byla zvolena jako kruh překřížený dvěma čarami kolmými na sebe (Obr. 6). Velikost této značky byla určena tak, aby byla značka dobře rozeznatelná na snímcích. Její velikost byla v terénu přibližně 30 cm v průměru a na snímku 10 pixelů v průměru.



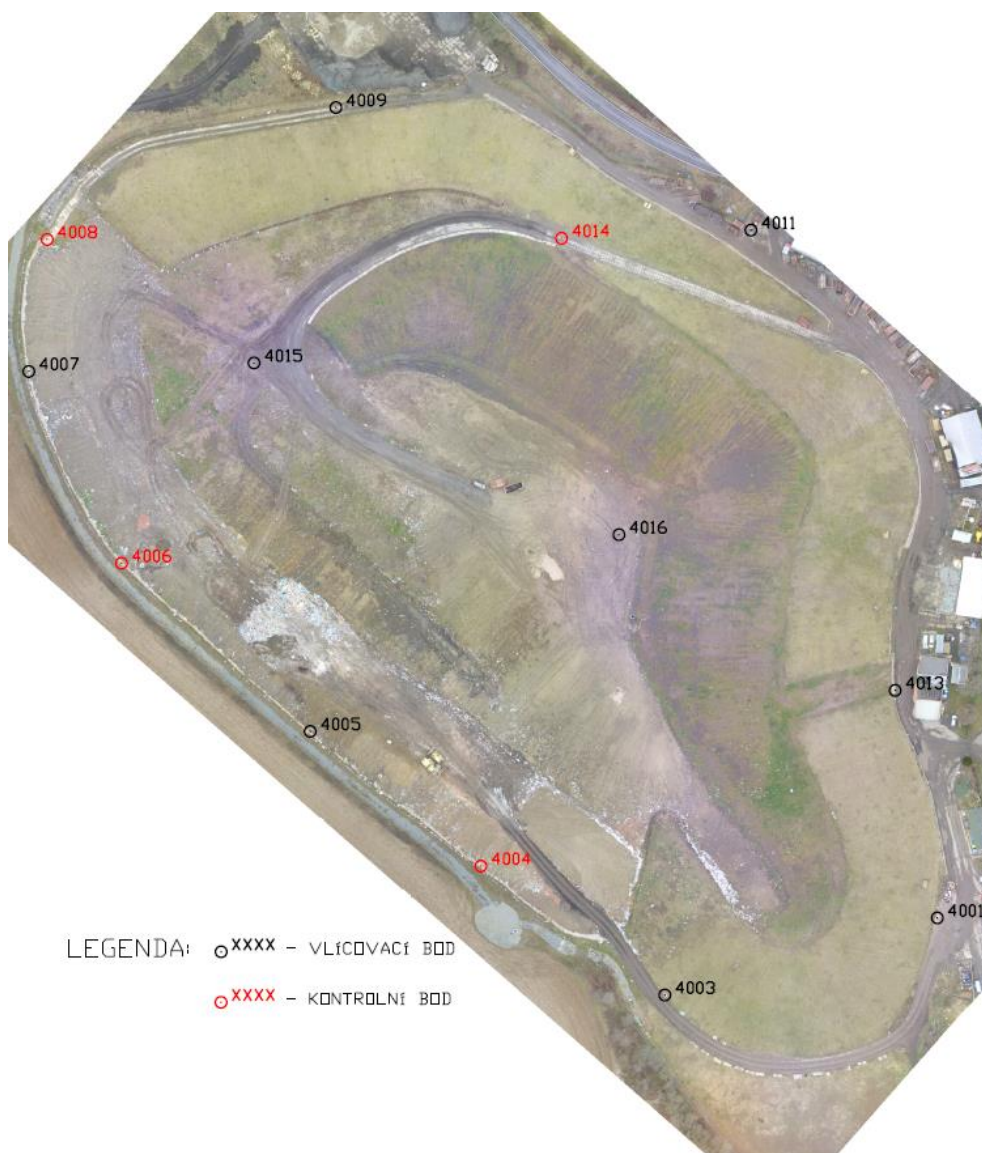
Obr. 6 Vlívovací bod



Souřadnice těchto bodů byly zaměřeny pomocí technologie GNSS a sice metodou RTK. Na každém z těchto bodů byly provedeny dvě nezávislé měření s odstupem více než dvou hodin. Měření probíhalo po dobu 30 vteřin. Bylo vytvořeno 8 vlíčovacích bodů (Obr. 7).

Poté byly vytvořeny kontrolní body. Tyto body slouží pro porovnání souřadnic určených pomocí GNSS a souřadnic odečtených z vytvořeného DMT. Kontrolní body byly signalizovány stejně jako body vlíčovací a stejně tak na nich bylo provedeno měření pomocí GNSS stejným způsobem. Byly vytvořeny 4 kontrolní body.

Metoda GNSS byla zvolena pro její časovou efektivitu a zároveň přesnost splňující požadavky zadavatele. Požadavkem zadavatele byla hodnota střední souřadnicové chyby do 0,14 m.



Obr. 7 Přehledka bodového pole



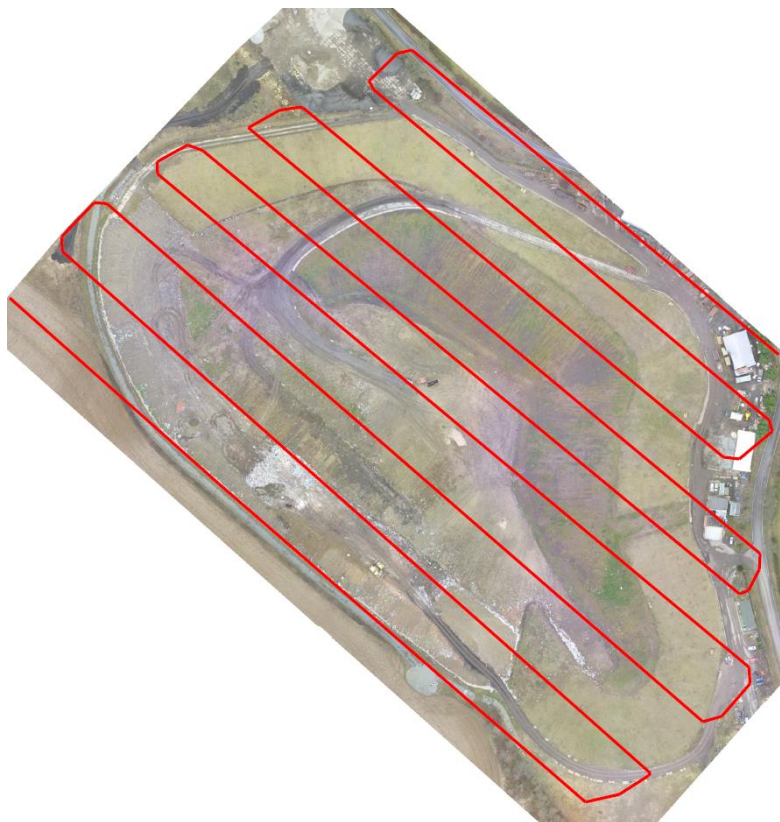
5.2 Snímkování

Pro snímkování pomocí UAV platí několik požadavků, plynoucích z technologických omezení UAV a dále z požadavku na kvalitu snímků. Technologická omezení UAV vyžadují suché počasí, z důvodu, že dron je poháněn elektromotory, které by mohly při větším kontaktu s vodou být poškozeny. Dále malou větrnost, z důvodu síly elektromotorů, kde by při silném větru mohlo dojít k nehodě dronu a zároveň by mohla být zhoršena kvalita snímků.

Před snímkováním bylo nutné do mobilního telefonu nainstalovat aplikaci DJI GO, ve které byl prováděn následující postup. Bylo nutné navrhnout trasu letu. K tomuto úkonu byla využita funkce *Waypoints*, která slouží k navržení trasy a následně samotnému snímkování dle navrhnuté trasy. Trasa letu byla navržena manuálním průletem a ukládáním otočných bodů trasy. Po tomto průletu byla trasa uložena do vnitřní paměti UAV (Obr. 8).

Pro následné snímkování bylo nutné provést nastavení rychlosti letu, výšky letu a intervalu snímkování. Parametry nastavení byly následující: výška letu byla nastavena na 50 metrů od vrcholu tělesa skládky (rozlišení pixelu na povrchu bylo 0.0264 m/pix), rychlost letu byla nastavena na 13 km/h a interval snímkování byl nastaven na 2 vteřiny. Poté byly nastaveny vlastnosti pořizovaných snímků.

Na závěr byla vybrána uložená trasa a provedeno snímkování. Toto snímkování provádí přístroj autonomně. Celý postup byl prováděn v režimu F-mode (function). Celkem bylo pořizováno 404 snímků.

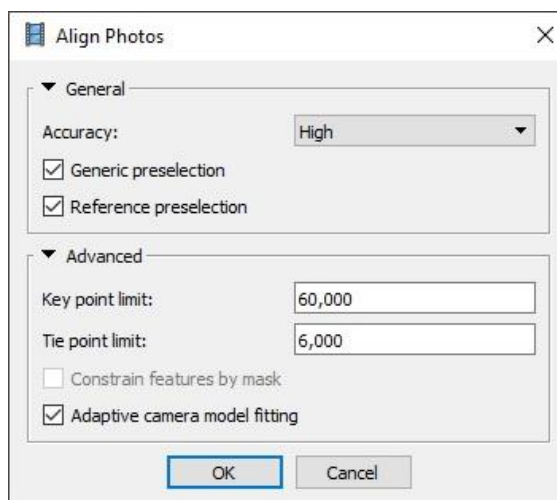


Obr. 8 Trasa letu

5.3 Vyhodnocení naměřených dat

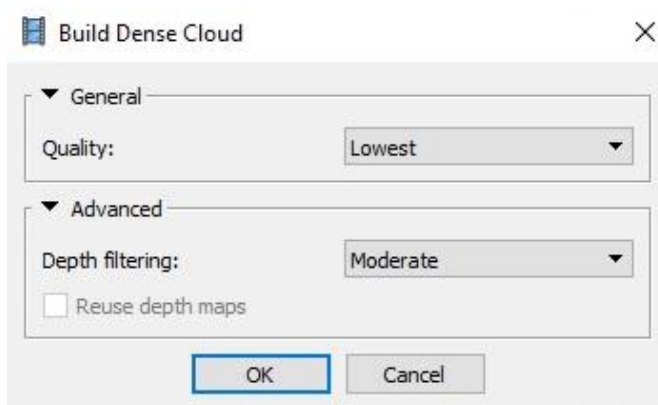
Pro vyhodnocení měřených dat byl zvolen software Agisoft PhotoScan Professional verze 1.3.2.4164. V tomto programu byl založen projekt, ve kterém bylo prováděno zpracování. Prvním krokem je import snímků do projektu. Import byl proveden pomocí funkce *Workflow – Add photos*.

Dalším krokem bylo vyhledání spojovacích bodů. To jsou klíčové body nacházející se na více snímcích, na kterých je program identifikuje. K tomu byla použita funkce *Workflow – Align photos* (Obr. 9). V nastavení této funkce byla volena hodnota Accuracy, která určuje rozlišení fotky, se kterým bude program pracovat v případě nastavení na hodnotu High pracuje program s nativním rozlišením fotek. Dále byla volena hodnota Key point limit, která určuje maximální počet bodů získaných z jedné fotografie. Nastavení bylo provedeno podle předchozích zkušeností. Výstupem této funkce je velmi řídké mračno bodů, které bylo v souřadnicovém systému WGS84.



Obr. 9 Nastavení funkce Align Photos

Dalším krokem bylo vytvoření hustšího mračna bodů, které ovšem stále nebylo v souřadnicovém systému S-JTSK, nýbrž v systému WGS84. Tento krok byl proveden pomocí funkce *Workflow – Build dense cloud* (Obr. 10). Pro tuto funkci byla nastavena hodnota Quality, která určuje rozlišení použitých snímků a hodnota Depth filtering, která udává parametr filtrování hloubky. Hodnota Depth filtering byla nastavena na moderate, což je metoda středního hloubkového vyhlazování. Pro tento krok byla zvolena nejnižší možná kvalita, a to proto, že tvorba mračna bodů ve větší kvalitě by zabrala příliš mnoho času a pro tento krok by byla zbytečná. Nastavení byla opět provedena na základě předchozích zkušeností. Toto mračno posloužilo pouze pro prvotní vizuální kontrolu úplnosti projektu.



Obr. 10 Nastavení funkce Build Dense Cloud

Poté bylo nutné provést označení vlíčovacích a kontrolních bodů na jednotlivých snímcích. To bylo provedeno pomocí funkce *Create marker*. Tato funkce



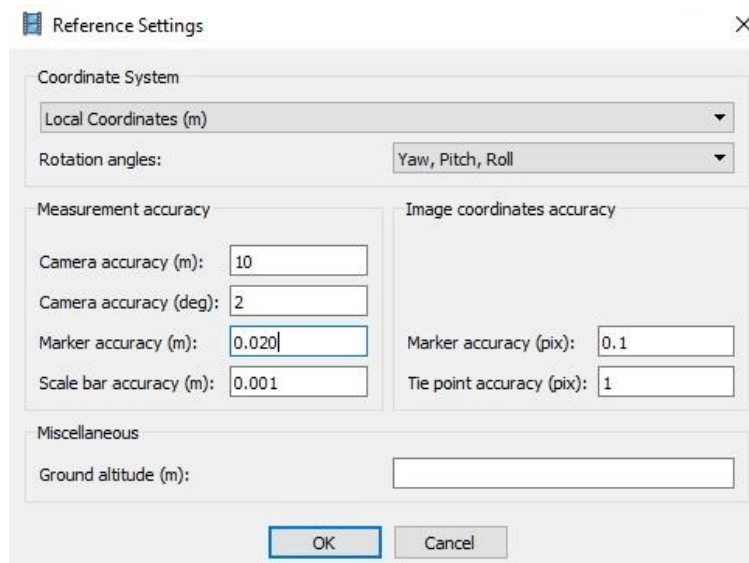
umožnila umístit značku na vlíčovací bod na jednom ze snímků. Program poté našel tento vlíčovací bod na všech snímcích, na kterých je bod viditelný a umístil na něj značku. Toto automatické nalezení bodu na snímcích ovšem není zcela přesné, a tudíž bylo nutné provést kontrolu a popřípadě korekci umístění značek. Tento úkon bylo nutné provést ručně, postupně na každém jednotlivém snímku. Na snímcích, kde je bod příliš blízko okraji snímku, nebo je snímek focen při otáčení UAV bylo nutné značku odstranit. V případě ponechání těchto snímků ve výpočtu by mohlo docházet k chybám. Poté byla provedena kontrola hodnot projection error, tyto hodnoty udávají rozdíl mezi odhadovanou a skutečnou polohou bodu na snímcích. Tento postup se provádí u každého vlíčovacího, či kontrolního bodu. Hodnota na žádném z bodů nepřekročila 0,14 m, což bylo požadavkem zadavatele.

Dalším krokem byl import určených prostorových souřadnic vlíčovacích a kontrolních bodů, metodou GNSS RTK, do programu. Souřadnice těchto bodů byly v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Import byl proveden z textového souboru pomocí funkce *Reference – Import*.

Před provedením transformace bylo dále potřeba označit všechny snímky a použít funkci *uncheck*, která vypne zobrazení zpracovaného mračna v souřadnicovém systému WGS 84.

Posledním krokem před provedením transformace bylo vypuštění kontrolních bodů (Check points) z výpočtu transformace. Ve výpočtu musí figurovat pouze vlíčovací body (Control points). Tento krok byl proveden odoznačením kontrolních bodů v seznamu.

Následně byla provedena transformace do souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv, pomocí funkce *Reference Settings* (Obr. 11). V nastavení této funkce byl zvolen souřadnicový systém lokální. Dále byla nastavena hodnota Marker accuracy, byla zvolena 0,02 m s ohledem na přesnost určení souřadnic vlíčovacích a kontrolních bodů.



Obr. 11 Nastavení funkce Reference Settings

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)	
<input checked="" type="checkbox"/>	4001	-705575.190000	-1008663.302000	269.817000	0.005000	0.074908	7	0.489
<input checked="" type="checkbox"/>	4003	-705671.193000	-1008690.464000	269.760000	0.005000	0.046095	14	0.498
<input type="checkbox"/>	4004	-705735.986000	-1008645.031000	271.916000	0.005000	0.110527	12	0.670
<input checked="" type="checkbox"/>	4005	-705796.060000	-1008597.632000	272.854000	0.005000	0.038059	13	0.428
<input type="checkbox"/>	4006	-705862.526000	-1008538.389000	273.952000	0.005000	0.072344	11	0.361
<input checked="" type="checkbox"/>	4007	-705895.181000	-1008470.846000	272.051000	0.005000	0.042263	15	0.327
<input type="checkbox"/>	4008	-705888.747000	-1008424.381000	271.994000	0.005000	0.076657	9	0.427
<input checked="" type="checkbox"/>	4009	-705787.007000	-1008377.953000	273.195000	0.005000	0.054360	12	0.374
<input checked="" type="checkbox"/>	4011	-705640.871000	-1008421.116000	273.493000	0.005000	0.080280	11	0.393
<input type="checkbox"/>	4014	-705707.534000	-1008423.955000	281.455000	0.005000	0.090716	13	0.656
<input checked="" type="checkbox"/>	4015	-705815.877000	-1008467.886000	293.558000	0.005000	0.061334	7	0.426
<input checked="" type="checkbox"/>	4016	-705687.329000	-1008528.354000	298.065000	0.005000	0.061590	9	0.459
Total Error								
Control points						0.059082		0.422
Check points						0.088820		0.559

Obr. 12 Hodnoty chyb vypočtených na kontrolních a vřícovacích bodech

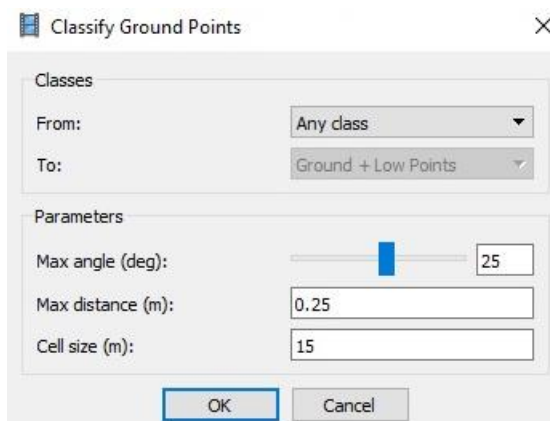
Byla provedena kontrola výsledků transformace (Obr. 12) pomocí hodnot projection error. Mezní hodnota byla stanovena zadavatelem na 0,14 m. Kontrolní body jsou body, které jsou odoznačené. Nejnižší hodnota chyby na těchto bodech byla 0,07 m a nejvyšší 0,11 m.

Po provedení transformace bylo nutné vygenerovat nové mračno bodů. K tomu byla opět použita funkce *Workflow – Build dense cloud*. Nyní již bylo mračno vygenerováno s nastavením kvality na Medium. Jednotlivá nastavení této funkce je popsáno výše. Celkový počet bodů vytvořeného mračna je 13 949 830.

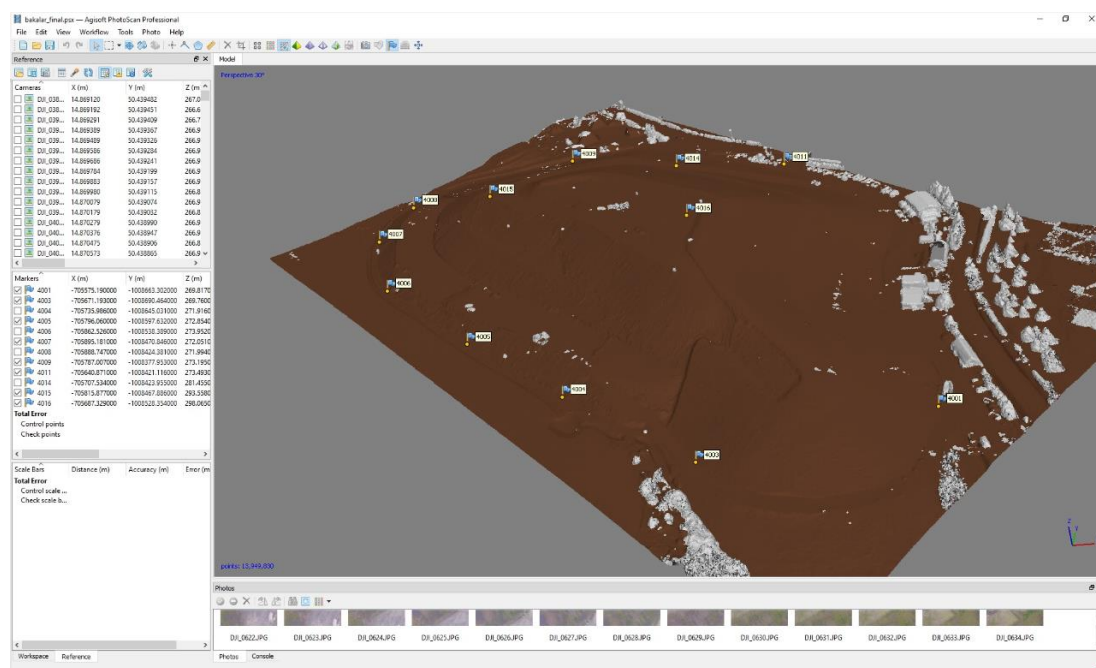
Toto mračno bylo nutné upravit pomocí funkce *Tools – Classify Ground Points* (Obr. 13), z důvodu nutnosti eliminování vlivu objektů, které bezprostředně netvoří těleso skládky např. mechanizace, vzrostlá zeleň a zvýšené objekty systému odvodnění. Tato funkce přiřadí klasifikaci jednotlivým bodům mračna a klasifikuje



šumy (Obr. 14), které jsou následně vypuštěny z výsledných výstupů. Nastavení maximálního úhlu mezi modelem a přímkou vznikající spojením s hodnoceným bodem, maximální vzdálenosti a velikosti buňky bylo zvoleno tak, aby byly odstraněny všechny nežádoucí objekty. Konkrétní nastavení bylo provedeno na základě předchozích zkušeností.



Obr. 13 Nastavení funkce Classify Ground Points

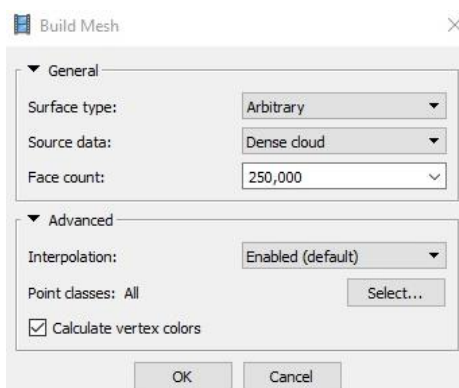


Obr. 14 Vyobrazení klasifikace povrchu

Následně byla vygenerován DMT ve formě trojúhelníkové sítě. To bylo provedeno pomocí funkce *Workflow – Build mesh* (Obr. 15). Hodnota *Surface type* udává předpoklad ohledně typu objektu. Hodnota *Arbitrary* se využívá pro modelování uzavřených objektů. Předpoklady pro typ modelovaného objektu při tomto nastavení nejsou. Dále se nastavuje hodnota *Face count*, která určuje množství vytvářených

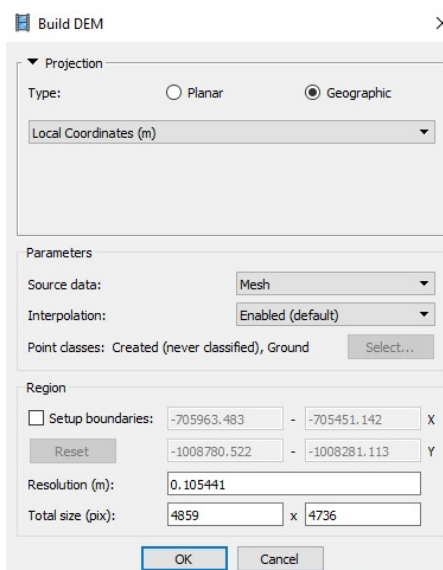


trojúhelníků. Pro naše potřeby bylo určeno množství trojúhelníků na 250 000 a bylo nastaveno vypouštění šumů.



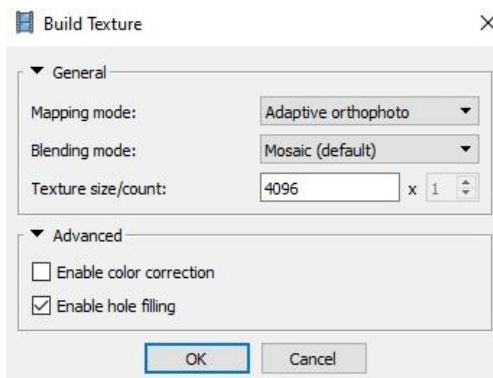
Obr. 15 Nastavení funkce Build Mesh

Dále byl vytvořen digitální elevační model (DEM). To bylo provedeno pomocí funkce *Workflow – Build DEM* (Obr. 16). Význam jednotlivých nastavení této funkce je zřejmý.



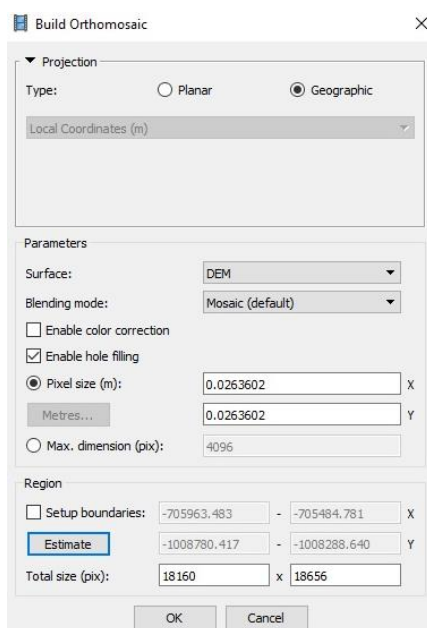
Obr. 16 Nastavení funkce Build DEM

V dalším kroku byla vytvořena textura pomocí funkce *Workflow – Build texture* (Obr. 17). Hodnota Mapping mode určuje způsob, jakým bude textura vytvářena. Dalším nastavením byla volba Blending mode, která určuje způsob, jakým jsou hodnoty pixelů kombinovány do výsledné textury. Hodnota Blending mode byla zvolena Mosaic. Jedná se o dvoufázový postup, kdy se využije nízkofrekvenční složka pro překrývající se obrazy a následně se využije vysokofrekvenční složka, která získává detaily z jediného snímku.



Obr. 17 Nastavení funkce Build Texture

Poté byla vytvořena ortofoto mapa pomocí funkce *Workflow – Build Orthomosaic* (Obr. 18). Nastavení Blending mode určovalo obdobně jako v předchozím případě způsob, jakým jsou kombinovány hodnoty pixelů. Význam zbylých nastavení je zřejmý.



Obr. 18 Nastavení funkce Build Orthomosaic

Nastavení těchto 4 funkcí bylo taktéž voleno na základě předchozí zkušenosti, tedy otestováním možností nastavení a zhodnocení jejich výsledků.

Program zároveň vytvořil technickou zprávu, dokumentující zpracování fotogrammetrického měření. Tato technická zpráva je obsažena v přílohách. [8]

5.4 Výpočet kubatur

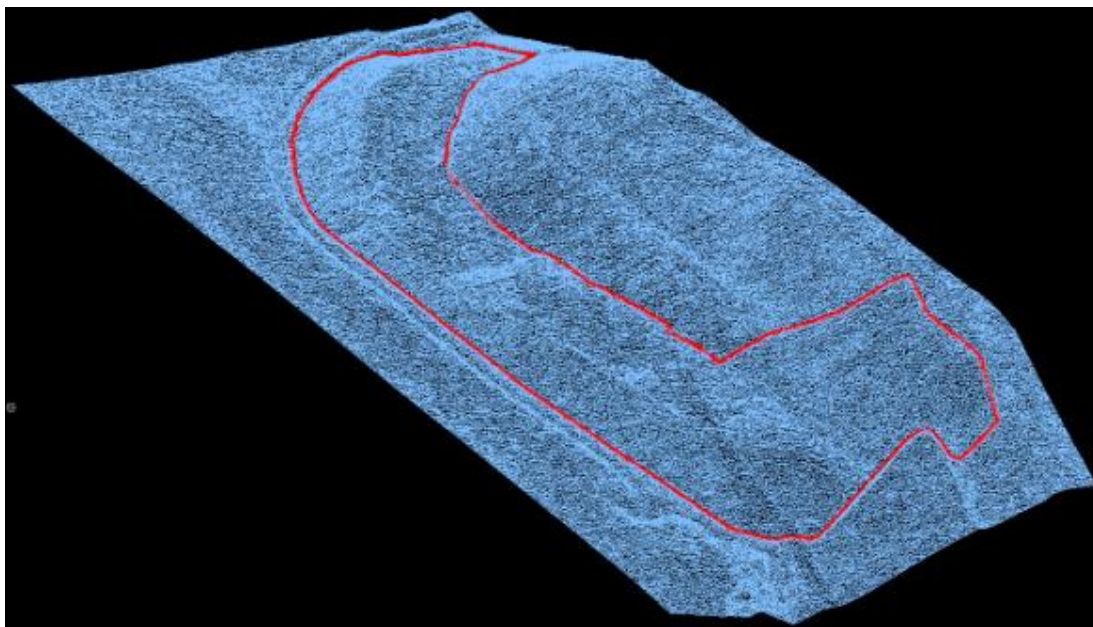
V této podkapitole je popsán postup výpočtu kubatur v obou zvolených softwarech a to jak Bentley PowerCivil for Czech republic V8i, tak CloudCompare v2.11 beta.



5.4.1 Výpočet pomocí Bentley PowerCivil for Czech republic V8i

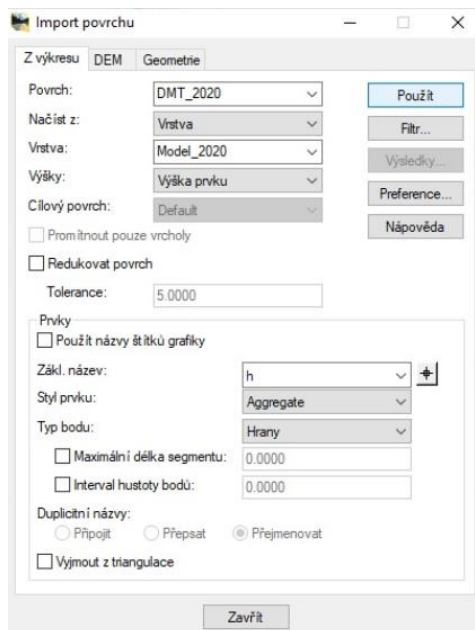
Jako jeden z programů pro výpočet kubatur vymezené části zájmového území byl zvolen program Bentley PowerCivil for Czech republic V8i. Tento software byl zvolen z důvodu pozdějšího využití dat objednatelem, který pracuje s CAD systémy.

V prvním kroku byl proveden ořez obou DMT tak, aby obsahovaly požadovanou část objektu skládky TKO. Hranice požadované oblasti se nacházejí v místě průniku obou modelů. K tomu bylo nutné nakreslit linii ohraničující celou oblast (Obr. 19). Linie ohraničující oblast byla dochytávána na strany trojúhelníků hlavního DMT (z roku 2020). Následně byla použita funkce *Ořez modelu dle zájmového území – Ořez modelu dle prvku*. Oříznutí archivního modelu bylo provedeno obdobným způsobem, podle stejné linie ohraničující požadovanou oblast.

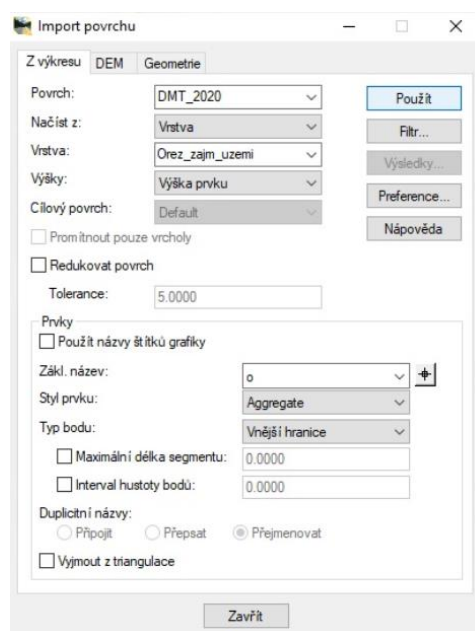


Obr. 19 Linie ohraničující počítanou oblast

Dále bylo nutné založit povrchy. Pro oba modely byl založen samostatný povrch. Do povrchu byl importován DMT, který povrchu náleží, tedy do povrchu pro rok 2020 byl importován model z roku 2020 a obdobně pro rok 2019. Toto bylo provedeno funkcí *Soubor – Import – Povrch*. Import byl proveden pro každý model dvakrát, a to proto, že jednou se importují hrany trojúhelníků (Obr. 20) a po druhé linie vnější hranice (Obr. 21). Při těchto krocích bylo nutné nastavit typ bodu na hrany, a poté na vnější hranice.

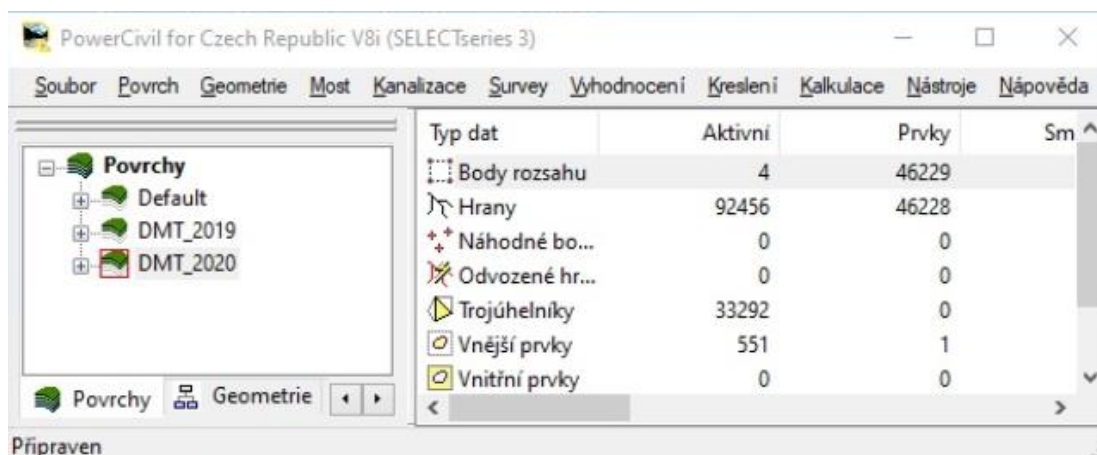


Obr. 20 Import hran do povrchu



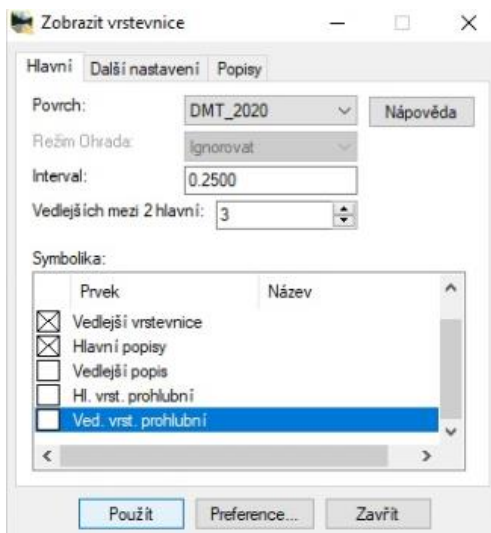
Obr. 21 Import vnější hranice do povrchu

Dalším krokem je triangulace povrchu. To bylo provedeno pomocí funkce *povrch – triangulovat*. Tato funkce vytvoří trojúhelníky z jednotlivých hran. Vlastnosti povrchu jsou vidět v dialogovém okně (Obr. 22).



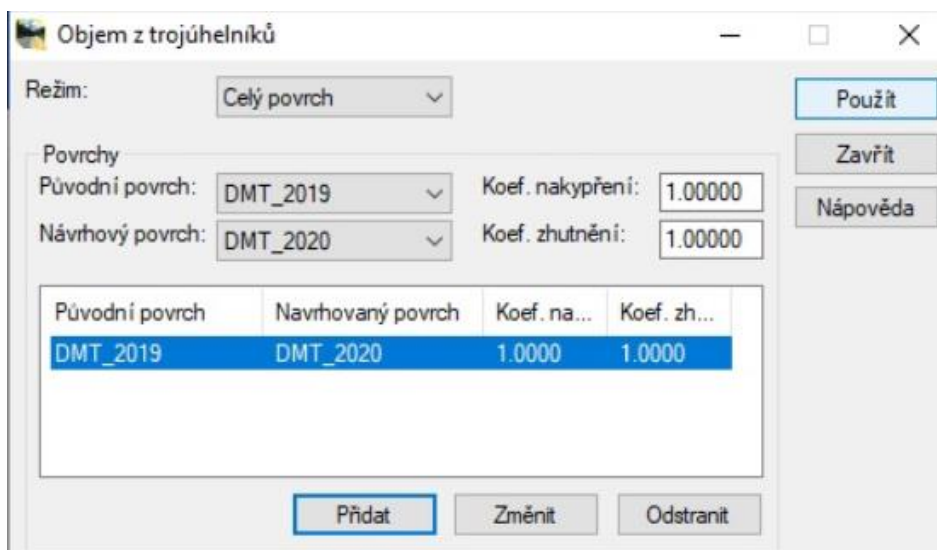
Obr. 22 Vlastnosti povrchu

Dále byly vygenerovány vrstevnice dle modelu z roku 2020. To bylo provedeno pomocí funkce *Povrch – zobrazit povrch – vrstevnice* (Obr. 23). Interval vrstevnic byl zvolen 25 cm a počet vedlejších vrstevnic mezi dvěma hlavními byl zvolen 3, toto nastavení bylo provedeno na základě požadavků zpracovatele projektové dokumentace rekultivace tělesa skládky. Vlastnosti vrstvy obsahující hlavní vrstevnice byly dále upraveny tak aby hlavní vrstevnice měli větší tloušťku linie, než vrstevnice vedlejší. Vrstevnicový plán je obsažen v přílohách.



Obr. 23 Nastavení funkce Zobrazit vrstevnice

Poté byly vypočítány kubatury. Tento výpočet se provádí pomocí funkce *Vyhodnocení – kubatury – objem z trojúhelníků* (Obr. 24).



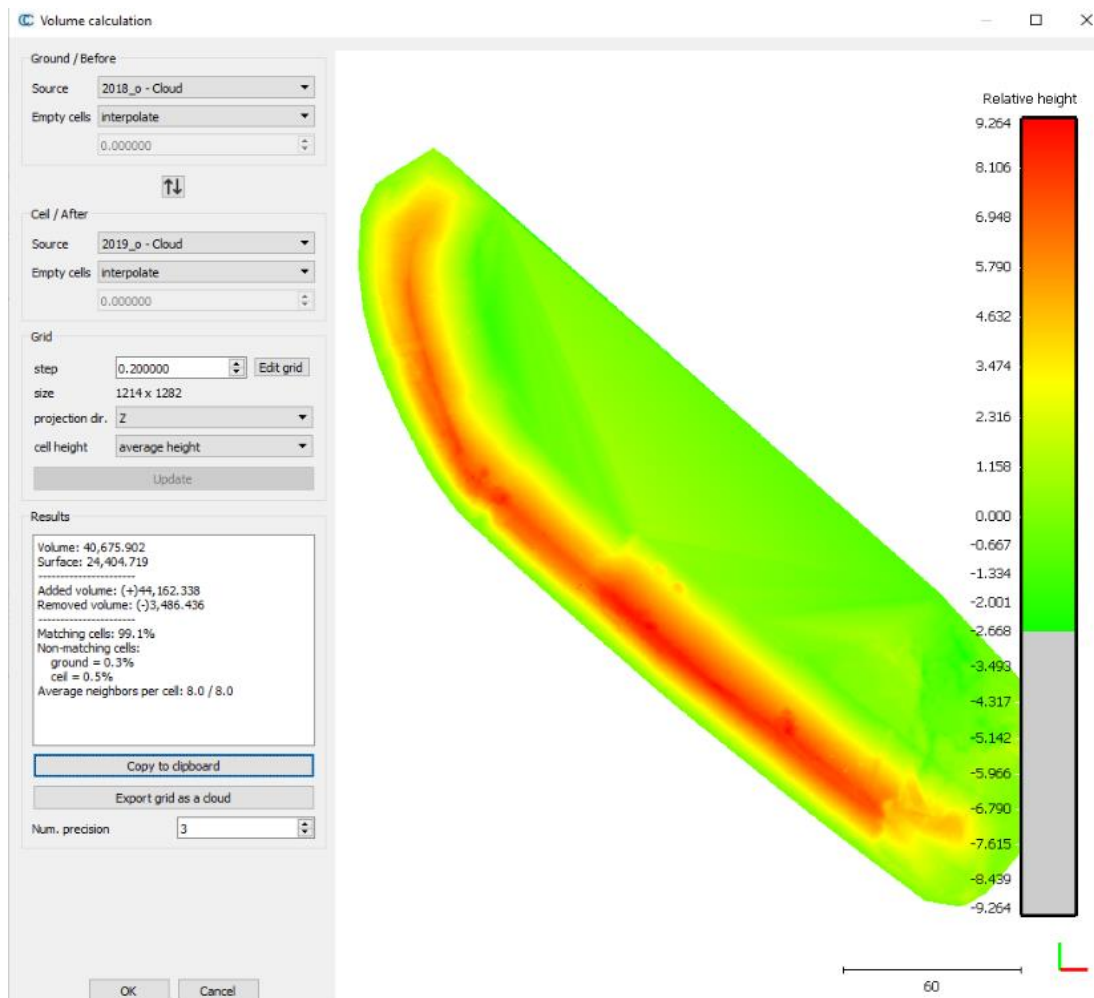
Obr. 24 Nastavení funkce Objem z trojúhelníků

Software zároveň vytvořil protokol o výpočtu kubatur, ve kterém jsou výsledky uvedeny. Tento protokol je obsažen v přílohách.

5.4.2 Výpočet pomocí CloudCompare v2.11 beta

Jako druhý software pro výpočet kubatur byl použit CloudCompare v2.11 beta. Tento program je Open Source systém. Program je určen pro práci s mračny bodů. Jako zdrojová data byla použita mračna bodů, oříznutá dle polygonu ohraničující zájmovou oblast pro výpočet kubatur v programu Bentley PowerCivil for Czech republic V8i. Tato mračna bodů ve formátu .las byly importovány do programu pomocí funkce *File – Open*.

Následný výpočet kubatur byl proveden pomocí funkce *Tools – Volume calculation* (Obr. 25). Tato funkce využívá metody popsané v kapitole 2.4. Z důvodu, že modely obsahovaly prázdná místa byly prázdné buňky vyplněny vyinterpolovanými body. Výpočet byl proveden několikrát s různými nastaveními kroku sítě v rozmezí od 0,1 m do 2 m, aby bylo možné provést porovnání výsledků. Vzhledem k principu výpočtu by měl vztah mezi velikostí kroku sítě a výslednou přesností výpočtu kubatur být nepřímo úměrný.



Obr. 25 Nastavení funkce Volume calculation

6 Výsledky

V této kapitole jsou uvedeny informace o výsledcích měření, dále jsou zde uvedeny výsledky získané zpracováním naměřených dat a výpočtem kubatur.

6.1 Výsledky měření

Výsledky měření vlíčovacích a kontrolních bodů jsou uvedeny v protokolu měření GNSS a v Tab. 1.

Tab. 1 Výsledky opakovaného měření technologií GNSS

Bod		Y	X	Z
4001	Průměr	705575.19	1008663.30	269.82
	Měření 1	705575.19	1008663.30	269.81
	Měření 2	705575.19	1008663.30	269.82



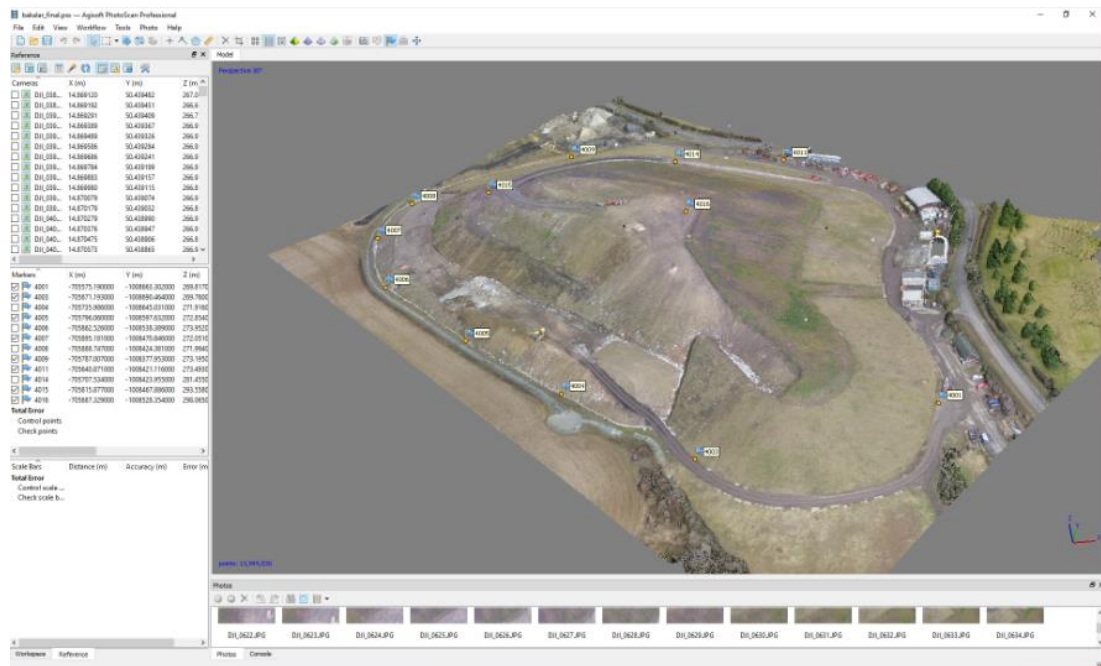
4003	Průměr	705671.19	1008690.46	269.76
	Měření 1	705671.19	1008690.46	269.76
	Měření 2	705671.19	1008690.46	269.76
4004	Průměr	705735.99	1008645.03	271.92
	Měření 1	705735.98	1008645.03	271.91
	Měření 2	705735.99	1008645.03	271.92
4005	Průměr	705796.06	1008597.63	272.85
	Měření 1	705796.06	1008597.63	272.86
	Měření 2	705796.06	1008597.63	272.85
4006	Průměr	705862.53	1008538.39	273.95
	Měření 1	705862.53	1008538.39	273.95
	Měření 2	705862.53	1008538.39	273.96
4007	Průměr	705895.18	1008470.85	272.05
	Měření 1	705895.18	1008470.84	272.05
	Měření 2	705895.18	1008470.85	272.05
4008	Průměr	705888.75	1008424.38	271.99
	Měření 1	705888.75	1008424.38	272.00
	Měření 2	705888.75	1008424.38	271.99
4009	Průměr	705787.01	1008377.95	273.20
	Měření 1	705787.01	1008377.95	273.19
	Měření 2	705787.01	1008377.95	273.20
4011	Průměr	705640.87	1008421.12	273.49
	Měření 1	705640.87	1008421.12	273.50
	Měření 2	705640.87	1008421.11	273.49
4013	Průměr	705590.06	1008583.18	270.61
	Měření 1	705590.06	1008583.18	270.61
	Měření 2	705590.06	1008583.18	270.61
4014	Průměr	705707.53	1008423.95	281.46
	Měření 1	705707.53	1008423.95	281.45
	Měření 2	705707.53	1008423.96	281.46
4015	Průměr	705815.88	1008467.89	293.56
	Měření 1	705815.88	1008467.89	293.56
	Měření 2	705815.88	1008467.89	293.55
4016	Průměr	705687.33	1008528.35	298.06
	Měření 1	705687.33	1008528.35	298.06
	Měření 2	705687.33	1008528.35	298.06

6.2 Výstupy zpracování

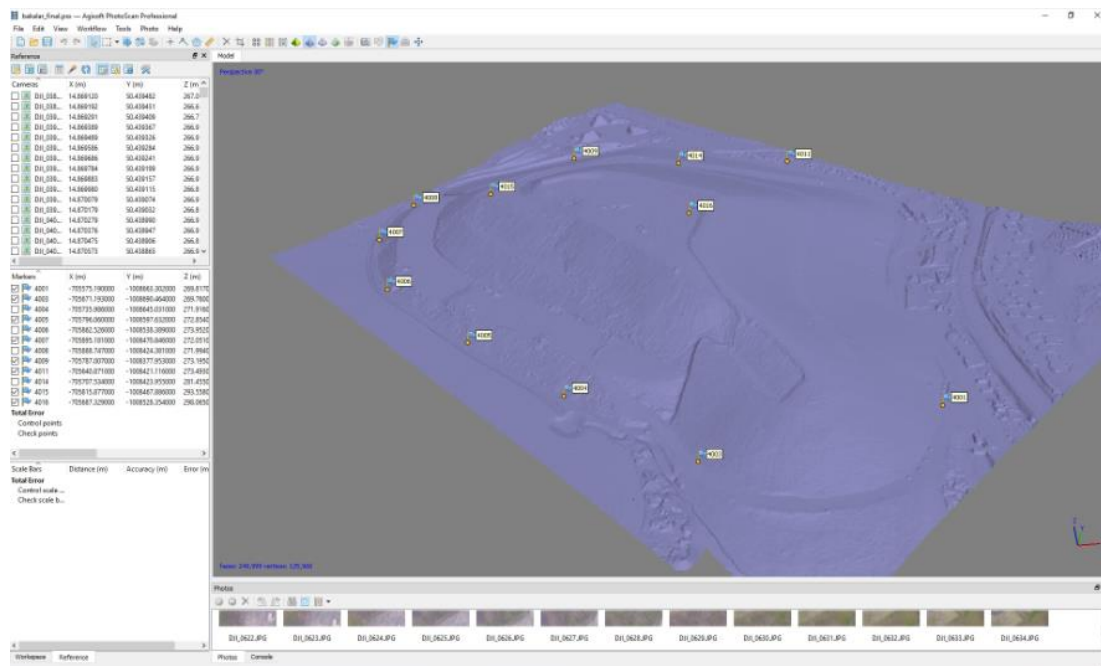
Zpracováním v programu Agisoft PhotoScan byly vytvořeny 3 výstupy. Těmito výstupy jsou DMT (Obr. 27), texturovaný DMT (Obr. 28) a mračno bodů (Obr.



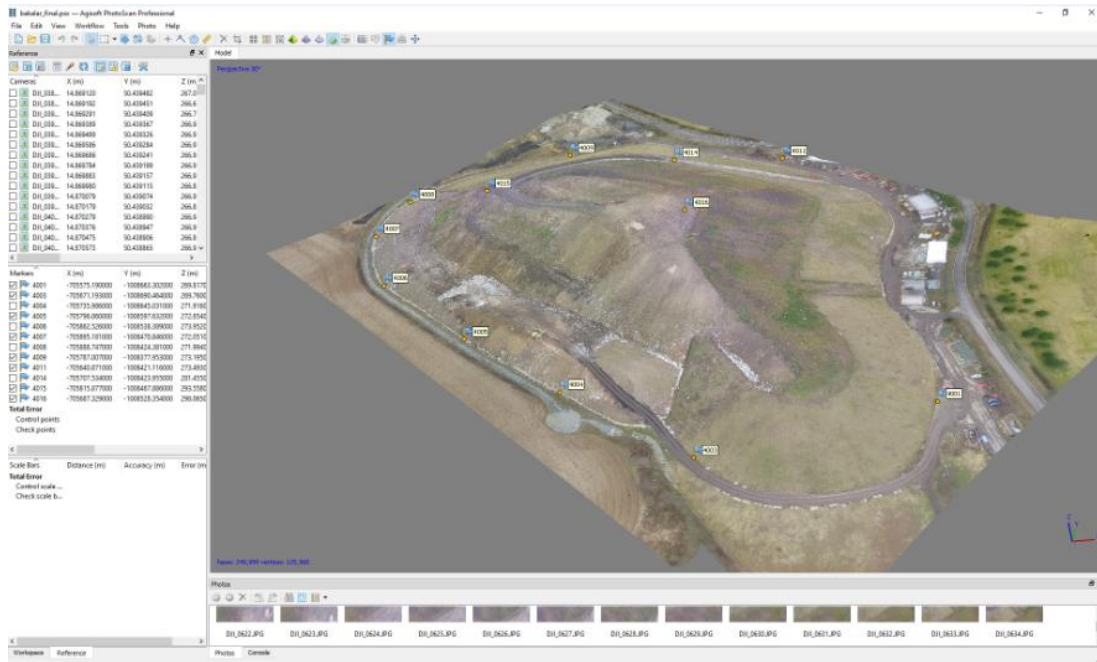
26). Postup tvorby těchto výstupů je uveden v kapitole 4.3.



Obr. 26 Mračno bodů



Obr. 27 Digitální model terénu



Obr. 28 Texturovaný digitální model terénu

6.3 Výsledky výpočtů kubatur

Aby bylo možné provést porovnání, byly výpočty kubatur v programu CloudCompare v2.11 beta prováděny pro mračna bodů předem oříznutá podle linie ohraničující zájmovou oblast využívanou pro ořez modelů v programu Bentley PowerCivil for Czech Republic V8i. Tedy rovinná plocha modelu z roku 2019 i z roku 2020 je stejná a stejně tak toto platí i pro mračna bodů.

Výsledky výpočtů kubatur v jednotlivých programech jsou uvedeny v protokolech o jejich výpočtu. Pro výpočet v programu Bentley byl vytvořen jeden protokol (Obr. 29). Pro výpočet v programu CloudCompare v2.11 beta byl protokol vytvořen pro každý z výpočtů, pro přehlednost však byly hodnoty z protokolů umístěny do Tab. 2.



Triangle Volume Report

Report Created: 03/05/2020
Time: 10:46am

Mode: Entire Surface

Input Grid Factor: 1.000000

Original Surface: DMT_2019
Description: Digmodel_2019
Preference: Default
Type: Existing
Design Surface: DMT_2020
Description: Digmodel_2020
Preference: Default
Type: Existing
Cut Factor: 1.0000
Fill Factor: 1.0000

Cut: 1177.11 cu m

Fill: 42937.26 cu m

Net: 41760.16 cu m

Obr. 29 Protokol o výpočtu kubatur v programu Bentley

Tab. 2 Výsledky výpočtu kubatur v programu CloudCompare v2.11 beta

	Výsledky výpočtů v programu CloudCompare v2.11 beta				
Krok sítě [m]	2	1	0,5	0,2	0,1
Přičítaný objem [m ³]	43404	44893	43778	44162	43983
Odečítaný objem [m ³]	4210	3290	3552	3486	3411
Využitých bodů [%]	99,2	98,7	98,9	99,1	99
Výsledek [m ³]	39194	41602	40226	40675	40572

Pro porovnání byla vytvořena Tab. 3 obsahující jednotlivé výsledky a rozdíly od výsledku použitého v elaborátu pro zadavatele (výsledek výpočtu v Bentley).



Tab. 3 Porovnání výsledků výpočtů kubatur

	Bentley PowerCivil for Czech republic V8i				
Výsledek [m ³]	41760				
	CloudCompare v2.11 beta				
Krok sítě [m]	2	1	0,5	0,2	0,1
Výsledek [m ³]	39194	41602	40226	40675	40572
Rozdíl [m ³]	2566	158	1534	1085	1188
Rozdíl z celkového objemu [%]	6,1	0,4	3,7	2,6	2,8

7 Závěr

Nasnímání objektu skládky TKO bylo provedeno s dodržением veškerých právních předpisů pro provoz UAV. Bylo pořízeno celkově 404 snímků sloužících pro vyhodnocení a vytvoření mračna bodů a následně DMT.

Po transformaci byly hodnoty chyb vypočtených na vlíčovacích bodech v průměru 0,06 m a chyb vypočtených na kontrolních bodech v průměru 0,09 m. Výstupy ze softwaru Agisoft PhotoScan byly mračno bodů, DMT a texturované DMT. Mračno je tvořeno 13 949 830 body a DMT je tvořen z 250 000 trojúhelníků.

Následný výpočet kubatur byl proveden pouze pro vybranou oblast zájmového území. To bylo zajištěno provedením ořezu mračen bodů a digitálních modelů terénu podél linie ohraničující tuto vybranou oblast. Pro zadavatele byl použit výsledek výpočtu v programu Bentley PowerCivil for Czech republic V8i. Pro následné porovnání byl proveden výpočet v programu CloudCompare v2.11 beta. V programu CloudCompare bylo provedeno pět výpočtů, pokaždé s jiným nastavením kroku sítě (od 2 m do 0,1 m). Ty byly porovnány s výsledkem z programu Bentley. Nejmenší rozdíl vykazoval výsledek z výpočtu s nastavením kroku sítě 1. Největší rozdíl vykazoval výsledek vypočtený s krokem sítě 2 m. Všechny rozdíly byly v rozmezí několika jednotek procent objemu celé vypočtené oblasti což splnilo očekávání práce. Je zřejmé, že výpočet objemu lze provádět s velmi dobrými výsledky ve volně dostupném programu CloudCompare.



Výsledkem práce je aktuální DMT území skládky, do které byl prováděn návoz odpadu v roce 2019 a objem tohoto navezeného odpadu. Technická zpráva, protokol určení souřadnic bodů technologií GNSS, seznam souřadnic vřícovacích a kontrolních bodů, technická zpráva z fotogrammetrie a vytvořené grafické přílohy jsou obsaženy v přílohách této práce. Grafickými přílohami jsou pohledy na mračno bodů, pohledy na DMT, vrstevnicový plán, situace DMT a DMT ve formátu .dgn a .dwg.

DMT bude dále využit projektantem rekultivace jako podklad pro projekt.

Seznam literatury

- [1] PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 10*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2649-3.
- [2] JANATA, Přemysl. *Bezpilotní letouny (UAV)* [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis10.pdf. Prezentace. Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně.
- [3] REINDL, Tomáš. *Testování přesnosti dronu DJI Phantom 4 RTK* [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/83575/F1-DP-2019-Reindl-Tomas-testovani-Phantom-4-RTK.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.
- [4] *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.vugtk.cz/slovník/index.php>
- [5] ŠTRONER, Martin. *Globální navigační satelitní systémy (GNSS)* [online]. Praha [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/vy1/OBS/GNSS_obs.pdf. Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.
- [6] HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [7] URBAN, Rudolf. *Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů*. Vydání druhé, upravené a doplněné. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05786-5.
- [8] *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4* [online]. Agisoft, 2018 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf



Seznam obrázků

Obr. 1 Stav skládky na začátku roku 2019	10
Obr. 2 Stav skládky na začátku roku 2020	11
Obr. 3 Promítnutí trojúhelníku z hlavního DMT na vedlejší DMT	14
Obr. 4 Leica Viva NetRover CS08plus + Leica Viva CS10 3.5G.....	15
Obr. 5 DJI Phantom 3 Advanced	16
Obr. 6 Vlíčovací bod.....	17
Obr. 7 Přehledka bodového pole.....	18
Obr. 8 Trasa letu	20
Obr. 9 Nastavení funkce Align Photos	21
Obr. 10 Nastavení funkce Build Dense Cloud.....	21
Obr. 11 Nastavení funkce Reference Settings	23
Obr. 12 Hodnoty chyb vypočtených na kontrolních a vlíčovacích bodech	23
Obr. 13 Nastavení funkce Classify Ground Points	24
Obr. 14 Vyobrazení klasifikace povrchu	24
Obr. 15 Nastavení funkce Build Mesh.....	25
Obr. 16 Nastavení funkce Build DEM.....	25
Obr. 17 Nastavení funkce Build Texture	26
Obr. 18 Nastavení funkce Build Orthomosaic.....	26
Obr. 19 Linie ohraničující počítanou oblast	27
Obr. 20 Import hran do povrchu	28
Obr. 21 Import vnější hranice do povrchu	28
Obr. 22 Vlastnosti povrchu	29
Obr. 23 Nastavení funkce Zobrazit vrstevnice	29
Obr. 24 Nastavení funkce Objem z trojúhelníků	30
Obr. 25 Nastavení funkce Volume calculation	31
Obr. 26 Mračno bodů.....	33
Obr. 27 Digitální model terénu	33
Obr. 28 Texturovaný digitální model terénu	34
Obr. 29 Protokol o výpočtu kubatur v programu Bentley	35



Seznam tabulek

Tab. 1 Výsledky opakovaného měření technologií GNSS	31
Tab. 2 Výsledky výpočtu kubatur v programu CloudCompare v2.11 beta	35
Tab. 3 Porovnání výsledků výpočtů kubatur	36

Seznam příloh

Přílohy v tištěné podobě:

Příloha 1: Technická zpráva

Příloha 2: Protokol určení bodů S-JTSK technologií GNSS

Příloha 3: Seznam souřadnic vlíčovacích a kontrolních bodů

Příloha 4: Technická zpráva (fotogrammetrie)

Příloha 5: Protokol o výpočtu kubatur

Příloha 6: Jižní a západní pohled na mračno bodů

Příloha 7: Vrstevnicový plán

Příloha 8: Situace – DMT

Příloha 9: Jižní a západní pohled na DMT

Přílohy v elektronické podobě:

Příloha 10: Elaborát

Příloha 11: DMT ve formátu .dgn

Příloha 12: DMT ve formátu .dwg

Příloha 13: Složka se snímky

Příloha 14: Ortofoto mapa

Příloha 15: Složka se soubory programu Professional verze 1.3.2.4164