

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Hornicko-geologická fakulta**

Institut geoinformatiky

**POROVNÁNÍ DIGITÁLNÍCH MODELŮ
RELIÉFU VYTVOŘENÝCH Z DAT
Z RŮZNÝCH ZDROJŮ**

bakalářská práce

Autor:

Radka Matoláková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Rapant, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Radka Matoláková**
Studijní program: B3646 Geodézie a kartografie
Studijní obor: 3646R006 Geoinformatika
Téma: **Porovnání digitálních modelů reliéfu vytvořených z dat z různých zdrojů**
Comparison of Digital Terrain Models Based on Data From Different Sources

Zásady pro vypracování:

- 1) prvním testovacím územím bude soutok řek Olše a Stonávky, druhým okolí Dobrušky
- 2) zjistit všechny možné zdroje dat pro tvorbu DMR, pokrývajících obě oblasti a vyhodnotit zdroj nejpřesnějších dat
- 3) získat data z jednotlivých zdrojů
- 4) vygenerovat jednotlivé DMR
- 5) porovnat jednotlivé dvojice DMR mezi sebou
- 6) zhodnotit výskyt náhodných a systematických rozdílů
- 7) seřadit jednotlivé zdroje dle klesající správnosti
- 8) provést ekonomické zhodnocení použití dat z jednotlivých zdrojů

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) Brázdil, K.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. GIS Ostrava 2010. http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf
- 2) Uhlířová, K., Zbořil, A.: Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. GIS Ostrava 2010. http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_3_5.pdf
- 3) El-Sheimy, N., Valeo, C., Habib, A.: Digital Terrain Modelling. Acquisition, Manipulation, and Applications. Artech House, London, 2005. 257 str.
- 4) Li, Z., Zhu, Q., Gold, Ch.: Digital Terrain Modelling. Principles and Methodology. CRC Press, London, 2005. 323 str.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Rapant, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2010

Datum odevzdání: 30.04.2011
548
-2-
Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky
17. listopadu 15, 70208 Ostrava-Poruba

prof. Ing. Zdeněk Diviš, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

- *Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.*
- *Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*
- *Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).*
- *Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*
- *Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

V Ostravě, dne 29. 4. 2011

Radka Matoláková

Summary

This thesis treats of a comparison of digital terrain models based on data from different sources. At the beginning of this work is a survey of available data sources for generating DTM in the in the Czech Republic. Following summarize available data sources, define an appropriate area for testing and suggests comparing models (methods). The next section describes the data acquisition and comparison of Digital Elevation Models. The final section summarizes the results.

Keywords: DEM, comparison of DTM, data sources for DTM

Anotace

Bakalářská práce pojednává o porovnání DMR vytvořených z dat z různých zdrojů. V úvodu předložené práce je průzkum současného stavu zdrojů dat pro tvorbu DMR v České republice. Následně jsou shrnuty a popsány dostupné zdroje dat, vymezeno vhodné území a navržen postup porovnání modelů (metody). V další části je popsáno získání dat a realizace samotného porovnání jednotlivých DMR. V poslední části jsou shrnuty dosažené výsledky.

Klíčová slova: DMR, porovnání DMR, zdroje dat pro DMR

Poděkování

Ráda bych poděkovala především doc. Ing. Petru Rapantovi, CSc. za cenné odborné rady. Dále bych ráda poděkovala doc. RNDr. Františku Staňkovi, Ph.D., Ing. Davidu Vojtkovi, Ph.D., Ing. Michalu Podhorányimu a Juraji Kisztnerovi za konzultace týkající se předmětu mého výzkumu.

Obsah:

1. Úvod	1
2. Cíle práce	3
2.1. Zásady pro vypracování a dílčí cíle práce	4
3. Úvod do problematiky DMR a určování přesnosti DMR	5
3.1. Metody hodnocení přesnosti	8
3.2. Nalezení zdrojů dat pro DMR	9
3.3. Souhrn dostupných zdrojů dat pro tvorbu DMR v ČR	13
4. Vymezení vhodné testovací oblasti a návrh vhodného způsobu zpracování ..	15
5. Získání dostupných zdrojů dat	21
5.1. Popis postupu zpracování	24
5.2. Statistické posouzení oblasti Dobruška	29
5.3. Statistické posouzení oblasti Karviná	32
5.4. Vizuální posouzení oblasti Dobruška	36
5.5. Vizuální posouzení oblasti Karviná	42
5.6. Ekonomické zhodnocení použití dat z jednotlivých zdrojů	47
6. Dosažené výsledky	48

Seznam použitých zkratk

České zkratky

Bpv	Balt po vyrovnání
ČR	Česká republika
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMP 1G	Digitální model povrchu první generace
DMR 4G	Digitální model reliéfu čtvrté generace
DMR 5G	Digitální model reliéfu páté generace
DMR	digitální model reliéfu
LLS	letecké laserové skenování
ML	mapový list
MO ČR	Ministerstvo obrany České republiky
OS	operační systém
PVBP	Podrobné výškové bodové pole
S-JTSK	System jednotné trigonometrické sítě katastrální
SM5	Státní mapa 1:5000
VBP	Výškové bodové pole
VŠB – TUO	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
ZABAGED®	Základní báze geografických dat
ZM	Základní mapa 1:10 000
ZÚ	Zeměměřický úřad
ZVBP	Základní výškové bodové pole

Anglické zkratky

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASTER	Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer
DEM	Digital Elevation Model
DGPS	Differential Global Positioning System
DTM	Digital Terrain Model
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library (knihovna určená pro čtení a zápis rastrových GIS formátů)
GDEM	Global Digital Elevation Model
GMT	Generic Mapping Tools
GNU	Unix-like computer operating system
GPL	General Public License
GPS	Global Positioning System
LIDAR	Light Detection and Ranging
METI	Ministry of Economy, Trade and Industry
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
Open Source	SW s otevřeným zdrojovým kódem
RAM	Random-access memory
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses, GIS SW

SAR	Synthetic aperture radar
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SW	Software
TIN	Triangular Irregular Network
USA	United States of America
UTM	Universal Transverse Mercator geographic coordinate system
WGS 84	World Geodetic System 1984
WMS	Web Map Service

1. Úvod

Digitální model reliéfu (dále jen DMR) je základem mnoha různých geoinformačních aplikací a analýz a také je využíván v mnoha oblastech lidské činnosti jako doplňkový zdroj informací. Abychom byli schopni ocenit přesnost výstupů těchto činností, je nutné znát přesnost vstupního DMR. [2]

V současné době jsou pro území České republiky dostupné různé zdroje dat pro tvorbu DMR za různou pořizovací cenu. Tato data dosahující větší či menší přesnosti v závislosti na použité metodě pořízení dat, typu DMR, algoritmu pro interpolaci, souřadnicovém systému, transformaci, atd.

Mezi data pro tvorbu DMR se řadí data vzniklá metodami dálkového průzkumu Země. Tato data jsou nejméně přesná, ale zdarma dostupná. Jedná se o globální výškový model ASTER GDEM (z angl. Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model) dosahující prostorového rozlišení 1 úhlové vteřiny, což je 30 m na rovníku a výškový model SRTM DEM (Shuttle Radar Topography Mission, Digital Elevation Model) dosahující prostorového rozlišení 3 úhlové vteřiny, což je 90 x 90 m na rovníku.

V oblasti střední Evropy a tedy i České republiky jde o plochu cca 90 x 60 metrů. (ARCDATA Praha)

Fotogrametricky vzniklé DMR dosahují vyšší přesnosti než data pořízená dálkovým průzkumem Země, avšak jejich přesnost také není zcela dostačující pro některé účely využití DMR. Nebylo možné zdarma získat fotogrammetrický model pro účely této bakalářské práce, proto s tímto modelem nebude dále pracováno.

Nejčastěji využívaným zdrojem dat pro většinu aplikací jsou státní výškopisná data a produkty vzniklé v letech 1952 až 1957 při vojenském topografickém mapování ČSSR pro mapu v měřítku 1:25 000 a poté i pro mapu v měřítku 1:10 000. Databáze je nazývána zkratkou ZABAGED®, což je akronym znamenající Základní báze geografických dat. ZABAGED® je ale i přes aktualizace a modifikace nehomogenní a neaktuální. „Současná výškopisná data a výškopisné produkty jsou v určitých územních typech již zastaralé a svou přesností a kvalitou limitují rozvoj územně orientovaných a řídicích systémů.

Na základě analýzy uživatelských potřeb a analýzy možných metod tvorby a aktualizace výškopisných databází bylo navrženo zajistit tvorbu nového výškopisu ČR metodou leteckého laserového skenování“. [3]

Nyní probíhá letecké laserové skenování (dále jen LLS) celého území České republiky, které je rozděleno do tří pásem (pásma střed 2009–2010, pásma západ 2010–2011, pásma východ 2011–2012). Výškopisné mapování provádí Český úřad zeměměřický a katastrální a mělo by být hotovo do roku 2012 spolu s digitálním modelem reliéfu čtvrté generace DMR 4G ve formě mříž (grid). Dalším výškopisným produktem vzniklým na základě nového výškopisného mapování bude DMR 5G ve formě nepravidelné trojúhelníkové sítě (nazývané anglicky „Triangular Irregular Network“, zkratka TIN) a digitální model povrchu první generace (akronym DMP 1G) ve formě TIN. Tyto produkty by měly být hotovy do konce roku 2015.

LLS probíhá současně také v soukromém sektoru. Firma GEODIS BRNO, spol. s r.o. realizuje LLS celého povrchu ČR.

2. Cíle práce

Lidarová data by dle údajů poskytovatelů měla dosahovat nejvyšší výškové i polohové přesnosti z dostupných zdrojů dat pro tvorbu DMR.

Pro určení přesnosti DMR odvozených z lidarových dat bývá zpravidla použit konečný počet kontrolních bodů s výškou určenou nezávislým zdrojem, například pomocí statické metody GPS měření, geodetického měření, technické nivelace. Hodnoty trigonometrických a nivelačních bodů jsou poté porovnány s odpovídajícími hodnotami v DMR. ČUZK hodnotí přesnost svých lidarových dat v „Projektu tvorby nového výškopisu území České republiky“. [3]

Dále je hodnocení přesnosti zdrojů dat pro DMR popsáno v práci „Hodnocení přesnosti DMR“ Ing. Michala Podhorányiho a kol. [2] z pohledu vhodnosti digitálních výškopisných dat pro modelování povodí.

V této práci se zaměřím na obecné porovnání digitálních modelů reliéfu vytvořených z dat z různých zdrojů. Porovnávána bude výšková přesnost modelů. Polohová přesnost porovnávána nebude, protože polohové porovnání využívá velmi složitých metod a bakalářská práce pro takovéto porovnávání svým rozsahem neposkytuje dostatečný prostor.

Práce bude sloužit pro obecného uživatele výškopisných produktů a dat jako podpora při rozhodování o výběru vhodného zdroje dat.

2.1. Zásady pro vypracování a dílčí cíle práce

- Prvním testovacím územím bude soutok řek Olše a Stonávky, druhým okolí Dobrušky
- Zjistit všechny možné zdroje dat pro tvorbu DMR, pokrývajících obě oblasti a vyhodnotit zdroj nejpřesnějších dat
- Získat data z jednotlivých zdrojů
- Vygenerovat jednotlivé DMR
- Porovnat jednotlivé dvojice DMR mezi sebou
- Zhodnotit výskyt náhodných a systematických rozdílů
- Seřadit jednotlivé zdroje dle klesající správnosti
- Provést ekonomické zhodnocení použití dat z jednotlivých zdrojů

3. Úvod do problematiky DMR a určování přesnosti DMR

Digitální model reliéfu (dále jen DMR) je model, který má za cíl: „Reprezentovat spojitý povrch, tvořený nekonečným počtem bodů, konečným množstvím dat tak, aby byly zachovány požadované charakteristiky původního povrchu.“ [1] Mezi další obecně uznávané definice DMR patří také následující definice: „DMR je digitální reprezentací reliéfu terénu, složenou z dat a interpolačního algoritmu, umožňujícího odvozovat nadmořské výšky v libovolných bodech nacházejících se uvnitř modelované oblasti“[1].

Datové typy pro reprezentaci DMR jsou následující: grid, TIN, mříž (lattice), vrstevnice a plátový model. Nejčastěji používaný rastrový digitální model reliéfu je grid. Tento datový model je také zvolen pro účely porovnávání DMR v této práci. Ostatní typy neumožňují použití vhodné metody pro porovnání přesností jednotlivých DMR.

Kvalita DMR je obvykle posuzována výškovou a polohovou přesností DMR, ačkoli se v poslední době stává čím dál tím významnější také aktuálnost DMR. Kontrola kvality DMR je komplikovaná. Je nutné dbát na co nejmenší vnášení chyb do DMR v procesu tvorby DMR. Naměřená data budou vždy obsahovat chyby, bez ohledu na metodu, která byla pro měření použita. Příkladem chyby může být zkreslení čočky, lidská chyba (omyl), nepřesnost měřické techniky, chyby při zpracovávání dat, atd.

Obecně se ve zdrojových (surových) datech pro DMR mohou vyskytovat následující druhy chyb (rozdělení dle teorie chyb):

- Hrubé chyby
- Náhodné chyby
- Systematické chyby

Definice náhodné chyby podle Terminologické komise ČÚZK:

„Náhodná chyba je složka chyby měření, která se při více měřeních téže veličiny nepředvídatelně mění. Pozn. charakteristické vlastnosti těchto chyb např.: malé chyby se vyskytují častěji než velké chyby, vyskytuje se přibližně stejný počet kladných a záporných chyb; na náhodné chyby lze aplikovat obvykle teorie chyb, např. metodu nejmenších čtverců; zavedením oprav není možné náhodné chyby vyloučit.“[26]

Definice systematické chyby podle Terminologické komise ČÚZK:

„Systematická chyba je složka chyby měření, která při více měřeních téže veličiny zůstává stálá, nebo která se předvídatelným způsobem mění. Pozn. příčiny systematických chyb mohou být známé či neznámé; některé systematické chyby lze separovat a jejich vliv pak lze vyloučit používáním předepsaných měřicích postupů, výpočtem nebo kalibrací. Zpravidla je nelze určit např. opakovaným měřením.“ [26]

Definici hrubé chyby Terminologický slovník ČÚZK neobsahuje. Hrubá chyba vzniká lidskou nepozorností, nebo omylem, například přehlédnutím, při odečítání, nebo zapisování údajů, použitím špatného přístroje atd. hrubá chyba se dá většinou snadno odhalit, protože se nápadně liší od ostatních hodnot. Vliv těchto chyb je možné vyloučit.

DMR je prostorovou reprezentací reliéfu terénu, a proto bude nevyhnutelně obsahovat určité množství chyb ve všech třech dimenzích prostoru (na souřadnicích X, Y, Z). Chyba v souřadnicích X a Y se označuje jako polohová, nebo také horizontální chyba, zatímco chyba v souřadnici Z se označuje jako výšková, někdy také vertikální.

Hodnocení přesnosti DMR může být provedeno dvěma způsoby:

- Oddělené posouzení výškové a polohové přesnosti
- Současné stanovení výškové i polohové přesnosti

Dříve byla zjišťována výšková a polohová chyba zvlášť, později se začalo přistupovat k alternativní metodě, a tou je společné hodnocení obou komponent chyby. Tato práce je zaměřena na výškovou přesnost DMR. Pro hodnocení polohové přesnosti není v bakalářské práci dostatek prostoru, toto hodnocení je sofistikovanější a na toto téma také existuje méně studií. Hodnocení výškové přesnosti je provedeno metodou kontrolních (referenčních) bodů. Nadmořské výšky těchto bodů, v našem případě nivelačních bodů, jsou porovnány s nadmořskými výškami odpovídajících pixelů gridu DMR.

Při alternativním přístupu, tj. simultánním porovnání výškové i polohové chyby je požadována možnost měření chyby v trojrozměrném prostoru. Pro takovéto určení chyby je nutné získat prostorovou informaci o chybě. Nestačí informace o chybě pouze v jednom směru. Taková data se obtížněji získávají. V této oblasti nepanuje všeobecná shoda názorů na posuzování přesnosti. To je dalším důvodem, proč se v praxi nejčastěji stanovuje pouze vertikální přesnost DMR.

V oblasti sběru dat pro DMR se předpokládá normální distribuce chyb v prostorových datech, ačkoli to nemusí být nutně případ rozdělení chyb v DMR jak vyplývá z výsledků studie profesora Li [12], křivky rozdělení chyb DMR jsou plošší než u normálního rozdělení $N(0,1)$.

V Evropě vzniká infrastruktura geografických dat prostřednictvím organizace EuroGeographics. Členem organizace jsou téměř všechny státy Evropy. [21] Organizace má v ČR zastoupení v podobě ČÚZK. Jedním z produktů je EuroDEM v 1.0, což je DMT. [22] Nicméně standardy pro DEM v Evropě tak jako např. v USA USGS zatím neexistují.

3.1. Metody hodnocení přesnosti

Pro zpracování se používají dvě hlavní metody hodnocení přesnosti.

První a častěji používanou metodou pro hodnocení přesnosti DMR je statistická metoda. Pro kvantifikaci přesnosti DMR se používá střední kvadratická chyba spolu se základními statistickými charakteristikami pro dokreslení představy o statistickém souboru, kterým je v tomto případě rozdíl hodnot DMR a hodnot referenčních bodů.

Jako referenční (kontrolní) body pro statistické porovnání přesnosti budou sloužit nivelační body. Nejsou ideálně rovnoměrně rozmístěny v terénu, ale jsou to nejpresnější data, která je možné získat zdarma. Jedná se o body výškového bodového pole (VBP). Tyto body jsou z databáze ČUZK poskytovány k nahlédnutí, nebo ke stažení na webových stránkách organizace formou WMS služby. Zpracovatelem a garantem kvality je Zeměměřický úřad v Praze. Hodnoty nadmořské výšky bodů se uvádí v metrech s přesností na tři desetinná místa a výškový systém je vztažen k Baltskému moři.

Druhou metodou hodnocení je vizuální metoda, která slouží zejména pro identifikaci hrubých chyb v DMR. Tato metoda není příliš používána a neexistuje na toto téma také mnoho studií, jelikož je problém s kvantifikováním tohoto hodnocení. [2]

Hrubé chyby byly z lidarových dat (i z dat z databáze ZABAGED¹) již standardně profesionálně odstraněny, před tím než mi byly poskytnuty. Proto jsem se tímto problémem nemusela zabývat. Jako hrubé chyby můžeme vyhodnotit ty body, které se v mračnu bodů zobrazí pod průběhem terénu. Ve standardu USGS (United States Geological Survey, americká nezávislá vědeckovýzkumná vládní agentura vytvářející mj. standardy pro DEM v USA) je považována za hrubou chybu hodnota překračující hodnotu tří sigma tzn. odlehlá hodnota, která je větší než trojnásobek směrodatné odchylky v záporném i kladném směru. [23]

¹ Vrstevnice a grid z databáze ZABAGED by také již neměly obsahovat hrubé chyby, ale jsou známa i místa, kde je výšková chyba vrstevnic dosahuje 40 m. Tento stav je nevyhovující a je to také jeden z důvodů vzniku nového výškopisu ČR metodou LLS.

3.2. Nalezení zdrojů dat pro DMR

V následujících odstavcích jsou blíže popsány dostupné zdroje dat pro tvorbu DMR na území České republiky.

Digitální model povrchu nazývaný zkratkou SRTM DEM byl vytvořen v rámci mezinárodního výzkumného programu „The Shuttle Radar Topography Mission” (zkratka SRTM). Program je realizován Národní agenturou pro zpravodajství o Zemi USA (National Geospatial-Intelligence Agency, NGA) a Národním úřadem pro letectví a kosmonautiku USA (National Aeronautics and Space Administration, NASA). Cílem programu bylo přesné výškové zmapování povrchu Země. Realizace proběhla v roce 2000 při misi raketoplánu Endeavour. Nasnímáno bylo 80 % povrchu souše metodou radarové interferometrie. Zpracování první verze, které trvalo více než dva roky a zahrnovalo v sobě převod několika terrabytů naměřených radarových dat na informace o výškovém členění povrchu Země.[18]

Model SRTM DEM je v souřadnicovém systému WGS-84 a jeho prostorové rozlišení je na území USA 1 úhlová vteřina (přibližně 30 m na rovníku). Ve zbytku světa je prostorové rozlišení 3” (přibližně 90 m na rovníku), což je pro oblasti střední Evropy a tedy i ČR území o rozloze přibližně 60 m × 90 m (ve směru zeměpisné délky x zeměpisné šířky). Model je volně ke stažení z FTP NASA. Absolutní výšková přesnost SRTM je ±16 m. Absolutní přesnost označuje chybu za celý světový model. [13]

Globální výškový model ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) vznikl ve spolupráci japonského Ministerstva ekonomie, obchodu a průmyslu (METI) a americké kosmické agentury (NASA) a je dostupný zdarma všem zájemcům.

ASTER, po kterém je tento produkt pojmenován, je multispektrální barevný skener (Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer), který pracuje na družici Terra vypuštěné v prosinci 1999. Družice obíhá Zemi ve výšce 705 km. ASTER pořizuje data ve 14-ti spektrálních pásmech od viditelného až po infračervené záření a v blízkém infračerveném pásmu lze snímat data i ve směru šikmo dozadu, takže lze pro jednu oblast nasnímat stereoskopickou dvojici snímků s prostorovým rozlišením 15 metrů. Takovéto stereoskopické dvojice se dají použít k prostorovému zobrazení dané oblasti a k výpočtu výškových poměrů. ASTER GDEM je výsledkem automatického zpracování 1.5 milionů družicových scén, které trvalo zhruba jeden rok. Výsledný produkt

má podobu rastrového výškového modelu, kde hodnota každého pixelu odpovídá nadmořské výšce v metrech.

ASTER GDEM pokrývá pevninu od 83 stupňů severní do 83 stupňů jižní šířky. Je distribuovaný v rozlišení 1 úhlová vteřina, tedy zhruba 30 metrů na rovníku. V porovnání se starším zdarma dostupným výškovým modelem SRTM3 tedy nabízí ASTER GDEM větší pokrytí a třikrát lepší rozlišení. Výšková přesnost ASTER GDEM je 20 m. [13]

Kvůli své velikosti je ASTER GDEM rozdělený na dlaždice jeden krát jeden úhlový stupeň a každá dlaždice se překrývá o jeden pixel se sousedními dlaždicemi (jejich velikost je 3601 x 3601 pixelů). Každá dlaždice nese označení zeměpisných souřadnic svého levého dolního rohu.

ASTER GDEM verze 1 není považován za hotový a neměnný produkt, ale počítá se s jeho dalším zpřesňováním. METI a NASA považují tuto první verzi za spíše experimentální. Při znalosti všech nedostatků a omezení je ale tento produkt do značné míry prakticky použitelný. METI i NASA se zároveň spoléhají na to, že odezva a spolupráce uživatelů pomůže při jeho budoucím vylepšování. ASTER GDEM je dostupný zdarma (FTP přístup).“ [12]

Za zmínku stojí také nejpodrobnější komerční multispektrální družice GeoEye-1 americké společnosti GeoEye, která byla vypuštěna 6. září 2008. Družice obíhá Zemi ve výšce 684 km a díky svému orbitu umožňuje snímat každé místo na Zemi v intervalu 3 dnů. Prostorové rozlišení družice je 0,41 m panchromaticky a 1,65 m multispektrálně. Takové rozlišení nemá žádná jiná komerční družice, i když kvůli omezení USA jsou snímky převzorkovány na rozlišení 0,5 m. Na většině území dosahuje výšková přesnost snímků do 0,5 m [25] a je závislá na tvárnosti terénu. Archiv snímků není na území České republiky příliš obsáhlý, ale každým dnem se rozšiřuje. Data je možné objednat v různém stupni zpracování a dostupné jsou i stereosnímky, nejsou však zdarma, a proto bohužel nemohou být zahrnuty v této práci. [24]

Pro generování DMR mohou být použita také data ze státní databáze ZABAGED®. Tato Základní báze geografických dat je digitální topografický model území ČR odvozený z mapového obrazu Základní mapy České republiky 1:10 000. Orgánem zodpovědným za databázi je ČÚZK. ZABAGED® integruje prostorovou složku vektorové grafiky s topografickými relacemi objektů a složku atributovou. ZABAGED® se skládá

ze 106-ti typů geografických objektů. Obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, atd.

Naplnění databáze ZABAGED® proběhlo v roce 1995 vektorovou digitalizací Základní mapy 1:10 000 (ZM10). Aktualizace probíhá co 3 roky s využitím ortofotosnímků. Data ZABAGED® je možné získat po mapových listech v kladu ZM 10, v rozsahu krajů, nebo jako ucelená bežešvá databáze celé ČR. Vektorový polohopis je poskytován ve formátu DGN, dále ve formátu SHP nebo GML. Data jsou poskytována v souřadnicových systémech S-JTSK, WGS84/UTM a výškovém systému Balt po vyrovnání. [13]

Podle dosavadních poznatků firmy Geodis jsou vrstevnice z výše uvedených map poměrně kvalitní a přesné v kopcovitém (i přímo hornatém) terénu, poněkud horší v terénu rovinatém a doslova špatné v sídlech, zejména v těch větších. [6]

S příchodem lidarové technologie (LIDAR z angl. Light Detection and Ranging) dálkového průzkumu Země je možné docílit nebyvalé polohové i výškové přesnosti DMR. Velmi drahý a technicky náročný je jak samotný sběr dat, tak následné zpracování surových dat do podoby vhodné pro tvorbu DMR. Mezi výhody této technologie patří rychlý sběr dat pro rozsáhlé území, a to navíc s vysokou hustotou vzorkování. Tato velká hustota bodů může být nevýhodou při zpracovávání a zobrazování dat. Z toho důvodu byl například pro program ArcGIS firmy ESRI vytvořen nový souborový formát pro práci s lidarovými daty nazývaný Terrain.

„Metoda leteckého laserového skenování je založena na určování geocentrických souřadnic (x_p, y_p, z_p) bodů na zemském povrchu metodou prostorového rajonu, kdy počátek rajonu je dán polohou ohniska leteckého laserového skeneru (x_0, y_0, z_0), určenou zpravidla pomocí DGPS v souřadnicovém referenčním systému WGS 84, a kde směr laserového paprsku je dán součtem úhlů natočení (κ, φ, ω) souřadnicové soustavy skeneru (vzhledem ke geocentrické souřadnicové soustavě systému WGS 84) a úhlu (Θ), pod kterým je laserový paprsek odchýlen od svislic při vyslání ze skeneru. Úhly natočení skeneru (κ, φ, ω) vzhledem ke geocentrické souřadnicové soustavě systému WGS 84 jsou měřeny za letu pomocí velmi přesného inerciálního navigačního systému. Vzdálenost pozemního bodu od ohniska skeneru je vypočítána z času uplynulého mezi vysláním a přijetím odraženého laserového paprsku. ...

Letecký laserový skener je zařízení, které rozmítá laserový paprsek v rovině přibližně kolmé na dráhu letu a měří vzdálenosti od skeneru k pozemním bodům, a to s frekvencí až 160 000 měření za vteřinu. V takovém případě je letecký laserový skener schopen zaměřit až 160 řad výškových bodů za vteřinu s 1000 výškovými body v každé řadě. Výsledným produktem vlastního skenování jsou soubory (mračna) výškových bodů v geocentrických souřadnicích (xp, yp, zp).“ [3]

Jako oblast pro skenování v projektu Floreon byla zvolena lokalita o rozloze cca 2 x 5 km v jihozápadní části města Karviná. Nálet byl proveden švédskou firmou s názvem TopEYEAB. Použitý laserový systém MK-II je tvořen skenerem s frekvencí 50 kHz, inerciálním navigačním systémem a GPS přijímačem. Skenování proběhlo 2. února 2007 a laserový systém byl nesen helikoptérou D-Hahn. Výška letu byla 300 m a hustota laserových bodů na terénu přibližně 19 bodů/m² (včetně tříd obsahujících vegetaci). Třída obsahují pouze body pro tvorbu DMR obsahuje v průměru zhruba 7 bodů/m².

Mračna bodů jsou zaznamenávána v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM zóna 33N² a v elipsoidických výškách. Poté jsou mračna transformována do souřadnicového systému S-JTSK a Bpv. Hrubé chyby skenování se zobrazí jako body pod terénem a jsou z mračna odstraněny. Před ukončením zpracování se model rozdělí do tříd, dle odrazu od terénu, nízké vegetace (do 0,35 m) a vysoké vegetace (nad 0,35 m). Na závěr se model manuálně zkontroluje a doplní v případě, že selže v některých místech automatická klasifikace DTM. (zdrojem je technická zpráva firmy Geodis: Zaměření DTM metodou laserového laserscanningu)

Pro druhou testovanou oblast v lokalitě obce Dobruška byla data převzata z archivu ČUZK, z projektu tvorby nového výškopisu ČR. Území má rozlohu asi 47 km². Experimentální sběr dat pro potřeby testování LLS byl proveden 24. dubna a 26. června 2008. Letová výška při sběru dat byla 1200 až 1500 m a hustota laserových bodů na terénu přibližně 1,2 bodů/m². Data jsou pořizována také v souřadnicovém systému WGS-84, v elipsoidické výšce a poskytována v zobrazení UTM Zóna 33N. Mračna bodů jsou v datovém formátu textovém, tj. ASCII formátu (X, Y, Z) a ve formátu DMR 4G s rozlišením 5 x 5 m. Střední souřadnicová chyba DMR 4G dosahuje 0,30 m.

² Katastrální území Karviná spadá již do pásma UTM 34 N, ale protože většina území České republiky se nachází v pásmu UTM 33 N, je zvykem používat pro celou ČR pásmo 33N. Zkreslení způsobené změnou pásma je nevýznamné a nemá vliv při porovnávání DMR.

3.3. Souhrn dostupných zdrojů dat pro tvorbu DMR v ČR

Následuje krátký přehled dostupných zdrojů dat spolu s jejich poskytovateli.

- SRTM DEM, poskytován NASA, NGA
- ASTER GDEM, poskytován NASA, METI
- LIDAR
 - Data pro k.ú. Karviná pochází z projektu Floreon, financovaného VŠB – TUO a realizovaného firmou GEODIS BRNO spol. s r.o.
 - Data pro k. ú. Dobruška pochází z projektu tvorby nového výškopisu území ČR, ČÚZK
- ZABAGED®, ČÚZK
 - Mříž (grid) 10 x 10 m
 - Vrstevnice

Mezi dostupnými zdroji dat není zařazen DMR 3. generace vytvořený MO ČR stereofotogrammetrickým mapováním v letech 2003 až 2008, protože armáda již neposkytuje data civilnímu sektoru.

Fotogrammetrický DEM firmy GEODIS BRNO spol. s r.o. je studentům poskytován s padesátiprocentní slevou, ale univerzitou mi nebyly poskytnuty finance, proto data nebudou použita.

Při získání ASTER GDEM nastaly dále popsané potíže, a proto tento model také není zařazen v porovnávání.

Název	Rok	Formát	Rozlišení	Výšková přesnost/ Střední chyba výšky: σ_z	Souřad. systém	Cena pro běžného uživatele	Poskytovatel	Metoda vzniku
SRTM DEM (SRTM 3)	2000	Rastr	60 x 90 m (3'')	V. přesnost 16 m	WGS-84	Zdarma	NASA,NGA	Radarová interferometrie
ASTER GDEM	1999	Rastr	20 x 30 m (1'')	V. přesnost 20 m	WGS-84	Zdarma	NASA, METI	Multispektrální skenování
ZABAGED® vrstevnice	1952 až 1957 VTM 25 a	Vektor	krok vrstevnic 2 m	σ_z : 0,7 - 1,5 m ¹ 1 - 2 m ² 2 - 5 m ₃	S-JTSK	1ML ZM10 244,- (18 km ²)	ČUZK	Vojenské topografické mapování
ZABAGED® mříž 10 x 10 m	1957 až 1971 ZM10*	Rastr	10 x 10 m	σ_z : 1,5 - 2,5 m ¹ 2 - 3 m ² 3 - 7 m ³	S-JTSK	1ML ZM10 244,- (18 km ²)	ČUZK	Vojenské topografické mapování
DMR4G LIDAR (Dobruška)	2008	Rastr Vektor: Mračna bodů	5 x 5 m 1 bod/m ²	σ_z : 0,3 m ¹ 1 m ³	WGS-84	Nezjištěno	ČUZK	Letecké laserové skenování
LIDAR (Karviná)	2007	Vektor: Mračna bodů	7 bodů/m ²	-	S-JTSK	Nezjištěno	ČUZK	Letecké laserové skenování

Tabulka 1 Přehled dostupných zdrojů dat a jejich parametry

¹ v odkrytém terénu; ² v intravilánu; ³ v zalesněném terénu; všechna data jsou ve výškovém systému Bpv

* vojenské topografické mapování ČSSR pro mapu v měřítku 1:25000 a civil. i vojenské mapování pro základní mapu v měřítku 1:10000

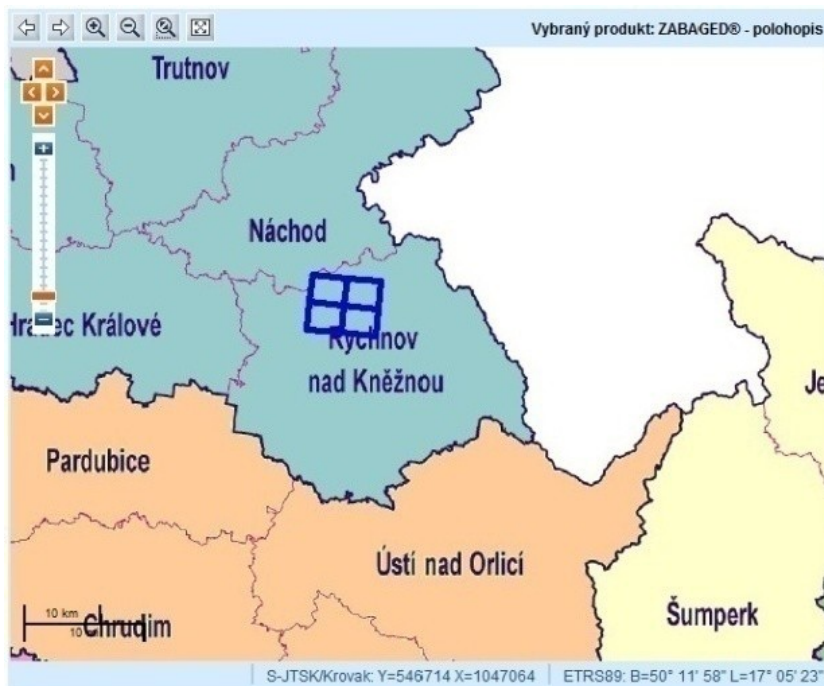
4. Vymezení vhodné testovací oblasti a návrh vhodného způsobu zpracování

Testovací oblast by měla splňovat určité požadavky, aby mělo porovnání přijatelnou výpovědní hodnotu. Oblast by měla obsahovat rovinný i hornatý terén, zastavěné i nezastavěné území a zalesněné i odkryté povrchy. V případě této práce bylo také nutné, aby pro testovací oblast byla dostupná data z leteckého laserového skenování. Ta budou sloužit jako reference při porovnávání DMR vytvořených z jednotlivých zdrojů dat, protože by teoreticky měla dosahovat nejvyšší přesnosti. Výběr testovací oblasti tedy probíhal také na základě dostupnosti dat. Data pro tvorbu DMR pořízená dalšími přesnějšími metodami (např. geodetické měření, GPS měření) nejsou zdarma dostupná, proto také nebudou v práci použita.

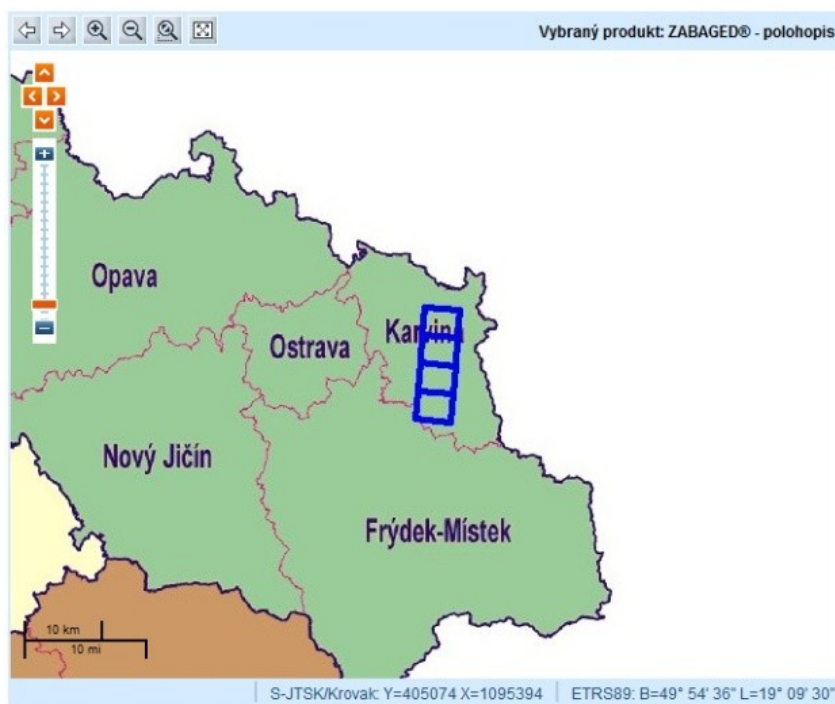
Požadavkům pro testované území vyhovovaly dvě lokality. První lokalitou je území v obci Dobruška, nacházející se v katastrálním území Dobruška. Pro tuto oblast jsem získala data od ZÚ, zeměměřického odboru Pardubice, protože tato oblast byla také jejich testovací lokalitou pro projekt LLS. Na tomto území se nachází převážně zastavěné a rovinné území.

Druhou oblastí je soutok řeky Stonávky a Olše v katastrálním území Staré Město u Karviné, Karviná – Doly a Karviná - město v okrese Karviná v Moravskoslezském kraji. Data pokrývají území o délce 3.2 km kolem koryta řeky Stonávky a 5.9 km podél toku řeky Olše. Lidarová data poskytla VŠB-TUO z databáze projektu FLOREON, financovaného Moravskoslezským krajem. Na tomto území se nachází rovinné plochy rozprostírající se kolem koryt obou řek a na severozápadě a jihozápadě území také hornatější oblasti. Zcela zde chybí zastavěné území.

Na následujících snímcích obrazovky můžeme vidět výřez z aplikaci Geoportál a v modrém rámečku zájmové oblasti. Jsou to 4 ML ZABAGED@u pro každé území. Jedná se o ML 15–44–03,08,13,18 a ML 14–11–13,14,18,19.



Obrázek 1: Snímek obrazovky, aplikace Geoportál ČUZK, katastrální území Dobruška, okres Rychnov nad Kněžnou, Královehradecký kraj



Obrázek 2 Snímek obrazovky, aplikace Geoportál ČUZK, katastrální území: Staré Město u Karviné, Karviná – Doly a Karviná – město, okres Karviná, Moravskoslezský kraj

Po získání dat pro vymezené testovací oblasti mohlo být přistoupeno k návrhu způsobu zpracování.

Pro oba způsoby porovnání (statistický i vizuální) bylo nejprve nutné vygenerovat DMR pro obě testovací oblasti. Aby bylo možné jednotlivé DMR mezi sebou vhodným způsobem porovnat, musely mít jednotný datový typ a být ve stejném datovém formátu. Po pečlivém výběru byl zvolen rastrový datový typ, ve formátu grid (ESRI grid). To umožňuje zjistit hodnotu DMR ve kterémkoli jeho bodě a souřadnice tohoto bodu.

Data ze všech získaných zdrojů musela být konvertována do tohoto datového typu. Modely byly vygenerovány v takovém rozlišení, aby výšková a polohová přesnost původních zdrojů dat zůstala zachována, a aby nedošlo ke ztrátě informace o terénu generalizací DMR. V tabulce 3 (kapitola 5, Popis způsobu zpracování) je rozlišení jednotlivých DMR, které bylo při zpracování využito.

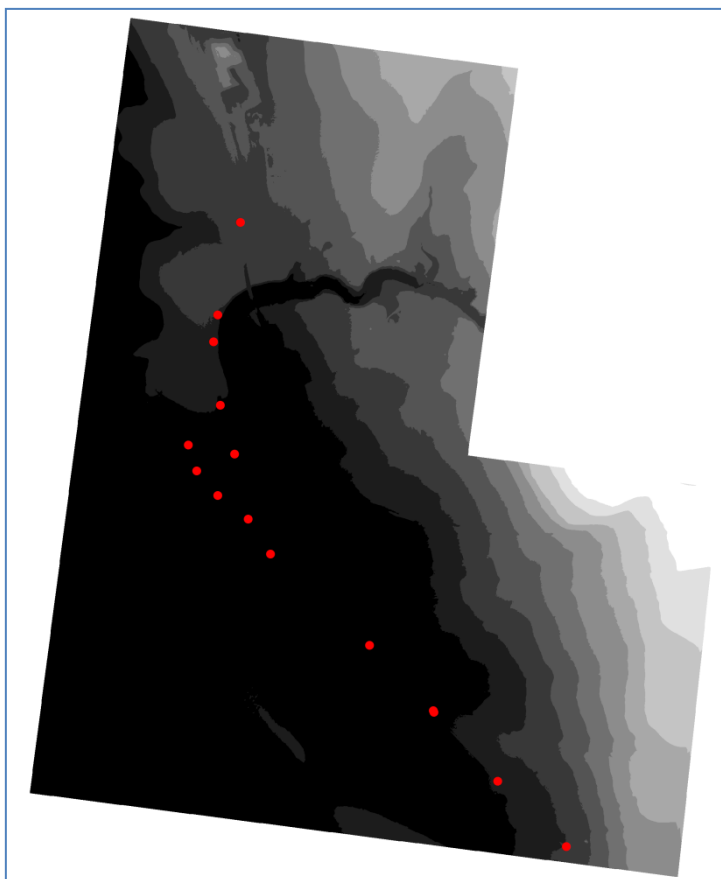
Data musela být také transformována do jednotného souřadnicového systému. Tím byl zvolen souřadnicový systém S-JTSK, protože je závazný pro ČR. Dalším vhodným systémem pro porovnání by byl systém WGS-84. Jednoduchým testem na lidarových datech bylo ověřeno, že v souřadnicovém systému WGS-84 dosahovaly výsledky porovnání identických, nebo téměř identických hodnot, jako výsledky porovnání v S-JTSK. Rozdíly porovnání v obou systémech dosahovaly hodnot v řádech prvních milimetrů. Tento rozdíl je nevýznamný, proto jsem celé porovnání provedla pouze v souřadnicovém systému S-JTSK.

Lidarová data z oblasti Dobruška byla pro test použita, protože dosahují nejvyšší přesnosti z dostupných zdrojů dat. Pro porovnávání byly zvoleny body v DMR, které mají identické souřadnice se známými nivelačními body. V následující tabulce jsou vypsané zkoumané body.

Porovnání výšek DMR v metrech v souřadnicovém systému S-JTSK a WGS-84				
Číslo bodu	Nivelační bod	DMR v S-JTSK	DMR ve WGS-84	Rozdíl výšek
1	318,846	318,520	318,522	-0,002
2	314,067	313,944	313,943	0,001
3	312,870	312,639	312,644	-0,005
4	307,345	307,089	307,089	0,000
5	290,064	289,821	289,818	0,003
6	298,283	298,521	298,521	0,000
7	293,001	292,520	292,525	-0,005
8	296,659	296,582	296,580	0,001
9	300,754	300,563	300,565	-0,002
10	295,166	295,204	295,204	0,000
11	299,494	299,267	299,267	0,000
12	304,515	304,978	304,971	0,006
13	310,167	310,362	310,362	0,000
14	315,525	315,775	315,772	0,003
15	303,440	304,603	304,601	0,002

Tabulka 2: Porovnání výšek [m] DMR v souřad. systému S-JTSK a WGS-84

Na následujícím obrázku je DMR území znázorňující data z tabulky. Jedná se o DMR s rozlišením 0,1 m x 0,1 m vytvořený z lidarových dat a nivelační body (zobrazeny červeně). Chybějící obdélník není znázorněn, protože na tomto území se nenachází nivelační body, které slouží také jako kontrola pro eliminaci hrubých chyb při odečítání výšek. Barevná stupnice zobrazující výšky v DMR je pro jednoduchost rozdělena na 10 tříd (odstínů šedi). Pravý dolní obdélník je vytvořen z jiného souboru obsahujícího mračno bodů. V důsledku rozdílného počtu bodů v jednotlivých souborech a hustotě bodů na metr čtvereční vychází jiná průměrná vzdálenost bodů, a je tedy nutné vytvořit zvláštní třídu tzv. Terrain pro tento soubor. V důsledku toho obsahuje rastr jiný rozsah hodnot a stupnice barev pro zobrazení musela být upravena podle prvního rastru, tak aby hodnoty ze stejné třídy výšek byly zobrazeny stejnou barvou.



Obrázek 3: Ukázka rozmístění nivelačních bodů (červeně) na lidarovém DMR

Z obrázku je také zřejmé, že rozložení bodů v terénu není zcela ideální. V ideálním případě by mělo být 5 – 10% hodnot na okraji DMR a zbývající hodnoty zhruba rovnoměrně rozmístěny ve střední části DMR.

Nivelační body, které slouží jako kontrolní body, jsou poskytovány v souřadnicovém systému S-JTSK s výškovým systémem Bpv. Není nutné je transformovat. Textový formát těchto dat se importuje do SW ArcGIS pomocí funkce s názvem Make XY Event Layer do vektorového formátu ESRI shapefile point.

DMR, které mají stejný formát i souřadnicový systém, mohou být porovnávány vzájemně mezi sebou i s vektorovou vrstvou kontrolních bodů.

Navrhuji jednotlivé DMR porovnat statisticky i vizuálně. Statisticky s nivelačními body a vizuálně jednotlivé DMR s nejpřesnějším zdrojem dat tj. lidarovým, které v tomto případě vizuálního hodnocení poslouží jako referenční.

Aby mohla být převedena i lidarová data do rastrové podoby, navrhuji konvertovat soubory obsahující mračna výškových bodů do formátu Terrain. Tento formát umožňuje zvolit optimalizační pravidlo při generování sítě. Prvním pravidlem je pravidlo Z-tolerance, vhodné pro generování Terrainu ze třídy bodů obsahující pouze body vzniklé odrazem lidarového paprsku od povrchu Země. Toto pravidlo bylo využíváno v této práci, protože k dispozici byla pouze data z této třídy bodů. Druhým typem je pravidlo s názvem Window size typ pyramid, které je vhodné pro generování sítě z ostatních tříd bodů (vegetace, budovy, vodstvo). Z Terrainu je možné pomocí funkce Terrain To Raster vygenerovat vhodnou síť buněk pro porovnávání jednotlivých DMR s lidarovými DMR a s nivelačními body.

5. Získání dostupných zdrojů dat

Po rešerši dostupných zdrojů dat pro DMR v ČR bylo nutné nejprve získat data od ČUZK z databáze ZABAGED®. Objednávka byla provedena prostřednictvím internetového Geoportálu dne 26. 11. 2010. S automatickým generováním požadovaných dat z databáze nastaly neočekávané problémy, které byly vyřešeny až ručním výběrem a odesláním dat. Kladné vyřízení objednávky se tímto velmi protáhlo a bylo úspěšně vyřízeno až 22. 12. 2010.

Jakmile byla k dispozici data z databáze ZABAGED®, mohla jsem přistoupit k získání lidarových dat. Lidarová data pro testovací území soutoku Stonávky a Olše mi byla poskytnuta zdarma Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou Ostrava z databáze projektu FLOREON. Díky tomu nebylo nutné žádat o tato data ČUZK. Dalším důvodem také bylo, že pro toto území nemá ČUZK data prozatím zpracována. Se získáním těchto dat nenastaly žádné problémy.

Při získání lidarových dat pro druhou testovací oblast na území obce Dobruška však nastaly nepředpokládané problémy. VŠB – TU Ostrava neměla data zdarma k dispozici. Nebylo také možné data získat standardním způsobem přes webový portál ČUZK, jelikož testovací lidarová data ZÚ, zeměměřického odboru Pardubice z roku 2008 nebyla uložena v informačním systému ČUZK. ZÚ, zeměměřický odbor Pardubice v zastoupení pana Petra Dušánka a Karla Brázdila nejdříve nabídl data pro území pásma střed, ve kterém ale neleží mnou požadované testovací území. Data byla nakonec získána přímo z archivu ČUZK na základě předávacího protokolu a smlouvy přímo od zeměměřického odboru v Pardubicích. Tato data se mi podařilo získat 3. 2. 2011.

SRTM DEM byl stažen zdarma ze serveru společnosti ARCDATA Praha. Je k dispozici v souřadnicovém systému S-JTSK a není nutné jej transformovat. Rozlišení tohoto modelu je 100 m x 100 m. Toto rozlišení je menší, než rozlišení SRTM poskytovaného přímo NASOU. To by mělo teoreticky dosahovat v České republice hodnot 60 m x 90 m (zeměpisná délka x zeměpisná šířka).

Stažení ASTER GDEM bylo naplánováno realizovat prostřednictvím internetových stránek <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen/>. Na internetových stránkách stačí zadat geografické souřadnice požadovaného území a vygeneruje se požadovaný DEM.

Při získání ASTER GDEM však vzešly komplikace, jelikož výše uvedený generátor vytvořil při zadání korektních souřadnic DEM pro zcela odlišná území. Na následujícím obrázku je snímek obrazovky webové aplikace. Zeměpisné souřadnice obce Dobruška i Karviná byly pro kontrolu vyňaty z aplikace Google Earth, aby bylo možné vyloučit chybu ze souřadnic.

Dobruška, Česko:

Zeměpisná šířka: 50.292011°

Zeměpisná délka: 16.160243°

e.g.	31.9
	-115 -113
	27.3

ASTER1

51.0
north

16.0 16.5
west east

50.1
south

Generate


ID	1303428110.158.196.194.209
Status	Successfully completed query
Data	Download

Obrázek 4: Snímek obrazovky webové aplikace pro stažení ASTER GDEM na území obce Dobruška

Karviná, Česko:

Zeměpisná šířka: 49.853462°

Zeměpisná délka: 18.540812°



ID	1303428977.158.196.194.209
Status	Successfully completed query
Data	Download

Obrázek 5: Snímek obrazovky webové aplikace pro stažení ASTER GDEM v oblasti obce Karviná

Stažený DEM ve formátu GRD byl transformován ze souřadnicového systému WGS-84 do S-JTSK s použitím knihovny GDAL v OS Linuxu. Pro konverzi do formátu TIFF čitelného pro SW ArcGIS byl použit Open Source SW SAGA. Po importu do SW ArcGIS bylo zjištěno, že pravděpodobně došlo k chybě generátoru, a že se jedná o zcela odlišné území, než bylo zadáno. Celý postup byl třikrát zopakován, ale bez úspěchu. Tato data nebyla použita pro porovnání DMR.

5.1. Popis postupu zpracování

Pro zpracovávání byl zvolen SW ArcGIS americké firmy ESRI. Z ostatních SW byl použit pouze SW SAGA a knihovna GDAL, avšak pouze doplňkově. Nebylo účelem práce naučit se pracovat s novými aplikacemi.

Zvolena byla nejnovější verze softwaru tj. ArcGIS 10, protože umožňuje vícevláknovou práci, poskytuje mnohem více nástrojů pro práci s lidarovými daty a mnoho dalších výhod.

Zpracovávání probíhalo na desktopovém osobním počítači vybaveném čtyřjádrovým procesorem typu: Intel (R) Core(TM)2 Quad CPU Q9400 s frekvencí 2,66 GHz a RAM pamětí o kapacitě 4GB (použitelné: 3,25 GB). Operační systém je 32 bitový.

Po importu dat do SW ArcGIS bylo nejprve nutné data připravit pro zpracovávání. Ze SRTM se po importu do SW pouze vyřezala zájmová území a ta již byla připravena k dalšímu zpracovávání a porovnávání.

Grid z databáze ZABAGED® byl po několikanásobných problémech s automatizovaným poskytováním dat na straně ČÚZK nakonec vyexportován ručně a úspěšně poskytnut pro bakalářskou práci ve formátu ESRI shapefile multipoint. Z této bodové vrstvy bylo nutné vytvořit spojitý rastrový DMR pro porovnání s referenčními (nivelačními) body. Tyto body je možné stáhnout zdarma z databáze bodových polí Geoportálu ČÚZK. Pro konverzi formátu multipoint do vhodného formátu gridu bylo využito nástroje „Point To Raster“ z nabídky „3D Analyst“ z nástrojového boxu. Takto vytvořený rastr vyžadoval definování projekce a model již mohl být porovnáván s referenčními body.

Vrstevnice z databáze ZABAGED® byly také použity pro vytvoření rastru. Vhodnými nástroji pro konverzi jsou nástroje „Feature To TIN“ a následně „TIN To Raster“, které jsou také z nabídky „3D Analyst“ stejně jako předchozí funkce. Při využívání těchto funkcí je potřeba pečlivě volit parametry funkce a velikost buňky výstupního rastru tak, aby nedocházelo k přílišné ztrátě informací.

Lidarová data z projektu Floreon byla zkopírována do nově vytvořené osobní geodatabáze, aby s nimi mohlo být dále manipulováno. Poté se zjistil průměrný rozestup

bodů pomocí funkce „Point File Information“ a vytvořil se nový prázdný DMR ve formátu „Terrain“ (funkce „Create Terrain“), kterému se definují zjištěné parametry průměrných rozestupů. Do takto vytvořeného Terrainu už je možné vygenerovat model reliéfu pomocí funkce „ASCII 3D To Feature Class“. Následně se v Terrainu vytvoří pyramidové úrovně (obdoba pyramidových vrstev u rastru) pro zrychlení zobrazování prostřednictvím funkce „Add Terrain Pyramid Level“ a parametru z-tolerance. Tyto úrovně se ukládají k souboru a zvětšuje se tak jeho objem. Úrovní nesmí být ani příliš mnoho, ani příliš málo. Experimentálně mnou byl stanoven ideální počet úrovní na 3 (0 1000, 1 5000, 2.5 10000). Následuje funkce „Add Feature Class To Terrain“ pro přidání bodové vrstvy do připraveného terénu. Takto vytvořený a naplněný Terrain po zpracování funkcí „Build Terrain“ může být zobrazen. Všechny výše zmíněné funkce jsou ze skupiny 3D Analyst programu ArcGIS.

Soubory s příponou xyz, v nichž jsou obsaženy souřadnice bodů, mají okolo 160 tisíc položek a bylo by obtížné s nimi pracovat v jiném formátu než je terrain. Na závěr se před dalším zpracováním z terrainu vygeneruje rastr pomocí funkce „Terrain To Raster“. Tato operace je časově velmi náročná. Pro území 2 km x 2 km, 1ML SM5 trvá zhruba 10 minut (při výše popsaném výpočetním výkonu). Pro porovnání bylo nutné vygenerovat 2 ML.

Lidarová data od ČÚZK z obce Dobruška musela být zpracována stejným způsobem, jako data s projektu Floreon.

Tento postup se může jevit komplikovaný a zdlouhavý, ale práce s výsledným formátem je pak velice snadná a rychlá. Nehledě na fakt, že s takovýmto množstvím dat jaké vzniká při LLS je téměř nemožné pracovat v jiných datových formátech. (Další SW pro práci s lidarovými daty je například program SW SCOP++ německé firmy INPHO GmbH).

Území, pro které se mi podařilo získat data z jednotlivých zdrojů, se ne vždy ideálně překrývá. Pro porovnání byl použit maximální možný počet kontrolních (nivelačních) bodů, který byl k dispozici pro dané území a ten se může lišit u jednotlivých DMR.

Po získání dat mohlo být zahájeno statistické porovnávání.

Pro statistické porovnání byly použity následující vzorce:

- o Střední kvadratická chyba

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_N - z_{DMR})^2}{N}}$$

z_N výška nivelačního bodu

z_{DMR} výška DMR

N počet kontrolních (nivelačních) bodů

- o Standardní chyba

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2}{N}}$$

N počet kontrolních (nivelačních) bodů

\bar{d} průměrná chyba

- o Průměrná chyba

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N}$$

$d_i = z_N - z_{DMR}$

N počet kontrolních (nivelačních) bodů

- o Extrémy

- Maximum: $z_M = \max_i(z_i)$

- Minimum: $z_m = \min_i(z_i)$

- o Rozsah (variační rozpětí argumentu z)

$$R = z_M - z_m$$

- o Medián: je ta hodnota argumentu z , která rozděluje uspořádaný soubor na dvě části o stejném počtu prvků.

- Modus: hodnota na ose x v místě, kde frekvenční funkce argumentu z dosahuje suprema (nejčetnější hodnota v souboru)
- Vážený průměr (v tomto případě odpovídá aritmetickému průměru)

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{N}$$

- Směrodatná odchylka (standardní chyba)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

μ první počáteční moment (střední hodnota z)

V následující tabulce je rozlišení vygenerovaných rastrů použitých pro porovnávání.

Rozlišení rastrů pro porovnávání v metrech	
Lidarové DMR	0,1 x 0,1
ZABAGED® (vrstevnice a grid)	10 x 10
SRTM	100 x 100

Tabulka 3: Rozlišení vygenerovaných rastrů pro porovnávání

Rozlišení bylo zvoleno tak, aby byla co nejlépe zachována přesnost původních dat, ale také tak, aby vygenerované soubory nebyly zbytečně objemné. U lidarových DMR by teoreticky postačovalo i rozlišení 0,2 x 0,2 m, ale protože je to nejpřesnější zdroj dat, bylo nutné za každou cenu zachovat přesnost. Při rozlišení 0,1 m x 0,1 m vzroste čtyřnásobně objem dat.

5.2. Statistické posouzení oblasti Dobruška

Základem statistického určení přesnosti DMR je střední kvadratická chyba (RMSE Root Mean Square Error), ale pro dokreslení obrazu o studovaném souboru byly vypočteny i některé další základní statistické veličiny jako je standardní a průměrná chyba [7], medián a směrodatná odchylka. Výsledky jsou shrnuty v následujícím textu a také v závěrečné tabulce.

Pro testovací území byly vypočteny základní statistické veličiny, podle postupu navrženého v kapitole 4. Směrodatná odchylka byla vypočtena pouze pro kontrolu, protože její hodnota se rovná hodnotě standardní chyby.

- ✚ RMSE SRTM DEM pro testovací oblast Dobrušky je 4,6 m. Standardní chyba dosahuje hodnoty 4,6 m a průměrná chyba hodnoty -0,8 m. Maximální hodnota je 8,9 m, min -8,5 m, medián je -0,5 m a směrodatná odchylka je 4,6 m.
- ✚ RMSE u výškopisu-vrstevnic ze ZABAGEDU® pro oblast Dobrušky vyšla 1,8 m. Standardní chyba 1,8 m. Průměrná chyba -0,0 m. Maximální hodnota statistického souboru je 2,0 m, minimum vychází -7,0 m, rozsah 9,0 m, medián 0,3 m, vážený průměr -0,0 m a směrodatná odchylka 1,8 m.
- ✚ RMSE pro DMR vytvořený z gridu ze ZABAGED®u pro oblast Dobrušky je 1,7 m a standardní chyba 1,6 m. Průměrná chyba dosáhla hodnoty -0,1 m. Maximální hodnota dosáhla úrovně 1,8 m, minimální -6,2 m a rozsah hodnot souboru je 7,9 m. Medián nabývá hodnoty 0,4 m a vážený průměr -0,1. Směrodatná odchylka se rovná hodnotě 1,6 m.
- ✚ RMSE pro lidarový DMR dosahuje hodnoty 0,396 m. Standardní chyba 0,396 m. Průměrná chyba -0,013 m. Maximální hodnota statistického souboru je 0,481 m, minimum vychází na hodnotu -1,163 m, rozsah 1,644 m, medián 0,123 m, vážený průměr -0,013 m a směrodatná odchylka 0,396 m.

Radka Matoláková: Porovnání DMR z různých zdrojů dat

Číslo bodu	Dobruška[m]								
	Nivelační bod	DMR SRTM	DMR ZBG ³ vrstevnice	DMR ZBG grid	DMR LIDAR	Rozdíl ⁴ NB ⁵ a SRTM	Rozdíl NB a vrstevnice	Rozdíl NB a grid	Rozdíl NB a LIDAR
1	318,846	318	318,0	318,1	318,520	0,8	0,84	0,79	0,326
2	314,067	308	314,4	314,9	313,944	6,1	-0,35	-0,86	0,123
3	312,870	304	313,2	313,4	312,639	8,9	-0,31	-0,49	0,231
4	307,345	306	306,1	306,1	307,089	1,3	1,25	1,28	0,26
5	290,064	291	290,0	290,6	289,821	-0,9	0,06	-0,53	0,24
6	298,283	302	298,1	297,9	298,521	-3,7	0,22	0,42	-0,24
7	293,001	297	292,6	292,7	292,520	-4,0	0,41	0,34	0,48
8	296,659	299	296,0	295,9	296,582	-2,3	0,67	0,78	0,08
9	300,754	301	300,0	300,0	300,563	-0,2	0,75	0,74	0,19
10	295,166	295	294,7	294,6	295,204	0,2	0,48	0,54	-0,04
11	299,494	297	298,6	298,6	299,267	2,5	0,92	0,92	0,23
12	304,515	304	305,3	305,6	304,978	0,5	-0,81	-1,04	-0,46
13	310,167	306	310,0	310,2	310,362	4,2	0,17	-0,03	-0,20
14	315,525	324	315,4	315,6	315,775	-8,5	0,10	-0,12	-0,25
15	327,170	328	326,5	326,4	304,603	-0,8	0,71	0,77	-1,16
16	329,075	337	329,3	329,6	-	-7,9	-0,21	-0,50	-
17	315,586	318	313,6	313,8	-	-2,4	1,96	1,79	-
18	316,788	325	323,8	322,9	-	-8,2	-7,04	-6,15	-

Tabulka 4: Výškové rozdíly mezi nivelačními body a příslušnými hodnotami v jednotlivých DMR, Dobruška

³ ZABAGED®

⁴ rozdíl výšek

⁵ nivelační bod

U porovnání lidarového DMR s nivelačními body chybí 3 poslední body, protože se nacházely za hranicí dostupných lidarových dat. Pro porovnání byl vždy použit maximální možný počet nivelačních bodů, proto nebylo žádoucí vyloučit tyto tři body z porovnání u ostatních DMR.

U vrstevnic je známo, že v některých místech významně nesplňují požadavky pro výškovou přesnost. Výšková chyba v problémových oblastech je až 40 m. Z tabulky plyne, že oblast Dobruška ani Karviná nepatří mezi tyto oblasti

Hodnota všech tří DMR v buňce, do které spadá nivelační bod č. 18, se jevila jako hrubá chyba (absolutní hodnota rozdílu je větší než hodnota 3 sigma, standard USGS [23]). Po překontrolování hodnoty u DMR z gridu ze ZABAGEDU® bylo zjištěno, že nivelační bod č. 18 (znázorněn ve žluté buňce na schématu dole) se nachází v těsné blízkosti sousední (zelené) buňky. Kdyby bod náležel zelené buňce, hodnota rozdílu by splňovala pravidlo 3 sigma tj. 4,947 m. Z tohoto případu vyplývá, že malá polohová chyba může způsobit výraznou chybu výškovou a může způsobit až vyloučení hodnoty ze statistického souboru.

323,79	324,54
321,47	322,94

Schéma 1: Problematika sousedních buněk, Dobruška

5.3. Statistické posouzení oblasti Karviná

Pro statistické porovnání DMR v oblasti Karviná byl zvolen stejný postup jako pro porovnávání v oblasti Dobruška.

- ✚ RMSE SRTM DEM pro testovací oblast Olše je 3,9 m. Standardní chyba dosahuje hodnoty 1,7 m a průměrná chyba hodnoty 3,5 m. Maximální hodnota je 7,1 m, min -0,4 m, medián je 3,9 m a směrodatná odchylka je 1,7 m.
- ✚ RMSE u výškopisu-vrstevnic ze ZABAGEDU® pro oblast Dobrušky vyšla 1,4 m. Standardní chyba 1,3 m. Průměrná chyba 0,1 m. Maximální hodnota statistického souboru je 3,5 m, minimum vychází -2,2 m, rozsah 5,8 m, medián 0,0 m, vážený průměr 0,1 m a směrodatná odchylka 1,3 m.
- ✚ RMSE pro DMR vytvořený z gridu ze ZABAGED®u pro oblast Dobrušky je 1,4 m a standardní chyba 1,1 m. Průměrná chyba dosáhla hodnoty 0,9 m. Maximální hodnota dosáhla úrovně 2,8 m, minimální -2,1 m a rozsah hodnot souboru je 4,9 m. Medián nabývá hodnoty 0,7 m a vážený průměr 0,9 m. Směrodatná odchylka se rovná hodnotě 1,1 m.
- ✚ RMSE pro lidarový DMR dosahuje hodnoty 2,039 m. Standardní chyba 1,491 m. Průměrná chyba 1,390 m. Maximální hodnota statistického souboru je 4,600 m, minimum vychází na hodnotu -3,213 m, rozsah 7,813 m, medián 1,351 m, vážený průměr 1,390 m a směrodatná odchylka 1,491 m.

Radka Matoláková: Porovnání DMR z různých zdrojů dat

Číslo bodu	Karviná [m]								
	Nivelační bod	DMR SRTM	DMR ZBG ⁶ vrstevnice	DMR ZBG grid	DMR LIDAR	Rozdíl ⁷ NB ⁸ a SRTM	Rozdíl NB a vrstevnice	Rozdíl NB a grid	Rozdíl NB a LIDAR
1	218,819	217	219,8	-	218,266	1,8	-1,0	-	0,553
2	219,811	219	220,0	-	219,516	0,8	-0,2	-	0,295
3	220,889	217	221,4	-	220,24	3,9	-0,6	-	0,649
4	221,297	217	221,0	-	219,831	4,3	0,4	-	1,466
5	220,918	217	220,8	-	220,364	3,9	0,1	-	0,554
6	222,123	218	221,2	-	220,518	4,1	0,9	-	1,605
7	222,337	219	222,3	-	221,806	3,3	0,0	-	0,531
8	223,167	221	222,6	-	222,319	2,2	0,5	-	0,848
9	221,322	220	223,5	-	219,383	1,3	-2,2	-	1,939
10	222,003	219	223,9	-	221,874	3,0	-1,9	-	0,129
11	224,677	222	224,0	-	224,108	2,7	-1,0	-	0,569
12	225,632	226	225,6	-	221,968	-0,4	-0,0	-	3,664
13	228,113	223	226,1	-	226,552	5,1	2,0	-	1,561
14	225,190	224	226,6	-	225,707	1,2	-1,5	-	-0,517
15	228,909	225	227,5	-	226,213	3,9	1,4	-	2,696
16	229,021	225	228,8	-	227,785	4,0	0,2	-	1,236
17	228,831	223	229,1	-	228,022	5,8	-0,2	-	0,809
18	227,167	223	225,7	225,7	224,598	4,2	1,5	1,427	2,569
19	230,302	225	228,2	228,2	227,586	5,3	2,1	2,132	2,716

⁶ ZABAGED®

⁷ rozdíl výšek

⁸ nivelační bod

Číslo bodu	Karviná [m]								
	Nivelační bod	DMR SRTM	DMR ZBG ⁹ vrstevnice	DMR ZB grid	DMR LIDAR	Rozdíl ¹⁰ NB ¹¹ a SRTM	Rozdíl NB a vrstevnice	Rozdíl NB a grid	Rozdíl NB a LIDAR
20	230,104	223	226,6	227,5	225,504	7,1	3,537	2,604	4,6
22	230,930	227	232,0	232,0	234,143	3,9	-1,1	-1,03	-3,213
23	224,645	-	-	-	223,558	-	-	-	1,087
24	226,662	-	-	-	223,858	-	-	-	2,804
25	227,611	-	-	-	224,842	-	-	-	2,769
26	226,713	-	-	-	224,154	-	-	-	2,559

Tabulka 5: Výškové rozdíly mezi nivelačními body a příslušnými hodnotami v jednotlivých DMR, Karviná

⁹ ZABAGED®

¹⁰ rozdíl výšek

¹¹ nivelační bod

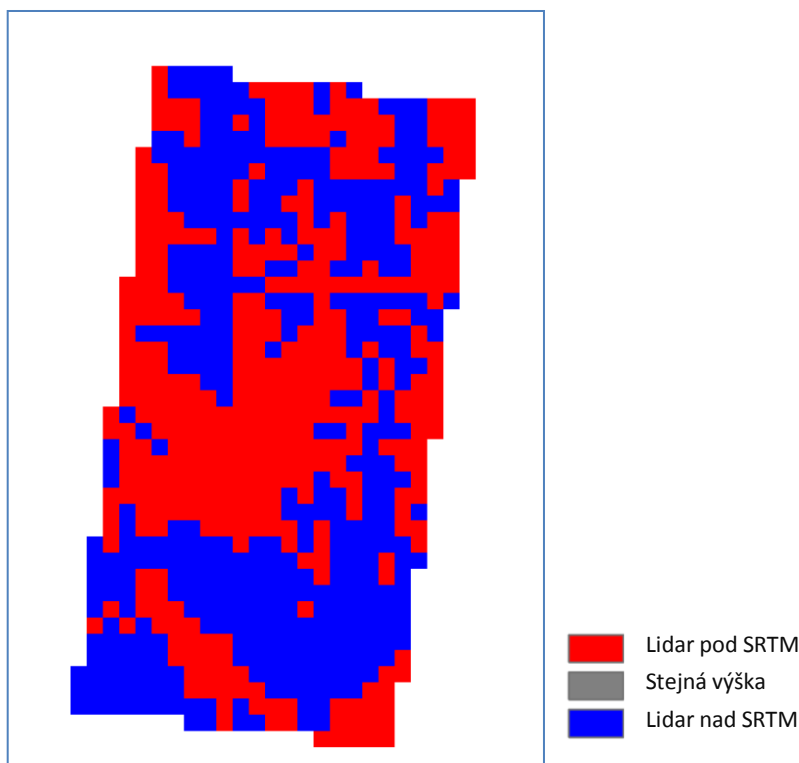
ZABAGED® grid [m]			
Karviná			
Číslo bodu	Nivelační bod	DMR	Rozdíl výšek
1	248,928	248,830	0,098
2	248,798	248,040	0,758
3	248,709	248,380	0,329
4	268,816	270,910	-2,094
5	276,732	274,770	1,962
6	278,199	275,410	2,789
7	283,662	283,662	0,000
8	275,769	274,270	1,499
9	306,584	306,000	0,584
10	307,643	306,090	1,553
11	311,799	310,320	1,479
12	312,263	310,650	1,613
13	314,208	314,020	0,188
14	316,345	315,850	0,495
15	315,595	314,980	0,615
16	316,944	316,550	0,394
17	327,113	325,080	2,033

Tabulka 6: Porovnání výšek nivelačních bodů a hodnot DMR vzniklého z gridu z databáze ZABAGED® ČÚZK, Karviná

V případě oblasti Karviná překrývá grid z databáze ZABAGED® pouze zhruba pětinu území, pro které jsou dostupná lidarová data. V případě gridu ze ZABAGEDU® bylo nutné se spokojit s menším množstvím dat než bylo požadováno, kvůli problémům s poskytnutím dat na straně ČÚZK. Proto nebylo možné provést porovnání pro 17 z 22 nivelačních bodů na zájmovém území. 5 bodů není ideální počet pro statistické porovnávání. Počet kontrolních bodů by měl být zhruba srovnatelný s ostatními porovnáními. Aby bylo možné vypočítat statistické veličiny i pro grid ze ZABAGEDU® byly vybrány další nivelační body, které se nenachází na zájmovém území, ale pouze na území poskytnutého gridu.

5.4. Vizuální posouzení oblasti Dobruška

Na následujícím obrázku je znázorněno porovnání lidarového DMR a SRTM. Díky rozlišení modelu SRTM, které je tisíckrát menší než rozlišení lidarového DMR je dobře patrné rozdělení obrazu na pixely. Rozdělení lidarového DMR na oblasti, které se nachází pod úrovní SRTM, nad úrovní SRTM, případně oblasti, kterým náleží identická výška (v tomto případě se nevyskytují) bylo docíleno pomocí funkce „Cut Fill“.

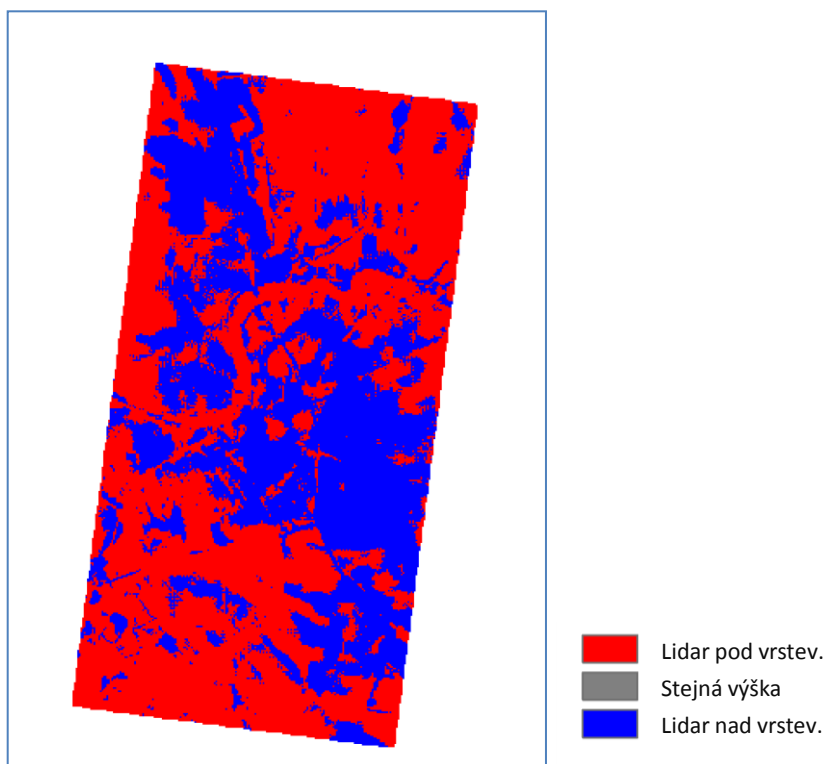


Obrázek 6: Porovnání lidarového DMR a SRTM

Na obrázku 6 vidíme rozdíl lidarového DMR a SRTM. Červené pixely značí lokality, kde má SRTM vyšší hodnoty nadmořské výšky než lidarový DMR a modré pixely značí oblasti, kde je SRTM pod úrovní lidarového DMR. Oba modely nemají stejnou nadmořskou výšku v žádné části. Stejná nadmořská výška by byla zobrazena šedou barvou.

Západní červená část území, kde se nachází lidarový DMR pod SRTM odpovídá západně orientovanému příkrému svahu. V jihozápadní části je patrné, že údolí, které se rozprostírá v této části od severozápadu k jihovýchodu je celé v lidarovém DMR zobrazeno také pod úrovní SRTM. Po obou stranách údolí je naopak SRTM pod lidarovým DMR. V centrální části území, kde se nachází zástavba, je lidarový DMR souvisle nad SRTM. V severovýchodní oblasti se rozkládá plynulý mírný svah, a nedá se zde

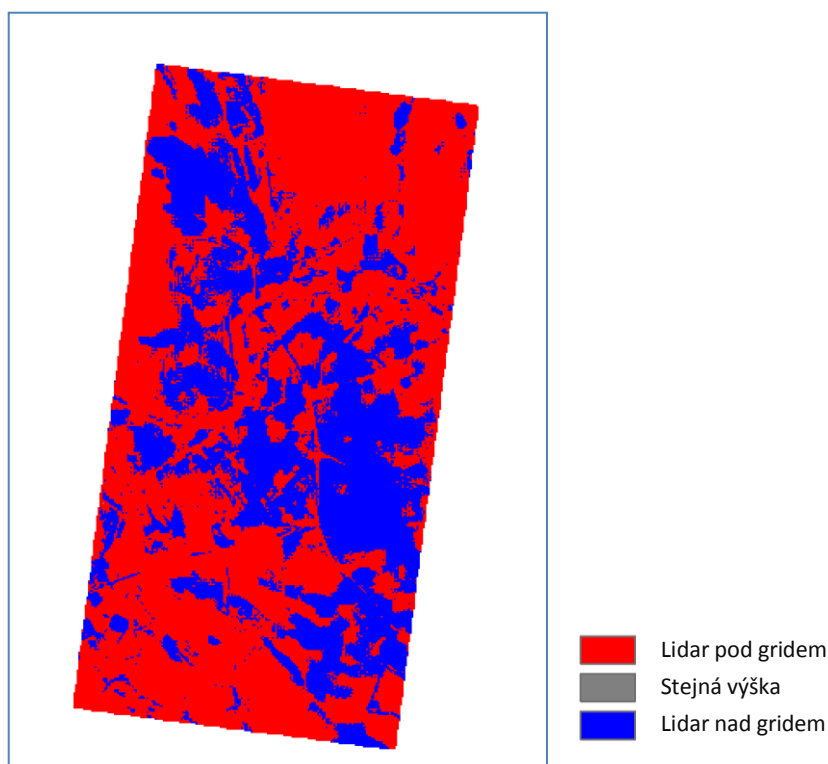
pozorovat souvislé území, ve kterém by byl jeden DMR nad druhým. Celé území je spíše rozděleno na diskrétní buňky obou typů zobrazených oblastí.



Obrázek 7: Porovnání lidarového DMR a vrstevnic ze ZABAGEDU®

Na obrázku 7 vidíme porovnání lidarového DMR a vrstevnic ze ZABAGEDU®. Rastr z vrstevnic už dosahuje vyššího rozlišení než SRTM, a proto má tento obrázek jemnější texturu a jsou zde parné i menší shluky buněk jedné barvy. Červené pixely opět značí lokality, kde jsou vrstevnice nad lidarovým DMR a modré pixely značí oblasti, kde jsou vrstevnice pod úrovní lidarového DMR.

V severovýchodní a jihozápadní oblasti je zřetelně vidět, že se vrstevnice nachází povětšinou nad lidarovým DMR. To by mohlo znamenat nahromadění kladné chyby v této vrstvě. Z této funkce nejsme schopni odhadnout velikost chyby, proto není možné prokazatelně určit systematickou chybu. Od severozápadní oblasti až po jihovýchodní oblast se táhne pás, ve kterém se vrstevnice nachází pod úrovní lidarového DMR. Tento modrý pás je uprostřed příčně přerušovaný esovitou červenou linií, která odpovídá říčnímu korytu nacházejícímu se v této oblasti. V jižní části není patrné údolí na rozdíl od obrázku 6, pouze souvislejší červená oblast (lidarový DMR pod vrstevnicemi) v západní části území nacházející na strmém západně orientovaném svahu. Další vztahy s topografií se v tomto porovnání neprojevíly.



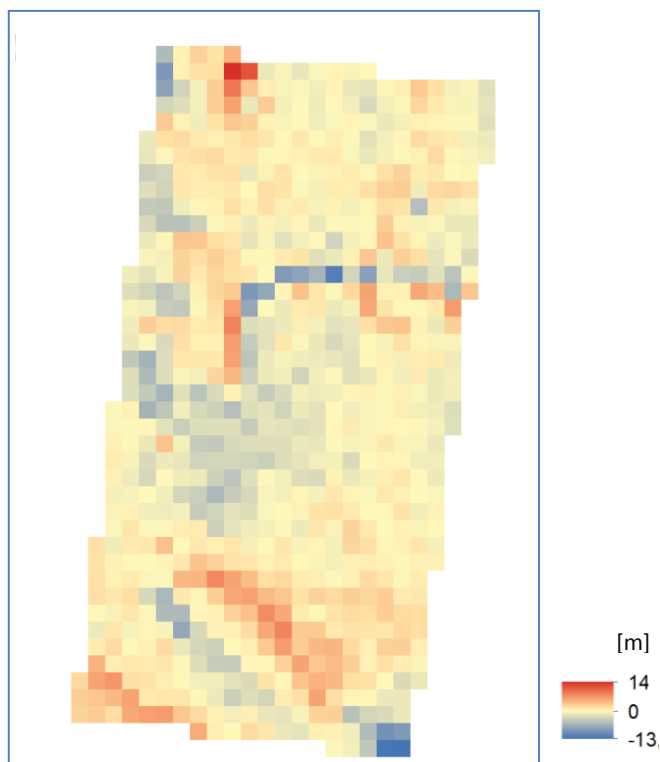
Obrázek 8: Porovnání lidarového DMR a gridu ze ZABAGEDU®

Při porovnání lidarových dat s gridem z databáze ZABAGEDU® je patrná nejpodrobnější textura. Vrstevnice i grid mají stejné rozlišení rastru pro porovnávání, ale na tomto obrázku je viditelná větší úroveň detailu. Grid bude patrně přesnější než vrstevnice v oblasti Dobrušky.

Na tomto porovnání je patrná tenká linie. Jedná se o silnici I/14 I. třídy spojující Liberec, Trutnov, Náchod a Českou Třebovou, která protíná porovnávané území přes střední část k jihovýchodu. Dále je dobře patrná velmi drobná textura ve střední části území, kterou vytváří zastavěné území v obci Dobruška.

Na následujícím obrázku je znázorněn rozdíl dvou DMR (lidarového a SRTM) pomocí funkce „Minus“. Tato funkce umožňuje znázornit i velikost výškového rozdílu dvou DMR v daném bodě. Červené pixely zaznamenávají místa, kde má lidarový DMR vyšší nadmořskou výšku než SRTM a modré pixel značí místa, kde je lidarový DMR naopak níže. Z této funkce je možné odhadnout výskyt systematické chyby, a to v případě, že souvislé území vykazuje chybu stejné velikosti a orientace.

V tomto porovnání není patrný vztah mezi topologií terénu a chybou DMR.

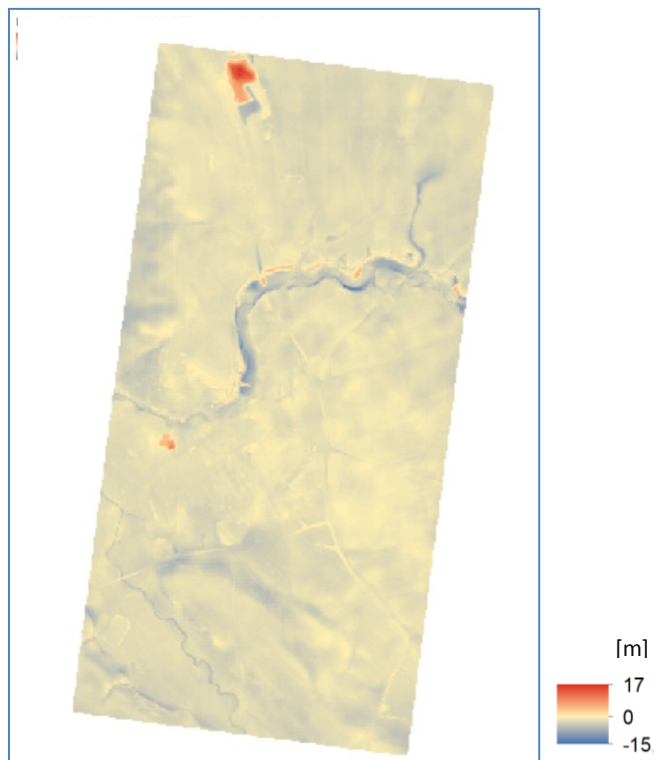


Obrázek 9: Lidarový DMR ve srovnání se SRTM

Na obrázku 9 můžeme vidět, že maximální rozdíl mezi lidarovým DMR a SRTM je zhruba 27 metrů. Tato vzdálenost je menší než součet výškových chyb obou DMR v kladném i záporném směru (součet výškových chyb obou DMR: $2 \cdot 16 + 2 \cdot 0.3 = 32,6$ [m]). Opět je patrná hrubá textura díky malému rozlišení SRTM.

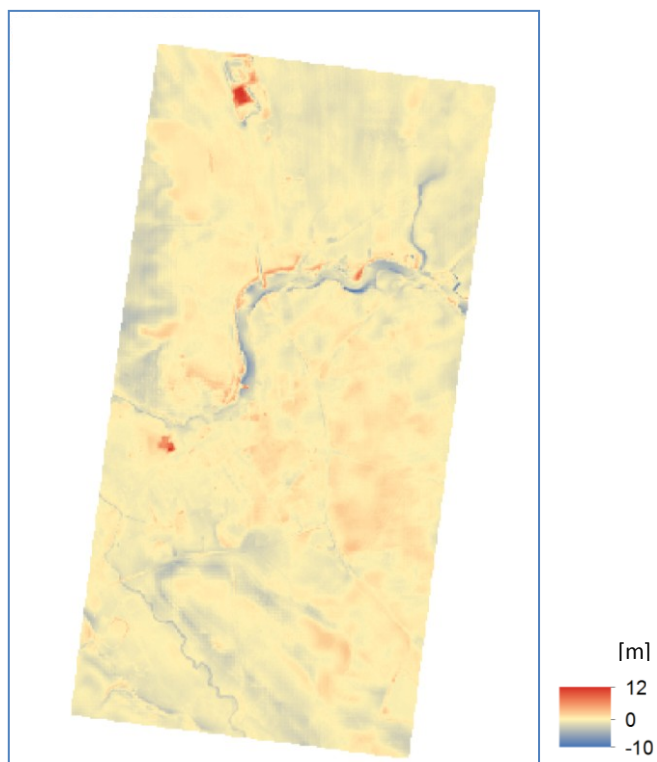
Červené pixely značí plochy, kde je SRTM pod úrovní lidarového DMR a modré pixely naopak místa, kde se nachází SRTM nad úrovní lidarového DMR. Maxima dosahuje tento model v severozápadní oblasti (skládka) a minima v jihovýchodní oblasti (vodní plocha). Linie v podobě modrého oblouku ve střední části území se nachází v místě říčního koryta a může být považována za systematickou chybu SRTM.

Další chyba, kterou je také možné považovat za systematickou, se nachází na jihozápadě území. Velmi dobře je zde patrné údolí. V jeho spodní části je SRTM nad úrovní lidarového DMR a na vrcholech nacházejících se kolem údolí je SRTM pod lidarovým DMR. Obecně se dá říci, že větší chyby SRTM se nachází v místech s rychlejšími změnami nadmořské výšky v průběhu reliéfu.



Obrázek 10: Lidarový DMR ve srovnání se ZABAGED® vrstevnicemi

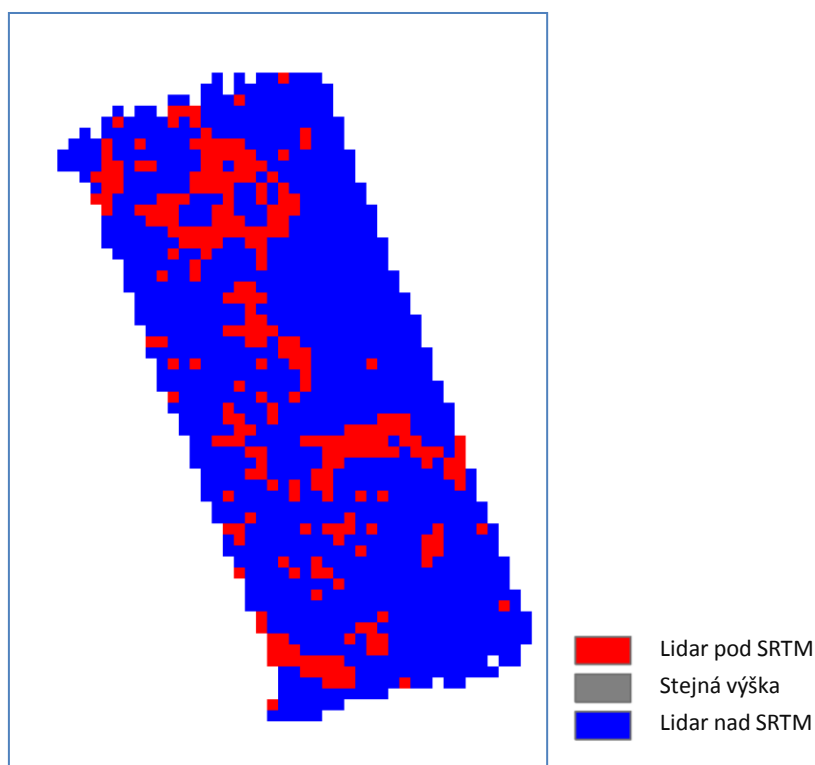
Na obrázku 10 je mnohem detailněji zobrazen průběh terénu, ale rozsah stupnice (rozdíl mezi oběma DMR) se přiblížil hodnotě 32 m a je o 5 metrů větší než u předchozího porovnání. Větší rozdíl může být způsoben větší detailností, která může vnést do DMR větší variabilitu hodnot. Maximum se nachází opět v severozápadní oblasti. Minimum je v místě, kudy prochází říční koryto (Brtevský potok). Protože jsou lidarová data mnohem aktuálnější, můžeme se domnívat, že mohlo dojít k zahloubení řeky a změně nadmořské výšky koryta v průběhu let. (Mezi mapováním vrstevnic a sběrem lidarových dat může být až padesát let rozdíl.) Na jiných místech území se neprojevuje významný rozdíl nadmořské výšky.



Obrázek 11: Lidarový DMR ve srovnání se ZABAGED® gridem

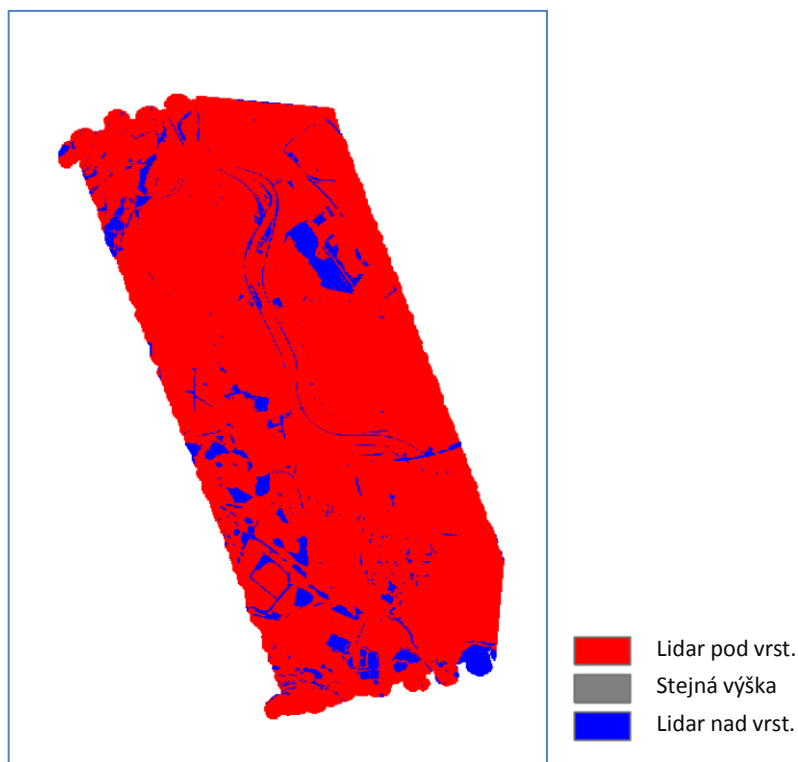
Toto porovnání přináší nejmenší hodnoty rozdílu mezi porovnávanými DMR ze všech tří dvojic na území Dobrušky. Součet RMSE těchto modelů je také nejmenší. Záporná systematická chyba se opět projevuje v říčním korytě. V okolí říčního koryta (potoka) se nachází extrémní hodnoty, což by mohlo znamenat, že se v průběhu let koryto potoka posunulo směrem k jihovýchodu. Maximum se opět nachází v místě skládky na severozápadě a také na západě území, kde se nyní nachází zemědělská a průmyslová zóna. Změna na tomto území proběhla mezi mapováním pro ZABAGED® a LLS, a tím byl způsoben velký rozdíl v těchto dvou digitálních modelech reliéfu.

5.5. Vizuální posouzení oblasti Karviná



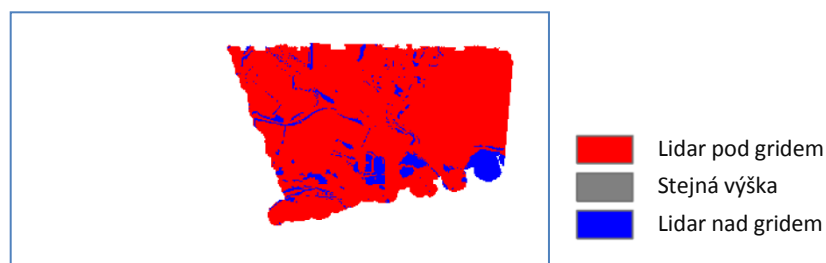
Obrázek 12: Rozdíl mezi lidarovým DMR a SRTM

Na tomto obrázku vidíme pouze malý průnik obou DMR, protože území je více rovinné než v oblasti Dobrušky (vyjma malý jihozápadní a severozápadní cíp oblasti). Jedná se pouze o malé množství spíše jednotlivých buněk v okolí řeky Olše a vodních nádrží na jihozápadní straně. Největší shluk buněk se nachází v severní části, kde se nachází vodní nádrž. Na většině plochy je lidarový DMR nad SRTM. Vliv topografie na chybu SRTM nemůže být podle obrázku 13 zhodnocen.



Obrázek 13: Rozdíl mezi lidarovým DMR a vrstevnicemi ze ZABAGEDU®

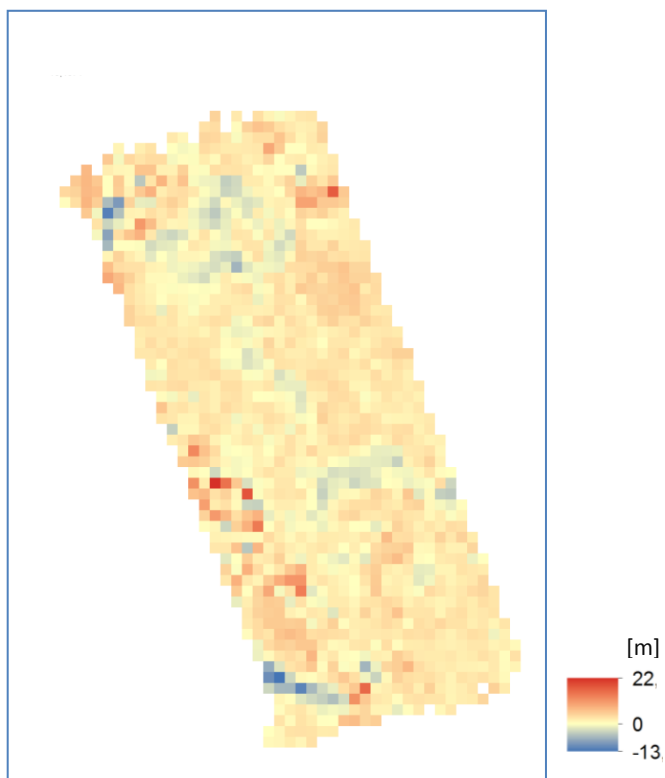
Na tomto obrázku je možné pozorovat závislost chyby vrstevnic na topologii. Modrý útvar v severovýchodní části nese v mapě označení průmysl. V této zóně se dají předpokládat velké změny v průběhu času. Proto existuje ve vrstevnicích chyba v této části. Dále je velmi dobře čitelné říční koryto, které v průběhu času pomalu mění o svou polohu. Tento jev se projevil táhlými liniemi kolem koryta řeky. Poslední antropogenní vliv na tento reliéf je viditelný v jihozápadní oblasti, kde v průběhu let vznikly haldy. V této oblasti se také nachází bývalé kaliště. Území je ovlivněno důlní činností, což má často za následek poklesy terénu v celé oblasti.



Obrázek 14: Rozdíl mezi lidarovým DMR a gridem ze ZABAGEDU®

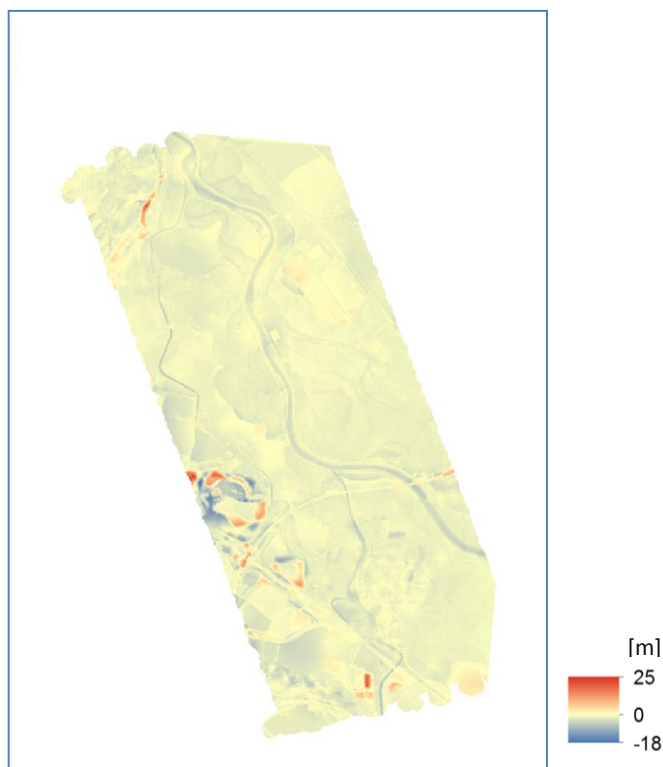
Ze získaných dat se nepodařilo získat větší překryv území pro lidarová data a grid ze ZABAGEDU® na území Stonávky. Proto je znázorněna pouze pětina území, pro které

jsou dostupná lidarová data. S poskytnutím gridu od ČUZK nastaly problémy, a proto jsem byla nucena spokojit se s menším územím, než bylo původně požadováno. Výsledek tohoto porovnání je velice podobný předchozímu a není možné z tohoto obrázku číst jakékoli další informace také vzhledem k malé rozloze území.



Obrázek 15: Lidarový DMR ve srovnání s SRTM

Z tohoto porovnání se dá již usoudit, že většina SRTM v testovaném území může mít systematickou chybu. Lidarový DMR se nachází nad úrovní SRTM, stejně jako při porovnání předchozím typem funkce. Ve spodní části levého okraje území je znatelná proměnlivost chyby SRTM způsobená antropogenní činností popsanou v předchozích srovnáních.



Obrázek 16: Lidarový DMR a vrstevnice ze ZABAGEDU®

V porovnání lidarového DMR a vrstevnic funkcí Minus je ještě lépe vidět situace popsaná u obrázku 13. Na tomto obrázku je výborně viditelná řeka Olše i Stonávka. Obě mají menší nadmořskou výšku v lidarovém DMR, což by znamenalo stejně jako u oblasti Dobruška a Brtevskeho potoka, že se řeky Olše a Stonávka pomalu „zařezávají“ hlouběji do reliéfu. V levé části můžeme pozorovat vliv antropogenní činnosti (malé tmavě červené a tmavě modré shluky buněk). V dolní části obrázku se nachází lokální maximum, které je tvořeno haldou. V této oblasti se nachází příliš málo hornatého území na to, aby mohlo být posouzeno jako způsobem ovlivňuje chybu DMR jako u oblasti Dobruška a jihozápadního údolí.



Obrázek 17: Rozdíl mezi lidarovým DMR a gridem ze ZABAGEDU®

Výsledný DMR má na naprosté většině území zhruba stejný odstín modré barvy, což by mohlo značit pokles území (systematickou chybu gridu z databáze ZABAGEDU®).

V těsné blízkosti území se nachází velké množství důlních děl a celá oblast Karviné se potýká s důsledky hlubinné těžby uhlí. Domnívám se, že území pokleslo pod vlivem poddolování.

Pomocí ortofotosnímku a topografické mapy bylo zjištěno, že na jižní části DMR se nachází halda nebo násep, která vznikla v období mezi mapováním pro ZABAGED® a LLS.

5.6. Ekonomické zhodnocení použití dat z jednotlivých zdrojů

Model SRTM je volně ke stažení na webových stránkách NASA pro celý svět a na webu společnosti ARCDATA pro Českou republiku. Tento model je zcela zdarma.

1 ML ZM10 produktu ZABAGED® výškopis grid 10 x 10 m, nebo stejný ML produktu ZABAGED® výškopis 3D vrstevnice stojí běžného uživatele 244 Kč. Třetím produktem databáze ZABAGED® je polohopis, jehož 1 ML má hodnotu 865 Kč. Každé ze dvou testovacích území se rozkládalo na čtyřech mapových listech. Celková cena dat pro dvě testované oblasti se vyšplhala na 10 824 Kč. (Studentům jsou data poskytována prostřednictvím ČÚZK zdarma.)

Posledním zdrojem dat je lidarový zdroj ČÚZK. Výsledný produkt (DMR 4G) bude hotový až koncem roku 2012, a proto ještě není naceněn.

6. Dosažené výsledky

Tato práce se zabývala problematikou porovnání digitálních modelů reliéfu vytvořených z různých zdrojů dat. Postupně popisuje současný stav zdrojů dat pro DMR v České republice, problematiku přesnosti DMR (určování přesnosti DMR), metody hodnocení přesnosti DMR a zvláště pak metody pro hodnocení výškové přesnosti DMR).

Dále se zabývala nalezením zdrojů dat pro DMR a vymezením vhodné testovací oblasti. Pozornost byla věnována především návrhu vhodné metody pro porovnání a samotnému porovnání dostupných digitálních modelů reliéfu. Po získání zdrojů dat bylo provedeno porovnání DMR a to jak statisticky tak vizuálně. Statisticky byly modely porovnány a seřazeny podle hlavního hlediska, kterým je střední kvadratická chyba (RMSE). Vizuální porovnání je zobrazeno na obrázcích a slovně je zhodnocen výskyt náhodných a systematických chyb a dalších aspektů DMR, které se daly o jednotlivých DMR tímto způsobem zjistit. Na závěr bylo zhodnoceno ekonomické hledisko použití dat z jednotlivých zdrojů.

Cíle bakalářské práce se podařilo splnit, vyjma porovnání ASTER GDEM, který se nepodařilo získat. Navržený postup získání ASTER GDEM selhal, protože generátor DMR vygeneroval po zadání správných souřadnic zcela jiné území.

Tato bakalářská práce bude sloužit pro obecného uživatele výškopisných dat jako podklad při výběru vhodného zdroje dat.

Následuje shrnutí výsledků statistického a vizuálního srovnání digitálních modelů reliéfu.

Všechny hodnoty uvedené v tabulce jsou v metrech.

Zdroj dat	RMSE		Standardní chyba		Průměrná chyba	
	Dobruška	Karviná	Dobruška	Karviná	Dobruška	Karviná
SRTM	4,635	3,867	4,563	1,727	-0,813	3,460
ZABAGED® vrstevnice	1,818	1,354	1,818	1,348	-0,010	0,130
ZABAGED® grid	1,651	1,444	1,649	1,146	-0,075	0,879
LIDAR	0,396	2,039	0,396	1,491	-0,013	1,39
	Max		Min		Rozsah	
	Dobruška	Karviná	Dobruška	Karviná	Dobruška	Karviná
SRTM	8,870	7,104	-8,475	-0,368	17,345	7,472
ZABAGED® vrstevnice	1,958	3,537	-7,044	-2,221	9,002	5,758
ZABAGED® grid	1,786	2,789	-6,152	-2,094	7,938	4,883
LIDAR	0,481	4,600	-1,163	-3,213	1,644	7,813
	Medián		Vážený průměr		Směrodatná odchyl.	
	Dobruška	Karviná	Dobruška	Karviná	Dobruška	Karviná
SRTM	-0,538	3,914	-0,813	3,460	4,563	1,727
ZABAGED® vrstevnice	0,314	0,001	-0,010	0,130	1,818	1,348
ZABAGED® grid	0,382	0,686	-0,075	0,879	1,649	1,146
LIDAR	0,123	1,351	-0,013	1,390	0,396	1,491

Tabulka 7: Souhrn výsledků statistického porovnání digitálních modelů reliéfu na území Dobrušky a Karviné

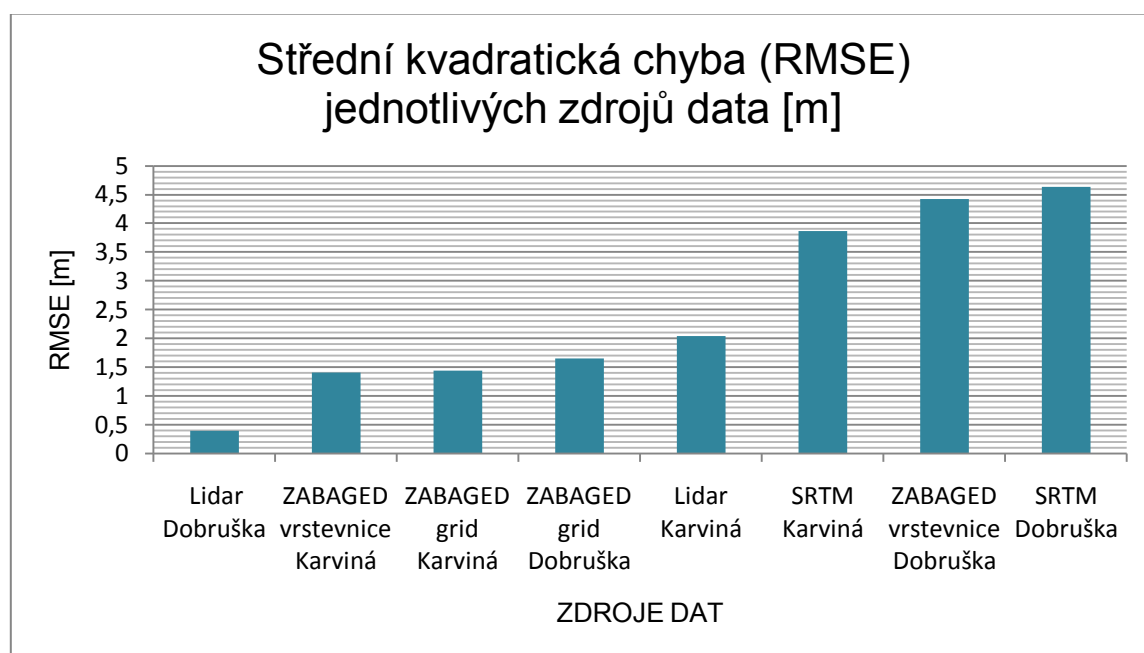
Z tabulky vyplývá, že nejmenší RMS chybu má lidarový DMR z oblasti Dobruška pořízený ČUZK.

Seřazení DMR dle rostoucí RMS chyby:

Pořadí	Zjištěná RMSE	Zdroj dat	Přesnost udávaná dodavateli dat (RMSE)
1	0,396	Lidar Dobruška	0,3 m – 1 m
2	1,354	ZABAGED® vrstevnice Karviná	0,7 m – 5 m
2	1,444	ZABAGED® grid Karviná	1,5 – 7 m
4	1,651	ZABAGED® grid Dobruška	1,5 – 7 m
5	1,818	ZABAGED® vrstevnice Dobruška	0,7 m – 5 m
6	2,039	Lidar Karviná	-
7	3,867	SRTM Karviná	± 16 m
8	4,635	SRTM Dobruška	± 16 m

Tabulka 8: Seřazení zdrojů dat od nejpřesnějšího k nejméně přesnému podle velikosti RMSE

Zobrazení RMS chyb v grafu:



Graf 1: Znáznornění velikosti RMSE jednotlivých zdrojů dat ve sloupcovém grafu.

Velký rozdíl RMSE chyby u dvou lidarových DEM je dán rozdílnými zadáními projektů na získání lidarových dat. Různé jsou parametry letu, letoun, použitá technika atd.

Také je možné, že větší výšková variabilita DMR vnesená do modelu spolu s větším počtem bodů přinese větší RMS chybu.

Z tabulky č. 8 je patrné, že zjištěná přesnost dat odpovídá přesnosti uváděné poskytovateli dat. U lidarových dat firmy Geodis se nepodařilo zjistit udávanou přesnost.

Při vizuálním porovnání byl zjištěn pokles říčního koryta Brtevského potoka v testovací oblasti Dobruška a pokles území v testovací oblasti Karviná, způsobený důlní činností.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1: SNÍMEK OBRAZOVKY, APLIKACE GEOPORTÁL ČÚZK, KATASTR OBCE DOBRUŠKA	16
OBRÁZEK 2 SNÍMEK OBRAZOVKY, APLIKACE GEOPORTÁL ČÚZK, KATASTR OBCE KARVINÁ	16
OBRÁZEK 3: DMR VYTVOŘENÝ Z LIDAROVÝCH DAT A NIVELAČNÍ BODY (ČERVENĚ).....	19
OBRÁZEK 4: SNÍMEK OBRAZOVKY WEBOVÉ APLIKACE PRO STAŽENÍ ASTER GDEM NA ÚZEMÍ OBCE DOBRUŠKA	22
OBRÁZEK 5: SNÍMEK OBRAZOVKY WEBOVÉ APLIKACE PRO STAŽENÍ ASTER GDEM V OBLASTI OBCE KARVINÁ.....	23
OBRÁZEK 6: POROVNÁNÍ LIDAROVÉHO DMR A SRTM.....	36
OBRÁZEK 7: POROVNÁNÍ LIDAROVÉHO DMR A VRSTEVNIC ZE ZABAGEDU®.....	37
OBRÁZEK 8: POROVNÁNÍ LIDAROVÉHO DMR A GRIDU ZE ZABAGEDU®	38
OBRÁZEK 9: LIDAROVÝ DMR VE SROVNÁNÍ SE SRTM.....	39
OBRÁZEK 10: LIDAROVÝ DMR VE SROVNÁNÍ SE ZABAGED® VRSTEVNICEMI.....	40
OBRÁZEK 11: LIDAROVÝ DMR VE SROVNÁNÍ SE ZABAGED® GRIDEM.....	41
OBRÁZEK 12: ROZDÍL MEZI LIDAROVÝM DMR A SRTM.....	42
OBRÁZEK 13: ROZDÍL MEZI LIDAROVÝM DMR A VRSTEVNICEMI ZE ZABAGEDU®	43
OBRÁZEK 14: ROZDÍL MEZI LIDAROVÝM DMR A GRIDEM ZE ZABAGEDU®.....	43
OBRÁZEK 15: LIDAROVÝ DMR VE SROVNÁNÍ S SRTM.....	44
OBRÁZEK 16: LIDAROVÝ DMR A VRSTEVNICE ZE ZABAGEDU®	45
OBRÁZEK 17: ROZDÍL MEZI LIDAROVÝM DMR A GRIDEM ZE ZABAGEDU®	45

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1: ZNÁZORNĚNÍ VELIKOSTI RMSE JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ DAT VE SLOUPCOVÉM GRAFU.	50
---	----

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 PŘEHLED DOSTUPNÝCH ZDROJŮ DAT A JEJICH PARAMETRY	14
TABULKA 2: POROVNÁNÍ VÝŠEK [M] DMR V SOUŘAD. SYSTÉMU S-JTSK A WGS-84.....	18
TABULKA 3: ROZLIŠENÍ VYGENEROVANÝCH RASTRŮ PRO POROVNÁVÁNÍ	28
TABULKA 4: VÝŠKOVÉ ROZDÍLY MEZI NIVELAČNÍMI BODY A PŘÍSLUŠNÝMI HODNOTAMI V JEDNOTLIVÝCH DMR, DOBRUŠKA	30
TABULKA 5: VÝŠKOVÉ ROZDÍLY MEZI NIVELAČNÍMI BODY A PŘÍSLUŠNÝMI HODNOTAMI V JEDNOTLIVÝCH DMR, KARVINÁ	34
TABULKA 6: POROVNÁNÍ VÝŠEK NIVELAČNÍCH BODŮ A HODNOT DMR VZNIKÉHO Z GRIDU Z DATABÁZE ZABAGED® ČÚZK, KARVINÁ.....	35
TABULKA 7: SOUHRN VÝSLEDKŮ STATISTICKÉHO POROVNÁNÍ DIGITÁLNÍCH MODELŮ RELIÉFU NA ÚZEMÍ OBCE DOBRUŠKA A KARVINÁ	49
TABULKA 8: SEŘAZENÍ ZDROJŮ DAT OD NEJPŘESNĚJŠÍHO K NEJMĚNĚ PŘESNĚMU PODLE VELIKOSTI RMSE	50

Literatura

1. Rapant, P.: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB-TU Ostrava, 2006
2. Podhorányi M. et al. 2011, Digitálne výškové dáta pre modelovanie povodní: Hodnotenie presnosti DMR
3. Brázdil, K.: Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. GIS Ostrava 2010
4. Uhlířová, K., Zbořil, A.: Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. GIS Ostrava 2010.
5. Tvorba derivátů z laserových výškopisných dat pomocí plně automatizovaných procesů, Ing. Jakub Gamrád, Zeměměřický úřad, 19. konference GIS ESRI společnosti ARCDATA Praha 2010
6. Meixner, 2003
7. Li, Z., Zhu, Q., Gold, Ch., (2005) Digital Terrain modeling: Principles and Methodology. CRC Press, Florida.
8. Nové technologie Geodisu pro další tisíciletí, Ing. Zdeněk Hošťář a kol., GEODIS BRNO, spol. s.r.o., 19. konference GIS ESRI společnosti ARCDATA Praha, 2010
9. Topographic laser ranging and scanning: Principles and Processing. CRC Press, London. 2008
10. El-Sheimy, N., Valeo, C., Habib, A.: Digital Terrain Modelling. Acquisition, Manipulation, and Applications. Artech House, London, 2005
11. Li, Z., Zhu, Q., Gold, Ch.: Digital Terrain Modelling. Principles and Methodology. CRC Press, London, 2005
12. Li, Zhilin, 1990. Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling. Ph.D. Thesis. University of Glasgow

Internetové zdroje

13. <http://www.gisat.cz/>
14. <http://www.cuzk.cz>
15. <http://www.geodis.cz/laser-scan>
16. <http://geoportal.cuzk.cz>
17. www.gdem.aster.ersdac.or.jp

18. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
19. http://gis.vsb.cz/vojtek/content/seminars/files/2010_LIDAR/LIDAR.pdf
20. http://www.gdal.org/gdal_translate.html
21. <http://www.eurogeographics.org/>
22. <http://geoportal.cuzk.cz/%28S%28hufijv55do4j5i55efsbi445%29%29/Dokumenty/ProduktyEuroGeographics.pdf>
23. <http://www.usgs.gov/>
24. <http://www.satimagingcorp.com>
25. <http://www.fugro-npa.com>
26. http://www.vugtk.cz/slovník/4226_systematicka-chyba