

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

Diplomová práce

Posouzení vlivu sklonitosti
a půdního krytu na přesnost
leteckého laserového skenování

Plzeň, 2012

Bc. Tomáš Pavlík

Prohlášení

Předkládám k posouzení a následné obhajobě tuto práci jako závěrečnou práci navazujícího studia oboru Geomatika na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím pramenů a literatury v práci uvedených.

v Plzni dne 31. května 2012

Bc. Tomáš Pavlík

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Radku Fialovi, PhD. za pomoc a odborné vedení při zpracování diplomové práce. Dále děkuji Ing. Karlu Jedličkovi, PhD. a Ing. Karlu Janečkovi, PhD. za cenné rady při tvorbě prostorové databáze. Díky patří i kolegyni Lence Halasové za pomoc při měřických pracích a v neposlední řadě celé mé rodině za podporu, které se mi po celou dobu studia dostávalo.

Abstrakt

Práce zkoumá vliv sklonitosti terénu a půdního krytu na přesnost leteckého laserového skenování. Použito je celkem devatenáct účelově zaměřených lokalit se sklonitostí v rozmezí 0–15°, pokrytých zpevněným, nezpevněným a zalesněným povrchem. Ověřovanou hypotézou je, že s rostoucí svažitostí terénu a zvyšující se hustotou půdního krytu bude klesat přesnost naměřených dat. Motivací jsou v současnosti probíhající práce na nových digitálních modelech povrchu DMP 1G a reliéfu DMR 5G, které by se po dokončení měly stát primárními výškovými modely pro území ČR. Sběr dat pro tyto modely vzniká plošným leteckým laserovým skenováním celého území republiky. Proto je důležité zkoumat faktory, které by mohly přesnost použitých technologií negativně ovlivňovat. Pro testování přesnosti jsou použity dvě metody: Metoda Robustní kontroly přesnosti a metoda využívající lokálních bodových rozdílů. V závěru práce jsou srovnány výsledky obou metod.

Abstract

This thesis investigates the influence of vegetation and terrain slope on the precision of airborne laser scanning. On nineteen specific locations with terrain slope varying between 0 and 15 degrees and surfaces such as solid surface, grassland, field and forest a geodetic land survey was performed. The hypotheses to confirm is that on steep slopes and areas covered by dense vegetation the precision of laser scanning data is lower. The motivation for this work are two concurrently emerging Czech digital terrain models - the fifth generation of Digital Terrain Model (DMR 5G) and the first generation of Digital Surface Model (DMP 1G). Both of these models are going to cover the whole area of Czech Republic. The spatial data for both DTMs is collected by airborne laserscanning covering the whole state area. There are two methods used for precision evaluation: A robust DTM quality evaluation method developed at University of West Bohemia and a method using only local height differences. Results of both methods are compared in the ending.

Obsah

1	Úvod	6
2	Teoretická část	8
2.1	LiDAR a princip jeho funkce	8
2.2	Konstrukce laserových skenerů	11
2.3	Vybrané chyby při pořizování dat LLS	15
2.4	Projekt tvorby nového výškopisu ČR	22
3	Sběr dat	25
3.1	Příprava k měření	26
3.2	Sběr dat pozemním měřením	28
3.3	Import do geodatabáze	31
4	Posouzení přesnosti dat LLS	35
4.1	Formát dat a předzpracování	35
4.2	Poskytnutá data	37
4.3	Porovnání dat v programu Atlas DMT	38
4.4	Porovnání dat v programu ESRI ArcGIS	41
4.5	Zhodnocení a vizualizace výsledků	45
5	Závěr	55

Kapitola 1

Úvod

S pokračující digitalizací dat napříč obory v poslední době značně přibývá i digitalizovaných dat prostorových. Tím nejsou myšleny jen zpracované satelitní či letecké snímky a naskenované mapy. Především jde o vektorová data, umožňující další analýzy metodami geoinformačních systémů (GIS). Při těchto analýzách jsou často kromě zkoumaných mapových prvků potřebné i další prostorové informace týkající se polohopisu i výškopisu. Obzvláště v oblasti výškopisu jsou ale data pro území ČR v některých oblastech zastaralá a svou sníženou přesností negativně ovlivňují kvalitu digitálních geografických databází. Proto dochází v současnosti k novému mapování výškopisu metodou leteckého laserového skenování (LLS), které má za cíl aktualizovat a zpřesnit výšková data plošně pro celou ČR.

Výstupy LLS budou především modely reliéfu a povrchu v digitální podobě (DMR a DMP). Protože přesnost výsledného modelu závisí z největší části na přesnosti měřených dat, cílem práce bylo vyhodnocení vlivu některých faktorů na přesnost LLS. K tomuto účelu bylo polohově a výškově zaměřeno 20 menších kontrolních ploch v okolí Plzně. Lokality byly vybírány s ohledem na zastoupení různé svažitosti a druhů povrchu. ZÚ Praha poté laskavě poskytl testovací data v podobě hrubě zpracovaných výsledků skenování těchto lokalit. Ke zhodnocení přesnosti měla být použita metoda robustní kontroly přesnosti vyvíjená od r. 2005 na oddělení Geomatiky ZČU.

Kromě vlastního posouzení vlivu zkoumaných faktorů na přesnost LLS bylo cílem také prozkoumat soulad zjištěných hodnot s odhadem střední chyby podle vzorce sestaveného geomatiky W. Karlem a K. Krausem. Ta

je podle [1] závislá na sklonu terénu a hustotě zaměřených bodů. Předpokladem přitom bylo, že hustota bodů zaměřených LLS bude v méně prostupném terénu klesat.

V průběhu práce byla přibrána ještě metoda pro bodové testování přesnosti použitá původně Ing. T. Dolanským, PhD. při kontrole DMR Českého Švýcarska. Tato metoda, na rozdíl od metody robustní kontroly přesnosti zkoumá model pouze v kontrolních bodech. Vedlejším cílem této práce tedy bylo i ukázat rozdíly výstupů obou metod na souboru testovaných dat.

Kapitola 2

Teoretická část

2.1 LiDAR a princip jeho funkce

Pojem LiDAR

Pojem LiDAR vznikl jako zkratka anglického výrazu *Light Detection And Ranging*, tedy ve volném překladu detekce světla a jeho využití k měření vzdáleností. Protože tvorba akronymu je shodná se vznikem např. slov radar či sonar (*Radio Detection And Ranging*, resp. *Sound Navigation And Ranging*), bude v následujícím textu obdobně skloňováno. S českým skloňováním tohoto slova se setkáme i v jiné domácí odborné literatuře, např. [11]. V literatuře se lze setkat i s jinými přepisováním této zkratky; konkrétně v on-line slovníku anglických akronymů odkazovaného z webových stránek AV ČR nalezneme kromě výše jmenovaných ještě následující výklady:

LiDAR = Laser Imaging, Detection and Ranging (system)
Laser Identification, Detection and Ranging
Laser Induced Differential Absorption Radar
Light Intensity Distance and Ranging (surveying)

V českém jazyce, a obzvláště potom v oblastech zeměměřictví, se potom setkáváme se ztotožňováním pojmu LiDAR a laserový skener. Pozemní

a letecké laserové skenování totiž technologie LiDARu využívá a za určitých okolností tak můžeme tyto pojmy zaměňovat.

Obecně je základním principem všech zařízení používajících LiDAR měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku. Uplatnění nalezne v široké škále oborů humanitních i technických. Další obory těží z přínosu LiDARu zprostředkovaně, tedy použitím dat předzpracovaných jinou institucí. Tak například v zemědělství lze zužitkovat topografické mapy vytvořené pomocí laserového skenování ke zefektivnění hnojení [7]. V archeologii lze zase podobná data používat k lokalizaci potenciálních nálezů [8]. Tato práce se bude zabývat využitím LiDARu v oblasti zeměměřičství, konkrétně leteckého laserového skenování za účelem tvorby topografické mapy, resp. digitálního modelu povrchu (DMP) a reliéfu (DMR).

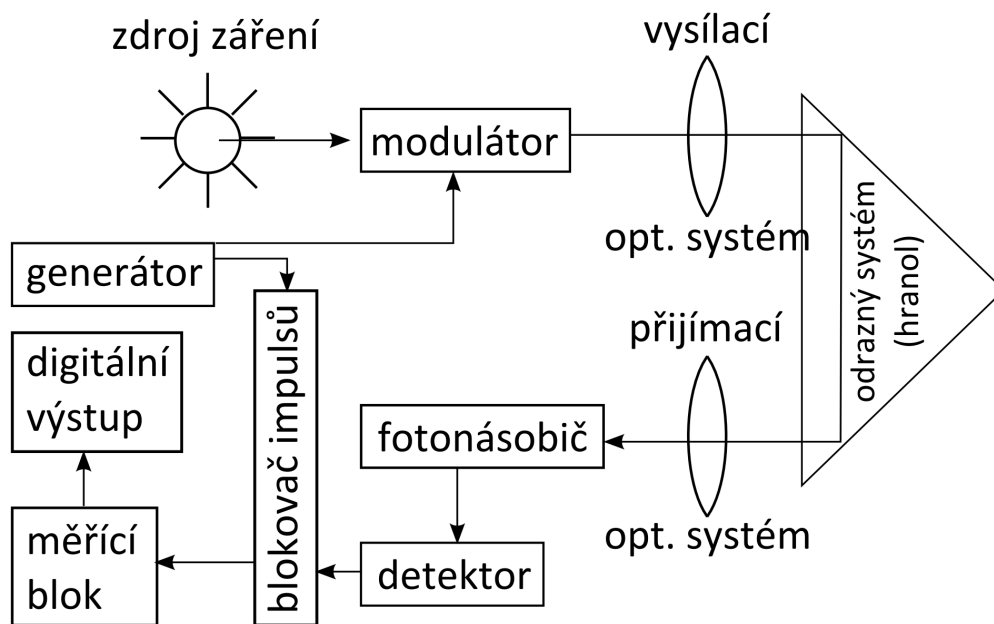
Princip funkce LiDARu

Nositel informací při měření LiDARem je elektromagnetické záření tvořené elektromagnetickými vlnami. Základem každého zařízení pro měření vzdálenosti pomocí laseru jsou emitor a receptor příslušného záření. Dále LiDARy obsahují optickou soustavu a mechanické části potřebné pro přesné zaměření vysílaného světelného paprsku a velmi přesné hodiny pro změření časového rozdílu mezi vysláním a příjmem světelného signálu. Emitor vysílá záření buď v oddělených pulsech či nepřetržitě. Podle toho rozlišujeme dva základní typy laserových dálkoměrů: S pulsní a kontinuální modulací.

LiDARy s pulsní modulací Princip měření vzdálenosti je založen na známé rychlosti $v \approx c$ šíření elektromagnetických vln v prostoru. Je možné využít pouze hodin v přístroji ke změření doby mezi vysláním a příjmem signálu. Vzdálenost k cíli pak získáme dle známého vztahu:

$$s = 1/2 \cdot v \cdot t \approx \frac{c \cdot t}{2} \quad (2.1)$$

V LLS se využívají výhradně pulsní skenery, protože okamžitý výkon při vysílání impulsu je o několik řádů větší, než může vysílat LiDAR s kontinuálním měřením. Tento výkon je nepostradatelný k tomu, aby mohl být za-



Obrázek 2.1: Schéma světelného dálkoměru s modulací signálu dle [3]

registrován odraz signálu. Z podobného důvodu u LiDARů pro LLS setkáme s výkonnějšími pevnolátkovými lasery, než je tomu u klasických laserových dálkoměrů – konkrétně rubínovými, či modernějšími *Nd:YAG*. Energie světelného paprsku šířícího se prostorem klesá u difuzního odrazu s druhou mocninou vzdálenosti, k dalším ztrátám dochází při odrazu, kdy cílový objekt část záření pohltí. Proto musí být i radiometr zachycující odražené záření velice citlivý. [12]

LiDARy s kontinuální modulací Protože rychlost šíření elektromagnetických vln je velmi vysoká, naměřený čas t je velice krátký. Přesnější je tedy využít známou vlnovou délku vysílaného signálu λ a vzdálenost k cíli určit pomocí počtu celých vlnových délek n a doměrku d amplitudově modulovaného signálu. K určení doměrku slouží tzv. blokovač impulsů, ve kterém dojde k porovnání obou signálů. Vzdálenost pak určíme ze vzorce:

$$s = \frac{n \cdot \lambda + d}{2} \quad (2.2)$$

Protože energie vysílaného záření je nižší než při pulsním měření, po-

užívá se v kombinaci s odrazným systémem, který vrací paprsek bez jeho rozptýlení do prostoru (viz obr. 2.1). Aplikaci tato technologie nachází především v geodézii v podobě přesných dálkoměrů integrovaných do totálních stanic. [3]

2.2 Konstrukce laserových skenerů

Laserová jednotka

Pojem laserová jednotka zahrnuje vysílač a přijímač laserového paprsku, které mají totožnou optickou osu. Souosost zajišťuje nejčastěji polopropustný hranol v optické soustavě jednotky. Elektromagnetické záření, se kterým jednotka pracuje, charakterizuje několik základních veličin:

- vlnová délka λ
- frekvence $f = \frac{c}{\lambda}$
- fáze φ
- modulace
 - pulsní
 - sinusová (continuous wave, CW)
- polarizace
- intenzita

LiDARy pracují nejčastěji se zářením v infračervené části spektra s vlnovou délkou 1100-1200 nm. Vývoj zářičů s touto vlnovou délkou v posledních letech velmi pokročil a jejich aplikace nalezneme v mnoha oblastech. Intenzita odraženého světla je dána vlastnostmi povrchu, na který paprsek dopadá; některé aplikace tohoto využívají a zaznamenávají intenzitu zachyceného paprsku pro další zpracování. Jediným problémem při mapování mohou být vodní plochy, které záření pohlcují. Jako částečné řešení poslouží použití

paprsků v zelenomodré části spektra viditelného záření. To dokáže v závislosti na stupni zakalení vody proniknout až do hloubky 50 m pod hladinu a při leteckém skenování je tak možné mapovat dna toků a menších vodních ploch. [11]

Modulace záření Modulace záření je nezbytná pro jednoznačnou identifikaci laserového paprsku. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, rozlišujeme dva základní typy modulace záření – pulsní a kontinuální. Skener s pulsní modulací dle [11] se také někdy nazývá pulsní skener [12]. V leteckých skenerech se využívá výhradně pulsní modulace. Ta je realizována vysíláním krátkých pravoúhlých impulsů o délce 10-15 ns. [11] Vysoká rychlost šíření světla v prostoru vylučuje záměnu dvou pulsů, přestože prodlevy mezi nimi jsou pouze v řádech mikrosekund až nanosekund. Odražený puls se nevrací v původním pravoúhlém tvaru, ale je deformován v důsledku průchodu atmosférou a odrazu od objektu. Často velmi složitý tvar přijatého impulsu by bylo možné dále analyzovat, v praxi se tak ale neděje kvůli vysoké výpočetní náročnosti.

Díky šířce laserové stopy na povrchu Země se laserový paprsek při leteckém skenování odráží postupně od jednotlivých vrstev objektů. To je nejvíce patrné při skenování oblastí se vzrostlou vegetací – při mapování zalesněných povrchů lze získat několik odrazů z různých lesních pater a nakonec i od vlastního terénu. Aby bylo možné dva odrazy rozlišit, musí mezi nimi existovat dostatečný útlum signálu a dále i časový odstup. [11]

Skener

Skener je záznamové zařízení sloužící k uložení naměřených dat z LiDARu v digitální podobě. Jeho základem je radiometr, přístroj pro měření množství dopadajícího elektromagnetického záření, v tomto případě odraženého od měřených objektů. Radiometr měří radiaci z určité elementární části povrchu v určitém intervalu spektra. Různými konstrukcemi skenerů jsou tyto elementární plochy skládány do souvislého rastru pokrývající celou plochu skenovanou při daném náletu.

Skener s rotujícím zrcadlem Pravděpodobně nejčastěji používané konstrukční řešení pro LLS. Snímání povrchu v příčném směru je realizováno

rotujícím zrcadlem či hranolem rozmítajícím paprsek v rovině kolmé na směr letu. V podélném směru je pak posun vyřešen přirozeně pohybem letadla. Zrcadlo se otáčí konstantní rychlostí a jeho aktuální poloha je měřena z hnacího motoru, případně senzorem náklonu přímo na zrcadle. Měření polohy zrcadla může být prováděno s velkou přesností, což je hlavní výhodou tohoto způsobu snímání. Nevýhodou hlavně v minulosti byl u těchto skenerů nevyužitý čas, kdy byl paprsek zrcadlem odrážen mimo snímanou oblast, což způsobovalo menší hustotu snímaných bodů ve směru letu. Tento problém byl vyřešen nahrazením zrcadla hranolem s více odraznými plochami [11]. Např. u skeneru Riegl LMS-Q680i je díky nastavitelné rychlosti rotace hranolu a frekvenci pulsů možné uživatelsky volit hustotu bodů jak v podélném, tak v příčném směru. [10]

Skener s oscilujícím zrcadlem Tento způsob snímání je velice podobný předchozímu a též nachází časté uplatnění v praxi. Rozdílem je pohyb zrcadla oscilujícího v tomto případě pouze v takovém rozsahu, aby vysílaný paprsek nepřetržitě dopadal na snímanou oblast – snímání tedy probíhá nepřetržitě. Rychlost skenování, stejně jako i úhel záběru, pak dokonce mohou být upravovány v reálném čase operátorem zařízení. Další výhodou je možnost kompenzace turbulentních pohybů letadla. Tyto pohyby mají za následek zvlnění okrajů snímané plochy a tedy i v krajním případě chybějící body v místě překrytu sousedících náletových řad. Mechanismus skeneru dokáže v reálném čase reagovat na měření INS a výchyly letadla způsobené turbulencí eliminovat změnou úhlu záběru.

Výsledné mračno bodů získané z tohoto skeneru je charakteristické svým pilovitým rozložením a větší hustotou bodů poblíž okrajů náletové řady. To je způsobeno proměnlivou rychlostí zrcadla, které se v krajních polohách pohybuje pomaleji. Z toho plynou i hlavní nevýhody tohoto způsobu snímání – vznik torze mezi zrcadlem a úhlovým snímačem následkem změn rychlosti a nehomogenní rozložení bodů. [11]

Skener se svazkem optických vláken Toto velice kompaktní řešení využívá též rotujícího zrcadla. V tomto případě se ale jedná o zrcadlo řádově menší, které rozmítá vysílaný paprsek do svazku optických vláken. Vláknata jsou potom rozvedena tak, aby zabírala celou snímanou rovinu kolmou ke směru letu. Přijímací svazek vláken potom vede odražený signál opět přes rotující zrcadlo do radiometru. Výhodou této metody je především velká

rychlost snímání – v podélné ose se body snímku dokonce překrývají. Hlavní nevýhodou je omezený počet bodů v rovině příčné. Ten je jednoznačně určen počtem jednotlivých optických vláken ve svazku. Dále zde chybí možnost upravovat úhel záběru skeneru, který navíc bývá velmi úzký (kolem 7°). [11]

Eliptický skener Poslední popisovanou konstrukcí skeneru je skener eliptický. Využívá se v něm dvojice rotujících zrcadel, které promítají za letu paprsek tak, že jeho stopa na povrchu opisuje elipsu. Hlavní výhodou tohoto způsobu je dvojnásobné zaměření každého bodu. To může být užitečné především v zalesněných oblastech nebo intravilánech, kde je větší pravděpodobnost nežádoucích odrazů od překážek a druhým měřením tedy mohou být doplněny informace o bodech, které se při prvním měření nacházely v zákrytu. Nevýhodou je především složitá konstrukce dostatečně přesné soustavy zrcadel. Seběmenší nepřesnost následně způsobuje chybu v přesném určení směru vyslaného paprsku a tedy i polohy měřeného bodu. [11]

Řídicí jednotka

Propojení skeneru s laserovou jednotkou a v důsledku i záznam přesné doby pořízení všech záznamů při LLS je realizováno pomocí řídicí (někdy nazývané též kontrolní) jednotky. Vnitřní hodiny řídicí jednotky jsou propojeny s GNSS jednotkou a metodou *puls per second* (pps) udržují stále přesný čas. Ten je pak přiřazen všem záznamům v okamžiku jejich pořízení, což je nezbytné pro přesné určení polohy měřeného bodu. [11]

Inerciální navigační soustava

Označována často pouze zkráceně INS (a to i v angličtině, kde zkratka značí *Inertial Navigation System*), tato jednotka měří aktuální natočení skeneru vzhledem k zemskému tělesu a též vektory zrychlení, které na něj v každém momentu působí. Jádro INS tvoří inerciální měřická jednotka IMU (angl. *Inertial Measurement Unit*) sestávající se především z trojice gyroskopů a trojice akcelerometrů. Gyroskopy jsou složeny tak, že k jednomu svise umístěnému jsou přidruženy dva další s kolmou osou rotace. Pomocí této soustavy lze pak velice přesně určit náklon celého systému. Akcelerometry pak dopl-

ňují informace poskytované IMU o aktuální hodnotu zrychlení spolu s jeho směrem. [11]

Protože zrychlení je definováno jako funkce rychlosti a času, bylo by teoreticky možné pouze pomocí IMU určit relativní polohu skeneru v průběhu celého letu. Pokud bychom navíc znali souřadnice některého bodu letu společně s časem průletu, mohli bychom všechny body lokalizovat i v daném systému souřadnic. Prakticky to ale není možné, protože i přes veškerou přesnost měřicí techniky by chyba v určení polohy brzy neúměrně narostla. Proto se IMU doplňuje navíc o jednotku GNSS, která průběžně měří souřadnice letounu během celého letu. [11]

Další funkcí GNSS jednotky při LLS je udržování aktuálního GPS času, kterým se synchronizují hodiny v řídicí jednotce skeneru a ostatních měřicích přístrojích. Obvyklá frekvence aktualizace času je 2 Hz. Při polohovém měření se používá metody tzv. *diferenciálního GNSS*, tedy měření s opravami zjištěnými z pozemní referenční stanice či jejich sítě. To umožňuje určit všechny polohové složky řádově s centimetrovou přesností. Spojení GNSS a IMU označujeme jako tzv. navigační jednotku. [11]

2.3 Vybrané chyby při pořizování dat LLS

Matematický model LLS skenování

Pro výpočet podrobných souřadnic každého měřeného podrobného bodu je potřeba kombinace informací ze všech složek měřické soustavy, tedy ze skeneru, jednotky GNSS a IMU. Souhrnně lze použít tento složený vzorec [4]:

$$\vec{X}_G = \vec{X}_0 + R_{XYZ} \cdot \vec{P}_G + R_{XYZ} \cdot R_{IMU} \cdot R_{\alpha,\beta} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -r \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

kde

\vec{X}_G	...	souřadnice i-tého podrobného bodu v cílovém systému souřadnic
\vec{X}_0	...	souřadnice IMU v cílovém systému souřadnic

R_{XYZ}	...	matice natočení IMU vzhledem k cílovém systému souřadnic
\vec{P}_G	...	vektor vzájemné polohy skeneru a IMU
R_{IMU}	...	matice rotace mezi skenerem a IMU
$R_{\alpha,\beta}$...	rotační matice popisující směr vysílaného paprsku; pro skener s rotačním/oscilujícím zrcadlem $\alpha = konst.$
r	...	velikost prostorového vektoru od skeneru k podrobnému bodu

Jedná se o zcela obecný vzorec pro výpočet souřadnic podrobného bodu. Zavedením některých pevně daných vlastností skenování se vzorec může zjednodušit, viz např. vynulování úhlu α u takových skenerů, kde se paprsek pohybuje pouze v rovině kolmé na směr letu. [4]

Pokud jsou známé vztahy mezi měřeními, lze provést vyhodnocení vlivu jednotlivých chyb na celkovou přesnost určených souřadnic. Takto lze celkovou chybu rozložit až na složky související výhradně se skenerem, resp. GNSS, IMU, řídicí či kontrolní jednotkou. Těmto dílčím chybám se bude věnovat celá kapitola 2.3.

Chyba laseru

Vzdálenost mezi laserem a cílem je určována z doby mezi vysláním a registrací odraženého laserového paprsku, která je měřena vnitřními hodinami. Kvůli obrovské rychlosti, kterou se paprsek šíří má právě přesné určení tohoto času největší vliv na celkovou přesnost měření vzdálenosti. U pulsních systémů je nejčastější chybou zpoždění při generaci pulsu – pokud puls není vyslán v přesně určeném čase, ovlivní to i naměřenou vzdálenost. U systémů využívajících modulaci paprsku navíc může dojít k chybě v modulaci posunem tvaru nebo změnou frekvence. Hodnoty vzdálenosti potom buď nejsou vůbec vyhodnoceny nebo vykazují statisticky horší přesnost.

Další chyba může vzniknout chybnou detekcí signálu. Je třeba si uvědomit, že v LLS se detekuje odraz světla od difuzního povrchu. Zatímco od emitoru k cíli má signál podobu koncentrovaného tenkého paprsku, po odrazu se rozptýlí do všech směrů a jeho energie tedy klesá se čtvercem vzdálenosti. Pro lepší představu je to možné demonstrovat na konkrétním příkladu: Při letové výšce 750 m se po vyslání signálu s energií 2 000 W vrátí zpět odraz s intenzitou pouze $2,4 \cdot 10^{-6}$ W [6]. V tomto výpočtu navíc nejsou započteny

ztráty energie v optické soustavě skeneru a případně také filtrů blokujících nežádoucí šum; skutečná energie odraženého paprsku dopadajícího na citlivou část detektoru je tedy ještě o něco nižší.

Pokud je energie odraženého paprsku velice slabá, dochází k zatížení výsledků šumem. Naopak velmi silný odraz může vytvořit v záznamu velmi jasný bod, což zvyšuje chybu měřené vzdálenosti. Protože odrazivost snímaného povrchu je během letu značně proměnlivá a navíc míra odrazu směrem ke skeneru je závislá i na sklonu povrchu, je úroveň signálu průběžně kontrolována a v případě potřeby korigována. [11]

Chyba z refrakce

Laserový paprsek je na své dráze ovlivněn vrstvami atmosféry, které způsobují, že jeho dráha není přímá. Faktory, které dráhu ovlivňují závisí na vlnové délce záření, poloze zdroje, úhlu vyslaného paprsku a aktuálních povětrnostních podmínkách. V laserových skenerech výrobci často používají vlastní refrakční modely, pro přibližný výpočet je ale možné použít i standardní vzorec používaný ve fotogrammetrii [11]:

$$\Delta\alpha = K \cdot \tan(\alpha),$$

$$K = \left(\frac{2410H}{H^2 - 6H + 250} - \frac{2410H}{h^2 - 6h + 250} \cdot \left(\frac{h}{H}\right) \right) \cdot 10^6 \quad (2.4)$$

$$(2.5)$$

kde

α	...	úhel mezi vyslaným paprskem a kolmicí k referenční rovině
$\Delta\alpha$...	odchylka úhlu α způsobená refrakcí
h	...	výška terénu nad referenční rovinou [m]
H	...	výška skeneru nad referenční rovinou [m]

Jak je patrné ze vzorce (2.4), chyba způsobená refrakcí je přímo úměrná úhlu vyslaného paprsku α . Korekce k je dle [11] pro standardní atmosferický model konstantní a výšky používané ve výpočtu korekce jsou tedy stanoveny pouze přibližně pro celou lokalitu. Kromě úhlu je dále třeba zavést i redukci délky, protože skutečná dráha paprsku je prodloužena refrakcí. V neposlední

řadě je třeba zavést též korekce, související s aktuálními atmosferickými podmínkami.

Přestože letecké skenování je teoreticky možné provádět za všech povětrnostních podmínek (s omezením plynoucím pouze z podmínek potřebných pro bezpečný let), při špatných povětrnostních podmínkách dochází ke zhoršení šíření signálu v atmosféře. Při zvýšeném množství smogu v ovzduší, vysoké vlhkosti či mrholení může detektor zachytit chybná data. Tyto chyby mají ale náhodný charakter a lze je tak eliminovat při filtraci v rámci zpracování naměřených dat jako odlehlá měření. [11]

Chyba hodin

Změření přesného transitního času je klíčové pro přesné určení souřadnic, konkrétně vzdálenosti k měřenému bodu. Seběmenší chyba v chodu interních hodin skeneru přitom má velký vliv na výsledky, protože ve vzorci pro výpočet vzdálenosti (2.6) figuruje v čitateli rychlost šíření paprsku, tedy rychlost světla.

$$d_r \approx \frac{c \cdot \Delta t}{2}, \quad (2.6)$$

kde

d_r	...	měřená vzdálenost
c	...	rychlost světla [$m \cdot s^{-1}$]
Δt	...	doba letu paprsku [s]

U některých systémů lze v rámci kalibrace hodin zjistit posun a jeho tendence a tyto vlastnosti nastavit při inicializaci systému. Pokud toto systém neumožňuje, je třeba opravit vzniklou systematickou chybu dodatečně. [11]

Chyba skeneru

O chybě skeneru hovoříme především v případě nesprávného změření úhlu, pod kterým je paprsek vyslán. Záleží tedy především na druhu konstrukce skeneru a tedy dispozicích k této chybě. U skeneru s rotujícím zrcadlem, který se používal i pro plošné snímání ČR, je chyba způsobena chybným odečtením polohy zrcadla v okamžiku vyslání paprsku. Vezmeme-li v úvahu, že např. laser ve skeneru Riegl Q-680i může emitovat až 400 000 pulsů za sekundu, což znamená každou sekundu až 200 nasnímaných řádků s celkovou výchylkou paprsku 60° u každého řádku, získáme představu o přesnosti, s jakou musíme být schopni polohu zrcadla v každém okamžiku určit.

Hodnotu aktuální polohy zrcadla by bylo možné odečítat z galvanometru, který jím otáčí, v praxi ale tento způsob nedosahuje potřebné přesnosti. Používá se tedy kódované stupnice připevněné k otáčející se ose zrcadla. Ta je snímána dalším laserem, což umožňuje přesnost určení směru vyslaného paprsku snížit na $0,001^\circ$, tedy $3,6''$. Chyby, ke kterým při odečítání dochází jsou podobné, jako například při odečítání úhlu v totální stanici. Jedná se hlavně o chybu způsobenou nepřesným umístěním stupnice, která není přesně kolmo k ose rotace zrcadla a dále pak chyba z nerovnoměrného dělení stupnice. Tyto chyby lze ale objevit při komparaci a následně eliminovat.

U oscilujícího zrcadla, kde dochází k extrémním změnám rychlosti v mezních bodech pohybu, navíc vzniká tzv. torze. V závislosti na hybnosti celé soustavy dochází následkem vysokého zrychlení k drobnému zkroucení celého systému. Kódový kruh, umístěný na ose nejdále od motoru se zpožďuje oproti zrcadlu a to se zároveň zpožďuje oproti hnacímu motoru. Protože ke skenování ČR se používá skeneru s rotujícím zrcadlem, nebude zde tato chyba více rozebírána; u skeneru s rotujícím zrcadlem je totiž rychlost rotace zrcadla konstantní, tedy jeho zrychlení je nulové po celou dobu skenování a k torzi zde nedochází. Případný zájemce o více informací k této chybě nechť je odkázán na [11], kde jsou její vlastnosti popsány velice podrobně. [11]

Chyba zpoždění

Takto se označuje chyba způsobená nesprávným spárováním dat v řídicí jednotce. Nejedná se tedy přímo o chybu měření, ale chybu záznamu měřených dat. Jmenovitě se jedná o časový rozdíl mezi zaznamenáním délky

a jí příslušícího úhlu. Protože zrcadlo se stále pohybuje, naměřený úhel může být takto přiřazen nesprávné vzdálenosti. Tato chyba nejvíce ovlivňuje skenery s oscilujícím zrcadlem. Protože je rychlost pohybu oscilujícího zrcadla proměnlivá, mění se i vliv této chyby na naměřená data. Skutečnou velikost zpoždění lze určit pouze odhadem z vynesného profilu měřených dat. Po jejím určení se opraví všechna měření s tím, že pro daný nálet se chyba zpoždění uvažuje konstantní.

U konstrukce skeneru s rotujícím zrcadlem není chyba zpoždění tak závažným problémem – protože zrcadlo rotuje konstantní rychlostí, případnou chybu lze opět opravit jako konstantu. Zanedbáním této opravy by ale hrozilo zanesení systematické chyby do celého souboru dat. Navíc je třeba si uvědomit, že zatímco chyba zpoždění by zůstala konstantní, totéž by neplatilo pro chybu výšky určovaných bodů. V mezních bodech FOV by bylo měření ovlivněno výrazněji, než poblíž nadiru, protože naměřené délky se na okrajích snímaného pásu od sebe mnohem více liší. Proto je třeba i s touto chybou při měření počítat. [11]

Chyba GNSS

Přesnost určení aktuální polohy letounu přímo ovlivňuje vypočtené absolutní souřadnice zaměřovaných bodů. Hlavním faktorem je zde počet satelitů, které jsou momentálně v dosahu GNSS přijímače. Z většího počtu družic získáváme větší počet měření a tím se zpřesňuje výsledná vyrovnaná poloha. Základním předpokladem pro měření je inicializace přijímače, tedy určení polohy na základě všech dostupných signálů z družic. Mluvíme o tzv. výpočtu ambiguit, tedy určení počtu celých vlnových délek signálu mezi každou družicí a přijímačem. V zásadě jde o přeурčenu soustavu rovnic, jejímž vyrovnaním získáváme vyrovnanou polohu přijímače. Čím více satelitů se v dosahu přijímače nachází, tím více přeурčena je soustava a vyrovnaní je tak přesnější. Inicializace je provedena před startem měření a musí být aktualizována během celého měření. Pokud dojde ke ztrátě inicializace, tzn. GNSS přijímač nedokáže v danou chvíli nalézt vyrovnané řešení soustavy, musí být měření dočasně přerušeno. Bez vyrovnaní totiž lze polohu určit pouze velice přibližně s chybou až několika metrů. [11]

Určená poloha je ještě zpřesněna pozemní referenční stanicí, resp. sítí referenčních stanic. Jedná se GNSS přijímače na bodech přesně určených

v systému ETRS, které kontinuálně zaznamenávají své naměřené GNSS souřadnice. Pomocí rozdílů mezi naměřenými a skutečnými souřadnicemi lze pak reálném čase i v rámci post-processingu odstranit další chyby určení polohy. Především jde o vliv ionosféry a troposféry, vliv mohou hrát ale např. i drobné odchylky v drahách družic. Systém vyrovnání aktuálních souřadnic pomocí sítě referenčních stanic je velice komplikovaný a jeho rozbor by byl nad rámec této práce. Zájemce o další informace nechtě je odkázán např. na stránky sítě referenčních stanic CZEPOS provozované ČÚZK: <http://czeapos.cuzk.cz>. Výsledkem vyrovnání jsou prostorové souřadnice s polohovou přesností v řádu jednotek centimetrů. [11], [2]

Chyba INS

Systém INS vnáší do měření několik druhů chyb. Především je třeba si uvědomit, v jakém souřadnicovém systému jsou data sbírána, tedy v systému GPS nad referenčním elipsoidem WGS84. Určované výšky bodů jsou proto výškami elipsoidickými (= geodetickými), tedy kolmými vzdálenostmi po přímce od povrchu referenčního elipsoidu. Přestože elipsoid je definován tak, aby co nejlépe aproximoval rozložení hmoty v zemském tělese, skutečnost je mnohem složitější. Konstantní hladina elipsoidické výšky se totiž rozchází s nulovou hladinovou plochou Zemské tíže. Rozdíl mezi elipsoidem a geoidem nazýváme geoidickou výškou a lze ho s určitou mírou přesnosti odvodit z gravimetrických měření. Zatímco tedy GNSS jednotka měří polohu letadla v absolutních souřadnicích vzhledem k zemskému elipsoidu, soustava gyroskopů a akcelerometrů je ovlivňována i reálným tíhovým polem Země. Zde právě může docházet k chybám, obzvláště v místech výrazného zvlnění geoidu. Tyto chyby ale neovlivňují přímo měření, proto je možné odstranit je až při dodatečném zpracování dat. K tomu je samozřejmě potřeba co nejpřesnějšího gravimetrického modelu snímané oblasti. [11]

Gyroskopické měření je dále zatíženo chybami jako odklon, snos a šum o celkové hodnotě $0,01-0,75^\circ \cdot h^{-1}$ [11]. Odklon a snos lze odstranit na základě kalibrace, šum je ale proměnlivý a nelze ho předem definovat. Projevuje se celkovým ohybem nebo torzí měřených pásů. Stále se ale jedná o chybu systematickou, lze ji tedy odstranit během post-processingu výpočtem modelu chyb. Protože se chyba mění, je třeba ji vypočítat a odstranit pro každý náletový pás zvlášť. [11]

Chyby integrace

Podobně jako chyba zpoždění značila chybu v synchronizaci dvou údajů přijímaných řídicí jednotkou, souvisí chyba integrace s časovou chybou vzniklou při komunikaci řídicí a kontrolní jednotky (IMU). Každá ze tří hlavních komponent systému LLS má vlastní hodiny, které by měly být v ideálním případě dokonale synchronizované. Přestože jsou systémem pps všechny propojeny s GPS časem, jednotlivé části systému měří data s řádově vyšší frekvencí, než s jakou je GPS čas aktualizován. Zatímco frekvence měření GPS času je uváděna v jednotkách Hz, IMU zaznamenává data s frekvencí cca 200 Hz [11] a laserový skener až 400 kHz [10]. Časy mezi jednotlivými impulsy systému ppm je tedy třeba interpolovat. Systematické chyby se odstraní v rámci předletové kalibrace či následného zpracování dat. Problém je s chybami způsobenými např. turbulencí – při prudkých nerovnoměrných pohybech je lineární interpolace časů mezi signály nedostatečná a zanáší do systému chybu integrace. Tento druh chyb není možné z měření odstranit a lze ho jen minimalizovat pomocí vhodného plánování náletů. [11]

2.4 Projekt tvorby nového výškopisu ČR

Projekt tvorby nového výškopisu ČR vznikl jako reakce na nedostačující přesnost stávajícího výškopisu, obzvláště v některých částech republiky. Bylo rozhodnuto o novém mapování celého území metodou leteckého laserového skenování. Projekt je realizován ZÚ Praha, zpracování dat a tvorbu výsledných produktů přitom zajišťuje odbor ZÚ v Pardubicích ve spolupráci s oddělením fotogrammetrie Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce [15].

Sběr dat

Sběr dat pro tvorbu nového výškopisu probíhá ve třech etapách. Podobně jako u fotogrammetrického snímání je plocha ČR rozdělena od západu k východu do tří pásů a sběr dat probíhá ve třech ročních etapách. Samotné skenování se provádí pokud možno mimo hlavní vegetační období a období sněhové pokrývky.

V praxi bylo skenováno nejdříve pásmo Střed v období od 20. 11. 2009 do 9. 10. 2010. Důvodem dokončení až v hlavním vegetačním období byla návštěva amerického prezidenta a poté erupce islandské sopky v květnu 2011. Popílek rozptýlený v ovzduší tehdy zastavil letecký provoz nad většinou Evropy po dobu více než tři týdnů. Po pásmu Střed následovalo pásmo Západ, jeho skenování plynule navázalo v rozmezí dat 11. 10. 2010 až 27. 6. 2011 za téměř ideálních podmínek [12]. V době vzniku této práce probíhá skenování posledního pásma – pásma Východ.

Kromě LLS probíhal také pozemní sběr referenčních dat pro posouzení přesnosti a případně i korekce výsledného DMR. V letech 2010–2011 tak bylo zaměřeno 29 lokalit v pásmu Střed.

Použité vybavení

Ke skenování se používal skener Riegl LMS Q-680i nainstalovaný na letounu Turbolet L410FG. Jedná se o nástupce skeneru LMS-Q560, kterým byla pořizována data v projektu Zkušebního leteckého skenování v letech 2008-09 [12]. LMS Q-680i je kompaktní letecký skener s rotujícím zrcadlem. Emitorem záření je pulsní laser s frekvencí blízkou infračervenému záření. Divergence paprsku je menší než 0,5 rad, délka impulsu 3 ns. Efektivní frekvence měření dálkoměru uváděná výrobcem je 266 kHz. Celý skener by pak měl být schopný snímat až 200 řad za sekundu s pevně daným úhlem záběru 60° [10]. Data pořízená skenerem obsahují celý digitalizovaný odraz impulsu, jedná se tedy o tzv. full-wave skener. [12]

V letadle je skener umístěn tak, že rovina rozmítaného paprsku je nakloněna přibližně o 14° vpřed ve směru letu. 12° je výsledkem montáže skeneru a má za účel odstranit nepříznivý vliv planparalelního skla zakrývajících spodní část trupu letadla. další 2° potom činí samotná poloha letounu během skenování [12].

Výsledné produkty

Výstupním produktem samotného LLS bude soubor výškových bodů pokrývajících celé území ČR. Následnými automatizovanými i manuálními postupy budou tato data klasifikována do tříd podle způsobu odrazu. Z těchto

klasifikovaných dat budou vytvořeny následující realizační produkty [9]:

- **Digitální model reliéfu území ČR 4. generace (DMR 4G)**
 - mříž (GRID) – pravidelná síť čtverců 5×5 m
 - očekávaná střední chyba výšky
 - $m_h = 0,30$ m v odkrytém terénu
 - $m_h = 1$ m v zalesněném terénu
 - vznik již během LLS šest měsíců po dokončení snímání daného pásu
 - z celého území do jednoho roku po dokončení skenování
- **Digitální model reliéfu území ČR 5. generace (DMR 5G)**
 - nepravidelná síť vybraných výškových bodů (TIN)
 - očekávaná střední chyba výšky
 - $m_h = 0,18$ m v odkrytém terénu
 - $m_h = 0,30$ m v zalesněném terénu
 - plánované dokončení: tři roky po dokončení skenování celého území ČR
- **Digitální model povrchu území ČR 1. generace (DMP 1G)**
 - nepravidelná síť vybraných výškových bodů (TIN)
 - očekávaná střední chyba výšky
 - $m_h = 0,4$ m pro přesně vymezené prostorové objekty
 - $m_h = 0,7$ m pro objekty přesně nevymezené
 - plánované dokončení: tři roky po dokončení skenování celého území ČR

Produkty DMR 5G a DMP 1G se stanou primárními výškovými modely území ČR, ze kterých budou odvozovány mapové a jiné produkty dle potřeb uživatelů [9].

Kapitola 3

Sběr dat

Součástí této práce byl i samotný sběr referenčních dat ke zkoumání přesnosti. Ten se proběhl v několika fázích:

První fáze obnášela hlavně přípravné práce. Spočívala v rozmyšlení kritérií, která budou u zaměřovaných lokalit sledována a shromáždění potřebných informací o krajině. V této fázi byla také vytvořena vizualizace sklonů v okolí Plzně, která je popsána blíže v kapitole 3.1 a sloužila ke snadnějšímu nalezení vhodných lokalit v terénu.

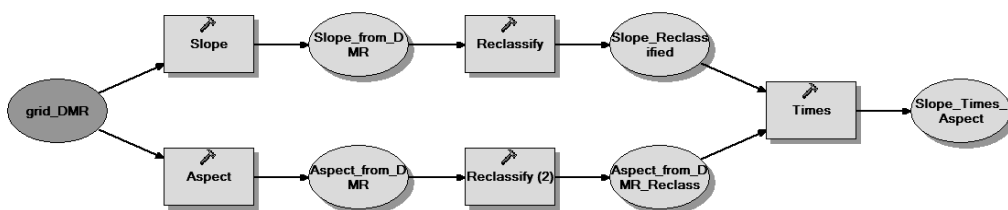
Druhá fáze se sestávala z vlastních geodetických prací - pomocí GNSS přijímače s podporou technologie RTK a totální stanice bylo zaměřeno přes 600 bodů na dvaceti lokalitách v okolí cca 25 km kolem města Plzně. Šlo o lokality výlučně v extravilánu se zastoupením různých druhů krajinného pokryvu a různé sklonitosti. Součástí bylo i zpracování dat v programu GROMA do podoby seznamu vyrovnaných souřadnic všech bodů.

Poslední fáze spočívala v uložení dat do prostorové databáze typu *ESRI Geodatabase*. Její struktura byla navržena speciálně pro tento účel a její přínos spočíval v přehledné vizualizaci naměřených dat a k usnadnění dalších výpočtů. Databáze také teoreticky umožňuje uložení dalších měřených dat, kterými by pak mohly být výsledky práce zpřesňovány.

3.1 Příprava k měření

Tvorba vizualizace sklonitosti terénu

Pro zefektivnění terénních prací byla před vlastním měřením vytvořena modální vizualizace svažitosti terénu v okolí města Plzně. Měla posloužit k předběžnému výběru vhodných lokalit. Jako zdroj výškových dat byl použit rastrový DMR vytvořený z dat satelitní altimetrie. Pro zobrazení polohopisu pak posloužily vrstvy lesů, sídel a komunikací z databáze ArcČR 2.1. Vlastní vizualizace spočívala v transformaci rastrového modelu reliéfu na plynulý rastrový model sklonů. V tom byly potom barevně sjednoceny oblasti spadající do jednotlivých tříd sklonitosti. Navíc byla znázorněna částečně i orientace svahů, konkrétně byly rozlišeny svahy se severní a jižní expozicí od svahů s expozicí západní a východní. Nakonec byly přidány vektorové vrstvy lesů, sídel a komunikací, vytvořena vhodná symbologie a následně i legenda. Všechny práce probíhaly v prostředí programového balíku ArcInfo, schéma tvorby vizualizace je patrné z obr. 3.1.

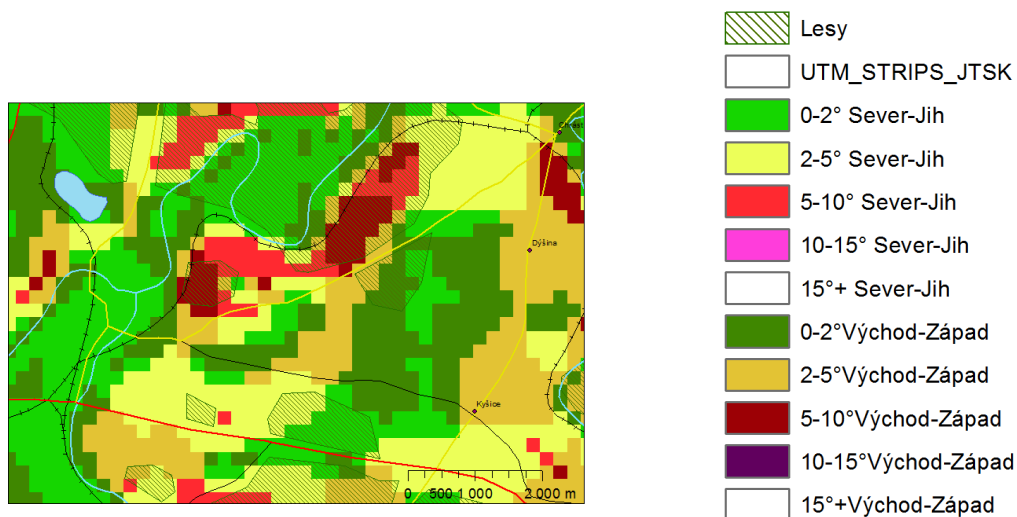


Obrázek 3.1: Schéma tvorby vizualizace sklonů v programu ArcGIS.

Kritéria výběru lokalit

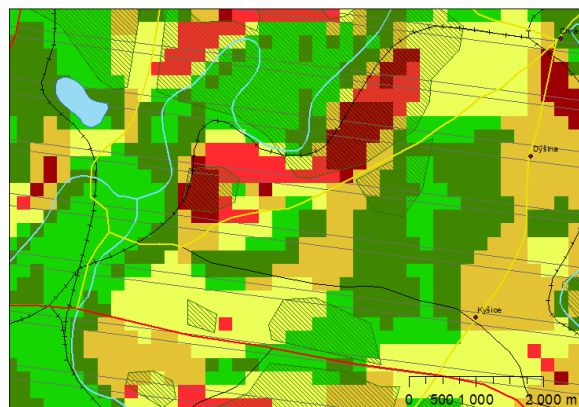
Původním záměrem bylo zaměřit alespoň dvě lokality pro každou kombinaci kategorie svažitosti a krajinného pokryvu. Již z prvního pohledu na vytvořenou vizualizaci ale bylo zřejmé, že některé kombinace budou v terénu obtížně k nalezení. Jednalo se především o silnice a louky ve vyšších kategoriích sklonitosti. Jinak se ale vizualizace zdála být dobře použitelná pro daný účel. Byly z ní patrné kategorie sklonů zobrazené výrazně odlišnými barvami a směr sklonu znázorněný různou saturací barvy. U sklonu byly rozlišeny pouze dva základní směry, jak již bylo uvedeno dříve. Metodou překrytu byly dále zobrazeny plochy lesů jako šrafované oblasti. Dodatečným

kritériem bylo ještě vybírat oblasti skenované pokud možno v rámci různých přeletů, k tomu byla v digitální podobě vizualizována ještě vrstva skenovaných pásů; ta ale pro zachování čitelnosti nebyla nakonec zahrnuta verze pro tisk. Výřez z obou variant včetně legendy je možné vidět na obr. 3.2.



(a) Podoba k tisku

(b) Legenda



(c) Přidaná vrstva přeletů

Obrázek 3.2: Ukázka hotové vizualizace na malém výřezu

3.2 Sběr dat pozemním měřením

Použité vybavení

K měření v terénu bylo použito vybavení laskavě zapůjčené oddělením geomatiky ZČU. Jednalo se o GNSS RTK přístroj *Topcon HiPer+* ovládaným pomocí PDA *Topcon FC-100*, totální stanici *Topcon GTS-312* a potřebné příslušenství. Absolutní přesnost měření GNSS metodou RTK při použití sítě referenčních stanic CZEPOS vykazuje střední chybu $m_{xy} \sim 1\text{cm}$ v poloze a $m_h \sim 3\text{cm}$ ve výšce nad elipsoidem (= geodetická výška) [2]. Protože nebylo potřeba provádět transformaci do S-JTSK, můžeme tuto hodnotu považovat za výslednou absolutní polohovou přesnost určení bodu. Totální stanice potom disponuje dle výrobce odečítáním horizontálního i vertikálního úhlu se střední chybou 3". Přesnost vestavěného hranolového dálkoměru je $2\text{mm} + 2\text{ppm}$.

Vyhledání lokalit v terénu

Po vytipování potenciálně vhodných lokalit dle vizualizace následovala rekognoskace těchto míst v terénu. Bylo potřeba splnit několik podmínek:

- lokalita se nachází v extravilánu
- má přibližně čtvercový půdorys s délkou strany min. 25 m, u silnice obdélník s delší stranou min. 30 m
- lokalitu pokrývá homogenní půdní kryt, zařaditelný do jedné z těchto kategorií
 - **zpevněná plocha** – plocha souvisle pokrytá asfaltem nebo betonem, pokud možno bez výmolů a jiných lokálních nerovností
 - **louka, pole** – pole oseté různými plodinami, obdělávaná louka či travnatá plocha ležící ladem
 - **zalesněný povrch** – opadavý či neopadavý les
- sklon po spádnici je v rozmezí 0 – 15°, lokalitu lze tedy zařadit do jedné ze čtyř zkoumaných kategorií

- sklonitost ani orientace svahu se výrazně nemění po celé ploše lokality

Bohužel se ukázalo, že v praxi se sklony vypočtené z rastrového DMR příliš neshodují se skutečným reliéfem terénu, pravděpodobně hlavně kvůli nedostatečnému rozlišení použitých rastrů. Přesto byla vizualizace užitečná alespoň k hrubé lokalizaci oblastí s větší či naopak menší sklonitostí svahů. Navíc poměrně přesně zobrazovala síť komunikací a zalesněné plochy. Do které kategorie sklonitosti lokalita přesně spadá, bylo možné tedy pouze odhadnout – ani v terénu neexistoval účinný způsob, jak sklonitost určit před samotným měřením. Protože ale měření probíhalo postupně v delším časovém rozmezí, byly výsledky vyhodnocovány průběžně a následně na základě zkušeností v terénu vyhledávány chybějící typy lokalit.

Celkem se z dvanácti možných kombinací kategorie sklonitosti a půdního krytu podařilo u deseti zaměřit alespoň jednu a u šesti alespoň dvě lokality s požadovanými vlastnostmi. Chybějící dva druhy, což byly silnice a pole se sklonem vyšším než 10° ($\sim 17\%$), je totiž na Plzeňsku velice obtížné nalézt. Obzvláště u silnic v otevřeném terénu by toto pravděpodobně byl problém i v celé ČR, protože v tak příkrých svazích bývá většinou stoupání zmírněno serpentínami.

Zaměření lokalit

Postup vlastního měření se lišil u odkrytých lokalit (pole, louky a silnice) a lokalit zakrytých vegetací (lesy a křoviny). V obou případech byl obvod lokality nejdříve vyznačen geodetickými jehlami a přeměřen pásmem pro přibližné určení rozměru. U lokalit v odkrytém terénu potom následovalo zaměření sítě bodů po celé ploše metodou GNSS RTK s dobou měření 5 sekund na každém bodě. Rovnoměrnost sítě byla zajištěna dodržováním přibližně stejných vzdáleností mezi body krokováním a současně zobrazením již zaměřených na displeji ovladače GNSS přijímače.

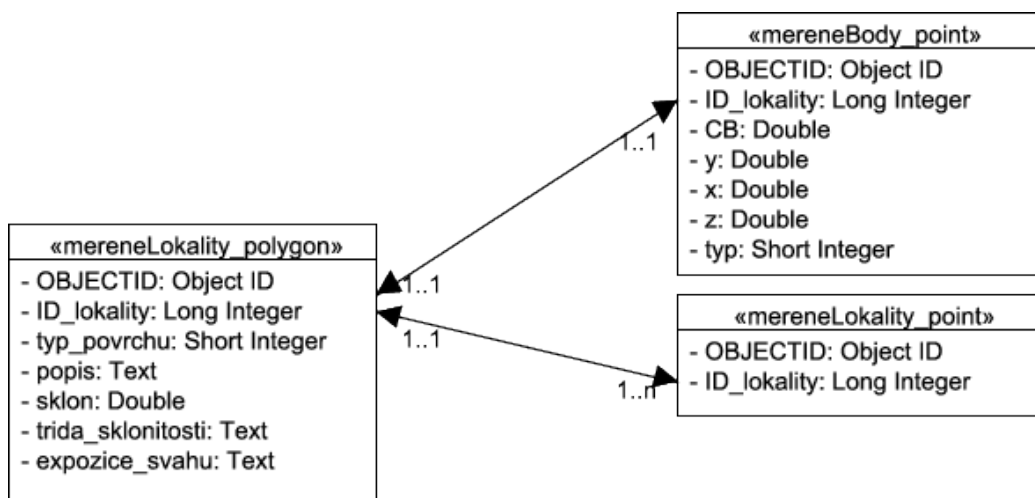
V zakrytých lokalitách nebylo možné přímé nasazení GNSS technologie; řešením byla kombinace s tachymetrickým měřením. Na vhodném místě v lese bylo zřízeno stanovisko totální stanice, jehož poloha byla určena kombinací protínání z úhlů a délek na minimálně tři orientační body v otevřeném terénu. Poloha orientačních bodů byla určena opět GNSS RTK metodou; měřeno bylo dvakrát po dobu 30 sekund s rozstupem obou měření alespoň 30

minut. Totální stanicí byly potom zaměřeny podrobné body lokality. Podmínka rovnoměrného rozložení bodů byla v tomto případě obtížněji dodržitelná, především kvůli překážkám v zarostlém terénu, přesto se jí podařilo alespoň zhruba dodržet díky použití geodetických jehel k signalizaci jednotlivých řad. S tachymetrickým měřením potřebným k této práci laskavě vypomohla studentka geomatiky Lenka Halasová.

Zpracování dat

Veškeré výpočty probíhaly v souřadnicovém systému UTM 33N, ve kterém jsou primárně ukládána i data z LLS ČR. Výšky byly určeny v systému geodetických výšek nad elipsoidem WGS84. Nejjednodušší ke zpracování byla data z přímého měření podrobných bodů metodou GNSS. Zde bylo zpracování omezeno v podstatě pouze na export příslušného seznamu souřadnic z GNSS zařízení a shromáždění všech těchto seznamů do jednoho souboru. Pro výpočet souřadnic podrobných bodů měřených tachymetricky byl požit geodetický software Groma 7, respektive časově omezená demoverze tohoto programu.

Nejprve byly vyrovnány souřadnice orientačních bodů zprůměrováním dvou měření jejich polohy. Při tom byly odhaleny hrubé chyby měření u dvou bodů – souřadnice určené dvěma měřeními na těchto bodech se lišily o desítky centimetrů. Původ této chyby se nepodařilo určit, pravděpodobně ale šlo o chybnou inicializaci GNSS přijímače. U těchto dvou bodů tedy musely být bez kontroly přijaty souřadnice z jediného správného měření. S vyrovnanými souřadnicemi orientačních bodů bylo potom možné určit polohu stanovisek a následně i podrobných bodů. U výpočtu polohy volných stanovisek se vždy jednalo o přeúčené rovnice, proto existovala kontrola správné orientace v podobě oprav orientace, délky a převýšení. Tyto dosahovaly maximálně jednotek centimetrů u vodorovné délky a jednotek milimetrů u převýšení. Protokoly všech výpočtů byly archivovány a jsou k nahlédnutí jako Příloha C této práce. Souřadnice všech podrobných bodů byly nakonec spolu s označením lokality a způsobu zaměření bodu uloženy v jednom souboru typu csv, který je obsažen v příloženém kompaktním disku.



Obrázek 3.3: Struktura navržené geodatabáze.

3.3 Import do geodatabáze

Požadavky na databázi a návrh struktury

Prvotním účelem geodatabáze bylo přehledné uložení všech naměřených dat spolu s potřebnými metadaty. Základní jednotkou byl zaměřený podrobný bod, dále byla definována měřená lokalita jako minimální ohraničující oblast všech zaměřených bodů do ní spadajících. V prvotním návrhu geodatabáze tedy figurovaly pouze dvě prvkové třídy. Třída *mereneBody_point* uchovávala číslo podrobného bodu, prostorové souřadnice a způsob zaměření (GNSS či tachymetrie). Cizí klíč s identifikátorem lokality odkazoval na příslušnou lokalitu do nadřazené prvkové třídy lokalit. Ta byla nazvána *mereneLokalita_polygon* a uchovávala o lokalitách další údaje, především třídu sklonitosti a typ povrchu. Dodatečně byla přidána ještě prvková třída *mereneLokalita_point* pro reprezentaci lokalit jedním bodem. Ta byla též propojena s třídou polygonů lokalit a měla sloužit hlavně pro přehlednější vizualizaci lokalit při menším měřítku. Jednoduchý UML diagram zobrazující strukturu geodatabáze je možné vidět na obr. 3.3

Naplnění daty a zajištění konzistence

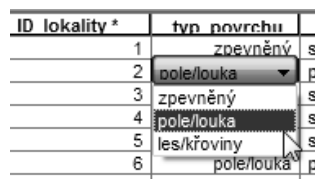
Po vytvoření návrhu databáze následovalo vytvoření prázdných prvkových tříd dle požadované struktury. K tomu byl použit program ArcCatalog. Jak je patrné z diagramu na obr. 3.3, vznikly dvě bodové a jedna polygonová prvková třída. Všechna data měla být uchovávána v systému souřadnic UTM 33N, který byl tedy použit i pro geodatabázi.

Dalším úkonem provedeným ještě před naplněním databáze bylo vytvoření tzv. *subtypů*. Subtypem je sloupec v prvkové třídě, který může nabývat pouze omezeného počtu hodnot, což umožňuje snadnější organizaci i vizualizaci dat. Sloupec totiž fyzicky uchovává pouze celé číslo, obsah ale uživateli prezentuje nejčastěji jako textovou hodnotu, která je danému číslu přiřazena v procesu tvorby geodatabáze. Jako příklad je možné uvést sloupec *typ_povrchu* ve třídě *mereneLokalita_polygon*, popisující druh krajinného pokryvu. Pro tento sloupec byl vytvořen subtyp, umožňující nastavit tři hodnoty:

- 0: zpevněný povrch
- 1: pole/louka
- 2: les/křoviny

Při hromadném importu tedy stačí do sloupce vyplnit celočíselné hodnoty v rozmezí 0-2 a v programu ArcInfo se již místo těchto hodnot vypisují přiřazené textové řetězce. U manuální editace atributové tabulky nám potom program ArcMap nabízí výčet možných hodnot v textové formě pomocí roletové nabídky (viz obr. 3.4). Podobným způsobem je řešeno také rozlišení bodů zaměřených přímo GNSS a bodů zaměřených tachymetricky. Bohužel struktura ESRI geodatabáze neumožňuje použití více subtypů u jedné prvkové třídy.

Posledním přípravným krokem byla tvorba potřebných relací mezi tabulkami. Tato funkce je obsažena v programu ArcCatalog; v několika dialogích se postupně definují všechny potřebné vlastnosti spojení. Po vytvoření vazeb mezi tabulkami



ID lokality *	typ_povrchu
1	zpevněný
2	pole/louka
3	zpevněný
4	pole/louka
5	les/křoviny
6	pole/louka

Obrázek 3.4: Editace subtypu.

již byla databáze prakticky hotová a stačilo ji pouze naplnit měřeními daty. Protože všechna data již byla shromážděna v jediném souboru typu *csv*, import byl realizován přes soubor formátu MS Excel 97-2003. Ten je možné importovat přímo do požadované prvkové třídy programem ArcCatalog. Tímto způsobem byla naplněna třída bodů. Prostorové informace polygonové prvkové třídy lokalit byly následně vygenerovány nástrojem *Minimum Bounding Geometry* v programu ArcMap. Atributové informace lokalit byly vyplněny ručně z poznámek pořizovaných při sběru dat.

Poslední prvková třída reprezentující každou lokalitu jediným bodem byla také naplněna nástrojem programu ArcMap, konkrétně *Feature to Point*. Body vznikly v geometrických těžištích lokalit a mohou být považovány za jejich korektní bodovou reprezentaci. Na obr. 3.5 je náhled všech naplněných prvkových tříd včetně demonstrace provázání prvkových tříd – po výběru lokality v jedné atributové tabulce lze okamžitě zvýraznit související záznamy v ostatních tabulkách.

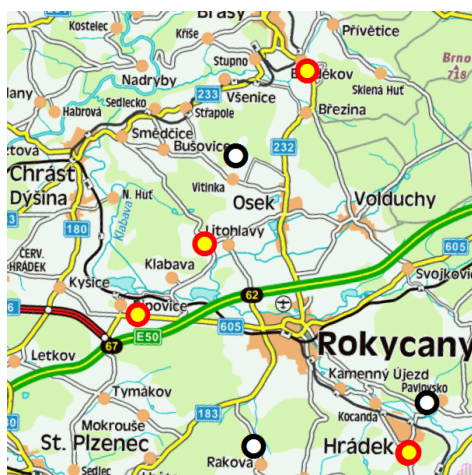
The screenshot displays three data tables in ArcGIS, demonstrating their relationships. The top table, 'mereneBody_point', lists 15 points with columns for OBJECTID, SHAPE, ID lokalita, OBJECTID, CB, x, y, z, lok, typ, and ID lokalita. The middle table, 'mereneLokalita_point', shows 15 points with columns for OBJECTID, SHAPE, ID lokalita, typ povrchu, popis, SHAPE Length, SHAPE Area, sklon, trida sklonosti, and expozice svahu. The bottom table, 'mereneLokalita_polygon', lists 14 polygons with columns for OBJECTID, Shape, CB, y, x, z, lok, typ, and ID lokalita. The tables are linked by the 'ID lokalita' field, as indicated by the '1 out of 20 Selected' status in the first two tables and '32 out of 596 Selected' in the third.

Obrázek 3.5: Propojení prvkových tříd relačními vazbami.

Vizualizace a další využití dat

Díky jednoduché struktuře geodatabáze nebyla vizualizace sebraných dat obtížným úkolem. V programu ArcMap byla zvolena reprezentace jednotlivých prvků v závislosti na měřítku tak, aby byl výsledek dobře čitelný v celém rozsahu uvažovaných měřítek, tj. zhruba 1 : 500 až 1 : 250 000. U malých měřítek jsou lokality zobrazeny pouze bodově s použitím odlišného symbolu pro GNSS a tachymetrické lokality. Při přibližování se potom objevují lokality jako polygony s barevným rozlišením podle druhu půdního krytu. Při měřítkách nad 1:5 000 se zobrazují i jednotlivé podrobné body. Navíc byly připojeny jako podklad dvě mapy z geoserveru Cenia; do měřítka 1:25 000 se zobrazuje silniční mapa ČR, u větších měřítek aktuální ortofotomapa.

Kompletní vizualizace je uložena v jediném mxd souboru napojeném pomocí relativních cest na geodatabázi. Je tedy přenosná a je možné ji otevřít pomocí programu ArcMap přímo z jejího umístění mezi přílohami této práce na CD. Náhled vizualizace při malém a velkém měřítku je zobrazen na obr. 3.6.



(a) Měřítko 1:100 000



(b) Měřítko 1:500 (posun způsoben zobrazením dat do S-JTSK v programu ArcGIS)

Obrázek 3.6: Vizualizace dat GDB závislá na měřítku.

Kapitola 4

Posouzení přesnosti dat LLS

4.1 Formát dat a předzpracování

Pro porovnání přesnosti data LLS bezplatně poskytl ZÚ Praha. Potřebné soubory dat byly zaslány na základě souřadnic středů referenčních lokalit. Jednalo se o složky zpravidla s jedním až třemi soubory typu LAS; v každém z nich byl výřez dat z jednoho přeletu nad zkoumanou oblastí.

Datový formát LAS

Jedná se široce uznávaný binární formát sloužící pro záznam, analýzu a přenos dat z laserového skenování. Ke vzniku tohoto formátu došlo díky dohodě nejvýznamnějších subjektů v oboru, jako např. Z/I Imaging, Optech, Leica GeoSystems či topografické centrum americké armády.

LAS formát je alternativou k různým chráněným ASCII formátům používaným dříve jednotlivými společnostmi. Slouží k výměně dat z laserového skenování mezi poskytovatelem a zákazníkem. Problém s proprietárními formáty chráněnými patenty vznikal hlavně při potřebě přenést data mezi různými pracovními procesy, což otevřený formát jednoznačně zjednodušil. Další nevýhodou ASCII dat je jejich objem. Soubory mohou být extrémně velké, a to i pro relativně malá skenovaná území. Velký objem dat zvyšuje výpo-

četní náročnost všech úkonů při jejich zpracování. V neposlední řadě se při tomto způsobu často neukládají surová data související přímo se sběrem dat. To komplikuje testování integrity dat v rámci následného zpracování.

Mnoho z těchto problémů použití binárního formátu LAS úspěšně eliminuje. Vlastníkem jeho specifikace je Americká společnost pro fotogrammetrii a dálkový průzkum (ASPRS), která také vydává pravidelné aktualizace. Poslední verze 1.4 pochází z roku 2011 a zahrnuje taková vylepšení, jako podporu vícesenzorových systémů či záznam až 15 odražených impulsů při použití modulace signálu.

Programy pro práci s formátem LAS

Pro prohlížení a práci s LAS soubory existuje řada programů. Z prohlížečů dat je možné jmenovat například PointVue LE, který je k dispozici jako samostatný program umožňující vizualizaci bodů LAS v interaktivním 3D pohledu, existuje ale také v podobě rozšíření pro programový balík ArcInfo.

Pro editaci se jako velice užitečná se ukázala sada nástrojů LAStools vyvíjená Dr. Martinem Isenburgem. LAStools je pro studijní účely zdarma ke stažení na internetových stránkách projektu, pro profesionální použití existuje i jeho komerční verze. Obsahuje nástroje pro analýzu, modifikaci i konverzi LAS souborů např. do vrstevnicového modelu, ESRI shapefile či textového seznamu souřadnic s uživatelsky nastavitelným formátem. LAStools také umožňují slučovat či rozdělovat LAS soubory dle oblastí, oříznout data pouze na požadovaný prostorový rámec, vytvořit ohraničující polygon všech bodů ve formátu ESRI shapefile a mnoho dalších operací. Pro účely diplomové práce byly použity tyto nástroje:

- *lasground.exe* – nalezení bodů odražených přímo od povrchu a jejich odlišení od odrazů od vegetace a případných hrubých chyb
- *lasmerge.exe* – sloučení několika LAS souborů do jediného
- *las2shp.exe* – transformace LAS souboru na soubor SHP typu point či multipoint
- *las2txt.exe* – extrakce souřadnic jednotlivých bodů do textového souboru s uživatelsky definovaným výčtem a pořadím položek

4.2 Poskytnutá data

Předzpracování poskytnutých dat

Jak již bylo zmíněno, data laskavě poskytnutá ZÚ Praha byla dodána v binárním formátu LAS. Souřadnicový systém vycházel z použití univerzálního transverzálního Mercatorovo zobrazení pro zónu 33N, zkráceně UTM 33N a geodetických výšek nad elipsoidem WGS 84. Jedná se tedy o stejný souřadnicový systém, v jakém byly zaměřeny referenční lokality a v tomto ohledu nebylo potřeba provádět žádnou transformaci či korekci.

Protože ke každé lokalitě byly poskytnuty zpravidla alespoň dva LAS soubory, bylo nejprve třeba tato data analyzovat. Ukázalo se, že některé ze souborů neobsahují žádné body; to lze vysvětlit například tím, že zájmové území se nalézalo na okraji některého snímaného pásu a žádné body zde nebyly zaměřeny. Přesto byl soubor přiložen, protože snímaný pás incidoval se zájmovou lokalitou. I po vyřazení prázdných souborů zůstalo k některým lokalitám přiřazeno více LAS souborů.

Aby se předešlo chybám při případném sloučení nesourodých dat, byly ve třech vybraných lokalitách porovnány příslušné LAS soubory. Kritériem výběru bylo především to, aby srovnávané soubory měly dostatečný překryt a aby v místě překrytu měly podobnou hustotu bodů. Z každého LAS souboru byl vygenerován DMT a modely pak byly mezi sebou porovnány metodou robustní kontroly přesnosti. Průměrné i systematické chyby vypočtené při těchto testech se pohybovaly v řádech jednotek centimetrů. S ohledem na výsledek tohoto porovnání bylo rozhodnuto o sloučení všech neprázdných LAS souborů u dotčených lokalit.

V praxi bylo sloučení provedeno spolu s konverzí dat do potřebných formátů. Jedním výstupním formátem byl prostý text s hodnotami oddělenými tabulátorem. Jmenovitě soubor obsahoval nejprve pořadové číslo bodu v rámci lokality a po něm následovaly souřadnice v pořadí x, y, z. Převod byl realizován programem `las2txt` příkazem

```
las2txt -i *.las -merged -o "01-LLS.txt" -parse Mxyz
```

Druhým výstupním formátem byl ESRI shapefile pro zpracování v pro-

gramu ArcGIS. I v tomto případě byl použit program z LAStools – las2shp. LAS soubory z dané lokality byly sloučeny a převedeny příkazem

```
las2shp -i *.las
```

Pozn.: Později se ukázalo vhodnější data před převodem do shapefile filtrovat a odstranit tak nežádoucí odrazy od vegetace. To je blíže popsáno v kapitole 4.4.

4.3 Porovnání dat v programu Atlas DMT

Tvorba modelu terénu

Program Atlas DMT pracuje s vlastním formátem modelu terénu v podobě trojrozměrné trojúhelníkové sítě. Pomocí funkce *Generace modelu terénu* umožňuje vytvořit tento model z textového seznamu souřadnic, souboru typu DXF, souboru Kokeš STX či textového souboru v tzv. pevném formátu Atlas. u volného textového formátu, který byl pro tvorbu modelů použit, je potřeba v dalším dialogu definovat pořadí údajů o bodech, v jakém jsou uvedeny na řádku. Podmínkou je, aby v textovém souboru byl každý bod se všemi atributy na novém řádku a aby jednotlivé údaje byly odděleny tabulátory. Informace o uspořádání položek v souboru je pak možné uložit pro další použití, což šetří čas při opakované tvorbě modelů ze souborů stejného formátu. Po načtení textového souboru souřadnic se určí místo uložení modelu terénu a stiskem tlačítka *Start* se model vytvoří.

Model terénu je programem Atlas DMT na disku ukládán v deseti souborech s různými příponami, proto je vhodné pro model vytvořit speciální složku. Pro každou lokalitu byla tato složka vytvořena v adresářové struktuře projektu. Nástrojem *Generace modelu terénu* byly takto postupně vytvořeny modely terénu pro všechny lokality a způsoby měření, tj. celkem 40 modelů terénu. Modely byly uloženy do složek podle čísla lokality; ve složce LLS se tak nacházely po složkách všechny DMT z dat od ZÚ Praha, ve složce KM (= konvenční měření) byly k nalezení DMT vzniklé na základě dat z pozemního měření.

Protože data získaná pomocí LLS byla dodána v plném rozsahu bez odstranění nežádoucích bodů nad terénem (způsobených především odrazy od vegetace), musela být před zpracováním ještě upravena. Program Atlas DMT má pro tento případ speciální nástroj *Úprava výšek podle okolí*, ten ale bohužel není zahrnutý v licenci poskytované ZČU. Protože ale lokality nebyly příliš rozsáhlé, bylo možné odlehlá měření odstranit ze souboru ručně. Výhodou při tom byla znalost faktu, že zkoumané lokality byly homogenní plochy bez výrazných terénních zlomů. Manuální úprava DMT byla provedena ve dvou krocích:

1. **Odstranění bodů s maximální hodnotou souřadnice z z modelu;** vždy bylo odstraněno 100 nejvýše položených bodů, dokud z vizualizace nebylo patrné dostatečné vyhlazení
2. **Manuální odstranění zbylých nežádoucích bodů z oblasti zmapované pozemním měřením;** body byly opět vybírány ručně po zobrazení povrchu DMT s hypsometrickým vyjádřením výšek

Realizace metody robustní kontroly přesnosti

Vstupem této metody jsou dva modely ve formě TIN – kontrolovaný a referenční. V programu Atlas byly tedy postupně do jednoho výkresu importovány dva modely, jeden z dat LLS (= kontrolovaný model) a druhý vzniklý pomocí dat pozemního měření (= model referenční). Model LLS byl upraven odstraněním nežádoucích bodů vzniklých odrazem od vegetace, jak je popsáno výše a model získaný pozemním měřením byl opraven o dodatečně odhalenou systematickou chybu vzniklou špatně nastavenou výškou přijímače; všechny modely tedy byly v takové podobě, aby v rámci možností dané metody nejlépe popisovaly zkoumanou lokalitu.

Rozdílový model pro robustní kontrolu přesnosti vytvoříme v programu Atlas nástrojem *DMT > Úlohy nad DMT > Výpočty > Výpočet objemu*. Do příslušných polí se vybere hlavní (= kontrolovaný) a referenční DMT a tlačítkem *Start* se spustí výpočet. Výstupem výpočtu je kromě zobrazení výsledků na obrazovce též textový soubor, obsahující výsledek porovnání, tedy charakteristiky rozdílového modelu. Obsahuje především objemy V_+ a V_- , plochy A_+ a A_- (případně A_0) a celkové povrchy původních modelů. Charakteristiky přesnosti, jakými jsou například průměrná chyba a_h či systematická chyba c_h , je možné vypočítat se znalostí těchto charakteristik.

Zpracování výsledků

Všechny dílčí rozdíly byly zapsány do tabulkového editoru MS Excel, kde byla prováděna jejich další analýza a vizualizace. Především byly vypočteny výše zmíněné chyby, tedy chyba průměrná a_h a systematická c_h . Dále byl vypočten odhad základní úplné střední chyby charakterizující reálnou přesnost \hat{m}_h a odhad základní střední náhodné chyby $\hat{\sigma}_h$.

$$\begin{aligned}a_h &= \frac{V_{++} + |V_{-}|}{A} \\c_h &= \frac{V_{+-} + |V_{-}|}{A} \\ \hat{m}_h &= 1,25 \cdot a_h \\ \hat{\sigma}_h &= \sqrt{\hat{m}_h^2 - c_h^2}\end{aligned}\tag{4.1}$$

kde

V_+	...	celkový pozitivní objem rozdílového modelu
V_-	...	celkový negativní objem rozdílového modelu
a	...	plocha rozdílového modelu

Kvůli sledování zkoumaných závislostí byla data rozdělena do skupin dvěma způsoby:

1. **podle sklonitosti** – celkem pět skupin
2. **podle terénního pokryvu** – tři skupiny (zpevněný, nezpevněný, zalesněný)

Pro jednotlivé skupiny lokalit pak byly vypočteny souhrnně ukazatele přesnosti ve vzorcích (4.1) a v grafu byly zobrazeny v souvislosti s příslušným příznakem skupiny. Více o zpracování výsledků viz kapitolu 4.5.

4.4 Porovnání dat v programu ESRI ArcGIS

Pro porovnání dat v programu ArcGIS byla zvolena odlišná metodika inspirovaná projektem T. Dolanského [11]. Projekt byl zaměřen na hodnocení přesnosti LLS lokality NP Českého Švýcarska. Kvůli úspoře prostředků pro zaměření kontrolních lokalit autor použil stávající sítě bodů Polohového bodového pole ČR. Z databáze bodů vybral ty s klasickou stabilizací žulovým hranolem v terénu a s určenou nadmořskou výškou. Poté pouze rekognoskoval body v terénu a poznamenal si informace o okolním terénu, případně rozdíl výšek mezi vrcholem žulového kvádru a okolním terénem. Měření probíhalo v roce 2008 a data byla zpracovávána na TU v Drážďanech. Celkem 83 % testovaných bodů se vešlo s odchylkou do dvojnásobku udávané střední chyby 0,32 m. Směrodatná odchylka celého souboru byla stanovena na 1,26 m.

Pro hodnocení přesnosti LLS v programu ArcGIS v rámci této práce bylo použito podobného porovnání s tím rozdílem, že místo stabilizovaných bodů bodového pole byly použity vlastní zaměřené podrobné body lokalit. Toto však nemusí nutně znamenat krok zpět v otázce přesnosti referenčních dat. Výšky bodů PBP v Českém Švýcarsku nebyly určeny nivelací, ale pouze trigonometricky. Navíc v projektu LLS Českého Švýcarska se používaly souřadnice bodů v S-JTSK a výšky bodů v systému BpV. Docházelo tedy k určité chybě při převodu jak polohových, tak i výškových souřadnic ze systému ETRS. Naopak v rámci této práce probíhala všechna měření od začátku v souřadnicích UTM 33N, jehož transformace do souřadnic ETRS je na rozdíl od S-JTSK jednoznačně definovaná.

Příprava dat

V této fázi práce již existovaly upravené modely terénu v programu Atlas, proto bylo původní myšlenkou nějakým způsobem tato data přenést do prostředí ArcGIS. Ukázalo se, že jediným formátem, kterým lze DMT z programu Atlas exportovat je Autodesk DGN. Přestože ArcGIS by měl být schopen importovat tento typ souboru, nepodařilo se DMT otevřít. Model terénu bylo tedy třeba získat opět cestou od původních LAS souborů. Ke klasifikaci, která byla v programu Atlas prováděna ručně, byl tentokrát použit další z nástrojů LAsTools – *lasground*. Ten klasifikuje body z LAS souboru na ty, které leží na povrchu (nastaví vlastnost `class = 2`) a na ostatní body (`class = 1`). Využívá k tomu vlastní algoritmus, jehož chování lze navíc ovlivnit

parametry zadanými v příkazovém řádku. Lze tak buď manuálně přímo určit mezní hodnotu výškového skoku, odhadované střední hodnoty a rozptylu souboru dat, nebo použít některou přednastavenou sadu kritérií. Výchozí nastavení nástroje je pro snímky extravilánu. Pomocí parametrů *-town*, *-city*, nebo *-metro* lze zvolit sadu kritérií pro různé typy intravilánu od malých měst po oblasti zastavěné výškovými budovami. Na základě této klasifikace pak lze použít nástroj *las2shp* s přidaným parametrem tak, aby do .shp souboru byly převedeny pouze body klasifikované jako odraz od terénu.

Příklad sekvence příkazů:

```
C:\>lasmerge -i *.las -o lok01.las
```

```
C:\>lasground -i lok01.las -o 01_class.las
```

```
C:\>las2shp -i 01_class.las -keep_classification 2 -drop_classification 1 -o 01_LLS.shp
```

Prvním příkazem se sloučí všechny LAS soubory pro lokalitu do jednoho. Následně jsou klasifikovány a ty, které byly určeny jako ležící na povrchu jsou uloženy do .shp souboru. Touto sekvencí bychom vytvořili pro každou lokalitu vlastní shp soubor. V praxi byly po klasifikaci ještě jednou sloučeny všechny LAS soubory ze všech lokalit a vznikl tak jediný shapefile obsahující body LLS ze všech lokalit.

Tvorba TIN v programu ArcGIS

V programu ArcGIS byl pro tvorbu TIN modelu použit nástroj *3D Analyst Tools > TIN Management > Create TIN*. Jako vstup dokáže tento nástroj zpracovat různé typy prvkových tříd s jedinou podmínkou – musí obsahovat informaci o výškové souřadnici, v ArcGIS označované písmenem *Z* bez ohledu na typ výšky. V tomto případě se jednalo o geodetickou výšku *h*. Shapefile exportovaný pomocí *LAStools* byl typu *multipointZ*, což je základní výstupní formát nástroje *las2shp*. Nástrojem *Create TIN* byl tedy vytvořen povrch všech lokalit reprezentovaný nepravidelnou trojúhelníkovou sítí. Povrch pokrýval i oblasti mezi lokalitami; tam ho tvořily jen spojnice okrajů sousedních lokalit, jakkoli byly od sebe tyto vzdálené. Informace o výšce

v těchto místech ale byla pro testování nepodstatná, proto nebylo třeba jednotlivé lokality od sebe oddělovat.

Porovnání TIN z dat LLS s referenčními daty

Cílem bylo zjistit dílčí výškové rozdíly pro všechny referenční body (tj. body zaměřené konvenčním měřením). To znamenalo pro každý bod zaměřený pozemním měřením interpolovat bod na testovaném DMT a zaznamenat vzdálenost těchto dvou bodů. Opět se jednalo pouze o otázku použití vhodného nástroje z těch, které ArcGIS nabízí. Zde nejlépe posloužil nástroj *3D Analyst Tools > 3D Features > Add z Information*. Původně je určen k doplnění informace o výšce prvků s pomocí modelu reliéfu, který má uživatel k dispozici. Lze si představit, že právě tímto způsobem budou moci uživatelé doplňovat informace o výškách z nového DMR 5G.

Z modelu TIN byly tedy interpolovány body příslušné bodům referenčním. Vznikla tak nová prvková třída *body_LLS-interpolace*. Body v ní byly číselně označené shodně s polohově jim odpovídajícími referenčními body, lišily se pouze hodnotou výškové souřadnice h . Následně již bylo jednoduché vytvořit spojení tabulek obou prvkových tříd funkcí *Join* na základě právě čísla bodu a funkcí *Field Calculator* byly do nového sloupce hromadně vypočteny výškové rozdíly pro všechny body. Výsledek tohoto sloučení si lze prohlédnout v atributové tabulce souboru *body_UTM_33N.shp*. Tabulka byla nakonec exportována do tabulkového editoru pro provedení dalších výpočtů a statistik.

Výpočet hustoty zaměřených bodů LLS

Pro některé další aplikace, především pro zkoumání souladu s empirickým vzorcem W. Karla a K. Krause [1], bylo potřeba zjistit hustotu bodů zaměřených LLS na ploše referenčních lokalit. Provedení bylo opět realizováno v programu ArcGIS. Ze všech bodů nasnímaných LLS a klasifikovaných jako body na zemském povrchu (soubor *LLS_singlepoint.shp*) byly nástrojem *Select by Location* (výběr na základě polohy) vybrány ty body, které ležely v některém z polygonů reprezentujících měřené lokality. Z těch byla vytvořena nová prvková třída (*LLS_body_na_lokalitach.shp*). Poté byl použit nástroj *Spatial Join* sloužící k propojení atributových tabulek na základě

polohy příslušných objektů. Takto bylo ke každému bodu LLS přiřazeno číslo lokality a vznikla nová prvková třída *LLS_body_a_lokality.shp*.

Dále byla použita funkce *Summarize* pro sloučení všech záznamů se stejnou hodnotou v určitém sloupci – zde se jednalo o číslo lokality. Funkce *Summarize* vytvoří novou tabulku a do zvláštního sloupce zapíše, kolik položek bylo do každé řádky sloučeno – to v našem případě představuje počet bodů v lokalitě. Pomocí čísla lokality pak můžeme připojit i údaj o její ploše z tabulky polygonů lokalit. Ve výsledné tabulce *body_LLS_na_lokalitach_SUM* tak máme všechny potřebné údaje pro výpočet hustoty bodů LLS pro každou lokalitu. Výsledné hustoty bodů pro každou lokalitu je možné si prohlédnout v přiložené tabulce (Příloha A). Stejně tak všechny uvedené tabulky a soubory ArcGIS jsou součástí přílohy elektronické verze práce na CD a lze je zobrazit všechny najednou otevřením kompilace *porovnaní_ArcMap.mxd* v programu ArcMap 10.

Zpracování výsledků

Podobně jako u porovnání v programu Atlas i zde byly výsledky přeneseny do tabulkového editoru MS Excel. Tuto úlohu zjednodušila možnost kopírovat data přímo z tabulky ArcGIS do schránky Windows a to v podobě čitelné i pro Excel.

V tomto případě byla tabulka mnohem rozsáhlejší než u dat z programu Atlas, protože neobsahovala údaje pro jednotlivé lokality souhrnně, ale pro každý bod zvlášť. Sledovaným jevem byly ale opět rozdíly výšek; ty byly seskupeny do čtyř kategorií dle sklonitosti a do tří kategorií podle půdního krytu. Pro tyto skupiny byly vypočteny základní statistické ukazatele jako rozptyl, směrodatná odchylka a průměr. Dále byla určena úplná střední chyba a její složky, tedy náhodná a systematická chyba dle známých vzorců (4.2).

$$\begin{aligned}m_h &= \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n}} \\c_h &= \frac{\Sigma v}{n} \\a_h &= m_h - |c_h|\end{aligned}\tag{4.2}$$

kde

m_h	...	úplná střední chyba
c_h	...	systematická chyba
a_h	...	náhodná chyba
v	...	odchyly pro jednotlivé body souboru
n	...	celkový počet bodů v souboru

Data týkající se hustoty bodů byla též přenesena do samostatné tabulky, kde byly dopočteny průměrné hustoty bodů pro každou lokalitu. Následně byly tyto hodnoty zkopírovány i do listu pro souhrnné vyhodnocení výsledků. Některé tabulky jsou přiloženy na konci této práce, všechna data lze opět najít v elektronické podobě na přiloženém CD v souboru *porovnaní_komplet.xlsx*.

4.5 Zhodnocení a vizualizace výsledků

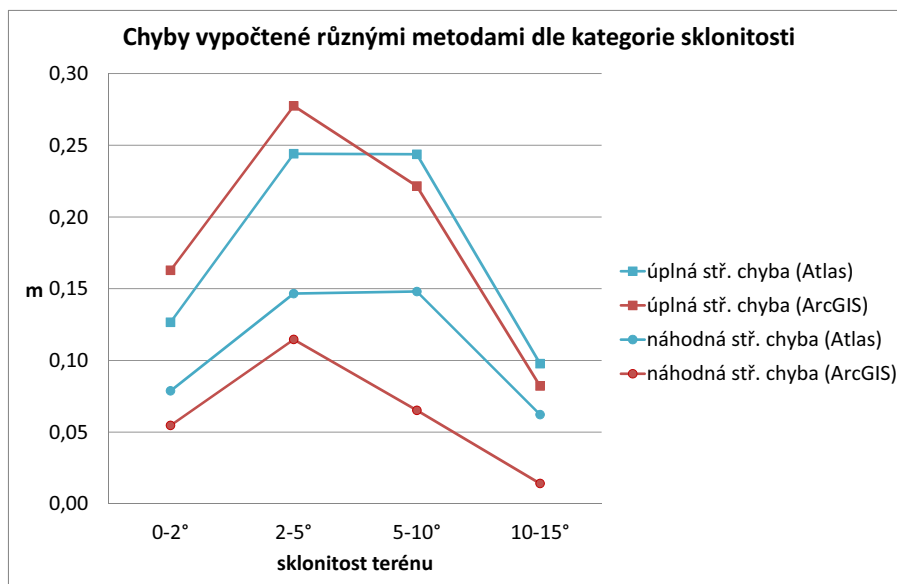
Pořízená data byla hodnocena s důrazem na několik různých aspektů. Především šlo o sledování vlivu svažitosti terénu a krajinného pokryvu na kvalitu dat LLS. Druhým hlediskem bylo prozkoumání souladu výsledků s empirickým vzorcem W. Karla a K. Krause [1] (dále jen *Krausův vzorec*) pro odhad střední chyby určení výšky při plošném mapování pomocí LLS. V neposlední řadě se také nabízela možnost vzájemného porovnání výsledků dvou použitých metod pro hodnocení přesnosti dat – tedy metody Robustní kontroly přesnosti realizované v programu Atlas a lokálního bodového porovnání v programu ArcGIS.

V úvodu této kapitoly je ještě třeba poznamenat, že přestože v rámci práce bylo zaměřeno více než 600 bodů na 20 lokalitách, po rozdělení lokalit do příslušných kategorií se nejedná o dostatečně rozsáhlé soubory pro spolehlivé statistické vyhodnocení. Přesto při opatrně provedených vizualizacích lze sledovat některé trendy, které by však musely být dále potvrzeny či vyvráceny použitím značně rozsáhlejšího souboru dat.

Posouzení vlivu sklonitosti terénu

Data byla seskupena do čtyř kategorií dle průměrné sklonitosti lokality. Meze kategorií byly zvoleny shodně s Tab. 1 v článku [5], tedy 2°, 5°, 10° a 15°. Jedna lokalita musela být ze zpracování vyřazena pro příliš vysoký sklon (29°). Ze zbylých lokalit pouze dvě spadaly do kategorie s nejvyšší sklonitostí 10–15°, ostatní kategorie byly naplněny rovnoměrně pěti až sedmi zástupci. Malé zastoupení lokalit s největším sklonem lze vysvětlit tak, že takto strmý terén se nalézá zpravidla jen v zalesněných či horských oblastech; během měření nebyla nalezena v okolí Plzně žádná lokalita se sklonem vyšším než 10° v otevřeném terénu.

Jak je vidět na obrázku 4.1, chyby zkoumané oběma metodami vykazují podobný trend. Snižující se přesnost s rostoucím sklonem svahu z grafu není prokazatelná, spíše naopak. I kdybychom z vyhodnocení vyřadili poslední kategorii kvůli nižšímu počtu zastoupených lokalit, stále nebude vliv sklonitosti na přesnost patrný.

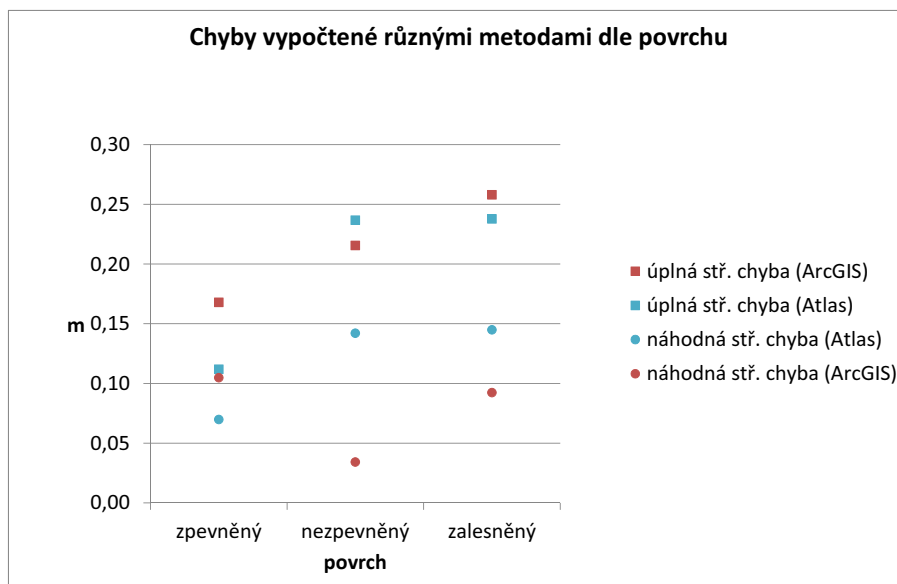


Obrázek 4.1: Vliv sklonitosti terénu.

Posouzení vlivu půdního krytu

Pro toto hodnocení byla data rozdělena do tří kategorií: zpevněný, nezpevněný a zalesněný povrch. Více o klasifikaci povrchů viz kapitolu 3.2. Kategorie byly naplněny rovnoměrně šesti až sedmi zástupci. Rovnoměrné rozdělení lokalit do skupin v tomto případě lze snadno vysvětlit tím, že zaměřovaný povrch je na rozdíl od svažitosti lokality v terénu okamžitě rozpoznatelný. Nebylo tak příliš obtížné zohlednit potřebu rovnoměrného zastoupení různých typů.

Výsledky porovnání si lze prohlédnout v příslušném grafu (obr. 4.2). Co se týče závislosti na povrchu, je patrný určitý nárůst úplné střední chyby s houstnoucím půdním krytem, a to obzvláště u chyby určené RKP. Za povšimnutí dále stojí hlavně nízké hodnoty úplné střední chyby – cca 25 cm – v zalesněném terénu. Vyšší chyba na nezpevněném povrchu může být způsobena např. orbou či jiným obděláním půdy – kontrolní měření mohla bohužel v nejhorším případě probíhat až rok po leteckém skenování lokality.



Obrázek 4.2: Vliv půdního krytu.

Posouzení souladu s Krausovým vzorcem

Krausův vzorec je určen pro odhad střední chyby v souboru dat získaných pomocí LLS. Vznikl úpravou více než sto let starého vzorce sestaveného topografem K. Koppem [1]:

$$\sigma_H = \sigma_Z + \sigma_G \cdot \tan\alpha \quad (4.3)$$

kde

σ_H	...	střední chyba výšky topografické mapy (dnes DMT)
σ_Z	...	střední chyba určení výšky v terénu
σ_G	...	střední chyba planimetrie
α	...	sklon terénu

Po úpravě navržené W. Karlem a K. Krausem [1] dostáváme tuto verzi vzorce použitelnou pro LLS:

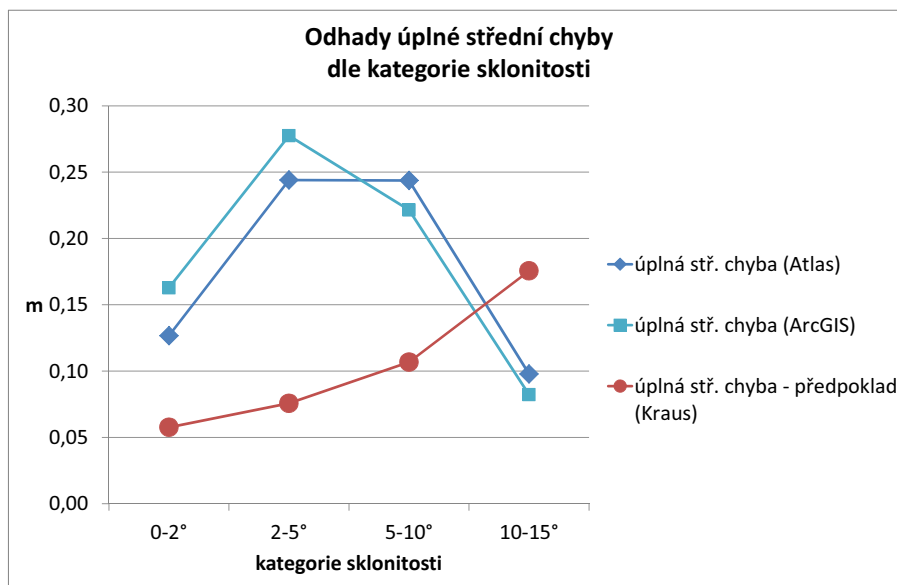
$$m_h = \frac{6}{\sqrt{n}} + 50 \cdot \tan\alpha \text{ [cm]} \quad (4.4)$$

kde

m_h	...	očekávaná úplná střední chyba DMT
n	...	počet bodů na metr čtvereční
α	...	sklon terénu

Jak je vidět, očekávaná chyba roste s rostoucím sklonem svahu a klesá s rostoucí hustotou zaměřených bodů. V předchozích odstavcích této kapitoly již bylo předznamenáno, že obzvláště závislost na sklonu terénu je sebranými daty obtížně průkazná. Na obrázku 4.3 je patrný trend, kterým by se měla přesnost měnit.

U odhadu střední chyby v závislosti na půdním krytu se předpokládané a vypočtené hodnoty také příliš neshodují – alespoň přibližně je ale

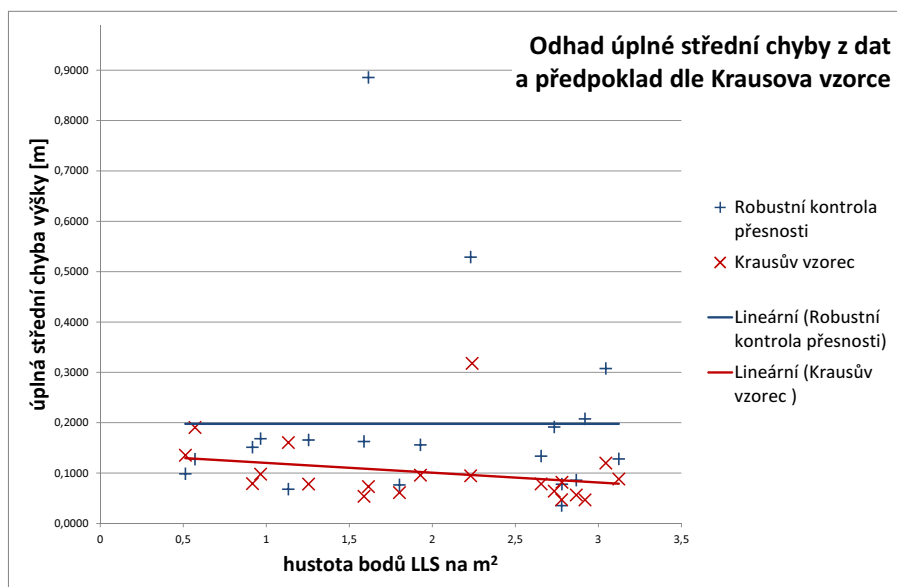


Obrázek 4.3: Porovnání odhadů dle Krausova vzorce s hodnotami získanými Metodou robustní kontroly přesnosti dle kategorie sklonitosti.

zachován očekávaný trend, podle kterého s ubývající hustotou zaměřených bodů klesá přesnost DMR. Jak je vidět na obr. 4.5, největší rozdíl oproti očekávání nastává u nezpevněných povrchů. V rámci dalšího zkoumání byly vyneseny hodnoty chyb pro všechny lokality odhadnuté Robustní kontrolou přesnosti a hodnoty očekávané dle Krausova vzorce. Data byla následně proložena přímkami pomocí metody nejmenší čtverců a výsledek si lze prohlédnout v grafu na obr. 4.4. Jak lze předpokládat již ze vzorce (4.4), úplná střední chyba by se měla s rostoucí hustotou zaměřených bodů snižovat. Chyba skutečných dat určená metodou Robustní kontroly přesnosti ale toto očekávání nepotvrzuje a tak lze tvrdit, že ani v tomto případě nenalzáme výrazný soulad s Krausovým vzorcem.

Podobně jako při zkoumání vlivu hustoty bodů, i při zkoumání závislosti přesnosti na sklonitosti svahů byly vyneseny všechny vypočtené hodnoty chyb spolu s přesnou hodnou průměrného sklonu lokality, tedy bez rozdělení do kategorií. Do stejného grafu byly vyneseny i předpokládané hodnoty získané z Krausova vzorce. Obě množiny dat pak byly proloženy přímkami

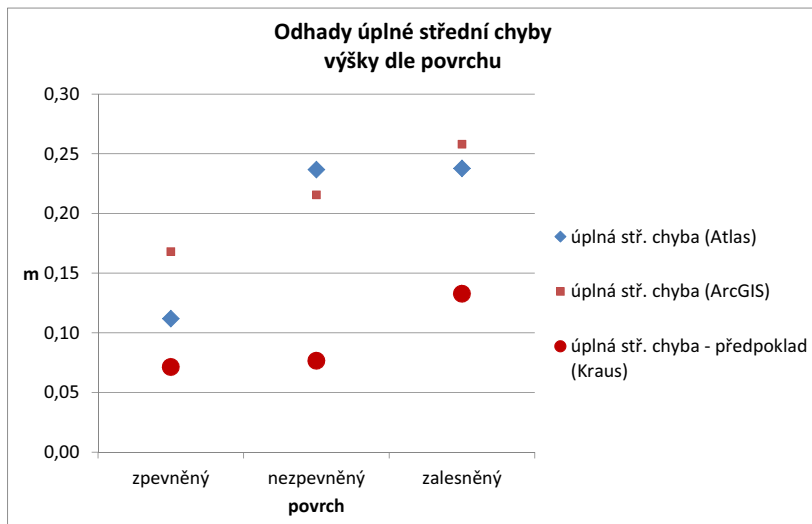
pomocí lineární interpolace – vše si lze prohlédnout na obrázku 4.6. Jak je patrné z proložené přímkky, u měřených dat se výšková chyba s rostoucím sklonem na rozdíl od očekávání téměř neměnila. To se nezměnilo ani pokusným odstraněním tří nejvyšších a nejnižších hodnot souboru. Z dat, která byla pro porovnání k dispozici se tedy zdá, že přesnost LLS není ovlivněna sklonem povrchu. Stále je ale třeba mít na paměti, že se pohybujeme ve skloních svahu do 15° . Například v horském terénu naměřená data by mohla vykazovat zcela jiné charakteristiky.



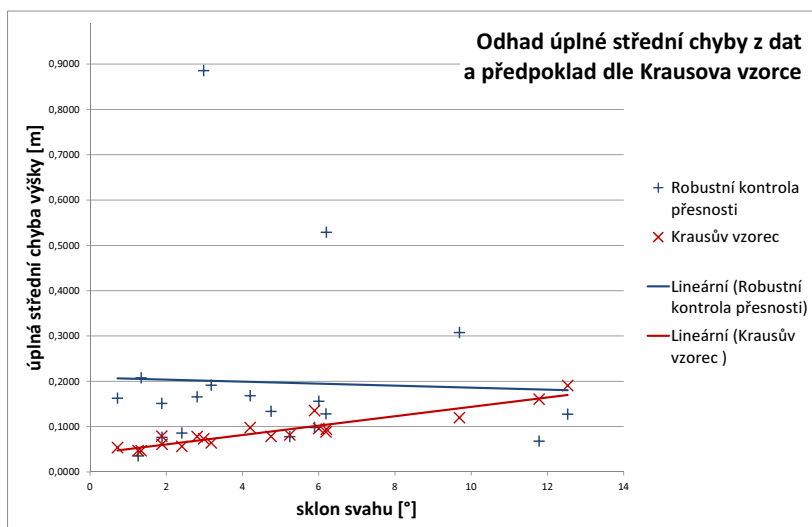
Obrázek 4.4: Vizualizace souladu vlastních dat s Krausovým vzorcem v závislosti na hustotě bodů.

Porovnání dvou použitých metod

Pro odhad přesnosti dat LLS byly použity dvě poměrně odlišné metody. Zatímco robustní kontrola přesnosti (RKP) by měla zapojením rozdílového modelu zmenšovat vliv lokálních poruch testovaného modelu, bodová kontrola (BK) uvažuje právě jen lokální výškové rozdíly v místech kontrolních



Obrázek 4.5: Porovnání odhadů dle Krausova vzorce s hodnotami získanými metodou Robustní kontroly přesnosti dle půdního krytu.



Obrázek 4.6: Vizualizace souladu vlastních dat s Krausovým vzorcem v závislosti na sklonitosti lokality.

bodů. Na druhou stranu předpokladem metody RKP je alespoň stejná hustota referenčních bodů, jako je hustota bodů testovaného modelu. Tato podmínka bohužel nebyla splněna – hustota bodů LLS značně převyšuje hustotu bodů zaměřených. Metoda RKP však byla použita na základě homogenity terénu na zaměřovaných lokalitách.

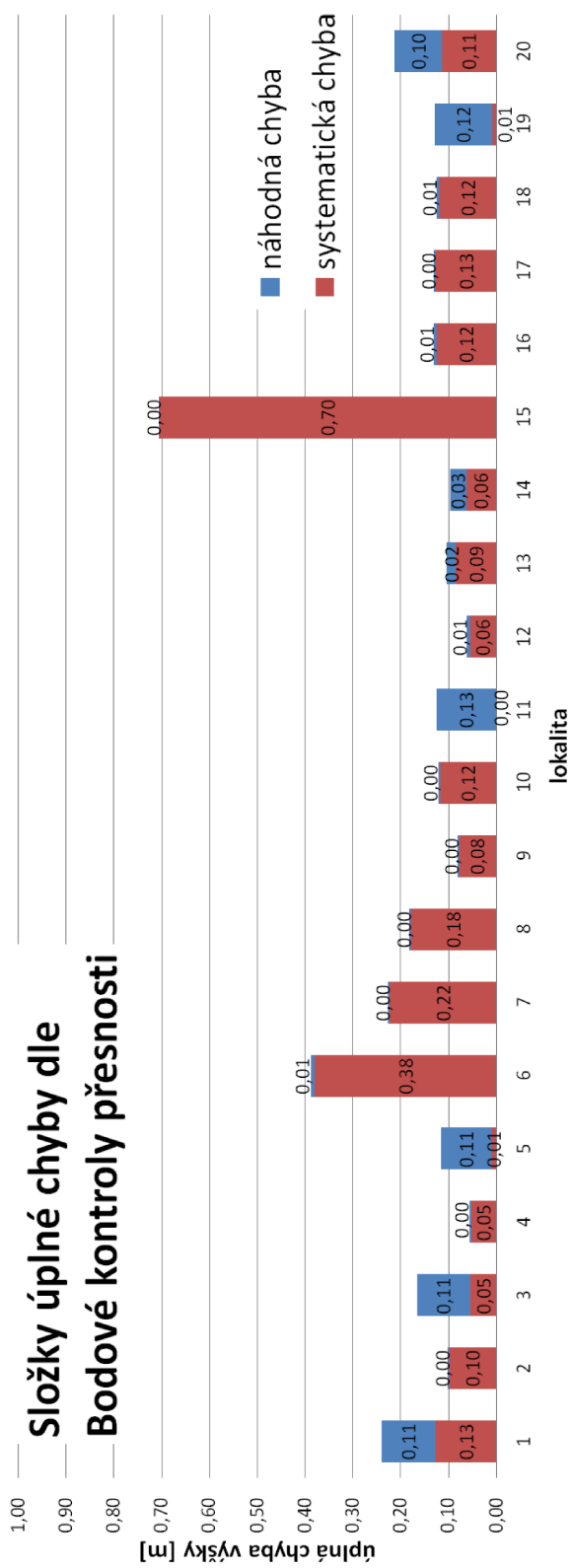
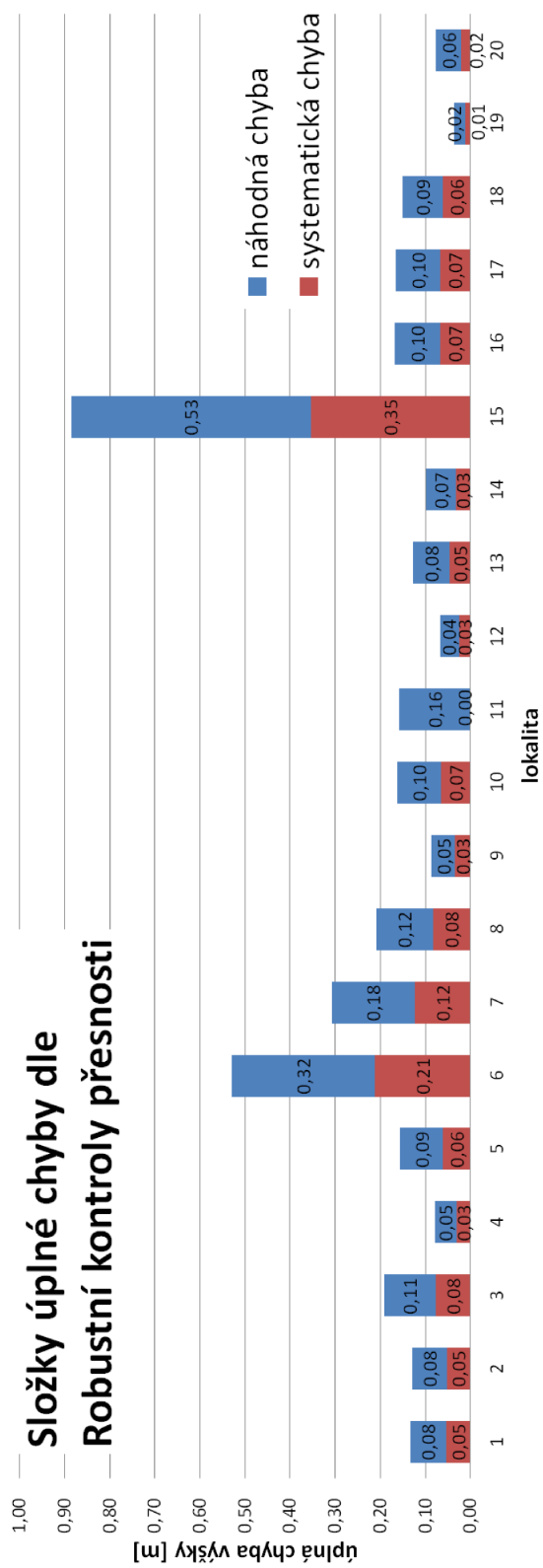
Nejsou a pravděpodobně ani nikdy nebudou známy žádné „správné údaje“, tedy skutečné chyby LLS v místech zkoumaných lokalit. Pokud budou zveřejněny podobné údaje přímo Zeměměřickým úřadem, bude se spíše jednat až o přesnost výsledných digitálních produktů. Data, která byla poskytnuta pro tuto práci ještě budou na ZÚ upravována, než z nich budou příslušné produkty vytvořeny. Přesnost dat v každém stádiu vývoje pak již pravděpodobně nebude třeba zpětně zkoumat.

Nelze tedy rozhodnout, která metoda přinesla přesnější odhady. Alespoň pro představu, jak se chyby určené jednotlivými metodami liší, byl vytvořen graf na obr. 4.7. Ten zobrazuje odhad úplné střední chyby určení výšky pro každou lokalitu a zároveň jeho strukturu v podobě náhodné a systematické složky chyby. Z grafu je vidět, že úplné chyby určené různými metodami jsou v zásadě podobné – v průměru je to 19,6 cm dle Robustní kontroly a 17,5 cm dle bodové kontroly.

Na druhou stranu poměr dvou složek tvořících úplnou chybu – tedy systematické a náhodné složky – se pro obě metody často výrazně liší. Zajímavé hodnoty získáme, budeme-li zkoumat statistické vlastnosti těchto poměrů. Vypočteme-li poměr náhodné a úplné střední chyby pro každou lokalitu a metodu a poté určíme směrodatnou odchylku těchto hodnot pro jednotlivé metody, dostaneme se k hodnotě 0,16 pro Robustní kontrolu a 19,47 pro bodovou kontrolu. Tato experimentální hodnota nemá název a byla použita pouze k demonstraci faktu, že podle Robustní kontroly přesnosti je v celém souboru zachován téměř stejný poměr náhodné a systematické chyby. Na druhou stranu podle bodové kontroly se zdá, že na různých lokalitách se poměry těchto složek značně liší. To hovoří ve prospěch Robustní kontroly přesnosti jako více konzistentní metody.

Jak bylo předesláno, není možné rozhodnout, která metoda parametry dat odhadne přesněji. Až na několik výjimek se odhady chyb velice podobají – průměrný rozdíl odhadů je 0,2 cm, resp. 0,8 cm pro úplnou a náhodnou chybu. Na druhou stranu složení úplné chyby se dle metod výrazně různí. Podle Robustní kontroly přesnosti mají tyto dvě chyby u všech měření podobný

poměr a náhodná chyba představuje přibližně 64 % chyby úplné. Postup při volbě vhodné metody pro odhad přesnosti dat za podobných podmínek by pravděpodobně stačil na další diplomovou práci.



Obrázek 4.7: Ukázka velikosti a struktury chyb odhadnutých jednotlivými metodami

Kapitola 5

Závěr

Prvotním cílem této práce bylo zkoumat závislost přesnosti LLS na sklonitosti a druhu povrchu terénu. Pro tento účel bylo zaměřeno přes 600 podrobných bodů na různých lokalitách na Plzeňsku a tyto body následně porovnány s body zaměřenými leteckým skenováním. Přestože testovací soubor není příliš rozsáhlý, je z něj patrné, že v obtížně přístupném terénu je přesnost LLS lehce nižší. Přesto i v zalesněném terénu se jedná o překvapivě přesná data s chybou určení výšky přibližně 20 cm. To je stále o 10 cm lepší hodnota, než jaká byla před očekávaná započítáním projektu. U odkrytého terénu se potom střední chyba určení výšky pohybovala v rozmezí 5–15 cm dle použité metody, což jsou opět lepší hodnoty oproti očekávaným parametrům nového modelu DMR 5G. Po finálním zpracování na ZÚ Praha, odstranění systematických chyb v datech a vyrovnaní náletových pásu můžeme podle těchto dat očekávat model reliéfu vysoké přesnosti.

Závislost měřených dat na sklonitosti terénu nebyla prokázána žádnou ze dvou použitých metod. Maximální sklon lokalit v testovaném souboru byl 15° . Je tedy možné, že vliv by se projevil až na více svažitéch terénech např. v horských oblastech. Na druhou stranu průměrná sklonitost terénu ČR je dle [5] $6,3^\circ$, což zkoumané lokality bezpečně pokryly.

Ohledně souvislosti výsledků s Krausovým vzorcem nebyl nalezen výrazný soulad. Protože předloha pro vzorec vznikala empiricky z velice rozsáhlého souboru měření, jistě by bylo zajímavé toto testovat těž na větším množství vstupních dat. Další průzkum by si také zasloužilo porovnání různých metod pro kontrolu přesnosti a vhodnost jejich využití v různých případech.

V rámci této práce však nebyla vyzorována závislost zjištěných chyb ani na hustotě bodů LLS, ani na sklonitosti terénu.

Ohledně porovnání dvou metod ke zkoumání přesnosti DMR se také objevily zajímavá zjištění. Zatímco úplná střední výšková chyba určená oběma metodami byla většinou podobná, zastoupení náhodné složky této chyby se značně různilo. Zatímco RKP vyhodnotila u všech lokalit přibližně stejný podíl náhodné chyby na chybě celkové, u bodové kontroly velikost tohoto podílu výrazně kolísala. Celkově byla data hodnocena jako mírně přesnější metodou lokální kontroly, která odhaduje úplnou střední chybu výšky veškerých zpracovávaných dat na 17,5 cm, Robustní kontrola přesnosti potom na 19,6 cm. Oba odhady jsou ale velice příznivé a jsou příslibem vysoké přesnosti výsledného modelu po odstranění systematických chyb.

Kromě výše zmíněných závěrů vznikla v rámci této práce i řada zajímavých meziproductů. Z nich je třeba zmínit např. vizualizaci sklonitosti terénu na Plzeňsku, která by mohla být ještě vylepšena po vydání DMR 5G zpracováním přesnějších výškopisných podkladů. Dále jde o funkční prostorovou databázi ESRI Geodatabase, ve které jsou uložena všechna měřená data a jednoduše do ní lze přidávat data další. V neposlední řadě je třeba zmínit též modely zájmových lokalit jak v programu Atlas DMT, tak v ESRI ArcGIS. U těch sice není příliš pravděpodobné další upotřebení, podrobně zdokumentovaný pracovní postup jejich tvorby ale může být užitečnou pomůckou při podobných projektech.

Literatura

- [1] KARL, W. a K. KRAUS. Quality Parameters of Digital Terrain Models. *Official publication / European Organization for Experimental Photogrammetric Research* 2006, č. 51, s. 125-139. ISSN 0257-0505.
- [2] VILÍMKOVÁ, M. *Testování sítě CZEPOS*. Praha, 2006. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Stavební fakulta. Obor Geodézie a kartografie. 104 s. Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Jan Kostecký, Dr. Sc.
- [3] ČADA, V. *Přednáškové texty z geodézie*. Kap. 6.2.: Metody nepřímého měření délek [online]. [cit. 2012-05-24].
Dostupné z <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch06s02.html>
- [4] HABIB, A.F., M. AL-DURGHAM, A.P. KERSTING a P. QUACKENBUSH. Error Budget of LIDAR Systems and Quality Control of the Derived Point Cloud. In: *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2008, s. 203-210.
Dostupné z: <http://xa.yimg.com/kq/groups/24709041/1581172364/name/ERROR+BUDGET+OF+LIDAR+SYSTEMS+AND+QUALITY+CONTROL+OF+THE+DERIVED.pdf>
- [5] ŠÍMA, J. Příspěvek k rozboru přesnosti digitálních modelů reliéfu odvozených z dat leteckého laserového skenování celého území ČR. *Geodetický a kartografický obzor: odborný a vědecký časopis Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a Úřadu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky*. Praha: Vesmír, 2011, č. 5, s. 104-109. ISSN 0016-7096.

- [6] BALTSAVIAS, E. P. Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas. *Elsevier*. 2009, č. 54, s. 199-214. ISSN 0020-0190. // Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00015-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00015-5)
- [7] COMMIS, D. ARS Study Helps Farmers Make Best Use of Fertilizers *US Department of Agriculture: Agricultural Research Service* [online]. 2010, 2010-09-06 [cit. 2012-05-24]
Dostupné z: <http://www.ars.usda.gov/is/pr/2010/100609.htm>
- [8] GOJDA, M. Zaniklá krajina - pohled z výšky: laserový skener v archeologii. *Vesmír*. Praha, 2006, č. 10, s. 614-616. ISSN 1214-4029.
- [9] BRÁZDIL, K. Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor: odborný a vědecký časopis Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a Úřadu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky*. Praha: Vesmír, 2009, č. 7, s. 145-151. ISSN 0016-7096.
- [10] RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS. *Long Range Airborne Laser Scanner for Full Waveform Analysis Riegl LMS-Q680i - Data-sheet*. 2012, 8 s.[online] [cit. 2012-05-24]
Dostupné z: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_04-04-2012_01.pdf
- [11] DOLANSKÝ, T. *LIDARY a letecké laserové skenování* Ústí n. Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, 2004. ISBN 80-7044-575-0.
- [12] FIALA, R. *Robustní postupy hodnocení kvality digitálních modelů reliéfu*. Plzeň, 2011. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd. Katedra matematiky. Oddělení geomatiky. 143 s. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Šíma, CSc.
Dostupné z: <https://stag-ws.zcu.cz/ws/services/rest/kvalifikacniprace/downloadPraceContent?adipIdno=45994>
- [13] FIALA, R. a J. ŠÍMA. The Czech Method of DTM Checking. *Official publication / European Organization for Experimental Photogrammetric Research*. 2006, č. 51, s. 87-93. ISSN 0257-0505.
- [14] DOLANSKÝ, T. Porovnání přesnosti DMT za laserového skenování s pozemními měřeními. In: *GIS Ostrava 2008* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2012-05-24]. ISBN 978-80-254-1340-1. ISSN 1213-239X.
Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2008/sbornik/Lists/Papers/026.pdf

- [15] BRÁZDIL, K. Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky.
In: *GIS Ostrava 2010* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2012-05-24]. ISBN
978-80-248-2171-9. ISSN 1213-239X.
Dostupné z: [http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/
sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf)

Příloha A: Vypočtené charakteristiky přesnosti výšky pro jednotlivé lokality

lok.	povrch	kultura	sklon [°]	bodů LLS/m ²	Kraus (předp.) m _h	Robustní kontrola		Bodová kontrola	
						m _h	C _h	m _h	C _h
1	zpevněný	-	4,8	2,66	0,078	0,134	0,081	0,240	0,113
2	pole	-	6,2	3,12	0,088	0,128	0,077	0,102	0,004
3	zpevněný	-	3,2	2,73	0,064	0,192	0,115	0,166	0,112
4	zpevněný	-	5,2	2,78	0,082	0,078	0,047	0,057	0,005
5	zpevněný	-	6,0	1,93	0,096	0,156	0,095	0,117	0,106
6	pole	-	6,2	2,23	0,094	0,529	0,317	0,388	0,009
7	pole	-	9,7	3,05	0,120	0,308	0,185	0,227	0,004
8	louka	vysoká tráva	1,3	2,92	0,047	0,207	0,124	0,182	0,003
9	pole	kukuřice	2,4	2,87	0,056	0,086	0,052	0,082	0,003
10	louka	vysoká tráva	0,7	1,59	0,054	0,163	0,098	0,121	0,003
11	les	buk	29,1	2,24	0,318	0,158	0,102	0,125	0,125
12	les	borovice	11,8	1,13	0,161	0,068	0,043	0,062	0,007
13	les	smrk	12,5	0,57	0,191	0,128	0,082	0,103	0,018
14	les	borovice	5,9	0,51	0,135	0,098	0,067	0,096	0,033
15	les	buk	3,0	1,61	0,073	0,886	0,531	0,704	0,001
16	les	borovice	4,2	0,97	0,098	0,168	0,102	0,131	0,007
17	les	borovice	2,8	1,26	0,078	0,166	0,099	0,130	0,003
18	les	borovice, bříza	1,9	0,92	0,079	0,151	0,091	0,125	0,005
19	zpevněný	-	1,3	2,78	0,047	0,035	0,025	0,130	0,121
20	zpevněný	-	1,9	1,80	0,061	0,076	0,056	0,212	0,099

lok. - číslo lokality

C_h - náhodná střední chyba výšky

m_h - úplná střední chyba výšky

Kraus (předp.) - očekávaná hodnota dle Krausova vzorce

Příloha B: Souhrnné charakteristiky přesnosti výšky dle sledovaných jevů

Souhrn dle sklonitosti		bodů LLS/m ² (průměr)	Kraus (předp.)		Robustní kontrola přesnosti		Bodová kontrola přesnosti	
kat.sklonitosti	rozsah sklonů		m _h	C _h	m _h	C _h	m _h	C _h
1	0°-2°	2,00	0,058	0,127	0,079	0,163	0,055	
2	2°-5°	2,12	0,076	0,244	0,147	0,277	0,115	
3	5°-10°	2,17	0,107	0,244	0,148	0,222	0,065	
4	10°-15°	0,85	0,176	0,098	0,062	0,082	0,014	

Souhrn dle povrchu		bodů LLS/m ² (průměr)	Kraus (předp.)		Robustní kontrola přesnosti		Bodová kontrola přesnosti	
povrch	prům. sklon [°]		m _h	C _h	m _h	C _h	m _h	C _h
zpevněný	3,72	2,45	0,071	0,112	0,070	0,168	0,105	
nezpevněný	4,07	2,53	0,077	0,237	0,142	0,216	0,034	
zalesněný	8,89	1,15	0,164	0,228	0,139	0,258	0,092	

m_h - úplná střední chyba výšky

C_h - náhodná střední chyba výšky

Kraus (předp.) - očekávaná hodnota dle Krausova vzorce

Příloha C:
Protokoly o zpracování tachymet-
rického měření

protokol_lok11-16.pro

IMPORT SOUŘADNIC

=====

Název vstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok11-16\1011-stanoviska-YXZ.txt
 Název výstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok11-16\1011-stanoviska-YXZ.crd

Řádek 1: Chyba v souřadnici X: "Delimiter("

STATISTIKA:

Počet chybných položek : 1
 Počet načtených bodů : 30
 Počet bodů s výškou / bez výšky : 30 / 0
 Počet bodů s kódem / bez kódu : 30 / 0
 Číslo min / Číslo max : 4002 / 4021B
 Y min / Y max : 384183.771 / 403334.952
 X min / X max : 5499155.383 / 5520507.495
 Z min / Z max : 381.50 / 522.80

Kontrola duplicity - soubor C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok11-16\1011-stanoviska-YXZ.crd
 Počet duplicitních položek: 0

POROVNÁNÍ SEZNAMŮ SOUŘADNIC

=====

Referenční soubor: Nepojmenovaný 4
 Testovaný soubor : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok11-16\tmp.crd

Popis	Bod	dY	dX	dZ	dP	up	Směrník
384.267	4002	-0.019	-0.026	-0.01	0.032	0.023	40.1758
382.820	4003	-0.018	-0.026	-0.03	0.032	0.022	38.5502
381.500	4004	-0.061	0.000	0.00	0.061	0.043	100.0000
513.191	4007	0.008	0.031	-0.01	0.032	0.023	216.0781
516.966	4008	-0.042	0.016	-0.03	0.045	0.032	123.1716
519.250	4009	-0.018	0.014	-0.03	0.023	0.016	142.0833
472.820	4011	-0.004	0.028	-0.01	0.028	0.020	190.9666
472.163	4012	0.024	-0.011	0.01	0.026	0.019	327.3595
471.267	4013	0.008	0.015	0.00	0.017	0.012	231.1917
522.796	4015	0.010	0.004	0.02	0.011	0.008	275.7762
520.863	4016	0.005	0.007	0.02	0.009	0.006	239.4863
519.065	4017	-0.002	0.010	0.04	0.010	0.007	187.4334
440.444	4019	0.014	-0.010	-0.01	0.017	0.012	339.4863
441.851	4020	-0.609	-0.456	0.57	0.761	0.538	59.0837
443.950	4021	-0.627	-0.481	0.56	0.790	0.559	58.3406
Posun těžiště:		-0.089	-0.059	0.07	0.107		62.6439

protokol_lok11-16.pro

STATISTIKA:

Počet bodů (n)	:	15
Požadovaná střední chyba (Uxy)	:	0.060m
Mezní střední odchylka v poloze (Up=2*Uxy)	:	0.120m
Počet bodů s uxy v intervalu <0, Uxy>	:	13 (86.7%)
Počet bodů s uxy v intervalu (Uxy, 2Uxy)	:	0 (0.0%)
Počet bodů s uxy v intervalu (2Uxy, +Nek.)	:	2 (13.3%)
Maximální dosažená střední odchylka v poloze (up)	:	0.559m
Výběrová střední souřadnicová chyba X (sx)	:	0.122m
Výběrová střední souřadnicová chyba Y (sy)	:	0.160m
Výběrová střední souřadnicová chyba (sxy)	:	0.142m
Použitý koeficient (k)	:	2.0
Počet nenalezených bodů	:	0
Počet bodů nalezených vícekrát	:	0

Oprava souřadnic bodu číslo 4002

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	384183.790	5499155.409	384.28	384.280
Nový	384183.771	5499155.383	384.27	384.267
Rozdíl	0.019	0.026	0.01	384.280
Uložený	384183.781	5499155.396	384.28	384.280

Oprava souřadnic bodu číslo 4003

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	384208.877	5499179.345	382.85	382.849
Nový	384208.859	5499179.319	382.82	382.820
Rozdíl	0.018	0.026	0.03	382.849
Uložený	384208.868	5499179.332	382.84	382.849

Oprava souřadnic bodu číslo 4004

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	384238.137	5499232.718	381.50	381.498
Nový	384238.076	5499232.718	381.50	381.500
Rozdíl	0.061	0.000	0.00	381.498
Uložený	384238.107	5499232.718	381.50	381.498

Oprava souřadnic bodu číslo 4007

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	397502.016	5506829.725	513.20	513.197
Nový	397502.024	5506829.756	513.19	513.191
Rozdíl	-0.008	-0.031	0.01	513.197
Uložený	397502.020	5506829.741	513.20	513.197

Oprava souřadnic bodu číslo 4008

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	397466.289	5506785.460	517.00	516.998
Nový	397466.247	5506785.476	516.97	516.966
Rozdíl	0.042	-0.016	0.03	516.998

protokol_lok11-16.pro

 Uložený 397466.268 5506785.468 516.99 516.998

Oprava souřadnic bodu číslo 4009

 Bod Y X Z Popis

 Starý 397445.444 5506762.490 519.28 519.278
 Nový 397445.426 5506762.504 519.25 519.250
 Rozdíl 0.018 -0.014 0.03 519.278

Uložený 397445.435 5506762.497 519.27 519.278

Oprava souřadnic bodu číslo 4011

 Bod Y X Z Popis

 Starý 403334.952 5508263.008 472.83 472.826
 Nový 403334.948 5508263.036 472.82 472.820
 Rozdíl 0.004 -0.028 0.01 472.826

Uložený 403334.950 5508263.022 472.83 472.826

Oprava souřadnic bodu číslo 4012

 Bod Y X Z Popis

 Starý 403306.448 5508263.754 472.15 472.151
 Nový 403306.472 5508263.743 472.16 472.163
 Rozdíl -0.024 0.011 -0.01 472.151

Uložený 403306.460 5508263.749 472.16 472.151

Oprava souřadnic bodu číslo 4013

 Bod Y X Z Popis

 Starý 403276.747 5508262.800 471.27 471.270
 Nový 403276.755 5508262.815 471.27 471.267
 Rozdíl -0.008 -0.015 0.00 471.270

Uložený 403276.751 5508262.808 471.27 471.270

Oprava souřadnic bodu číslo 4015

 Bod Y X Z Popis

 Starý 396845.060 5516741.489 522.78 522.783
 Nový 396845.070 5516741.493 522.80 522.796
 Rozdíl -0.010 -0.004 -0.02 522.783

Uložený 396845.065 5516741.491 522.79 522.783

Oprava souřadnic bodu číslo 4016

 Bod Y X Z Popis

 Starý 396835.470 5516700.428 520.84 520.842
 Nový 396835.475 5516700.435 520.86 520.863
 Rozdíl -0.005 -0.007 -0.02 520.842

Uložený 396835.473 5516700.432 520.85 520.842

protokol_lok11-16.pro

Oprava souřadnic bodu číslo 4017

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	396831.442	5516661.020	519.03	519.034
Nový	396831.440	5516661.030	519.07	519.065
Rozdíl	0.002	-0.010	-0.04	519.034
Uložený	396831.441	5516661.025	519.05	519.034

Oprava souřadnic bodu číslo 4019

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	386321.751	5520507.495	440.45	440.451
Nový	386321.765	5520507.485	440.44	440.444
Rozdíl	-0.014	0.010	0.01	440.451
Uložený	386321.758	5520507.490	440.45	440.451

Oprava souřadnic bodu číslo 4020

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	386315.073	5520489.113	441.28	441.277
Nový	386314.464	5520488.657	441.85	441.851
Rozdíl	0.609	0.456	-0.57	441.277
Uložený	386314.464	5520488.657	441.85	441.851

Oprava souřadnic bodu číslo 4021

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	386305.397	5520463.461	443.39	443.389
Nový	386304.770	5520462.980	443.95	443.950
Rozdíl	0.627	0.481	-0.56	443.389
Uložený	386304.770	5520462.980	443.95	443.950

IMPORT MĚŘENÍ

=====

Název vstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok11-16\TP.ZAP

Název výstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok11-16\TP.mes

Měřítkový koeficient: 1.0000000000 (0.0 mm/100m)

STATISTIKA:

Počet položek	:	189
Počet stanovisek	:	6
Počet bodů se šikmou délkou	:	183
Počet bodů s vodorovnou délkou	:	0
Počet bodů se zenitovým úhlem	:	179
Počet bodů s převýšením	:	0
Počet bodů s kódem / bez kódu	:	154 / 35
Počet měření v I/II poloze	:	183 / 0
Číslo min / číslo max	:	1 / 4022
Z min / Z max	:	73.0190 / 108.3320
Délka min / Délka max	:	2.589m / 4018.000m
Signál min / Signál max	:	1.060m / 1.700m

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4002	103.6720	-5.61	0.0002	388.66	-0.01
4003	103.7970	-7.04	0.0001	388.65	0.01
4004	103.2630	-8.36	0.0001	388.63	0.02

Volné stanovisko: 4001

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4002	103.6720	-5.61	0.0002	388.66	-0.01
4003	103.7970	-7.04	0.0001	388.65	0.01
4004	103.2630	-8.36	0.0001	388.63	0.02

Transformační parametry:

Měřítka : 0.999681907710 (-31.8 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX	m0 Red.
4002	0.010	0.003	
4003	-0.014	-0.007	
4004	0.005	0.003	

SQRT([vv]/(n-1)): mY: 0.012 mX: 0.006
 Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.014

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4002	103.6720	-5.62	0.0002	388.67	-0.01
4003	103.7970	-7.04	0.0001	388.65	0.01
4004	103.2630	-8.36	0.0001	388.63	0.02

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4001	384116.093	5499177.782	388.66

Orientace osnovy na bodě 4001:

Red.	Bod	HZ	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0
--								
0.0036	4002	394.9590	120.3336	0.0049	71.308	-0.014	0.01	
0.0034 *	4003	373.5520	98.9365	-0.0050	92.832	-0.044	-0.01	
0.0070	4004	347.6880	73.0674	0.0001	133.848	-0.037	-0.02	

Orientační posun : 125.3795g
 m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0049g

SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0029g protokol_lok11-16.pro

Podrobné body

Pólarní metoda

X	Bod Z	Popis	Hz	Z	dH	Délka	Y
5499205.378	4005	252.2720		95.6200		29.388	384105.987
		390.42					
5499176.363	1001	165.7390		85.5610		10.201	384105.991
		390.74	511				
5499169.441	1002	126.4840		88.9590		12.157	384107.249
		390.52	511				
5499162.086	1003	104.3050		92.9930		17.572	384108.193
		390.33	511				
5499165.686	1004	113.2690		91.1080		14.727	384107.691
		390.46	511				
5499173.840	1005	149.6430		86.0530		10.310	384106.567
		390.69	511				
5499175.647	1006	164.5210		82.9100		13.517	384102.746
		392.11	511				
5499172.930	1007	152.0750		82.6120		13.992	384102.969
		392.31	511				
5499168.887	1008	134.8250		84.1390		15.200	384103.768
		392.26	511				
5499164.894	1009	124.6200		86.0720		18.226	384103.205
		392.44	511				
5499161.535	1010	115.5050		88.3360		20.290	384103.940
		392.15	511				
5499160.274	1011	121.2070		85.3650		23.532	384100.369
		393.90	511				
5499163.595	1012	128.1970		83.1870		21.293	384100.215
		394.15	511				
5499167.602	1013	139.7840		80.5720		19.566	384099.384
		394.55	511				
5499171.644	1014	153.4460		79.1030		18.800	384098.324
		394.79	511				
5499174.456	1015	163.3670		79.1940		18.915	384097.473
		394.80	511				
5499173.199	1016	162.2250		76.5650		23.685	384092.855
		397.53	511				
5499171.400	1017	157.5760		76.3530		24.123	384092.829
		397.79	511				
5499167.462	1018	147.2370		76.9250		24.748	384093.599
		397.77	511				
5499161.472	1019	133.6150		79.2180		27.161	384094.374
		397.59	511				
5499160.040	1020	135.9810		76.7720		31.106	384090.543
		400.27	511				
5499163.175	1021	142.0160		76.3020		29.807	384090.111
		400.03	511				
5499166.589	1022	149.2780		75.3240		28.874	384089.476
		400.18	511				
5499170.200	1023	157.2810		74.8020		28.185	384088.947
		400.17	511				
5499172.355	1024	162.2710		74.6440		28.151	384088.470
		400.24	511				
5499170.903	1025	160.7700		73.0190		31.871	384084.974
		402.77	511				
5499166.435	1026	152.1830		73.8780		32.870	384085.243
		402.69	511				
5499161.040	1027	142.2900		74.7910		34.428	384086.010
		402.78	511				
5499158.683	1028	138.4210		75.1680		35.469	384086.205
		402.97	511				

Orientace osnovy na bodě 4005:

Red.	Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0
--								
0.0040 *	4001	72.6560	177.6518	0.0249	29.385	0.004	-0.03	
0.0203	4002	31.3300	136.3560	-0.0053	92.417	0.050	-0.02	
0.0200	4003	10.7580	115.7854	-0.0067	106.116	0.011	-0.03	
0.0178	4004	381.9760	87.0096	-0.0129	134.941	-0.022	-0.05	

--
 Orientační posun : 105.0207g
 $m0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$: 0.0169g
 $\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$: 0.0085g

Podrobné body

Polární metoda

X	Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y
	Z	Popis				
5499213.147	1029	321.2610	102.4340		8.482	384109.390
		389.79	512			
5499212.338	1030	273.3340	95.2020		7.383	384103.525
		390.67	512			
5499212.537	1031	243.2690	91.0110		10.407	384098.433
		391.59	512			
5499212.227	1032	226.5450	88.9280		14.396	384093.324
		392.64	512			
5499211.889	1033	217.8290	87.7890		18.537	384088.632
		393.71	512			
5499217.692	1034	231.5080	88.3900		22.684	384086.935
		394.29	512			
5499218.563	1035	240.3610	89.8130		20.160	384090.736
		393.36	512			
5499219.709	1036	256.2520	92.0440		17.464	384096.007
		392.30	512			
5499220.749	1037	274.4860	95.1640		16.203	384100.861
		391.34	512			
5499221.568	1038	302.2210	100.2810		16.295	384107.837
		390.04	512			
5499228.270	1039	298.3720	99.5120		22.924	384107.208
		390.29	512			
5499227.638	1040	283.3480	97.2350		22.637	384101.874
		391.09	512			
5499227.726	1041	269.3970	94.6210		24.282	384096.490
		392.17	512			
5499227.213	1042	258.1350	92.5440		26.082	384091.721
		393.18	512			
5499227.514	1043	251.4820	91.2600		28.544	384087.967
		394.05	512			
5499231.801	1044	251.5750	91.1260		34.031	384084.541
		394.88	512			
5499232.240	1045	258.2560	92.6270		32.048	384088.509
		393.84	512			
5499232.359	1046	269.4650	94.8470		29.303	384094.555
		392.49	512			
5499231.689	1047	278.6890	96.6470		27.196	384099.104
		391.54	512			
5499232.006	1048	295.3450	99.5850		26.628	384106.140
		390.28	512			
	1049	282.7520	97.3000		26.550	384100.919

protokol_lok11-16.pro

5499231.440	391.24	512			
1050	271.8520	95.2050	27.681	384096.151	
5499231.253	392.20	512			
1051	260.8630	93.1380	28.828	384091.267	
5499230.164	393.23	512			
1052	251.3230	91.0950	30.977	384086.370	
5499229.353	394.47	512			
1053	256.1250	92.2370	37.072	384084.740	
5499235.757	394.65	512			
1054	260.7980	93.1540	35.946	384087.601	
5499236.266	393.99	512			
1055	269.3210	94.9970	34.017	384092.645	
5499236.669	392.79	512			
1056	279.1820	96.9610	32.767	384097.939	
5499237.141	391.68	512			
1057	291.7710	99.2850	31.898	384104.380	
5499237.235	390.47	512			

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4007	108.3320	-15.21	0.0001	527.20	0.01
4008	107.3840	-11.42	0.0001	527.20	0.01
4009	105.5490	-9.17	0.0001	527.23	-0.02

Volné stanovisko: 4006

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4007	108.3320	-15.21	0.0001	527.20	0.01
4008	107.3840	-11.42	0.0001	527.20	0.01
4009	105.5490	-9.17	0.0001	527.23	-0.02

Transformační parametry:

Měřítka : 0.998963530685 (-103.6 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX	m0	Red.
4007	0.001	-0.002		
4008	-0.001	0.007		
4009	0.001	-0.004		

SQRT([vv]/(n-1)): mY: 0.001 mX: 0.006
 Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.006

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4007	108.3320	-15.21	0.0001	527.20	0.01
4008	107.3840	-11.41	0.0001	527.19	0.01
4009	105.5490	-9.17	0.0001	527.23	-0.02

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4006	397398.068	5506836.353	527.21

Orientace osnovy na bodě 4006:

Bod	H _Z	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0
-----	----------------	---------	-------	-------	---------	---------	----

protokol_lok11-16.pro

Red.

--							
0.0034	4007	334.4260	104.0439	-0.0017	104.270	-0.107	0.01
0.0000 *	4008	371.1950	140.8079	0.0033	85.185	-0.094	-0.01
0.0035	4009	394.0780	163.6958	-0.0016	87.827	-0.087	0.02

--
 Orientační posun : 169.6162g
 $m0 = \text{SQRT}([vv]/(n-1))$: 0.0028g
 $\text{SQRT}([vv]/(n*(n-1)))$: 0.0016g

Podrobné body

Polární metoda

X	Bod Z	Popis	Hz	Z	dH	Délka	Y
5506840.670	1058		176.9340	87.6080		6.466	397393.255
			528.19	513			
5506834.662	1059		114.6810	88.8890		6.924	397391.353
			528.14	513			
5506828.495	1060		85.3700	94.4530		12.097	397388.871
			527.98	513			
5506823.097	1061		75.1700	95.7150		17.383	397386.823
			528.09	513			
5506818.723	1062		70.4260	96.9470		21.802	397385.241
			527.97	513			
5506820.001	1063		83.9300	93.8730		24.529	397379.785
			529.29	513			
5506824.080	1064		91.9450	92.5530		21.616	397380.274
			529.46	513			
5506829.204	1065		103.6270	90.6900		17.520	397382.073
			529.50	513			
5506835.456	1066		126.4670	88.4280		14.586	397383.510
			529.60	513			
5506842.232	1067		157.7380	86.4410		14.114	397385.237
			529.97	513			
5506844.874	1068		159.9690	85.5230		19.013	397381.072
			531.32	513			
5506838.911	1069		138.4450	86.8790		20.255	397377.975
			531.15	513			
5506831.330	1070		116.3220	89.3040		22.925	397375.700
			530.81	513			
5506825.689	1071		103.2650	90.8000		25.808	397374.566
			530.68	513			
5506820.820	1072		94.6830	92.0930		29.206	397373.335
			530.57	513			
5506823.305	1073		103.7780	90.3720		32.148	397368.687
			531.82	513			
5506827.441	1074		110.4960	89.7940		28.996	397370.475
			531.61	513			
5506833.377	1075		122.8950	88.2970		25.355	397372.888
			531.63	513			
5506838.291	1076		135.6190	87.0350		23.591	397374.557
			531.79	513			
5506844.163	1077		153.4330	85.6560		22.049	397377.448
			531.97	513			
5506847.609	1078		167.0130	85.2000		20.686	397380.713
			531.82	513			

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
-----	---	----	------	----	----

protokol_lok11-16.pro					
4011	100.4440	-2.01	0.0002	473.29	-0.01
4012	101.5610	-2.68	0.0004	473.29	-0.01
4013	104.3170	-3.55	0.0011	473.27	0.01

Volné stanovisko: 4010

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4011	100.4440	-2.01	0.0002	473.29	-0.01
4012	101.5610	-2.68	0.0004	473.29	-0.01
4013	104.3170	-3.55	0.0011	473.27	0.01

Transformační parametry:

Měřítko : 0.998793149724 (-120.7 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX	m0	Red.
4011	0.003	0.010		
4012	-0.006	-0.020		
4013	0.003	0.010		

SQRT([vv]/(n-1)): mY: 0.005 mX: 0.017
 Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.018

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4011	100.4440	-2.01	0.0002	473.29	-0.01
4012	101.5610	-2.68	0.0004	473.29	-0.01
4013	104.3170	-3.56	0.0011	473.28	0.00

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4010	403267.282	5508291.595	473.28

Orientace osnovy na bodě 4010:

Red.	Bod	HZ	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0
--								
0.0277	4011	303.2710	125.4356	0.0107	73.542	-0.089	0.01	
0.0024 *	4012	317.1370	139.3373	-0.0249	48.117	-0.051	0.01	
0.0252	4013	357.6080	179.7692	0.0142	30.349	-0.045	0.00	

--
 Orientační posun : 222.1753g
 m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0217g
 SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0125g

Podrobné body

Polární metoda

X	Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y
	Z Popis					

protokol_lok11-16.pro

1085	186.0300	94.3830	5.516	403267.991
5508297.066	473.82	514		
1086	244.8170	96.3480	9.334	403275.389
5508296.220	473.87	514		
1087	259.5210	97.1200	14.922	403281.591
5508295.826	474.01	514		
1088	130.9810	97.4890	8.872	403261.327
5508298.172	473.68	514		
1089	111.9270	98.7030	15.298	403254.127
5508299.403	473.64	514		
1090	132.3370	96.0030	18.304	403255.288
5508305.422	474.48	514		
1091	148.4650	95.2550	13.970	403261.065
5508304.106	474.37	514		
1092	186.5750	93.6420	11.181	403268.814
5508302.671	474.45	514		
1093	222.6190	94.6710	13.250	403275.855
5508301.698	474.44	514		
1094	243.3470	96.0400	17.696	403282.445
5508300.717	474.43	514		
1095	227.9460	94.8110	22.732	403283.387
5508307.638	475.19	514		
1096	213.8270	93.8830	20.543	403278.290
5508308.939	475.31	514		
1097	193.2190	93.5690	18.911	403271.811
5508309.956	475.25	514		
1098	165.9970	93.6650	20.657	403263.466
5508311.897	475.39	514		
1099	148.5070	94.5460	24.598	403256.350
5508313.631	475.44	514		
1100	161.3510	93.8250	29.666	403259.691
5508320.273	476.22	514		
1101	173.8150	93.5900	26.686	403265.602
5508318.228	476.03	514		
1102	194.4310	93.5080	24.224	403273.530
5508315.000	475.81	514		
1103	213.5420	94.0090	23.809	403279.950
5508311.754	475.58	514		
1104	222.5710	94.6730	24.703	403283.251
5508310.443	475.40	514		
1105	228.0810	94.9090	25.792	403285.593
5508309.759	475.40	514		
1106	220.9830	94.4180	28.284	403285.021
5508313.625	475.82	514		
1107	206.3590	93.9760	28.004	403279.418
5508316.833	475.99	514		
1108	191.2870	93.5540	27.298	403273.012
5508318.285	476.10	514		
1109	175.5570	93.5150	28.476	403266.268
5508320.053	476.24	514		
1110	165.8950	93.5460	29.830	403261.725
5508320.903	476.36	514		
1111	170.9550	93.5800	35.468	403263.462
5508326.857	476.92	514		
1112	181.2480	93.6230	33.445	403269.080
5508324.991	476.69	514		
1113	191.1550	93.5650	31.150	403273.757
5508322.065	476.49	514		
1114	207.7120	93.9020	28.661	403280.249
5508317.155	476.08	514		
1115	221.2700	95.2860	29.603	403285.952
5508314.568	475.53	514		
1116	221.3470	94.6770	31.685	403287.295
5508316.159	475.99	514		

Určení výšky:
Bod

Z

dH

váha

Zp

vZ

protokol_lok11-16.pro

4015	97.2170	1.36	0.0002	520.34	-0.41
4017	100.8480	-1.86	0.0003	519.82	0.11
4016	98.5620	-0.04	0.0005	519.80	0.13

Volné stanovisko: 4014

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4015	97.2170	1.36	0.0002	520.34	-0.41
4017	100.8480	-1.86	0.0003	519.82	0.11
4016	98.5620	-0.04	0.0005	519.80	0.13

Transformační parametry:

Měřítko : 0.998381332547 (-161.9 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX	m0	Red.
4015	0.010	-0.003		
4017	0.011	-0.002		
4016	-0.021	0.005		

SQRT([vv]/(n-1)): mY: 0.018 mx: 0.004
 Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.018

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4015	97.2170	1.36	0.0002	520.34	-0.40
4017	100.8480	-1.86	0.0003	519.82	0.11
4016	98.5620	-0.04	0.0005	519.80	0.13

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4014	396790.746	5516704.943	519.93

Orientace osnovy na bodě 4014:

Red.	Bod	H _Z	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0
--								
0.0023 *	4015	49.8830	62.2953	-0.0092	65.569	-0.099	0.40	
0.0086	4017	140.0270	152.4238	0.0063	59.962	-0.088	-0.11	
0.0110	4016	93.9990	106.3991	0.0030	45.048	-0.094	-0.13	

--
 Orientační posun : 12.4030g
 m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0082g
 SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0047g

Podrobné body

Polární metoda		H _Z	Z	dH	Délka	Y
X	Z	Popis				

protokol_lok11-16.pro

5516703.1117	250.7930	106.0480	2.589	396788.578
5516703.528	519.27	515		
5516711.1118	367.6370	98.9800	6.949	396788.603
5516711.553	519.63	515		
5516718.1119	382.5910	98.4120	13.750	396789.666
5516718.650	519.86	515		
5516695.1120	214.0940	103.5630	10.079	396786.671
5516695.724	518.96	515		
5516687.1121	204.2740	103.5060	18.011	396786.082
5516687.547	518.53	515		
5516686.1122	225.8780	103.8440	21.770	396778.430
5516686.991	518.20	515		
5516695.1123	246.4760	103.8690	16.169	396777.834
5516695.210	518.54	515		
5516702.1124	276.0330	103.0230	13.358	396777.608
5516702.530	518.89	515		
5516711.1125	318.5820	101.5220	15.036	396777.456
5516711.976	519.16	515		
5516720.1126	343.4010	99.9180	20.072	396777.904
5516720.369	519.55	515		
5516721.1127	330.6270	100.4280	26.783	396769.851
5516721.699	519.34	515		
5516716.1128	318.6430	101.1420	25.129	396768.546
5516716.718	519.07	515		
5516711.1129	304.4660	101.7720	24.068	396767.518
5516711.246	518.85	515		
5516703.1130	283.4690	102.6260	26.440	396764.361
5516703.230	518.43	515		
5516693.1131	263.0480	103.2330	30.738	396762.265
5516693.381	517.96	515		
5516700.1132	277.4470	102.7520	26.713	396764.372
5516700.702	518.36	515		
5516704.1133	287.0590	102.4760	25.436	396765.311
5516704.728	518.53	515		
5516712.1134	305.8670	101.7600	25.424	396766.362
5516712.140	518.82	515		
5516722.1135	330.1290	100.4050	28.953	396768.017
5516722.879	519.34	515		
5516726.1136	327.2710	100.5690	37.217	396760.526
5516726.664	519.19	515		
5516720.1137	315.4840	101.2330	35.587	396758.519
5516720.038	518.83	515		
5516712.1138	300.9940	101.8880	34.134	396757.365
5516712.073	518.51	515		
5516703.1139	285.4120	102.4430	36.314	396754.453
5516703.697	518.13	515		
5516696.1140	274.3700	102.7970	39.779	396751.823
5516696.738	517.77	515		

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4019	98.7380	-0.68	0.0006	439.60	0.00
4020	97.1770	0.71	0.0003	439.61	-0.01
4021	96.2640	2.83	0.0002	439.59	0.01

volné stanoviško: 4018

Určení výšky:

Bod	Z	dH	Váha	Zp	vZ
4019	98.7380	-0.68	0.0006	439.60	0.00
4020	97.1770	0.71	0.0003	439.61	-0.01
4021	96.2640	2.83	0.0002	439.59	0.01

protokol_lok11-16.pro

Transformační parametry:

Měřítko : 0.999723137774 (-27.7 mm/100m)

Souřadnicové opravy na identických bodech:

Bod	vY	vX	m0	Red.
4019	0.002	-0.001		
4020	-0.003	0.001		
4021	0.001	-0.001		

SQRT([vv]/(n-1)): mY: 0.003 mX: 0.001
 Střední souřadnicová chyba klíče m0: 0.003

Určení výšky:

Bod	Z	dH	váha	Zp	vZ
4019	98.7380	-0.68	0.0006	439.60	0.00
4020	97.1770	0.71	0.0003	439.61	-0.01
4021	96.2640	2.82	0.0002	439.60	0.01

Výsledné souřadnice:

Bod	Y	X	Z
4018	386295.341	5520539.407	439.60

Orientace osnovy na bodě 4018:

Red.	Bod	Hz	Směrník	v or.	Délka	v délky	v přev.	m0
--	4019	103.4330	155.9847	0.0017	41.441	-0.010	0.00	
0.0027	4020	124.5030	177.0591	-0.0027	54.251	-0.017	0.01	
0.0005 *	4021	139.6330	192.1853	0.0010	77.027	-0.021	-0.01	
0.0031								

--
 Orientační posun : 52.5534g
 m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0024g
 SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0014g

Podrobné body

Polární metoda

X	Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y
	Z	Popis				
	4022	198.9800	97.0610		2.608	386293.453
5520537.	608	439.75				
	1141	110.1100	98.3680		7.460	386299.469
5520533.	194	439.82	516			
	1142	88.4320	99.5410		15.031	386307.363
5520530.	385	439.74	516			
	1143	273.9260	101.4460		9.296	386286.838
5520543.	163	439.42	516			
	1144	272.0390	100.6960		16.602	386279.962
5520545.	662	439.45	516			
	1145	245.7880	98.2740		19.445	386275.903
5520538.	900	440.16	516			
	1146	223.5150	97.7750		14.154	386282.175

protokol_lok11-16.pro

5520534.211	440.12	516		
1147	185.9710	96.3480	12.100	386288.458
5520529.456	440.32	516		
1148	153.4610	95.8190	14.654	386293.959
5520524.818	440.59	516		
1149	131.3600	96.6150	19.258	386300.156
5520520.761	440.65	516		
1150	149.4420	95.9160	23.822	386294.594
5520515.597	441.16	516		
1151	166.0910	95.4990	20.505	386289.421
5520519.775	441.08	516		
1152	186.1870	96.1350	18.630	386284.691
5520524.122	440.76	516		
1153	214.4980	96.9880	19.158	386278.693
5520529.929	440.54	516		
1154	228.2960	97.5430	24.463	386271.977
5520532.159	440.57	516		
1155	222.1700	96.9510	31.332	386266.446
5520527.291	441.13	516		
1156	207.2440	96.7390	28.931	386271.990
5520522.327	441.11	516		
1157	188.2500	95.9930	26.217	386279.665
5520518.393	441.28	516		
1158	175.8050	95.4830	26.345	386283.990
5520515.633	441.50	516		
1159	160.0770	95.6610	28.986	386289.628
5520510.990	441.61	516		
1160	166.2240	95.3970	35.321	386285.073
5520505.611	442.19	516		
1161	178.8300	95.6530	32.607	386279.910
5520510.683	441.86	516		
1162	186.5670	95.7730	31.266	386277.315
5520513.861	441.71	516		
1163	202.7390	96.5200	31.487	386271.305
5520519.068	441.35	516		
1164	218.9010	96.6720	34.316	386264.417
5520524.530	441.43	516		

protokol_lok17-18.pro

IMPORT SOUŘADNIC

=====

Název vstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok17-18\1117-UTM.txt

Název výstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok17-18\1117-UTM.crd

STATISTIKA:

Počet chybných položek : 0
 Počet načtených bodů : 44
 Počet bodů s výškou / bez výšky : 44 / 0
 Počet bodů s kódem / bez kódu : 34 / 10
 Číslo min / číslo max : 4002 / 4030B
 Y min / Y max : 368197.581 / 403334.952
 X min / X max : 5499155.383 / 5520507.495
 Z min / Z max : 381.50 / 522.80

Kontrola duplicity - soubor C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok17-18\1117-UTM.crd

Počet duplicitních položek: 0

POROVNÁNÍ SEZNAMU SOURADNIC

=====

Referenční soubor: Nepojmenovaný 2

Testovaný soubor : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet tachymetrie\tachymetrie2\1117-UTM.crd

Popis	Bod	dY	dX	dZ	dP	up	Smerník

	4023	-0.002	-0.006	0.00	0.006	0.004	20.4833
	4024	-0.021	0.021	-0.03	0.030	0.021	150.0000
	4025	-0.008	-0.007	0.03	0.011	0.008	54.2379
	4026	0.017	-0.011	-0.03	0.020	0.014	336.5614
	4028	-0.028	-0.006	-0.01	0.029	0.020	86.5614
	4029	-0.009	0.008	-0.04	0.012	0.009	146.2595
	4030	-0.001	0.019	-0.02	0.019	0.013	196.6525

Posun težiště:		-0.007	0.003	-0.01	0.008		121.2150

STATISTIKA:

Pocet bodu (n) : 7
 Požadovaná střední chyba (Uxy) : 0.060m
 Mezní střední odchylka v poloze (Up=2*Uxy) : 0.120m
 Pocet bodu s uxy v intervalu <0, Uxy> : 7 (100.0%)
 Pocet bodu s uxy v intervalu (Uxy, 2Uxy> : 0 (0.0%)
 Pocet bodu s uxy v intervalu (2Uxy, +Nek.) : 0 (0.0%)
 Maximální dosažená střední odchylka v poloze (up): 0.021m
 Výberová střední souřadnicová chyba X (sx) : 0.009m
 Výberová střední souřadnicová chyba Y (sy) : 0.011m
 Výberová střední souřadnicová chyba (sxy) : 0.010m
 Použitý koeficient (k) : 2.0
 Pocet nenalezených bodu : 0
 Pocet bodu nalezených vícekrát : 0

Oprava souřadnic bodu číslo 4023

Bod	Y	X	Z	Popis

Starý	368197.583	5511005.560	497.93	14
Nový	368197.581	5511005.554	497.93	
Rozdíl	0.002	0.006	0.00	14

Uložený	368197.582	5511005.557	497.93	14

protokol_lok17-18.pro

Oprava souradnic bodu číslo 4024

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	368256.176	5511024.408	496.67	14
Nový	368256.155	5511024.429	496.64	
Rozdíl	0.021	-0.021	0.03	14
Uložený	368256.166	5511024.419	496.66	14

Oprava souradnic bodu číslo 4025

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	368286.253	5511021.419	495.62	14
Nový	368286.245	5511021.412	495.65	
Rozdíl	0.008	0.007	-0.03	14
Uložený	368286.249	5511021.416	495.64	14

Oprava souradnic bodu číslo 4026

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	368237.368	5511028.169	497.25	14
Nový	368237.385	5511028.158	497.22	
Rozdíl	-0.017	0.011	0.03	14
Uložený	368237.377	5511028.164	497.24	14

Oprava souradnic bodu číslo 4028

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	371907.973	5511573.344	436.21	
Nový	371907.945	5511573.338	436.20	
Rozdíl	0.028	0.006	0.01	
Uložený	371907.959	5511573.341	436.21	

Oprava souradnic bodu číslo 4029

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	371945.455	5511582.710	436.51	
Nový	371945.446	5511582.718	436.47	
Rozdíl	0.009	-0.008	0.04	
Uložený	371945.451	5511582.714	436.49	

Oprava souradnic bodu číslo 4030

Bod	Y	X	Z	Popis
Starý	371973.328	5511608.650	435.97	
Nový	371973.327	5511608.669	435.95	
Rozdíl	0.001	-0.019	0.02	
Uložený	371973.328	5511608.660	435.96	

protokol_lok17-18.pro

IMPORT MĚŘENÍ

=====

Název vstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok17-18\TP2.ZAP

Název výstupního souboru : C:\Documents\skola\!diplomka\praktická část\měřená data\vypocet2\lok17-18\TP2.mes

Měřítkový koeficient: 1.0000000000 (0.0 mm/100m)

Stanovisko 4027, bod 4027: Podezřelá výška signálu : 0.00m

STATISTIKA:

Počet položek : 255
 Počet stanovisek : 8
 Počet bodů se šikmou délkou : 247
 Počet bodů s vodorovnou délkou : 0
 Počet bodů se zenitovým úhlem : 243
 Počet bodů s převýšením : 0
 Počet bodů s kódem / bez kódu : 212 / 43
 Počet měření v I/II poloze : 247 / 0
 Číslo min / Číslo max : 1 / 4030
 Z min / Z max : 73.0190 / 108.3320
 Délka min / Délka max : 2.589m / 4018.000m
 Signál min / Signál max : 0.000m / 1.700m

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

=====

Orientace osnovy na bodě 4022:

Red.	Bod	Hz	Směrník	v or.	Délka	v délky	v přev.	m0
0.0573	4023	34.8790	250.8456	-0.0208	75.702	-0.103	-0.03	
0.0573	4024	375.7710	191.7376	-0.0209	34.251	-0.083	0.00	
0.0541	4025	336.1430	152.1199	-0.0311	50.595	-0.088	-0.01	
0.0059 *	4026	12.4490	228.3219	0.0728	33.441	-0.057	0.01	

 --
 Orientační posun : 215.9457g
 $m0 = \sqrt{[vv]/(n-1)}$: 0.0488g
 $\sqrt{[vv]/(n*(n-1))}$: 0.0244g

Podrobné body

Polární metoda

X	Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y
	Z	Popis				
5511042.	1165	377.9660	103.3570		15.612	368253.235
	758	497.55	517			
5511048.	1166	388.4140	102.7480		9.495	368251.094
	826	497.96	517			
5511054.	1167	35.8550	101.3690		4.883	368248.195
	945	498.27	517			
5511061.	1168	113.0260	98.0980		7.698	368244.830
	682	498.61	517			
5511067.	1169	128.9730	97.2490		14.102	368241.009
	444	498.98	517			
	1170	279.6910	103.9050		3.869	368255.604

protokol_lok17-18.pro

5511058.564	498.14	517					
1171	269.1310	102.0820		11.417	368262.849		
5511060.951	498.00	517					
1172	264.9140	101.6200		18.754	368269.657		
5511063.853	497.90	517					
1173	265.0820	101.4230		26.710	368277.277		
5511066.142	497.78	517					
1174	184.1740	98.6690		7.668	368251.758		
5511065.967	498.54	517					
1175	170.0940	97.7820		14.738	368248.538		
5511072.684	498.89	517					
1176	323.5110	104.0730		9.746	368259.677		
5511052.638	497.75	517					
1177	343.1320	103.8710		15.751	368261.186		
5511045.692	497.42	517					
1178	325.6410	103.5170		19.127	368266.933		
5511046.674	497.32	517					
1179	307.2800	103.4130		14.970	368265.729		
5511052.958	497.57	517					
1180	235.1390	100.4550		12.760	368260.919		
5511067.166	498.28	517					
1181	202.1150	98.8380		17.808	368256.729		
5511075.395	498.70	517					
1182	222.3270	99.4360		23.456	368265.011		
5511077.642	498.58	517					
1183	238.7380	100.3300		19.683	368266.647		
5511071.156	498.27	517					
1184	281.1170	102.1840		19.749	368271.472		
5511059.210	497.70	517					
1185	293.0580	102.6570		21.456	368272.986		
5511055.275	497.48	517					
1186	307.3500	103.0280		25.716	368275.757		
5511049.097	497.15	517					
1187	297.5330	102.5280		32.881	368283.891		
5511051.389	497.07	517					
1188	280.9370	101.9080		28.719	368280.429		
5511059.705	497.51	517					
1189	249.3450	100.6200		27.267	368275.058		
5511072.439	498.11	517					
1190	235.0350	99.9480		29.036	368272.589		
5511078.512	498.40	517					
1191	222.2980	99.3060		30.043	368268.726		
5511083.082	498.70	517					

Orientace osnovy na bodě 4027:

Red.	Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0
--								
0.0036 *	4028	3.0560	322.7161	-0.0089	74.057	-0.100	0.00	
0.0076	4029	33.5830	353.2273	0.0070	47.527	-0.081	0.00	
0.0112	4030	76.2660	395.9153	0.0019	61.355	-0.077	0.00	

--
Orientační posun : 319.6512g
m0 = SQRT([vv]/(n-1)) : 0.0081g
SQRT([vv]/(n*(n-1))) : 0.0047g

Podrobné body

Polární metoda							
X	Bod	Hz	Z	dH	Délka	Y	
	Z	Popis					

protokol_lok17-18.pro

1193	226.6420	99.0610	18.969	371991.428
5511534.898	437.90	518		
1194	203.8530	99.6740	11.775	371988.238
5511543.259	437.68	518		
1195	148.4360	101.8190	7.643	371983.960
5511551.181	437.40	518		
1196	107.1150	101.6640	10.746	371981.643
5511557.318	437.34	518		
1197	81.6260	102.0310	15.378	371977.566
5511562.883	437.13	518		
1198	108.2040	102.0200	21.466	371986.353
5511566.952	436.94	518		
1199	126.5650	101.8450	17.079	371988.595
5511560.281	437.12	518		
1200	148.9580	101.0240	14.827	371990.318
5511554.526	437.38	518		
1201	185.0210	99.9770	15.394	371992.610
5511546.379	437.63	518		
1202	206.1880	99.3010	21.875	371997.354
5511538.871	437.86	518		
1203	194.8270	99.5150	28.817	372005.332
5511541.011	437.84	518		
1204	173.8110	100.1930	24.235	372001.364
5511549.992	437.55	518		
1205	149.1080	100.9250	22.832	371997.394
5511558.268	437.29	518		
1206	129.6600	101.5280	25.021	371994.757
5511565.391	437.02	518		
1207	117.0110	101.7510	29.130	371993.121
5511571.940	436.82	518		
1208	125.3120	101.4290	35.143	372000.065
5511574.244	436.83	518		
1209	138.0890	101.1650	30.285	372001.111
5511566.167	437.07	518		
1210	149.4280	100.7940	28.538	372002.494
5511560.830	437.26	518		
1211	172.8400	100.1100	29.679	372006.730
5511551.000	437.57	518		
1212	189.6890	99.6320	32.726	372009.632
5511542.724	437.81	518		
1213	177.6040	100.0260	34.974	372012.198
5511549.015	437.61	518		
1214	165.2540	100.3670	30.312	372006.721
5511554.628	437.45	518		
1215	149.2460	100.7820	28.560	372002.476
5511560.913	437.27	518		
1216	133.2600	101.2610	29.204	371998.830
5511567.193	437.04	518		
1217	123.2770	101.5450	32.924	371997.814
5511573.226	436.82	518		
1218	131.8880	101.2220	40.411	372006.514
5511575.383	436.84	518		
1219	137.4070	100.9800	38.011	372006.944
5511571.247	437.03	518		
1220	151.0930	100.5530	36.587	372010.048
5511563.736	437.30	518		
1221	162.6890	100.3560	37.701	372013.517
5511557.833	437.41	518		
1222	179.2250	100.0640	41.424	372018.675
5511548.239	437.58	518		

Příloha D: Struktura přiloženého CD

Na přiloženém CD je obsažen kompletní text diplomové práce a veškerá data, která byla v rámci práce využívána. Výjimku tvoří pouze binární data poskytnutá ZÚ Praha, která nejsou volně šiřitelná. Plný text práce se nachází v kořenovém adresáři disku, dále je zde pak samostatně uložena i tato příloha. Ostatní data jsou rozdělena do následujících adresářů:

- **ESRI Geodatabase** – prostorová databáze se všemi daty z pozemního měření tak, jak je popsána v kap. 3.3. Vizualizaci lze provést otevřením souboru s příponou mxd v programu ArcMap 10.
- **Měření** – veškerá surová data z provedených měření a jejich zpracování. Obsahuje textový soubor s kompletním seznamem souřadnic všech podrobných bodů v souř. systému UTM 33N a dále tři podadresáře:
 - **GNSS** – soubory ve formátu CSV exportované z GNSS přijímače
 - **protokoly** – protokoly o vyrovnání tachymetrického měření v programu Groma ve formátu pdf; stejné protokoly jsou i součástí této práce jako Příloha C
 - **tachymetrie** – všechna data z tachymetrického měření a jejich zpracování v programu Groma; pro otevření některých souborů je potřeba program Groma v. 7 či novější
- **MS Excel** – obsahuje soubor ve formátu MS Excel 2010 s příponouxlsx, ve kterém jsou na několika listech realizovány všechny výpočty zmíněné v kap. 4.5 této práce; též je zde možné nalézt všechny grafy v této kapitole zobrazené

- **Porovnání ArcGIS** – obsahuje soubor ve formátu ESRI ArcMap 2010 s příponou mxd. V něm jsou pomocí relativních cest zobrazena všechna prostorová data použitá pro bodovou kontrolu přesnosti, tak jak je to popsáno v kap. 4.4
- **Porovnání Atlas** – všechna data použitá při porovnání metodou Robustní kontroly přesnosti a také soubory sloužící k vizualizaci těchto dat v programu Atlas DMT. Obsahuje tyto podadresáře:
 - **data KM** – data získaná pozemním měřením a z nich vytvořené DMT
 - **data LLS** – DMT z dat leteckého laserového skenování získaných od ZÚ Praha (původní data nejsou připojena)
 - **porovnani Atlas**
 - charakteristiky rozdílových modelů v textových souborech s příponou txt (tj. protokoly z porovnání metodou Robustní kontroly přesnosti)
 - soubory ve formátu Atlas DMT v4.70 s příponou a4d; soubory slouží k vizualizaci dat porovnávaných metodou Robustní kontroly přesnosti
 - každý z výše jmenovaných adresářů obsahuje data rozdělená do podadresářů podle čísla lokality