

Západočeská univerzita v Plzni



Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

Diplomová práce

**Ověření účinnosti zpřesnění digitálního
modelu reliéfu ZABAGED podle koncepce
Zeměměřického úřadu v zastavěném území
města Plzně**

Plzeň, 2012

Bc. Lenka Vondrašová

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a následné obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu literatury, a za odborného vedení vedoucího diplomové práce.

V Plzni dne 25.5. 2012

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Radkovi Fialovi, Ph.D. za odborné konzultace a připomínky, panu Ing. Karlu Jedličkovi, Ph.D. za cenné informace při práci v programu ArcGIS a Zeměměřickému úřadu za poskytnutí dat. Dále bych na tomto místě chtěla poděkovat pracovníkovi katastrálního pracoviště Plzeň-město Petru Šlajsovi za poskytnutí informací k problémovým nivelačním bodům.

Rovněž děkuji i celé rodině za psychickou a finanční podporu.

Klíčová slova

Letecké laserové skenování, DMR ZABAGED, ZABAGED - výškopis, ZABAGED - zdokonalený výškopis, výškový systém ČR.

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je porovnání výškopisu ZABAGED a zdokonaleného výškopisu ZABAGED s daty leteckého laserového skenování, zhodnocení účinnosti zpřesnění výškopisu ZABAGED. Nakonec je zkoumána možnost využití nivelačních bodů pro kontrolu přesnosti výšek bodů leteckého laserového skenování.

Key words

Aerial laser scanning, DTM ZABAGED, ZABAGED - altimetry, ZABAGED - altimetry improved, vertical datum ČR.

Abstract

The object of this diploma thesis is a comparison altimetry ZABAGED and altimetry improved ZABAGED with data of aerial laser scanning, a evaluation usefull more accurate ZABAGED. Finally is studied possibility of using leveling points for control accuracy of the heights points of aerial laser scanning.

Obsah

1. Úvod	1
2. ZABAGED, LLS a výškové systémy ČR	2
2.1 ZABAGED, DMR ZABAGED	2
2.1.1. Stručně o ZABAGED	2
2.1.2 DMR ZABAGED, DMR v resortu Ministerstva obrany ČR a jejich technické parametry	3
2.2. Letecké laserové skenování	6
2.2.1 Historie leteckého laserového skenování	7
2.2.2 Princip a technické parametry leteckého laserového skenování	8
2.3 Výškové systémy České republiky	11
2.3.1 Historie výškových systémů na území České republiky	13
2.3.2 Výškové bodové pole a parametry přesnosti	14
3. Příprava dat	17
3.1 ZABAGED	18
3.2 LLS	20
3.3 Nivelační body	22
4. Vytvoření trojúhelníkových sítí a porovnání výškových rozdílů	27
4.1 Tvorba TIN nad ZABAGED	27
4.2 Tvorba TIN nad daty leteckého laserového skenování	29
4.3 Výškové rozdíly a výpočet chyb LLS a ZABAGED	30
4.4 Výsledky vyhodnocení ve zkušebních lokalitách	32
4.4.1 Lokality s bytovou zástavbou	33
4.4.2 Lokality s panelovou zástavbou	35
4.4.3 Lokality s rodinnými domy	38
4.5 Zpracování a vyhodnocení výškových rozdílů nivelačních bodů a dat LLS .	41
5. Závěr	44
A. Literatura a internetové odkazy	46
B. Struktura přiloženého DVD	48

Seznam obrázků

2.1. Princip LLS - převzato z [7]	9
2.2. Parametry LLS - převzato z [6]	10
2.3. Výšky bodu nad referenčními plochami - převzato z [8]	12
2.4. Označování nivelačních pořadů - převzato z [4]	16
3.1. Přehledka vybraných lokalit	17
3.2. Rodinné domy Na Hvězdě	18
3.3. Rodinné domy na Lochotíně	18
3.4. Bytové domy v centru Plzně	18
3.5. Bytové domy na Slovanech	18
3.6. Panelové domy na Vinicích	18
3.7. Panelové domy na Košutce	18
3.8. Ukázka oříznuté ZABAGED - výškopis na Slovanech	19
3.9. Ukázka dat LLS	20
3.10. Grafické znázornění dat LLS pro tvorbu DMT na Slovanech	21
3.11. Grafické znázornění dat pro výškové porovnání nivelačních bodů a LLS	22
3.12. Prostorové uspořádání katastrálních území města Plzně - tisk [18]	24
3.13. Ukázka dat pro k.ú. Bolevec	25
4.1. Nastavení tvorby DMT	27
4.2. Vlastnosti tvorby modelu terénu	28
4.3. Výběr vrstev a typu spojnic	29
4.4. Nastavení formátu souboru	29
4.5. Nastavení výpočtu výškových rozdílů	30
4.6. Barevná hypsometrie pro rozdílové modely	30
4.7. DMT z neopravených dat LLS	32
4.8. DMT z opravených dat LLS	32
4.9. Výsledky vyhodnocení ve zkušebních lokalitách	33
4.10. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS v centru Plzně ...	34
4.11. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS v centru Plzně	34
4.12. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis v centru Plzně	34
4.13. Bytové domy v centru Plzně	34
4.14. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Slovanech	35
4.15. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Slovanech	35

4.16. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Slovanech	35
4.17. Bytové domy na Slovanech	35
4.18. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Košutce	36
4.19. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Košutce	36
4.20. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Košutce	37
4.21. Panelové domy na Košutce	37
4.22. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Vinicích	37
4.23. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Vinicích	37
4.24. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Vinicích	38
4.25. Panelové domy na Vinicích	38
4.26. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Lochotíně	39
4.27. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Lochotíně	39
4.28. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Lochotíně	39
4.29. Rodinné domy na Lochotíně	39
4.30. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS Na Hvězdě	40
4.31. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS Na Hvězdě	40
4.32. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis Na Hvězdě	40
4.33. Rodinné domy Na Hvězdě	40
4.34. Statistika výškových rozdílů	42
4.35. Funkce „Select By Attributes“	42
4.36. Statistika výškových rozdílů bez hrubých chyb	43

Seznam tabulek

2.1. Závěry hodnocení výškopisných modelů ČR - převzato z [6]	5
2.2. Parametry LLS - převzato z [6]	10
2.3. Přehled výškových systémů použitých na území ČR - převzato z [8]	14

1. Úvod

Digitální modely terénu jsou využívány v oblasti zabezpečení státu, v oblasti krizového řízení, v aplikacích moderních řídicích a bezpečnostních systémů v letectví, pro tvorbu územně analytických podkladů, pro aplikace moderních metod geologického průzkumu a projektování na úseku povrchového důlního hospodářství i pro řešení a zpracování studií a plánovacích dokumentací na úseku ochrany životního prostředí. Digitální modely terénu jsou potřebné v oblasti ochrany povrchových i podzemních vod, pro aplikace automatizovaných metod analýz terénu v oblasti řízení a ochrany zemědělské půdy i v oblasti správy lesního půdního fondu a lesů, atd. Všechny současné digitální modely reliéfu však mají nedostatečnou přesnost a vysokou míru generalizace. Interpolace objektů mikroreliéfu tak nedosahuje požadované přesnosti. Na území České republiky v současné době existují tři druhy dat - ZABAGED - výškopis, ZABAGED - zdokonalený výškopis a od roku 2010 data leteckého laserového skenování (LLS). Metoda leteckého laserového skenování je používána v Projektu tvorby nového výškopisu ČR, který je zaměřen na získávání kvalitních výškopisných dat z celého území ČR.

Protože kvalita výškopisných dat je klíčovým faktorem ovlivňující rozsah jejich použitelnosti, je cílem této diplomové práce ověření účinnosti zpřesnění digitálního modelu reliéfu Základní báze geografických dat (DMR ZABAGED) v zastavěném území města Plzně. Tato diplomová práce navazuje na několik diplomových prací, které se v minulosti kvalitou výškopisu ZABAGED zabývaly, a doplňuje je o hodnocení v zastavěném území města. Ověření účinnosti zpřesnění je provedeno porovnáním zdokonaleného DMR ZABAGED s původním a také porovnáním DMR ZABAGED zdokonaleného a původního s daty leteckého laserového skenování (LLS). Posledním výstupem je získání výškových rozdílů a parametrů přesnosti dat LLS v blízkém okolí nivelačních bodů.

2. ZABAGED, LLS a výškové systémy ČR

Kapitola obsahuje stručný popis vlastností a historii dat použitých v této diplomové práci, tj. data ZABAGED, data leteckého laserového skenování (LLS) pořízená v Projektu tvorby nového výškopisu území ČR a údaje o nivelačních bodech výškového bodového pole.

2.1 ZABAGED, DMR ZABAGED

Základní báze geografických dat (ZABAGED) je digitální vektorový geografický model území České republiky, který spravuje Zeměměřický úřad [14].

2.1.1 Stručně o ZABAGED

Počátkem 90. let 20. století vydala bývalá Komise vlády pro státní informační systém usnesení, které zadalo tehdejšímu Českému úřadu geodetickému a kartografickému (ČÚGK - dnes ČÚZK) zpracovat projekt ZABAGED jako součást informačního systému ČR. V roce 1995 započal proces tvorby ZABAGED vektorizací tiskových podkladů ZM 10. ZABAGED byla naplněna v roce 2004 v celém rozsahu území ČR včetně nadefinování objektů. První aktualizace a zpřesnění polohy objektů proběhlo v letech 2000 až 2005 pomocí fotogrammetrických metod a terénního šetření. Druhý cyklus aktualizace se realizoval v letech 2006 až 2009. Následně byl zahájen třetí cyklus. Perioda aktualizace se postupně zkracovala až na tříletou. Vytváření a následné využití leteckých měřických snímků a barevných ortofot probíhá každoročně pro jednu třetinu území [3], [14].

Na celém území ČR byla v roce 2009 zastavena kontrola a aktualizace 3D vrstevnic fotogrammetrickými metodami. Došlo k vytvoření nového digitálního modelu reliéfu pro celé území ČR. Model má strukturu pravidelné mříže 10 x 10 m trojrozměrně vedených (3D) bodů [14].

Prostorová data ZABAGED jsou vedena v souřadnicovém systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). Pořizování a údržba dat spadá do působnosti resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), [3].

V současné době ZABAGED obsahuje 123 typů geografických objektů, které jsou rozděleny do polohopisné a výškopisné složky. Prostorové (dvourozměrné) a popisné informace o komunikacích, sídlech, vodstvu, rozvodných sítí a produktovodech, vegetaci a povrchu, terénním reliéfu, územních jednotkách a chráněných území obsahuje polohopisná část ZABAGED. Do této části spadají i údaje o vybraných geodetických bodech [14].

Výškopisnou složku ZABAGED tvoří body mřížky, břehovky, dolní hrany, horní hrany, koruny železničních těles, kótované body, mosty, potoky, profily a tři typy objektů vrstevnic. V závislosti na charakteru terénu mají vrstevnice základní interval 5, 2 nebo 1 m. Obsah datové sady ZABAGED - výškopis - 3D vrstevnice je doplněn výškopisnými prvky (klasifikovanými hranami a body). Při zpřesňování vrstevnicového výškopisu byly tyto prvky vyhodnoceny stereofotogrammetrickou metodou. Všechny objekty jsou reprezentovány trojrozměrnou vektorovou prostorovou složkou. Výškopis je průběžně aktualizován tzv. zpřesněným modelem [14].

V geografických informačních systémech je ZABAGED využívána jako základní vrstva, především v informačních systémech veřejné správy. Dále je využívána jako hlavní datový zdroj pro tvorbu základních map ČR v měřítkách 1: 10 000 až 1: 100 000. Výstup z databáze Geonames je vhodným doplněním dat ZABAGED [14].

2.1.2 DMR ZABAGED, DMR v resortu Ministerstva obrany ČR a jejich technické parametry

Digitální model reliéfu (DMR), digitální model terénu (DMT), anglicky digital terrain model (DTM) je podle [13] „digitální reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“.

Digitální model reliéfu (DMR) je podle [6] „digitální zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu formou výšek diskrétních bodů v pravidelné nebo nepravidelné síti nebo pomocí vrstevnic a terénních hran“. Jde tedy o model přirozeně nebo lidskou činností vzniklého zemského povrchu bez staveb a vegetace.

Digitální model povrchu (DMP) je podle [6] „digitální zobrazení zemského povrchu včetně vertikálních geografických objektů (budov a jiných pozemních staveb, mostů, hrází, lesů apod.) formou výšek diskrétních bodů v pravidelné nebo nepravidelné síti pomocí vrstevnic a hran objektů“.

Datová sada ZABAGED - výškopis má výškopisná data reprezentována objekty vrstevnic s příslušnou výškou. Tento model obsahuje digitalizované vrstevnice, které byly získány digitalizací výškopisu ZM10. Z velké části vrstevnice pocházejí z původního topografického mapování území ČR v měřítku 1: 10 000, jehož realizace proběhla převážně metodou letecké stereofotogrammetrie v letech 1957 až 1965. Po roce 1968 byly vrstevnice ze souřadnicového referenčního systému S-42 blokově transformovány a převedeny do souřadnicového

referenčního systému JTSC. Přestože byl odvozený výškopis aktualizován, došlo k přenášení řady chyb, postupnému zastarávání dat a ke snížení homogenity tohoto výškového modelu území ČR. Model ZABAGED - výškopis pokrývá celé území ČR. Je spravován Zeměměřickým úřadem (ZÚ) v resortu ČÚZK [6].

Datová sada ZABAGED - zdokonalený výškopis vzniká od roku 2005. Pokrývá celé území ČR a je také spravována ZÚ v resortu ČÚZK. Jedná se o aktualizovaný model ZABAGED - výškopis, kde jsou zjišťovány změny pomocí analytické a digitální fotogrammetrie. Probíhá i doměřování výrazných terénních hran náspů, výkopů, břehů řek, nádrží, těžebních lokalit atd. I přesto se nepodařilo odstranit nehomogenitu výškopisu ZABAGED ani zásadně zpřesnit jeho výškové údaje tak, aby vyhovovaly současným požadavkům uživatelů [6].

Datová sada ZABAGED - výškopis ve formě mříže 10 x 10 m je spravována ZÚ v resortu ČÚZK. Jde o alternativní zobrazení ZABAGED - zdokonalený výškopis. Tento model má formu georeferencovaných souborů GRID s výškovými kótami ve čtvercové síti bodů. Model vzniká v rámci periodické tvorby ortofotografického zobrazení celého území ČR v tříletém intervalu především pro potřeby ortogonalizace leteckých měřických snímků [6].

Digitální model reliéfu dvouapůlté generace pokrývá celé území České republiky a je spravován Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř) v resortu Ministerstva obrany České republiky. Je reprezentován pravidelnou sítí výškových bodů 100 x 100 m. Původně měl tento model sloužit pro potřeby vojsk československé armády. Model byl vytvářen od roku 1979. Vycházel z již zastaralých topografických map měřítka 1: 10 000. Následně byl zdokonalován. Tento model již dnes nestačí požadavkům armády, orgánů státní správy ani územní samosprávy, protože má nižší přesnost v interpolaci výšek [6].

Digitální model reliéfu třetí generace byl vytvářen v letech 2003 až 2009 v resortu Ministerstva obrany ČR ve VGHMÚř. Je spravován VGHMÚř a pokrývá celé území ČR. Cílem bylo vytvořit přesnější digitální výškopisný model především pro potřeby ortogonalizace leteckých měřických snímků v měřítku 1: 23 000. DMR vznikl stereofotogrammetrickým měřením a byl prvotně uložen ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě TIN (Triangular Irregual Network), [6].

Tabulka 2.1. Závěry hodnocení výškopisných modelů ČR - převzato z [6]

Název databáze	Obsah	Střední chyba výšky
ZABAGED - výškopis	Vektorizované vrstevnice ZM 10 uložené jako 3D objekty ve formátu DGN.	0,7 - 1,5 m v odkrytém terénu 1 - 2 m v intravilánech 2 - 5 m v zalesněných územích
ZABAGED - zdokonalený výškopis	Automatizované a zpřesněné vrstevnice ZM 10, doplněné o terénní hrany náspů, výkopů, břehů, nádrží apod.	0,7 - 1,5 m v odkrytém terénu, 1 - 2 m v intravilánech 2 - 5 m v zalesněných územích
ZABAGED - mříž 10 x 10 m	Odvozený model z databáze ZABAGED - zdokonalený výškopis do formy mříže (GRID) 10 x 10 m	1,5 - 2,5 m v odkrytém terénu 2 - 3 m v intravilánech 3 - 7 m v zalesněných územích
DMR 2,5. generace Ministerstva obrany ČR	Výškový model ve formě mříže (GRID) 100 x 100 m	3 - 5 m v odkrytém terénu 5 - 8 m v intravilánech 10 - 15 m v zalesněných územích
DMR 3. generace Ministerstva obrany ČR	Výškový model ve formě nepravidelné sítě TIN získaný stereofotogrammetrickou metodou	1 - 2 m v odkrytém terénu 1 - 2 m v intravilánech 3 - 7 m v zalesněných územích

Všechny současné DMR mají nedostatečnou přesnost a vysokou míru generalizace. Interpolace objektů mikroreliefu tak nedosahuje požadované přesnosti. Závěry hodnocení výškopisných modelů ČR jsou uvedeny v tab. 2.1. Tato situace vede k omezenému používání automatizovaných úloh modelování obrany státu, k nedostatečnému modelování živelných katastrof a průmyslových havárií, k omezení moderních řídicích a bezpečnostních systémů v letectví. Dále jsou DMR nedostačující pro tvorbu územně analytických podkladů, pro aplikaci moderních metod geologického průzkumu povrchového a důlního hospodářství, pro řešení a zpracování studií na úseku ochrany životního prostředí, pro modelování v oblasti ochrany povrchových a podzemních vod. Také je omezena aplikace automatizovaných metod analýz terénu v oblasti řízení a ochrany zemědělské půdy, v oblasti správy lesního půdního fondu a lesů i v oblasti rozvoje rádiové komunikační infrastruktury na území ČR [6].

Tvorba věrných ortofotomap, státních mapových děl a geografických databází velkého měřítko je omezena přesností a hustotou DMR a neexistencí kvalitního DMP. Dále se

v příhraničních oblastech omezuje úroveň mezinárodní spolupráce a tvorba společných mezinárodních projektů ochrany a rozvoje příhraničních oblastí [6].

Výše uvedený výčet poukazuje stále na neexistující výškopisný produkt celostátního rozsahu, který by byl uspokojivý pro všechny oblasti rozvoje státu. Došlo se k Projektu nového mapování výškopisu ČR, kde je aplikovaná metoda leteckého laserového skenování (LLS).

2.2 Letecké laserové skenování

Kvalitní výškopisná data z celého území ČR jsou vyžadována především orgány, organizacemi a útvary ministerstev ČR. Proto byl v roce 2009 zahájen projekt vyhotovení nového, výrazně přesnějšího výškopisu na celém území České republiky ve formě digitálního modelu reliéfu (DMR 4G, DMR 5G) a digitálního modelu povrchu včetně lesních porostů a staveb (DMP 1G). Před formulací návrhu a rozběhnutím projektu byla diskutována různá řešení. Mezi možnostmi se objevila např. digitální stereofotogrammetrie nebo letecké laserové skenování (LLS). Byla zvolena metoda leteckého laserového skenování pro svou ekonomickou a produkční efektivnost, vysokou hustotu výškových bodů i výškovou přesnost odpovídající současným požadavkům uživatelů geografických informací v České republice [6], [7].

Nové výškopisné modely umožní např. výpočty objemů srážek a odtoků z povodí i přesné vymezení záplavových území, rozvoj a uplatnění simulačních technologií a trenažérové techniky při výcviku štábu a vojsk Armády ČR. Také poskytnou jeden z nejdůležitějších územně - analytických podkladů plánování a projektování výstavby v působnosti např. Ministerstva pro místní rozvoj ČR nebo Ministerstva resortu dopravy ČR [6].

Soubory výškových bodů o hustotě 1 bod/m² se střední chybou měření délky prostorového rajonu do 0,10 m budou výsledným produktem vlastního skenování. Tyto požadavky splňuje realizace LLS ze střední výšky od 1200 do 1500 m nad terénem s překrytem sousedních skenovacích pásů 40 - 50 % [6].

Digitálního modelu reliéfu území ČR 4. generace (DMR 4G) má formu mříže 5 x 5 m. Výsledek předběžného automatizovaného zpracování počítá s úplnou střední chybou výšky 0,30 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Model je vytvářen na území ČR ve třech pásmech. Termín dokončení je plánovaný na konec roku 2012 [6].

Digitálního modelu reliéfu území ČR 5. generace (DMR 5G) má formu nepravidelné trojúhelníkové sítě bodů (TIN). Finální poloautomatické zpracování dat počítá s úplnou

střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu. Model bude vytvářen po ukončení snímkování celého ČR (r. 2012). Termín dokončení je plánován na konec roku 2015 [6].

Posledním výstupem je digitální model povrchu území ČR 1. generace (DPM 1G) ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě bodů (TIN). TIN by měla mít úplnou střední chybu výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty a 0,7 m pro objekty přesně neohraničené (např. lesy a místa s rostlinným půdním pokryvem). Termín zahájení je také naplánován po ukončení skenování celého území ČR (r. 2012) a termín dokončení na rok 2015 [6].

Všechny tři výše uvedené produkty budou zpracovány v souřadnicových referenčních systémech WGS 84 a JTSK a v Baltském výškovém systému po vyrovnání. Dohoda o spolupráci při tvorbě digitálních databází výškopisu území České republiky zajišťuje mezi Ministerstvem zemědělství ČR, Ministerstvem obrany ČR a ČÚZK plnění projektu. ČÚZK organizuje spolupráci, zajišťuje projektovou přípravu LLS a zpracování laserových dat v rozsahu 3/4 území ČR. Ministerstvo zemědělství ČR se podílí na financování pronájmu leteckého laserového skeneru. Ministerstvo obrany ČR se podílí na přípravě technologií pro zpracování dat LLS, zajišťuje realizaci LLS letadly typu L 410 FG a svými odbornými kapacitami [6].

2.2.1 Historie leteckého laserového skenování

Pokud jde o získávání aktuálních geoprostorových dat pokrývajících celé území ČR, stal se důležitým historickým mezníkem rok 2010, kdy bylo zahájeno LLS. Digitální letecké měřické snímkování v barevném (RGB) a blízkém infračerveném (NIR) pásmu spektra bylo realizováno na 36 % území České republiky. Cílem bylo vytvořit databanku v rámci dlouhodobého projektu periodického leteckého měřického snímkování s rozlišením 0,20 m. Také bylo vytvářeno digitální barevné ortografické zobrazení celého území ČR s rozlišením 0,25 m. Toto v zásadě ukončilo dosavadní letecké měřické snímkování na film, které bylo následně přesně skenováno do rastrové formy potřebné pro další počítačové zpracování. Ve stejné době bylo úspěšně realizováno LLS na přibližně 42 % území ČR v rámci Projektu tvorby nového výškopisu území České republiky [5]. LLS se tedy stává novou metodou požívanou na území ČR nahrazující předešlé dlouho používané postupy a metody k získávání výškopisných dat.

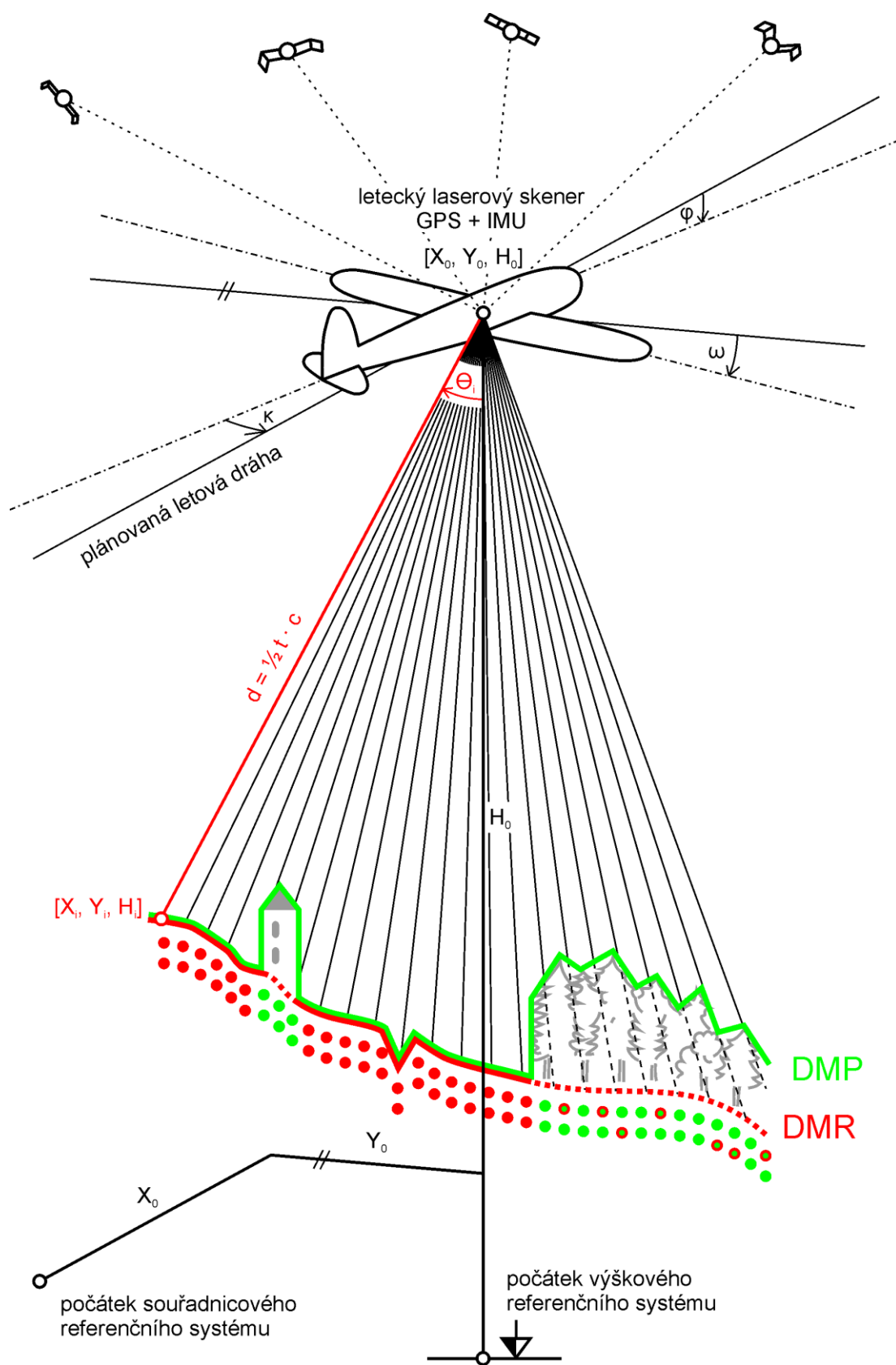
Dosavadní výškopis získaný „klasickými metodami“ a pokrývající celou Českou republiku je

součástí Základní mapy ČR 1: 10 000. Představuje grafický vrstevnicový model se základním intervalem vrstevnic 2 m. Tento model byl digitalizován do vektorové formy v rámci tvorby ZABAGED (DMR ZABAGED - výškopis) v letech 1995 - 2000. Velký počet hrubých chyb a nehomogenita vedly v roce 2008 ke zpracování Projektu tvorby nového výškopisu celého území ČR, který je do současné doby stále tvořen LLS. Letové dráhy pro LMS byly rovnoběžné s osou Y souřadnicového referenčního systému JTSK, přičemž bloky i plány letových drah LLS jsou voleny v závislosti na souřadnicovém referenčním systému UTM/WGS 84. V závislosti na výškové členitosti georeliéfu mají bloky rozměry 10 x 10 km, 10 x 20 km a 10 x 30 km [5].

2.2.2 Princip a technické parametry leteckého laserového skenování

Základním předpokladem pro dosažení požadovaných parametrů výsledků měření je kvalita LLS. Především jí ovlivňují parametry leteckého skeneru, výška letu, rychlost letu, stabilita letu a meteorologické a klimatické podmínky. Provádění leteckého skenování v mimovegetační období je důležitým předpokladem, aby k zemskému povrchu pronikaly vegetací paprsky v maximální míře. Také záleží na přesnosti určení prostorových souřadnic skeneru, přesnosti určení úhlových prvků vnější orientace skeneru a na přesnosti určení délky prostorového rajonu (vektoru), [6], [7].

Princip LLS (viz. obr. 2.1) spočívá v umístění leteckého laserového skeneru na palubu speciálně vybaveného letadla, odkud skener vysílá laserové paprsky v podobě krátkých pulsů směrem k zemskému povrchu v rovině kolmé ke směru letu. Vyslaný paprsek je vychylován o úhel θ_i od svislice a jeho délka d_i je určována na základě měření času mezi vysílaným a odraženým laserovým paprskem od terénu nebo objektů na něm (např. staveb, vegetace). Pomocí aparatury GNSS na palubě letadla je definována prostorová poloha skeneru v okamžiku vysílání pulzu v souřadnicovém referenčním systému WGS 84. U skeneru je připevněna aparatura IMU (inerciální měřická jednotka), která určuje prostorové rotace vůči letové dráze ve stejný okamžik jako aparatura GNSS souřadnice. Odraz laserového paprsku může být jednoduchý nebo i vícenásobný, protože část jeho energie proniká a odráží se od vegetačního porostu, část je odražena od vegetačního pokryvu (např. lesa) a další část proniká až k povrchu půdy v souvislých lesních porostech [7].



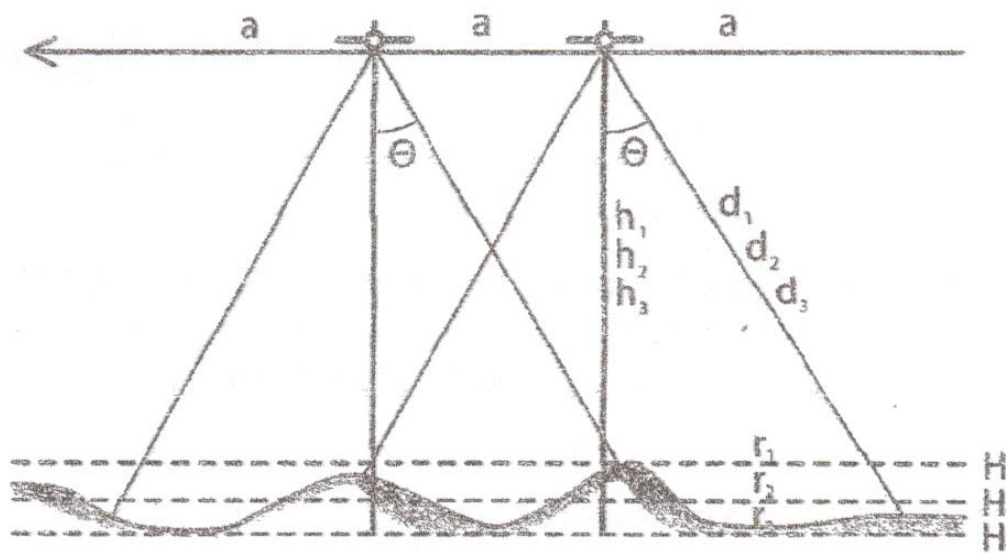
Obrázek 2.1. Princip LLS - převzato z [7]

V závislosti na vertikální členitosti území je ČR skenována po blocích o rozměrech 10 x 30

km. Základní parametry letů jsou uvedeny v tab. 2.2 a na obr. 2.2 [6].

Tabulka 2.2. Parametry LLS - převzato z [6]

Parametr	Hodnoty		
Nadmořská výška letu (letová hladina) (H)	1800 m	2100 m	2400 m
Střední výška letu nad terénem (h)	1500 m	1500 m	1250 m
Min. nadmořská výška skenovaného území (H ₃)	100 m	400 m	700 m
Střední nadmořská výška skenovaného území (H ₂)	300 m	600 m	1150 m
Max. nadmořská výška skenovaného území (H ₁)	500 m	800 m	1600 m
Vzdálenost letových drah (a)	833 m	833 m	769 m
Překryt skenování (q)	45 - 59 %	45 - 59 %	30 - 64 %
Max. vychýlení paprsku (θ_{\max})	30°	30°	30°
Min. délka paprsku v nadiru (h ₁)	1300 m	1300 m	800 m
Max. délka paprsku v nadiru (h ₃)	1700 m	1700 m	1700 m
Minimální radiální vzdálenost (r ₁)	750,5 m	750,5 m	462,0 m
Max. radiální vzdálenost (r ₃)	981,5 m	981,5 m	981,5 m
Max. délka paprsku na okraji skenování (d ₃)	1963,0 m	1963,0 m	1963,0 m



Obrázek 2.2. Parametry LLS - převzato z [6]

Na celém území ČR je zaměřeno přibližně 800 komparačních základů pro zvýšení důvěryhodnosti a hlavně přesnosti DMR 5G. Základnu tvoří zpravidla horizontální bodové

mikropole o rozměrech 100 x 100 m. Dále obsahuje zaměřenou síť výškových bodů v mříži obvykle 10 x 10 m a zaměřené významné vodorovné hrany vybraných objektů, např. budov, bazénů. Technologie diferenciální GPS (DGPS) a elektronické tachymetry jsou využívány pro zaměření těchto bodů. Každý výše uvedený blok obsahuje 2 komparační základny, na nichž je převážně metodou GPS-RTK zaměřeno 30 kontrolních bodů. Tyto body mají střední souřadnicovou a výškovou chybu do 0,06 m [5], [6].

K záznamu dat LLS byl použit pronajatý systém Litemapper, který se skládá z leteckého laserového skeneru RIEGL LMS Q-680, palubní aparatury GPS Nova Tel, záznamového zařízení a inerciální měřické jednotky (IMU) firmy IGI. Jejich technické parametry jsou uvedeny v tab. 4 v literatuře [5].

Pokud se podíváme do pokynů pro vertikální přesnost vykazovaných dat z laserového skenování Americké společnosti pro fotogrammetrii a dálkový výzkum (ASPRS Guidelines), dělí zde nejběžnější krajinný pokryv následovně:

- volný terén (písek, kámen, zoraná pole, trávníky, golfové hřiště);
- vysoká tráva a plodiny;
- křoviny a nízké stromy;
- zalesněné plochy plně pokryté stromy;
- městské oblasti s hustou umělou strukturou.

V závislosti na tom upozorňuje na důležitost určení vertikální přesnosti očekávané pro všechny konečné produkty, které jsou dodávány. Zmiňuje se zde obecně přijímaná myšlenka, že testování vertikální přesnosti ve velmi nepravidelném a prudce svažitém terénu je nevhodné vzhledem k vysoké pravděpodobnosti, že se chyba při testování významnou měrou podílí na konečné statistické chybě a tak ovlivňuje výsledky. Tedy, přijatelný horizontální posun v datech se může projevit v nepřijatelné vertikální chybě měření. Řešením je rozmístění kontrolních bodů v přehledném a rozumně nízkém sklonu terénu [11].

2.3 Výškové systémy České republiky

Poloha bodu či místa se může uvádět v zeměpisných souřadnicích (φ , λ) nebo v rovinných souřadnicích (X, Y). Zeměpisné souřadnice jsou vztaženy k náhradnímu zemskému tělesu a z nich jsou odvozeny rovinné souřadnice udávající polohu bodu na náhradních

geometrických plochách rozvinutelných do roviny. Povrch Země je však zvrásněný, proto k jednoznačnému určení polohy bodu na Zemi je potřeba třetí souřadnice tzv. nadmořské výšky [4], [8].

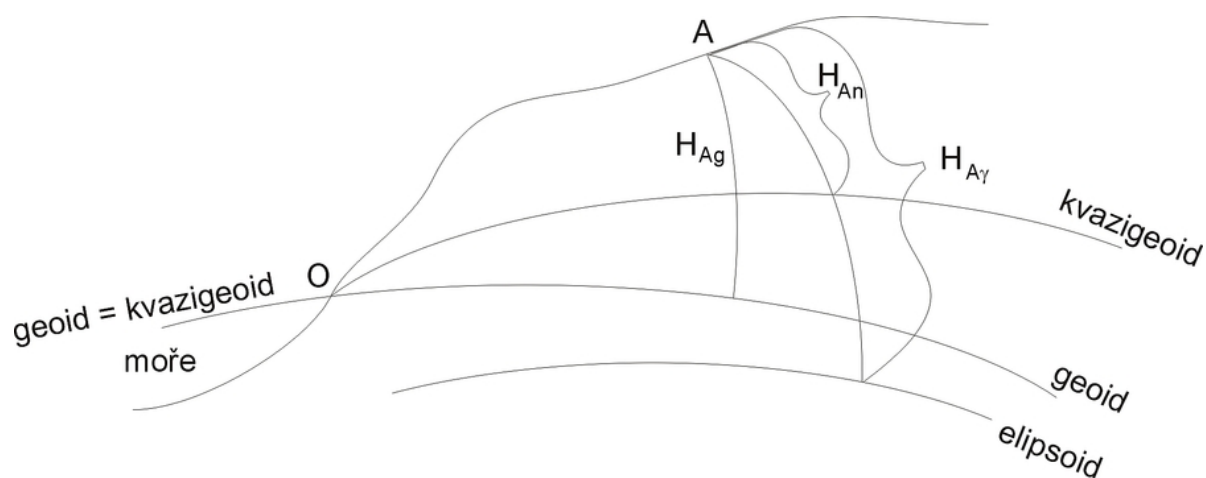
Je dobré si uvědomit, že rovinné souřadnice a nadmořská výška netvoří jeden pravouhlý rovnoběžkový prostorový souřadnicový systém. Jde o dva zcela nezávislé a rozdílné souřadnicové systémy. Nadmořská výška podle [9] se dá definovat jako „vzdálenost bodu od střední hladiny moře měřená podél svislice“ [4], [9].

Od roku 1957 do současné doby je jediným platným výškovým systémem Balt po vyrovnání (Bpv). Tento systém používá Normální (Moloděnského) výšky, tzn. respektuje skutečné tíhové pole Země. Za nulovou hladinovou plochu je zvolen kvazigeoid [4], [8].

Kvazigeoid je referenční plocha charakterizovaná jako množina bodů vzdálených od zemského povrchu o tzv. normální výšku (zjišťuje se podle siločar tíhového pole Země). Rozdíl mezi geoidem a kvazigeoidem dosahuje pouze několika centimetrů. V oblasti oceánů jsou zmíněné plochy totožné, ale v horských oblastech se rozdíl může pohybovat i kolem dvou metrů [4], [8].

Výšky v systému Bpv jsou vztaženy ke střední hladině Baltského moře s nulovým výškovým bodem v Kronštadu. Výškové bodové pole je tvořeno Českou státní nivelační sítí (ČSNS), která vznikla z bývalé Československé jednotné nivelační sítě (ČSJNS), [4], [8].

Normální výška bodu A (H_{An}) je délka měřená po tížnici mezi kvazigeoidem a bodem na povrchu Země, viz. obr. 2.3. Dále je níže zakreslena normální ortometrická výška H_{Ay} a pravá ortometrická (geodetická) výška H_{Ag} [8].



Obrázek 2.3. Výšky bodu nad referenčními plochami - převzato z [8]

2.3.1 Historie výškových systémů na území České republiky

Naše země byly v 19. století stále součástí Rakouska-Uherska. Historické počátky budování výškového bodového pole sahají právě do této doby, odkud pochází soubor měření Vojenského zeměpisného ústavu ve Vídni, orientace na střední hladinu Jaderského moře (Terst) i základní nivelační bod Lišov [4], [8].

Na základě rozsáhlého měření v rámci Rakouska-Uherska v letech 1872-1896 došlo poprvé k přesnému určení nadmořské výšky na území našeho státu. Z dlouhodobého pozorování byla v přístavu Terst určena střední (nulová) hladina Jaderského moře. Od tohoto nulového bodu pak postupovalo měření (geometrická nivelace) do vnitrozemí. Probíhalo po trasách mírného spádu, tedy většinou po železničních tratích a silnicích. Při měření se začalo s budováním tzv. základních nivelačních bodů (ZNB). Na území bývalého Československa byly zřízeny dva body (ZNB), jeden v jižních Čechách u města Lišov a druhý na Slovensku u Strečna. Základní nivelační body svojí hustotou nestačily, proto se jejich síť začala zhušťovat. Na území bývalého Československa tak vznikla po roce 1945 souvislá nivelační síť I. až III. řádu [4], [8].

Brzy po 2. světové válce byla snaha ve společenství tzv. socialistických zemí z vojenských a politických důvodů sjednotit geodetické systémy. Změny nastaly v naší výškové nivelační síti, zatímco polohový souřadnicový systém JTSK používaný pro civilní mapy velkých měřítek nebyl podstatně ovlivněn. Nadmořské výšky určené v jaderském systému bylo nutno převést na nový systém [4], [8].

V současné době, jak zmiňuji výše, je zaveden a používán výškový systém Balt po vyrovnání. Rozdíl mezi jaderským a baltským systémem činí po vyrovnání přibližně -0,40 m. Rozdíl -0,40 m však není konstantní. Mění se při tíhových anomáliích (vysoké hory), větších převýšeních a je ovlivňován také různým způsobem vyrovnání. Proto je nutno vždy uvádět výškový systém u každého bodu [4].

Přehled výškových systémů používaných na našem území je znázorněn v tab. 2.3.

Tabulka 2.3. Přehled výškových systémů použitých na území ČR - převzato z [8]

Výškový systém	Časové období	Výškové bodové pole (sít')	Střední hladina moře	Druh použitých výšek	Způsob vyrovnání sítě	Výška výchozích o bodu pro ČR - Lišov [m]
Jaderský - Lišov	1875 - 1942	Doplňná nivelační sít' Rakouska-Uherska z let 1872 - 1896	Jaderského s nulovým bodem v Terstu	Normální ortometrické	Území Čech a Moravy	565,1483
Normal - Null (NN)	1945 - 1948	Nivelace I. řádu zaměřená v letech 1939 - 1941	Severního s nulovým bodem v Amsterdamu	Normální ortometrické	V rámci V. bloku německé sítě	564,8997
Jaderský - ČSJNS (ČSJNS/J)	1948 - 1999	ČSJNS	Jaderského s nulovým bodem v Terstu	Normální ortometrické	Roku 1948 byla vyrovnána českomoravská část sítě, roku 1952 celá ČSSR	565,1483
Baltský - B68	1952 - 1957 (dočasné)	ČSJNS	Baltského s nulovým bodem v Kronštadu	Normální ortometrické	Výšky byly vypočteny odečtením hodnoty 0,68 m od výšek jaderských	564,4683
Baltský - B46	1955 - 1957 (dočasné)	ČSJNS	Baltského s nulovým bodem v Kronštadu	Normální ortometrické	Výšky byly vypočteny odečtením hodnoty 0,46 m od výšek jaderských	564,6883
Baltský - po vyrovnání (Bpv)	1957 - současnost	ČSJNS	Baltského s nulovým bodem v Kronštadu	Normální (Moloděnské-ho)	Mezinárodní v rámci socialistických států roku 1957	564,7597

2.3.2 Výškové bodové pole a parametry přesnosti

V současnosti se výškové bodové pole ČR člení na základní výškové bodové pole (ZVBP)

a podrobné výškové bodové pole (PVBP). ZVBP obsahuje základní nivelační body (ZNB) a body české nivelační sítě I. až III. řádu (ČSNS). PVBP obsahuje nivelační sítě IV. řádu, plošné nivelační sítě (PNS) a stabilizované body technických nivelací [4].

Po celém území ČR je rozmístěno 11 ZNB, z nichž mezi nejznámější patří Lišov [4].

Nivelační pořady seskupené do nivelačních polygonů tvoří ČSNS I. řádu. Nivelační polygony mají délku 300 až 400 km, vytvářejí uzavřené obrazce a ohraničují tzv. nivelační oblasti I. řádu. Oblasti se označují od západu k východu a po vrstvách od severu k jihu velkými písmeny (A, B, C, ...). V pohraničí se označují Z_1 až Z_{17} od Ašského výběžku směrem na sever. Např. NO Jihlava - Jemenice je označení nivelačního pořadu, přičemž dvojice velkých písmen představuje styčné oblasti a názvy míst začátku a konce pořadu [4].

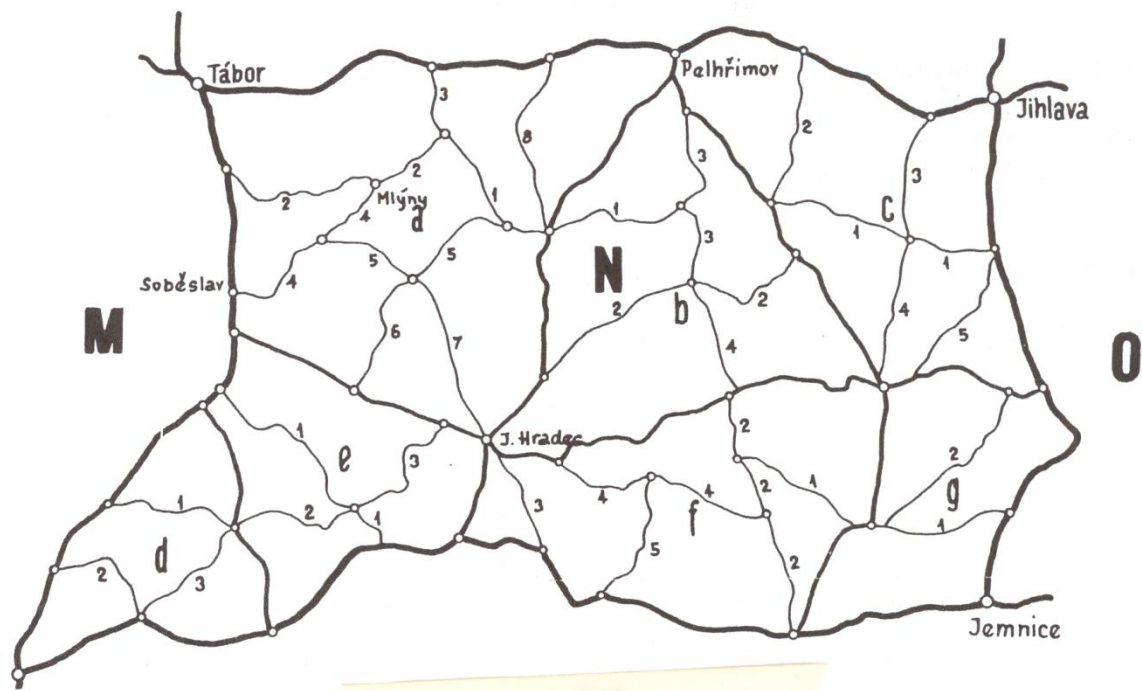
Vložením nivelačních pořadů II. řádu do polygonů I. řádu vzniká ČSNS II. řádu. Pořady II. řádu s částmi pořadů I. řádu společně tvoří uzavřené polygony o délce kolem 100 km a zároveň ohraničují oblasti II. řádu. Tyto oblasti se označují dvěma písmeny, např. Na, Nb, tedy velkým písmenem oblasti I. řádu a malým písmenem (a, b, c, ...). Malá písmena se přidělují opět od západu k východu a po vrstvách od severu k jihu. Např. Nab Pelhřimov - Jindřichův Hradec označuje nivelační pořad, kde velké písmeno patří oblasti I. řádu, dvě malá písmena styčným oblastem II. řádu a názvy míst počátku a konci pořadu [4].

Síť I. a II. řádu se dále zhušťuje pořady III. řádu a tvoří se tak ČSNS III. řádu. Nivelační pořady III. řádu se označují velkým písmenem oblasti I. řádu, malým písmenem II. řádu, pořadovým číslem a názvem míst počátku a konce pořadu, např. Na4 Mlýny Soběslav [4].

Nivelační pořady IV. řádu tvoří nivelační síť IV. řádu. Označují se velkým písmenem oblasti I. řádu, malým písmenem oblasti II. řádu, 0 s pořadovým číslem a názvy míst začátku a konce pořadu, např. Na 01 Sezimovo Ústí - Chýnov [4].

Podle potřeby se budují plošné nivelační sítě (PNS) zpravidla pro území obce. Pořady se označují pořadovým číslem a názvem obce, např. 34 (PNS Praha), [4].

Pro dostatečnou názornost je označování nivelačních pořadů zobrazeno na obr. 2.4.



Obrázek 2.4. Označování nivelačních pořadů - převzato z [4]

Označování nivelačních bodů nalezneme v [10]: „Nivelační body se označují v evidenčních jednotkách, kterými jsou nivelační pořady nebo plošná nivelační síť. Nivelační síť, pořady a body jsou zobrazeny v dokumentačních mapách a v přehledech“.

„Přesnost výšek nivelačních bodů je určena podle střední chyby m_L nivelačního převýšení mezi nivelačními body, která nepřekračuje hodnotu $m_L = m \cdot \sqrt{L}$ (v mm), kde „m“ je základní střední kilometrová chyba nivelačního převýšení a L vzdálenost nivelačních bodů v kilometrech. Mezní velikost základní střední kilometrové chyby nivelačního převýšení „m“ je stanovena hodnotou (v mm):

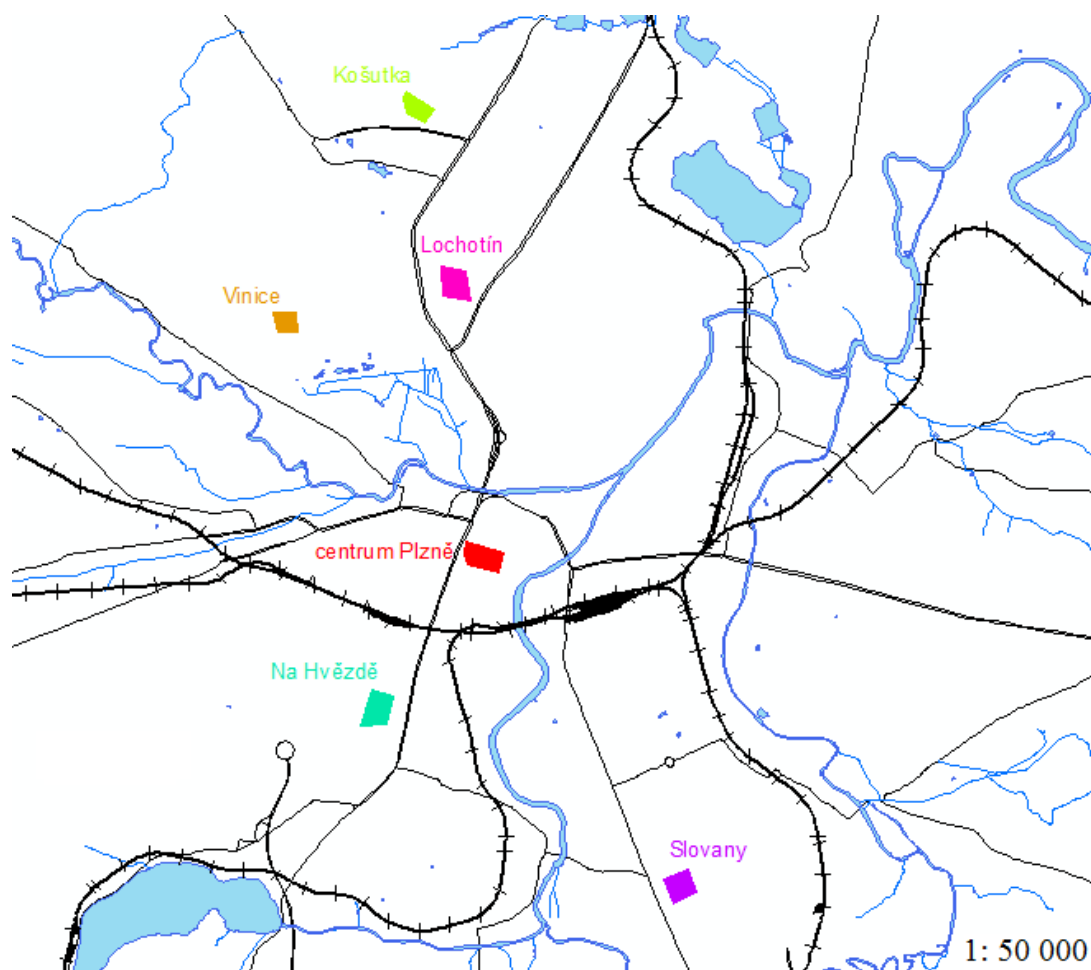
- $0,40 + 0,71 / \sqrt{n_R}$ pro I. řád;
- $0,45 + 0,80 / \sqrt{n_R}$ pro II. řád;
- $0,60 + 1,06 / \sqrt{n_R}$ pro III. řád;
- $1,00 + 1,77 / \sqrt{n_R}$ pro IV. řád a plošné nivelační síť, kde n_R je počet nivelačních oddílů v posuzovaném převýšení“ [10].

Podle [4] má např. síť I. řádu ČSNS přesnost charakterizovanou střední kilometrovou chybou $m_L = 0,88$ mm.

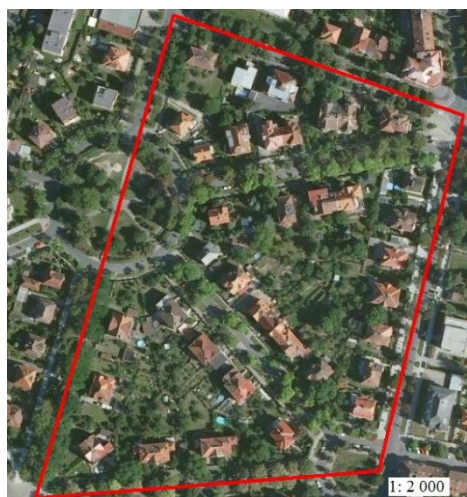
3. Příprava dat

Následující kapitola blíže popisuje používaná data v této práci. Jde o data ZABAGED, data LLS a nivelační body. Celý produkt vznikl v níže zobrazených lokalitách s využitím dat, která poskytl Zeměměřický úřad. Produkt vznikl v programu ArcGIS verze 9.3, v programu Kokeš verze 9.67.0.31092, v programu Atlas DMT verze 4.70.4 a v programu Microsoft Office Excel 2007. Licence pro chod prvních tří programů byla poskytnuta katedrou matematiky ZČU v Plzni.

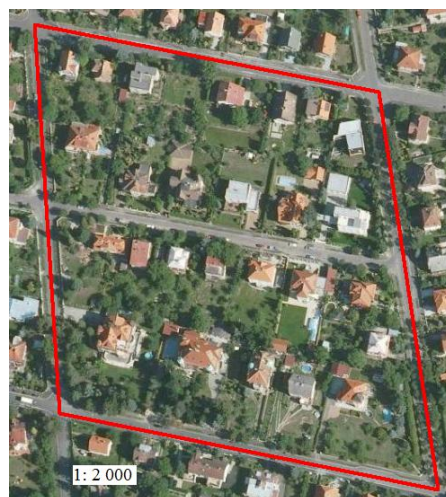
Pro hodnocení přesnosti jsou vybrány tři dvojice lokalit, přičemž každou dvojici charakterizuje odlišný typ zástavby: rodinné domy (viz. obr. 3.2 a obr. 3.3), bytové domy (viz. obr. 3.4 a obr. 3.5) nebo panelové domy (viz. obr. 3.6 a obr. 3.7). Mají jiný tvar, ale přibližně stejnou rozlohu. Obvod každé lokality je nakreslen v programu ArcGIS do jednoho shapefile typu polygon. Následně je připojena WMS služba přes server v ArcMapu a jsou vytvořeny náhledy. Prostorové rozmístění vybraných lokalit je na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Přehledka vybraných lokalit



Obrázek 3.2. Rodinné domy Na Hvězdě



Obrázek 3.3. Rodinné domy na Lochotíně



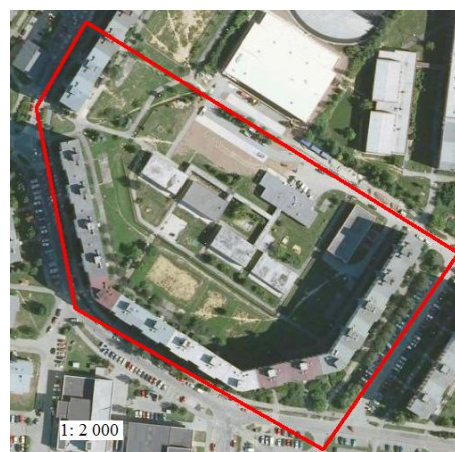
Obrázek 3.4. Bytové domy v centru Plzně



Obrázek 3.5. Bytové domy na Slovanech



Obrázek 3.6. Panelové domy na Vinicích



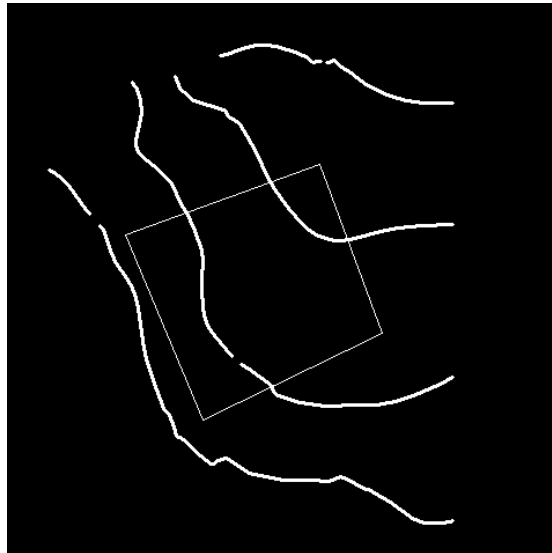
Obrázek 3.7. Panelové domy na Košutce

3.1 ZABAGED

Data ZABAGED se v současné době poskytují po mapových listech v kladu ZM 10 nebo jako ucelená bezešvá databáze z celého území České republiky. Vektorové soubory se

poskytují ve formátu *.dgn s atributy ve formátu *.mdb, dále ve formátu *.shp nebo *.gml.

ZABAGED - výškopis byl pro účely této práce poskytnut po mapových listech ZM 10 (12-33-11, 12-33-16, 12-33-21 a 12-33-22) v souborech ve formátu *.dgn. Pro vlastní tvorbu DMT je třeba nejprve data oříznout podle zvolených lokalit a pak převést do formátu *.dxf, který podporuje program Atlas DMT. Každý mapový list a obvod lokality je načten do programu Kokeš v hlavním menu Soubor → Import → Import DGN nebo Soubor → Import → Import SHP. Vše je uloženo s příponou *.vyk. Ořezávání mapových listů pobíhá ručně přes hlavní menu Help → Seznam povelů → Ořezávání výkresu na obdélník nebo polygon, přičemž je vždy otevřen obvod lokality a příslušný mapový list. Když lokalita zasahuje do dvou mapových listů, provede se ořez pro každý mapový list zvlášť a data se spojí až při exportu do formátu *.dxf.



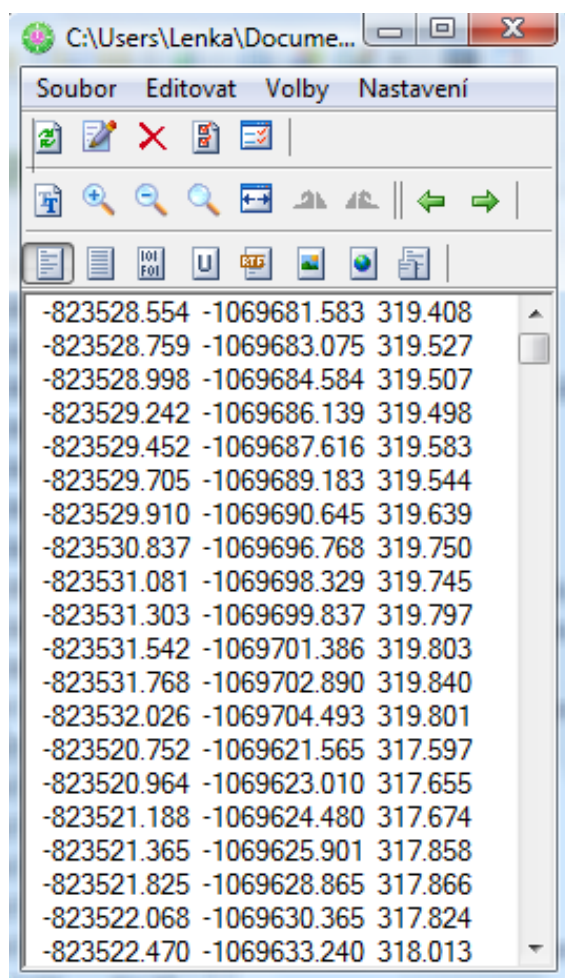
Obrázek 3.8. Ukázka oříznuté ZABAGED - výškopis na Slovanech

ZABAGED - zdokonalený výškopis byl pro účely této práce poskytnut ve vektorové podobě ve formátu *.shp. Z této bezešvé databáze používám jen tři vrstvy (vrstevnice hlavní, vrstevnice zesílená a vrstevnice doplňková), protože jiné objekty se ve mnou vybraných lokalitách nevyskytují. Postup zpracování se shoduje s výše uvedeným postupem, jemuž předcházely následující operace v programu ArcGIS. V ArcToolboxu je oříznut vždy příslušný shapefile pomocí funkce „Clip (analysis)“ větším okolím než je vybraná lokalita, aby do programu Kokeš nebylo importováno velké množství dat. K případnému zmenšení dat (zkrácení či umazání vrstevnic) dochází až v programu Kokeš a výstupy jsou podobné jako na obr. 3.8.

3.2 LLS

V práci jsou použita data leteckého laserového skenování zpracovaná automatickou klasifikací uložena v souborech po skenovacích pásech ve formátu *.xyz. Pracuje se pouze s body, které byly automatickou klasifikací zařazeny do kategorie „ground“, tzn. mělo by jít o body, které leží na zemském povrchu. Jak je vidět na obr. 3.9, body LLS nejsou číslovány. Každý bod má informaci pouze o své poloze (Y, X, H). Polohové souřadnice mají záporné hodnoty souřadnicového systému JTSK a výška je uvedena ve výškovém systému Balt po vyrovnání. Záporné znaménko je proto, aby program, který pracuje s kartézským souřadnicovým systémem, načítl správnou polohu dat. Tato data je třeba nejprve připravit ke dvojímu zpracování:

- pro generaci DMT v podobě TIN;
- pro porovnání s výškami nivelačních bodů.



The image shows a screenshot of a text editor window with the title bar 'C:\Users\Lenka\Docume...'. The menu bar includes 'Soubor', 'Editovat', 'Volby', and 'Nastavení'. The toolbar contains various icons for file operations and editing. The main text area displays a list of 20 data points, each consisting of three floating-point numbers separated by spaces, representing coordinates in XYZ format.

-823528.554	-1069681.583	319.408
-823528.759	-1069683.075	319.527
-823528.998	-1069684.584	319.507
-823529.242	-1069686.139	319.498
-823529.452	-1069687.616	319.583
-823529.705	-1069689.183	319.544
-823529.910	-1069690.645	319.639
-823530.837	-1069696.768	319.750
-823531.081	-1069698.329	319.745
-823531.303	-1069699.837	319.797
-823531.542	-1069701.386	319.803
-823531.768	-1069702.890	319.840
-823532.026	-1069704.493	319.801
-823520.752	-1069621.565	317.597
-823520.964	-1069623.010	317.655
-823521.188	-1069624.480	317.674
-823521.365	-1069625.901	317.858
-823521.825	-1069628.865	317.866
-823522.068	-1069630.365	317.824
-823522.470	-1069633.240	318.013

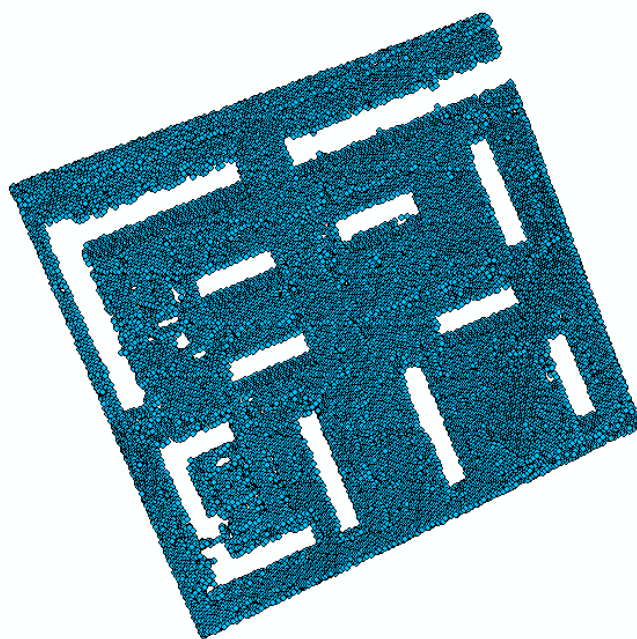
Obrázek 3.9. Ukázka dat LLS

Nejprve je třeba načíst data LLS do programu ArcGIS. Lze to provést v ArcToolboxu, kde se

otevře 3D Analyst Tools → Conversion → From File → ASCII 3D to Feature Class a načtou se data po skenovacích pásích s typem shapefile multipoint.

Pro tvorbu DMT v podobě TIN následuje ořez dat pomocí funkce „Clip (analysis)“, kterou lze spustit opět z ArcToolboxu vždy pro každou lokalitu zvlášť. Načtená data jsou ořezávána předem připravenými shapefiles typu polygony, které obsahující obvody lokalit (viz. výše). Když lokalita zasahuje do dvou skenovacích pásů LLS, provede se ořez lokality pro každý pás zvlášť a následně se spojí v ArcToolboxu funkcí „Merge (management)“. Grafické znázornění ořezaných dat LLS pro tvorbu DMT v lokalitě Slovany je na obr. 3.10.

Pro vlastní tvorbu modelu terénu ve formě TIN je třeba tato data vyexportovat do souboru *.txt pro následné zpracování v programu Atlas DMT. Lze to provést v ArcToolboxu pomocí 3D Analyst Tools → Conversion → From Feature Class → Feature Class Z to ASCII. Protože v programu Atlas DMT mají souřadnicové osy směr jako S-JTSK, je třeba minusové souřadnice (Y, X) opravit na kladné.

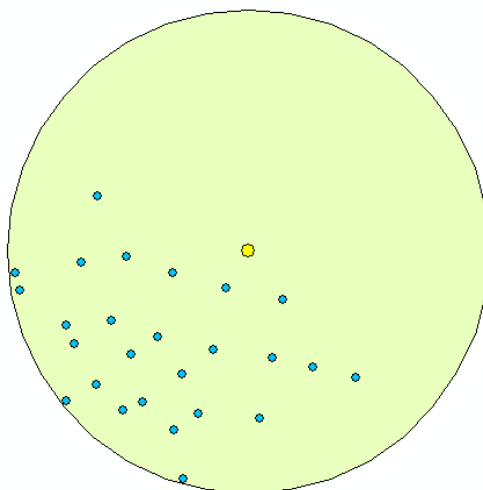


Obrázek 3.10. Grafické znázornění dat LLS pro tvorbu DMT na Slovanech

Pro výškové porovnání s nivelačními body je třeba všechna data v pásích oříznout znovu. Okolo každého nivelačního bodu je nejprve v ArcToolboxu vytvořen kruh o poloměru 5 m pomocí funkce „Buffer (analysis)“. Každý naskenovaný pás dat je v ArcToolboxu touto vrstvou oříznut pomocí funkce „Clip (analysis)“ a následně spojen do jednoho shapefile pomocí funkce „Merge (management)“. Na obr. 3.11 je ukázka rozložení bodů LLS (světle modré) okolo jednoho nivelačního bodu (žlutý). Zelená plocha znázorňuje pětimetrové okolí

nivelačního bodu.

Body LLS spadající do kruhového okolí nivelačních bodů o poloměru 5 m mají stále typ shapefile multipoint. Ten je však výhodný jen pro načítání a zobrazování velkého množství bodů. Proto se použije funkce „Multipart To Singlepart (management)“, která vrstvu „svázaných bodů“ převede na bodovou vrstvu. Avšak po tomto kroku nejsou stále viditelné souřadnice (X, Y, Z), proto se použije funkce „Add XY Coordinates (management)“.



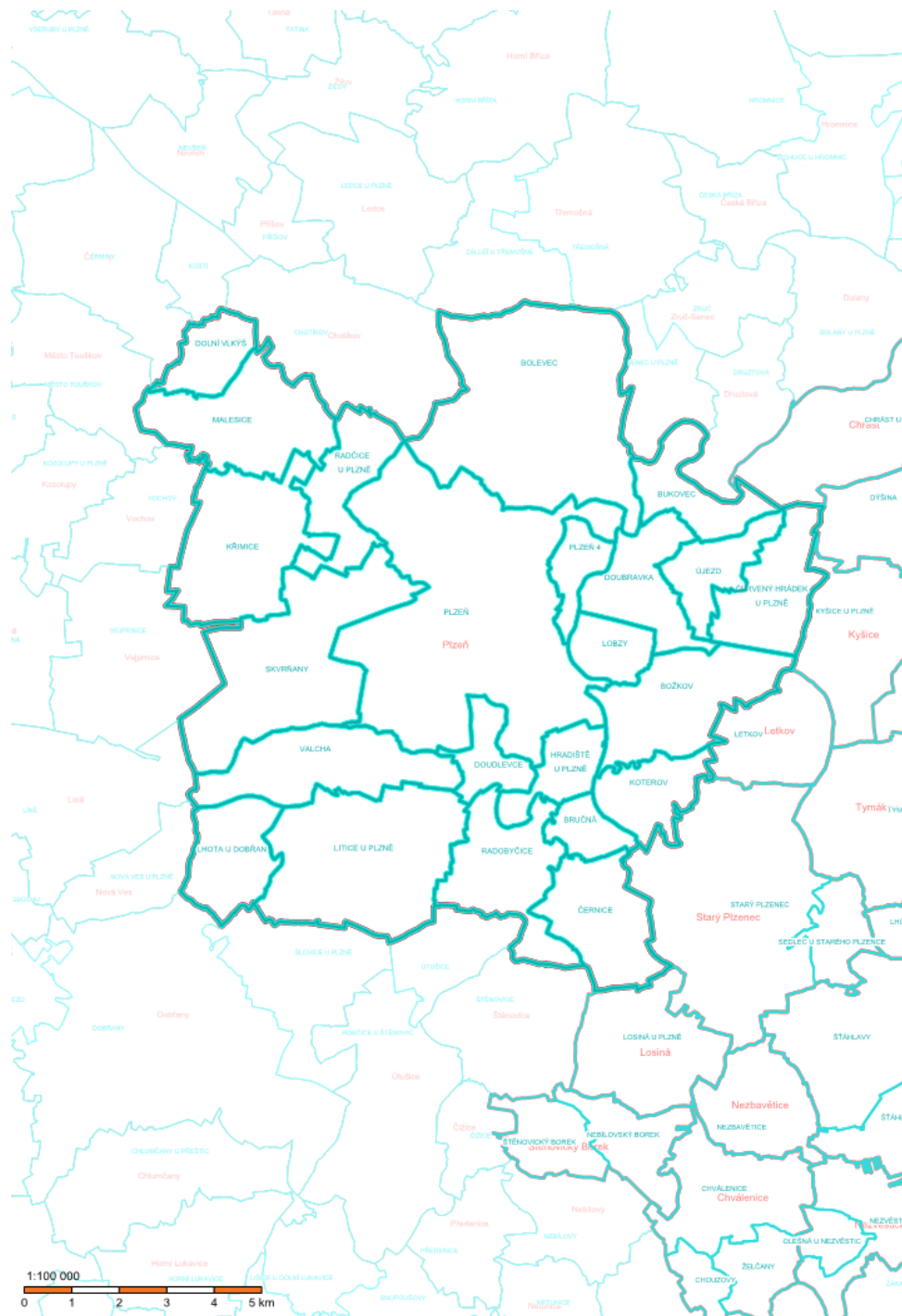
Obrázek 3.11. Grafické znázornění dat pro výškové porovnání nivelačních bodů a LLS

3.3 Nivelační body

Zeměměřický úřad vede databázové soubory bodů bodového pole a eviduje je v technických jednotkách (podle zákona 359/92 Sb.). Databáze bodových polí obsahuje trigonometrické a zhušťovací body, přidružené body, nivelační body ČSNS a ČPNS, tíhové body. Tato práce však používá pouze nivelační body následujících katastrálních území (k.ú.):

- Bolevec,
- Božkov,
- Bručná,
- Bukovec,
- Černice,
- Červený Hrádek u Plzně,

-
- Dolní Vlkyš,
 - Doubravka,
 - Hradiště u Plzně,
 - Koterov,
 - Křimice,
 - Lhota u Dobřan,
 - Litice u Plzně,
 - Lobzy,
 - Malesice,
 - Plzeň,
 - Plzeň 4,
 - Radčice u Plzně,
 - Radobyčice,
 - Svrňany,
 - Újezd,
 - Valcha.



Obrázek 3.12. Prostorové uspořádání katastrálních území města Plzně - tisk [18]

Jde o k.ú. náležející jak do okresu Plzeň-město, tak do města Plzeň (viz. obr. 3.12). Zde tmavě modrá silná čára představuje obvod města Plzně. Zvýrazněná katastrální území, mimo obvod města Plzně, spadají pouze do okresu Plzeň-město.

Protože Zeměměřický úřad uchovává informace o nivelačních bodech jen v podobě nivelačních údajů, je nutno polohové souřadnice a výšku opsat pro každý bod do předem připravené atributové tabulky v programu ArcGIS. Nejprve je pro každé katastrální území

vytvořena nová bodová vrstva v ArcCatalogu s příslušným názvem katastrálního území. V ArcMapu následuje její otevření a vytvoření sloupců s názvy „Cislo_bodu“, „Y1“, „X1“, „Z“, „Z_nad_ter“, „Popis“, „k_u“. Následně je tabulka vyplněna a zkopírována do Microsoft Office Excel 2007. Zde se dopočítají sloupce „Y2“, „X2“ a „Z_na_ter“. Po výpočtech je tabulka načtena zpět do ArcMapu přes hlavní menu Tools → Add XY data.

Sloupec „Cislo_bodu“ obsahuje názvy nivelačních bodů. Sloupce „Y1“ a „X1“ obsahují polohové souřadnice v S-JTSK a sloupce „Y2“ a „X2“ jejich záporné hodnoty. Sloupec „Z“ obsahuje výšky nivelačních bodů a sloupec „Z_nad_ter“ umístění nivelačních značek nad terénem. Protože porovnáváme výšky terénu, je potřeba vždy znát „výšky nivelačních bodů“ na terénu. Ty jsou ve sloupci s názvem „Z_na_ter“. Sloupce „Popis“ a „k_u“ mají informativní charakter. Ukázka dat pro k.ú. Bolevec je na obr. 3.13.

FID	Shape	Cislo bodu	Y1	X1	Y2	X2	Z	Z nad ter	Z na ter	Popis	k u
0	Point	AB-5.6	82215	106728	-822156	-1067285	354,458	0,3	354,158	Bolevec, dům čp.157, Zavadilka	Bolevec
1	Point	AB-6.3	82200	106707	-822009	-1067076	350,297	0,4	349,897	Bolevec, dům čp.265	Bolevec
2	Point	AB-7	82194	106694	-821941	-1066945	346,694	0,5	346,194	Bolevec, dům čp.562, Zavadilka	Bolevec
3	Point	AB-7.1	82194	106678	-821946	-1066788	344,046	0,6	343,446	Bolevec, dům čp.550, škola, Zavadilka	Bolevec
4	Point	AB-7.3	82174	106664	-821747	-1066641	333,997	0,3	333,697	Bolevec, dům čp.1937, autoservis Ford	Bolevec
5	Point	AB-8.2	82164	106628	-821646	-1066283	336,827	0,3	336,527	Bolevec, dům čp.7, obchodní centrum	Bolevec
6	Point	AB-9	82159	106635	-821591	-1066357	335,24	0,4	334,84	Bolevec, dům čp.335	Bolevec
7	Point	AB-9.1	82143	106609	-821439	-1066094	346,655	0,2	346,455	Bolevec, dům čp.200	Bolevec
8	Point	AB-9.3	82138	106586	-821384	-1065861	346,874	0,3	346,574	Bolevec, dům čp.63, obchod	Bolevec
9	Point	AB-11	82123	106524	-821234	-1065247	339,988	1	338,988	Bolevec, dům čp.94	Bolevec
10	Point	AB-11.1	82127	106524	-821276	-1065243	342,436	0,5	341,936	Bolevec, dům čp.57, lesovna	Bolevec
11	Point	AB-13.3	82059	106350	-820593	-1063507	366,436	0,3	366,136	Bolevec, balvan	Bolevec
12	Point	Af15-7	82287	106690	-822874	-1066905	376,652	0,5	376,152	Bolevec, dům č.E19, Lochotín	Bolevec
13	Point	Af15-9	82295	106681	-822950	-1066814	381,387	0,6	380,787	Bolevec, dům čp.539, Košutka	Bolevec
14	Point	Af15-10	82319	106674	-823196	-1066749	391,949	0,3	391,649	Bolevec, dům čp.141, Košutka	Bolevec
15	Point	Bq8-10	81959	106662	-819593	-1066629	333,3	0,6	332,7	Bolevec, dům čp.89, restaurace Bílá Hora	Bolevec
16	Point	PL-000-144	82094	106614	-820948	-1066142	334,067	0,5	333,567	Chatová osada Pode Dvory, dům čp. 733	Bolevec
17	Point	PL-000-145	82041	106642	-820415	-1066422	320,603	0,6	320,003	dům čp. 357	Bolevec
18	Point	PL-000-147	81966	106688	-819660	-1066882	334,42	1,1	333,32	dům čp. 552	Bolevec
19	Point	PL-000-148	81991	106729	-819917	-1067292	336,761	0,9	335,861	dům čp. 148	Bolevec
20	Point	PL-000-160	82021	106376	-820219	-1063768	359,888	0,8	359,088	dům čp. 95	Bolevec
21	Point	PL-000-169	82151	106659	-821516	-1066591	325,793	0,6	325,193	dům čp. 627	Bolevec

Obrázek 3.13. Ukázka dat pro k.ú. Bolevec

Po snadnější zpracování dat jsou všechny soubory nivelačních bodů ve formátu *.shp sloučeny do jednoho s názvem „nivelační_body.shp“. Takto zpracovaná data jsou připravena k využití pro porovnání a výpočty popsány v kapitole 4.

Co se týká dělení bodů podle k.ú., tak body z k.ú. Bručná na internetových stránkách [15] chyběly. Pracovník katastrálního pracoviště Plzeň-město Petr Šlajs mi poskytl informaci o tom, že nivelační body jsou v k.ú. Černice, protože k.ú. Bručná byla oddělena až později. Taktéž mi poskytl správné nivelační údaje bodu č. PL-000-815 z k.ú. Bolevec, protože na internetu se vyskytl přepis v řádech stovek metrů a bodu Af01-83 z k.ú. Křimice, který se na internetových stránkách [15] nezobrazoval. Bod Af01-83 má své správné nivelační údaje uloženy v samostatném souboru.

Nivelační body jsou vybrány v závislosti na stabilizaci a nivelačních údajích. Ke zpracování se tedy dostávají takové body, které leží přímo na terénu, nebo je možné výšku terénu od nich dopočítat. Vhodnými body jsou např. nivelační body osazené čepovými značkami v budovách. V použitých nivelačních bodech nejsou zahrnuty např. nivelační kameny, silniční propustky a značky, které jsou osazené shora v betonových základech stožárů a nemají v nivelačních údajích uvedeny výšku betonového základu.

Všechny nivelační údaje bodů jsou rozděleny podle názvů katastrálních území na přiloženém DVD. Body, které nejsou použity, mají v příloze za svým číslem velké písmeno „N“.

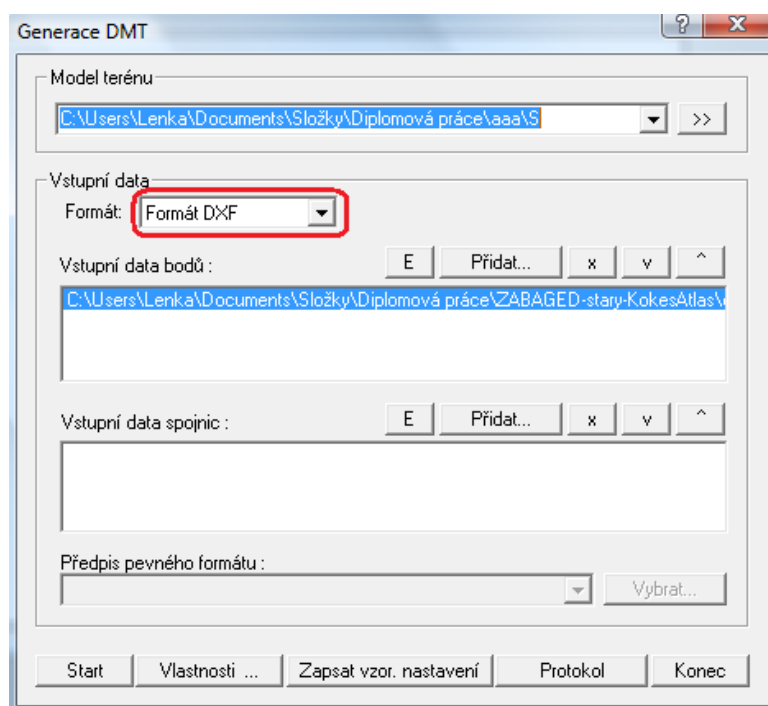
4. Vytvoření trojúhelníkových sítí a porovnání výškových rozdílů

Pro hodnocení výškové přesnosti je vybrána metoda DMT, která dokáže zachytit terénní hrany a umožňuje hodnotit celou vybranou plochu a ne jen vybrané body. Před vlastním porovnáním dvou různě přesných modelů terénu se musí vytvořit jejich nepravidelné trojúhelníkové sítě. Modely terénu ve formě TIN reprezentují zemský povrch jako skupinu trojúhelníků rozdílné velikosti a tvaru. Zde je každému vrcholu trojúhelníka přiřazena vždy jedna nadmořská výška. Pomocí TIN tedy nelze zobrazit svislé plochy a převisy terénu.

Tvorba digitálních modelů terénu ve formě TIN a jejich rozdílové modely jsou tvořeny pouze v programu Atlas DMT a následně vyexportovány do souborů ve formátu *.bmp. Zpracování nivelačních bodů a dat LLS je provedeno v programu ArcGIS.

4.1 Tvorba TIN nad ZABAGED

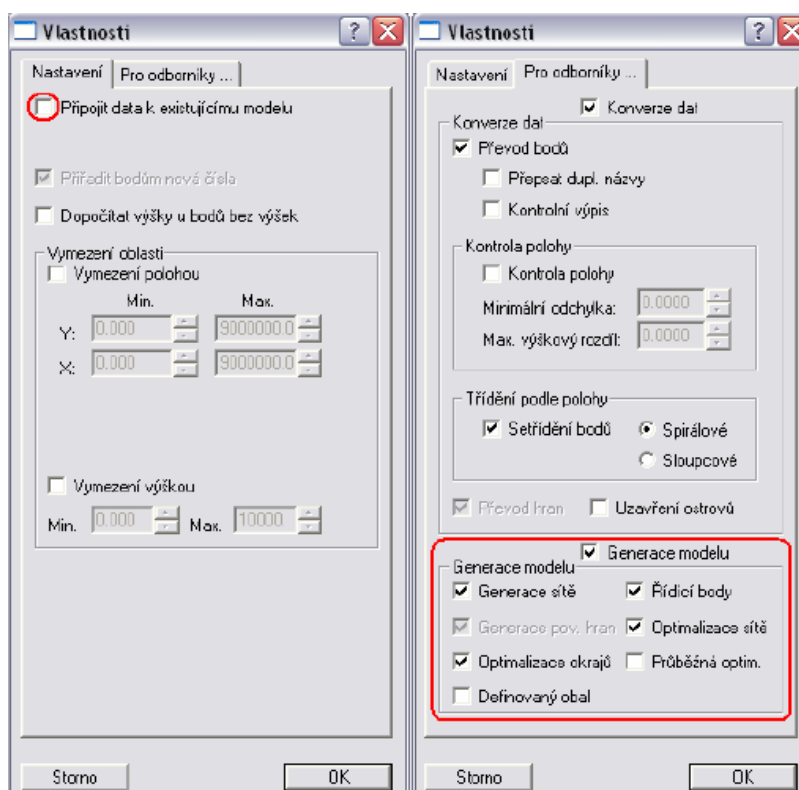
V programu Atlas DMT je použita funkce „Generace modelu terénu“, který lze spustit z hlavního menu DMT → Úlohy nad DMT → Operace s modelem → Generace modelu terénu. Zde se do okna „Model terénu“ nastaví adresářové umístění a jméno vytvářeného modelu terénu, do okna „Vstupní data bodů“ se zvolí vstupní soubor výškopisných dat ve formátu *.dxf (viz. obr. 4.1).



Obrázek 4.1. Nastavení tvorby DMT

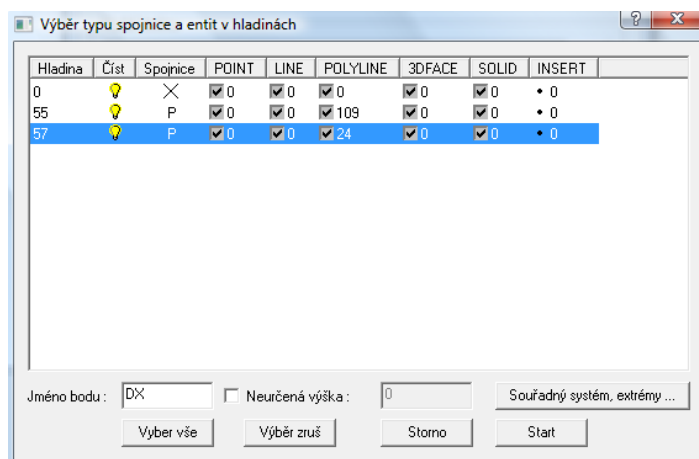
Položka „Vlastnosti“ (viz. obr. 4.2) umožňuje pokročilá nastavení pro řízení tvorby modelu.

Pro tuto diplomovou práci je důležité jen nastavení týkající se možnosti tvorby modelu. Průběh tvorby se zapisuje do protokolu (tj. do souboru s příponou *.prt). Zvýrazněné pole „Připojit data k existujícímu modelu“ nebylo potřeba, protože vstupními daty jsou ve vybraných lokalitách vždy pouze vrstevnice.



Obrázek 4.2. Vlastnosti tvorby modelu terénu

Posledním krokem je volba vrstev pro tvorbu a způsob, jakým mají být zpracovány (viz. obr. 4.3). Zde se pomocí žárovek určuje, které vrstvy budou zahrnuty do tvorby modelu. Zhasnutím žárovky se daná vrstva (hladina) z tvorby vyloučí. Spojnice definuje typ hrany, jestliže daná vrstva hrany obsahuje. Písmeno „P“ označuje povinné hrany, kde nedochází k lomu vrstevnic, např. vrstevnice, hřbetnice. Písmeno „L“ označuje lomové hrany, tedy kde dochází k lomu vrstevnic, např. hrany svahů, násypů. Písmeno „R“ označuje přímé hrany (hrany skutečně přímé v prostoru), např. budovy, betonové desky. Písmeno „O“ označuje ostrovní lomové hrany, které vymezují oblast, v níž se výškopis nevyhodnocuje. Tyto hrany jsou prostorově zakřiveny. Písmeno „U“ označuje ostrovní přímé hrany stejně jako lomové, ale tyto hrany jsou skutečně přímé v prostoru. Start spouští tvorbu modelu, po jejímž ukončení se její průběh zobrazí v protokolu. V diplomové práci je všem vrstvám přiřazeno písmeno „P“.

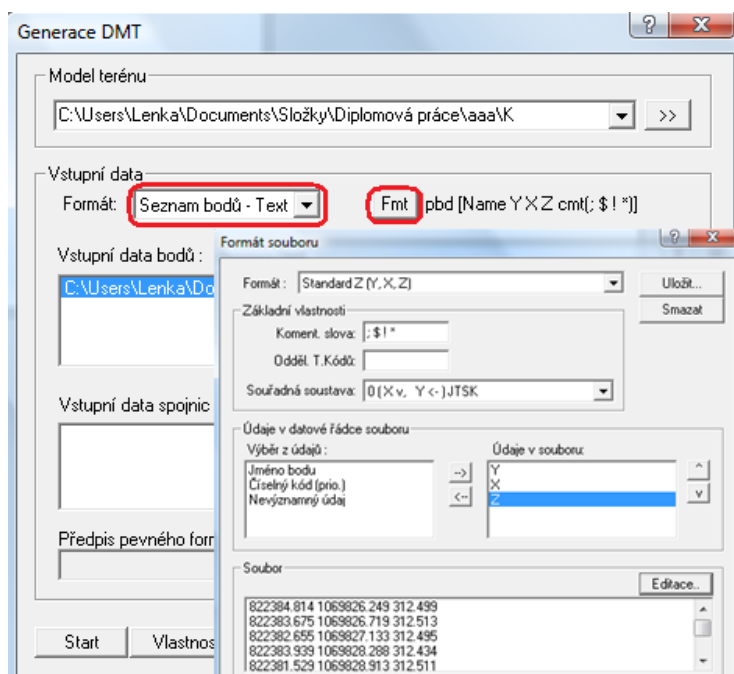


Obrázek 4.3. Výběr vrstev a typu spojnic

Všechna grafická znázornění DMT mají stejnou hypsometrii, ale rozdílné intervaly, které jsou nastaveny podle výškového rozložení lokality.

4.2 Tvorba TIN nad daty leteckého laserového skenování

Tvorba TIN nad daty LLS má stejný postup jako je uveden výše. Co doznává změny, je formát vstupních dat (*.txt) a jeho nastavení. Stisknutím tlačítka „Fmt“ se otevře nastavení formátu souboru (viz. obr. 4.4), kde je třeba nastavit formát, oddělovač textového kódu (mezera) a souřadnicovou soustavu.



Obrázek 4.4. Nastavení formátu souboru

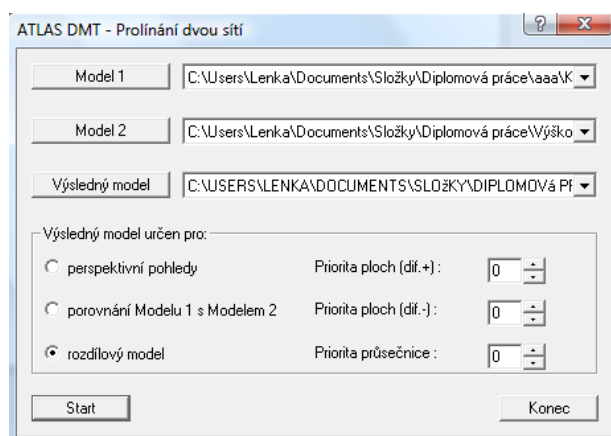
Mezi změny se dá zařadit i fakt, že není třeba vybírat vrstvy a typy spojnic před tvorbou DMT. Start spouští tvorbu modelu, po jejímž ukončení se její průběh zobrazí opět

v protokolu.

Všechna grafická znázornění DMT mají stejnou hypsometrii jako v předchozí kapitole, ale rozdílné intervaly, které jsou nastaveny podle výškového rozložení lokality.

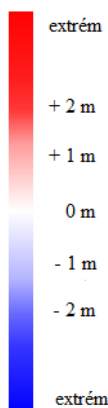
4.3 Výškové rozdíly a výpočet chyb LLS a ZABAGED

Jde o výpočet prolínání dvou vstupních trojúhelníkových sítí a tvorbu výsledného rozdílového modelu. Pro tuto úlohu je použita funkce „Prolínání sítí“, kterou lze spustit z hlavního menu DMT → Úlohy nad DMT → Výpočty → Prolínání dvou sítí (viz. obr. 4.5).



Obrázek 4.5. Nastavení výpočtu výškových rozdílů

V okně „Model 1“ a „Model 2“ se nastaví vždy adresářové umístění a jméno porovnávaného modelu terénu. V okně „Výsledný model“ se otevře nový model terénu, kde bude uložen výsledný rozdílový model. Výsledný model je nastaven na rozdílový model. Tímto postupem jsou vypočteny výškové rozdíly pro všechny vybrané zkušební lokality z dat LLS, ze ZABAGED - výškopis a ze ZABAGED - zdokonalený výškopis. Grafické znázornění výškových rozdílů je zobrazeno na následujícím obr. 4.6.



Obrázek 4.6. Barevná hypsometrie pro rozdílové modely

K výpočtu chyb pro každý rozdílový model je použita funkce „Výpočet objemu“, kterou lze spustit z hlavního menu DMT → Úlohy nad DMT → Výpočty → Výpočet objemu. Výpočet se provádí pro celý rozdílový model vzhledem ke srovnávací rovině o výškové kótě 0 m. Objem je počítán jako součet objemů trojbokých hranolů nad jednotlivými trojúhelníky rozdílového modelu. Všechny kladné hodnoty jsou sečteny do kladné části objemu, stejně tak všechny záporné hodnoty jsou sečteny do záporné části objemu. Výsledné hodnoty jsou vyjádřeny číselnými hodnotami a uloženy do textového souboru. Mezi číselné hodnoty získané funkcí „Výpočet modelu“ patří:

VÝSLEDNÝ OBJEM :

V[+] ... kladná část objemu v metrech kubických

V[-] ... záporná část objemu v metrech kubických

V[+] + V[-] ... součet objemů v metrech kubických

abs(V[+]) + abs(V[-]) ... součet absolutních hodnot objemů v metrech kubických

CELKOVÁ PLOCHA :

A[+] ... plocha rozdílového modelu odpovídající objemu V[+] v metrech čtverečních

A[-] ... plocha rozdílového modelu odpovídající objemu V[-] v metrech čtverečních

A[0] ... plocha, kde jsou porovnávány modely totožné v metrech čtverečních

A ... celková plocha rozdílového modelu v metrech čtverečních

POVRCH MODELU :

Hlavní model S[celk] ... (pro výpočty není potřebný)

Srovnávací model S[celk] ... (pro výpočty není potřebný)

Výše uvedené hodnoty slouží k určení parametrů přesnosti charakteristické pro vybrané lokality:

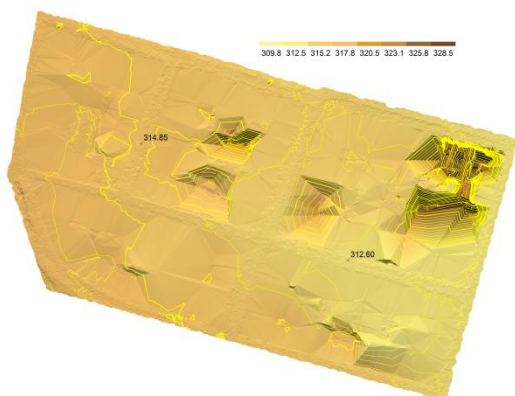
- průměrná chyba $a_H = \{V[+] + |V[-]|\}/A$ v metrech;
- systematická chyba $c_H = \{V[+] - |V[-]|\}/A$ v metrech;

- odhad základní úplné střední chyby charakterizující reálnou přesnost $m_H = 1,25 * a_H$ v metrech;
- odhad základní střední náhodné chyby $\sigma_H = \sqrt{(m_H^2 - c_H^2)}$ v metrech.

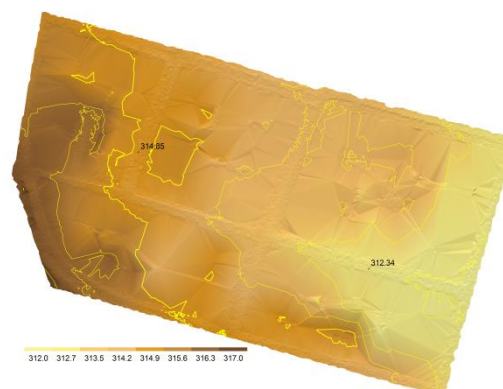
Tabulka uvedených parametrů přesnosti v jednotlivých lokalitách je uvedena v kapitole 4.4 na obr. 4.9.

4.4 Výsledky vyhodnocení ve zkušebních lokalitách

Výsledky ovlivňují chyby v automatické klasifikaci dat LLS. Letecké laserové skenování má problém s vyhodnocením dat v komplexech budov, např. centrum Plzně. Obrázek 4.7 ukazuje DMT vytvořený z automaticky klasifikovaných bodů LLS. Na obr. 4.8 je pak DMT s odstraněnými chybně klasifikovanými body, který vystihuje skutečný průběh terénu a má manuálně odstraněny chyby v řádech metrů (max. 9 m). Lépe na tom je lokalita Košutka, kde jde o špatně vyhodnocenou střechu. Další chyby, co se týká odrazu laserového paprsku, jsou jen lokální a malého rozsahu. Vyskytují se v lokalitě rodinných domů na Lochotíně, kde dochází ke špatnému odrazu laserového paprsku od bazénů na zahradách. Chyby dosahují řádově několika metrů (max. 10 m) a jsou také odstraněny ze vstupních dat DMT.



Obrázek 4.7. DMT z neopravených dat LLS (přibližné měřítko 1: 700)



Obrázek 4.8. DMT z opravených dat LLS (přibližné měřítko 1: 700)

Pro vzájemné porovnání jsou na následujícím obr. 4.9 (tabulce) znázorněny výsledky průměrné hodnoty a_H , systematické chyby c_H , odhad základní úplné střední chyby m_H a odhad základní střední náhodné chyby σ_H se vstupními hodnotami (A[+], A[-], A[0], A, V[+] a V[-]). Na první pohled je patrné, že m_H a σ_H rozdílových modelů zdokonaleného výškopisu ZABAGED a dat LLS dosahují nižších hodnot, než u rozdílových modelů ZABAGED a dat LLS, což bylo cílem zdokonalení databáze ZABAGED. Podle předpokladů

jsou největší výškové rozdíly v lokalitách panelových domů.

ZABAGED - zdokonalený výškopis mínus LLS

Lokalita	A[+]	A[-]	A[0]	V[+]	V[-]	a_H	c_H	m_H	σ_H
centrum Plzně	27217,99	23340,89	0,01	12974,62	-8024,01	0,42	0,10	0,52	0,51
Košutka	7387,00	25776,27	0,01	2224,18	-14166,92	0,49	-0,36	0,62	0,50
Lochotín	14884,97	33034,79	0,02	4255,14	-15454,51	0,41	-0,23	0,51	0,46
Na Hvězdě	16058,00	36957,66	0,02	4326,71	-15019,63	0,36	-0,20	0,46	0,41
Slovany	10265,30	32573,63	0,06	1484,41	-8601,51	0,24	-0,17	0,29	0,24
Vínice	4899,87	21638,88	0,01	1668,80	-19621,12	0,80	-0,68	1,00	0,74

ZABAGED - výškopis mínus LLS

Lokalita	A[+]	A[-]	A[0]	V[+]	V[-]	a_H	c_H	m_H	σ_H
centrum Plzně	27435,91	23122,97	0,01	13341,19	-7950,58	0,42	0,11	0,53	0,52
Košutka	7723,55	25439,73	0,01	2693,45	-14077,00	0,51	-0,34	0,63	0,53
Lochotín	14880,16	33039,59	0,03	4577,96	-14933,40	0,41	-0,22	0,51	0,46
Na Hvězdě	15397,72	37617,94	0,02	4245,40	-15838,18	0,38	-0,22	0,47	0,42
Slovany	10416,25	32422,69	0,05	1587,20	-8483,29	0,24	-0,16	0,29	0,25
Vínice	4721,76	21816,98	0,01	1498,19	-18857,52	0,77	-0,65	0,96	0,70

ZABAGED - zdokonalený výškopis mínus ZABAGED - výškopis

Lokalita	A[+]	A[-]	A[0]	V[+]	V[-]	a_H	c_H	m_H	σ_H
centrum Plzně	51073,74	52037,47	41648,43	1493,60	-1261,38	0,02	0,002	0,02	0,02
Košutka	50588,65	66851,07	8793,63	5454,99	-12019,02	0,14	-0,05	0,17	0,17
Lochotín	22066,66	27773,53	40998,31	873,96	-3017,45	0,04	-0,02	0,05	0,05
Na Hvězdě	73099,83	76332,04	34838,58	7607,97	-6964,70	0,08	0,00	0,10	0,10
Slovany	49845,22	48804,74	42280,24	1563,77	-4121,45	0,04	-0,02	0,05	0,05
Vínice	40392,46	43459,17	6319,75	7336,54	-5810,29	0,15	0,02	0,18	0,18

	bytové domy
	panelové domy
	rodinné domy

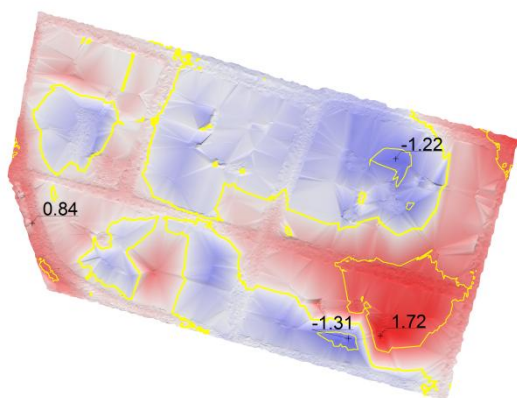
Obrázek 4.9. Výsledky vyhodnocení ve zkušebních lokalitách

Na následujících obrázcích (obr. 4.10 až obr. 4.33) jsou znázorněny rozdílové modely k jednotlivým lokalitám. Pro lepší reprezentaci mají u sebe vždy obrázek s obvodem lokality a ortofotem. V následujících odstavcích budou komentovány rozdílové modely jednotlivých lokalit, přičemž každé dvě lokality charakterizuje odlišný typ zástavby: rodinné domy, bytové domy nebo panelové domy.

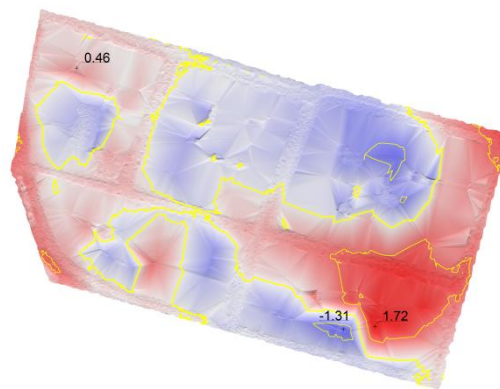
4.4.1 Lokality s bytovou zástavbou

Porovnávanou skupinou rozdílových modelů jsou lokality s bytovou zástavbou (lokalita v centru Plzně a lokalita na Slovanech). Po odstranění chybně klasifikovaných bodů z dat LLS v centru Plzně vyšly rozdílové modely ZABAGED s daty LLS velmi podobně (viz. obr. 4.10 a obr. 4.11). Když se podíváme na rozdílové modely ZABAGED s daty LLS na

Slovanech, jsou zde oproti centru Plzně zřejmé „díry“ po střechách bytových domů (viz. obr. 4.14 a obr. 4.15). Na všech rozdílových modelech (viz. obr. 4.10, obr. 4.11, obr. 4.14 a obr. 4.15) jsou dobře patrné silnice. Pokud se podíváme na rozdílové modely ZABAGED - výškopis a ZABAGED - zdokonalený výškopis (viz. obr. 4.12 a obr. 4.16), tak výškové rozdíly dosahují malých hodnot řádově několika desítek centimetrů. Na těchto modelech nelze rozpoznat žádné budovy ani silnice, protože porovnávané modely mají výškopis reprezentovaný pouze vrstevnicemi. Střední chyba výšky pro ZABAGED - výškopis i ZABAGED - zdokonalený výškopis dosahuje podle tab. 2.1 (v kapitole 2.1.2) jednoho až dvou metrů v intravilánech. Vybrané lokality s bytovou zástavbou splňují kritérium střední chyby ve výšce podle tab. 2.1. Největší chyby ve výškách se projevují v nedostupných komplexech budov.



Obrázek 4.10. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS v centru Plzně (přibližné měřítko 1: 1 700)



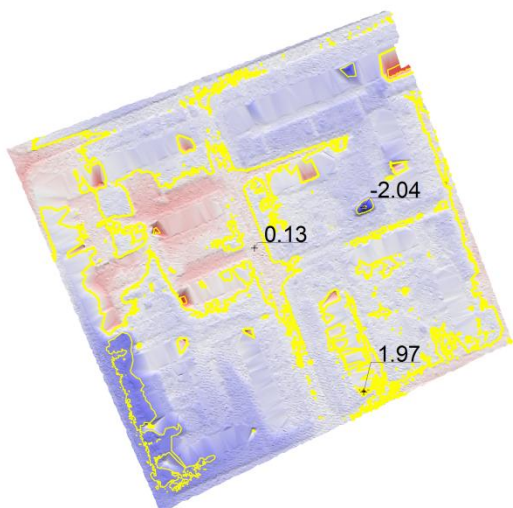
Obrázek 4.11. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS v centru Plzně (přibližné měřítko 1: 1 300)



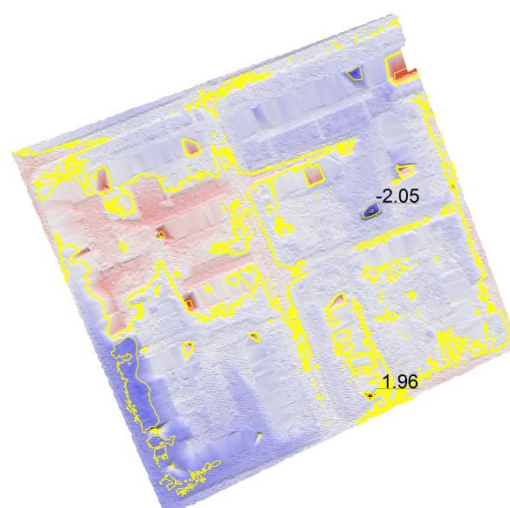
Obrázek 4.12. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis v centru Plzně (přibližné měřítko 1: 1 700)



Obrázek 4.13. Bytové domy v centru Plzně



Obrázek 4.14. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Slovanech (přibližné měřítko 1: 1 800)



Obrázek 4.15. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Slovanech (přibližné měřítko 1: 1 500)



Obrázek 4.16. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Slovanech (přibližné měřítko 1: 1 800)

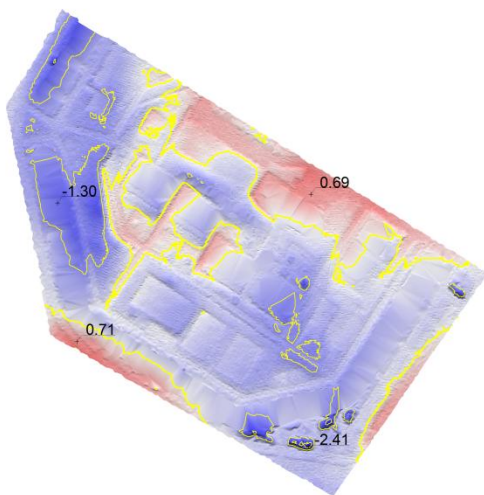


Obrázek 4.17. Bytové domy na Slovanech

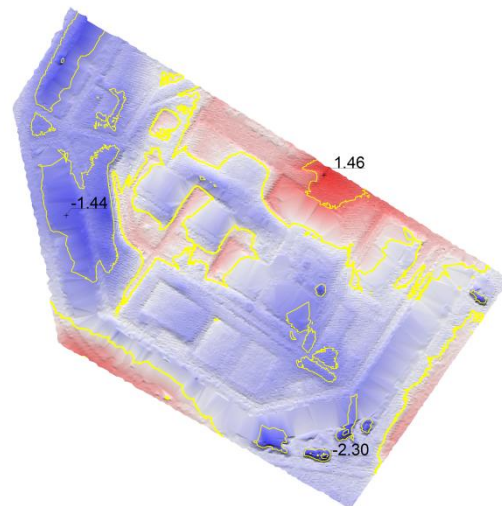
4.4.2 Lokality s panelovou zástavbou

Porovnanou skupinou lokalit rozdílových modelů jsou lokality s panelovou zástavbou (lokalita na Košutce a lokalita na Vinicích). Po odstranění chybně klasifikovaných bodů z dat LLS na Košutce vyšly rozdílové modely ZABAGED s daty LLS jako v předchozím případě velmi podobně (viz. obr. 4.18 a obr. 4.19). Na všech rozdílových modelech (viz. obr. 4.18, obr. 4.19, obr. 4.22 a obr. 4.23) jsou dobře patrné silnice. Co se týká rozpoznávání budov, liniová panelová zástavba na Košutce a na Vinicích je dobře identifikovatelná. Částečně

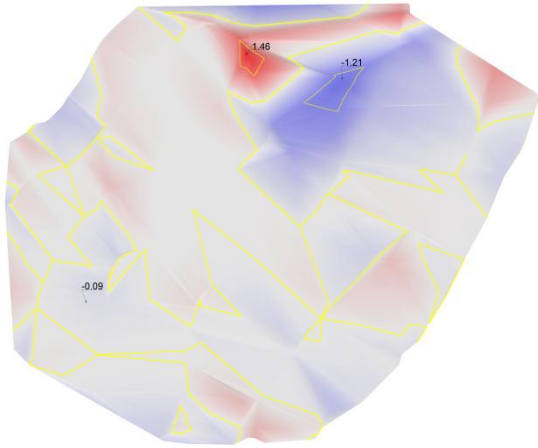
uzavřené komplexy budov na Vinicích, které nemusí být na první pohled patrné, mají spíše podobu neostře uzavřené oblasti. Pokud se podíváme na rozdílové modely ZABAGED - výškopis a ZABAGED - zdokonalený výškopis (viz. obr. 4.20 a obr. 4.24), tak výškové rozdíly dosahují řádově jednoho metru. Největší zpřesnění („změny“) databáze ZABAGED jsou patrná v lokalitě na Vinicích (levý dolní roh rozdílového modelu - viz. obr. 4.24). Na těchto modelech nelze opět rozpoznat žádné budovy ani silnice, protože porovnávané modely mají výškopis reprezentovaný pouze vrstevnicemi. Střední chyba výšky pro ZABAGED - výškopis i ZABAGED - zdokonalený výškopis dosahuje podle tab. 2.1 (v kapitole 2.1.2) jednoho až dvou metrů v intravilánech. Vybrané lokality s panelovou zástavbou splňují kritérium střední chyby ve výšce podle tab. 2.1 v kapitole 2.1.2.



Obrázek 4.18. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Košutce (přibližné měřítko 1: 1 200)



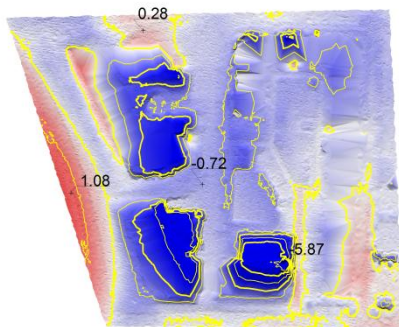
Obrázek 4.19. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Košutce (přibližné měřítko 1: 1 200)



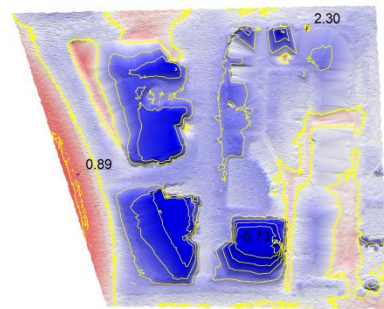
Obrázek 4.20. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Košutce (přibližné měřítko 1: 1 200)



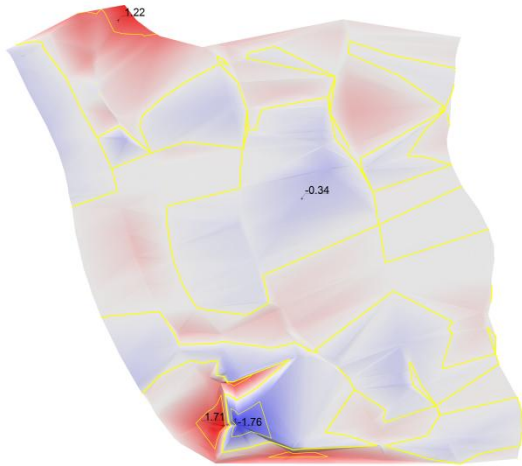
Obrázek 4.21. Panelové domy na Košutce



Obrázek 4.22. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Vinicích (přibližné měřítko 1: 1 200)



Obrázek 4.23. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Vinicích (přibližné měřítko 1: 1 000)



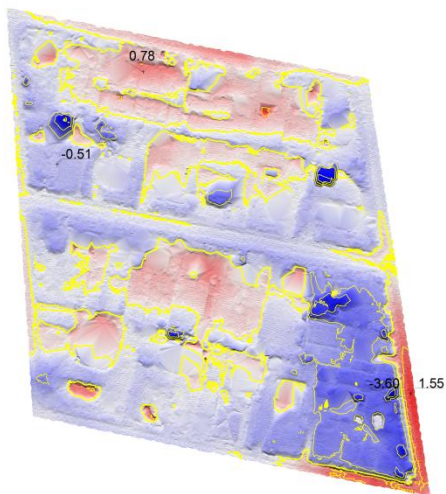
Obrázek 4.24. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Vinicích (přibližné měřítko 1: 1 200)



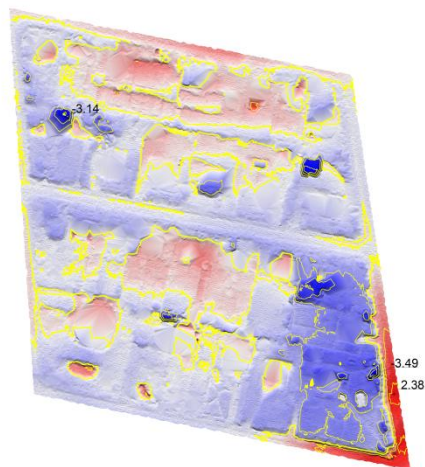
Obrázek 4.25. Panelové domy na Vinicích

4.4.3 Lokality s rodinnými domy

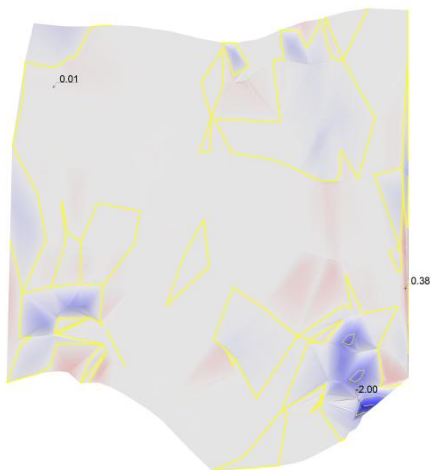
Poslední skupinou lokalit rozdílových modelů jsou lokality s rodinnými domy (lokalita na Lochotíně a lokalita Na Hvězdě). Na všech rozdílových modelech (viz. obr. 4.26, obr. 4.27, obr. 4.30 a obr. 4.31) je patrná „roztroušená zástavba“ malých domků. Na rozdílových modelech ZABAGED s daty LLS jsou zřetelně vidět silnice (např. Na Hvězdě kruhový objezd s navazujícími silnicemi). Pokud se podíváme na rozdílové modely ZABAGED - výškopis a ZABAGED - zdokonalený výškopis (viz. obr. 4.28 a obr. 4.32), tak výškové rozdíly dosahují většinou řádově desítek centimetrů. Nejlépe jsou vyhodnocené cesty a silnice, což platí i o předchozích dvou skupinách lokalit. Jak již bylo napsáno výše, střední chyba výšky pro ZABAGED - výškopis i ZABAGED - zdokonalený výškopis dosahuje podle tab. 2.1 (v kapitole 2.1.2.) jednoho až dvou metrů v intravilánech. Vybrané lokality s panelovou zástavbou splňují kritérium střední chyby ve výšce podle tab. 2.1 (v kapitole 2.1.2).



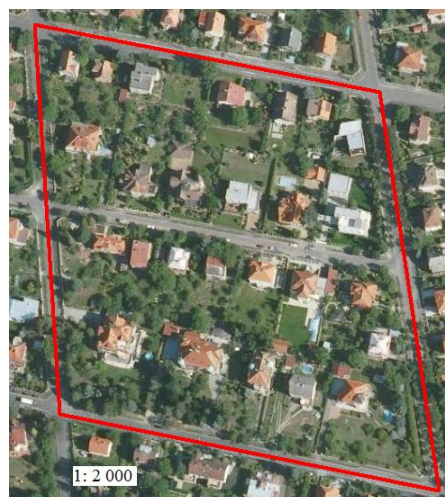
Obrázek 4.26. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS na Lochotíně (přibližné měřítko 1: 1 100)



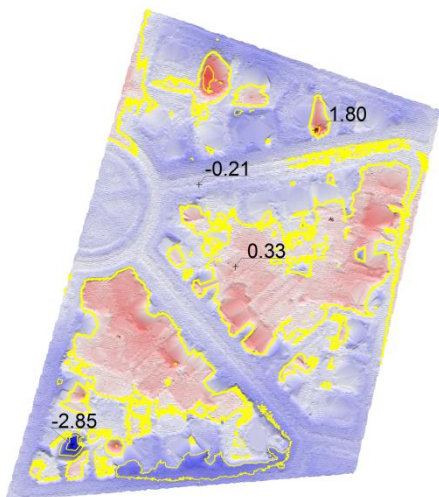
Obrázek 4.27. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS na Lochotíně (přibližné měřítko 1: 1 000)



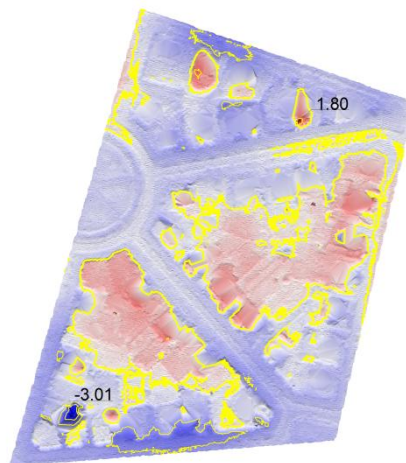
Obrázek 4.28. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis na Lochotíně (přibližné měřítko 1: 1 100)



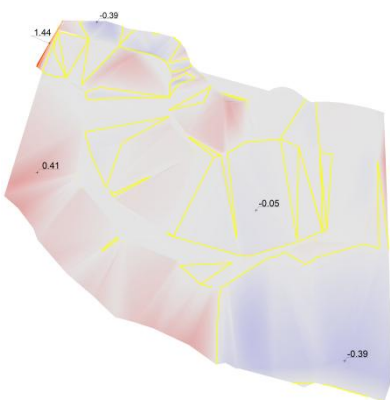
Obrázek 4.29. Rodinné domy na Lochotíně



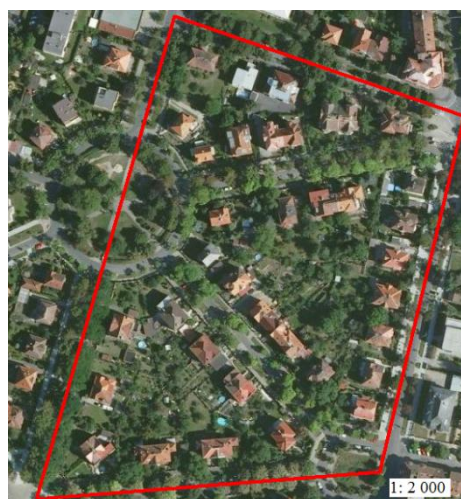
Obrázek 4.30. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a LLS Na Hvězdě (přibližné měřítko 1: 1 800)



Obrázek 4.31. Rozdílový model ZABAGED - výškopis a LLS Na Hvězdě (přibližné měřítko 1: 1 700)



Obrázek 4.32. Rozdílový model ZABAGED - zdokonalený výškopis a ZABAGED - výškopis Na Hvězdě (přibližné měřítko 1: 1 800)



Obrázek 4.33. Rodinné domy Na Hvězdě

Poznanky týkající se přesnosti ZABAGED (ZABAGED - výškopis a ZABAGED - zdokonalený výškopis) odpovídá hodnotám uvedeným v kapitole 2.1.2 v tab. 2.1. Dá se říci, že hodnoty jsou mnohem lepší. Výškopis ZABAGED někde ne zcela vystihuje terén, což může být způsobeno generalizací a hustotou vrstevnic. Přesnost zdokonaleného výškopisu je stejná jako „starého“ výškopisu ZABAGED. Důležitým prvkem doplněným do zpřesněného výškopisu jsou terénní hrany. Ve mnou testovaných územích se hrany nevyskytují, nelze tedy

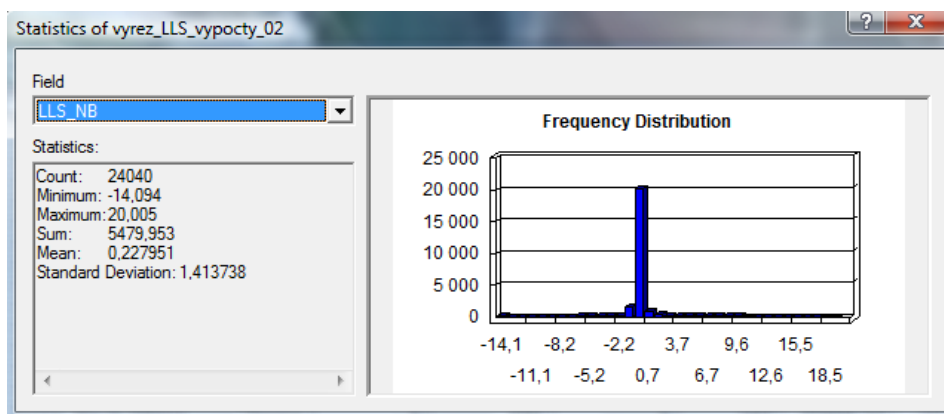
očekávat žádné převratné výsledky. Pokud se podíváme na hrany jinde „ve městě“, vyskytují se převážně u koryt řek a u železničních těles.

4.5 Zpracování a vyhodnocení výškových rozdílů nivelačních bodů a dat LLS

Postup vyhodnocení mezi nivelačními body a body LLS je následující:

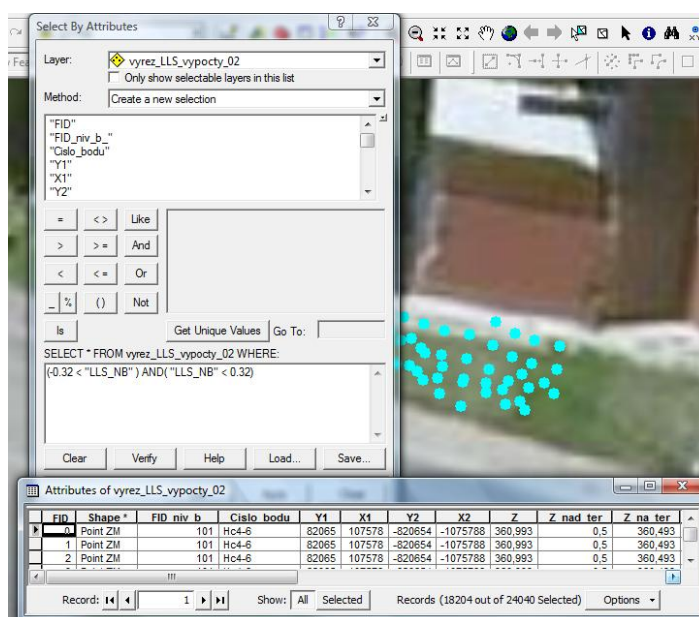
- výpočet výškových rozdílů mezi daty LLS a nivelačními body;
- výpočet minima, maxima, průměru, sumy, směrodatné odchylky, odchylky a mediánu směrodatné odchylky rozdílů výšek bodů LLS a nivelačních bodů;
- vhodný výběr intervalu výškových rozdílů bez hrubých chyb;
- odstranění bodů LLS, které nespádají do zvoleného intervalu;
- výpočet parametrů přesnosti pro okolí nivelačních bodů:
 - systematická chyba (průměr rozdílů výšek) $c_H = \sum \Delta H / \sum m$,
 - náhodná chyba $\sigma_H = \sqrt{\{[(\Delta H - c_H)^2] / [(\sum m) - 1]\}}$, kde „ ΔH “ rozdíl výšek bodů LLS a nivelačních bodů a „ m “ je počet bodů LLS,
 - úplná střední chyba $m_H = \sqrt{(c_H^2 + \sigma_H^2)}$;
- vyhodnocení získaných výsledků.

Postup je zpracován v programu ArcGIS a v programu Microsoft Office Excel 2007. V programu ArcGIS se sloučí vrstva dat LLS s polygonovou vrstvou, která obsahuje v grafické části kruhy o poloměru 5 m a v atributové tabulce k nim přiřazené sloupce odpovídajících nivelačních bodů. Všechny úpravy jsou stále uloženy ve vrstvě, která obsahuje data LLS. Po otevření atributové tabulky a vytvoří se nový sloupec, do kterého se vypočte rozdíl výšek dat LLS a nivelačních bodů (tzn. výšky bodů z dat LLS minus výšky nivelačních bodů). Následně se v atributové tabulce vypočítají hodnoty (minimum, maximum, průměr, suma, směrodatná odchylka a odchylka) bodů LLS a nalezneme medián 0,11 m se statistikou výškových rozdílů (viz. obr. 4.34). Zde je patrná přítomnost hrubých chyb ve vyhodnocení dat LLS. Minimální výškový rozdíl nyní činní -14,09 m a maximální 20,01 m. Pro vyloučení hrubých chyb se zavede omezující podmínka, že výškový rozdíl nepřesáhne trojnásobek mediánu, tedy 0,32 m.



Obrázek 4.34. Statistika výškových rozdílů

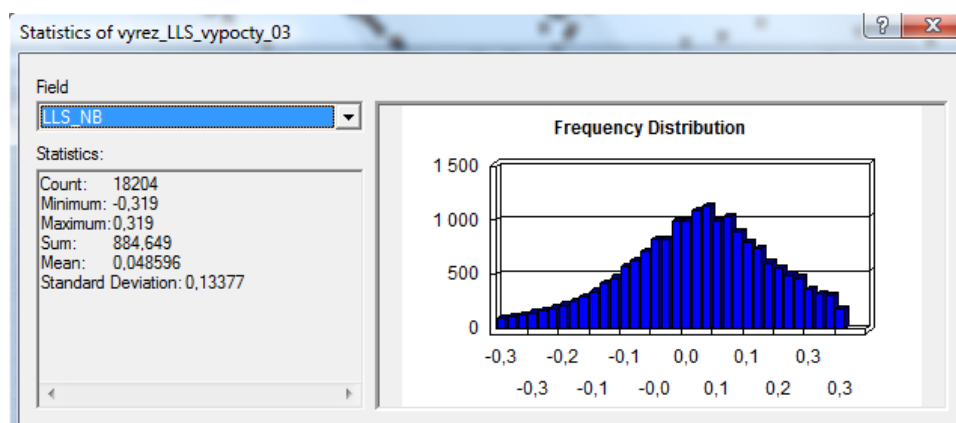
Z obr. 4.34 je zřejmé, že normální rozdělení výškových rozdílů má hodně intervalů, přičemž nejvíce bodů se vyskytuje v intervalu prostředním a pak četnost bodů prudce klesá. Je to tím, že tento graf obsahuje body s hrubými chybami. Nyní se body s hrubou chybou odstraní. Pomocí funkce „Select By Attributes“, kterou lze spustit z hlavního menu Selection → Select By Attributes, se provede výběr bodů spadajících do uzavřeného intervalu od -0,32 do 0,32 m. Jak je vidět z obr. 4.35, do zvoleného intervalu spadá 18204 bodů z 24040 (75,72%).



Obrázek 4.35. Funkce „Select By Attributes“

Následně se otočí výběr bodů v atributové tabulce a odstraní se. Každé měření mimo zvolený interval by bylo vhodné individuálně posoudit a jeho vyloučení z dalších výpočtů zdůvodnit. Protože hromadné automatické zpracování velkého množství měření individuální přístup znemožňuje, jsou obvykle měření nesplňující kritérium vyloučena bez dalšího zkoumání i za cenu mírného zkreslení výsledků. Nyní mají výškové rozdíly bodů lepší rozložení do

intervalů normálního rozdělení (viz. obr. 4.36).



Obrázek 4.36. Statistika výškových rozdílů bez hrubých chyb

Souhrnné výsledky hodnocení přesnosti LLS v okolí nivelačních bodů je možné charakterizovat hodnotami systematické chyby $c_H = 0,05$ m, náhodné chyby $\sigma_H = 0,13$ m a úplné střední chyby $m_H = 0,14$ m. Tabulky s hodnotami i výpočty jsou pro svou velikost pouze na příloženém DVD ve formátu *.xlsx. Digitálního modelu reliéfu území ČR 5. generace (DMR 5G) má formu nepravidelné trojúhelníkové sítě bodů (TIN). Finální poloautomatické zpracování dat počítá s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu. Z výše uvedených hodnot je možné nivelační body použít pro kontrolu a porovnání dat LLS, ale úplná střední chyba m_H byla očekávána nižší. Tato hodnota může být ovlivněna:

- nedbalým odečtením výšek čepových značek nad terénem,
- změnami výšek chodníků v okolí čepových značek,
- chybné automatické klasifikace bodů LLS.

Tyto faktory se promítají i do náhodné chyby. Proti zmíněným chybám DMR 5G dosahují mnou vypočtené odchylky vysokých hodnot. Co se týká dat LLS odstraněných pro další výpočty, jedná se především o body v blízkosti budov (konkrétně v Plzni obchodní centra, firemní sklady, budovy ČSAD, kapličky, kostely), zdi Světovaru, tovární zdi závodů Škoda, přehradní hráze, výměníky tepla, rekreační domy, transformátorové stanice, stožáry elektrického vedení, mosty a lávky. Na špatně vyhodnocené výšky bodů LLS mají vliv různě členité střechy (věžičky) objektů, malé duté objekty apod. Samozřejmě tyto objekty nestojí izolovaně a na chybách se podílí i jejich nejbližší okolí.

5. Závěr

Úkoly, které byly v rámci této diplomové práce kladeny, byly splněny. V práci bylo provedeno srovnání výškové přesnosti ZABAGED - výškopis a ZABAGED - zdokonalený výškopis. Jako referenční model terénu byla použita data leteckého laserového skenování pořízená v rámci Projektu tvorby nového výškopisu území ČR, který právě probíhá.

Zpřesnění výškopisu ZABAGED v zastavěném území města Plzně nepřineslo prokazatelné zlepšení přesnosti výškopisu. Tento závěr se shoduje se závěry podobných diplomových prací, které se zabývaly účinností zpřesnění v jiných typech území. Přínosem zpřesnění ale jistě bude lepší vystihnoutí zejména prvků mikroreliefu zachycených například formou terénních hran. Zjištěná přesnost výškopisu ZABAGED v zastavěném území města Plzně je přibližně 0,5 m, což je výrazně lepší, než přesnost uváděná v jiných zdrojích (např. [6]). Jak je patrné z obrázků v předchozí kapitole, má ZABAGED v lokalitě Vinice největší změny ve tvaru a v poloze vrstevnic. Může to být způsobeno těsnou blízkostí hran, které byly přidány do zdokonaleného výškopisu ZABAGED.

V práci byly dále zjišťovány parametry výškové přesnosti leteckého laserového skenování porovnáním s výškami nivelačních bodů. Pro tento účel byla vytvořena databáze nivelačních bodů na území města Plzně včetně jejich místopisných údajů. Výsledkem byly hodnoty systematické chyby $c_H = 0,05$ m a náhodné chyby $\sigma_H = 0,13$ m. Vzhledem k tomu, že byla použita surová data LLS, lze očekávat, že dalším zpracováním do podoby DMR 5G dojde ještě ke snížení systematické chyby. Zjištěné hodnoty nasvědčují tomu, že předpokládané parametry výškové přesnosti DMR 5G budou dodrženy.

Nejlépe jsou vyhodnocované plochy mezi budovami (např. široké silnice). Problémy nečiní ani zelené plochy. Vnitrobloky s malými dvorky patří mezi lokality s velkými výškovými chybami. To platí pro ZABAGED - výškopis, ZABAGED - zdokonalený výškopis i pro data LLS. Nová cesta k získání kvalitního výškopisu z dat LLS je vhodnou metodou, ale budou muset být dořešeny odrazy laserových paprsků od členitých střech budov a malých dutých útvarů v zastavěných územích (např. nezastřešené věže ve zdech závodů Škoda).

Data LLS lze kontrolovat v zastavěných lokalitách pomocí nivelačních bodů, avšak musí se dávat pozor na hrubé chyby získané chybným odrazem laserových paprsků. V zastavěných plochách není ideálním řešením automatická klasifikace, protože je zde mnoho umělých

překážek vytvořených lidskou civilizací. V zastavěných lokalitách je vždy třeba zásah člověka a opravy výšek dat LLS za pomoci např. ortofot či, pokud to bude nutné, přímo pochůzkou po vyhodnocovaném terénu a následné odstranění chyb.

Příloha A. Literatura a internetové odkazy

Literatura

- [1] *Koncepce základní báze geografických dat (ZABAGED)*. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 1994.
- [2] *Koncepce 2. etapy vývoje základní báze geografických dat (ZABAGED)*. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 1999.
- [3] MONHART, V. *Ověření účinnosti zpřesnění digitálního modelu reliéfu ZABAGED podle koncepce Zeměměřického úřadu na vybraných lokalitách v Plzeňském a Karlovarském kraji*. Plzeň, 2008. Diplomová práce na FAV ZČU v Plzni na katedře matematiky. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Šíma, CSc.
- [4] Kolektiv autorů. *Geodézie 30: Výškopis*. Praha: ČVUT, 1999.
- [5] ŠÍMA, J. *Nové zdroje geoprostorových dat pokrývajících celé území státu od roku 2010 - První výsledky výzkumu jejich kvalitativních parametrů*. GIS Ostrava 2011. Ostrava: 2011.
- [6] BRÁZDIL, K. *Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky*. Geodetický a kartografický obzor, 2009, ročník 55/97, číslo 7.
- [7] ŠÍMA, J. *Abeceda leteckého laserového skenování*. Geobusiness, 2009, 8. ročník, číslo 3.
- [8] ČADA, V. *Přednáškové materiály k předmětu Geodézie I* [online]. Plzeň: Západočeské univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd. 1.1. 2007 [citováno 2011-28-10]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch10.html>.
- [9] Kolektiv autorů: *Terminologický slovník geodézie, kartografie a katastra*. Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky. Bratislava 1998.
- [10] 31/1995 Sb. *Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního*. Český úřad zeměměřický a katastrální. Praha 1995.
- [11] FLOOD, M. *ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for Lidar data*. [online]. ASPRS Lidar Committee. 24.05. 2004 [citováno 2012-01-03].

Internetové odkazy

-
- [12] Zeměměřický úřad. *Katalog objektů ZABAGED* [online]. Verze 2.3. Praha 2011 [citováno 2011-7-11]. Dostupné z:
http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/KATALOG_OBJEKTU_ZABAGED_2011.pdf.
- [13] Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický ústav. *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. Terminologická komise ČÚZK. 18.06. 2005 [citováno 2011-01-11]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>.
- [14] *Popis Základní báze geografických dat ČR* [online]. Geoportál ČÚZK. 03.11. 2011 [citováno 2011-03-11]. Dostupné z:
[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(2neq1d45yaqora454qk5lif3\)\)/Default.aspx?head_tab=sekc
e-00-
gp&mode=TextMeta&text=uvod_uvod&menu=01&news=yes&UvodniStrana=yes](http://geoportal.cuzk.cz/(S(2neq1d45yaqora454qk5lif3))/Default.aspx?head_tab=sekc
e-00-
gp&mode=TextMeta&text=uvod_uvod&menu=01&news=yes&UvodniStrana=yes).
- Institute a jejich data
- [15] *Databáze ČSNS* [online]. Zeměměřický úřad. 01.08. 2011 [citováno 2010-01-08].
- [16] *Základní báze geografických dat* [online]. Zeměměřický úřad. 26.03. 2012 [citováno 2012-26-03].
- [17] *Data leteckého laserového skenování* [online]. Zeměměřický úřad. 26.03. 2012 [citováno 2012-26-03].
- [18] *Územní správa města Plzně* [online]. Portál města Plzně. 20.03. 2012 [citováno 2012-20-03]. Dostupné z: <http://gis.plzen.eu/uzemnisprava/>.

Příloha B. Struktura přiloženého DVD

Zdrojová data

- LLS
- Nivelační body
- ZABAGED - výškopis
- ZABAGED - zdokonalený výškopis

Praktická část

- DMT z dat LLS
- DMT z dat ZABAGED - výškopis
- DMT z dat ZABAGED - zdokonalený výškopis
- Rozdílové modely LLS a ZABAGED - výškopis
- Rozdílové modely LLS a ZABAGED - zdokonalený výškopis
- Rozdílové modely ZABAGED
- Tabulky a výpočty
- Vybraná území

Text DP ... vlastní text diplomové práce ve formátu PDF