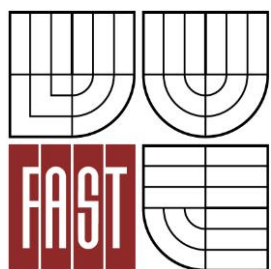




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

KLASIFIKACE MRAČEN BODŮ Z LETECKÉHO A MOBILNÍHO SKENOVÁNÍ

CLASSIFICATION OF A POINT CLOUD FROM AIRBORNE AND MOBILE SCANNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

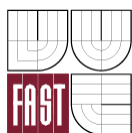
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JÁN BOROVÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ VOLAŘÍK

BRNO



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Ján Borový
Název	Klasifikace mračen bodů z leteckého a mobilního skenování
Vedoucí diplomové práce	Ing. Tomáš Volařík
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....
doc. RNDr. Miloslav Švec, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Manuál k software společnosti TerraSolid
Odborné články a publikace v anglicky psaných časopisech

Zásady pro vypracování

Cílem práce je posouzení různých dat laserového skenování z různých nosičů (letadlo, vozidlo) pro klasifikaci a vektorizaci objektů (např. budov, vegetace nebo vedení). Nejprve proveďte rešerši současného stavu poznání v oblasti zpracování mračen bodů. Použijte data z leteckého skenování a mobilního mapování na území města Brna, proveďte klasifikaci mračen bodů a posuďte možnosti jednotlivých typů dat a různých nastavení a metod. Klasifikované mračno použijte pro vektorizaci budov. Výstupem práce by mělo být posouzení vlivu hustoty bodů na kvalitu vektorizace. Práci doplňte o názorné grafické výstupy.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....

Ing. Tomáš Volařík
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Predmetom tejto diplomovej práce je klasifikácia mračien bodov z rôznych nosičov a s rôznou hustotou. Z dát bol ďalej vytvorený model terénu a modely budov. Popísané je aj softvérové vybavenie slúžiace na spracovanie dát. Predstavené sú dosiahnuté výstupy spracovania v každej príslušnej kapitole. Na záver je vykonané zhodnotenie a posúdenie výsledkov spracovania.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

mračno bodov, klasifikácia, letecké laserové skenovanie, mobilné skenovanie, TerraScan

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the classification of the point clouds taken by different carrier and with various density. The terrain model and building models were created from provided data sets. Also the software equipment is described. Achieved outcomes of elaboration are presented in each corresponding chapter. In conclusion, the overall evaluation and assessment of the results of processing is done.

KEYWORDS

point cloud, classification, airborne laser scanning, mobile scanning, TerraScan

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Ján Borový *Klasifikace mračen bodů z leteckého a mobilního skenování*. Brno, 2016. 74 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Tomáš Volařík

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracoval samostatne a že som použil všetky použité informáčné zdroje.

V Brne dňa 25.5.2016

.....

podpis autora

Bc. Ján Borový

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som sa rád poďakoval vedúcemu práce Ing. Tomášovi Volaříkovi za odborné vedenie a rady pri riešení problematiky. Ďalej by som rád poďakoval svojej rodine a priateľom za podporu behom celého štúdia.

Táto práca bola vytvorená v rámci aktivít a s podporou projektu TA ČR Centrum kompetence TE02000077 s názvom „Intelligentní Regiony – Informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj“.

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 VÝVOJ A VYUŽITIE	10
2.1 História laserového skenovania	10
2.2 Súčasnú vyúžitie laserového skenovania	11
2.3 Budúci vývoj	11
2.4 Vyúžitie dát v ČR.....	12
3 LASEROVÉ SKENOVANIE	16
3.1 Rozdelenie podľa nosiča	16
3.2 Určované veličiny	17
3.3 Konštrukcia laserových skenovacích systémov	18
3.3.1 Notebook	19
3.3.2 Laserová jednotka.....	19
3.3.3 Skenovacia jednotka	20
3.3.4 Inerciálna jednotka	20
3.3.5 GNSS prijímač.....	21
3.3.6 Odometer	21
3.4 Výhody a nevýhody LS.....	21
4 SOFTVÉROVÉ VYBAVENIE	23
4.1 TerraScan, TerraModeler	23
4.2 ArcGIS 10.2	23
5 SPRACOVANIE DÁT	24
5.1 Územie mesta Brno a okolia	24
5.1.1 Príprava dát na spracovanie.....	25
5.1.2 Filtrácia a klasifikácia dát.....	28
5.1.3 Vizualizácia	38

5.2	Územie mestskej časti Líšeň	41
5.2.1	Príprava dát na spracovanie	42
5.2.2	Filtrácia a klasifikácia dát.....	42
5.2.3	Vizualizácie	44
5.3	Lokalita Nový Lískovec	49
5.3.1	Filtrácia a klasifikácia.....	50
5.3.2	Vizualizácie	53
6	VYHODNOTENIE PRESNOSTI.....	54
6.1	Vyhodnotenie terénu	54
6.2	Vyhodnotenie budov	58
7	ZÁVER	60
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV	62
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	67
	ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV	69
	ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK A GRAFOV	73
	ZOZNAM PRÍLOH.....	74

1 ÚVOD

V posledných niekoľkých rokoch si môžeme všimnúť prudký rozmach zberu dát technológiou laserového skenovania, použitím rôznych nosičov. Táto technológia sľubuje širokú oblasť využitia a je cenená pre svoju presnosť, aktuálnosť a objem vytvorených dát.

Cieľom práce je vytvoriť v prostredí programu TerraScan model terénu a modely budov a posúdiť kvalitu vytvoreného terénu a detekcie budov. Práca je rozvrhnutá do niekoľkých častí.

Úvodná časť práce je venovaná stručnému historickému vývoju, súčasným trendom využitia dát a využívaniu dát v ČR, ako aj o možných výhľadoch použitia dát v budúcnosti. Zároveň podrobnejšie pojednáva o problematike laserového skenovania, o využívaných nosičoch a určovaných veličinách. Taktiež hovorí o technologickej stavbe laserových skenovacích systémov pre skenovanie letecké a mobilné. V neposlednom rade hovorí o použitom softvérovom vybavení pre spracovanie dát.

Samotná praktická časť začína kapitolou piatou a zaoberá sa samotnému spracovaniu dát. A teda hovorí o metodike spracovania dát z leteckého a mobilného skenovania v rôznych typoch mestského územia mesta Brna v prostredí programov TerraScan.

Kapitola šiesta sa venuje zhodnoteniu vytvorených modelov terénu a modelov budov, pričom popisuje samotnú metodiku vyhodnotenia a výsledky spracovania.

Záverečná kapitola pojednáva o zhodnotení výsledkov tejto práce.

2 VÝVOJ A VYUŽITIE

2.1 História laserového skenovania

Počiatky technológie laserového skenovania siahajú do roku 1960 [37], kedy T. Maiman zostrojil prvý funkčný laser. Praktické aplikácie však boli obmedzené na pozemné skenovanie, kedy nedochádzalo k pohybu laseru, a bolo teda možné určiť jeho polohu tradičnými geodetickými metódami. Prvou oblasťou, kde našiel laser praktické využitie, sa stala meteorológia [4]. Americké Národné Centrum pre Atmosférický Výskum (National Center for Atmospheric Research) využívalo laserové lúče na určovanie výšky oblačnosti. Časom sa začal využitím laseru zaoberať americký Národný Ústav pre Letectvo a Vesmír (NASA), ktorý technológiu laserovej altimetrie využil počas misie na Mesiac.

S rýchlym rozvojom leteckej fotogrametrie, začali priemyselné spoločnosti vytvárať tlak na vývoj technológie, ktorá by umožňovala okamžité priradenie súradníc skúmaných objektov súradniciam geografickým. Následne, spoločnosti zaoberajúce sa pozemnými navigačnými systémami začali s vývojom leteckých, resp. vesmírnych navigačných systémov. Spolu s družicami GPS vznikli aj presné inerciálne meracie systémy, obe zložky však boli spočiatku využívané iba pre vojenské účely [3].

Po sprístupnení technológie GPS a IMU verejnosti, neexistovali prekážky na vytvorenie prvých funkčných leteckých skenerov a mobilných skenerov. V tom čase, boli laserové skenery schopné vyprodukovať 2 000-25 000 pulzov za sekundu (teda približne rovnaký počet bodov) [14], čo nebolo možné dosiahnuť s dovtedy využívanými metódami (klasické geodetické metódy, fotogrametria) v tak krátkom čase. Odborná verejnosť si teda začala uvedomovať potenciál laserového skenovania pre potreby mapovania.

Dopyt po dátach vyhotovených laserovým skenovaním rýchlo rástol, no táto technológia narazila na obmedzenia v oblasti výpočtovej techniky, nakoľko počítače ešte koncom 90. rokov 20. storočia neboli schopné efektívne spracovať obrovské objemy dát [14], ktoré laserové skenery produkovali. Táto situácia vyústila do rýchleho vývoja a vylepšenia počítačových systémov a GIS softvérov.

S rýchlym rozvojom laserového skenovania a využívania dát takto vyhotovených, vznikla potreba po oficiálnych štandardoch a usmerneniach. Americká spoločnosť pre

fotogrametriu a diaľkový prieskum, resp. ASPRS zaviedla ALS formát, ktorý sa rýchlo stal hlavným výstupným formátom laserových skenerov [14].

2.2 Súčasné využitie laserového skenovania

Vzhľadom na rýchlosť a efektivitu produkcie mračen bodov pomocou laserového skenovania táto technológia našla využitie v mnohých vedných odboroch. V súčasnej dobe, keď skenovacie systémy dokážu vyprodukovať viac ako 250 000 pulzov za sekundu (napr skener LMS-Q680i od nemeckej firmy RIEGEL [21]), pracovať s násobnými odrazmi jednotlivých pulzov, alebo dokonca mapovať celý priebeh návratu pulzu sa zber dát prispôsobuje požiadavkám jednotlivých vedných odborov [14].

Dáta leteckého laserového skenovania sú najčastejšie využívané pre rýchlu tvorbu digitálneho modelu terénu a povrchu (DMT, DMP), topografické mapovanie a kartografiu, archeológiu, urbanizmus, manažment a plánovanie lesného hospodárstva, skúmanie znečistenia ovzdušia, dopravné plánovanie [36].

Mobilné skenovacie systémy našli svoje uplatnenie v oblastiach ako sú topografické mapovanie, mapovanie a manažment cestnej siete, manažment podzemných vedení a ich údržba, simulácia pohybov, krízový manažment, rekonštrukcia budov, meteorológia, geológia (určovanie objemov) [36].

2.3 Budúci vývoj

Čo sa týka budúceho vývoja technológie laserového skenovania (leteckého i mobilného), možno očakávať rozšírenie využitia do ďalších vedných oblastí. Napredovaním technologického vývoja čoraz citlivejších prístrojov možno očakávať zvýšenie presnosti a hustoty pokrytia povrchov bodmi. Priestor na zlepšenie technológie možno nájsť aj v oblasti odvodzovania povrchových vlastností skenovaných objektov vďaka analýze vráteného signálu. Hoci v súčasnosti neexistuje softvér dovoľujúci úplné automatické filtrovanie dát, je možné očakávať vývoj aj týmto smerom. To povedie ku komplexnejšiemu objektovému modelovaniu a automatizovanej extrakcii prvkov.

Ďalšou, už existujúcou výhodou skenovacích systémov, ktoré poskytuje priestor na zlepšenie, je zlúčenie skenovania dát s digitálnym obrazom iného snímača (napríklad

multispektrálnymi kamerami) pre účely lepšieho rozpoznávania objektov. Ide o všeobecný trend smerom k univerzálnym multi-senzorovým systémom [1].

Zaujímavou oblasťou, do ktorej prenikne laserové skenovanie (tento trend môžeme pozorovať už v súčasnosti), je použitie tzv. dronov a robotov pri získavaní dát, čo ešte vo väčšej miere zníži náklady na získavanie dát [13].

2.4 Využitie dát v ČR

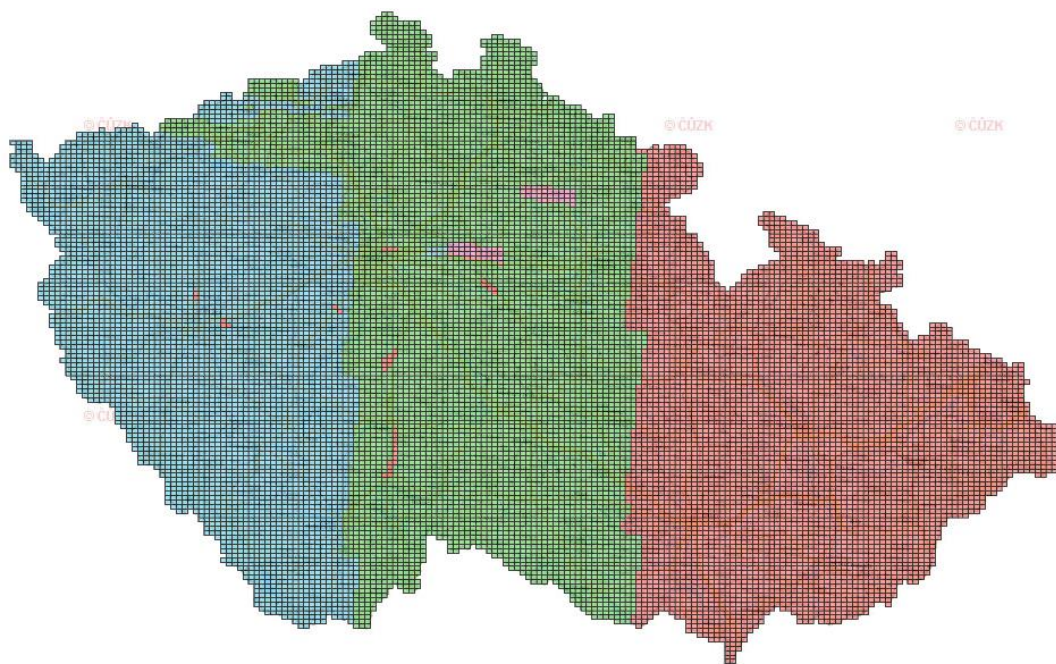
V súčasnej dobe, vzhľadom na ekonomickú náročnosť, je v Českej Republike niekoľko, najmä väčších firiem, ktoré dáta zabezpečujú s pomocou laserových skenovacích systémov (G4D [8], Geodezie Ledec nad Sázavou [9], atď.). Ide najmä o aplikácie v rámci inžinierskej geodézie, napríklad mi zameriavajú skutočného stavu budov, neprístupných skalných celkov, zložitých technologických konštrukcií a zisťovaní objemu zemných prác. Uplatnenie našli aj pri dokumentácii priebehu výstavby alebo pri razení tunelov, kde umožňujú rýchlu kontrolu kvality diela.

Situácia v oblasti leteckého laserového skenovania nachádza uplatnenie v súvislosti s mapovaním väčších geografických celkov. Ide napríklad (v prípade ČR) lesné a poľnohospodárske monitorovanie, mapovanie urbanizovaných zón, monitorovanie záplavových území. Všeobecne možno povedať, že najväčšie uplatnenie nachádza letecké skenovanie v oblasti tvorby digitálnych modelov terénu.

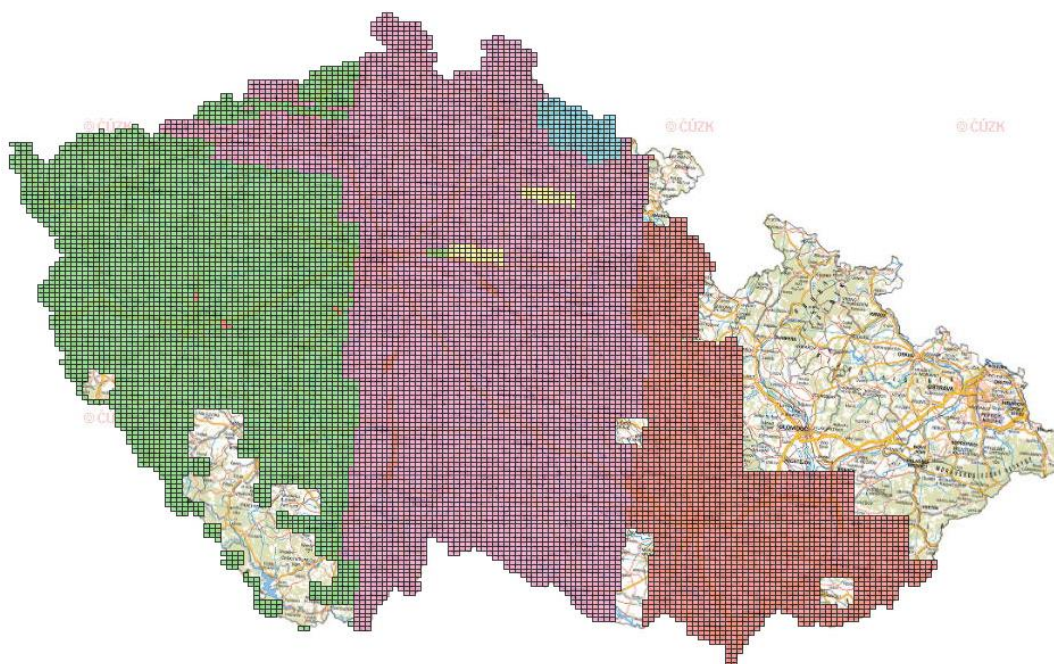
V Českej republike je momentálne v rámci databázy ZABAGED[®] vytvorený nový výškopis, pre ktorého tvorbu boli využívané práve dáta získané metódou leteckého laserového skenovania ALS. Na tvorbe spolupracovalo ministerstvo zemédelství a ministerstvo obrany. Od roku 2009 (začiatok projektu) vzniklo niekoľko rád produktov (Tab. 1) [40].

Databáza	Formát, Rozlišení	Stredná chyba výšky (holý terén)	Stredná chyba výšky (zalesnený terén)	Stav aktualizácie (k 01/2016)
Digitálny model reliéfu 4. Generácie (DMR 4G)	Grid 5x5 m	0,3 m	1 m	100 % (Obr. 1)
Digitálny model reliéfu 5. Generácie (DMR 5G)	TIN	0,18 m	0,3 m	79 % (Obr. 2)
Digitálny model povrchu 1. generácie (DMP 1G)	TIN	Ohraničené objekty 0,4 m	Presne neohraničené objekty 0,7 m	60% (Obr. 3)

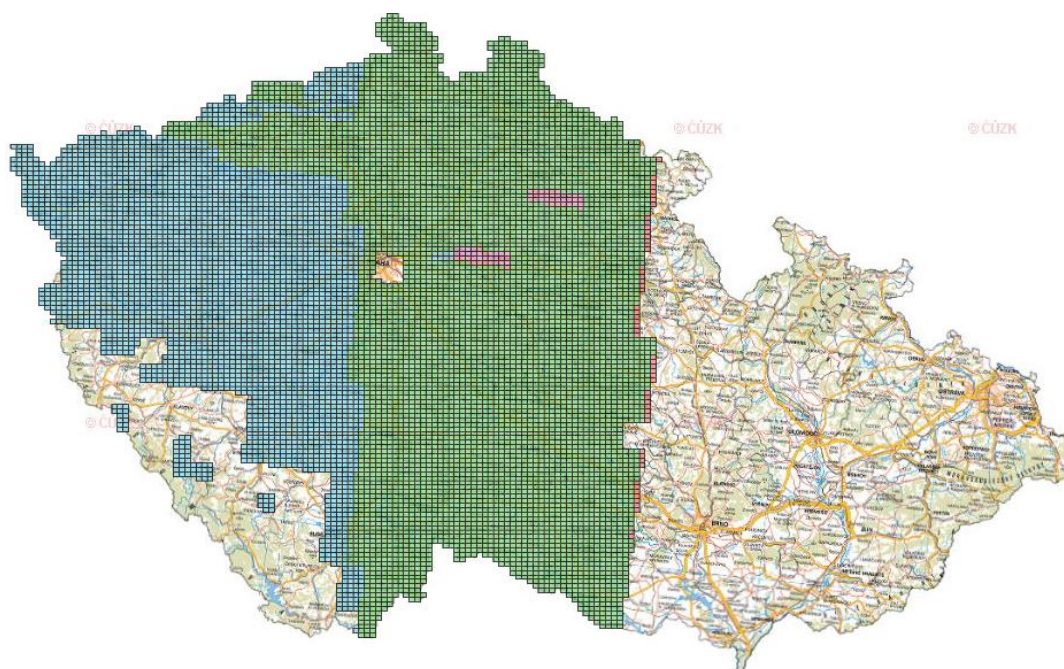
Tab. 1: Modely terénu vytvorené z dát ALS pre územie ČR, upravené z [40]



Obr. 1: Stav aktualizácie DMR 4G (Fialová – 2009, Zelená – 2010, Modrá – 2011, Červená – 2013), upravené z [26]



Obr. 2: Stav aktualizácie DMR 5G (Žltá – 2009, Fialová-2010, Zelená – 2011, Modrá – 2012, Červená – 2013), upravené z [27]



Obr. 3: Stav aktualizácie DMP 1G (Fialová-2009, Zelená – 2010, Modrá – 2011, Červená – 2013), upravené z [28]

Produkty sú vytvárané v súradnicovom systéme S-JTSK a vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní (Bpv).

Zber dát pre tvorbu týchto produktov je realizovaný laserovým skenerom RIEGL 680. Ako technologické prostriedky využívané na spracovanie surových dát je využívaný súbor programov SCOP++ firmy INPHO, GmbH, pre filtrovanie dát a ich separáciu, ako

aj programy rady ArcGIS. Kompletné dokončenie tvorby týchto produktov je stanovené na koniec roka 2016 [29] [30] [31].

Ďalším príkladom využitia leteckého laserového skenovania v ČR je projekt s názvom Využití dat leteckého laserového skenování na tocích a v příbřežních zónách, ktorý prebieha pod záštitou Výskumného ústavu vodohospodářského T.G. Masaryka (VÚV TGM). Zaoberá sa výskumom možnosti aktualizácie vodohospodárskych dát, resp. analýzou dát pre stanovenie záplavových území a možnosť identifikácie výškových prekážok na vodných tokoch. Výsledkom po testovaní vo vybraných lokalitách je záver, že letecké skenovanie je vhodné na identifikáciu tokov o šírke od 4 m a táto metóda (v kombinácii s iným výškopisnom zdrojom) je vhodná pre stanovenie záplavových území. Pre tvorbu máp povodňového nebezpečenstva a rizika je však DMT 5G vhodný ako zdroj výškopisu [38].

3 LASEROVÉ SKENOVANIE

Laserové skenovanie (anglicky laserscanning), predstavuje spôsob, ako získať podrobné priestorové dáta o zemskom povrchu. Princípom fungovania laserového skenovania spočíva vo vyslaní zväzkov laserových lúčov, ktoré sa po odraze od objektov vrátia do skeneru.

Vzhľadom na použité technológie, je laserové skenovanie jednou z najmodernejších, najefektívnejších, najrýchlejších a aplikačne najvariabilnejších technológií sprostredkujúcich možnosť získania geodetických dát. Výstupom laserového skenovania sú zvyčajne obrovské množstvá bodov (mračná), s určenými priestorovými súradnicami, pričom následné spracovanie už prebieha s veľkou mierou automatizácie v špecializovaných softvéroch [16].

3.1 Rozdelenie podľa nosiča

V súvislosti s laserovým skenovaním sa v súčasnej dobe najviac objavuje termín LiDAR (z anglického Light Detecting and Ranging), čo v slovenčine značí detekciu a meranie svetla. Podľa praktického využívania laserových skenerov sa zaužívalo rozdelenie na 3 hlavné oblasti.

- a) Letecké laserové skenovanie (Airborne Laser Scanning, ALS) – nosičom technológie skenera je letecký prostriedok, najčastejšie lietadlo, vrtuľník, sporadicky družice, ako napríklad ICESat, a v poslednej dobe aj drony. Skener je doplnený ďalším technickým vybavením, zahŕňajúcim GNSS prijímač a inerciálnu jednotku [6]
- b) Mobilné laserové skenovanie (Mobile Laser Scanning, MLS) - v tomto prípade sa nosičom stáva pohybujúce sa vozidlo, napríklad automobil, loď, vlak. Zber dát je uskutočnený pozdĺž trasy po ktorej sa vozidlo pohybuje. Rovnako ako v prípade ALS, aj tu je nutná prítomnosť GNSS prijímača a inerciálnej jednotky [17].
- c) Pozemné laserové skenovanie (Terrestrial Laser Scanning, TLS) – laserový skener je umiestnený na statíve, sú teda statické (vzhľadom k okoliu nemenia svoju pozíciu). Táto metóda nachádza uplatnenie napríklad v oblasti mapovania archeologických lokalít, či monitoringu malých oblastí [16].

3.2 Určované veličiny

Vo všeobecnosti, laserové skenery merajú vzdialenosti a smery od osi prístroja k skenovanému objektu vo veľmi hustej matici, čím vzniká tzv. mračno bodov. Samotná vzdialenosť od vysielача určovaná dvoma nasledujúcimi metódami:

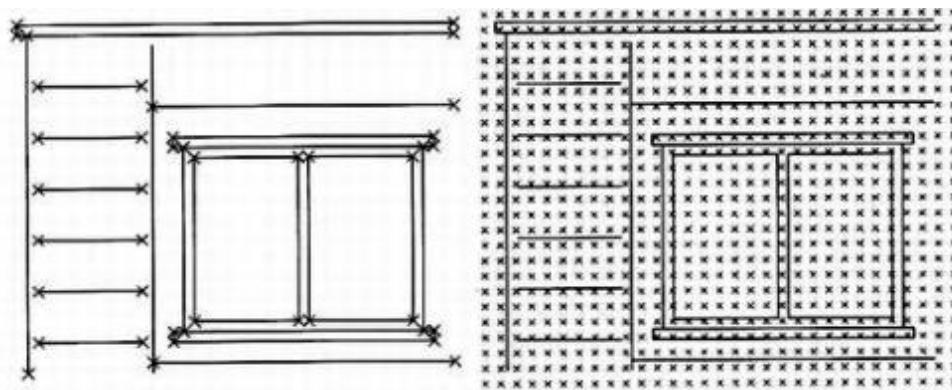
- Meraním tranzitného času laserového lúča (resp. doby letu) – ide o meranie času vnútornými hodinami medzi vyslaním lúča a jeho opätovným prijatím po odrazení [6]
- Porovnaním fázy lúča – vysielaný lúč je modulovaný harmonickou vlnou a vzdialenosť k predmetu od ktorého sa odrazí, sa vypočíta ako fázový rozdiel medzi vyslanou a prijatou vlnou

Spolu s pozíciou bodov dokážu laserové skenery registrovať aj intenzitu energie odrazenej zo skenovaných objektov. Odrazivosť skenovaných povrchov je závislá na materiáli, štruktúre a farbe povrchov a vlnovej dĺžky laseru (príklady v Tab. 2). Vzhľadom na to, že po skenovaní sa informácie o intenzite odrazu prejavujú priradením určitého stupňa šedi konkrétnym bodom, môže byť táto hodnota použitá na zlepšenie filtrácie, klasifikácie a orientácie vo veľkých blokoch dát.

Materiál	Odrazivosť
Biely papier	až do 100 %
Sneh	80 – 90 %
Biele murivo	85 %
Vápence, ílovce	do 75 %
Listnaté stromy	60 %
Ihličnaté stromy	30 %
Betónové povrchy	24 %

Tab. 2: Odrazivosť niektorých materiálov [24]

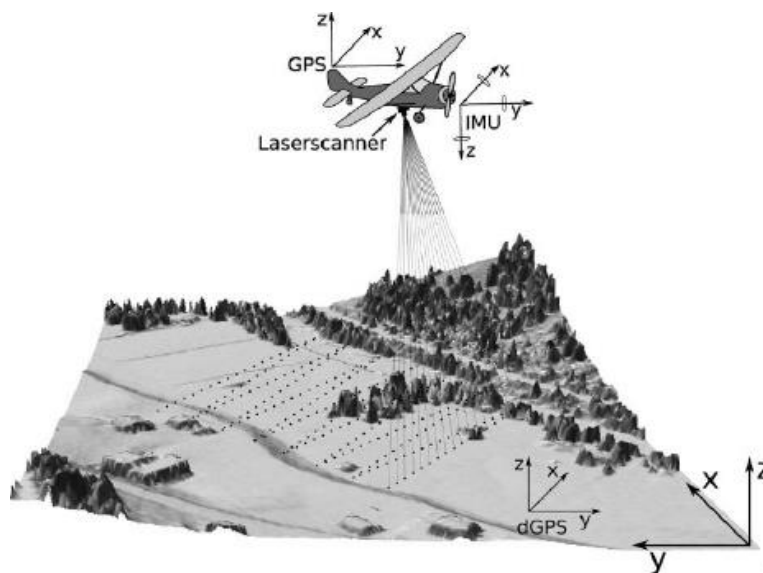
Laserové skenovanie patrí medzi neselektívne metódy merania, čo znamená, že na rozdiel od klasických geodetických metód nemeria charakteristické body skenovanej plochy, ale body sú rozmiesnené v pravidelnom uhlovom rastri (Obr. 4)



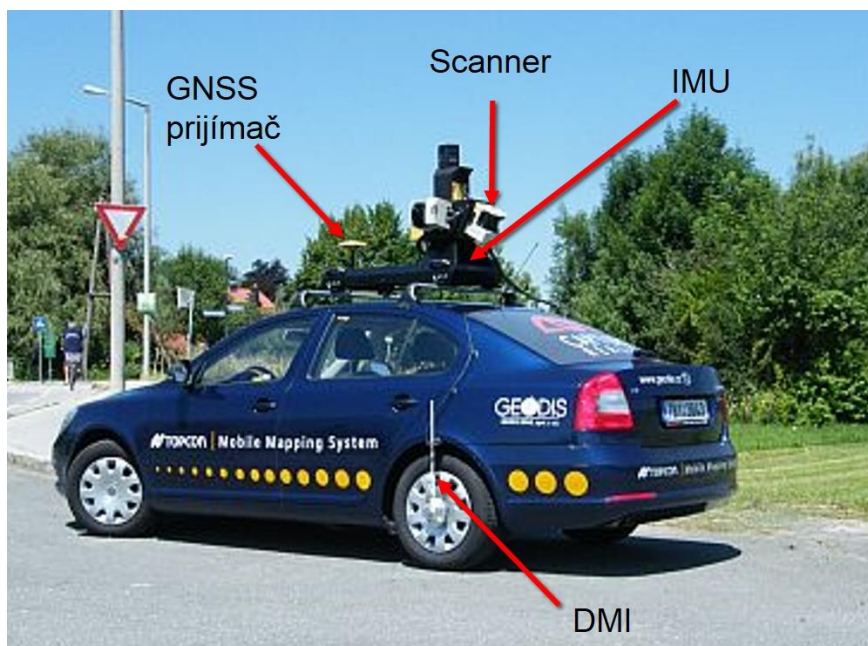
Obr. 4: Porovnanie získavania bodov pomocou geodetickej metódy a metódy skenovania [25]

3.3 Konštrukcia laserových skenovacích systémov

Napriek tomu, že v oblasti laserového skenovania bolo v poslednej dobe vyrobené množstvo rôznych systémov, všetky majú rovnaký základ. GNSS prijímač, inerciálnu jednotku, laserovú a skenovaciu jednotku, notebook (Obr. 5), v prípade leteckých skenovacích systémov a v prípade mobilných skenovacích systémov je do zostavy pridaný aj odometer (Obr. 6). Parametre jednotlivých zložiek sa môžu vzhľadom na rozličných výrobcov môžu odlišovať.



Obr. 5: Letecké skenovanie, upravené z [2]



Obr. 6: Mobilné skenovanie, upravené z [41]

3.3.1 Notebook

Slúži ako prostriedok pre komunikáciu s kontrolnou jednotkou, pre nastavovanie parametrov alebo na monitorovanie systémov počas prieskumu [6].

3.3.2 Laserová jednotka

Laserová jednotka obsahuje laserový vysielač a prijímač. Na princípe fázového posunu fungujú lasery emitujúce nepretržitý lúč (continuous wave, CW). Prevažná väčšina skenerov však využíva pulzné lasery, v ktorých emitor vysiela krátke prerušované svetelné impulzy. Z času medzi vyslaním lúča a detekovaním jeho odrazu je vypočítaná vzdialenosť objektu.

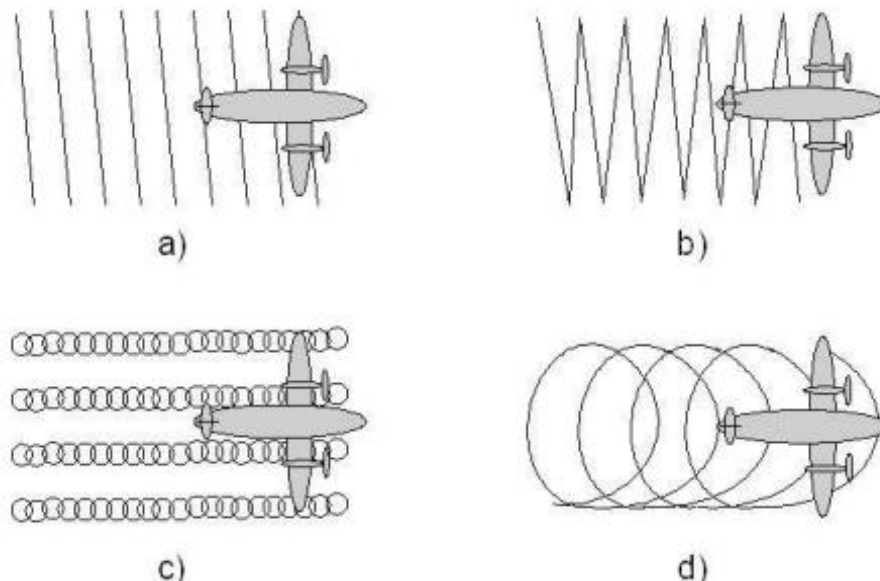
Veľkosť stopy emitovaného lúča je závislá na vzdialenosti od skenovaného objektu a od divergencie (rozbiehavosti) svetelného lúča. Zväzok sa na objekt nepremieta ako bod, ale kvôli atmosférickým vplyvom a rozbiehavosti sa rozdeľuje. Preto je možné merať niekoľkonásobný odraz jedného lúča. Ďalším druhom skenerov sú full-waveform skenery, ktoré zaznamenávajú priebeh celej krivky návratu signálu v časových intervaloch [6] [39].

Väčšina komerčných systémov využíva laserové lúče s vlnovou dĺžkou 1000-1500 nm (infračervené spektrum), v špeciálnych prípadoch (skenovanie vodných plôch) využíva modrozelenú časť spektra, kvôli lepšej prístupnosti.

3.3.3 Skenovacia jednotka

Pre vychýlenie laserového lúča mimo svoju os je v skeneri zvyčajne umiestnené rotujúce zrkadielko, ktoré lúč vychýli v priečnom smere. V pozdĺžnom smere je vychýlenie zabezpečené vlastným pohybom nosiča (lietadlo, automobil). Celkový uhol záberu v priečnom smere definuje šírku záberu (zorné pole, resp. field of view).

Podľa vzniknutého obrysu nameraných laserových dát rozlišujeme štyri typy skenerov: skenery s rotujúcim zrkadlom (Obr. 7a), s oscilujúcim zrkadlom (Obr. 7b), so zväzkom optických vlákien (Obr. 7c) alebo sústavou dvoch zrkadiel, resp. eliptický skener (Obr. 7d) [6].



Obr. 7: Letecké skenovanie podľa typu skeneru, upravené z [6]

3.3.4 Inerciálna jednotka

Vzhľadom na to, že pohybujúce sa lietadlo sa nepohybuje neustále v rovnakej výške, rovnakou rýchlosťou a náklonom, bolo nutné určiť príslušné náklony a zrýchlenia. Na to slúži sústava gyroskopov a akcelerometrov. Sústava gyroskopov

dokáže určit náklon celého systému vzhľadom k tiažnici. Akcelerometre naopak merajú zrýchlenie v rôznych smeroch. Porovnaním rozdielov zrýchlenia v čase je možné spätne určit polohovú zložku pohybu nosiča [6].

3.3.5 GNSS prijímač

Pre určenie presnej polohy senzoru sa používa sústava GNSS prijímačov umiestnených na palube lietadla. Minimom pre určenie polohy, je viditeľnosť na aspoň štyri satelity (GPS, GLONASS), no pre dosiahnutie vyššej presnosti je nutné vidieť aspoň 6 satelitov s využitím metódy DGPS (Diferenciálne GPS, Differential Global Positioning System). Táto metóda sa používa výberom jednej referenčnej stanice na známom bode a jednej stanice na palube nosiča [6].

3.3.6 Odometer

Odometer, z gréckeho hodós (cesta) a métron (merať) je jednoduché zariadenie, pomocou ktorého je možné po kalibrácii určit prejdenú vzdialenosť. Ide teda o vzdialenosť merací indikátor (angl. Distance Measuring Indicator DMI). Výstupom tohto zariadenia sú pulzy, ktoré sú vysielané po pootočení kolesa vozidla o určenú časť. Napríklad nastavenie 10 pulzov na meter znamená, že odometer vyšle pulz za každé pootočenie kolesa zodpovedajúce prejdeniu 10 cm vzdialenosti [12].

3.4 Výhody a nevýhody LS

Ako už bolo spomenuté, medzi výhody laserových skenovacích systémov patrí vysoká rýchlosť zberu dát (rádovo tisícky bodov za sekundu), s čím priamo súvisí kratší pracovný čas v teréne a finančná úspora (v porovnaní s konvenčnými metódami merania. Keďže ide o bezkontaktnú metódu získavania dát, je možné zamerať aj ťažko prístupné a nebezpečné miesta v akýchkoľvek svetelných podmienkach. Za výhodu možno považovať aj skutočnosť, že súradnice zameraných bodov sú určované v reálnom čase (už behom merania, alebo bezprostredne po meraní). Presnosť získaných dát sa pohybuje v rozmedzí niekoľkých milimetrov, až po niekoľko centimetrov (v závislosti od použitého prístroja a typu merania). Automatický zber dát súvisí s ďalšou veľkou

výhodou, ktorou je kompletnosť získaných informácií (vysoká hustota bodov pokrývajúcich záujmovú lokalitu). Kompletnosť dát zároveň eliminuje potrebu ďalších návštev záujmovej lokality. Pri spracovaní dát sa uplatňuje vysoký stupeň automatizácie v špecializovaných softvéroch [15].

Popri mnohých výhodách laserového skenovania, majú tieto systémy aj nevýhody. Medzi tie patria napríklad vysoké vstupné náklady (skener). Vysoká hustota získaných bodov má za následok veľký objem spracovávaných dát, s čím súvisia vysoké nároky na hardware používaný pri spracovaní dát. Napriek stupňu automatizácie spracovania dát je spracovanie mimoriadne časovo náročné (filtrácia, klasifikácia, vektorizácia...) [15].

4 SOFTVÉROVÉ VYBAVENIE

Na spracovanie poskytnutých dát boli použité programy Bentley Microstation V8i (konkrétne nadstavby TerraScan a TerraModel). V neskoršej fáze spracovania bol použitý aj program ArcGIS 10.2. Všeobecne možno spracovanie rozdeliť do niekoľkých krokov [15]:

- Prípravné práce (rozdelenie, spájanie mračien)
- Čistenie a redukcia dát (odstránenie príliš odľahlých bodov, bodov mimo záujmovej oblasti)
- Klasifikácia (rozdelenie do tried podľa objektov) a Modelovanie
- Vizualizácia (priradenie farieb, materiálov...)

4.1 TerraScan, TerraModeler

Ide o nadstavbu pre program Bentley Microstation V8i od fínskej firmy Terrasolid Software, špecializujúcu sa na spracovanie dát z laserového skenovania. Možnosti programu dovoľujú spracovávať milióny bodov v rámci projektu.

Nadstavba TerraScan načíta body z textových súborov a tieto umožňuje zobrazit' 3D. Ďalej sa špecializuje na samotnú klasifikáciu (automatickú, manuálnu) bodov do tried, vektorizáciu budov, mapovanie elektrických vedení, komunikácií, železníc, vytváranie modelov terénu, atď. Samotný terén sa spracováva pomocou nástrojov nadstavby TerraModeler. V prostredí tejto nadstavby možno terén zobrazit', editovať, konvertovať do iných podôb (vrstevnicový model, tieňovaný model, trojuholníkový model...) [32].

Podrobnejšie sú niektoré funkcie popísané v kapitole 5.

4.2 ArcGIS 10.2

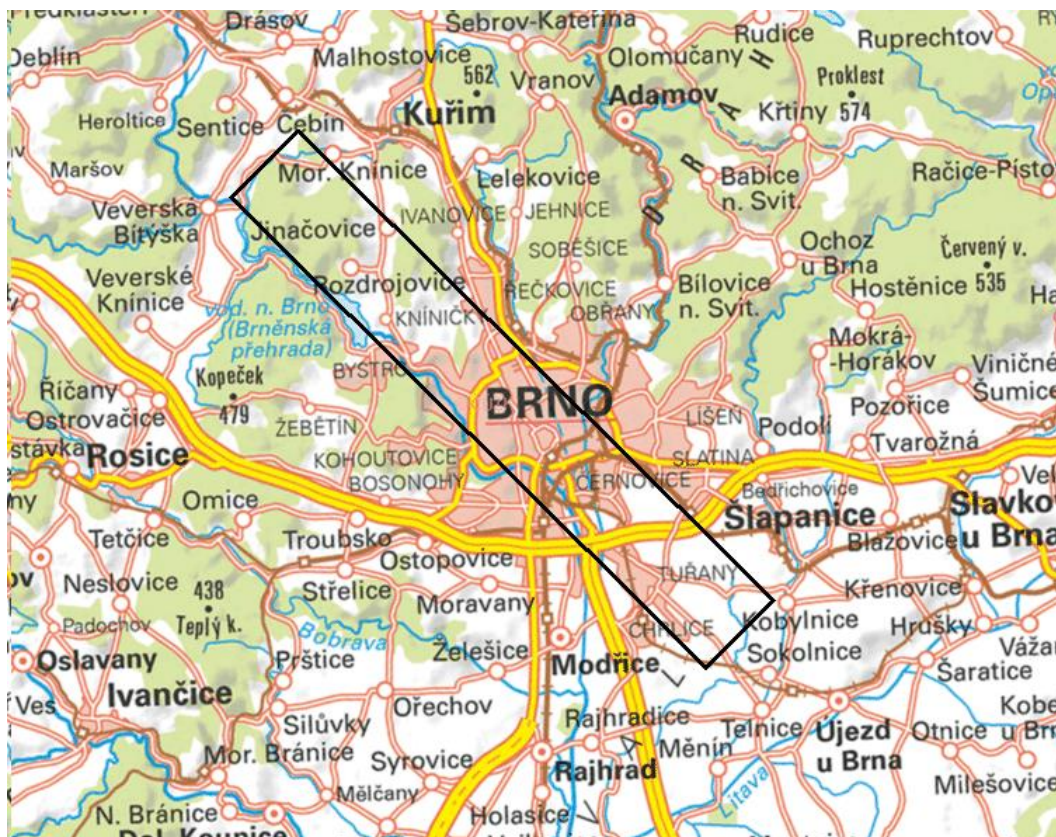
ArcGIS [7] je programom od americkej firmy ESRI, špecializujúci sa najmä na GIS aplikácie. Program je dodávaný v rôznych verziách, ktoré sa od seba líšia možnosťami spracovania dát. Základným modulom všetkých verzií je ArcMap, v ktorom sa zobrazujú a spracovávajú dáta spravované ArcCatalogom. Nástroje na spracovanie dát sú k dispozícii v rámci ArcToolboxu. Podrobnejšie sú použité nástroje rozpísané v kapitole 5.

5 SPRACOVANIE DÁT

V tejto kapitole podrobnejšie opíšeme spôsoby spracovania dát podľa [33] [35].

5.1 Územie mesta Brno a okolia

Dáta z tohto územia boli zozbierané technológiou leteckého laserového skenovania, resp. ALS v súradnicovom systéme ETRS 89/UTM 33N prístrojom Riegl LMS-Q780 [22] dňa 7.2. 2015. Ide o nalietaný pás, ktorý bol orezaný na obdĺžnikovú oblasť s rozmermi 3,6 x 25,2 km (Obr. 8).



Obr. 8: Poloha riešeného územia, upravené z [19]

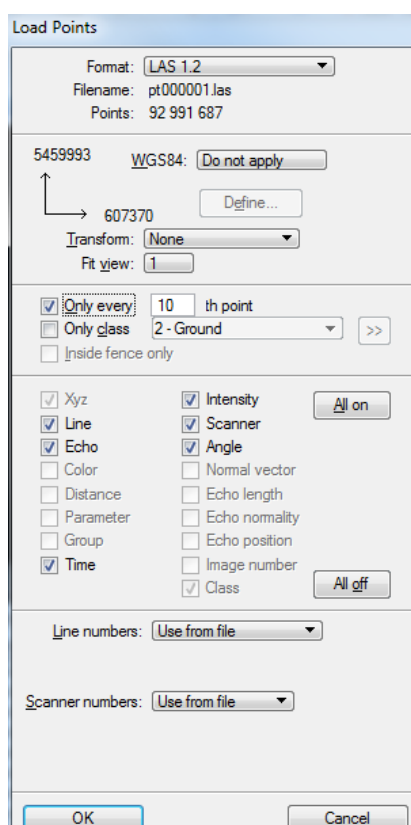
Hustota pokrytia bodmi bola stanovená pomocou nástroja *Measure point Density* v programe TerraScan (obr. 9) a v priemere dosahovala hodnoty okolo 1,1 bodu na m². Celkový počet nasnímaných bodov bol v tejto oblasti je 92 991 687 a bol určený nástrojom *Show Statistics* hlavného nástrojového okna TerraScan.



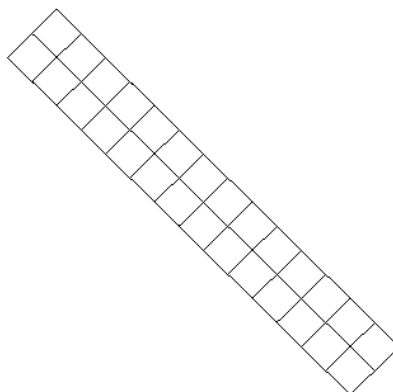
Obr. 9: Nástroj *Measure point Density* v okne *View Laser* v programe TerraScan [vlastné spracovanie]

5.1.1 Příprava dat na spracovanie

Po založení Microstation projektu načítame aplikáciu TerraScan. Vzhľadom na veľký objem spracovávaných dát bude nutné body rozdeliť do menších blokov. Pre tento účel kontrolne načítame body (Obr. 10), pričom pre urýchlenie procesu každý desiaty, a pomocou nástrojov kreslenia, ktorými program Microstation V8i disponuje, vykreslíme bloky s rozmermi približne 1,8 x 1,8 km (Obr. 11).

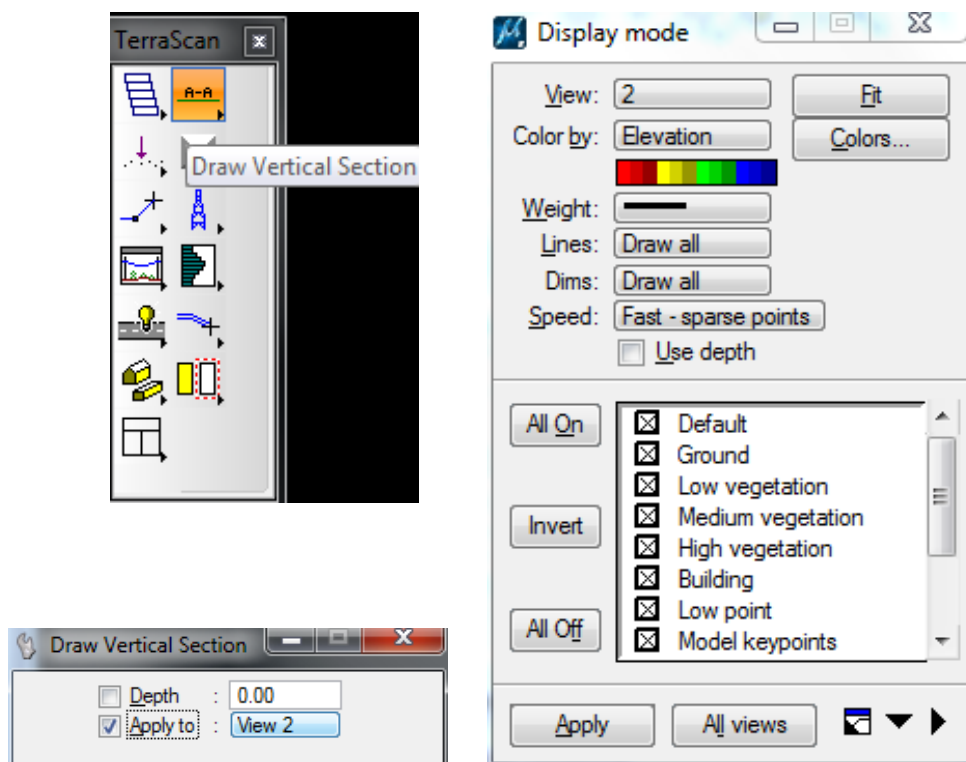


Obr. 10: Načítanie bodov v prostredí TerraScan [vlastné spracovanie]



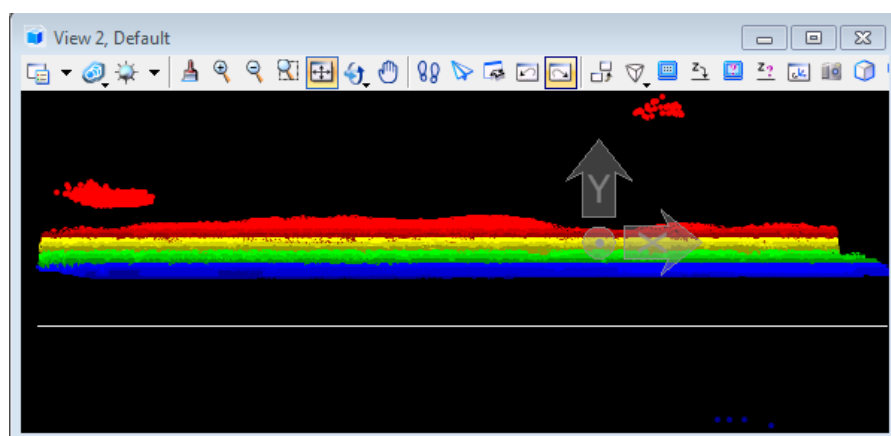
Obr. 11: Rozvrhnutie blokov [vlastné spracovanie]

Ešte pred odpojením bodov je dobré (pre účely neskoršieho použitia) zistiť extrémne hodnoty Z súradnice bodov. Pre tento vytvoríme priečny rez bodmi, prostredníctvom možnosti v hlavnom okne, *Draw Vertical Section* a nakreslený rez zobrazíme v okne 2. Pre lepšie vyhodnotenie chybných bodov nastavíme pre Okno 2 zobrazenie bodov podľa výšky postupom *Point -> Display model* (Obr. 12).

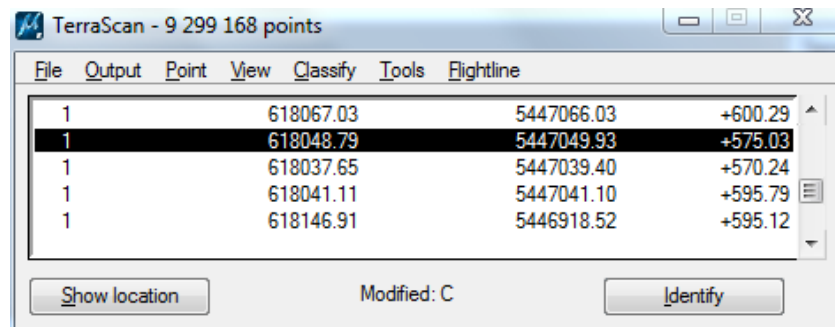


Obr. 12: Postup vykreslenia rezu bodmi [vlastné spracovanie]

V pohľade 2 (Obr. 13) dokážeme identifikovať očividne chybné body (pravý horný roh napr.). Zistíme hodnotu Z súradnice pre účely neskoršieho odfiltrovanía z okna TerraScan, kliknutím na *Identify* a následným kliknutím na bod (Obr. 14).



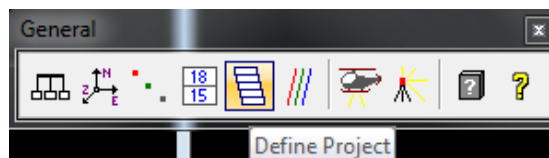
Obr. 13: Zobrazenie rezu bodmi [vlastné spracovanie]



Obr. 14: Zobrazenie bodu s extrémnou súradnicou [vlastné spracovanie]

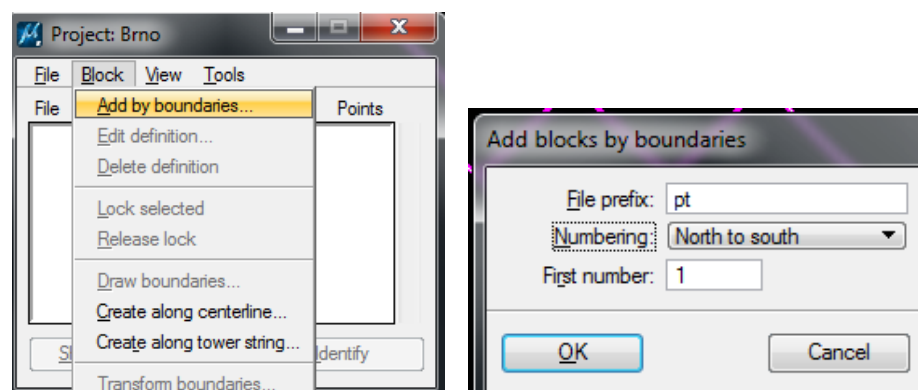
Po vykonaní vizuálnej kontroly odľahlých bodov sme určili hraničné výšky pre neskoršiu filtráciu (233,5 m a 510,5 m). Po určení hraničných výškových hodnôt môžeme body odpojiť.

Po odpojení bodov môžeme pristúpiť k ďalšiemu kroku, ktorým je založenie projektu pre TerraScan. Toto vykonáme prostredníctvom nástroja Define Project (Obr. 115), ktorý nájdeme v hlavnom nástrojovom okne.

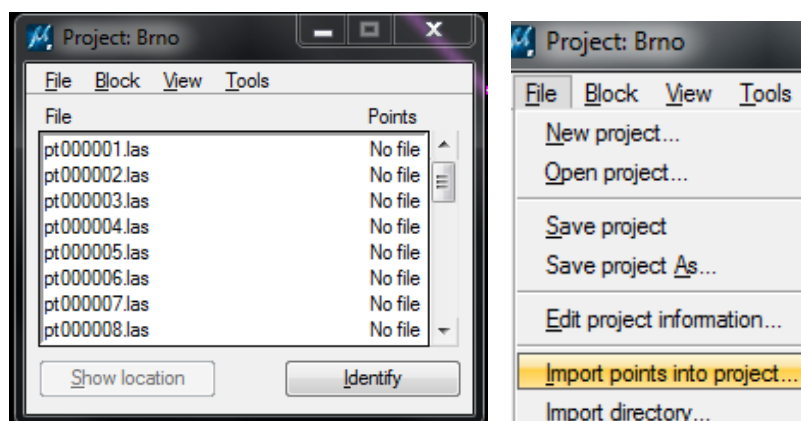


Obr. 15: Nástroj Define Project v okne General [vlastné spracovanie]

Ešte pred načítaním bodov bude nutné nakreslené bloky uložiť v novozaloženom projekte. To vykonáme označením nakreslených blokov a v okne *Project* navrhne tieto bloky pre projekt kliknutím na voľbu *Add by boundaries* (Obr. 16). V projekte následne pribudnú označené bloky. Predtým nakreslený návrh blokov je možné teraz vymazať a prekresliť ich z menu pre *Project* -> *Draw boundaries*. Následne projekt uložíme a potom môžeme pristúpiť k samotnému importu bodov do prekreslených blokov (Obr. 17).



Obr. 16: Vytvorenie blokov [vlastné spracovanie]



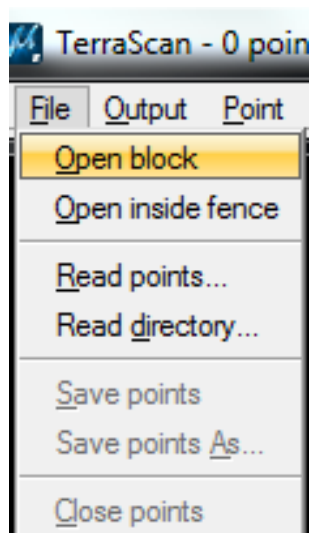
Obr. 17: Import bodov do projektu [vlastné spracovanie]

Po založení projektu a skonštruovaní blokov je možné prístupit' k samotnej filtrácii a klasifikácii dát.

5.1.2 Filtrácia a klasifikácia dát

5.1.2.1 Filtrácia chybných bodov

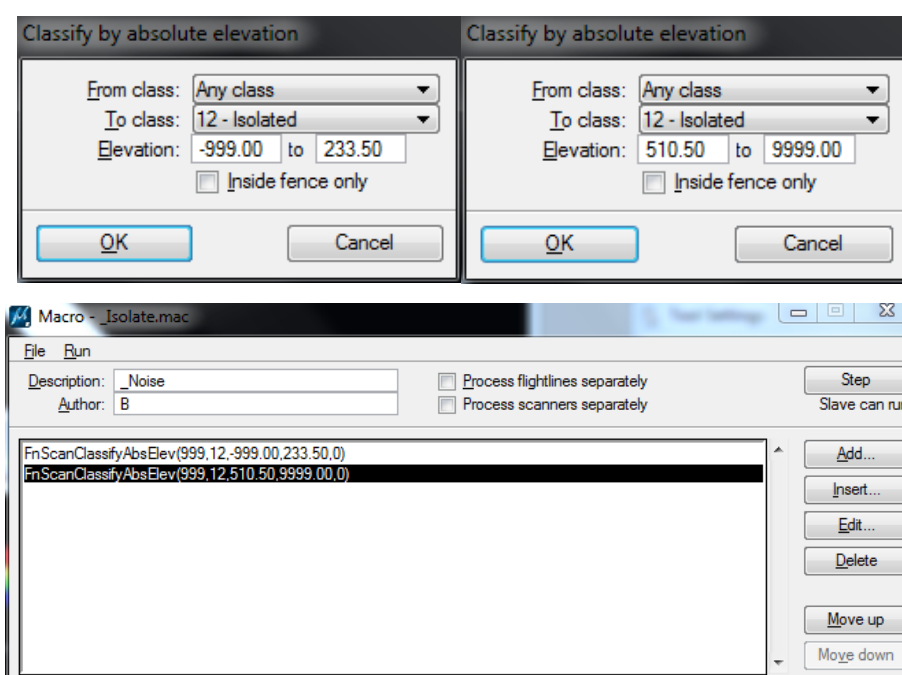
Prvým krokom po vytvorení projektu by malo byť odfiltrovanie bodov, ktoré sú očividne chybné. Otvoríme ľubovoľný blok kliknutím v rámci hraníc tohto bloku (Obr. 18).



Obr. 18: Otvorenie bloku [vlastné spracovanie]

Keďže sme si odčítali hraničné hodnoty už v predchádzajúcom kroku, môžeme body klasifikovať prostredníctvom rutiny (routine) postupom *TerraScan -> Classify -> Routine -> Isolated points/By absolute elevation*. Týmto spôsobom ale dôjde ku klasifikovaniu chybných bodov iba v aktuálnej

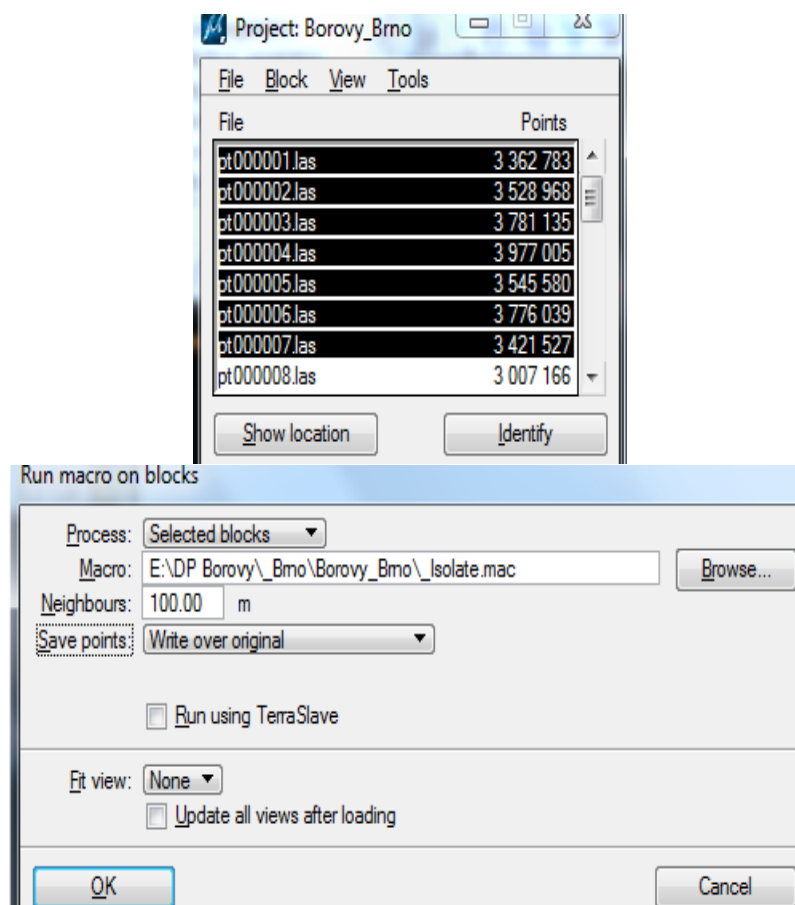
otvorenom bloku bodov. Preto je výhodnejšie na prácu s bodmi vytvárať samostatné programy (MACRO), spôsobom *TerraScan -> Tools -> Macro -> File -> New*. Pomocou voľby *Add* možno pridávať jednotlivé úkony a priradzovať im parametre. Vytvorené Macro potom možno otestovať na otvorenom bloku (prostredníctvom zapínania jednotlivých krokov programu kliknutím na *Step*). V tomto prípade je možné tento proces ešte zvrátiť. Je preto dobré otestovať čo možno najvhodnejšie parametre klasifikácie podľa záujmového územia (Obr. 19).



Obr. 19: Vytvorenie Macro pre filtráciu odľahlých bodov [vlastné spracovanie]

Vytvorené Macro potom možno aplikovať na celý projekt nasledovným postupom: v okne Project programu TerraScan klikneme na *Tools -> Run Macro -> výber vytvoreného Macro programu -> nastavenie parametrov a výber blokov* keďže program ponúka možnosť aplikácie na celý projekt, alebo len na značené bloky), na ktorých má byť proces vykonaný (Obr. 20).

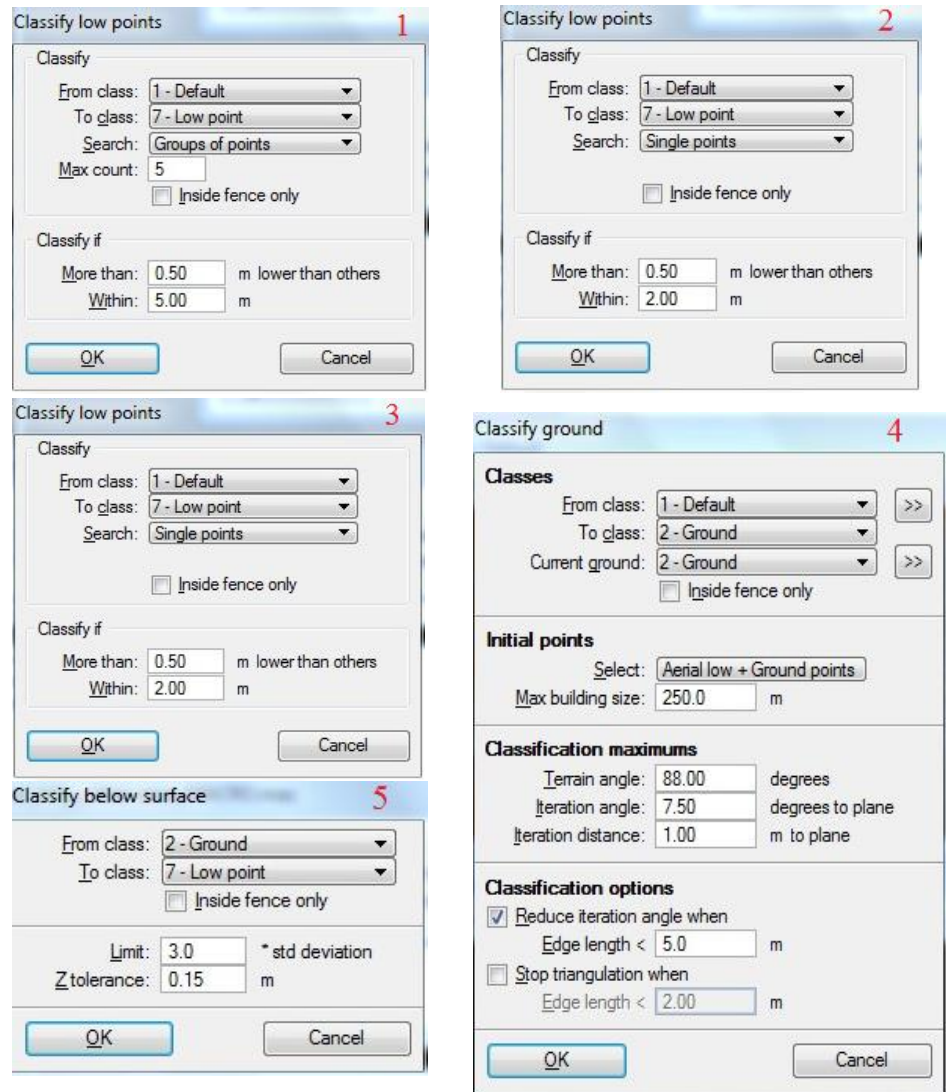
Prostredníctvom vytvorených Macro programov boli vykonávané všetky automatické klasifikačné a filtračné práce v rámci tejto diplomovej práce.



Obr. 20: Spustenie Macro na vybraných blokoch projektu [vlastné spracovanie]

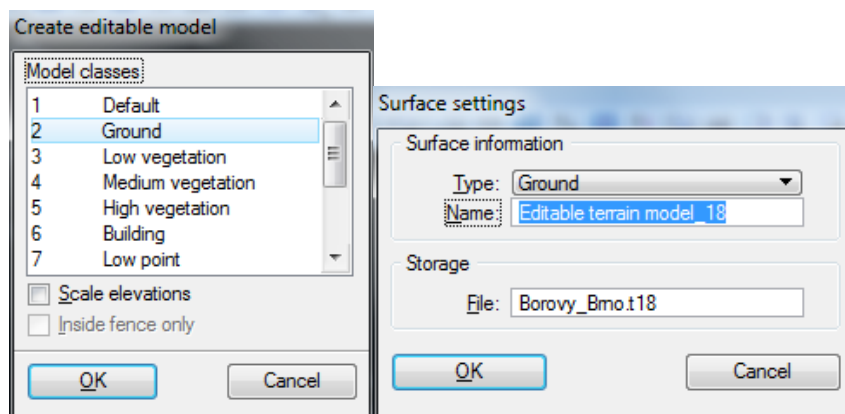
5.1.2.2 Klasifikácia terénu

Vzhľadom na charakter popisovaného územia bude vhodné rozdeliť klasifikáciu na 2 časti (urbanizované a zalesnené územie, rovinnaté územie) a pre tieto vytvoriť samostatné klasifikačné programy s rôznymi parametrami. Samozrejmosťou, rovnako ako v prípade filtrácie chybných bodov, je vhodné na zvolených blokoch otestovať rôzne parametre pre čo najlepšiu automatickú filtráciu (Obr. 21).



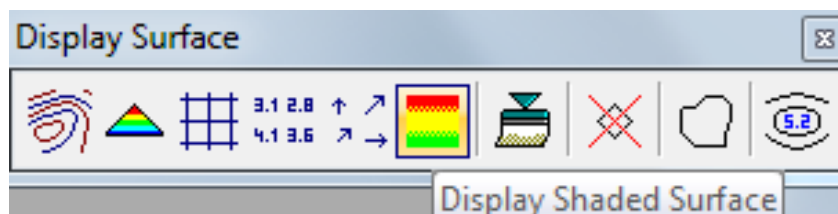
Obr. 21: Parametre Macro pre automatickú klasifikáciu vrstvy Ground v urbanizovaných a zalesnených oblastiach [vlastné spracovanie]

Po klasifikovaní vrstvy terénu je vhodná vizuálna kontrola výstupu. Pre tento účel vytvoríme Editovateľný model terénu z vrstvy Ground. Na tento účel použijeme nástroj z ponuky *Model tool box* -> *Create Editable Model*. Po označení tejto položky dôjde k zapnutiu nadstavby TerraModeler. V menu vyberieme triedu, z ktorej chceme editovateľný model vytvoriť a následne dopíšeme názov modelu (Obr. 22).



Obr. 22: Vytvorenie editovateľného modelu terénu [vlastné spracovanie]

Samotný model zobrazíme po kliknutí na možnosť *Display Shaded Surface* (Obr. 23) z hlavnej ponuky menu TerraModeler a výberom z množiny vytvorených modelov. Vo vytvorenom modeli je ľahšie vizuálne identifikovať chybné klasifikované miesta. V týchto miestach vykreslíme rez do iného okna (Obr. 25) a následne chybné body manuálne reklasifikujeme pomocou možností z ponuky *Model Tool box* hlavného menu TerraScan, ktoré okrem vytvorenia modelu ponúka možnosti manuálnej klasifikácie. Ide napr. o priradenie triedy jednotlivým bodom, klasifikácia pomocou štetca, klasifikácia v ohrade, atď. (Obr. 24).

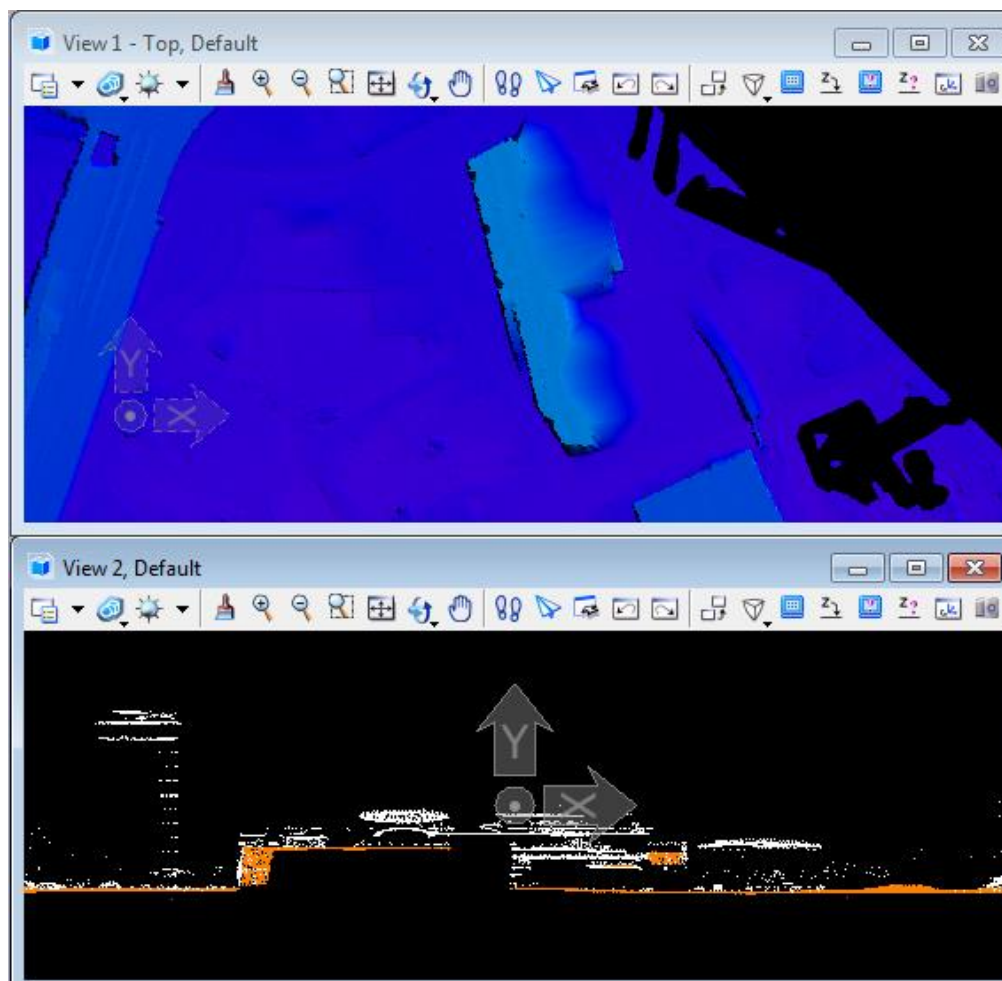


Obr. 23: Ponuka *Display Surface* z hlavného menu TerraModeler [vlastné spracovanie]



Obr. 24: *Model tool box* z menu pre TerraScan umožňujúci manuálnu klasifikáciu [vlastné spracovanie]

Veľkou pomôckou pri oprave chýb, je v sporných prípadoch pripojenie mapovej služby s fotografickými snímkami lokality prostredníctvom ponuky *Raster Manager -> File -> Attach -> WMS* programu Microstation.

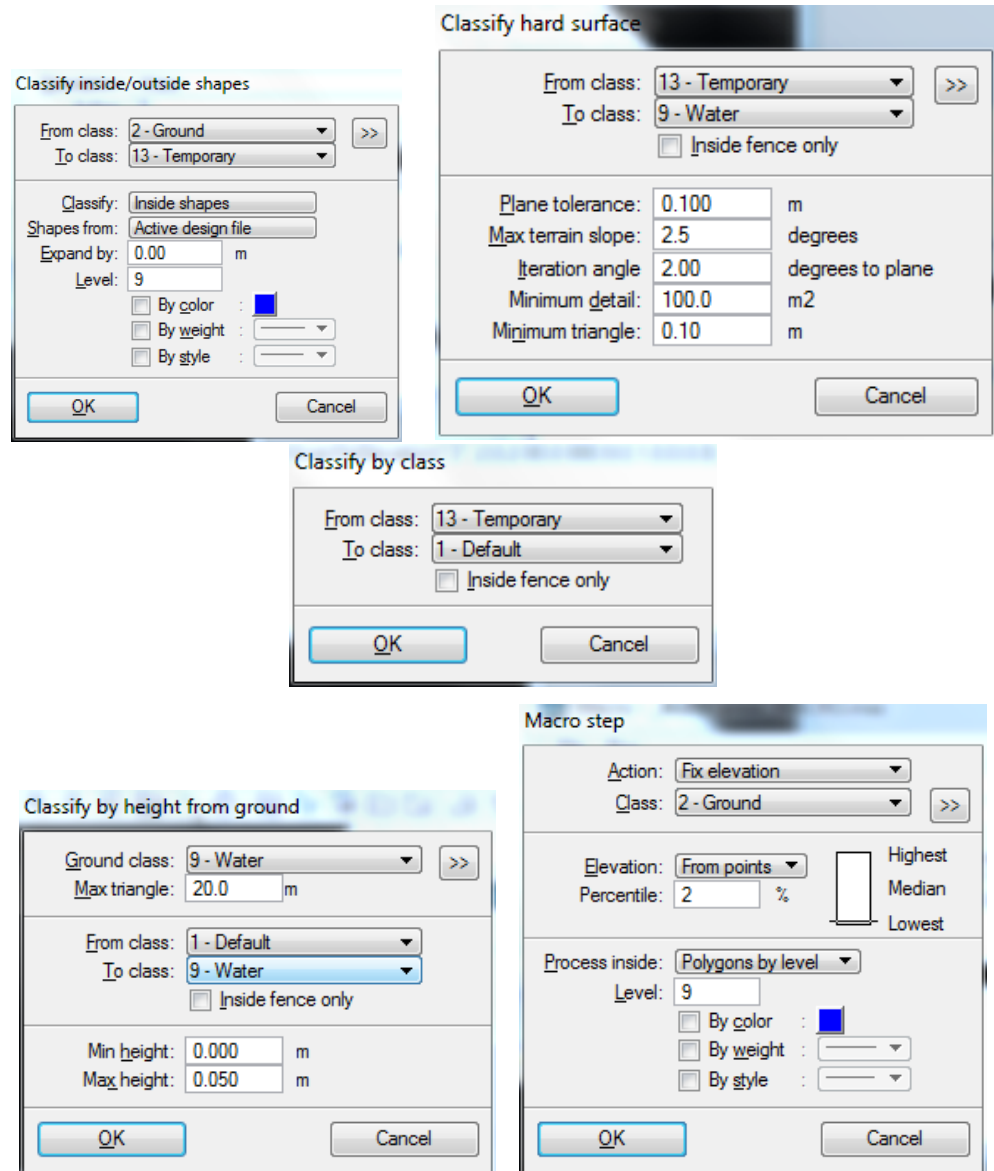


Obr. 25: Příklad nesprávnej klasifikácie vrstvy Ground. Ide o budovu Galerie Vaňkovka [vlastné spracovanie]

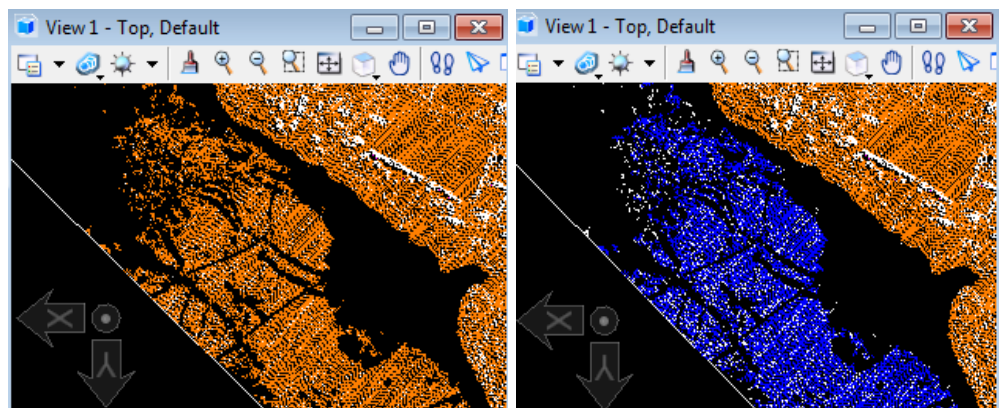
Po tom čo bola vykonaná vizuálna kontrola a oprava, je možné samotný model terénu vypnúť (ukladaný je automaticky, spolu s klasifikovanými bodmi).

5.1.2.3 Klasifikácia vodných telies

Vzhľadom na to, že v riešenej lokalite sa nachádza teleso Brnenskej vodnej nádrže, bolo by vhodné túto časť (Bloky 2, 4, 6, 8) reklasifikovať a body vodnej plochy odfiltrovať z vrstvy terénu (Obr. 27). Pre tento účel boli na podklade WMS digitalizované telesá vodných diel v samostatnej vrstve. Následne bolo vytvorené Macro, ktoré klasifikovalo len body ležiace vnútri týchto nakreslených polygónov (Obr. 26).



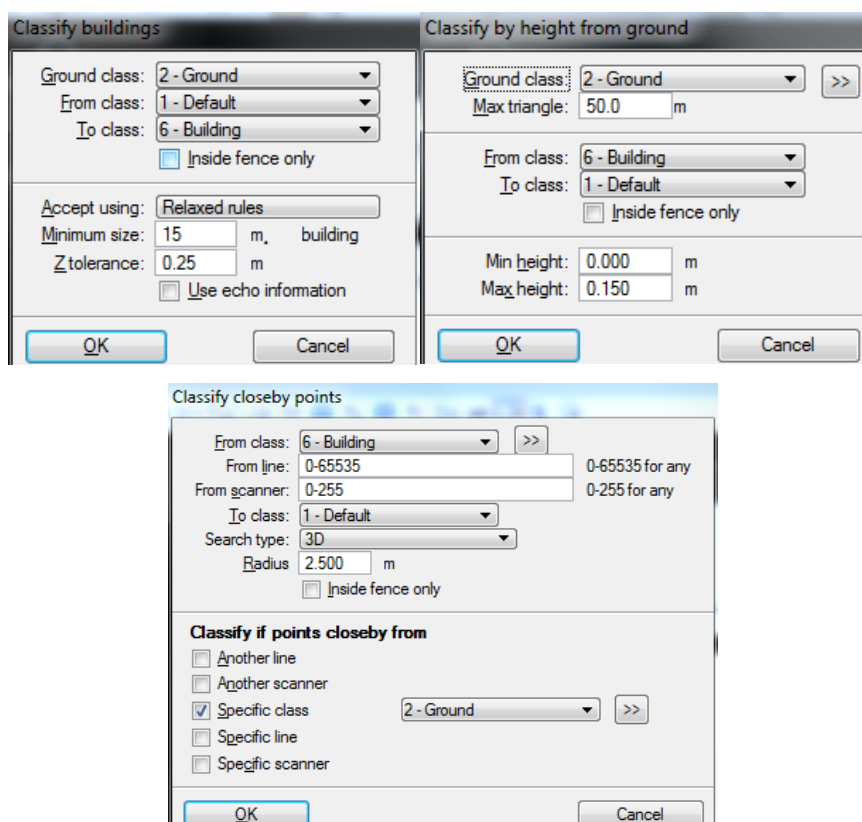
Obr. 26: Klasifikácia vodných plôch [vlastné spracovanie]



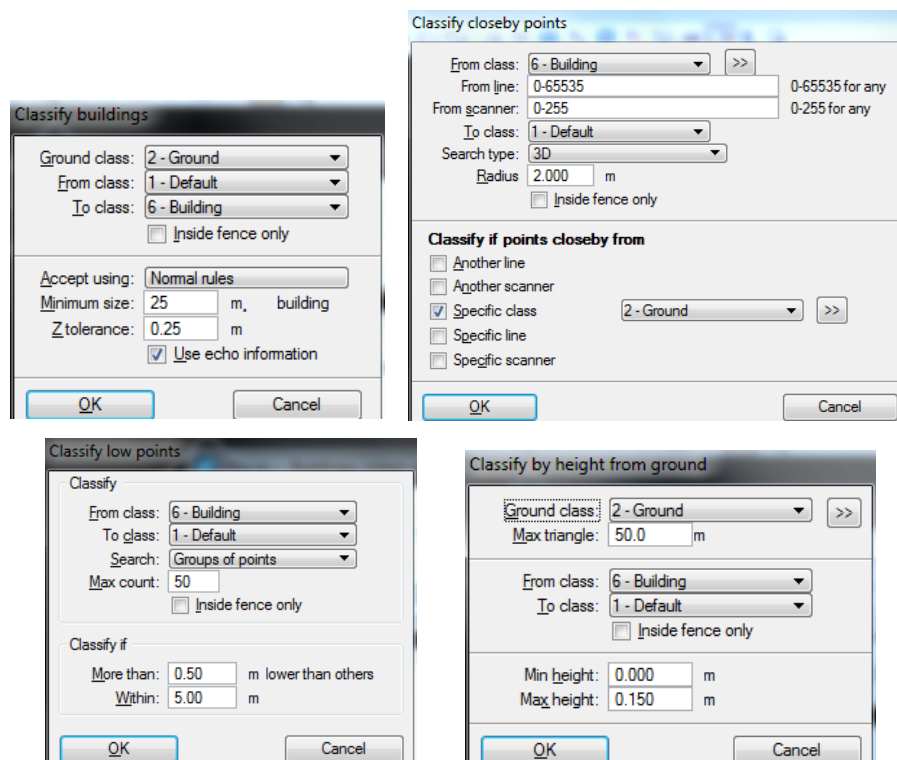
Obr. 27: Príklad klasifikácie vodných plôch [vlastné spracovanie]

5.1.2.4 Klasifikácia budov

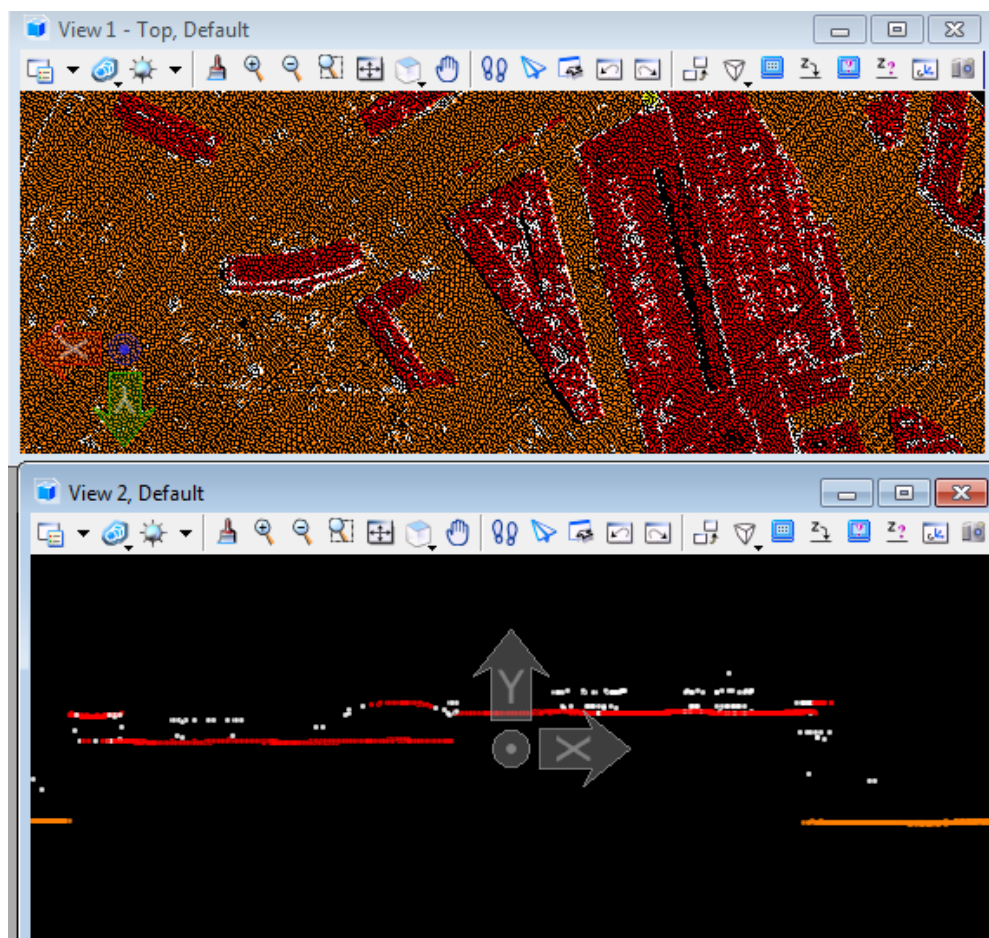
Podobne ako pre vrstvu Ground, boli vzhľadom na charakter zástavby definované 2 Macro postupy pre klasifikáciu budov v zalesnených a vidieckych územiach (Obr. 26) a pre urbanizované územia (Obr. 27) s rôznymi parametrami klasifikácie. Vytvorené Macro postupy tiež obsahujú kroky pre čiastočnú úpravu chybné klasifikovaných bodov pre budovy pre oba typy oblastí. Po klasifikácii je opäť nutná vizuálna kontrola (Obr. 28) klasifikovaných oblastí a prípadná manuálna úprava.



Obr. 28: Kroky Macro programu pre klasifikáciu budov v zalesnených a vidieckych oblastiach [vlastné spracovanie]



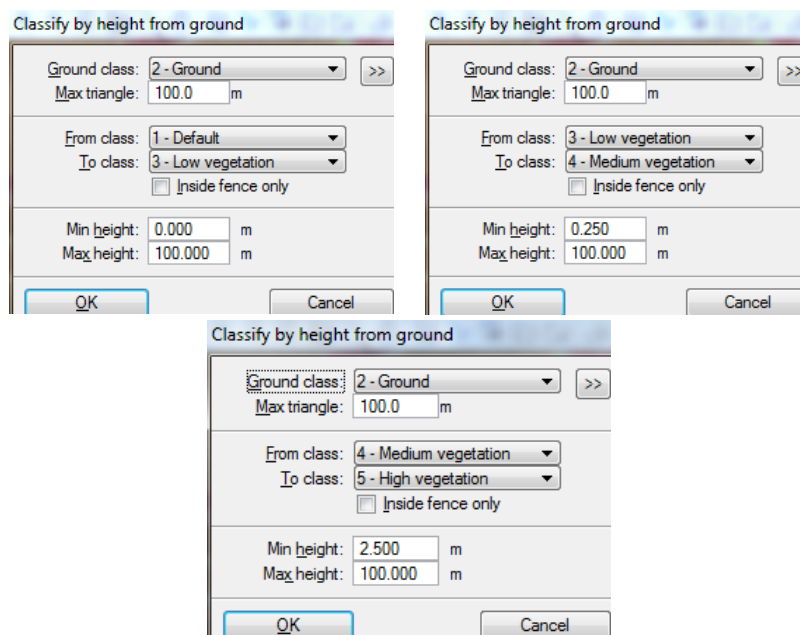
Obr. 29: Kroky Macro programu pre klasifikáciu budov v urbanizovaných oblastiach [vlastné spracovanie]



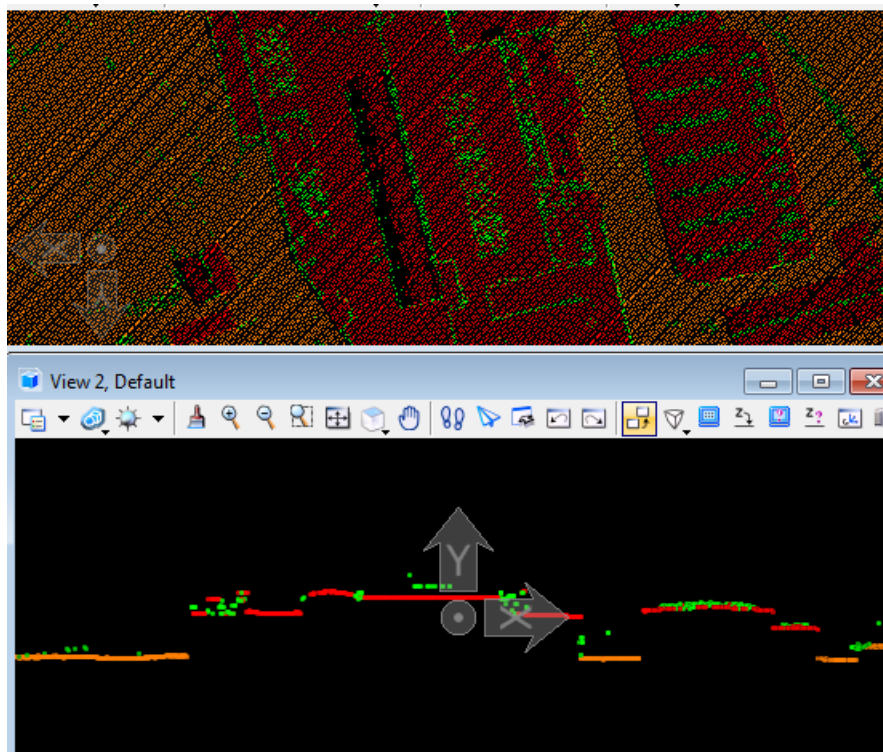
Obr. 30: Príklad klasifikovanej oblasti Galeria Vaňkovka [vlastné spracovanie]

5.1.2.5 Klasifikácia Vegetácie

Podobne ako v predchádzajúcich prípadoch, vytvoríme Macro postup pre klasifikáciu vegetácie do troch tried. Nízkej (Low), Strednej (Medium) a Vysokej (High) vegetácie s určitými parametrami (Obr. 29) a následne vizuálne skontrolujeme (Obr. 30).



Obr. 31: Parametre Macro pre klasifikáciu vegetácie [vlastné spracovanie]

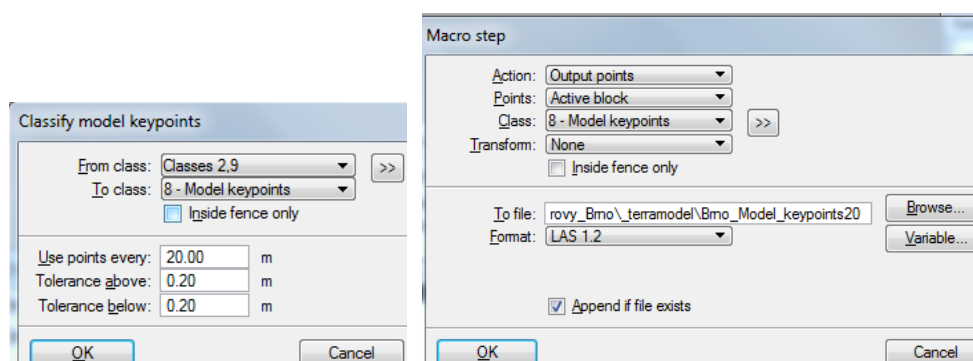


Obr. 32: Príklad klasifikácie vegetácie v oblasti Galerie Vaňkovka [vlastné spracovanie]

5.1.3 Vizualizácia

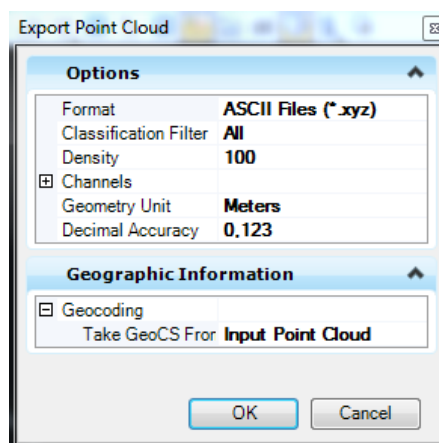
5.1.3.1 Vizualizácia Terénu

Pre účely vizualizácie terénu je vhodné (kvôli úspore pamäti) z vrstiev Ground a Water klasifikovať kľúčové body pre účely vytvorenia trojuholníkového modelu terénu (Model keypoints). Pre tento účel bolo vytvorené Macro s určitými parametrami (Obr. 33). Body uložíme do samostatnej zložky (nie je nutné ich uložiť v rámci projektu).



Obr. 33: Kroky Macro pre účely vytvorenia kľúčových bodov pre model terénu [vlastné spracovanie]

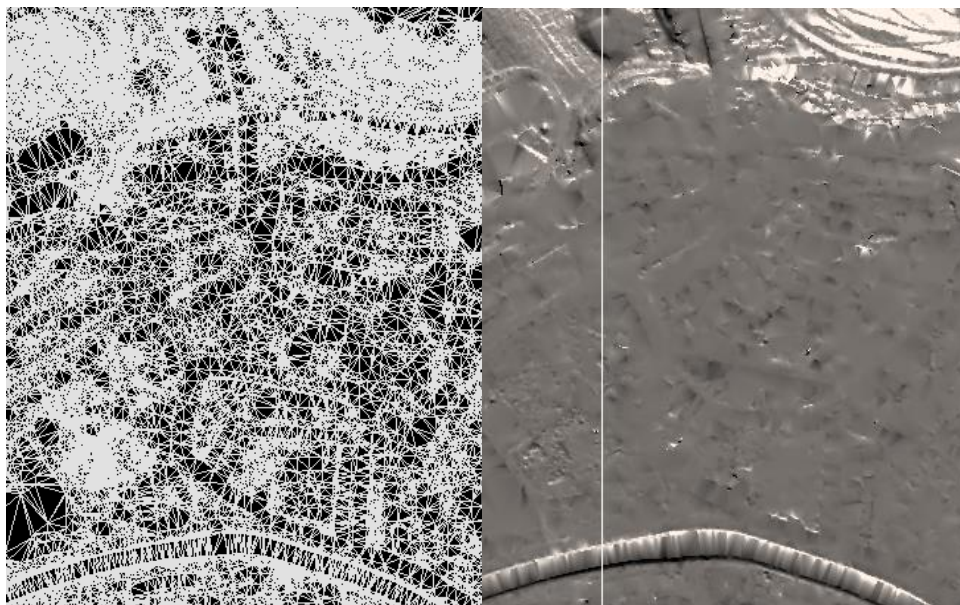
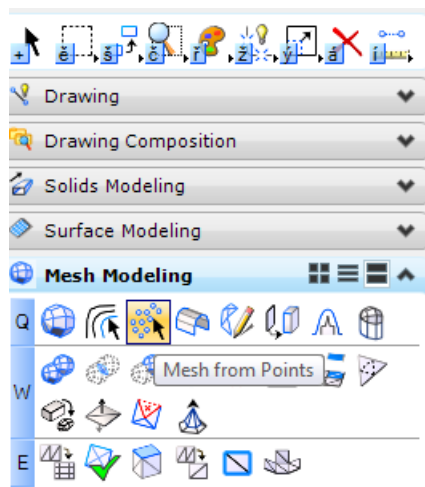
Po klasifikovaní vrstvy Model keypoints založíme nový microstation projekt. Vytvorené súbory obsahujúce body vrstvy Model keypoints importujeme do prostredia programu Microstation ako Point Cloud (*File -> Point Cloud*, *File -> Attach*). Ešte ale nie je možné tieto body spracovať. Je nutné najprv jednotlivé mračná exportovať do iného formátu (Obr. 34).



Obr. 34: Export mračna bodov [vlastné spracovanie]

Následne môžeme mračno bodov odpojiť a možno pristúpiť k samotnému importu súradníc bodov. Toto vykonáme postupom: *Tools -> Dimensions -> XYZ Text -> Import Coordinates*. Po označení importovaných

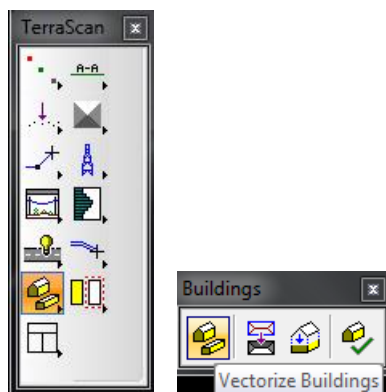
bodov možno pristúpiť k samotnému vytvoreniu trojuholníkového modelu terénu prostredníctvom funkcie *Mesh from Points* (Obr. 35), ktorý už možno vizualizovať.



Obr. 35: Tvorba terénu a vytvorený terén zobrazený ako sieťový model a ako vyhladený model [vlastné spracovanie]

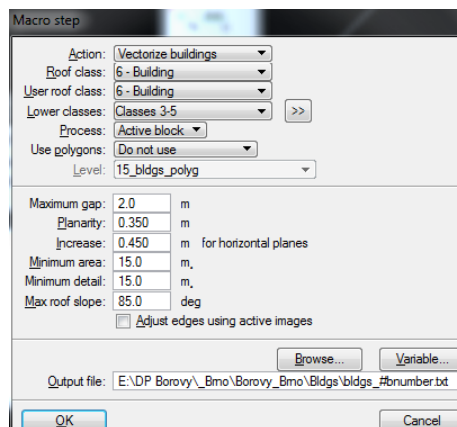
5.1.3.2 Vizualizácia Budov

Z predchádzajúceho kroku máme klasifikované body vo vrstve budov. Na ich vizualizáciu, je nutné tieto body zvektorizovať. Pre tento účel má prostredie programu TerraScan nástroj v hlavnom okne, pod položkou *Buildings* (Obr. 36). Týmto postupom sa budovy v aktívnom bloku zvektorizujú a priamo načítajú do projektu.



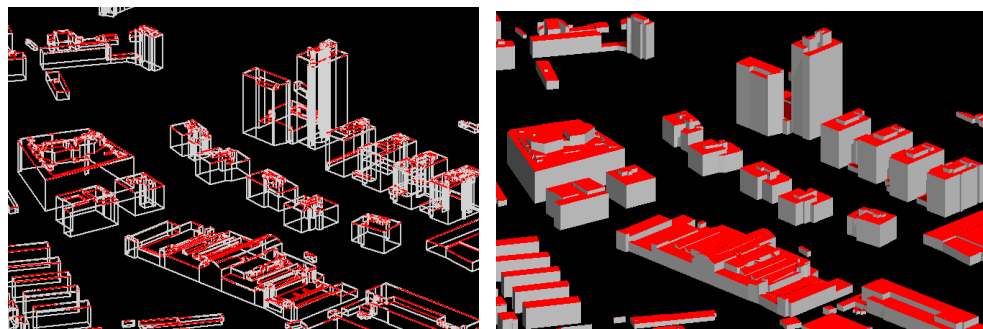
Obr. 36: Vektorizácia budov v aktívnom bloku [vlastné spracovanie]

Vzhľadom na veľkosť riešeného územia je však vhodnejšie na vektorizáciu budov vytvoriť Macro s určitými parametrami, a tým pádom spracovať celé územie (Obr. 37). Budovy zvektorizované týmto spôsobom boli uložené v osobitnom priečinku vo forme textového dokumentu.

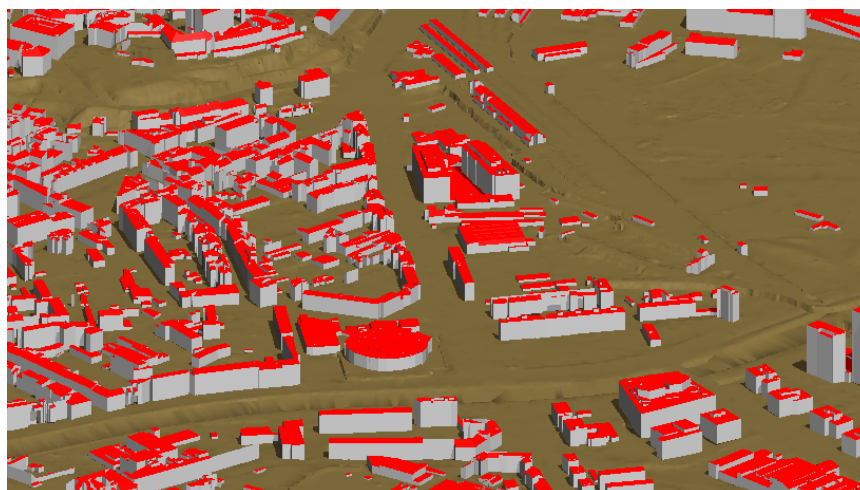


Obr. 37: Parametre vektorizácie pomocou Macro [vlastné spracovanie]

Po skončení vektorizácie možno budovy z textových súborov načítať jednotlivo, podľa otvoreného bloku postupom *Tools -> Read -> Building models*. Môžeme priradiť farbu, prípadne materiál a možno vizualizovať (Obr. 38). Následne vizualizujeme budovy spolu s terénom (Obr. 39).



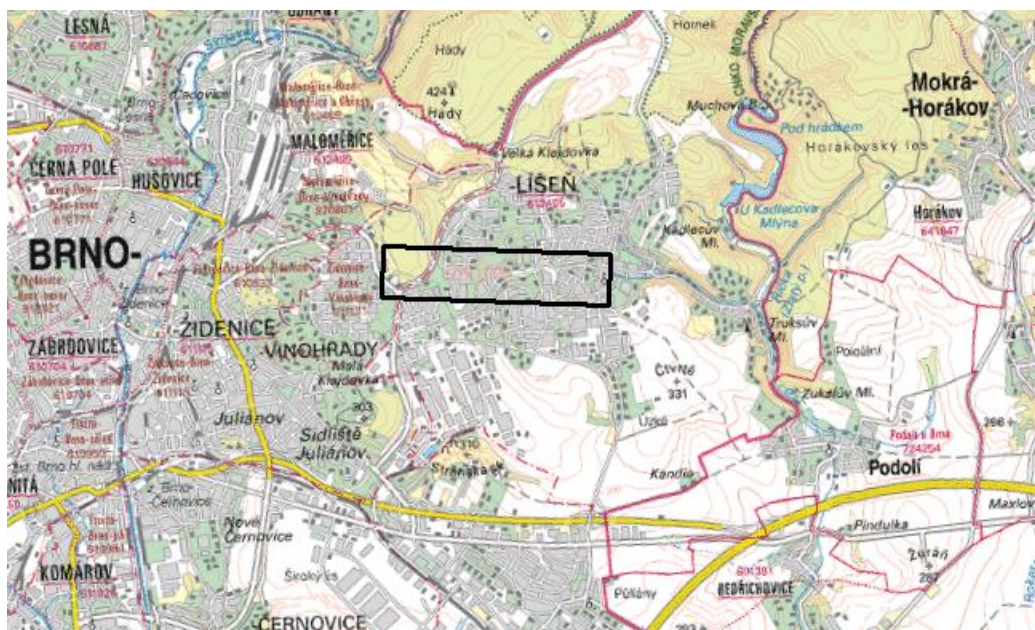
Obr. 38: Zobrazenie vektorizovaných bodov ako sieťový model a ako vyhladený model [vlastné spracovanie]



Obr. 39: Spoločná vizualizácia terénu a budov [vlastné spracovanie]

5.2 Územie mestskej časti Líšeň

Rovnako ako v predchádzajúcom prípade, boli dáta zbierané metódou leteckého skenovania v systéme ETRS 89/UTM 33N prístrojom Riegl LMS-Q780 [22] dňa 13.1. 2015. Ide o pás s rozmermi 505 x 2250 m (Obr. 40). Hustota pokrytia bodmi bola nameraná nástrojom *Measure point Density* bola stanovená na priemernú hodnotu 12,5 bodu na m^2 a celkový počet bodov na tomto území je 13 662 601.



Obr. 40: Poloha riešeného územia Brno Líšeň, upravené z [20]

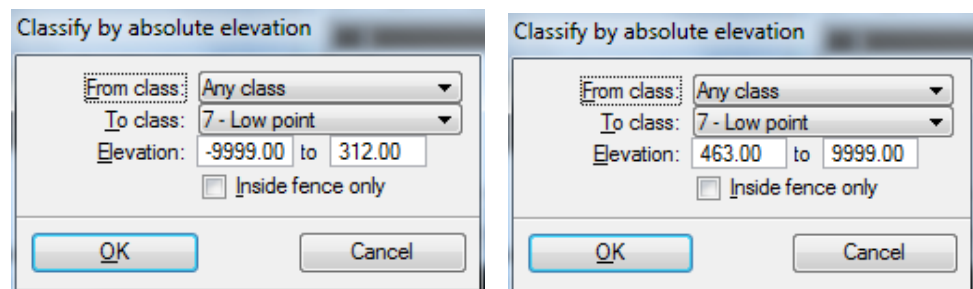
5.2.1 Příprava dat na spracovanie

Podobne ako v prípade dat z lokality Brno, založíme nový Microstation projekt a načítame aplikáciu TerraScan. Navrhujeme blok, vytvoríme TerraScan projekt a body importujeme do vytvoreného projektu. Vzhľadom na rozmery územia postačí vytvorenie 1 bloku. Dôjde len k strate dat mimo hraníc navrhnutého bloku s rozmermi 505 x 2250 m.

5.2.2 Filtrácia a klasifikácia dat

5.2.2.1 Filtrácia chybných bodov

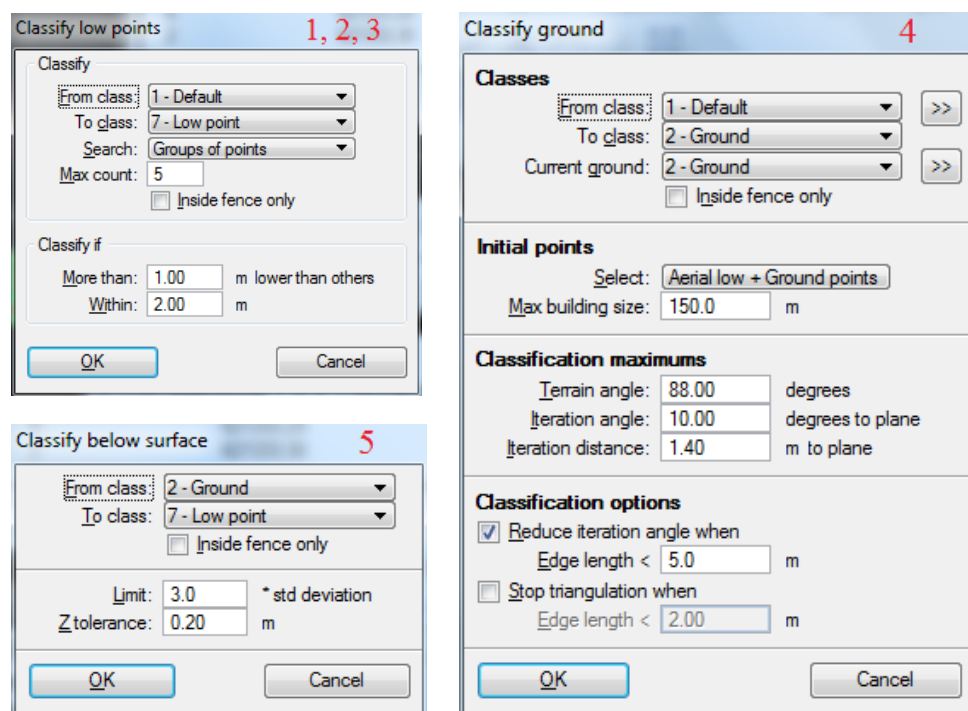
Analogicky, rovnako ako v predchádzajúcej lokalite odfiltrujeme chybné body. Vzhľadom na odlišnosť lokality je ale nutné pozmeniť parametre filtrácie (Obr. 41).



Obr. 41: Parametre pre filtráciu chybných bodov [vlastné spracovanie]

5.2.2.2 Klasifikácia terénu

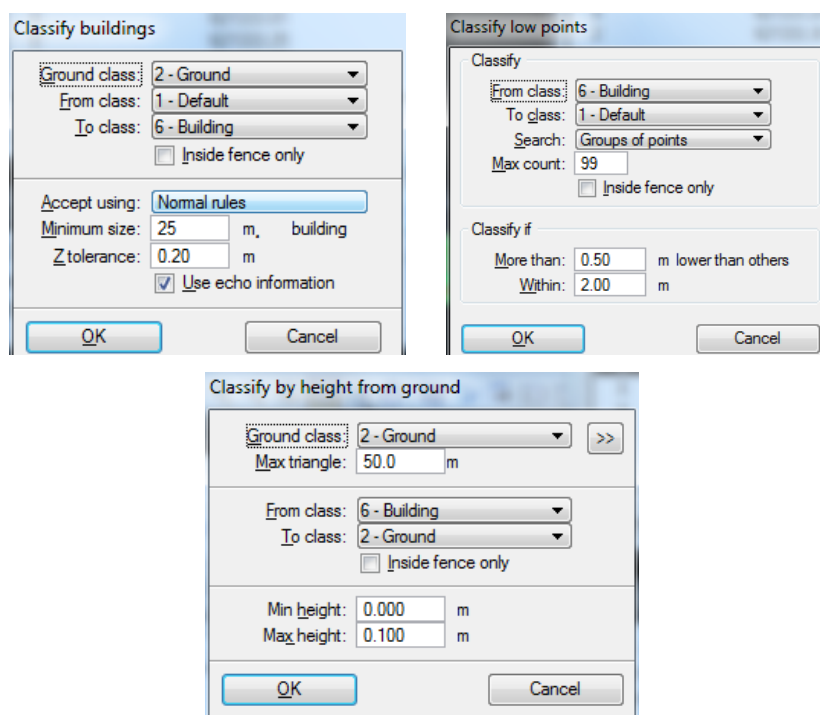
Terén bol klasifikovaný prostredníctvom programu Macro s pozmenenými parametrami (Obr. 42). Po klasifikácii bola opäť vykonaná vizuálna kontrola prostredníctvom vytvoreného editovateľného modelu terénu postupom známym z práce s predchádzajúcou lokalitou.



Obr. 42: Parametre klasifikácie vrstvy Ground v lokalite Lišeň [vlastné spracovanie]

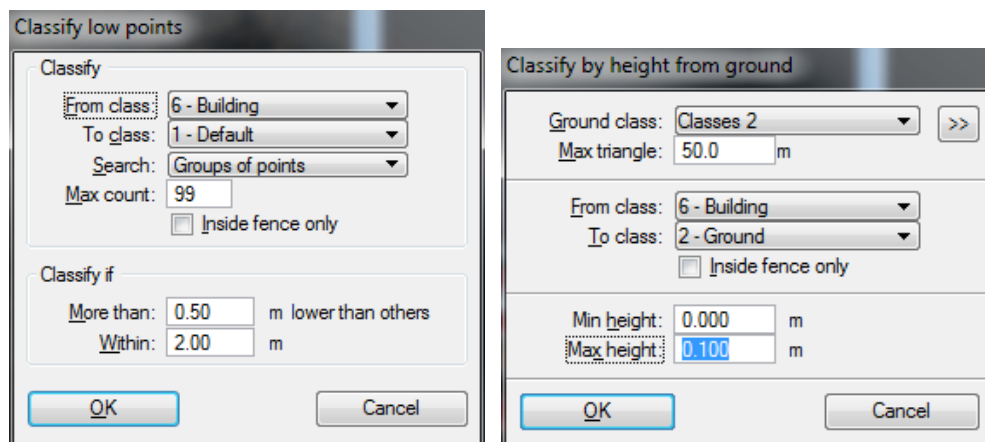
5.2.2.3 Klasifikácia budov

Klasifikačné postupy pre vytvorenie Macro vrstvy budov sú podobné ako v prvej riešenej lokalite (Obr. 43). Vytvorené Macro opäť obsahujú kroky pre malú korekciu klasifikovaných dát.

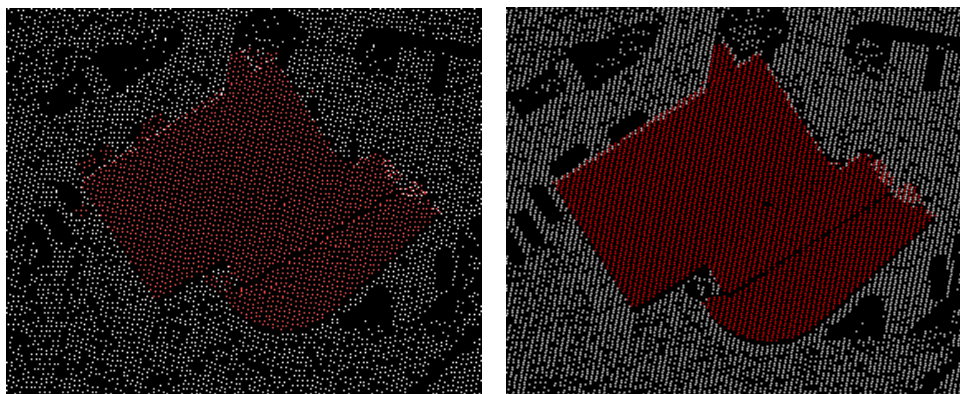


Obr. 43: Parametre pre Macro na klasifikáciu budov [vlastné spracovanie]

Po klasifikácii opäť vykonáme vizuálnu kontrolu dát, pretože aj napriek nastaveným parametrom vznikli miesta s chybnou klasifikáciou. Chyby možno upraviť vytvorením programu pre opravu chýb (Obr. 44).



Obr. 44: Parametre pre opravu klasifikácie budov [vlastné spracovanie]



Obr. 45: Príklad opravy (pred opravou vľavo, po oprave vpravo) [vlastné spracovanie]

5.2.2.4 Klasifikácia vegetácie

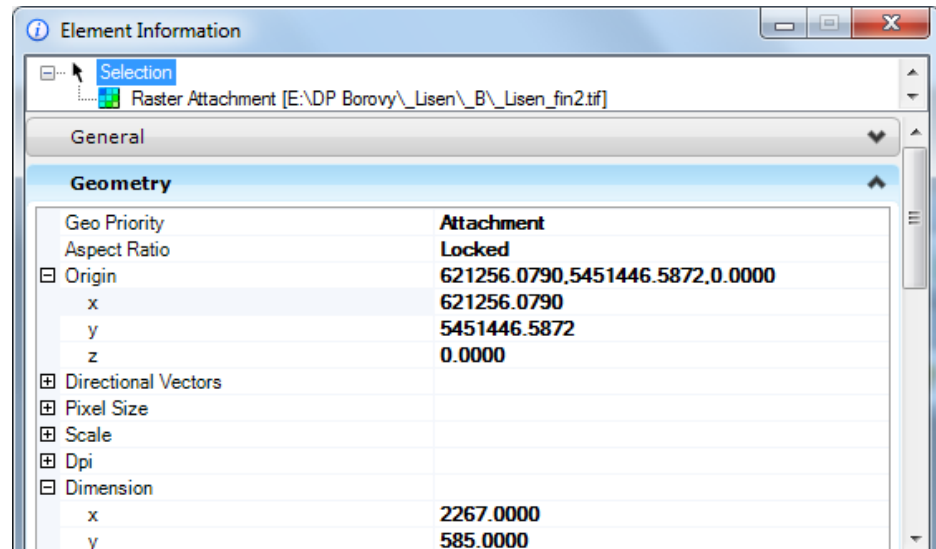
Vrstva vegetácie bola klasifikovaná s rovnakými parametrami ako v lokalite Brno, takže ju v tejto kapitole nebudeme ďalej rozvádzať.

5.2.3 Vizualizácie

5.2.3.1 Vizualizácia terénu

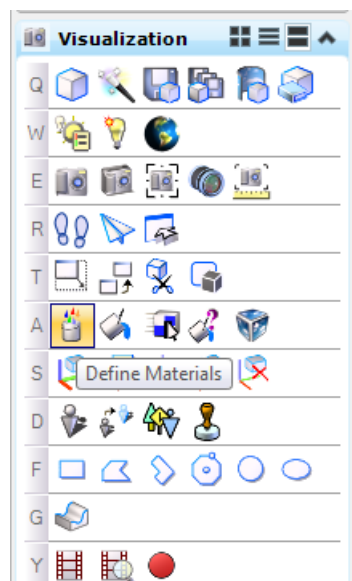
Tvorba modelu pre vizualizáciu terénu prebieha rovnako ako v predchádzajúcom prípade, no keďže ide o menšiu oblasť a výpočtové možnosti hardvérového vybavenia to dovoľujú, vytvorený povrch sme potiahli fototextúrou povrchu.

Fototextúru sme získali prostredníctvom softvéru ArcMap 10.2 z WMS služby, z ktorej sme pre riešenú oblasť exportovali georeferencovaný raster vo formáte .tif. Tento raster sme pripojili v programe Microstation pomocou ponuky *Raster Manager*. Aby bolo možné tento raster použiť ako textúru, je nutné o ňom zistiť informácie o rozmere a polohe počiatku rastra. Tieto informácie získame z okna *Element information* (Obr. 46). Po zistení potrebných informácií je možné raster odpojiť.



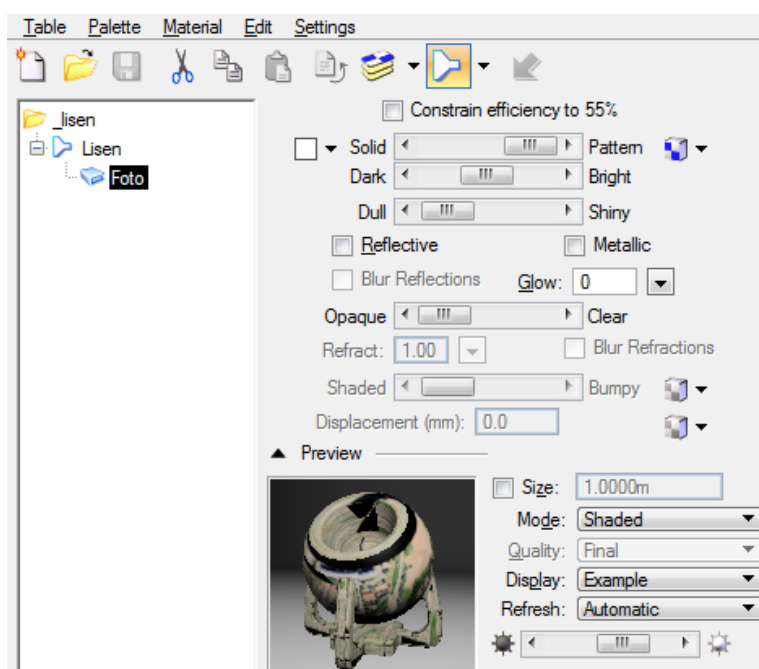
Obr. 46 Informačné okno rastra [vlastné spracovanie]

Ďalším krokom je vytvorenie nového materiálu. V menu *Visualization* vyberieme možnosť *Define Materials* (Obr. 47).



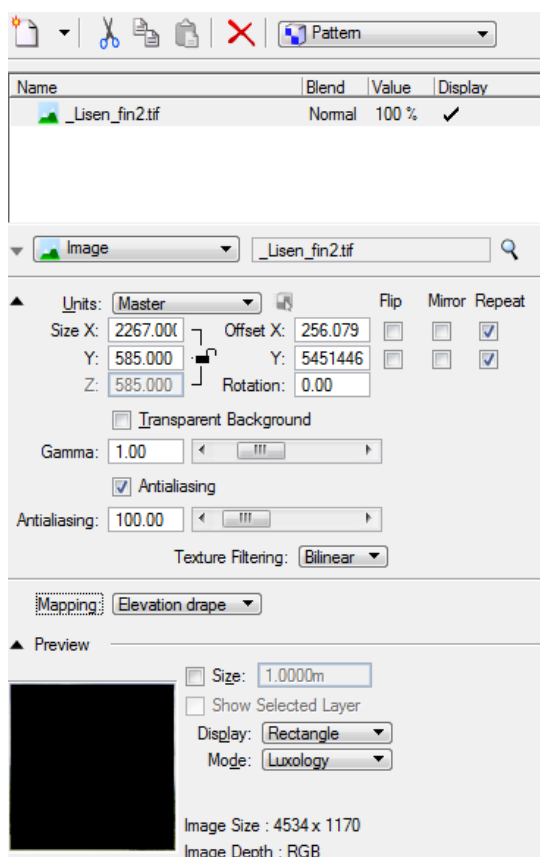
Obr. 47: Umiestnenie možnosti *Define Materials* v menu *Visualization* [vlastné spracovanie]

V okne dôjde k vytvoreniu novej palety materiálov (Obr. 48).



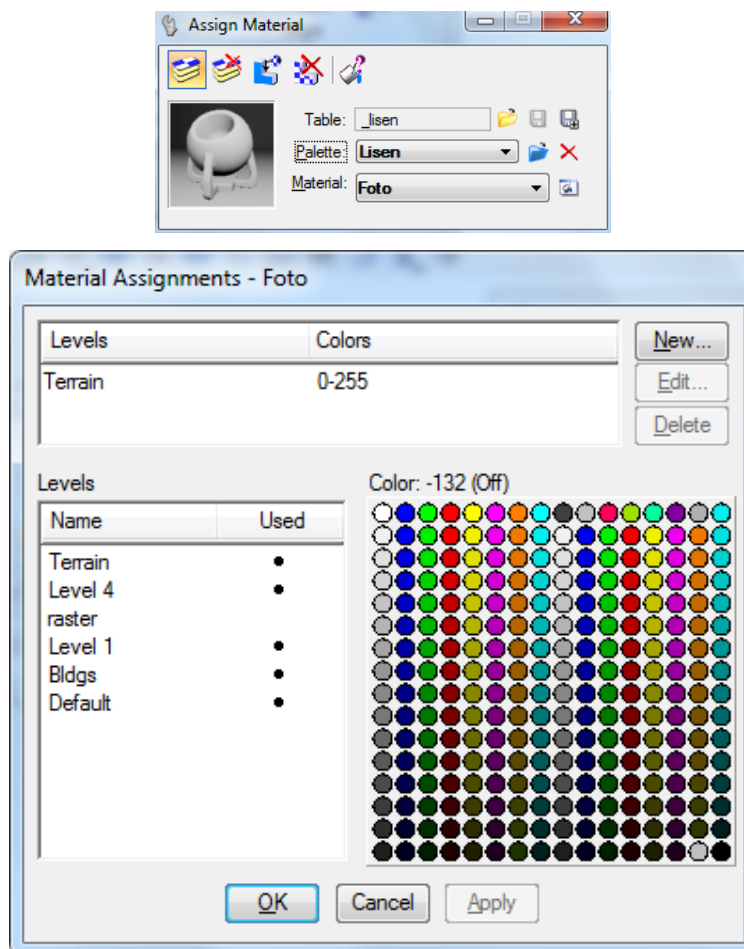
Obr. 48: Nová paleta materiálov v okne material editor [vlastné spracovanie]

V tejto palete vytvoríme nový materiál, ktorému priradíme raster a vyplníme parametre tohto rastra (Obr. 49).



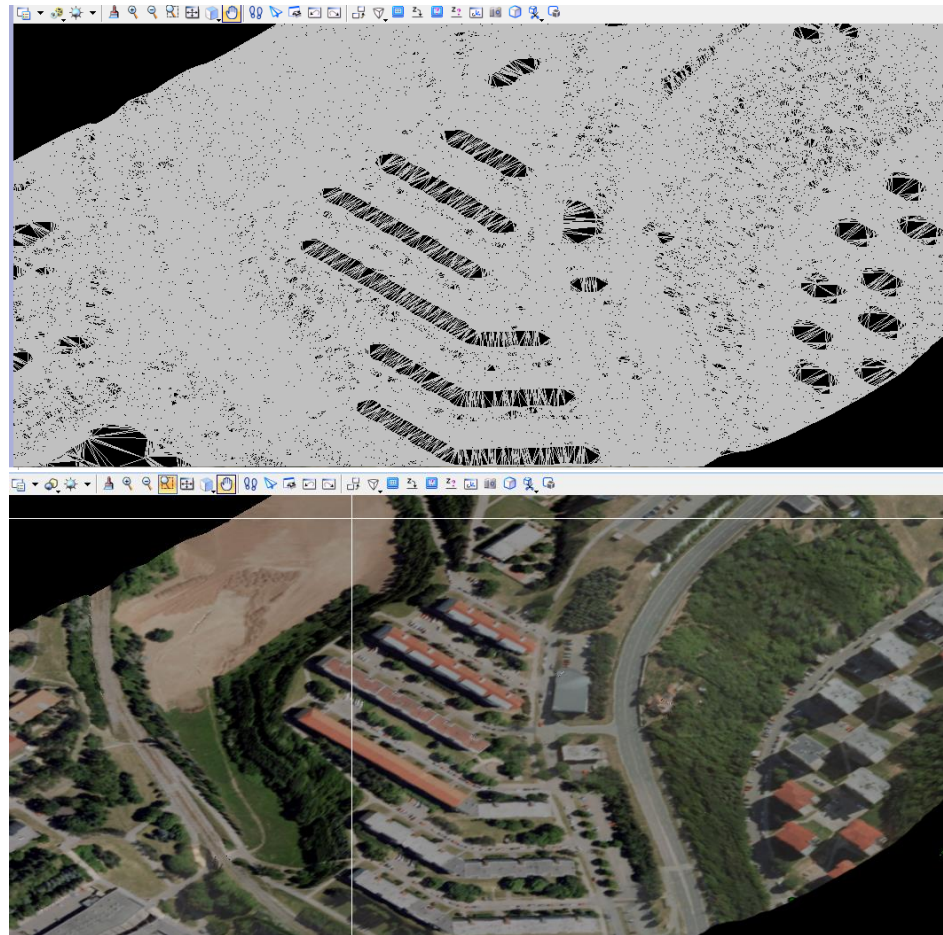
Obr. 49: Okno parametrov nového materiálu [vlastné spracovanie]

Po tom, čo máme vytvorený materiál, tento môžeme priradiť vrstve v ktorej sa nachádza vytvorený model terénu (Obr. 50).



Obr. 50: Priradenie materiálu vrstve Terrain [vlastné spracovanie]

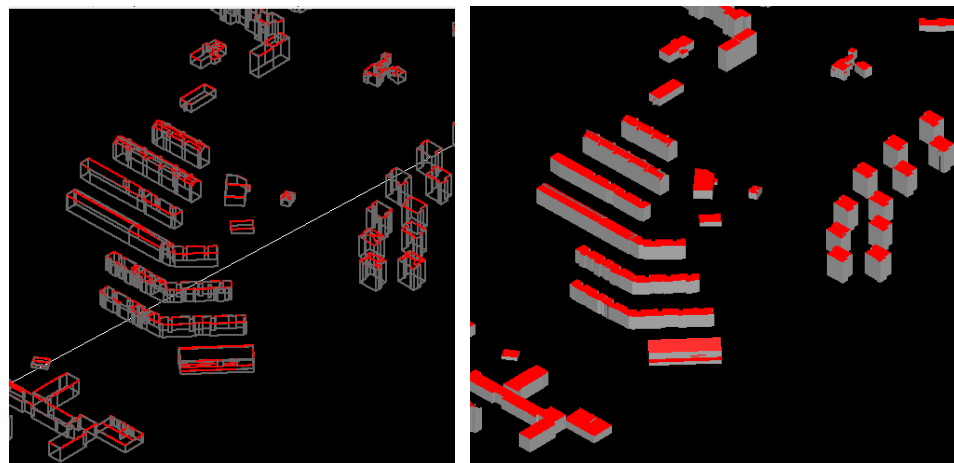
Po vytvorení nového materiálu ktorý obsahuje fotografický obsah riešenej lokality, priradení tohto materiálu vrstve, ktorú reprezentuje, je možné terén vizualizovať (Obr. 49).



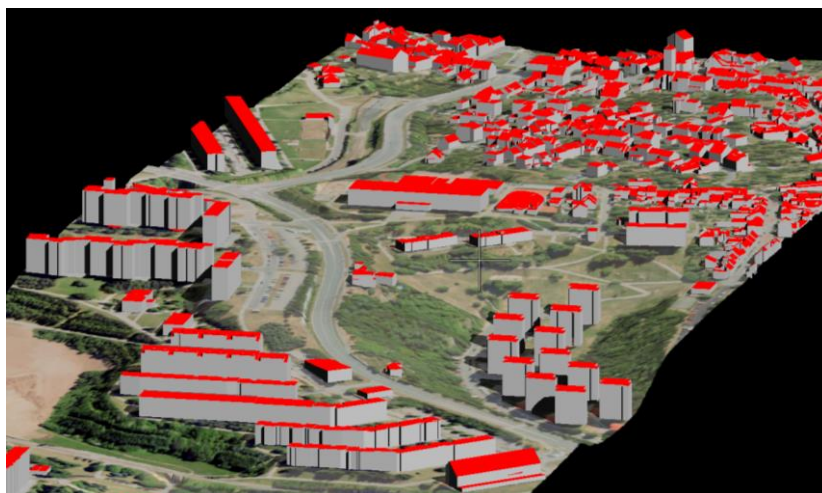
Obr. 51: Zobrazenie terénu a sieťový model a ako model s textúrou, upravené z [18], [vlastné spracovanie]

5.2.3.2 Vizualizácia budov

Vizualizácia budov prebehla identickým postupom ako v prípade lokality Brno (Obr. 52).



Obr. 52: Budovy zobrazené ako sieťové modely a ako vyhladené modely [vlastné spracovanie]



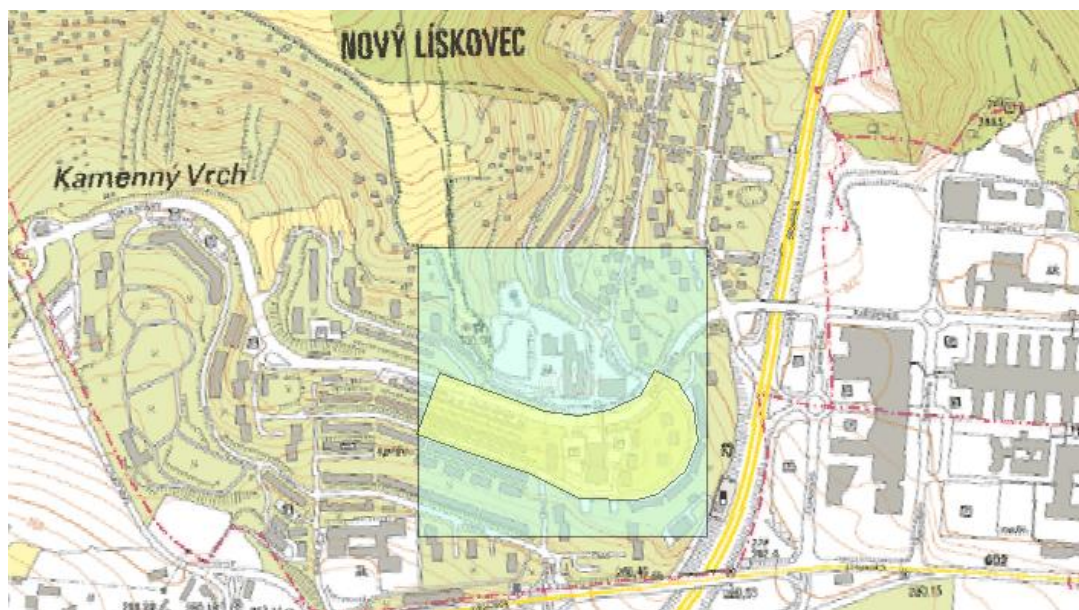
Obr. 53: Spoločné zobrazenie budov a terénu s fototextúrou, upravené z [18], [vlastné spracovanie]

5.3 Lokalita Nový Lískovec

V tomto prípade ide o lokalitu, ktorá bola nasnímaná oboma metódami. A teda leteckým skenovacím systémom a mobilným skenovacím systémom (Obr. 54).

V prípade leteckého skenovania bola riešená oblasť s rozmerom 500 x 500 m. Hustota pokrytia bodmi je v priemere 11,5 bodu na m² prístrojom Riegl LMS-Q780 [22] dňa 13.1.2015. Spôsob spracovania dát získaných leteckým skenovaním je rovnaký, ako v prípade lokality Líšeň (vzhľadom na obdobný charakter územia).

Čo sa týka dát získaných metódou mobilného skenovania, tieto boli vytvorené 16.7.2014 laserovým skenerom RIEGL VMX-450 [23]. Lokalita je rozdelená na nepravidelné bloky s celkovou rozlohou 6,48 ha. Hustota pokrytia bodmi je v porovnaní s leteckým skenovaním neporovnateľne vyššia a dosahuje priemerných hodnôt okolo 1550 bodov na m², čo ponúka širšie možnosti využitia (napríklad mapovanie elektrických vedení, mapovania povrchu ciest ciest...).



Obr. 54: Poloha riešeného územia (zelená-ALS, žltá - MLS), upravené z [20], [vlastné spracovanie]

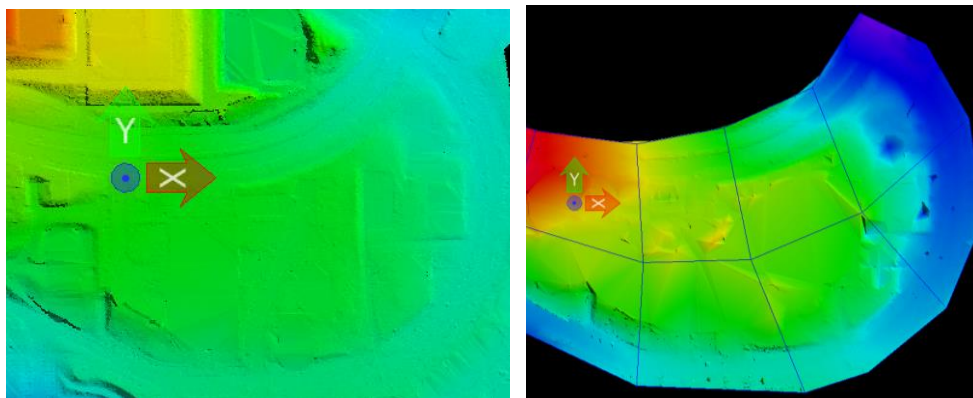
5.3.1 Filtrácia a klasifikácia

Vzhľadom na to, že máme v tejto oblasti dáta z oboch nosičov, budeme porovnávať výsledky jednotlivých krokov klasifikácie.

5.3.1.1 Klasifikácia terénu

Dáta získané metódou ALS boli spracované rovnakým spôsobom, ako prípade lokality Líšeň (vzhľadom na podobnú hustotu bodov a štruktúru terénu).

Čo sa týka bodov získaných metódou MLS bolo nutné zmeniť parametre klasifikácie terénu, no postupy zostali rovnaké. Avšak vzhľadom na rozdielnu metódu získania dát, vznikli mnohé „hluché“ miesta v klasifikácii. Z toho dôvodu oblasti za prekážkami neboli pokryté bodmi nevyhnutnými na vytvorenie kvalitného modelu terénu.

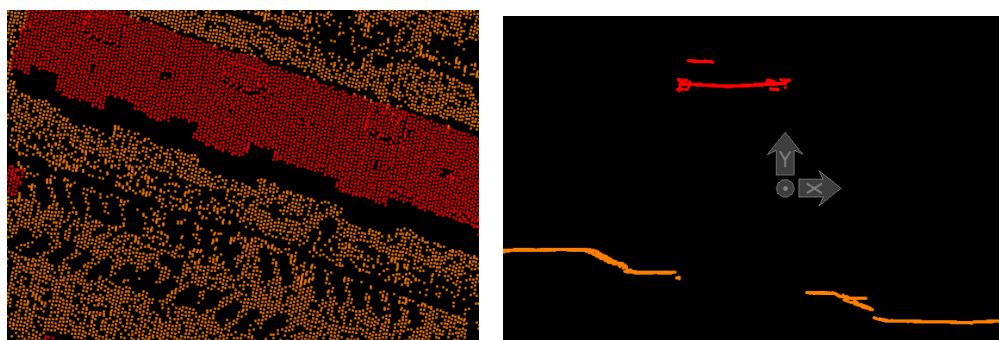


Obr. 55: Vytvorený model z dát ALS (vpravo) a MLS (vľavo) [vlastné spracovanie]

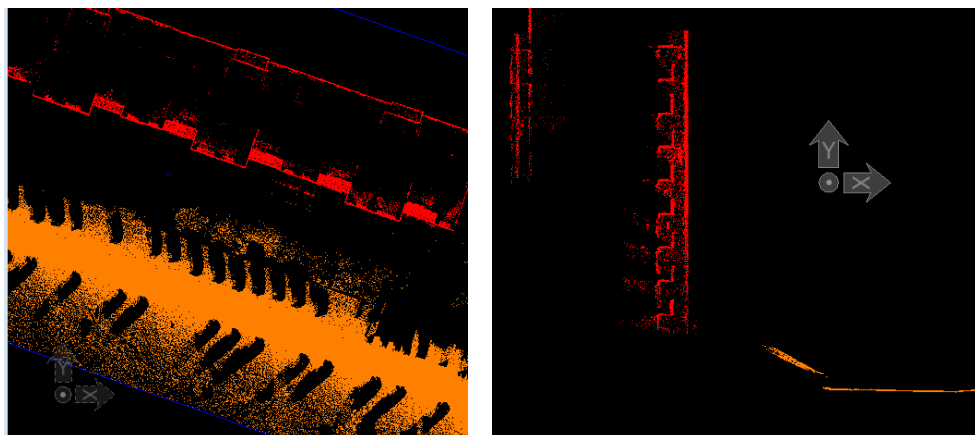
5.3.1.2 Klasifikácia budov

Budovy pre súbor dát z ALS boli spracovávané rovnakým spôsobom ako pre súbor dát Líšeň.

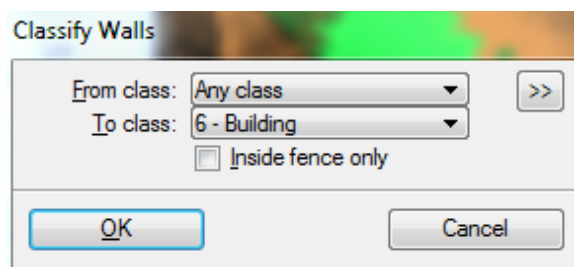
Súbor dát vytvorený metódou MLS si vyžadoval, čo sa týka klasifikácie budov, väčšiu mieru manuálnej práce, pretože program TerraScan vo veľkej miere pracuje s bodmi, ktoré dopadnú na strechy budov, pričom v tomto prípade ich ale bolo minimum (Obr. 56, Obr. 57). Je teda nutné detekovať steny budov (Obr. 58) a základe vypočítaných normálových vektorov, čím prebehne klasifikácia rovinných zvislých útvarov).



Obr. 56: Klasifikované budovy zo súboru ALS [vlastné spracovanie]



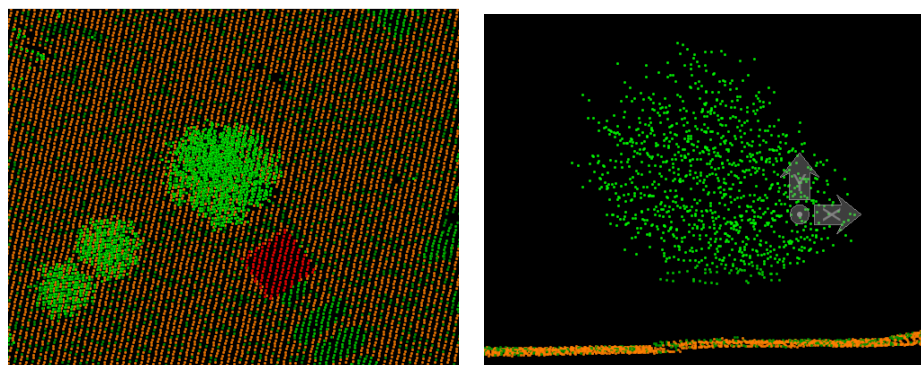
Obr. 57: Klasifikované budovy zo súboru MLS [vlastné spracovanie]



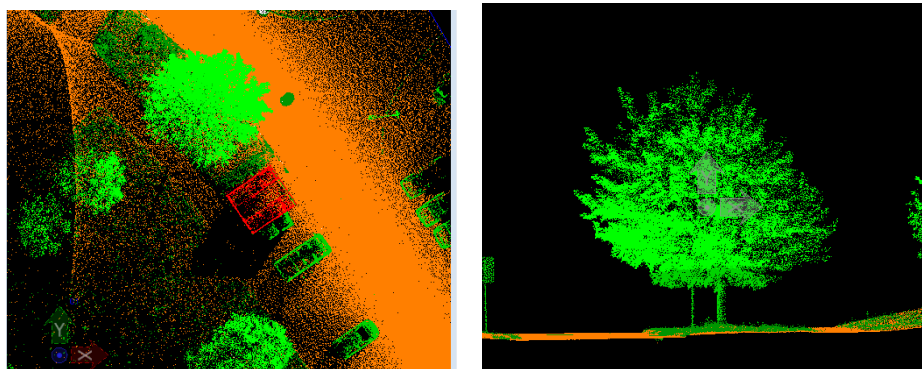
Obr. 58: Klasifikácia stien [vlastné spracovanie]

5.3.1.3 Klasifikácia vegetácie

V klasifikácii vegetácie dochádza vzhľadom na veľkú podrobnosť bodov MLS k omnoho kvalitnejšej klasifikácii (vizuálne, počtom bodov) ako pri súbore dát vytvorených metódou ALS (Obr. 59, Obr. 60). V tomto prípade je teda vidieť možný potenciál v lesníctve.



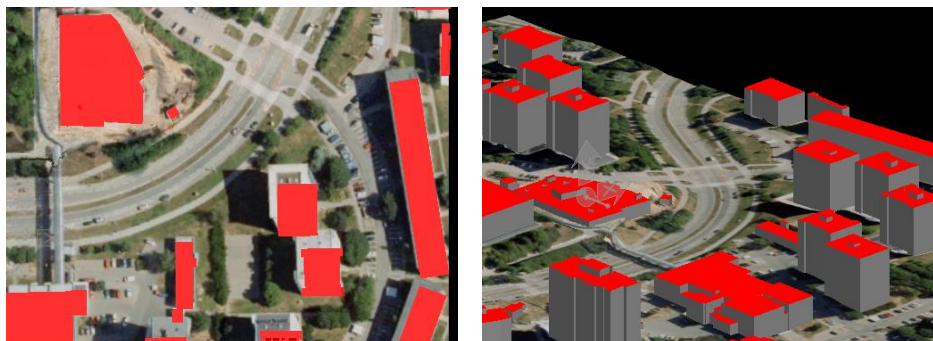
Obr. 59: Klasifikácia zelene z ALS dát [vlastné spracovanie]



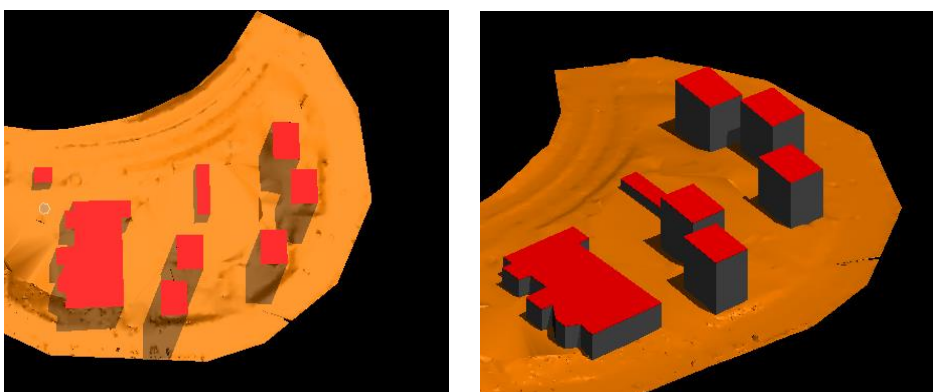
Obr. 60: Klasifikácia zelene z MLS dát [vlastné spracovanie]

5.3.2 Vizualizácie

Po rozklasifikovaní potrebných vrstiev vizualizujeme povrchy pre ALS a MLS (Obr. 61, Obr. 62). Ako už bolo spomenuté, v prípade MLS je jasne vidieť veľkých nepresností v zákrytoch pri vizualizácii terénu. Pri vizualizácii klasifikovaných budov sa ukazuje, že program TerraScan ešte nedokáže automaticky vytvoriť modely budov z dát MLS. Je teda nutné ich do veľkej miery manuálne upraviť.



Obr. 61: Vizualizované budovy s terénom z dát AL, upravené z [18], [vlastné spracovanie]



Obr. 62: Vizualizácie z dát MLS [vlastné spracovanie]

6 VYHODNOTENIE PRESNOSTI

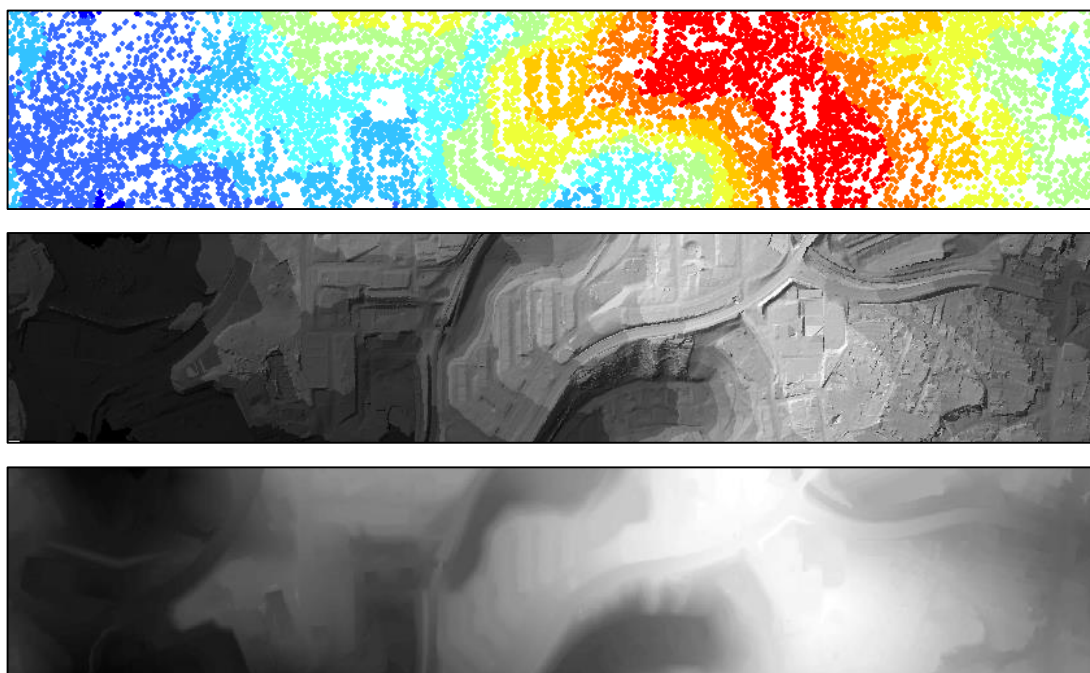
Pre účely vyhodnotenia presnosti vytvoreného terénu a presnosti rekognoskácie budov z dát laserového skenovania využijeme program ArcMap.

Vytvorený terén budeme porovnávať s DMR 5G [5], ktorý vznikol tiež z dát laserového skenovania.

Kritérium pre posúdenie presnosti identifikácie budov bude plocha detekovaná z dát laserového skenovania v porovnaní s údajmi z katastra a vizualizácia rozdielov plôch.

6.1 Vyhodnotenie terénu

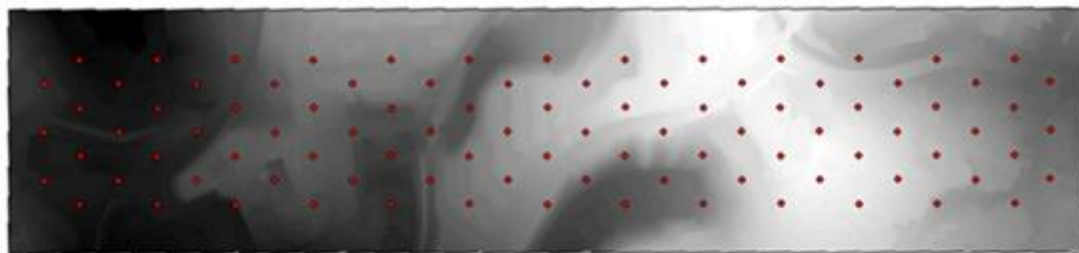
Vyhodnotenie terénu prebiehalo nasledovným spôsobom pre všetky 3 súbory dát. Z programu TerraScan boli uložené iba body klasifikované ako terén, ktoré boli načítané v programe ArcMap ako nový LasDataset prostredníctvom ponuky *System toolbox -> Data Management Tools -> ALS Dataset -> Create ALS Dataset*. Vytvorený súbor dát bol potom prevedený na TIN a ten potom na raster (Obr. 63)



Obr. 63: ALS dataset prevedený na TIN a raster [vlastné spracovanie]

Na vytvorenom rastri v pravidelnej mriežke vytvoríme body, ktorým vypočítame súradnice v systéme ETRS 89/UTM 33N a zároveň v súradnicovom systéme S-JTSK (Obr. 64). Po pripojení vrstvy DMR 5G, odčítame výškové hodnoty pomocou funkcie

Extract Multi Values to Points v rámci *Spatial Analyst Tools* pre oba rastre (nami vytvoreného z dát laserového skenovania, DMR 5G).



Obr. 64: Mriežka 94 bodov v súbore dát Líšeň [vlastné spracovanie]

Body následne vyexportujeme do programu Excel z programovej sady Microsoft Office. Keďže je výška určená na rasti vytvorenom z našich dát eliptická, v systéme ETRS 89/UTM 33N, je nutné aplikovať transformáciu pre zistenie výšky v systéme Bpv. Pre tento účel použijeme jednu z dostupných online transformačných služieb [37].

Po tom, čo máme určené výšky v rovnakom výškovom systéme, môžeme pristúpiť k rátaniu odchýlok a určeniu základných charakteristík ktorými sú:

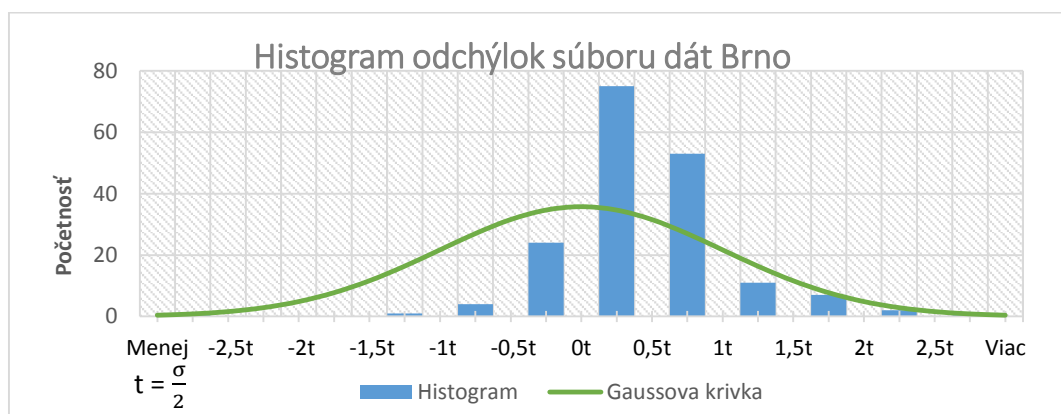
- Maximálna odchýlka: vyjadruje najvyššiu odľahlosť vytvoreného modelu od DMR 5G
- Minimálna odchýlka: hodnota najmenej odľahlosti vytvoreného modelu od DMR 5G
- Stredná hodnota odchýlky: dosiahnutá stredná odchýlka vypočítaná ako priemer odchýlok bodov vytvoreného modelu od DMT 5G [11]
- Smerodajná odchýlka: vypočítaná ako odmocnina zo sumy podielu odchýlok a počtu meraní [11]
- Celková presnosť: vypočítaná ako odmocnina kvadrátov presnosti DMR 5G (0,3 m), presnosti transformácie (0,05 m), presnosti skeneru (udávané výrobcom) a presnosti pohybu nosiča, určuje presnosť vytvoreného terénu vzhľadom k jeho reálnemu priebehu

Následne zostrojíme histogram odchýlok, ktorý by mal spĺňať normálne rozdelenie hodnôt (Graf 1), (Graf 2), (Graf 3), (Graf 4) [11].

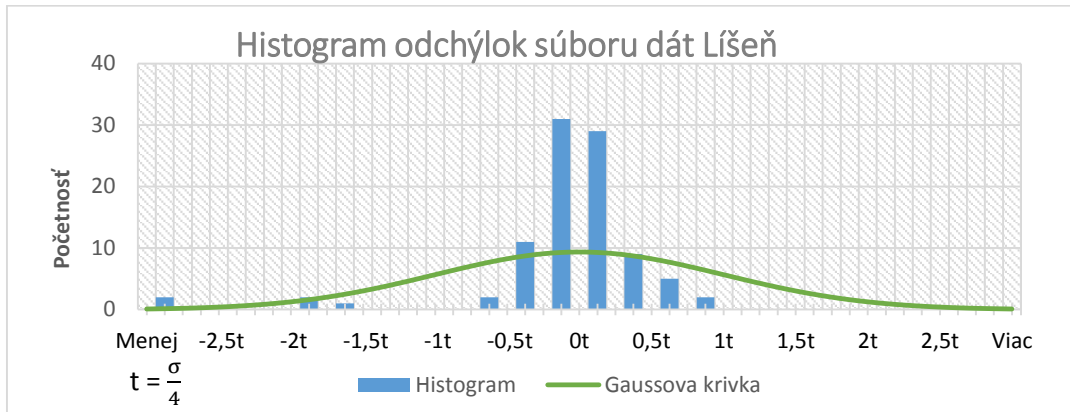
V tabuľke sú uvedené základné charakteristiky presnosti bodov vytvoreného terénu (Tab. 3).

	Lokalita				
	Brno	Líšeň	Nový Lískovec (ALS)	Nový Lískovec (MLS)	
				Zahrnuté všetky body	Po vylúčení bodov mimo ciest
Počet bodov	179	94	81	44	37
Maximálna odchýlka (cm)	350,1	277,3	305,7	198,4	0,34
Minimálna odchýlka (cm)	0,4	0	0,1	0,2	0,2
Stredná hodnota odchýlky (cm)	17,4	-6,01	-0,94	16,23	7,73
Smerodajná odchýlka (cm)	39,192	38,09	39,38	50,48	11,2
Počet bodov mimo intervalu $<-2\sigma, +2\sigma>$	4	4	2	4	2
Výsledná presnosť m (cm)	32	32	32	30,8	30,8
Presnosť DMR 5G (cm)	30	30	30	30	30

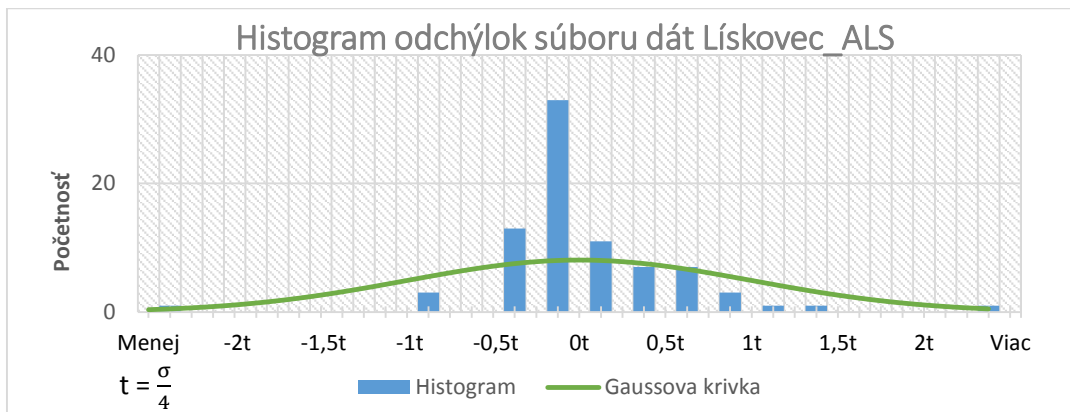
Tab. 3: Tabuľka hodnôt charakteristík presnosti jednotlivých súborov dát [vlastné spracovanie]



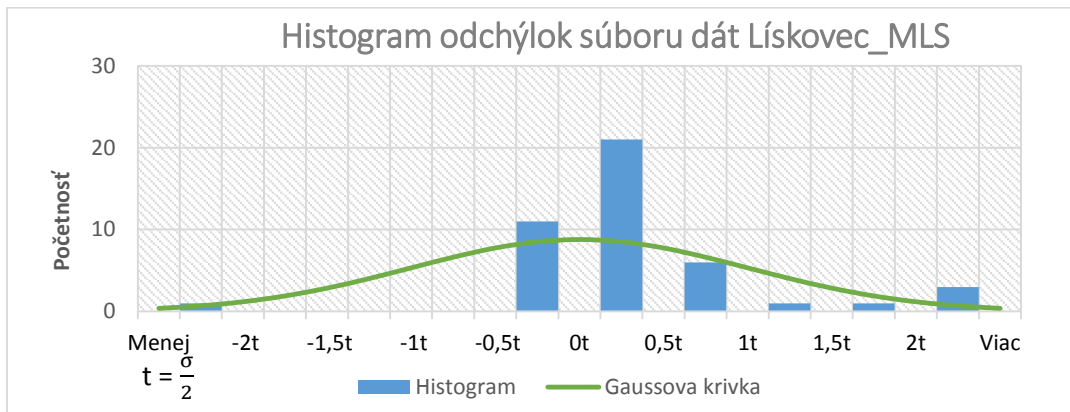
Graf 1: Histogram odchylok terénu zo súboru dát Brno



Graf 2: Histogram odchylok terénu zo súboru dát Líšeň



Graf 3: Histogram odchylok terénu zo súboru dát Lískovec_ALS



Graf 4: Histogram odchylok terénu zo súboru dát Lískovec_MLS

Z porovnania vychádza, že modely vytvorené z poskytnutých dát sú čo sa týka kvality porovnateľné s DMR 5G vzhľadom k reálnemu terénu. Ďalej je zrejmé, že vytvorený terén obsahuje miesta s extrémnymi odchyľkami. To sa dá vysvetliť stavebnými prácami v týchto miestach, ako aj možnou nepresnosťou, resp. neaktuálnosťou dát.

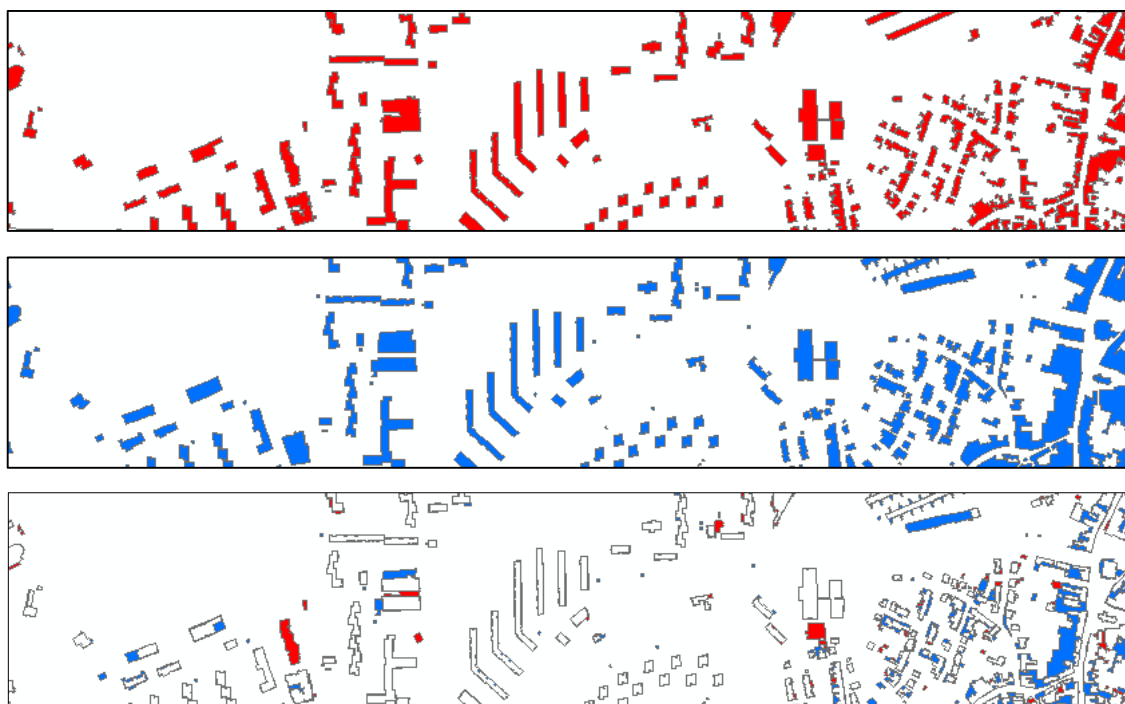
V prípade terénu vytvoreného z dát MLS možno uvažovať o použití iba v rámci bezprostredného okolia cestnej siete, pretože v zákrytoch objektov nie je dostatočné množstvo bodov na vytvorenie presnejšieho modelu.

6.2 Vyhodnotenie budov

Ako bolo spomenuté, hlavným kritériom pri porovnávaní presnosti detekcie budov bude kritérium rozlohy a vizuálne kritérium, keďže mohlo dôjsť k identifikácii objektu ako budovy v prípade vyhodnotenia dát, ale v prípade katastrálnej mapy tam táto nie je (a naopak).

Na vyhodnotenie pomocou rozlohy potrebujeme orezať výber z RÚIAN-u podľa riešeného územia a zároveň mať vytvorenú vrstvu polygónov predstavujúcich pôdorys detekovaných budov zo spracovávaných dát.

Zvektorizované budovy importujeme do prostredia programu ArcMap ako novú vrstvu *Polyline*. Tú následne prevedieme do polygónov pomocou nástroja *Feature to Polygon*, vytvoríme z jednotlivých budov spojené bloky a následne spočítame úplnú výmeru všetkých identifikovaných budov (rovnako pre vrstvu z KN). Na vizuálnu interpretáciu použijeme nástroj *Symmetrical difference* a voľbou vhodnej symbológie interpretujeme rozdiely v detekcii budov (Obr. 65)



Obr. 65: Budovy detekované z dát ALS, budovy z KN, rozdiel plôch [vlastné spracovanie]

Následne určíme charakteristiky z vypočítaných výmer (Tab. 4). Medzi tieto patria [10]:

- Detekovaná oblasť (DO): ide o územie detekované z dát laserového skenovania

- Referenčná oblasť (RO): územie vymedzené z podkladov KN
- Totožné: prienik DO a RO (správne určená oblasť)
- Zjednotenie: zjednotenie plôch DO a RO
- Kvalita detekcie: pomer medzi správne detekovanými oblasťami a plochami zjednotenými
- Úplnosť detekcie: vyjadruje pomer medzi správne určenou oblasťou (prekrytie) a DO
- Správnosť detekcie: vyjadruje mieru správnosti detekcie plôch budov. Hodnota je určená ako pomer správne detekovaného (Totožné) a DO

	Lokalita			
	Brno	Líšeň	Nový Lískovec (ALS)	Nový Lískovec (MLS)
Detekovaná oblasť (m²)	7242824	145822	39655	10360
Referenčná oblasť (m²)	9958906	167919	38082	10766
Totožné (m²)	6223482	128475	33933	9647
Zjednotenie (m²)	10973247	185265	43793	11479
Kvalita detekcie (%)	56,72	69,35	77,48	84,04
Úplnosť detekcie (%)	62,49	76,51	89,11	89,61
Správnosť detekcie (%)	85,93	88,1	85,57	93,12

Tab. 4: Vyhodnotenie detekcie budov [vlastné spracovanie]

7 ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo posúdenie rôznych dát laserového skenovania z leteckého a mobilného nosiča, pričom tie boli zadovážené s rôznou hustotou pokrytia bodmi, pre účely tvorby terénu a vektorizácie budov.

Ako vstup boli použité dáta zadovážené v roku 2014 (MLS) a 2015 (ALS) laserovými skenermi centra AdMaS v rôznych častiach mesta Brna a rôzne podklady z databázy ČUZK vo forme mapových služieb.

Pri posudzovaní kvality vytvoreného terénu je nutné brať ohľad na časové zmeny v riešených lokalitách. Extrémne odchýlky, ktoré sa objavili v súbore spracovávaných bodov, môžu mať viacero príčin. Či už sú to možné stavebné úpravy v miestach extrémnych odchýlok, alebo časovým nesúladam dát, až po možnú nepresnosť oficiálneho vytvoreného digitálneho modelu terénu.

Lokality, pri ktorých boli spracovávané ALS dáta, vykazujú porovnateľnú úroveň presnosti vytvoreného terénu vzhľadom na reálny terén ako model DMR 5G.

Terénny model vytvorený z dát MLS, po nezapočítaní bodov v zákrytoch, dosahuje výrazne vyššej presnosti vzhľadom k DMR 5G (nie je ale ďalej možné hovoriť o komplexnom modeli terénu, nakoľko sa model obmedzí len na bezprostredné okolie cestnej siete), no vzhľadom k reálnemu terénu je na tom kvalitatívne podobne.

Čo sa týka vektorizácie budov, je vo vyhodnotení vidieť veľké odchýlky od stavu uvedeného v katastri nehnuteľností.

Pri lokalite Brno, je možné si všimnúť, že bolo úplne správne detekované nižšie percento, ako v prípade ostatných lokalít. To je možné vysvetliť najmä hustotou skenovania (množstvo menších budov nebolo detekovaných, z dôvodu malého počtu bodov; neúplnosť detekovaných striech a nedokonalosti automatickej vektorizácie).

V ostatných lokalitách je vidieť podstatné zvýšenie úplnosti detekcie budov. Vzhľadom na to, že ALS dáta pre Líšeň a Nový Lískovec boli zbierané s podobnou hustotou, dalo sa predpokladať, že aj výsledky detekcie budú dosahovať podobné. No pri úplnosti detekcie si môžeme všimnúť výrazné odchýlky. Tie je ale možné vysvetliť charakterom zástavby v týchto lokalitách. V prípade Nového Lískovca ide o zväčša o budovy pravidelných tvarov (bytové domy), pri ktorých je jednoduchšia ich detekcia v mračne bodov. Naopak, v prípade lokality Líšeň, tvoria veľkú časť rodinné domy v radovej zástavbe, prevažne so sedlovými a inými strechami (nepravidelných tvarov), ktorých automatická detekcia je obtiažnejšia.

Ako najpresnejšie a najúplnejšie sa teda javia dáta z MLS pre lokalitu Nový Lískovec. Na druhej strane je ale nutné zdôrazniť, že práve táto metóda vyžaduje nepomerne viac času pri vektorizácii budov.

Napriek lokálnym nepresnostiam ale nemožno dátam získaným laserovým skenovaním uprieť do budúcnosti veľký potenciál. V prípade tejto práce, by bolo možné dosiahnuť lepších výsledkov, ak by sa procesy vykonávali s väčším príspevom manuálneho spracovania, čo môže byť podnetom pre ďalšie spracovanie.

Čo sa týka samotného spracovania dát z laserového skenovania vo všeobecnosti, možno časom očakávať výraznejší posun ku kvalite vytvorených produktov prostredníctvom automatickej klasifikácie, vektorizácie a ďalších procesov súvisiacich so spracovaním týchto dát.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY A ZDROJOV

- [1] ACKERMANN, Friedrich. Airborne laser scanning: Present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1999, **1999**(54), 64-67. ISSN 0924-2716. Dostupné také z:
<<http://warnercnr.colostate.edu/~lefsky/isprs/1134.pdf>>
- [2] BOLLMAN, Erik. *Evaluation of airborne laser scanning mass balance calculations at Hintereisferner* [online]. 2011. Innsbruck. Institute of Geography, Innsbruck University, [cit. 2016-04-028]. Dostupné z: <<http://www.slideshare.net/uhi/bollmann-erik-2010-evaluation-of-airborne-laser-scanning-mass-balance-calculations>>
- [3] BOUMA, Ondřej. Historie a vývoj satelitních navigačních systému. In: *Fakulta informatiky Masarykovy univerzity* [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <<http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xbouma.htm>>
- [4] COLLIS, R. T. H. Lidar. *Atmospheric exploration by remote probes* [online]. 1969 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z:
<<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19720017707.pdf>>
- [5] *Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)*[online]. Praha, 2009, Poslední aktualizace produktu: 2016-02-23 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:
<<http://ags.cuzk.cz/arcgis/rest/services/dmr5g/ImageServer>>
- [6] DOLANSKÝ, Tomáš. Lidary pro mapování terénu. *Lidary a letecké laserové skenování*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2004, s. 12-20. ISBN 80-7044-575-0.
- [7] ESRI. *ArcGIS* [online]. Redlands, 2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z:
<<https://www.arcgis.com/features/>>
- [8] *G4D* [online]. Březová-Oleško [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <<http://www.g4d.cz>>
- [9] *Geodézie Ledec nad Sázavou* [online]. Ledec nad Sázavou [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <<http://www.geodezieledec.cz>>
- [10] HERMOSILLA, Txomin, Luis A. RUIZ, Jorge A. RECIO a Javier ESTORNELL. Evaluation of Automatic Building Detection Approaches Combining High Resolution Images and LiDAR Data. *Remote Sensing*[online]. 2011, **2011**(6), 1188-1210 [cit. 2016-05-08]. DOI: 10.3390/rs3061188 Article. ISSN 2072-4292. Dostupné z:
<<http://www.mdpi.com/2072-4292/3/3/416>>

- [11] IŽVOLTOVÁ, Jana. METÓDY ODHADU PARAMETROV. *Spracovanie a analýza meraní: Odhady parametrov. Riešené príklady* [CD]. Žilina: EDIS, 2010, s. 53-58 [cit. 2016-05-08]. ISBN 978-80-554-0231-4.
- [12] JON, Jakub. *Testování mobilní sestavy inerciální jednotky a laserové hlavy* [online]. Praha, 2011, 52 s. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <<http://gama.fsv.cvut.cz/~cepek/proj/dp/2011/jakub-jon-dp-2011.pdf>>. Diplomová práce. České Vysoké Učení Technické. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka. S. 12.
- [13] JONES, Tate. The Future of Laser Scanning: 5 predictions for design and construction. In: *LandAir Surveying* [online]. Roswell, 2012 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.landairsurveying.com/blog/the-future-of-laser-scanning-5-predictions-for-design-and-construction/>
- [14] KAREN, Schuckman. Topographic Mapping with Lidar. In: *PennState College of Earth and Mineral sciences* [online]. State College [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/geog481/11_p5.html>
- [15] KOLEJKA, Jaromír a Miloš TEJKAL. VYUŽITÍ LASEROVÝCH MODELŮ TERÉNU V GEOMORFOLOGICKÉM VÝZKUMU. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* [online]. Bratislava, 2011, ©2007-2016, **2011**(1), 7-17 [cit. 2016-04-29]. ISSN 1337-6799. Dostupné z: <<http://www.asg.sav.sk/gfsb/v01111/gfsb0110101.pdf>>
- [16] Laser scanning. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016, This page was last modified on 25 January 2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_scanning>
- [17] MIKITA, Tomáš. *Použití GIS a DPZ pro krajinné inženýrství* [online]. 2014. Brno. Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita, [cit. 2016-04-028]. Dostupné z: <http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vgdp_gis4.pdf>
- [18] Prohlížeč služba WMS – Ortofoto. ČÚZK: *Geoportal* [online]. Praha, 2016, Poslední aktualizace informací: 2016-04-04 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx>
- [19] Prohlížeč služba WMS –Přehledové mapy ČR. ČÚZK: *Geoportal* [online]. Praha, 2012, Poslední aktualizace informací: 2016-04-04 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/WMS_PREHLEDKY/WMSservice.aspx?>

- [20] Prohlížeč služba WMS – ZM 50. ČÚZK: *Geoportal* [online]. Praha, 2016, Poslední aktualizace informací: 2016-04-04 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM50_PUB/WMSservice.aspx>
- [21] *RIEGL LMS-Q680i*. 2012, 8 s. Dostupné také z: <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_28-09-2012.pdf>
- [22] *RIEGL LMS-Q780*. 2015. Dostupné také z: <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_LMS-Q780_2015-03-24.pdf>
- [23] *RIEGL VMX-450*. 2015. Dostupné také z: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_VMX-450_2015-03-19.pdf
- [24] SONG, Jeong-Heon, Soo-Hee HAN, Kiyun YU. ASSESSING THE POSSIBILITY OF LAND-COVER CLASSIFICATION USING LIDAR INTENSITY DATA. In: ISPRS Commission III: Symposium 2002 Photogrammetric Computer Vision" PCV'02 September 9-13 [online]. Graz, 2002, Last Change 06-Feb-2012, s. 259 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part3/papers/paper128.pdf>
- [25] STANĚK, Vlastimil, Gabriela HOSTINCOVÁ a Alojz KOPÁČIK. Zber údajov geodetickými metódami a skenermi. *Geodézia v stavebníctve*. Bratislava: VKU, a.s., Harmanec, 2007, s. 60. ISBN 978-80-8076-048-9.
- [26] Stav aktualizace DMR 4G. ČÚZK: *Geoportál* [online]. Praha, 2010, Poslední aktualizace informací: 2016-03-08 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=547&serverconf=meta>>
- [27] Stav aktualizace DMR 5G. ČÚZK: *Geoportál* [online]. Praha, 2010, Poslední aktualizace informací: 2016-02-16 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=603&serverconf=meta>>
- [28] Stav aktualizace DMR 1P. ČÚZK: *Geoportál* [online]. Praha, 2010, Poslední aktualizace informací: 2015-07-17 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/?wmcid=2196&serverconf=meta>>
- [29] *TECHNICKÁ ZPRÁVA K DIGITÁLNÍMU MODELU RELIÉFU 4. GENERACE: DMR 4G*. Praha, 2010, 11 s. Dostupné také z: <http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf>

- [30] *TECHNICKÁ ZPRÁVA K DIGITÁLNÍMU MODELU RELIÉFU 5. GENERACE: DMR 5G*. Praha, 2012, 12 s. Dostupné také z: <http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf>
- [31] *TECHNICKÁ ZPRÁVA K DIGITÁLNÍMU MODELU POVRCHU 1. GENERACE: DMP 1G*. Praha, 2015, 17 s. Dostupné také z: <http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMP_1G.pdf>
- [32] *Terrasolid Software* [online]. Helsinky, ©2012-2016, Last update on this page: 17.05.2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <<http://www.terrasolid.com/home.php>>
- [33] TERRASOLID SOFTWARE. *TerraScan User's Guide*. Terrasolid, 2015, 592 s. Dostupné také z: <<https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>>
- [35] TERRASOLID SOFTWARE. *TerraModeler User's Guide*. Terrasolid, 2015, 287 s. Dostupné také z: <<https://www.terrasolid.com/download/tmodel.pdf>>
- [36] The uses of LiDAR: What applications are there for LiDAR systems?. *LiDAR UK* [online]. Bluesky International Limited [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <<http://www.lidar-uk.com/usage-of-lidar/>>
- [37] TOWNES, Charles H. a (eds.). The first laser. GARWIN, Laura a Tim LINCOLN. *A Century of Nature: Twenty-One Discoveries that Changed Science and the World* [online]. Chicago: University of Chicago Press, 2003, © 2003 [cit. 2016-03-22]. ISBN 978-0226284156. Dostupné z: <http://www.press.uchicago.edu/Misc/Chicago/284158_townes.html>
- [37] Transformace souřadnic. ČÚZK: *Geoportal* [online]. Intergraph CS s.r.o. Praha, 2013, Poslední aktualizace informací: 2016-04-04 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(rb1tjg3rcpcuxvhd2miyosay\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=19](http://geoportal.cuzk.cz/(S(rb1tjg3rcpcuxvhd2miyosay))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=wcts&menu=19)>
- [38] UHLÍŘOVÁ, Kateřina a Hana NOVÁKOVÁ. VYUŽITÍ DAT LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ NA TOCÍCH A V PŘÍBŘEŽNÍCH ZÓNÁCH. In: *Symposium GIS Ostrava 2011 24th-26th January 2011* [online]. Ostrava, 2011, s. 8 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://gis.vsb.cz/gis2011/>>
- [39] USSYSHKIN, Valerie a Livia THERIAULT. Airborne Lidar: Advances in Discrete Return Technology for 3D Vegetation Mapping. *Remote Sensing* [online]. 2011, **2011**(3), 416-434 [cit. 2016-05-19]. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/3/3/416>>

- [40] ZABAGED®: Výškopis - úvod. *Geoportál: ČÚZK* [online]. Praha, 2016, Poslední aktualizace: 25.4.2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ygtg3smmg3ivp1umqj5zt0em\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30](http://geoportal.cuzk.cz/(S(ygtg3smmg3ivp1umqj5zt0em))/Default.aspx?mode=TextMeta&text=vyskopis&side=vyskopis&head_tab=sekce-02-gp&menu=30)>
- [41] Základní konfigurace mobilního mapovacího systému IP-S2. *CAD.cz* [online]. Praha, ©2009-2016 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <<http://www.cad.cz/gis/80-gis/2354-moznosti-vyuziti-systemu-ip-s2-topcon-pro-potreby-mobilniho-mapovani.html>>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

ČR	Česká Republika
NASA	Národní úrad pre letectvo a vesmír (National Aeronautics and Space Administration)
GPS	Globálny lokalizačný systém (Global Positioning System)
GNSS	Globálny navigačný satelitný systém (Global Navigation Satellite System)
DGPS	Diferenciálny globálny lokalizačný systém (Differential Global Positioning System)
IMU	Inerciálna meracia jednotka (Inertial Measurement Unit)
GIS	Geografický Informačný Systém (Geographic Information System)
ASPRS	Americká spoločnosť pre fotogrametriu a diaľkový prieskum Zeme (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing)
ALS	Lidarový archívny štandard(Lidar Archive Standard)
3D	trojdimenzionálny
DMT	Digitálny Model Terénu
DMP	Digitálny Model Povrchu
DMR 4G	Digitálny Model Reliéfu štvrtej generácie
DMR 5G	Digitálny Model Reliéfu piatej generácie
DMP 1G	Digitálny Model Povrchu prvej generácie
ČUZK	Český geodetický a katastrálny úrad (Český úrad zeměměřický a katastrální)
TIN	Nepravidelná trojuholníková sieť (Triangulated Irregular Network)
LiDAR	Meracia technológia založená na meraní vzdialenosti pomocou osvetľovania cieľa laserovým svetlom.(Light Detection And Ranging)
LS	Laserové skenovanie (Laser Scanning)
ALS	Letecké laserové skenovanie (Aerial Laser Scanning)

MLS	Mobilné laserové skenovanie (Mobile Laser Scanning)
TLS	Pozemné laserové skenovanie (Terrestrial Laser Scanning)
WMS	Webová Mapová Služba (Web Map Service)
ESRI	medzinárodný dodávateľ GIS softvéru, internetového GIS a aplikácií na správu geodatabázy
ETRS	Európsky Terestrický Referenčný Systém (The European Terrestrial Reference System)
UTM	Univerzálny Tranzverzálny Mercatorov systém (Universal Transverse Mercator)
S-JTSK	Systém Jednotnej Trigonometrickej Siete Katastrálnej
Bpv	Balt po vyrovnání
RÚIAN	Register Územnej Identifikácie, Adries a Nehnutelností

ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

Obr. 1: Stav aktualizácie DMR 4G(Fialová-2009, Zelená – 2010, Modrá – 2011, Červená – 2013), upravené z [26]	13
Obr. 2: Stav aktualizácie DMR 5G(Žltá – 2009, Fialová-2010, Zelená – 2011, Modrá – 2012, Červená – 2013), upravené z [27].....	14
Obr. 3: Stav aktualizácie DMP 1G(Fialová-2009, Zelená – 2010, Modrá – 2011, Červená – 2013), upravené z [28]	14
Obr. 4: Porovnanie získavania bodov pomocou geodetickej metódy a metódy skenovania [25].....	18
Obr. 5: Letecké skenovanie, upravené z [2]	18
Obr. 6: Mobilné skenovanie, upravené z [41]	19
Obr. 7: Letecké skenovanie podľa typu skeneru, upravené z [6]	20
Obr. 8: Poloha riešeného územia, upravené z [19]	24
Obr. 9: Nástroj Measure point Density v okne View Laser v programe TerraScan [vlastné spracovanie]	24
Obr. 10: Načítanie bodov v prostredí TerraScan [vlastné spracovanie]	25
Obr. 11: Rozvrhnutie blokov [vlastné spracovanie]	25
Obr. 12: Postup vykreslenia rezu bodmi [vlastné spracovanie].....	26
Obr. 13: Zobrazenie rezu bodmi [vlastné spracovanie].....	26
Obr. 14: Zobrazenie bodu s extrémnou súradnicou [vlastné spracovanie].....	27
Obr. 15: Nástroj Define Project v okne General [vlastné spracovanie].....	27
Obr. 16: Vytvorenie blokov [vlastné spracovanie].....	27
Obr. 17: Import bodov do projektu [vlastné spracovanie].....	28
Obr. 18: Otvorenie bloku [vlastné spracovanie].....	28
Obr. 19: Vytvorenie Macro pre filtráciu odľahlých bodov [vlastné spracovanie].....	29
Obr. 20: Spustenie Macro na vybraných blokoch projektu [vlastné spracovanie]	30

Obr. 21: Parametre Macro pre automatickú klasifikáciu vrstvy Ground v urbanizovaných a zalesnených oblastiach [vlastné spracovanie].....	31
Obr. 22: Vytvorenie editovateľného modelu terénu [vlastné spracovanie]	32
Obr. 23: Ponuka Display Surface z hlavného menu TerraModeler [vlastné spracovanie]..	32
Obr. 24: Model tool box z menu pre TerraScan umožňujúci manuálnu klasifikáciu [vlastné spracovanie].....	32
Obr. 25: Príklad nesprávnej klasifikácie vrstvy Ground. Ide o budovu Galerie Vaňkovka [vlastné spracovanie]	33
Obr. 26: Klasifikácia vodných plôch [vlastné spracovanie]	34
Obr. 27: Príklad klasifikácie vodných plôch [vlastné spracovanie]	34
Obr. 28: Kroky Macro programu pre klasifikáciu budov v zalesnených a vidieckych oblastiach [vlastné spracovanie]	35
Obr. 29: Kroky Macro programu pre klasifikáciu budov v urbanizovaných oblastiach [vlastné spracovanie]	36
Obr. 30: Príklad klasifikovanej oblasti Galeria Vaňkovka [vlastné spracovanie].....	36
Obr. 31: Parametre Macro pre klasifikáciu vegetácie [vlastné spracovanie]	37
Obr. 32: Príklad klasifikácie vegetácie v oblasti Galerie Vaňkovka [vlastné spracovanie]	37
Obr. 33: Kroky Macro pre účely vytvorenia kľúčových bodov pre model terénu [vlastné spracovanie].....	38
Obr. 34: Export mračna bodov [vlastné spracovanie]	38
Obr. 35: Tvorba terénu a vytvorený terén zobrazený ako sieťový model a ako vyhladený model [vlastné spracovanie]	39
Obr. 36: Vektorizácia budov v aktívnom bloku [vlastné spracovanie]	40
Obr. 37: Parametre vektorizácie pomocou Macro [vlastné spracovanie].....	40
Obr. 38: Zobrazenie vektorizovaných bodov ako sieťový model a ako vyhladený model [vlastné spracovanie]	40
Obr. 39: Spoločná vizualizácia terénu a budov [vlastné spracovanie]	41
Obr. 40: Poloha riešeného územia Brno Líšeň, upravené z [20]	41

Obr. 41: Parametre pre filtráciu chybných bodov [vlastné spracovanie]	42
Obr. 42: Parametre klasifikácie vrstvy Ground v lokalite Líšeň [vlastné spracovanie]	43
Obr. 43: Parametre pre Macro na klasifikáciu budov [vlastné spracovanie].....	43
Obr. 44: Parametre pre opravu klasifikácie budov [vlastné spracovanie]	44
Obr. 45: Príklad opravy (pred opravou vľavo, po oprave vpravo) [vlastné spracovanie] ...	44
Obr. 46: Inormačné okno rastra [vlastné spracovanie]	45
Obr. 47: Umiestnenie možnosti Define Materials v menu Visualization [vlastné spracovanie]	45
Obr. 48: Nová paleta materiálov v okne material editor [vlastné spracovanie]	46
Obr. 49: Okno parametrov nového materiálu [vlastné spracovanie]	46
Obr. 50: Priradenie materiálu vrstve Terrain [vlastné spracovanie].....	47
Obr. 51: Zobrazenie terénu a sieťový model a ako model s textúrou, upravené z [18], [vlastné spracovanie]	48
Obr. 52: Budovy zobrazené ako sieťové modely a ako vyhladené modely [vlastné spracovanie].....	48
Obr. 53: Spoločné zobrazenie budov a terénu s fototextúrou,upravené z [18], [vlastné spracovanie].....	49
Obr. 54: Poloha riešeného územia (zelená-ALS, žltá - MLS), upravené z [20], [vlastné spracovanie].....	50
Obr. 55: Vytvorený model z dát ALS (vpravo) a MLS (vľavo) [vlastné spracovanie].....	51
Obr. 56: Klasifikované budovy zo súboru ALS [vlastné spracovanie]	51
Obr. 57: Klasifikované budovy zo súboru MLS [vlastné spracovanie].....	52
Obr. 58: Klasifikácia stien [vlastné spracovanie]	52
Obr. 59: Klasifikácia zelene z ALS dát [vlastné spracovanie]	52
Obr. 60: Klasifikácia zelene z MLS dát [vlastné spracovanie].....	53
Obr. 61: Vizualizované budovy s terénom z dát AL, upravené z [18], [vlastné spracovanie]	53
Obr. 62: Vizualizácie z dát MLS [vlastné spracovanie]	53

Obr. 63: ALS dataset prevedený na TIN a raster [vlastné spracovanie].....	54
Obr. 64: Mriežka 94 bodov v súbore dát Líšeň [vlastné spracovanie]	55
Obr. 65: Budovy detekované z dát ALS, budovy z KN, rozdiel plôch [vlastné spracovanie]	58

ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK A GRAFOV

Tab. 1: Modely terénu vytvorené z dát ALS pre územie ČR, upravené z [40]	13
Tab. 2: Odrazivosť niektorých materiálov [24]	17
Tab. 3: Tabuľka hodnôt charakteristík presnosti jednotlivých súborov dát [vlastné spracovanie]	56
Tab. 4: Vyhodnotenie detekcie budov [vlastné spracovanie]	59
Graf 1: Histogram odchýlok terénu zo súboru dát Brno	56
Graf 2: Histogram odchýlok terénu zo súboru dát Líšeň	57
Graf 3: Histogram odchýlok terénu zo súboru dát Lískovec_ALS	57
Graf 4: Histogram odchýlok terénu zo súboru dát Lískovec_MLS	57

ZOZNAM PRÍLOH

(V elektronickej podobe na CD)

Príloha č. 1	Zoznam porovnávaných bodov
Príloha č. 2	Microstation projekty s modelmi
Príloha č. 3	ArcMap projekt
Príloha č. 4	Výpočty v programe Excel
Príloha č. 5	Kópia diplomovej práce vo formáte pdf