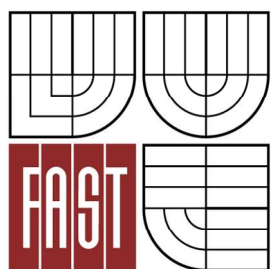




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

LASER SCANNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ KOŠVICA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bibliografická citace VŠKP

KOŠVICA, Ondřej. *Laserové skenování*. Brno, 2011. 43 s. , 24 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav geodézie. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Abstrakt v českém a anglickém jazyce

Diplomová práce pojednává o zaměření haldy metodou pozemního laserového skenování. Bylo provedeno kontrolní měření a vytvořeny digitální modely terénu. Modely byly porovnány a výsledky analyzovány.

This thesis deals with surveying of dump by the laser scanning method. There were done check measurement and digital terrain models was created. The models were compared and results were analyzed.

Klíčová slova v českém a anglickém jazyce

laserové skenování, digitální model terénu, porovnání modelů

laser scanning, digital terrain model, models comparison

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval mému vedoucímu práce doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Control System International za možnost spolupráce, bez níž by nebylo možné vypsát téma této práce a za poskytnutí dat z laserového skenování. V neposlední řadě děkuji Bc. Ondřeji Matasovi za pomoc při měření.

Obsah

OBSAH	6
1 ÚVOD.....	8
2 POPIS LOKALITY	10
3 METODY SBĚRU DAT.....	11
3.1 VOLBA METODY PRO SBĚR DAT.....	11
3.2 POZEMNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ	12
3.2.1 Základní dělení skenerů	13
3.2.2 Definice základních pojmů laserového skenování	13
3.2.3 Princip fungování laserového skeneru	14
3.2.4 Terestrický laserový skenovací systém Riegl	15
4 MĚŘICKÉ PRÁCE	16
4.1 METODA CONTROL SYSTEM INTERNATIONAL	16
4.1.1 Měření s 3D Control Car	18
4.2 SBĚR DAT TOTÁLNÍ STANICÍ.....	19
4.2.1 Ověření součtové konstanty dálkoměru	19
4.2.2 Měření haldy Destro	20
5 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	23
5.1 ZPRACOVÁNÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ	23
5.1.1 Transformace mezi souřadnými soustavami	23
5.1.2 Vyrovnání rovinných ploch (plátů)	24
5.1.3 Očištění a export bodů	26
5.2 ZPRACOVÁNÍ DAT Z TOTÁLNÍ STANICE.....	27
5.2.1 Postup po měření	27
5.2.2 Výpočet souřadnic bodů.....	27
6 DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU.....	29
6.1 TROJÚHELNÍKOVÁ SÍŤ V PROGRAMU ATLAS DMT.....	29
6.2 TVORBA DMT POMOCÍ PROGRAMU ATLAS DMT	29
6.2.1 Generace modelu	30
6.2.2 Vizualizace DMT.....	31

7	POROVNÁNÍ OBOU METOD MĚŘENÍ	34
7.1	LINIOVÁ PŘESNOST	34
7.2	PLOŠNÉ POROVNÁNÍ.....	36
7.2.1	<i>Výpočet kubatur</i>	36
7.2.2	<i>Výpočet rozdílového DMT</i>	38
7.3	POSOUZENÍ EKONOMICKÝCH ASPEKTŮ Z DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	39
8	ZÁVĚR	41
9	LITERATURA.....	42
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	43
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	44

1 Úvod

3D laserovým skenováním rozumíme systém, který skenuje objekty k vytvoření trojrozměrného diskrétního vzorku ploch, které reprezentují skutečné objekty. Údaje o prostorových informacích jsou uloženy, nebo mohou být transformovány jako skupiny x, y a z souřadnic. Tyto souřadnice mohou být užity k tvorbě 3D modelů. [1]

Díky enormnímu zisku dat za velmi krátkou dobu měření, našlo laserové skenování širokou škálu uplatnění ve vědních disciplínách jako je archeologie, pozemní a dopravní stavitelství, architektura, strojní inženýrství. Ve stavebních aplikacích může být laser užit např. k přesnému mapování, k určování kubatur. Velkou výhodou laserového skenování je rychlá generace dat povrchu objektů, snadné vyrovnaní procesu, méně chyb lidského faktoru. [2]

Větší míra nasazení těchto technologií, především množství získaných výškových dat, vedla k rozvoji detailního geomorfologického výzkumu. Laserové skenování umožňuje generaci vysoko rozlišitelného digitálního modelu povrchu (dále jen DSM) což je topografický model odražených povrchů země včetně vegetace, urbanistické výstavby. Pro geodetickou praxi má větší význam digitální model terénu (dále jen DMT) což je topografický model holé země. [2]

Jelikož praxe vyžaduje stále detailnější informace o našem životním prostředí, je pochopitelné že požadavky na přesnost tří dimensionálního mapování terénu se v následujících letech zvýší. Metody, které máme k dispozici pro tří dimensionální mapování mohou být užity ze země pomocí statických nástrojů, nebo ze vzduchu a v neposlední řadě pomocí kosmicky založených platform. Pozemní měření pomocí totální stanice je v dnešní době považováno za základní zeměměřickou techniku pro měření menšího rozsahu. Globální družicové navigační systémy (GNSS) jsou často užívány pro poskytnutí kontrolního rámce, v němž toto měření probíhá, i když díky své velké flexibilitě mohou být GNSS měření užita samostatně pro sběr dat ve větších oblastech. [3]

Na základě výše uvedených informací bylo s pomocí firmy Control System International, připraveno zadání diplomové práce, kde na relativně malém vzorku území, halda Destro k.ú. Kladno, byl proveden sběr dat pomocí laserového skenování metodou Control System International a pomocí klasického terestrického měření totální stanicí.

S naměřených dat byly vytvořeny digitální modely terénu, které byly následně porovnány a na nich demonstrovány rozdíly v přesnosti obou metod.

2 Popis lokality

Areál Kladno – drtírna Halda se nachází severně od křižovatky ulic Železárenská a Hutská statutárního města Kladno, k.ú. Kladno 665061. Tento areál je užíván firmou Destro, která se zabývá zpracováním (recyklací) ocelářských a stavebních odpadů. Výrobou a prodejem struskového kameniva mnoha frakcí, recyklátů.

Samotným zájmovým územím byla pouze část areálu, která byla v nedávné době dotčena navážkou a odtěžením výše uvedených materiálů. Díky proměnlivému, nesourodému uskupení hmot byl pohyb na daném místě nesmírně obtížný a vyžadoval vyšší dávku opatrnosti, nejen z důvodu hrozby sesuvu stavebních odpadů, ale také z důvodu zvýšeného pohybu vysokokapacitních nákladních vozidel a bagrů. Dopravní obslužnost mezi těžbou, drtíci a třídícími linkami, navážkou byla zajištěna pomocí nepevněné komunikace.



Obr. 2-1 Pohled na část zaměřovaného území, zdroj: Google maps

3 Metody sběru dat

Jedním z hlavních úkolů geodeta při zaměřování těžebních oblastí je příprava kvalitních vizualizačních a číselných podkladů pro návrh a kontrolu provedení zemních prací. Jedná se o zaměření oblasti před samotným zahájením těžby a zaměření jednotlivých etap zemních prací v jejím průběhu, při kterých je určován nejen objem zemních prací, ale také je kontrolována jejich přesnost a soulad s projektem. [4]

Pro tyto účely se v geodetické praxi standardně užívají různé metody zaměření. Nejrozšířenější metodou je dnes polární prostorová úloha, kdy nezbytné informace k určení polohy a výšky získáváme měřením totální stanicí. Z dalších možností se zde vyskytuje zaměření bodů pomocí globálních navigačních satelitních systémů (dále jen GNSS), fotogrammetrické vyhodnocení, či v poslední době čím dál tím více se rozšiřující zaměření pomocí skenovacích systémů. Hlavní výhoda totální stanice je její univerzálnost, uplatňuje se ve všech geodetických pracích, které se mohou na stavbě vyskytnout: od budování a kontrolu bodového pole stavby, přes výškové a polohové vytyčování, až po zaměření skutečného stavu. Oproti ostatním metodám měření, zaostává v rychlosti a relativně v nízké hustotě pořízených dat ve sledované oblasti. Výhodou měření pomocí technologie GNSS je, že po inicializaci referenční stanice a roveru (aparatura GNSS sloužící k měření podrobných bodů) můžeme získat přímo prostorové pravoúhlé souřadnice ve zvoleném referenčním systému. A také nemusí být zajištěna viditelnost mezi výchozím a určeným bodem. Mezi nevýhody této metody patří nízká hustota podrobných bodů, nutnost postavení roveru na každý podrobný bod a hlavně nemožnost GNSS měření v uzavřených prostorách a podzemí. Fotogrammetrická metoda nepatří mezi metody, které by našly ve stavebnictví výraznějšího uplatnění. Její výhody jsou v rychlosti pořízení potřebných dat a v komplexnosti zachycení sledovaného objektu, mezi nevýhody patří očištění zájmové oblasti od vegetace a minimální uplatnění v dalších měřických pracích na stavbě. Laserové skenování má výhodu v rychlosti pořízení prostorových dat a také v jejich hustotě. Nevýhodou je, jako při fotogrammetrickém měření, nutnost očištění zájmové oblasti od vegetace. [4]

3.1 Volba metody pro sběr dat

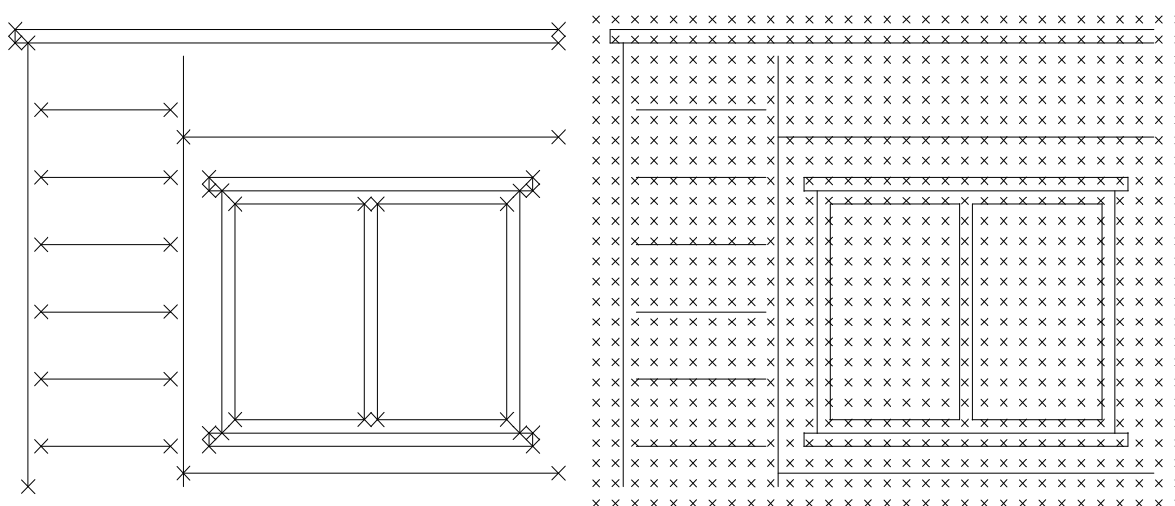
Předmětem měřického výjezdu bylo etapové zaměření haldy, jejíž část následně sloužila k porovnání dat, získaných pomocí dvou zcela odlišných metod mapování. Pro

daný případ byla zvolena metoda laserového skenování a polární sběr dat pomocí totální stanice. Veškeré měření kubatur muselo dle české státní normy 01 3410 (dále jen ČSN), splnit kritéria 3. třídy přesnosti mapování, kde je maximální polohová odchylka pro tuto třídu stanovena na 14 cm a výšková složka nesmí u podrobných bodů přesáhnout 12 cm. [12]

Obě metody byly připojeny do v České Republice závazného souřadnicového systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (dále jen S-JTSK) a do závazného výškového systému Balt po vyrovnání (dále jen Bpv), pomocí GNSS měření.

3.2 Pozemní laserové skenování

Dosavadní technologie geodetické, nebo i většina fotogrammetrických postupů využívá pro určení prostorové polohy podrobných bodů selektivního výběru zpracovatele – operátora. Bodů je tedy omezené množství, ale při vhodném výběru charakterizují dostatečně přesně měřený objekt (lomové body, hrany, rohy, apod.). V poslední době se začalo rychle prosazovat hromadné automatické určování prostorových bodů, tzv. 3D skenování. Při tomto postupu jsou na objektu bez možnosti selektivního výběru v pravidelném úhlovém rastru automaticky měřeny podrobné body, které pokrývají celý objekt. [5]



Obr. 3-1 Rozdíl mezi selektivním měřením (vlevo) a neselektivním měřením (vpravo), zdroj 6

3.2.1 Základní dělení skenerů

Podle funkčně technologického principu a dosahu můžeme hovořit o:

- laserových skenerech pracujících na základě měření doby letu vyslaného paprsku („time of flight“ s dosahem stovek metrů – dáno výkonem laseru)
- triangulačních 3D skenerech pracujících na základě měření ze známé základny (dosah do 25 m - dáno velikostí základny) [5]

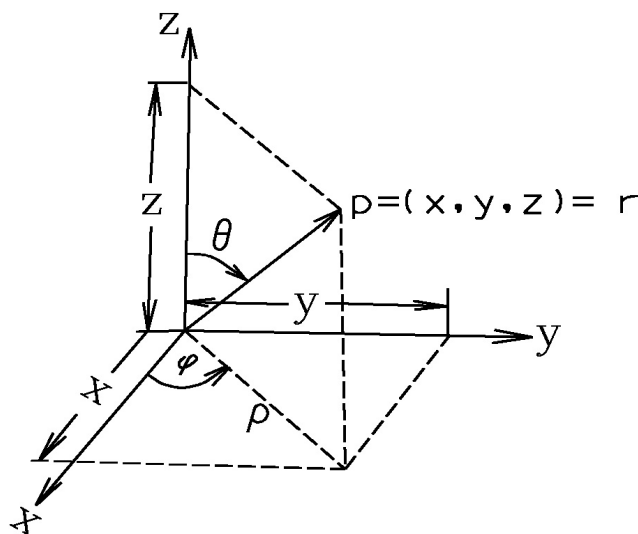
Jelikož tato práce byla měřena pomocí terestrického laserového skeneru, využívajícího principu měření doby letu vyslaného paprsku, budou následující podkapitoly věnovány právě těmto systémům.

3.2.2 Definice základních pojmů laserového skenování

- 3D laserový skenovací systém – Je systém umožňující převést vybraný reálný objekt do podoby počítačového virtuálního modelu CAD (computer-aided design). Takový systém se skládá z 3D laserového skeneru, softwaru pro řízení (ovládání) a zpracování (modelování), příslušenství (stativ, baterie, atd.).
- 3D laserový skener – je takové zařízení, které je schopno po nastavení parametrů skenování obsluhující osobou automaticky provést 3D skenování.
- Řídící počítač – zařízení vybavené řídicím softwarem, které řídí práci skeneru a registruje měřené hodnoty. U některých výrobků je počítač integrován do skeneru v podobě ovládacího panelu.
- Software pro zpracování – programový systém sloužící pro zpracování naměřených mračen bodů. Výstupem bývá počítačový model objektu.
- 3D laserové skenování – proces, při kterém laserový skener určuje prostorové souřadnice bodů a ukládá je do paměti. Některá laserová skenovací zařízení jsou navíc schopna měřit intenzitu přijatého záření.
- Parametry skenování – jsou velikost a poloha skenovaného pole a hustota skenování.
- Mračno bodů – soubor zaměřených bodů ve 3D. [6]

3.2.3 Princip fungování laserového skeneru

Základním principem fungování laserového skeneru je prostorová polární metoda.

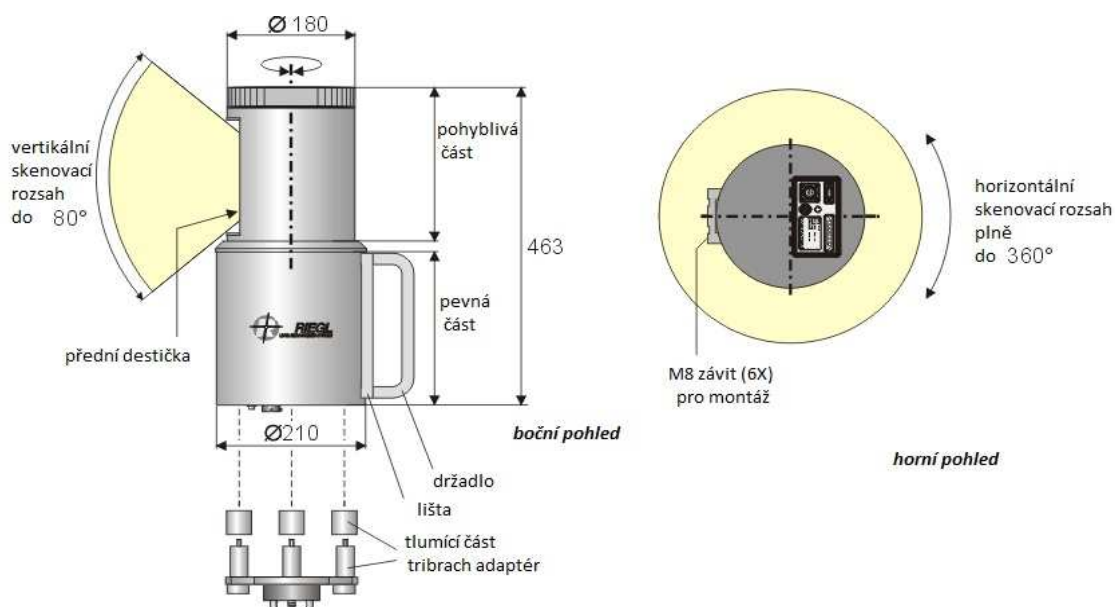


Obr. 3-2 Znázornění prostorové polární metody

Kde, jak je názorně vidět z obrázku (Obr. 3-2), je potřeba k určení souřadnic bodu **P** znát délku průvodiče **r** (měřená délka) a úhly φ , θ . Z toho je patrné, že celé skenovací zařízení závisí na jednotce, která je schopna v krátkém časovém intervalu změřit vzdálenost k objektu na základě laserového zařízení (dálkoměru). Do tohoto dálkoměru je většinou zabudován pulsní laser, který emituje velmi krátké záblesky infračerveného světla. Paprsek, který je vyslán dálkoměrem, je odražen od povrchu objektu a vrací se zpět. Senzorem je zaznamenána doba letu, respektive vzdálenost od objektu. Světelné pulsy jsou vysílány velmi vysokou frekvencí (až 150 000 Hz, tedy 150 000 měření za sekundu). K určení vertikální úhlové hodnoty se používá skenovací jednotka, kde za pomoci rotujícího zrcátka, či hranolu dochází k odklonu měřicího paprsku vždy o určitý úhel, v závislosti na tvaru zorného pole (maximální úhlový rozdíl krajních výstupních laserových svazků paprsků). Horizontální hodnoty jsou z této jednotky získávány pomocí servomotorů, které zajišťují otáčení jednotky ve zvoleném úhlovém kroku horizontálně. Výsledkem výpočtu jsou 3D souřadnice měřeného bodu objektu v souřadnicovém systému skeneru, který je obecně orientován a umístěn. Pro naskenování bodů objektu se používá právě tento princip rozmítání laserového svazku, pomocí kterých jsou na povrchu objektu měřeny body v profilech a ve zvolené hustotě. Takto zaměřené body tvoří tzv. mračno bodů. [5,6]

3.2.4 Terestrický laserový skenovací systém Riegl

Výrobci laserových skenovacích systémů (LSS) je v dnešní době na trhu celá řada a neustále přibývají další společnosti. Vzhledem k systémovému vybavení firmy Control System International, bude tato podkapitola věnována pouze skeneru RIEGL LMS – Z420i. Jedná se o produkt Rakouské firmy RIEGL Laser Measurements Systems GmbH, která se zabývá vývojem, výrobou a prodejem laserových měřicích systémů, určujících vzdálenost pomocí tranzitního času. Systém LMS – Z420i je panoramatický skener, který může měřit ve dvou módech přesnosti. V módu vysoké přesnosti má rozsah měření od 2 m do 150 m a v módu velkého dosahu má rozsah od 2 m do 1000 m. Měření je založeno na dříve již popsaném principu 3D polární metody. Zorné pole skeneru, jak je patrné z Obr. 3-3, je $80^\circ \times 360^\circ$. Divergence laserového svazku je přibližně 0,25 mrad. Rychlost měření je 8000 nebo 11000 bodů za sekundu v závislosti na přesnosti skenování. Přesnost měření je v módu vysoké přesnosti pro mračno bodů 5 mm a v módu velkého dosahu je to 10 mm. Skener používá laser s vlnovou délkou blízkou infračervenému světlu v bezpečnostní třídě 1 pro mód vysoké přesnosti a pro mód velkého dosahu používá laser v bezpečnostní třídě 3R. Hmotnost tohoto zařízení je 13 kg a je napájen z externího zdroje. Ovládání a zpracování dat je zajištěno pomocí softwaru RiSCAN PRO. Tento software umožňuje nastavovat konfiguraci skeneru pro skenování, získání dat, jejich zobrazení, zpracování, archivaci a export v různých formátech. [6]



Obr. 3-3 Skener Riegl LMS - Z 420i, zdroj: riegls.com

4 Měřické práce

Vlastní zaměření části drtírny Halda společnosti Destro proběhlo ve dnech 18. 11. 2010 a 19. 11. 2010. Počasí bylo po oba dny proměnlivé převážně zataženo, občasné deště s teplotou kolem 11 °C.

4.1 Metoda Control System International

Control System International s.r.o. je dceřinou společností švédské firmy Svenska Mätcenter AB, specializující se na komplexní řešení v oblasti sběru a pokročilého zpracování prostorových dat. Nabídka služeb této společnosti zahrnuje 3D řešení služby pro realizace v průmyslu, stavebnictví a odvětví volnočasových aktivit na celém Evropském trhu. Do základního výčtu patří nabídka těchto služeb: Control System Architektura, Control System Kubatury, Control System Deformace, Control System Topografie, Control System Tunely [7]

Pro zaměření haldy společnosti Destro byla použita metoda Control System Kubatury, která využívá, ve firmě Control System International vyvinutého, systému mobilní mapovací jednotky 3D Control Car, opírající se o technologii 3D laserového skenování.



Obr. 4-1 Schéma 3D Control Car

Jak je patrné z Obr. 4-1, měřicí část mobilní mapovací jednotky 3D Control Car, která je upevněna na terénním vozidle, se skládá z laserového skeneru RIEGL ZMS – L420i a GNSS přijímače TRIMBLE 4700. Obě tyto zařízení jsou propojena s řídicí jednotkou (laptopem). Název mobilní mapovací jednotka je zde ve smyslu NEodynamického měření, nevyužívá k měření IMU, zaměřování probíhá ve stacionární poloze.

Po příjezdu mapovací jednotky na lokalitu bylo před vlastním zahájením měření potřeba provést pár základních úkonů, nutných pro dosažení co nejpřesnějších výsledků. Mezi tyto úkony patří rekognoskace terénu a s ní spojená volba stanovišť vlíčovacích bodů a předběžných skenovacích pozic pro 3D Control Car. Volba skenovacích pozic a vlíčovacích bodů je velice důležitá, neboť na nich závisí přeměření celé lokality a navázání jednotlivých skenů dohromady, pokud možno bez nutnosti doskenování prázdných (nezměřených) míst. Pozice by měly být voleny tak, aby dané místo bylo dosažitelné terénním automobilem a bylo z ní dobře vidět na vlíčovací body, potřebné ke spojení jednotlivých mračen bodů dohromady. Dále bylo nutné umístit a následně odečíst výšku referenční stanice TRIMBLE (anténa Zephyr geodetic) nad z dřívější etapy stabilizovaným bodem č. 9001 o souřadnicích $Y_{(S-JTSK)} = 763756.68[m]$, $X_{(S-JTSK)} = 1032707.88[m]$, $Z_{(Bpv)} = 376.97[m]$.



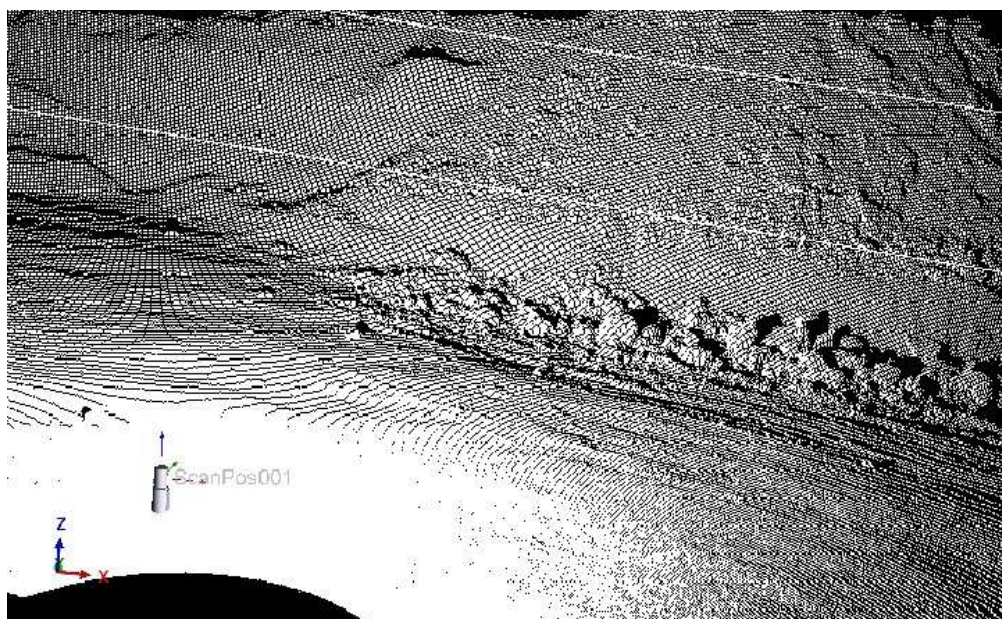
Obr. 4-2 Referenční stanice TRIMBLE (anténa Zephyr geodetic)

Posledním úkonem před měřením bylo namontování měřické jednotky na terénní vozidlo, přičemž byla kontrolována výška offsetu mezi středem skeneru a GNSS rover aparaturou.

4.1.1 Měření s 3D Control Car

Po rekognoskaci terénu, byly vybrány místa pro umístění vlícovacích bodů, tak aby byly rovnoměrně rozmístěny po zájmovém území. Vlícovací body byly následně zaměřeny pomocí GNSS aparatury. Na daném území byly celkem užity tři RIEGL “Flat” vlícovací terče (plochý kruhový vlícovací znak) a tři RIEGL “Cylinder” vlícovací terče (válcový vlícovací znak). Po zaměření těchto bodů mohlo být přistoupeno k vlastnímu přeměření lokality mobilní mapovací jednotkou. Princip měření 3D Control Car spočívá v určení souřadnic jednotlivých skenovacích pozic pomocí GNSS měření, konkrétně pomocí metody STOP & GO, což je metoda, kdy rover aparatura kontinuálně přijímá signál ze satelitů i když je v pohybu. Název techniky stop a go vyplývá z toho, že souřadnice roveru jsou zaznamenávány pouze ve stacionární poloze (část Stop), ale i když je rover aparatura v pohybu, kontinuálně pokračuje ve funkci (část Go) od jedné stacionární polohy ke druhé. Pro toto měření je potřeba mít druhou (referenční) aparaturu na bodě o známých souřadnicích, což v tomto případě zajišťovala aparatura na bodě č. 9001. Napřed tedy musela být provedena inicializace a až poté mohlo dojít k vlastnímu měření. Souřadnice polohy skeneru jsou získány z roveru jako kombinace statických a kinematických dat.

Dne 18. 11. 2010 bylo tímto způsobem určeno 14 skenovacích pozic. Na každé pozici bylo pomocí laserového skenování zaměřeno přibližně 1.8 miliónu bodů, což při průměrné délce měření na stanovišti 5 minut činí 25,2 miliónů bodů za dobu 70 minut. Tedy extrémní množství dat za velmi krátký časový interval.



Obr. 4-3 Mračno bodů z jedné skenovací pozice

Po příjezdu z lokality byla data stažena a zevrubně zkontrolována v programu RiSCAN PRO. Na základě této kontroly byla nalezena holá místa bez pokrytu bodů. Tyto místa se nacházela mimo akční radius 3D Control Car, proto bylo rozhodnuto dokrýt nepřístupná místa měřením ze stativu. Toto měření se uskutečnilo následující den, kdy tato holá místa byla doměřena ze dvou stanovisek. Tímto bylo celé zájmové území naskenováno. Celkový počet skenovacích pozic činil 16.

4.2 Sběr dat totální stanicí

Pro tento účel byla vybrána totální stanice TOPCON GPT 8002 A. Přesnost této totální stanice v měření úhlů je dle údajů od výrobce dána střední chybou měření úhlu $m_\omega = 6''$, střední chyba měření délky odpovídá $m_s = 3\text{mm} + 2\text{ppm}$. Ač se jedná o robotickou „one man station“, byla užita v klasickém módu měřič za totální stanicí a měřič v terénu s odrazným hranolem.



Obr. 4-4 Topcon GPT 8002 A

4.2.1 Ověření součtové konstanty dálkoměru

Před vlastním výjezdem bylo provedeno ověření součtové konstanty dálkoměru (PSM) zvoleného přístroje postupem, doporučeným výrobcem tj. měřením tří úseku a, b, c o různé délce záměry. Ověření součtové konstanty probíhalo v areálu firmy Control System Int.v Praze. Pro přesné určení bylo využito trojpodstavcové soupravy. Aby nedošlo k vlivu chyby z vybočení ze směru, byla celá sestava zařazena do směru pomocí totální stanice.

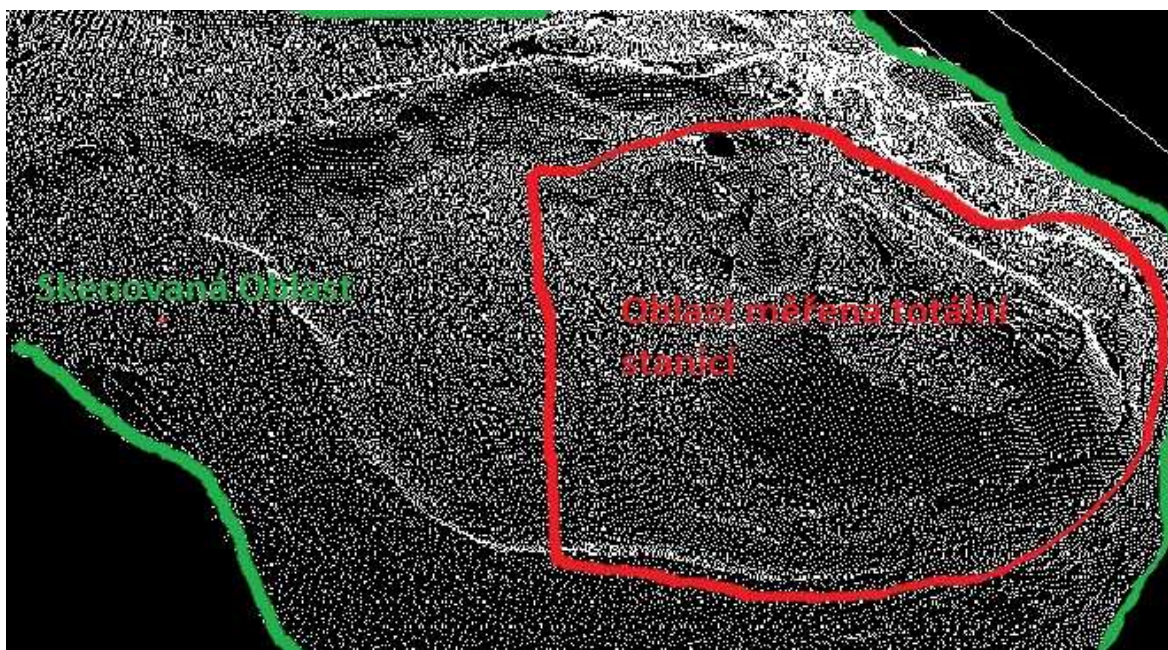
Následovalo měření jednotlivých úseků, které byly zaměřeny protisměrně měřenými délkami. Úsek c tvoří protisměrně měřená délka mezi počátečním bodem úseku a a koncovým bodem úseku b. Po zaměření tří úseků následoval výpočet PSM, kdy platí:

$$(a + \text{PSM}) + (b + \text{PSM}) = (c + \text{PSM}) \Rightarrow \text{PSM} = c - (a + b)$$

Ověřením bylo zjištěno, že přístrojové nastavení odpovídá skutečnosti a přístroj může být použit k měření. [8]

4.2.2 Měření haldy Destro

Před zahájením prací proběhla společná rekognoskace terénu se skupinou zaměřující haldu mobilní mapovací jednotkou 3D Control Car. Pochůzkou v terénu byla vybrána nejvhodnější část areálu pro porovnání obou metod měření.



Obr. 4-5 Znáznornění měřené oblasti

Zaměřování bodů terénu bylo uskutečněno polární prostorovou metodou, kdy na základě měření výšky stroje, cíle a znalosti výchozích prostorových souřadnic stanoviště a orientačního bodu jsme schopni měřením vodorovných a svislých úhlů přímo určovat prostorovou polohu podrobných bodů terénu.

Výchozím bodem pro toto měření byl stabilizovaný bod č. 4001 s orientací na bod č. 4002. Souřadnice bodů č. 4001 a 4002 byly 2 krát nezávisle určeny (v jiný den a v jiné časové době) v S-JTSK a Bpv pomocí GNSS měření. Celá oblast měla být zaměřena z pěti bodů postupně budovaného, uzavřeného polygonového pořadu. Pro dosažení požadované

přesnosti, probíhalo měření úhlů mezi body polygonového pořadu v jedné skupině měření. Po zaměřené orientaci vzad na známý bod č. 4002 a orientaci vpřed na bod č. 4003 započalo vlastní měření podrobných bodů.

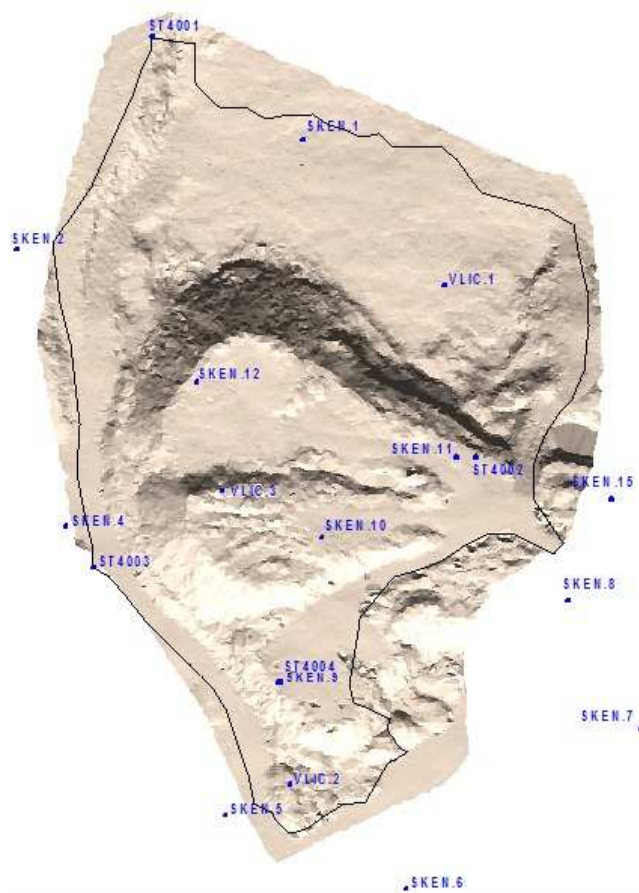
Při měření podrobných bodů byla snaha co nejvěrohodněji vystihnout průběh terénu, byly tedy měřeny hrany, paty svahu, průběh cest a v neposlední řadě násypy navezených odpadů. Pro snazší orientaci při následné zpracovatelské činnosti byl ke každému registrovanému bodu přiřazen kód, charakterizující průběh terénu v daném místě. Typickým příkladem pro dané měření je například kód "PS" – pata svahu a jiné. Díky velmi špatně až místy nepřístupnému terénu bylo tímto způsobem, za jeden měřický den, určeno 498 bodů ze dvou stanovisek polygonového pořadu (4001, 4003). Posledním úkonem před ukončením měření byla orientace a stabilizace bodu polygonového pořadu číslo 4004, přichystána pro další měřický den.

Měřický výjezd následujícího dne byl ovlivněn poruchou softwaru totální stanice, kdy s již postavenou stanicí na bodě č. 4004 nebylo možné začít měřit z důvodu poruchy softwaru vždy těsně před vstupem do měřického módu. Tato chyba ani po hodině temperace přístroje nebyla ošetřena, proto muselo být přistoupeno k náhradnímu řešení problému a to doměřením haldy pomocí GNSS metody RTK. Díky nemožnosti uzavřít polygonový pořad, byly metodou RTK, také doměřeny body č. 4003 a č. 4004. Při měření na těchto bodech byla nastavena pomocí kontroleru TSC 1 delší doba observace na stanovisku, konkrétně šedesát sekund observace s dvou sekundovým intervalem ukládání dat. Podrobné body byly měřeny s pěti sekundovou observací na stanovisku s jedno sekundovým intervalem ukládání dat. Výsledné souřadnice jsou určeny jednoduchým aritmetickým průměrem měřených dat. Podobně jako při měření totální stanicí byly ukládané body kódovány podle tvaru terénu v daném místě. Výhodou metody RTK (Real Time Kinematic) je získání prostorových souřadnic referenčního rámce (S-JTSK, Bpv) v reálném čase. Určení probíhá tak, že rover aparatura přijímá kromě signálu z družic také korekce k úspěšnému řešení ambiguit. Tyto korekce jsou myšleny jako opravy chyb hodin pro jednotlivé satelity a opravy chyb z atmosféry – korekce jsou získány na základě známé polohy referenční stanice, pro tento případ to byla referenční stanice na bodě č. 9001. Korekce jsou předávány buď ze satelitů např. EGNOS, nebo z pozemních bází např. CZEPOS. Přenos ke koncovému uživateli může být pomocí GSM, datových služeb operátorů, nebo pomocí internetu. Konečné výpočty ambiguit jsou řešeny na rover stanici v reálném čase za pomoci externího zařízení (kontroler TSC -1). [9]

Tímto způsobem bylo doměřeno dalších 294 bodů terénu. Celkově, kombinací obou metod, bylo za dva měřické dny zaměřeno 792 bodů terénu. Charakteristické body haldy byly vystiženy a měření bylo shledáno za dostatečně přesné a výstižné. Tímto konstatováním byly veškeré měřické práce ukončeny a mohlo se přejít na zpracování.



Obr. 4-6 Vlevo porouchaná totální stanice. Vpravo doměřování pomocí RTK



Obr. 4-7 Rozložení stanovišť a skenovacích pozic kolem zaměřované části

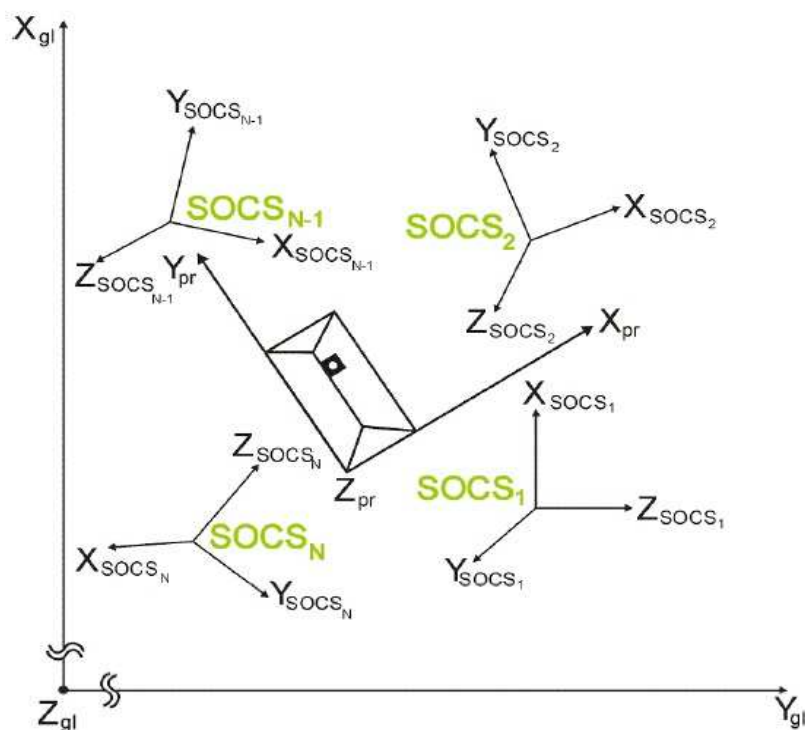
5 Zpracování naměřených hodnot

Zpracování dat získaných měření mobilní mapovací jednotkou 3D Control Car a dat získaných měření pomocí totální stanice a RTK probíhalo odděleně až po výpočet souřadnic bodů terénu. Následně byly získané hodnoty použity pro výpočet digitálních modelů terénu, na kterých byly jednotlivé metody porovnávány. Postup zpracování dat až po finální vizualizace bude nastíněn v následujících podkapitolách.

5.1 Zpracování laserového skenování

5.1.1 Transformace mezi souřadnými soustavami

Jak již bylo dříve uvedeno výsledkem měření laserového skenování jsou mračna bodů. Jelikož souřadnicový systém skeneru je obecně orientován a umístěn, je třeba provést transformaci jednotlivých mračen bodů ze souřadnicového systému skeneru (dále jen SOCS) do projektového souřadnicového systému (dále jen pr) tak, aby jednotlivá mračna tvořila homogenní model. Následně je potřeba transformovat data z „pr“ do systému globálního (gl), pro nás do S-JTSK.



Obr. 5-1 Souřadnicové soustavy při skenování Zdroj: Studijní opory TU WIEN

Pro tyto účely slouží skenovací pozice a vlíčovací body, které byly měřeny v terénu pomocí GNSS měření a jsou známé v souřadnicovém systému, do kterého chceme transformovat. Poté na základě znalosti souřadnic pozic a vlíčovacích bodů v obou souřadnicových systémech, jsme schopni pomocí prostorové transformace mračna bodů natransformovat do požadovaného souřadnicového systému. [6]

Podle (Štroner, 2001) je lineární prostorová transformace obecně dána rovnicí:

$$\mathbf{X} = \mathbf{M} * \mathbf{R} * \mathbf{x} + \mathbf{T}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M * \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix}$$

x, X – jsou vektory souřadnic v jedné a druhé soustavě

M – matice měřítkových koeficientů

R – matice zobrazení

T – vektor translace

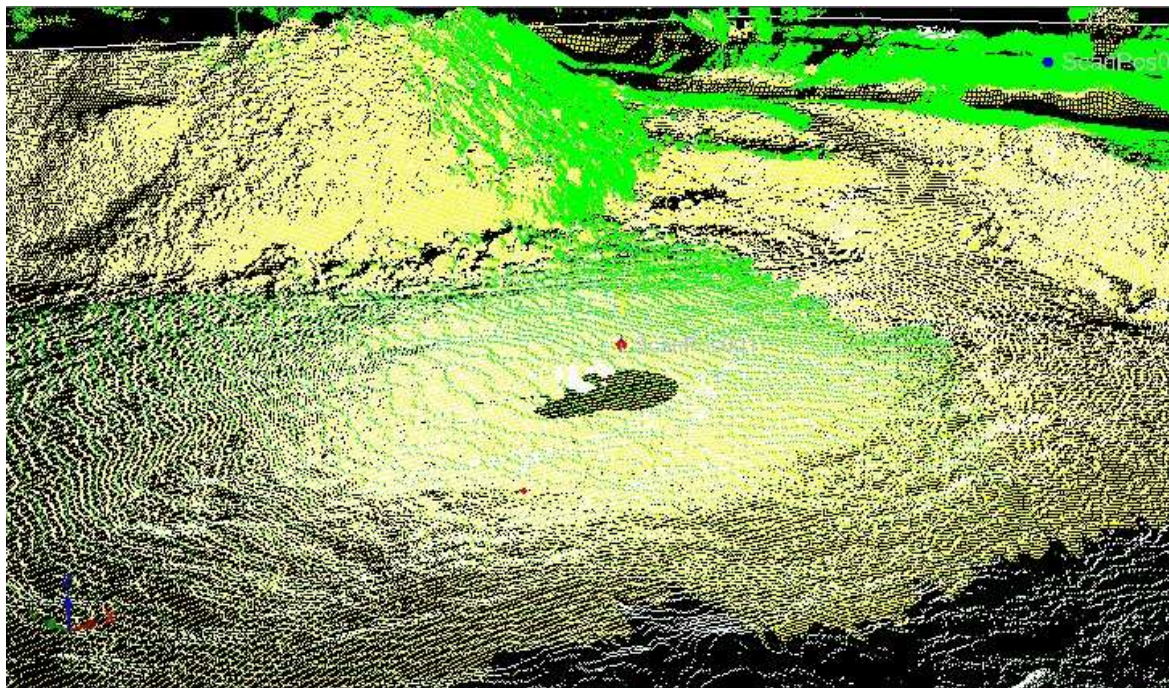
Lineární transformace se podle použitých měřítek v diagonále matice M dělí na afinní, podobnostní a shodnostní. Pro tento případ, kdy je matice M tvořena jedním měřítkovým číslem, totožným pro všechny osy, se jedná o shodnostní transformaci. Tato transformace byla také užita pro natransformování mračen bodů do globálního souřadnicového systému, tedy do S-JTSK. Tento proces výpočtu transformačního klíče byl vykonán iteračním postupem pomocí softwaru RiSCAN PRO. [6]

5.1.2 Vyrovnání rovinných ploch (plátů)

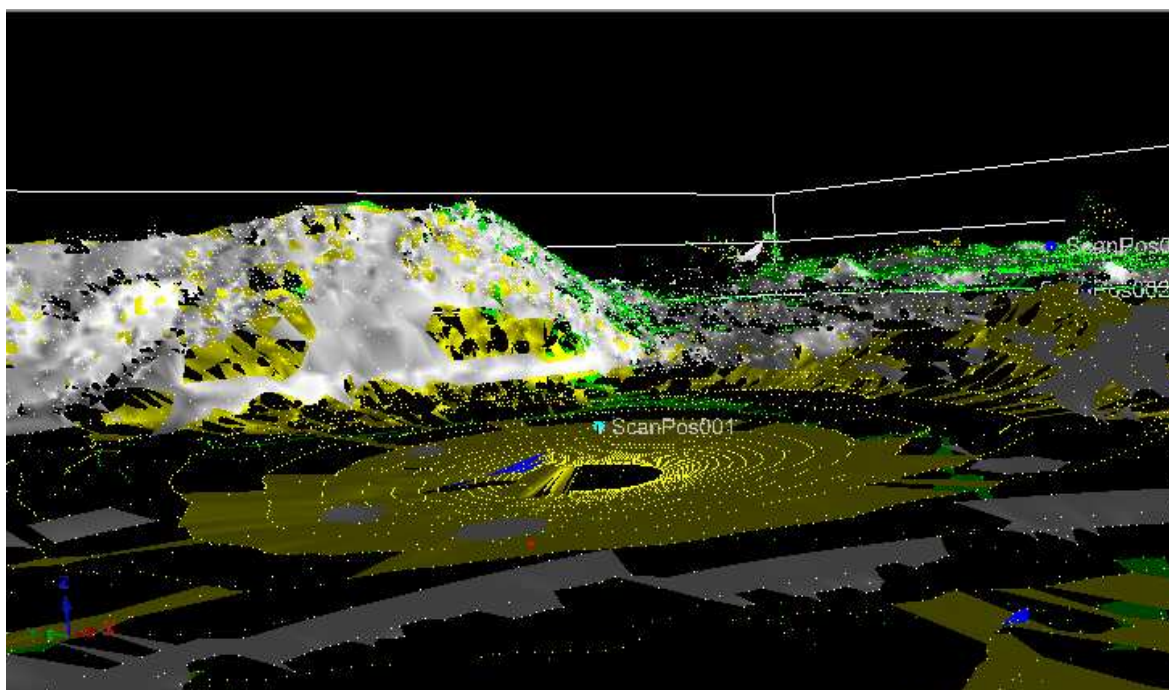
Dalším krokem zpracování měřených dat bývá aproximace měřených mračen bodů geometrickými entitami tj. křivkami a plochami. [6]

Z lineární prostorové transformace získáme homogenní mračno bodů v požadovaném souřadnicovém systému, toto se skládá z jednotlivých mračen bodů jejichž vzájemnou závislost polohy můžeme určit pomocí ICP korelace mračen bodů. Pro tyto účely byla vytvořena řada softwarových řešení, která umožňují v módu přípravy dat, na základě předem nadefinovaného plane surface filtru, vytvořit z mračen zaměřených bodů (Obr. 5-2) polydatové objekty, což jsou rovinné plochy (pláty) (Obr. 5-3). Jelikož data byla

měřena v těžební oblasti, byla maximální odchylka od rovinné plochy, nastavena pro tento filtr na 5 centimetrů, maximální délka hrany rovinné plochy na 15 metrů.



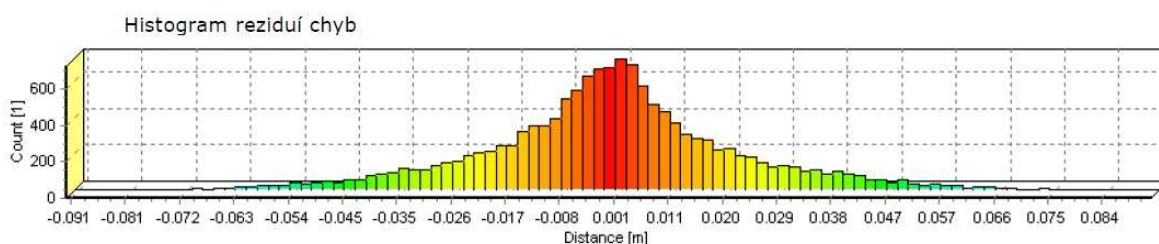
Obr. 5-2 Transformovaná mračna bodů



Obr. 5-3 Rovinné plochy ze 3 skenovacích pozic

Jakmile jsou přibližné hodnoty těchto ploch vytvořeny, může být spuštěn samotný proces vyrovnání, kdy se metodou nejmenších čtverců provede v několika iteračních

krocích vyrovnání vytvořených rovinných ploch a tím se vypočítá vzájemná korelace polohy jednotlivých mračen bodů. Výsledkem jsou vyrovnané polohy plátů včetně jejich směrodatné odchylky určení. Výsledky vyrovnání mohou být doplněny o histogram reziduí chyb a protokolem o vyrovnání. Pro naše měření byla ICP korelací směrodatná odchylka vyrovnání mračen bodů vypočtena ze 13 391 elementů měření (rovinných ploch) a je 0,016 m.



Obr. 5-4 Histogram reziduí chyb

5.1.3 Očištění a export bodů

Jelikož laserové skenování patří mezi neselektivní metody měření, je potřeba výsledné, homogenní mračno bodů očistit od objektů, které nejsou předmětem měření. Mezi takovéto objekty bezesporu patří vegetace, stroje, postávající lidé, sloupy elektrického vedení, a mnohé další. Očištění dat může do jisté míry probíhat automatizovaně, avšak v naprosté většině případů je po takovém to zpracování nezbytný zásah vyhodnocovatele, který provede dočištění mračna bodů.



Obr. 5-5 Očištění mračna bodů od objektů, které nejsou součástí terénu

Po dokončení očištění dat v programu RiSCAN PRO, byla z mračna bodů vyselektována oblast totožná s oblastí měřenou totální stanicí a z ní následně vyexportovány souřadnice bodů nutných pro tvorbu digitálního modelu terénu. Pro tento export byl nastaven filtr bodů po 0,5 m. Je to tzv. filtr dat True minimum, kde se v předem nastaveném rozměru čtverce, v tomto případě 0,5 m X 0,5 m, hledá minimální výška. Výsledkem byl textový soubor čítající 27 000 bodů vhodných pro generaci digitálního modelu terénu.

5.2 Zpracování dat z totální stanice

5.2.1 Postup po měření

Naměřená data z totální stanice byla po příjezdu z měření stažena pomocí geodetického manažeru Geomanw, který umožňuje import a export dat mezi totálními stanicemi Topcon a PC. Pro přenos dat je u tohoto softwaru možné nastavit opravy délek o kartografické zkreslení a převod délek do nulového horizontu, avšak tohoto bylo užito až při výpočtu zápisníku v programu Groma v.8.0. Přijímána data byla uložena ve formátu Mapa 2, vhodného pro načtení v geodetickém programu Groma v.8.0.

```
;Měřeno přístrojem GPT-8001/GPT-8002
; Zakazka: D:\KOSVICA,DIPL18.11.
Meril:: Datum:18/11/10 korekce:0 mm/km
9999
999999999
100001
1
3
0
2
1 4001 1.629 *STAN
4002 0.0000 0.000 167.66650 97.27150
4002 0.0000 0.000 167.66600 97.27150
4003 155.6370 1.550 16.1440 300.2180 *STAN
4003 155.6380 1.550 216.1445 99.7785 *STAN
-1
4002 154.5670 0.000 167.6660 97.2715
4002 154.5660 1.550 167.6660 97.2720 *ST
4002 154.5640 1.550 367.6685 302.7295 *ST
0001 69.8740 1.550 170.8335 106.4960 *X
0001 69.8730 1.550 370.8410 293.4920 *X
0002 4.7470 1.550 199.2090 100.7680 *HS
```

Obr. 5-6 Ukázka formátu Mapa 2

5.2.2 Výpočet souřadnic bodů

Z důvodů uvedených v kapitole 4.2.2 nemohl být polygonový pořad uzavřen a následně tedy vyrovnán. Výsledkem měření RTK byl přímo seznam souřadnic měřených

bodů s kódovým označením terénu. Proto byla k určení souřadnic podrobných bodů terénu užitá v programu Groma v.8.0 polární metoda dávkou, kde na základě znalosti výchozích souřadnic bodů 4001 a 4002, určených dvakrát nezávisle metodou GNSS – RTK, a bodů č. 4003, 4004 rovněž určených metodou RTK, mohou být díky orientacím mezi těmito body vypočteny souřadnice podrobných bodů terénu.

Tabulka 1 Souřadnice výchozích bodů

č.bodu:	Y_(S-JTSK)	X_(S-JTSK)	Z_(Bpv)
4001(18.11.)	763815,437	1032179,046	365,005
4001(19.11.)	763815,425	1032179,053	365,023
Δ[m]	0,012	0,007	0,018
4002(18.11.)	763721,710	1032301,748	371,630
4002(19.11.)	763721,711	1032301,753	371,617
Δ[m]	0,001	0,005	0,013
4003(19.11.)	763832,395	1032333,741	365,565
4004(19.11.)	763778,835	1032367,682	372,235

Na základě údajů z tabulky (Tabulka 1) je patrné, že rozdíly souřadnic bodů měřených dvakrát nezávisle, v různé dny měření, metodou RTK, nepřekračují kritérium přesnosti pro výchozí body. Stanovené dle ČSN 01 3410 pro třetí třídu přesnosti na $m_{xy} = 0,06$ m, $m_H = 0,12$ m. [12] Z těchto výchozích bodů bylo vypočteno 498 podrobných bodů terénu, které společně s 294 body určenými metodou RTK tvořily homogenní základ pro tvorbu digitálního modelu terénu.

6 Digitální model terénu

DMT (dle programu Atlas DMT) je prostorová plocha, která více nebo méně zdařile (podle kvality zadání) kopíruje skutečný (zaměřený), nebo projektovaný terén. Vzniká na základě zadaných 3D bodů a čar, kterými prochází. Mimo ně se dopočítává podle matematických vzorců tak, aby se blížila skutečnosti – výpočet mezi zadanými body není založen na lineární interpolaci, ale modeluje hladký „oblý“ terén. Tam kde je to na závadu, je nutné doplnit terénní hrany. [10]

6.1 Trojúhelníková síť v programu Atlas DMT

Základní zobrazení vzniká při generaci DMT, a velmi zjednodušeně lze prohlásit, že Atlas DMT spojuje body do trojúhelníkové sítě tak, aby se tyto trojúhelníky co nejvíce blížily rovnostranným (Delaunayho podmínka). Spojnice mezi jednotlivými body jsou automaticky tvořeny při generaci modelu. Model terénu je tvořen tak, že se vytváří hladká plocha. V takto vytvářené ploše je potřeba ošetřit místa, kde se v terénu vyskytují ostré zlomy tzv. singularity. Singularitou rozumíme místo, kde se terén chová jiným způsobem, než by se dalo usoudit z jeho chování v okolí. Typicky se může například jednat o ostrý horský hřeben, převisy, kraje navážek, nebo výkopů, vozovky, zlomy. Většina těchto singularit jsou považovány za liniové a v tomto softwaru jsou vyřešeny přidáním povinných terénních hran, které zajistí správný výpočet celého DMT. [11]

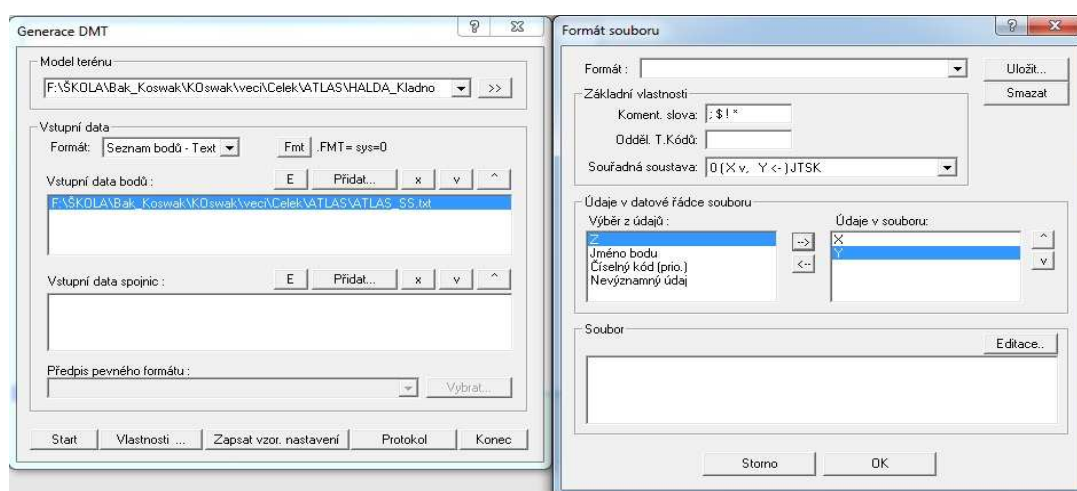
6.2 Tvorba DMT pomocí programu Atlas DMT

DMT, základ programového systému Atlas, umožňuje zpracovávat výškopisná data, což jsou data, která obsahují údaj a poloze a třetí rozměr. Tyto data mohou být uložena v textových souborech z geodetických zápisníků (totálních stanic), fotogrammetrie, laserového skenování, Kokeše nebo z formátu Hydroinform. Dalším rozšířeným vstupním formátem je DXF (prostorové body, čáry, křivky - např. digitalizované vrstevnice). DMT Atlas dokáže najednou zpracovat až 40 000 000 bodů, proto je vhodným programem pro zpracovávání mračen bodů z laserového skenování. [10]

6.2.1 Generace modelu

Přestože lze Atlas používat i k jiným účelům, než zpracování DMT (lze v něm volně kreslit, nebo vytvářet řezy z textových souborů polygonů) naprostá většina úloh řešených Atlasem – řezy, generace vrstevnic, výpočet kubatur vyžaduje vytvoření modelu. Jako výchozí data jsou brány formáty popsány v kapitole 6.2. [11]

Samotná generace modelu v programu Atlas je velmi intuitivní, program sám, v několika krocích, navede ke konečnému výsledku. Model se generuje z menu „DMT – Úlohy na DMT – Operace s modelem – Generace modelu terénu“

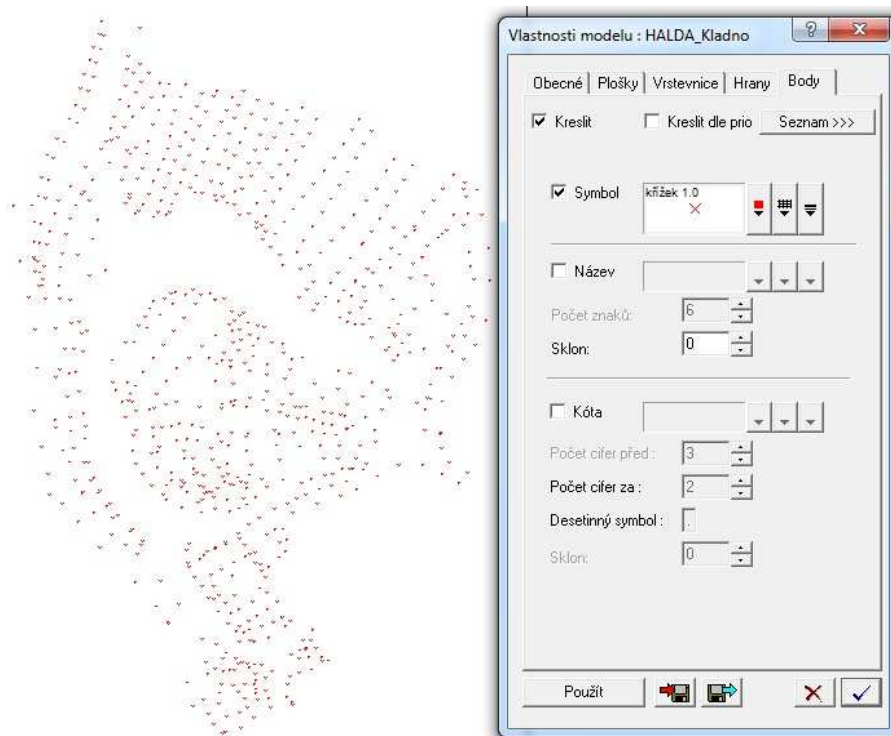


Obr. 6-1 Generace DMT v Atlasu DMT

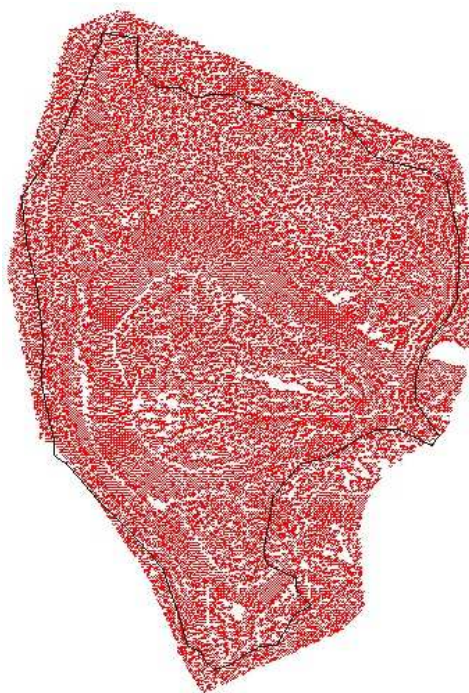
Jak je vidět na obrázku (Obr. 6-1) nejprve se v kartě „Model terénu“ vybere název a cesta, kam chceme model uložit, dále se vybere formát vstupních dat, v tomto případě byla vstupní data bodů textový soubor, podle formátu vstupních dat jsou nastaveny v Atlasu údaje v souboru, tedy pořadí souřadnic x, y, z, případně čísla bodů. Toto nastavení je velmi důležité, neboť na základě tohoto pořadí Atlas generuje model. Vstupní data spojnic jsou nepovinné údaje, jedná se o textové soubory v nichž jsou čísla bodů, které spojuje hrana. Před startem modelace se ve vlastnostech modelu zkontroluje nastavení generace modelu. Následně se model vygeneruje stiskem tlačítka „Start“. Pro zobrazení modelu se musí zvolit, zda je požadováno vložit model terénu do existujícího půdorysu, nebo zda je nutné založit jej i s půdorysem. Veškeré možnosti zobrazení modelu terénu (body, hrany, plošky, vrstevnice) se nastavují ve vlastnostech modelu terénu. Výpočet objemů, poklesů, vrstevnic se provádí pomocí ikony „Úlohy na DMT“.

6.2.2 Vizualizace DMT

Po vložení DMT do výkresu je potřeba model upravit do formy, vhodné k prezentaci. Toto se provádí přes ikonu „Vlastnosti modelu terénu“, kde lze v nastavení vybrat pro nás nejvhodnější způsob zobrazení.

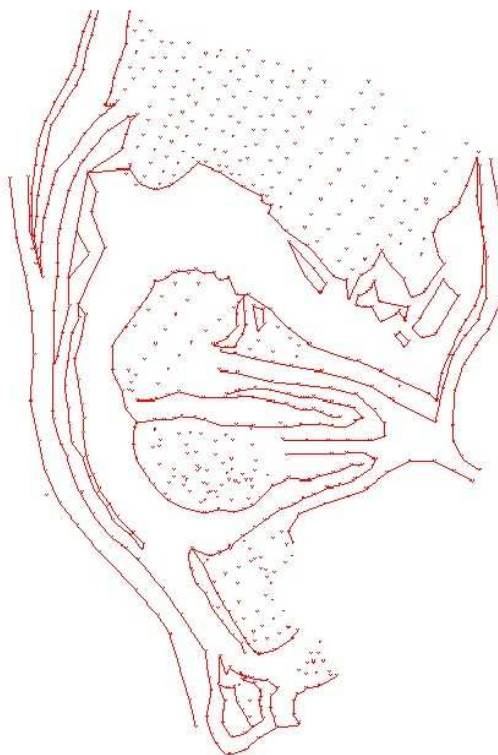


Obr. 6-2 Základní zobrazení bodů DMT (body z polární metody)



Obr. 6-3 Body DMT z laserového skenování

Předešlý obrázek (Obr. 6-2) zobrazuje body DMT vytvořeného z dat získaných sběrem totální stanicí. Pro tento případ, kdy hustota bodů je oproti laserovému skenování (Obr. 6-3) malá, bylo potřeba do DMT vložit povinné lomové hrany, tedy vyznačit v modelu místa kde se láme terén. Toho bylo docíleno tak, že v programu Geus 15.0 byly body o stejném kódu měření spojeny v jednotné linie, výsledná kresba byla převedena do formátu DXF a tento formát byl připojen pod model terénu. Po tomto připojení již bylo jasně zřetelné, které body tvoří hrany terénu a pomocí ikony „Vložit povinné hrany“ mohly být tyto, postupným označením hran, zavedeny.

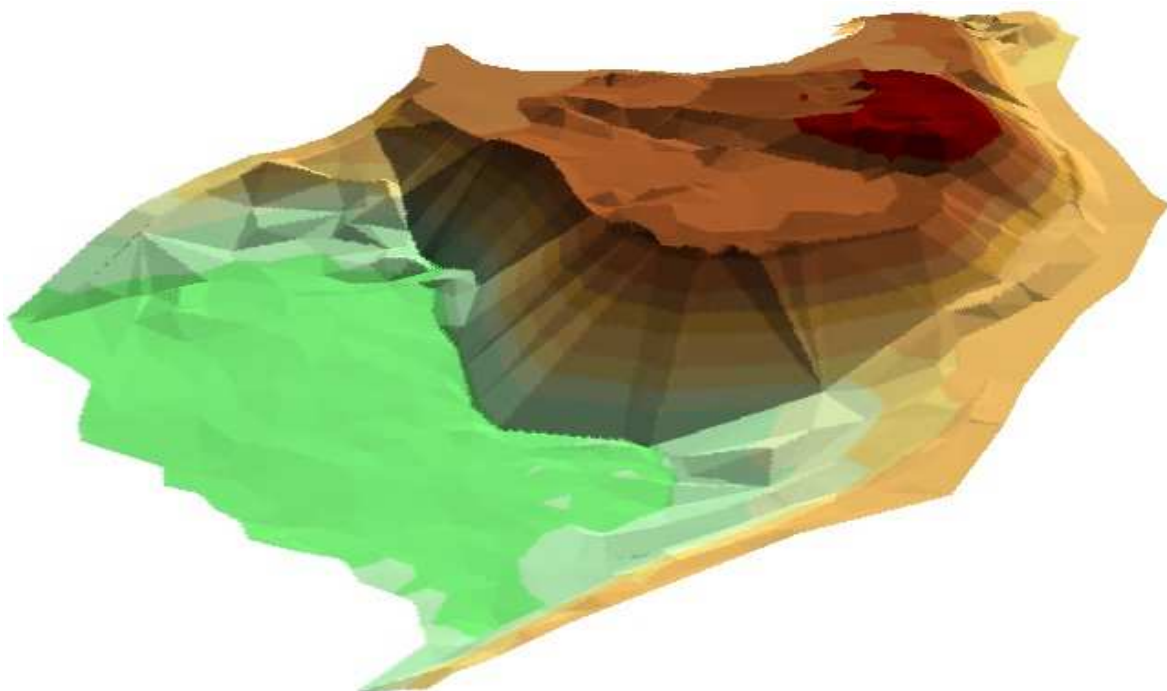


Obr. 6-4 Zavedení povinných lomových hran do DMT

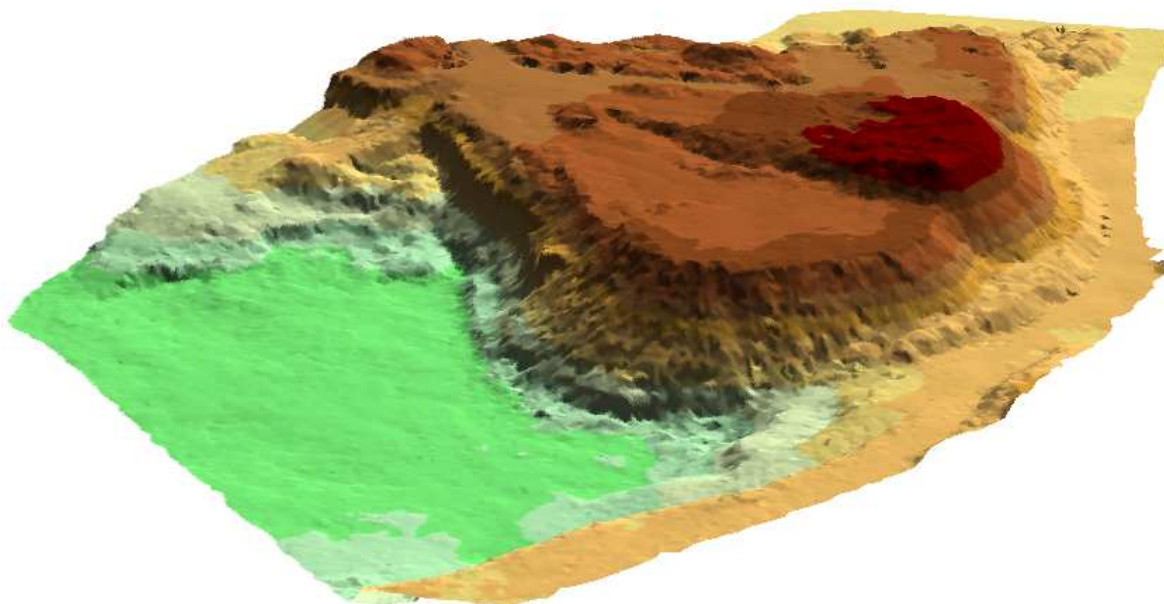
Zavedení povinných lomových hran bylo provedeno pouze při tvorbě DMT z dat získaných měřením totální stanicí. Při tvorbě DMT z dat z laserového skenování nebylo nutné tyto hrany zavádět, neboť při tvorbě DMT mračna bodů dostatečně přesně aproximují terén a jeho lomová místa.

Pro detailnější nastavení zobrazení bylo zvoleno zobrazení „Plošky“ ve formě „Hypsometrie ostrá“ s volbou intervalů převzatých z „Extrému z modelu“ (Atlas provede nastavení pravidelného intervalu mezi nejnižším a nejvyšším místem v modelu). Hypsometrické zobrazení bylo doplněno o legendu Hypsometrie.

Po nastavení vlastností zobrazení a velikosti výkresu byly dále modifikovány vlastnosti půdorysu. V těchto vlastnostech bylo nastaveno měřítko zobrazení a popis, který umožňuje volit nastavení zobrazení, popis rámových značek a souřadnicových křížků. Výsledné zobrazení DMT vytvořených z obou metod zaměření se nachází v příloze č. 1 a č. 2.



Obr. 6-5 Prostorové znázornění DMT z polárního měření



Obr. 6-6 Prostorové znázornění DMT z laserového skenování

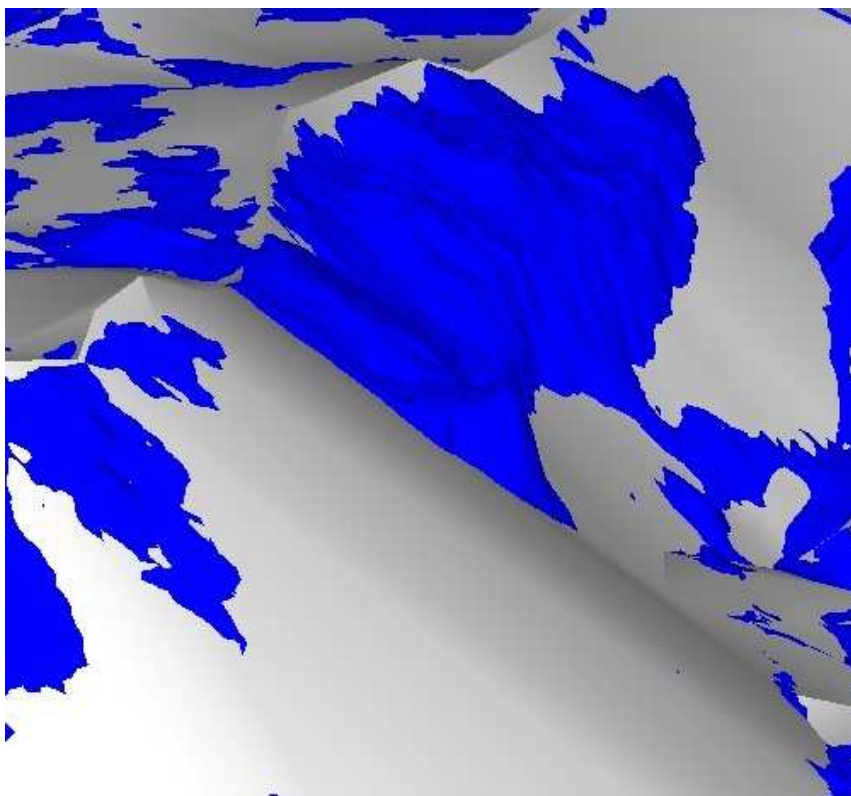
7 Porovnání obou metod měření

Při porovnávání dat získaných z laserového skenování a ze sběru dat pomocí totální stanice je třeba zohlednit velké množství faktorů, které více či méně ovlivňují výsledek měření. Mezi základní faktory ovlivňující výsledek měření patří: finanční náklady na měření a zpracování, doba měření a zpracování, přesnost.

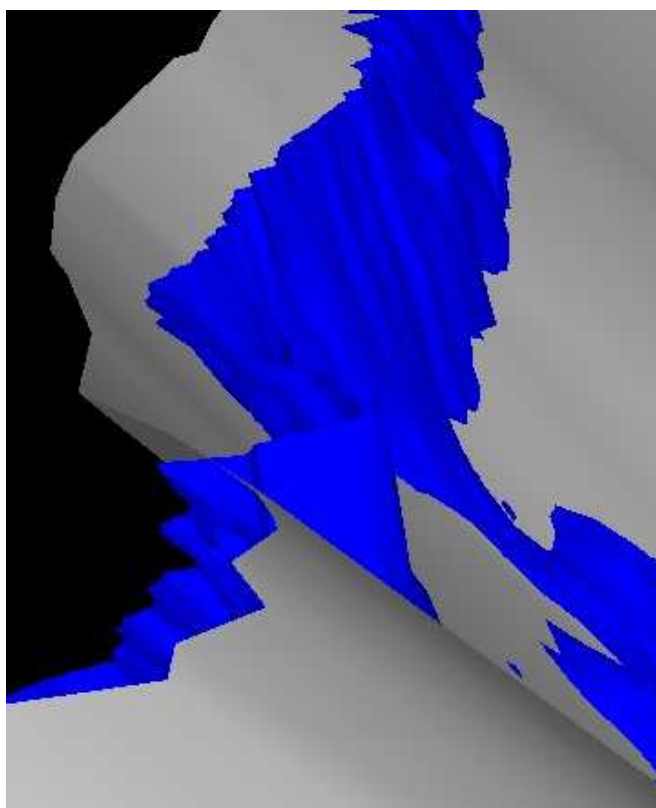
Jelikož laserové skenování poskytuje data v takové hustotě a přesnosti, že v některých aspektech neexistuje srovnání se stávajícími metodami měření, v následujících podkapitolách bude demonstrován rozdíl obou metod na naměřených datech a z nich vypočtených DMT.

7.1 Liniová přesnost

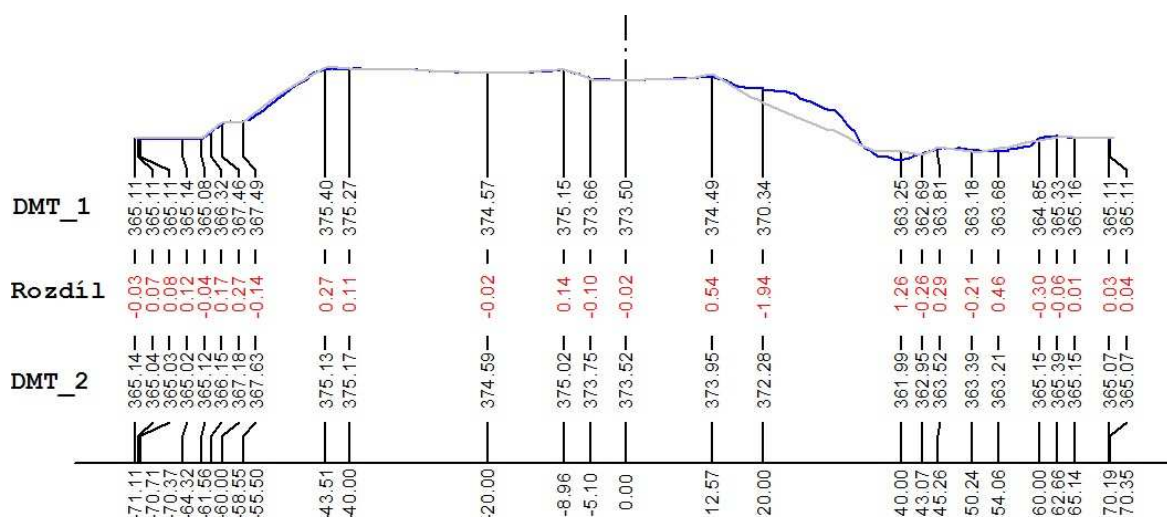
K posouzení liniové přesnosti byla vytvořena sestava řezů terénem, kde nad podélným polygonem, vytvořeným nad DMT_1 (totální stanice) a DMT_2 (laserové skenování), byla vložena sestava příčných terénních řezů ve vzdálenosti 80 metrů od osy podélného polygonu a se staničením po 20 ti metrech. Z vyhodnocení vytvořených řezů terénem vyplývá, že nejmenší výškové odchylky v linii jednotlivých řezů se nacházejí v málo členitém terénu, kde jsou tyto odchylky mezi oběma DMT takřka zanedbatelné, naopak největších změn nastává se zvyšující se členitostí terénu, kdy výškové odchylky v linii řezu dosahují i několika metrů. Toto je zapříčiněno tím, že rovinatou plochu lze klasickými geodetickými metodami poměrně snadno a přesně vystihnout, naopak členitý a špatně přístupný terén lze přesně vystihnout jen velmi obtížně. Znázornění takovéto situace je dobře viditelné z obrázků (Obr. 7-1, Obr. 7-2), kde šedá plocha znázorňuje rovinu, vzniklou spojením paty a vrchní hrany svahu, zaměřené totální stanicí. Modrá plocha znázorňuje obraz blížící se skutečnému průběhu terénu v dané oblasti, vypočtený z dat z laserového skenování. Výsledný řez touto situací je zobrazen na Obr. 7-3. Přehledka sestavy řezů a jednotlivé terénní řezy se nacházejí v příloze č.3.



Obr. 7-1 Rozdíl v průběhu terénu



Obr. 7-2 Znázornění rozdílu průběhu terénu horizontálním řezem



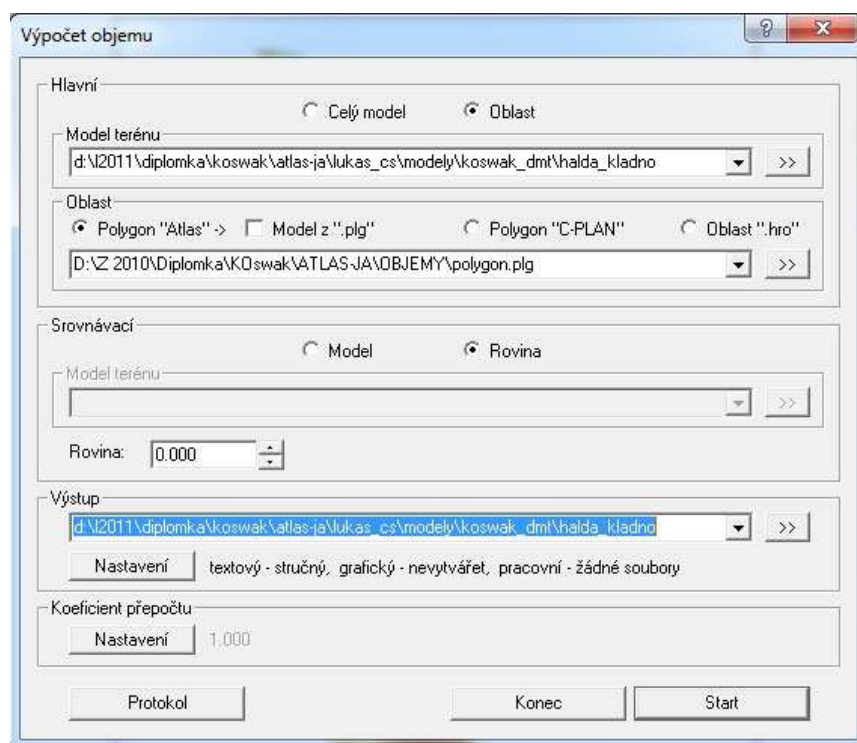
Obr. 7-3 Řez terénem

7.2 Plošné porovnání

Do DMT_1 generovaného z polárního sběru dat vstupovalo 498 bodů terénu zaměřených ze dvou stanovisek pomocí totální stanice a 294 bodů určených metodou RTK. Pro generaci DMT_2 z laserového skenování bylo užito 27 000 bodů vyfiltrovaných z mračna bodů části zaměřované lokality. Vypočtené DMT z obou metod měření bylo nutné navzájem porovnat výpočtem kubatur a rozdílovým modelem obou DMT.

7.2.1 Výpočet kubatur

Výpočet kubatur obou DMT byl proveden v programu Atlas DMT. Pro správný výpočet bylo nutné ohraničit totožné oblasti v obou modelech. Toho bylo docíleno pomocí funkce „Vložit polygon“, kde krajní body DMT_1 byly postupně pospojovány v uzavřený polygon. Souřadnice lomových bodů tohoto polygonu byly vyexportovány do seznamu souřadnic bodů DMT_2, který byl i s těmito souřadnicemi znovu vygenerován. Poté mohl být totožný polygon z DMT_1 pomocí tlačítka „Import“ vložen do DMT_2. Samotný výpočet kubatur se provádí pomocí tlačítka „Výpočet objemu“, kde jak je patrné z obrázku (Obr. 7-4) se nastaví polygonem oblast modelu, srovnávací rovina a výstup do textového souboru. Pro výpočet objemů obou DMT byla srovnávací rovina nastavena na 0,000 metrů nad mořem.



Obr. 7-4 Výpočet objemu v programu Atlas DMT

Protokol o výpočtu objemů obou DMT se nachází v příloze č. 4. Rozdíl v objemech byl počítán absolutním rozdílem obou výpočtů (Tabulka 2).

Tabulka 2 Rozdíl výpočtu kubatur mezi DMT_1 a DMT_2

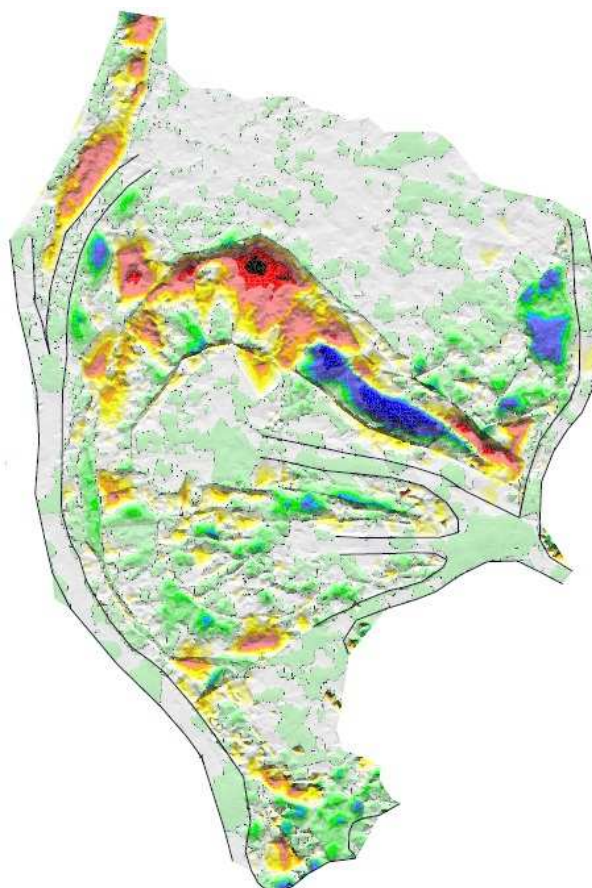
	Objem [m³] - vypočtený od roviny 0,000 m.n.m
DMT_1	7835743,56
DMT_2	7834257,05
Rozdíl:	1486,51

Pro ověření správnosti výpočtu tohoto rozdílu byl vypočten kontrolní objem, kde hlavní model byl DMT_1 a jako srovnávací plocha, nebyla užita rovina, ale DMT_2. K ohraničení oblasti byl použit polygon z předchozích výpočtů. Hodnota rozdílu výpočtu objemu obou modelů byla 1486, 87 m³. Rozdíl tohoto výpočtu od absolutního rozdílu obou modelů je 0,36 m³, což odpovídá chybě ze zaokrouhlení. Protokol o kontrolním výpočtu objemu se nachází v příloze č. 5.

7.2.2 Výpočet rozdílového DMT

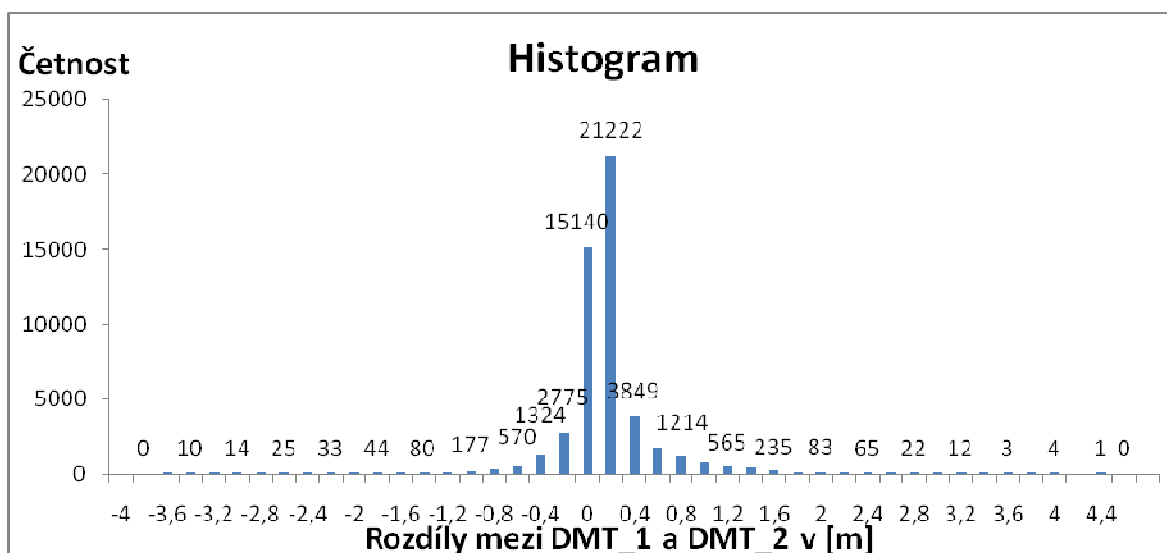
Tvorba rozdílového modelu terénu se většinou provádí po zaměření více etap měření, za účelem získání grafického a číselného přehledu o změnách v zájmové oblasti důsledkem těžební činnosti za sledovanou dobu.

Při tvorbě mého rozdílového modelu terénu nebylo přihlíženo k terénním změnám od poslední etapy měření, ale předmětem zájmu bylo porovnat a nalézt největší vzájemné odchylky DMT_1 a DMT_2. Výpočet byl proveden v programu Atlas DMT metodou „Prolínání dvou sítí“, kdy Atlas na základě výškových rozdílů mezi body dvou vstupních modelů (DMT_1, DMT_2) generuje rozdílový model. Z vytvořeného rozdílového modelu (Obr. 7-5) je patrné, že největší výškové rozdíly mezi modely nastávají ve špatně přístupném terénu (svahy deponie), který z bezpečnostních důvodů nelze metodami klasické geodézie zaměřit. Detailnější zobrazení rozdílového modelu terénu včetně hypsometrické legendy se nachází v příloze č. 6.



Obr. 7-5 Rozdílový model

Pro konkrétnější představu o rozložení bodů v jednotlivých výškových rozdílech mezi oběma modely, byla z rozdílového modelu provedena zpětná konverze dat. Z této zpětné konverze byl vytvořen histogram četnosti bodů pro jednotlivé výškové rozdíly. Interpretací histogramu byla zjištěna největší četnost bodů, kdy 93 procent všech bodů modelu se vyskytovala v rozsahu od $-0,4$ m do $+0,4$ m rozdílu výšky mezi body modelu. Odlehlé hodnoty tvořící 0,8 procent všech bodů mohly být způsobeny nepřístupností terénu, vícenásobným odrazem dálkoměrného paprsku či opomenutím smazání objektů nepatřících terénu při čištění mračen bodů. Nepřístupný terén mohl být v tomto případě hlavním důvodem, neboť svahy haly Destro byly velice nestabilní a mohlo dojít ke zranění figuranta při snaze přesněji zmapovat terén. Těmito výše popsány vlivy mohou být také zatížena zbylá 6,2 procenta bodů.



7.3 Posouzení ekonomických aspektů z dosažených výsledků

Při vyhodnocování celkového průběhu zaměření a zpracování dat projektu zaměření areálu Kladno – drtírna Halda, společnosti Destro bylo nutné vyzdvihnout časovou náročnost na pořízení a zpracování dat metodou laserové skenování, kdy pořízení výchozích dat bylo oproti klasické geodetické metodě provedeno mnohonásobně rychleji. S tím souvisí i značné finanční úspory této metody oproti klasickým geodetickým metodám. Díky velké hustotě měřených bodů bylo možné zpracovat velmi přesný DMT, který zobrazoval měřený terén do nejmenších detailů s přesností v řádu cm až mm. Touto modelací byl za velmi krátkou dobu získán obraz skutečnosti, kterého nebylo možno získat

metodou klasické geodézie. S velice přesně a detailně zaměřeným terénem souvisí dle tabulky (Tabulka 3) i velmi vysoké finanční ztráty oproti klasickému polárnímu zaměření, kde vypočtený objem části haldy byl přibližně o 1500 m³ větší než objem vypočtený z laserového skenování. Pro tento případ kdy průměrná cena za m³ odvezené suti do vzdálenosti 5 Km od místa těžby je 500 Kč, by rozdíl v kubaturách odpovídal sumě 750 000 Kč. Tato cena je sice vysoká, ale v případě kdy by mělo dojít k celkovému odtěžení haldy od roviny proložené fyzicky nejnižše zaměřeným bodem terénu 356 m.n.m, by tato finanční ztráta představovala 0,7 procentní rozdíl od celkové sumy objemu 216 000 m³.

Tabulka 3 Rozdíly obou metod

Společná část měření Haldy - Drtína		
Metoda:	Klasická	Laserové skenování
Počet osob v terénu:	2	2
Počet stanovisk:	2+RTK	12
Počet zaměřených bodů:	792	22 000 000
Počet dnů měření:	2	1
Doba zpracování:	den	den
Náklady:	100%	50%
Finální cena pro objednatele:	TOTOŽNÁ	
Rozdíl v Kubaturách:	1500 m ³ X 500 Kč = 750 000 Kč	

Oproti klasickému měření odpadá, díky vysoké hustotě laserového skenování, nutnost doměřování skutečností, které nebyly předmětem měření, což vede k dalším úsporám především v nutnosti nového měřického výjezdu. Pro tento případ objednatel potřeboval zjistit polohu sloupů elektrického vedení uvnitř areálu, kde souřadnice sloupů byly zpětně určeny z neočištěných, zaměřených mračen bodů.

Díky výše uvedeným skutečnostem, vysoké automatizaci a skutečnosti, že laserové skenování prakticky vylučuje chybná, či méně přesná měření lze konstatovat, že laserové skenování je v současnosti nejpresnější a finančně nejúspornější metoda, vhodná pro sběr prostorových dat s následným určováním kubatur.

8 Závěr

V této práci jsou shrnuty a popsány všechny kroky vedoucí k zaměření, zpracování a porovnání dat části zaměřované šterkovny Kladno – drtírna Halda společnosti Destro. Za tímto účelem proběhlo na podzim roku 2010 měření, kde byla získána data pomocí klasické polární metody, zaměřením totální stanicí, RTK měřením a metodou laserového skenování, kde měření probíhalo pomocí 3D Control Car. Veškerá měření byla připojena do závazného souřadnicového a výškového systému v ČR (S-JTSK a Bpv) pomocí GNSS měření, kde referenční stanice byla na známém bodě, určeném firmou Control system international v dřívějším měření, a souřadnice skenovacích pozic, vlíčovacích bodů a stanovisek pro terestrické měření byly určovány pomocí rover aparatury. Naměřená data byla následně, odděleně zpracována – souřadnice bodů terénu byly pro klasickou metodu určeny v programu Groma “polární metodou dávkou“, jednotlivé skenovací pozice byly spojeny, vyrovnány „MNČ“. Ze sjednoceného mračna bodů byla vyselektována totožná oblast jako terestricky zaměřená a z ní byly vyfiltrovány souřadnice bodů terénu. Z vypočtených souřadnic byly v programu Atlas DMT vygenerovány dva modely terénu DMT_1 (z terestrických dat) a DMT_2 (z dat z laserového skenování). Tyto dva modely byly následně porovnávány z hlediska výškových rozdílů, objemových bilancí, přesnosti měření, ekonomických aspektů.

V práci byla prokázána značná časová úspora a přesnost laserového skenování oproti klasické geodetické metodě, kdy společná oblast pro obě metody byla zaměřena pomocí laserového skenování za méně než jeden měřický den, kdežto klasickou metodu bylo nutné měřit po dva měřické dny. Výpočtem absolutního rozdílu objemu mezi oběma DMT, který činil 1486 m^3 , byl vyčíslen finanční rozdíl mezi zaměřením klasickou geodetickou metodou a laserovým skenováním na 750 000 Kč.

Výstupy z této práce jsou výpočty objemových bilancí, vizualizace jednotlivých DMT, rozdílový DMT a jednotlivé rozdílové výškové řezy digitálními modely terénu. Všechny tyto výstupy jsou k dispozici v přílohách, nebo v elektronické podobě na přiloženém CD. Oproti tiskové verzi jsou na přiloženém CD uložena data měření.

9 Literatura

- [1] Edward J. Jaselskis, Zhili Gao, Russell C. Walter. *Improving transportation projects using laser scanning*. ASCE, Journal of Construction Engineering and Management 131 (3) (2005) 377–384.
- [2] Du, J.Ch., Teng, H.Ch. *3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation*, *Automation in Construction*. 16 (2007) 657–663
- [3] Barber, D., Mills, J., Smith-Voysey, S. *Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 63 (2008) 128–141
- [4] Křemen, T., Pospíšil, J., Koska, B. *Ověření relativní přesnosti určování objemů*. Katedra speciální geodézie, Thákurova 7, 166 29, Praha 6 – Dejvice
- [5] Pavelka, K., Hodač, J. *Fotogrammetrie 3 – Digitální metody a laserové skenování*. Praha, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008
- [6] Kašpar, M., Pospíšil, J., Štroner, M., Křemen, T., Tejkal, M. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví*. Vega s.r.o., 2003
- [7] <http://www.controlsistem.cz>
- [8] Košvica, O. *Kontrola a doplnění bodového pole v lokalitě Dolní Heřmanice – Nesměř*. Bakalářská práce, Brno 2008
- [9] Láska, Z., Tešnar, M., Slabý, J., Sukup, J. *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi*. (Geodis) 9/2010
- [10] <http://www.atlasltd.cz/software.php>
- [11] Pavlík, F. *Automatizace hydrologických a erozních poměrů s využitím Atlas DMT*. Brno 2008
- [12] ČSN 01 3410 Mapy velkých měřítek. Základní a účelové mapy.

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

Bpv	Balt po vyrovnání
CAD	Computer-Aided Design
ČSN	Česká Státní Norma
CZEPOS	česká síť permanentních stanic pro určování polohy
DMT	Digitální Model Terénu
DXF	Drawing Exchange Format
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
GNSS	Globální Navigační Satelitní Systémy
GSM	Global System for Mobile Communications
ICP	Iterative Closest Point
IMU	Inerciální Měřicí Jednotka
LSS	Laserový Skenovací Systém
MNČ	Metoda Nejmenších Čtverců
RTK	Real Time Kinematic
S-JTSK	Jednotná Trigonometrická Síť Katastrální

11 Seznam příloh

1. Vizualizace DMT_1 (DMT generovaný z polárních dat) (1 strana)
2. Vizualizace DMT_2 (DMT generovaný z laserového skenování) (1 strana)
3. Přehledka řezů terénem a jednotlivé řezy terénu (13 stran)
4. Výpočet objemů DMT_1 a DMT_2 (7 stran)
5. Kontrolní výpočet objemu (1 strana)
6. Rozdílový DMT (1 strana)