

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ

**ANALÝZA VLIVU VEGETAČNÍHO POKRYVU NA PŘESNOST DIGITÁLNÍCH
MODELŮ TERÉNU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Ondřej LAGNER
Bakalant: Božena KADLECOVÁ

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Božena Kadlecová

Územní technická a správní služba

Název práce

Analýza vlivu vegetačního pokryvu na přesnost digitálních modelů terénu

Název anglicky

Analysis of the effect of the vegetation cover on the accuracy of digital terrain models

Cíle práce

Hlavním cílem práce je porovnání digitálních modelů terénu vytvořených z lidarových dat s daty, které poskytuje Český úřad zeměměřičský a katastrální. Využity budou datové sady DMR 5G a DMP 1G a komerční digitální model z lidarových dat. Výsledkem práce bude míra závislosti rozdílů mezi datovými sadami na vegetačním pokryvu a konfiguraci reliéfu.

Metodika

Práce porovná vytvořené digitální modely terénu, které vznikly z volně dostupných podkladů ČÚZK (DMR 5G a DMP 1G) a z komerčních lidarových dat. S pomocí nástrojů zonální statistiky autorka práce vyhodnotí míru nepřesnosti modelů a závislost chyb na typu vegetačního pokryvu a konfiguraci terénu.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

DMT, LiDAR, zonální statistika

Doporučené zdroje informací

- Ackermann, F. (1996). Airborne laser scanning for elevation models. *GIM International*, 10(10),24–25.
- Flood, M. 2001. Laser altimetry: from science to commercial Lidar mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1209-1211.
- Li, Z.L., Qing, Z., Gold, Ch. (2005). *Digital terrain modeling Principles and Methodology*. CRC press, New York, USA.
- Li, Z.L. (1990). *Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling*. Ph.D. thesis, The University of Glasgow.
- Maune, D.F., Huff, L.C., Guenther, G.C. (2001). DEM user applications. *Digital Elevation Model Techniques and Applications: The DEM User Manual*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 367–394.
- Tang, L. (1989). Surface modelling and visualization based upon digital image processing techniques. *Optical 3-D Measurement Techniques*, 317–325.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Ondřej Lagner

Garantující pracoviště

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Konzultant

Doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2018

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 13. 04. 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Lagnera a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze dne 25. 4. 2018

.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Ondřeji Lagnerovi za laskavé vedení a neocenitelné rady, pomoc, připomínky a věnovaný čas.

Dále bych chtěla poděkovat Doc. Ing. Petře Šímové, Ph.D. za poskytnuté odborné konzultace a svému manželovi Martinovi, našim dětem a v neposlední řadě i kolegům z Generálního finančního ředitelství za trpělivost a podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Náplní této práce je zpracování dat z družicového laserového skenování, vytvoření digitálního modelu terénu a digitálního modelu povrchu zájmové oblasti.

Práce si klade za cíl vyhodnocení vlivu vegetačního pokryvu a členitosti terénu na přesnost digitálních terénních modelů vytvořených z LiDARových dat. Pro účely této práce byl jako zájmové území vybrán Vojenský prostor Hradiště, Doupovské hory.

Z výsledků vyplývá, že je možné vysledovat spojitost mezi chybovostí digitálních modelů reliéfu, krajinným pokryvem a členitostí terénu. Oproti tomu vzájemné nepřesnosti u porovnání digitálních modelů povrchu jsou značné a v souvislosti s krajinným pokryvem a průběhem reliéfu se hledají velmi špatně.

Klíčová slova

DMT, LiDAR, zonální statistika, laserové skenování

Abstract

The focus of the bachelor thesis is processing data from satellite laser scans, creating of a digital model of terrain and a digital model of the surface of the area of interest. The aim of the thesis is to analyse the impact of the vegetation cover and the segmentation of the terrain on the accuracy of the digital terrain models created with the use of LiDAR data. The area of interest for this thesis is Military area Hradiště, Doupovské hory. The results show us that it is possible to find a correlation between error rate of the digital models of the relief, land cover and segmentation of the terrain. On the other hand, the mutual inaccuracies of comparison of the digital surface models are significant, and they are hard to find in connection to the land cover and the course of the relief.

Key words

DMT, LiDAR, zonal statistic, Laser scanning

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍLE PRÁCE	2
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	3
3.1	Zobrazení zemského povrchu z pohledu digitálních technologií	3
3.1.1	LiDAR	5
3.1.2	Metoda Canopy Height Model	6
3.1.3	Družicové snímání WV2	6
3.2	Digitální modely	8
3.2.1	Digitální model reliéfu (DMR)	9
3.2.2	Digitální model povrchu (DMP)	9
3.2.3	Digitální výškový model	9
3.2.4	Metody zpracování	10
3.2.4.1	Metoda lineární interpolace	10
3.2.4.2	Metoda vážené inverzní vzdálenosti	10
3.2.4.3	Přirozený (nejbližší) soused nebo též thiessenovy polygony	11
3.2.4.4	Metoda trendu	12
3.2.4.5	Vytvoření DMR z lidarových dat – Metoda Structure from Motion	12
3.3	Způsoby hodnocení přesnosti digitálních modelů	13
4	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	14
5	METODIKA PRÁCE	16
5.1	Vstupní data	16
5.2	Rozdílové rastry	19
5.3	Zonální statistika	19

5.4	Statistické vyhodnocení.....	20
6	VÝSLEDKY.....	21
6.1	Vyhodnocení chyb DMR v závislosti na krajinném pokryvu	21
6.2	Vyhodnocení chyb DMP v závislosti na krajinném pokryvu	23
6.3	Vyhodnocení chyb DMR v závislosti na průběhu reliéfu	25
6.4	Vyhodnocení chyb DMP v závislosti na průběhu reliéfu	27
6.5	Komplexní zhodnocení.....	28
7	DISKUZE.....	29
8	ZÁVĚR	33
9	PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	35
10	SEZNAM GRAFŮ A OBRÁZKŮ	40
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	42
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	44

1 ÚVOD

K získávání dat o terénu a k jejich zpracování je využíváno mnoha různých metod. Od klasického pozemního měření, přes digitální fotogrammetrii, dálkový průzkum Země až po nejmodernější a dosud nejvyspělejší laserové skenování. Důležitým výstupem zpracování dat je digitální model terénu (DMT), využitelný při vytváření 3D modelů krajiny, tvorbě ortofot, modelování erozních procesů nebo záplavových území (*Patková 2007*).

Rychlou a progresivní metodou sběru prostorových dat je letecké laserové skenování. Takto získaná data však vyžadují náročné zpracování, avšak metody tohoto zpracování zatím poněkud zaostávají za samotným vývojem leteckého laserového skenování (LLS). LLS neboli LiDAR (Light Detecting and Ranging) je velmi dobře využitelný při přesnější tvorbě digitálního modelu terénu (DMT), protože tzv. „vidí“ pod koruny stromů. Tím pádem lze určit průběh terénu nesrovnatelně rychleji a přesněji než při získávání dat klasickými geodetickými metodami. DMT je využitelný především v oblasti prostorového rozhodování a vícekritériálního hodnocení variant. Přesnější DMT umožňuje například lepší optimalizaci cestní sítě, určení lesních vegetačních stupňů, predikci ohrožení porostů abiotickými a biotickými činiteli, hydrologické modelování a mnoho dalšího (*Klimánek 2006*). Pro tuto práci je zásadní tvorba digitálního modelu povrchu (DMP), na kterém je zobrazena vegetace (*Patočka 2012*).

Tato práce je zaměřena na zpracování dat z družicového laserového skenování, vytvoření digitálního modelu povrchu a digitálního modelu terénu a následné vyhodnocení přesnosti těchto terénních modelů z LiDARových dat v závislosti na vegetačním pokryvu a členitosti terénu v zájmovém území.

2 CÍLE PRÁCE

Pro splnění cílů této bakalářské práce, byla nejprve nutná úprava digitálních modelů terénu z lidarových dat, získaných z vlastního náletu zájmové lokality a vytvoření modelů terénu z dat z datových sad DMR5G a DMP1G, které poskytuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). Poslední datová sada – klasifikovaná vrstva krajinného pokryvu, sloužící nikoliv k porovnávání, ale k prostorovému vyhodnocení chyb, byla pořízena ze satelitního snímku družice WorldView 2.

Hlavním cílem pak bylo následné porovnání uvedených modelů terénu a zjištění rozdílů mezi datovými sadami poskytnutými ČÚZK a daty z vlastního náletu zájmové lokality v závislosti na konfiguraci terénu a vegetačním pokryvu.

Vzhledem ke skutečnosti, že bylo potřeba porovnávat datové sady, které si odpovídají, bylo nutné rozdělení výpočtů na skupinu datových sad digitálních modelů terénu a na skupinu digitálních modelů povrchu. S daty bylo pracováno v prostředí geoinformačního systému ArcGIS 10.5.

Dalším z cílů bylo vyhodnocení závislosti rozdílů v rastroch na krajinném pokryvu a složitosti reliéfu za pomoci nástrojů zonální statistiky.

Výsledná data a spočítané tabulky byly v prostředí programu Excel společnosti Microsoft Office dále zpracovány a pro snazší interpretaci výsledků práce byly vytvořeny grafy.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

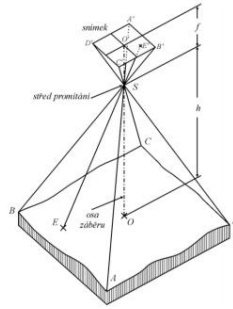
3.1 Zobrazení zemského povrchu z pohledu digitálních technologií

Odjakživa lidé cítili potřebu poznávat svůj životní prostor – krajinu, ve které žili, pracovali a díky které uspokojovali své životní potřeby. Znalost krajiny byla důležitá nejen kvůli výskytu živočichů a rostlin pro potravu, ale v průběhu času i z důvodu strategického plánování násilného dobývání cizích území a s tím i spojeného zvyšování šancí na vlastní přežití.

Jako první na světě pořídil z balonu první letecké snímky Gaspard-Félix Tournachon (pseudonym Nadar) a to v Paříži v roce 1858 (*Campbell 1996*). Ruku v ruce s rozvojem vojenství a vojenských technologií přichází vždy i řada převratných vynálezů a technologií, využitelných i v civilním světě. Letecké snímkování se stalo jedním ze zásadních prvků při tvorbě map v období mezi světovými válkami. Použitím špionážních letadel U-2 a později i družicových systémů v období studené války, vyvrcholila éra dálkových průzkumů Země. Samotné laserové skenování začalo v průběhu 70. let, kdy byl však použit pouze jeden světelný puls ke stanovení výšky letu letadla.

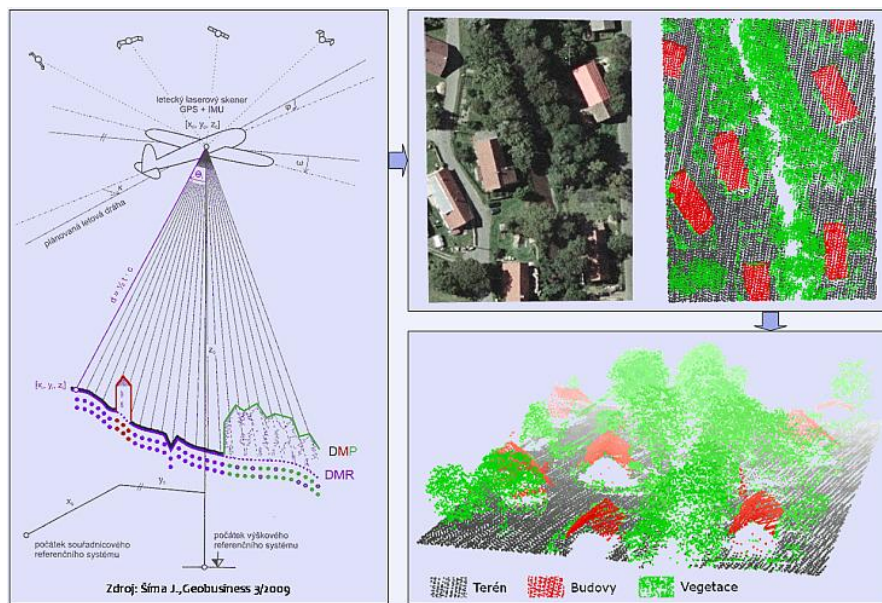
Pro letecké laserové skenování je zapotřebí letadla s laserovým skenerem na palubě. Laserový skener pracuje na principu vysílání laserového paprsku z vysílače, skenovacího mechanismu a přijímání odraženého zpětného paprsku od měřeného předmětu přijímačem, který dokáže rozpoznat jeho vlastnosti (*Pavelka a Hodač 2008*).

Princip spočívá v měření vzdálenosti, kterou urazí laserový paprsek mezi zdrojem – skenerem na palubě – a zemským povrchem. Tato vzdálenost je dána časem mezi vysláním paprsku a jeho zpětným přijetím po odrazu od terénu či objektů na zemském povrchu. V okamžiku vyslání laserového pulsu je pomocí navigačních systémů letadla (GPS) měřena přesná poloha, směr a rychlost.



Obr. 1 Geometrický princip leteckého snímkování (Talhofer a kol. 2008)

Laserový paprsek je při průchodu zemským povrchem postupně odrážen a jeho část může proniknout až na samotný terén. Přístroje jsou schopny vyhodnotit pořadí jednotlivých odrazů v rámci jednoho paprsku, kdy jsou přístroje schopné vyhodnotit pořadí jednotlivých odrazů v rámci jednoho paprsku. Datovým výstupem je nepravidelný shluk bodů, tzv. mračno bodů, se známými 3D souřadnicemi. V tomto výstupu se vyskytují chyby či šum způsobené např. náhodnými odrazy apod. Při zpracování primárních dat probíhají klasifikace skupin bodů a filtrace chyb. Výsledkem jsou datové vrstvy, které různým způsobem popisují tvar zemského povrchu či reliéfu. Vzhledem k tomu, že hustota skenovaných bodů se pohybuje v řádu jednotek na metr čtvereční, je výsledný model terénu velmi podrobný (Šíma 2009).



Obr. 2 Princip leteckého skenování (Šíma 2009)

3.1.1 LiDAR

V návaznosti na příchod globálních navigačních systémů GPS v roce 1980 byly vytvořeny extrémně přesné systémy LiDAR (Light Detection and Ranging).

Volně přeloženo, jedná se o přístroj nebo technologii k detekci objektů a měření vzdálenosti. Vlastní princip je velice jednoduchý. Přístroj obsahuje zdroj laserového záření, optickou soustavu, mechanický prvek, detektor elektromagnetického záření a velmi přesné hodiny.

Použití konkrétního typu laseru se řídí požadovaným výkonem, ale i požadovanou vlnovou délkou záření. Lasery v Lidarech jsou používány jak v pulsním, tak v kontinuálním režimu s fázovou modulací. Svazek paprsků laserového záření je vyslán směrem k objektu a od něho se odražen vrací k detektoru, což jsou světlo citlivé diody, které jsou spektrálně synchronizované na stejnou vlnovou délku, jako je vysílané laserové záření.

Koncentrace záření do velice úzkého svazku a zároveň souosost detektoru a vysílače je zajišťována optickou soustavou a to zpravidla polopropustným hranolem. Na mechanickém prvku, který zajišťuje směřování paprsku pod jinými úhly, bývá zpravidla umístěno zrcadlo nebo hranol. Tím se zajistí snímání daného prostoru, aniž by se muselo otáčet celým zařízením.

Poslední částí Lidaru jsou velmi přesné hodiny, které měří čas od vyslání svazku paprsků po jejich detekci na detektoru. K určení vzdálenosti Lidaru od objektu je potřebná znalost rychlosti šíření světla a ze znalosti směru vyslaného paprsku a odvozené vzdálenosti je možné určit polohu každého měřeného bodu. U kontinuálního režimu je paprsek ještě modulován frekvenčně, takže vzdálenost je určována i pomocí fázového posunu.

Letecký laserový skener (ALS) je možné řadit mezi aktivní digitální senzory. Aktivní proto, že vysílá energii a přijímá zpět signál po odrazu a digitální proto, že úroveň signálu je převedena na digitální tvar, uložena do počítače a dále zpracovávána pouze pomocí digitální techniky.

ALS nejsou závislé na slunečním světle, měření lze tedy provádět po celých 24 hodin. (*Dolanský 2004*)

3.1.2 Metoda Canopy Height Model

Název metody Canopy Height Model (CHM) byl odvozen od typického tvaru koruny listnatého stromu (canopy) a tato metoda vychází z metody lidarového sběru dat. CHM je primárně určen pro zobrazení korun stromů a zobrazuje pouze vegetaci, kdy jsou veškeré ostatní nadzemní prvky odstraněny. Jedná se o velmi přesnou metodu zobrazování zemského povrchu, avšak pouze v případě, kdy prezentují odrazy lidarových paprsků. Omezení nastane v případě, kdy je CHM převeden do rastrového formátu, kdy tato transformace znehodnotí informace o jednotlivých odrazech a model je dále reprezentován jako matice číselných hodnot. (*Lagner 2017*).

Důležitým parametrem je též doba skenování laserovým skenerem. V případě, že se tak děje v době, kdy je vegetace neolistěná, nepředstavuje zpracovaný CHM koruny stromů, ale jen fragmenty stromových větví (*O'Neil-Dunne 2014*).

V kombinaci s pozemním měřením je CHM důležitý v predikci významných krajinných či lesnických údajů (*Lagner 2017*). Ve spojení s lidarovými daty, kdy lidarové měření je schopné zaznamenat zemský povrch a zachytit víc vertikálních pater, je možné vytvořit digitální model terénu včetně vegetační odchylky (*Hyyppä a kol. 2008*).

3.1.3 Družicové snímání WV2

Dálkový průzkum země pomocí družicových systémů je jedním z nejprogressivnějších technologických odvětví.

V rámci této práce byly při zpracování využity snímky družice WorldView2. Tato družice patří mezi družicové systémy s velmi vysokým prostorovým rozlišením (Very high resolution systems). (*ACRDATA PRAHA 2016*)

Družicové systémy s velmi vysokým prostorovým rozlišením jsou nástroje dálkového průzkumu Země. Jedná se o nekonvenční metodu snímkování povrchu zemského tělesa a pořizování satelitních snímků o velmi vysokém rozlišení. Snímky mají široké spektrum využití v různých oborech lidské činnosti, např. inventarizace lesních porostů, mapování půdní eroze, plánování a projektování liniových staveb

a dopravních sítí, krajinný pokryv, podrobné mapování, tvorba 3D modelů a v našem případě i tvorba DMR (Gisat 2016).

Družice WorldView2 je americkým komerčním satelitem a patří do soustavy družic řízených společností DigitalGlobe. V současné době do této soustavy patří družice WorldView1, WorldView2 a WorldView3.

Vypuštění prvního satelitu WorldView1 se uskutečnilo již v roce 2007 ze základny amerického letectva Vandenberg Air Force Base v Kalifornii. Operuje ve výšce 496 kilometrů nad zemí a je schopná zachytit obraz o šířce 17 kilometru. Pořizuje data v panchromatickém režimu s prostorovým rozlišením 0,5 metru. Vlnová délka spektrálního pásma je od 0,4-0,9 [μm].

WorldView2 byla dopravena nosnou raketou na orbit v září 2009 a v plném provozu je od ledna 2010. Pracuje ve výšce 770 km nad povrchem Země a je první družicí s velmi vysokým prostorovým rozlišením s komerčním využitím. Tato družice je schopná pořizovat data ve formě multispektrálních snímků v 8 spektrálních pásmech, podobně jako systém LandSat (Kachlík 2016). Prostorové rozlišení u panchromatických snímků je 0,5 metru, u snímků multispektrálních jsou to 2 metry (Geoimage 2016). Kromě 4 pásem totožných se systémem Ikonos, disponuje dalšími 4 a to COASTAL, YELLOW, RED EDGE a NIR2 (ARCDATA PRAHA 2016).

Díky těmto pásmům je systém velice vhodný pro studium vegetace. Vlnová délka u těchto snímačů 0,45-1,04[μm] a doba oběhu je 1 až 3 dny. Družice WorldVew2 je za den schopna pokrýt území velké cca 975 000 km² (Geoimage 2016).



Obr. 3 Družice WorldView2 (Digitalglobe)

3.2 Digitální modely

Zemský povrch je matematicky nevyjádřitelná plocha, je třeba jí zjednodušit. DMT má za úkol tento povrch popsat v digitální podobě a umožnit další operace. Vstupem jsou body v prostoru, případně další údaje (např. definice hranic apod.) Zemský povrch je z větší části hladký (hladké plochy), ale i ostrý (hrany, umělé terénní tvary, zlomy atd.) (Bayer 2016).

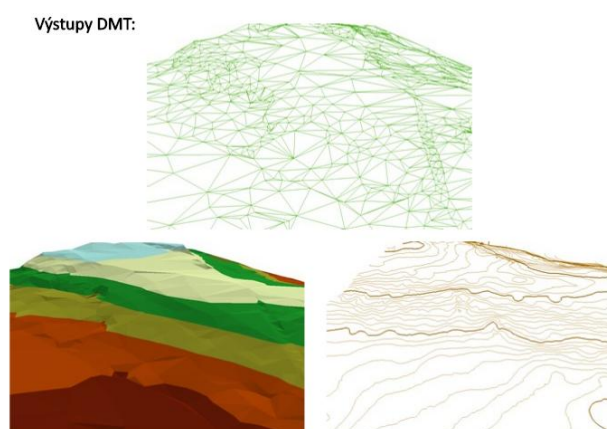
Digitální model terénu je jeden z hlavních způsobů znázornění zemského povrchu a je výsledkem interpolace (Miller a Laflamme 1958). Digitálním modelem terénu se rozumí prostorový geometrický popis reliéfu terénu, který slouží k popisu a modelování nejrůznějších informací jako jsou např. hranice správních celků, povodí, umístění přírodních a umělých objektů atd.

Modely, které byly v historii vyráběné např. z písku, plastu či pryže byly koncem padesátých let 20. století nahrazeny modely získanými za pomoci digitálních technologií (Li 2005).

Pro vytvoření digitálního modelu terénu jsou zapotřebí data obsahující informaci o své poloze. Tato data dělíme podle druhu zpracování, měřítka, datového modelu a polohové přesnosti a můžeme je získat buď bezplatně či na bázi komerce.

Druhy DMT:

- Digitální model reliéfu,
- Digitální model povrchu,
- Digitální výškový model (Bayer 2016).



Obr. 4 Výstupy DMT (Bayer 2016)

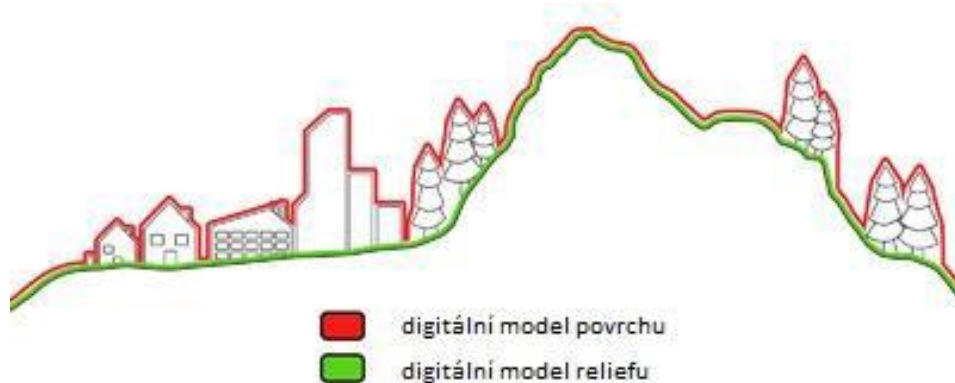
3.2.1 Digitální model reliéfu (DMR)

Digitální model reliéfu lze definovat jako množinu reprezentativních bodů, linií a ploch povrchu terénu, uloženou v paměti počítače a algoritmus pro interpolaci nových bodů dané planimetrické pozice nebo pro odvození jiných informací, např. viditelnost, sklony svahu apod. (Klusák 2014).

Generování probíhá z dat zaměřeného povrchu, ze kterých jsou odfiltrovány veškeré nadbytečné prvky, které nesouvisí s průběhem georeliéfu (vegetace, budovy apod.).

3.2.2 Digitální model povrchu (DMP)

Digitální model povrchu je zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů apod.) a představuje věrnou kopii území (ČÚZK, ©2014).



Obr. 5 Znárodnění rozdílů mezi DMP a DMR (Computemaps 2014)

3.2.3 Digitální výškový model

Digitální výškový model je digitální model reliéfu pracující výhradně s nadmořskými výškami bodů (ČÚZK, ©2014).

3.2.4 Metody zpracování

Nadmořská výška, teplota, demografie, koncentrace škodlivin – to jsou jedny z mnoha geografických dat, získávaných pouze z bodů nepravidelně rozmístěných v prostoru, které principiálně mapují spojité jevy. U těchto dat nelze získat informace měřením z celé zájmové lokality. K relevantním informacím nám však pomáhají statistické metody, k získání informací i na jiných místech než konkrétně měřených nám slouží interpolační metody. Tyto metody slouží pro převod vektor → rastr – výsledkem je souvislý povrch. V GIS jsou používány při vytváření spojitých rastrových dat z naměřených hodnot nebo z hodnot liniových.

V následující části této práce budete seznámeni s některými druhy interpolačních metod.

3.2.4.1 Metoda lineární interpolace

Tato metoda není v prostředí GIS velmi používána, využívá se především pro výpočet vrstevnic z měřených lomových bodů na mapách.

Prvotním krokem je tvorba prozatímní nepravidelné trojúhelníkové sítě, následně se spočítá rovina ze tří bodů, kdy se jednotlivé středy buněk počítají z rovnic rovin polohově překrývajících trojúhelníků.

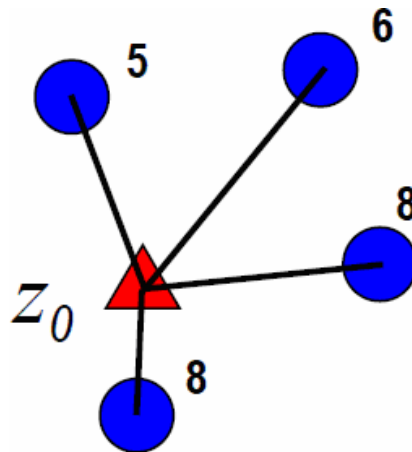
3.2.4.2 Metoda vážené inverzní vzdálenosti

Metoda vážené inverzní vzdálenosti neboli Inverse Distance Weighted (IDW) určuje hodnotu v dané buňce pomocí lineárně vážené kombinace vstupních bodů. Funkcí inverzní vzdálenosti je právě váha. Zde platí, že čím dále je konkrétní bod od zjišťované buňky, tím má na její hodnotu menší vliv.

$$z = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i, \quad \text{kde } w_i = \frac{1}{d_i^k}$$

z_i	známé hodnoty
z	počítaná hodnota
d	vzdálenost od známého bodu
w	váhová funkce, pro $k=1$ nepřímo úměrná vzdálenosti

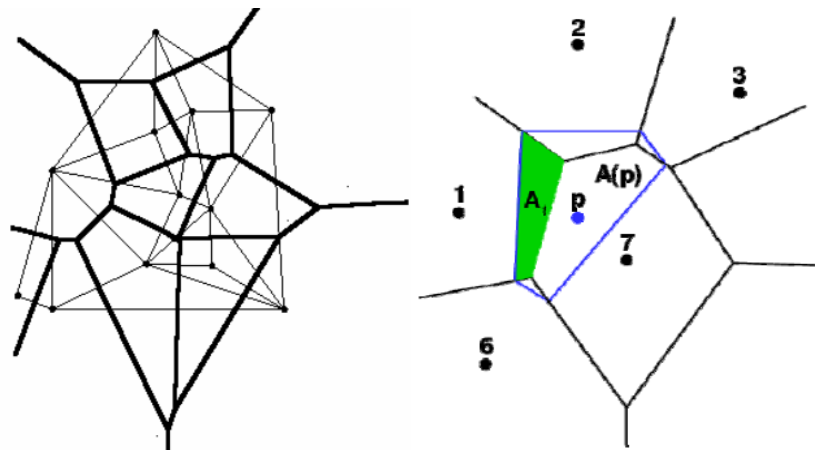
Obr. 6 Výpočet váhové funkce (Jedlička 2018)



Obr. 7 IDW (Křikavová 2009)

3.2.4.3 Přirozený (nejbližší) sused nebo též thiesenovy polygony

U této metody je základní rovnice stejná jako u metody vážené inverzní vzdálenosti, kdy rozdíl spočívá v jinak volené váhové funkci. Hodnoty atributů v neměřených místech jsou určeny z hodnot nejbližšího místa měřeného. Zpracovávané území je rozděleno na nepravidelné trojúhelníky (Delaunay triangulace), z nichž jsou následně definovány tzv. thiesenovy polygony. V závislosti na rozmístění měřených dat mohou tyto polygony být pravidelné či nepravidelné. V GIS jsou často využívány jako rychlý prostředek pro vztažení bodu k určitému okolí.



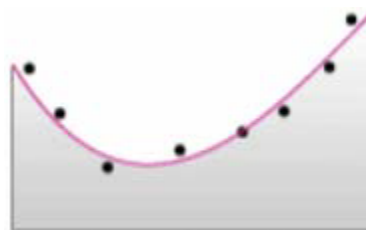
Obr. 8 Thiessenovy polygony (Křikavová 2009) obr. 9 Metoda přirozeného suseda (Křikavová 2009)

3.2.4.4 Metoda trendu

Při zpracovávání touto metodou se používá polynomické regrese k proložení metody nejmenších čtverců celým povrchem. Může se používat stupeň polynomu až „n“, ale obvykle je používán 1. až 3. stupeň, protože na hodnotu buňky mají vliv i úplně vzdálené vstupní body. Tato metoda tzv. „vyhledává trendy“, výsledkem je hladší povrch než při použití metody IDW.



Obr. 10 Lineární trend (Křikavová 2009)



Obr. 11 Kvadratický trend (Křikavová 2009)

K dispozici je poměrně velké množství různých interpolačních metod, kdy vhodná metoda se vybírá v závislosti na charakteru interpolovaných dat. Vhodnost dané interpolační metody se dá např. provádět vypuštěním některých vstupních bodů a následném porovnávání rozdílů jejich hodnot a výsledného povrchu (*Jedlička 2018*).

3.2.4.5 Vytvoření DMR z lidarových dat – Metoda Structure from Motion

„Struktura z pohybu“ neboli Structure from Motion (SfM) je zobrazovací technika, která je inspirována biologickým zrakem a je založena na odhadování trojrozměrné struktury z dvourozměrných obrazových sekvencí, které jsou spjaté s pohybem nosiče. Když se pozorovatel pohybuje, nebo se přesouvá objekt, je informace získána z obrazů snímaných v průběhu času (*Šimíček 2014*). Princip této metody vznikl již koncem 80. let 20. století, ale její rozšíření do různých oborů bylo spojeno až s rozvojem geoinformačních technologií a moderních vysokorychlostních počítačů (*Snavely a kol. 2007*).

Metoda kombinuje výhody stereofotogrammetrického přístupu s metodami průřekové fotogrammetrie, kdy daný objekt je vyfocen z mnoha pozic a úhlů, aby byly charakteristické znaky objektu zachyceny na několika snímcích současně (*Pavelka 2003*).

Díky tomu mohou do výpočtů a zpracování vstupovat snímky jak s rovnoběžnou osou záběru, tak s osami konvergentními. Prvky vnitřní orientace nemusí být známy a jsou automaticky vypočítány při orientaci snímků.

První fází je nafocení mnoha snímků z různých úhlů pohledu na daný objekt. V druhé fázi se snímky načtou do vhodného software (např. VisualSFM apod.), díky kterému dochází k identifikaci specifických bodů (keypoints) na základě určení lokálních extrémů v obraze a to např. metodou The Scale Invariant Feature Transform – SIFT. Následuje odfiltrování nestabilních bodů, což jsou body, které leží podél hran či nejsou vůči svému okolí dostatečně kontrastní (Šíková 2015). U neodstraněných bodů jsou vypočítány deskriptory, které charakterizují jednotlivé body ve snímku a na základě jejich charakteristik jsou vyhledány odpovídající si body na různých snímcích (Lowe 2004). Každý bod musí být nalezen minimálně třikrát, aby byl zařazen do následujícího procesu. Při získání sady bodů, které se nacházejí zároveň na několika snímcích, můžeme zpětně vypočítat parametry a pozici kamery.

Závěrečným krokem je promítání pohledů, kterým dochází k vygenerování bodů do 3D prostoru (Arya a kol. 1998). Na závěr je využit princip triangulace, na základě něhož se odhadne poloha daného bodu v prostoru.

Výhodou metody SFM je, že na trhu existuje několik open source programů, které jsou, díky své jednoduchosti a velké míře automatizace postupu, přístupné i laikům.

3.3 Způsoby hodnocení přesnosti digitálních modelů

Kvalita digitálních modelů reliéfu závisí zejména na zdrojích dat a na způsobu interpolace. V DMR se vyskytují nejen systematické, ale i nesystematické chyby, které následně ovlivňují výpočet dalších morfometrických vlastností. V podstatě existují tři typy chyb a to 1) hrubé chyby z lidského zavinění 2) chyby systematické a 3) neodstranitelné šумы či náhodné chyby. K určení a redukci nepřesností DMR je k dispozici několik metod.

Jedním z rychlých způsobů odкрыtí velké části chyb je vizuální kontrola DMR. Takto můžeme určit jasně viditelné stopy při nedostatečném vertikálním rozlišení,

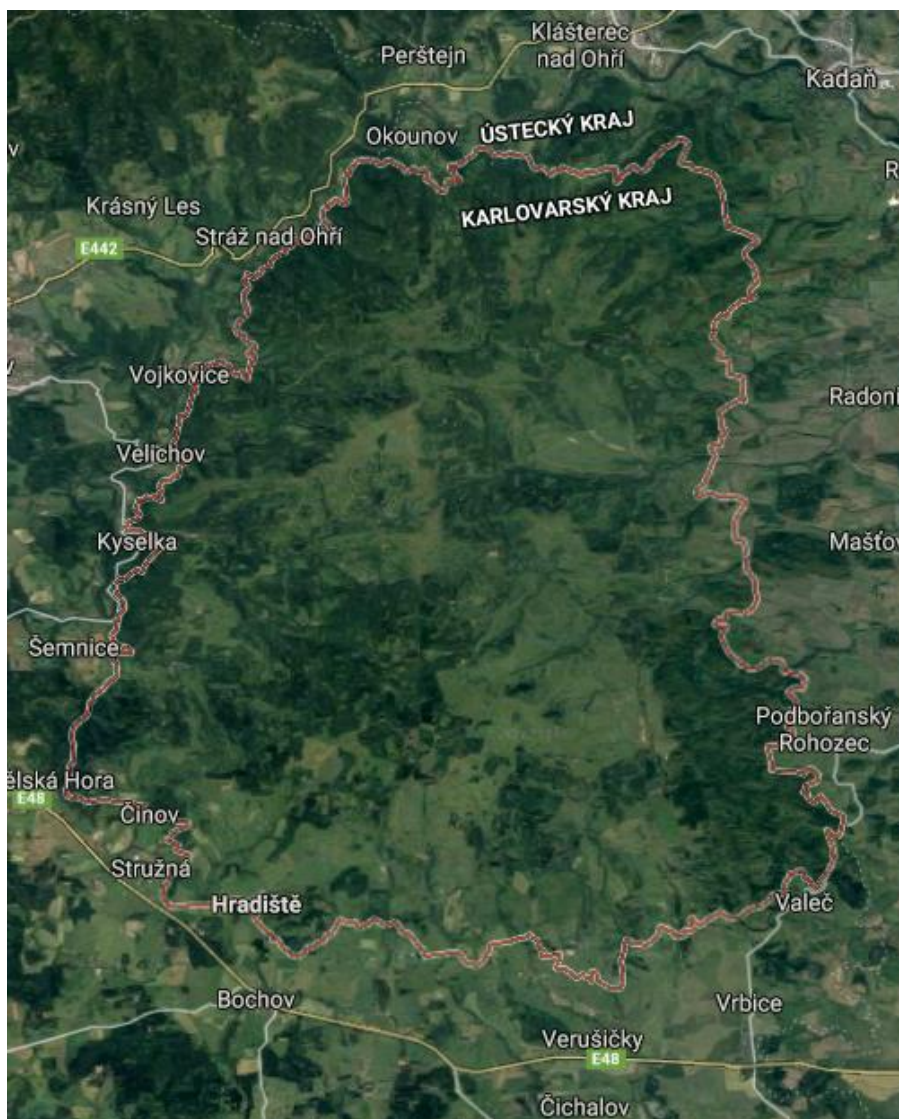
problémy, které vyvstávají u terénních hran či lokálních anomálií (*Gallant a Wilson 2000*).

Mezi další, objektivnější metody srovnávající DMR s předpokládanými chybami s referenčními daty. K základním patří např. porovnání směrodatné odchylky, maximální a minimální hodnoty, průměru, k těm dalším např. výpočet relativní střední kvadratické chyby (RMSE). (*Svobodová 2008*).

4 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Vojenský újezd Hradiště se nachází v Karlovarském kraji. S plochou 331,61 km² je největším vojenským újezdem v České republice. Nadmořská výška území se pohybuje mezi cca 500 až 700 m, nejnižším místem je část silnice na pravém břehu řeky Ohře mezi Vojkovicemi a Velichovem a nejvyšším bodem újezdu je vrch Hradiště s 934 m. Vrch Hradiště je zároveň nejvyšším vrchem celých Doupovských hor.

V důsledku založení vojenského výcvikového prostoru v roce 1953 zaniklo město Doupov. První zmínky o městě s původním názvem Dúpov (odvozeno ze staročeského slova „dúpa“ – dutina) a německým Duppau, pocházejí z roku 1012. První potvrzené zprávy pochází ze 13. století a zmiňují rod Doupovců z Doupova, kteří v blízkosti své tvrze vybudovali městečko, strategicky umístěné v sousedství obchodních cest. Podle Batovcova místopisu z roku 1907 byl Doupov městem, položeným 578 metrů nad mořem, na ploše 709 hektarů, s 267 domy a 1621 obyvateli, z nichž bylo 1606 Němců. Roku 1930 měl 1524 obyvatel (1506 Němců, 18 Čechů), končila zde dráha společnosti Kadaňské místní dráhy z Vilémova u Kadaně. Koncem května a počátkem června 1945 bylo ve sklepení gymnázia zastřeleno nebo jinak usmrceno čtyřicet Němců. Po odsunu německého obyvatelstva se město nepodařilo dosídlit, jeho chátrání ukončilo zřízení vojenského výcvikového prostoru Hradiště, které znamenalo definitivní zánik města i soudního okresu Doupov. Zrušené katastrální území zahrnovalo části následujících moderních katastrálních území: Bražec u Hradiště, Doupov u Hradiště, Radošov u Hradiště, Tureč u Hradiště, Žďár u Hradiště.



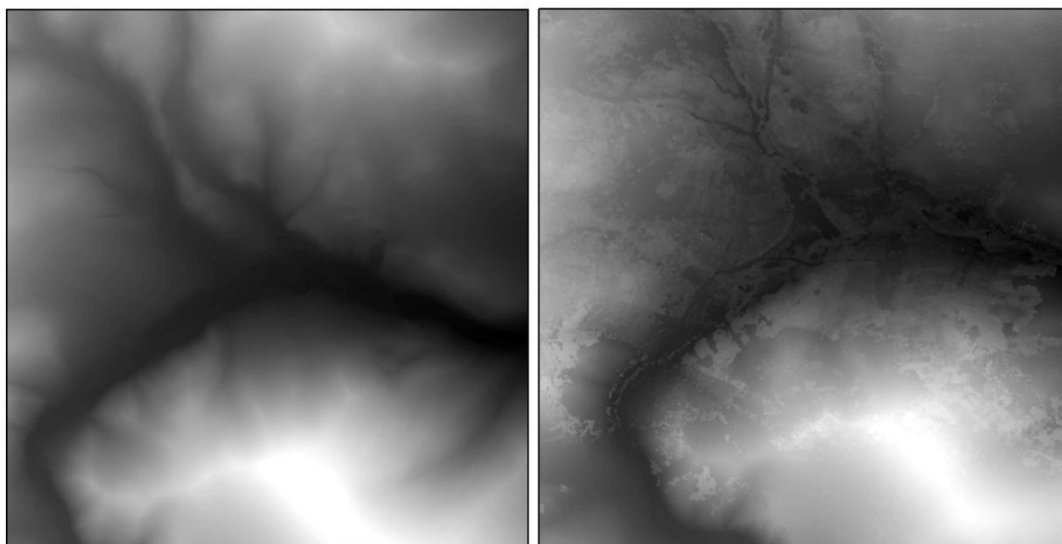
Obr. 12 Vojenský újezd Hradiště (Google.cz /maps)

5 METODIKA PRÁCE

Kapitola s názvem metodika práce přináší ucelený pohled na zpracování vstupních dat. Jsou zde uvedeny veškeré postupy, které byly použity pro zodpovězení otázek stanovených při tvorbě cílů práce.

5.1 Vstupní data

Předkládaná bakalářská práce využívá tři hlavní zdroje dat. Prvním z nich jsou datové sady DMR5G a DMP1G, které poskytuje ČÚZK. Tato data jsou dostupná studentům volně, resp. při odběru nadlimitního množství za poplatek. Náhled na tato data je možné na obrázku č. 13.

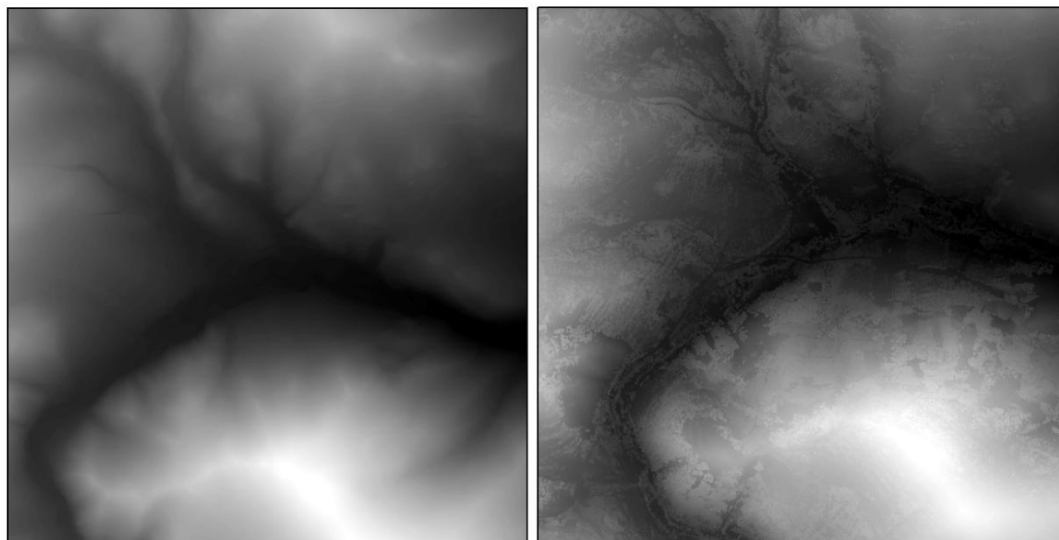


Obr. 13 Vstupní datové sady ČÚZK (vlevo - DMR 5G, vpravo – DMP 1G) (ČÚZK ©2018)

Rozlišení buněk těchto rastrů je zvoleno na 2 m x 2 m. Toto rozlišení bylo zvoleno vzhledem k rozloze lokality, výpočetnímu výkonu počítače a také ke skutečnosti, že s tímto rozlišením je možné pracovat ve webovém geoportálu ČÚZK. Rastry byly oříznuty dle zájmového území Doupovských hor.

Druhou validační sadou prostorových dat jsou lidarová data vlastního náletu zájmové lokality. Nálet území se konal dne 9. 9. 2016 společností Primis. Data byla pořízena senzorem Leica ALS – 70, který byl umístěný na palubě letadla CESSNA 402. Letová hladina byla 1 km. Hustota záznamu bodů je 6 bodů na metr

čtverečný. Surová data byla dodána ve formátu LAS. Z tohoto formátu bylo pomocí metody Canopy Height model převedena do digitálního modelu reliéfu a povrchu. Pro potřeby této práce byla data upravena na rozlišení 2 m x 2 m tak, aby prostorově odpovídala datovým sadám ČÚZK a bylo tak možné data porovnat. Příklad lidarových dat je znázorněn na obrázku č. 14.



Obr. 14 Vstupní datové sady vlastního náletu (vlevo – DMR, vpravo DMP) (ČZÚ ©2018)

Třetí datovou sadou, která již nebyla využita k porovnávání, ale k prostorovému vyhodnocení chyb, byla klasifikovaná vrstva krajinného pokryvu. Tato vrstva vznikla ze satelitního snímku WV2. Klasifikována byla v prostředí programu ENVI, pomocí řízené objektové klasifikace za využití trénovacích množin. Výsledkem je vektorová vrstva, představující řadu kategorií krajinného pokryvu.

Pro účely zpracování této práce byla vytvořena následující legenda, tj. zvolení kategorií (tříd) krajinného pokryvu ve zvoleném zájmovém území Vojenský újezd Hradiště – Doupov:

1. Urbanizovaná území

- 1.1 Zástavba
- 1.2 Komunikace
 - 1.2.1 Zpevněné komunikace
 - 1.2.2 Nezpevněné komunikace

2. Zemědělské plochy

- 2.1 Orná půda

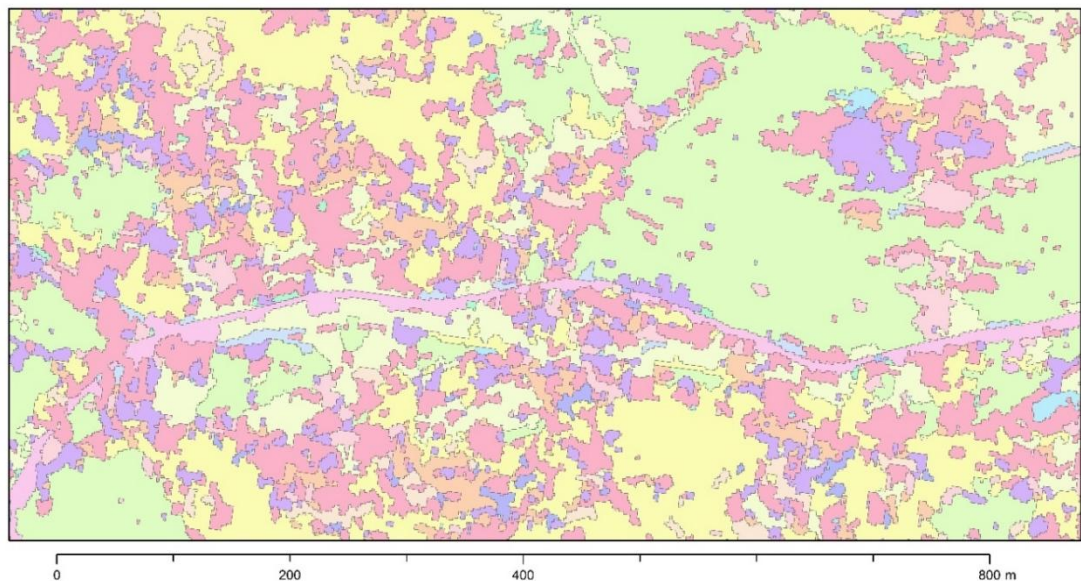
3. Lesy a polo přírodní oblasti

- 3.1 Jehličnatá vegetace
 - 3.1.1 Borovice
 - 3.1.2 Modřín
 - 3.1.3 Smrk
- 3.2 Listnatá vegetace
 - 3.2.1 Křovinná listnatá vegetace
 - 3.2.1.1 Hloh
 - 3.2.1.2 Olše
 - 3.2.1.3 Růže
 - 3.2.1.4 Trnka
 - 3.2.1.5 Vrba
 - 3.2.2 Vysoká listnatá vegetace
 - 3.2.2.1 Buk
 - 3.2.2.2 Dub
 - 3.2.2.3 Jasan
- 3.3 Sukcesní louky

4. Vodní plochy

- 4.1 Vodní plocha

Názorná ukázka snímku je uvedena na obrázku č. 15:

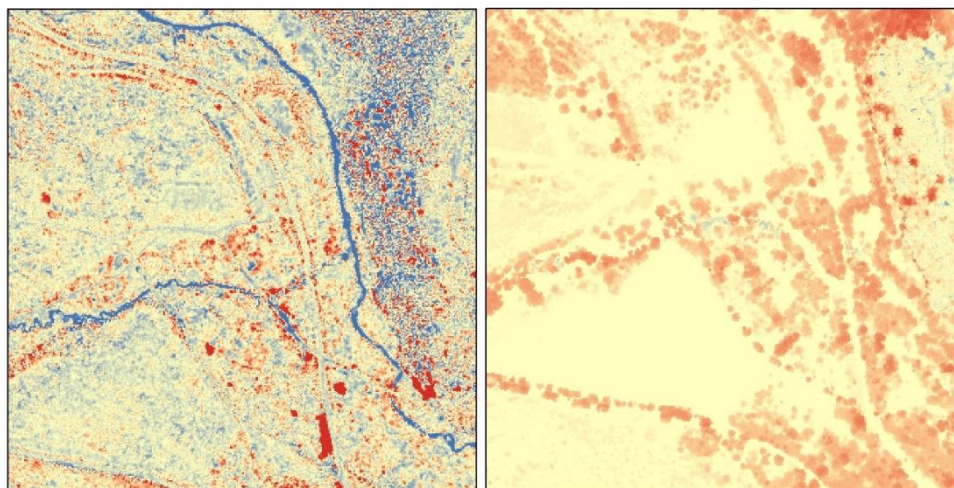


Obr. 15 Klasifikace krajinného pokryvu snímku WV2 v nepravých barvách (ČZU ©2018)

5.2 Rozdílové rastry

Vybraná vstupní data byla upravena tak, aby si prostorově navzájem odpovídala. Bylo zvoleno jednotné rozlišení 2 m x 2 m a buňky rastrů byly slícovány. Jako jednotný souřadnicový systém byl zvolen národní systém S – JTSK. Veškeré výpočetní procesy probíhaly v prostředí geoinformačního systému ArcGIS 10. 5.

Byly porovnány vždy datové sady, které si odpovídaly. Bylo tedy nezbytné rozdělit výpočet na dvě skupiny. První skupinu představovaly datové sady digitálního modelu reliéfu. Skupinu druhou poté digitální modely povrchu. Zjištění rozdílů však probíhalo stejným způsobem pro obě kategorie. Od digitálního modelu terénu byl odečten nástrojem „minus“ odpovídající digitální model lidarových dat. Výsledek je patrný na obrázku č. 16.



Obr. 16 Rozdíly po odečtení datových sad (vlevo – DMR, vpravo DMP) (ČZÚ ©2018)

Z obrázku jsou patrné rozdíly na první pohled. Studená, modrá barva značí záporné hodnoty, červená barva poté kladné rozdíly mezi datovými sadami.

5.3 Zonální statistika

Jedním z cílů práce bylo vyhodnotit závislost rozdílů v rastrech s krajinným pokryvem. Tato závislost byla vyhodnocena v následujícím kroku. Pomocí nástrojů zonální statistiky byly spočítány základní statistické operace. Především se jednalo o maximální i minimální hodnotu, rozptyl, směrodatnou odchylku a průměr.

Do nástroje zonální statistiky vstupoval rozdílový rastr, vzniklý v předešlém kroku a vrstva krajinného pokryvu. Jako zóny byly zvoleny jednotlivé kategorie pokryvu a v druhé řadě každý jednotlivý polygon, který byl v klasifikované vrstvě snímku k dispozici. Výsledky byly vytvořeny formou tabulky (viz. obr. č. 17). Rastrové znázornění nebylo, vzhledem k množství detailních polygonů, zvoleno. Výsledek by měl pouze malou vypovídající hodnotu a rastrová forma není vhodná pro další statistické vyhodnocení.

Rowid	CLASS_NAME	ZONE-CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3221	1	2440066	9760264	-138,580017	35,820007	174,400024	-1,019125	24,108368	-2486731,812866
2	3223	2	4358458	17433832	-132,869995	45,872681	178,742676	1,102068	14,58234	4803317,179718
3	3212	3	2986776	11947104	-133,589996	40,436707	174,026703	-0,035108	19,310281	-104860,534393
4	312	4	472290	1889160	-129,089996	36,450012	165,540009	1,299558	16,079272	613768,301819
5	3214	5	32135	128540	-109,580017	30,929993	140,51001	-1,449259	16,233818	-46571,94278
6	3215	6	1824261	7297044	-136,790009	45,565369	182,355377	0,773335	12,944975	1410765,45636
7	311	7	1396658	5586632	-129,440002	39,369995	168,809998	0,463363	14,59499	647159,439423
8	3213	8	831859	3327436	-135,609985	41,215515	176,8255	-3,075461	19,333559	-2558349,829498
9	3211	9	2450802	9803208	-134,929993	38,959106	173,889099	-1,884782	15,354074	-4619227,107758
10	33	10	7528780	30115120	-139,01001	46,785767	185,795776	-3,139891	19,307629	-23639546,065796
11	3222	11	74477	297908	-119,595001	32,390015	151,985016	-8,212801	30,750007	-611664,802856
12	122	12	287495	1149980	-139,309998	40,943481	180,253479	-9,932174	30,238801	-2855450,382141
13	313	13	360672	1442688	-40,16571	37,890015	78,055725	-2,651701	9,063855	-956394,437531
14	21	14	105910	423640	-108,019989	20,86499	128,884979	-13,659072	32,759098	-1446632,306274
15	11	15	8743	34972	-116,440002	24,360046	140,800049	-25,363218	40,688303	-221750,612457
16	121	16	114393	457572	-133,579987	29,194977	162,774963	-17,358322	37,931292	-1985670,486603
17	41	17	3036	12144	-13,93158	28,205017	42,136597	-0,220222	4,187628	-668,595184
18	Masked	18	19568423	78273692	-125,399994	44,192108	169,592102	0,966373	14,98079	18910401,181488

Obr. 17 Výsledek zonální statistiky (výřez tabulky) (Kadlecová 2018)

Druhý cíl práce bylo zjištění závislosti chyb v rozdílovém rastru na průběhu terénu. Opět zde byla použita zonální statistika. Spojitý rozdílový rastr byl převeden na rastr intervalový, resp. tematický. Jak pro DMR tak DMP bylo stanoveno 11 intervalů od největších chyb až po chyby téměř nulové. Tento rastr se převedl na polygonovou vrstvu. Pro každý polygon byla spočítána zonální statistika, kdy vstupní daty byla vždy polygonová vrstva intervalů rozdílů a rastr DMR resp. DMP z lidarových dat. Byla spočítána průměrná nadmořská výška, rozptyl nadmořských výšek v polygonu a směrodatná odchylka. Vzhledem k velkému počtu vstupních polygonů (v rádech statisíců), bylo pomocí sumarizace zjednodušeno množství dat.

5.4 Statistické vyhodnocení

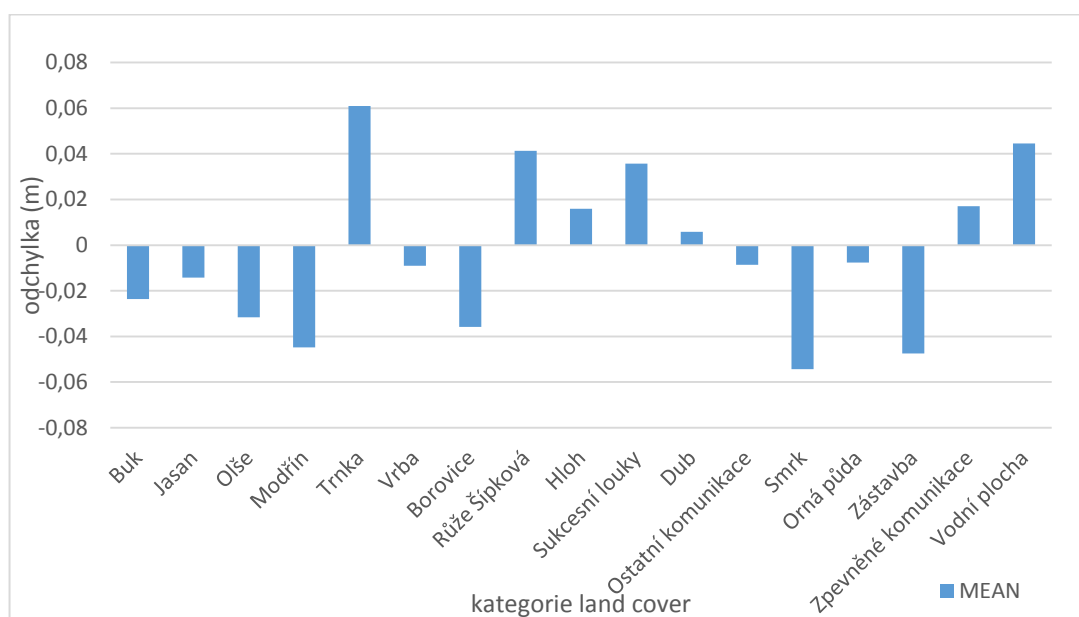
Výsledná data a spočítané tabulky byly z důvodu jednodušší zpracovatelnosti vyexportovány do prostředí programu Excel společnosti Microsoft Office. Zde byla vytvořena řada tabulek a následně grafů pro snazší interpretaci výsledků práce.

6 VÝSLEDKY

Kapitola Výsledky přehledně shrnuje dosažené výstupy práce. Vzhledem k množství zpracovávaných dat, je tato kapitola členěna na tři podkapitoly. V první kapitole se čtenář seznámí s vyhodnocením dat digitálního modelu reliéfu. V druhé kapitole jsou uvedeny výsledky digitálního modelu povrchu. Třetí kapitola hodnotí komplexně výsledky porovnání obou modelů.

6.1 Vyhodnocení chyb DMR v závislosti na krajinném pokryvu

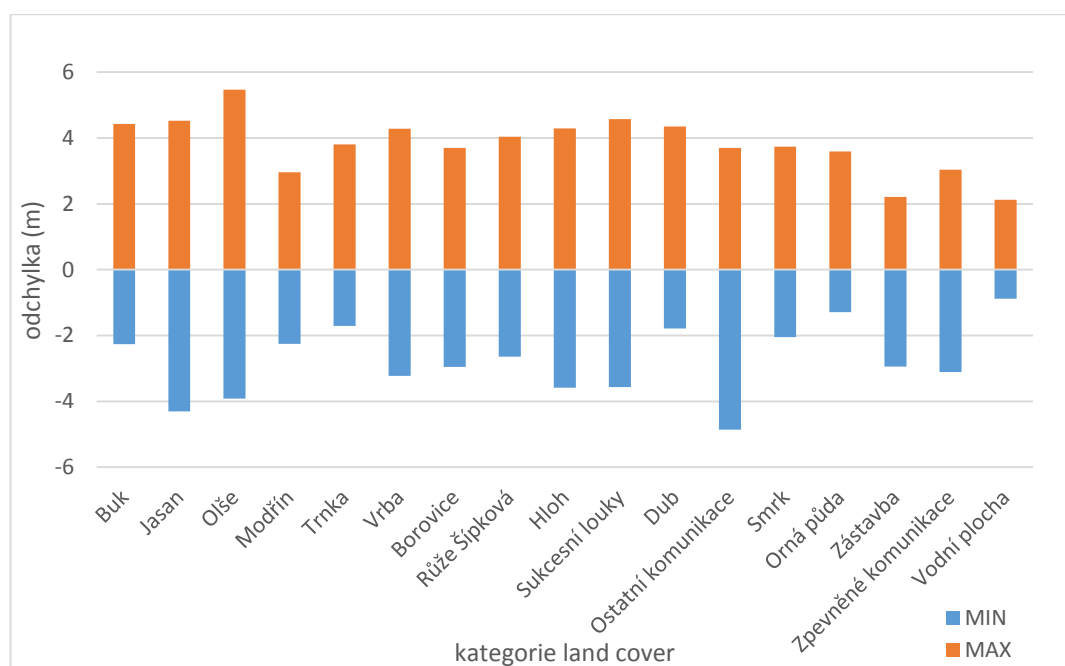
Na první pohled je zřejmé, že datové sady ČÚZK a LIDAR se od sebe liší. Toto bylo předpokládáno a dokládají to i první výsledky během metodických postupů. Graf č. 1 tuto skutečnost potvrzuje.



Graf 1 Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR (Kadlecová 2018)

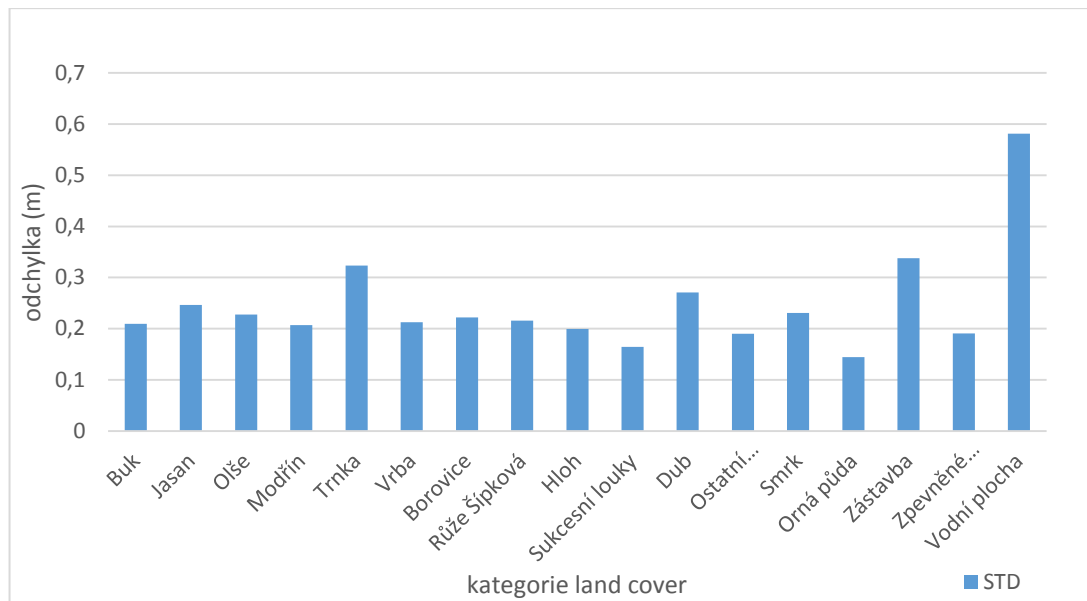
Nejmenších rozdílů dosahují jednoduše rozlišitelné plochy krajinného pokryvu. Jedná se o ornou půdu, komunikace, vzrostlé stromy. Naopak v případech keřů a nižší vegetace jsou rozdíly mnohem větší. Zajímavostí je vodní plocha, která by měla být jasně rozlišitelná, vzhledem ke své jednoduché, geometrické ploše. Lidarová data všeobecně však mají problém s odrazivostí od vodní plochy. Tyto odražené impulsy poté tvoří chybová data a nepřesné zapsání nadmořské výšky.

Zajímavé informace zobrazuje graf naměřených maximálních a minimálních hodnot dané kategorie krajinného pokryvu. Z grafu č. 2 je patrné, že převažují spíše maximální hodnoty nad hodnotami minimálními. Není však možné vysledovat spojitost nad velikostí vegetace a míry extrémních odchylek. Nejmenších odchylek dosahuje modřín, orná půda a vodní plocha. Výsledky u vodní plochy je však nutné brát s rezervou, kvůli výše uvedené chybě při provádění náletu.



Graf 2 Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMR (Kadlecová 2018)

Lze tvrdit, že výše uvedený graf znázorňující maximální a minimální odchylky lze považovat za graf rozptylu. Graf rozptylu odchylek je uvedený na souhrnném grafu jako příloha č. 5 práce. První část vyhodnocení digitálních modelů reliéfu je tak možné uzavřít grafem znázorňující směrodatnou odchylku. Tento graf má číslo 3 a je uvedený níže:

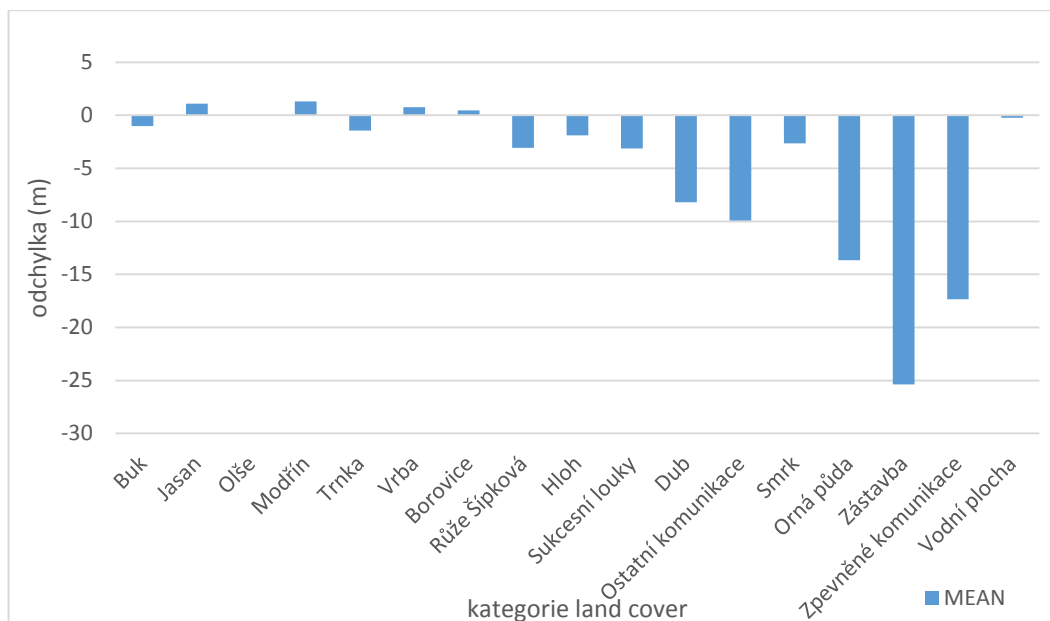


Graf 3 Směrodatná odchylka jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR (Kadlecová 2018)

Zde je patrná shoda mezi jednotlivými kategoriemi krajinného pokryvu. Žádný typ vegetace zásadně nevybočuje z řady. Nejmenší odchylka je u orné půdy, komunikací a sukcesních luk. Nejvyšší odchylka je u keřové vegetace. Tento graf dokresluje a potvrzuje výše uvedené výsledky v předchozích grafech.

6.2 Vyhodnocení chyb DMP v závislosti na krajinném pokryvu

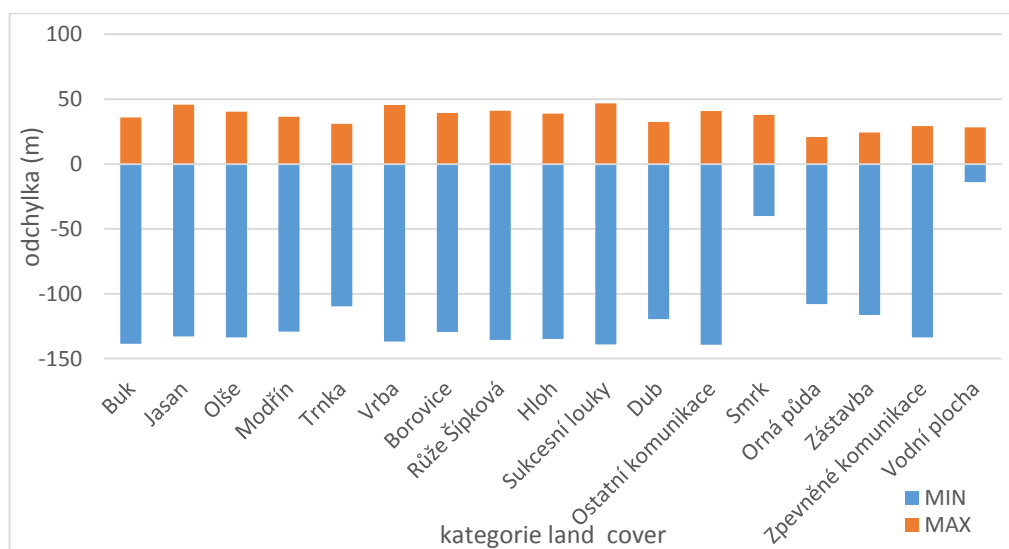
Co se týče odlišnosti datových sad ČÚZK a LIDAR, v případě DMP je z grafu č. 4 patrné, že nejvyšší rozdíly byly zaznamenány v případě jednoduše rozlišitelných ploch, tj. v případech zástavby, zpevněných a ostatních komunikací, orné půdy a dubu. I v ostatních případech byly rozdíly minimální, např. u olše a vodní plochy téměř nulové. Naopak nejmenší, avšak marginální rozdíly jsou viditelné u jasanu, modřínu a vrby.



Graf 4 Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP (Kadlecová 2018)

Na rozdíl od výsledků vyhodnocení DMR, je z grafu č. 5 naměřených maximálních a minimálních hodnot dané kategorie krajinného pokryvu patrné, že zde zcela jasně převažují hodnoty minimální nad těmi maximálními.

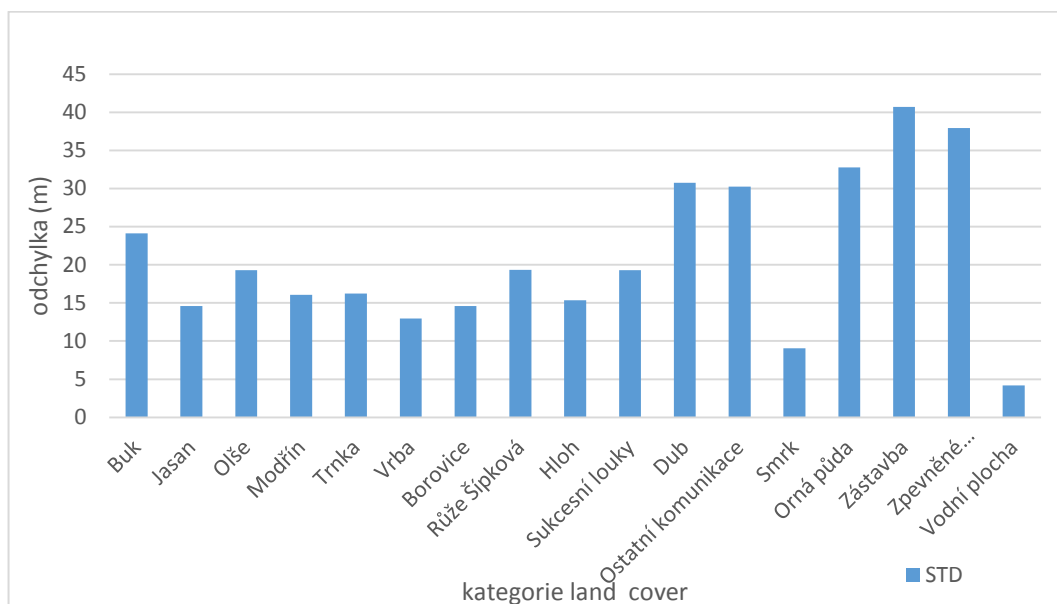
Také zde není možné vysledovat spojitost mezi velikostí vegetace a mírou odchylek. Nejzajímavějším se jeví údaj o nejmenší odchylce u smrku v porovnání s ostatními vzrostlými stromy. Co se týče zcela minimální odchylky u vodní plochy, je tato dána, jak již bylo řečeno výše, je potřeba brát s rezervou kvůli chybě při provádění LLS.



Graf 5 Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMP (Kadlecová 2018)

Graf rozptylu odchylek je uvedený na souhrnném grafu jako příloha č. 10 práce.

Vyhodnocení digitálních modelů povrchu se uzavírá údaji uvedenými v grafu č. 6, který znázorňuje směrodatnou odchylku jednotlivých kategorií krajinného pokryvu.

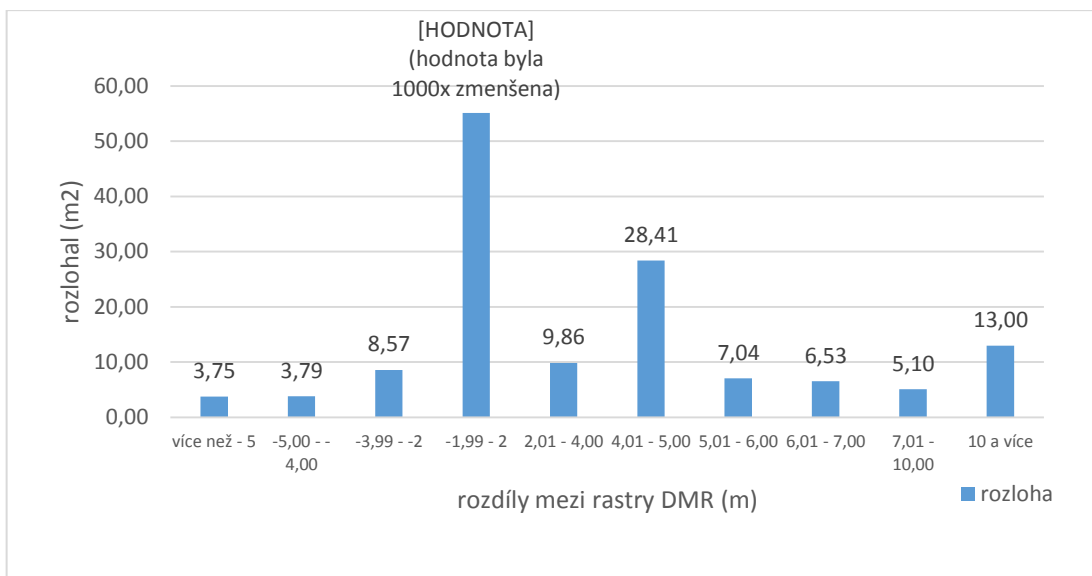


Graf 6 Směrodatná odchylka jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP (Kadlecová 2018)

Z grafu je patrné, že nejvyšší odchylka je i orné půdy a listnatých stromů jako jsou dub a buk, úplně nejnižší odchylku vykazuje smrk a vrba. U ostatních kategorií krajinného pokryvu jsou rozdíly minimální a je zde patrná shoda. Výsledky uvedené v tomto grafu jsou potvrzením výsledků zobrazených v grafech předchozích.

6.3 Vyhodnocení chyb DMR v závislosti na průběhu reliéfu

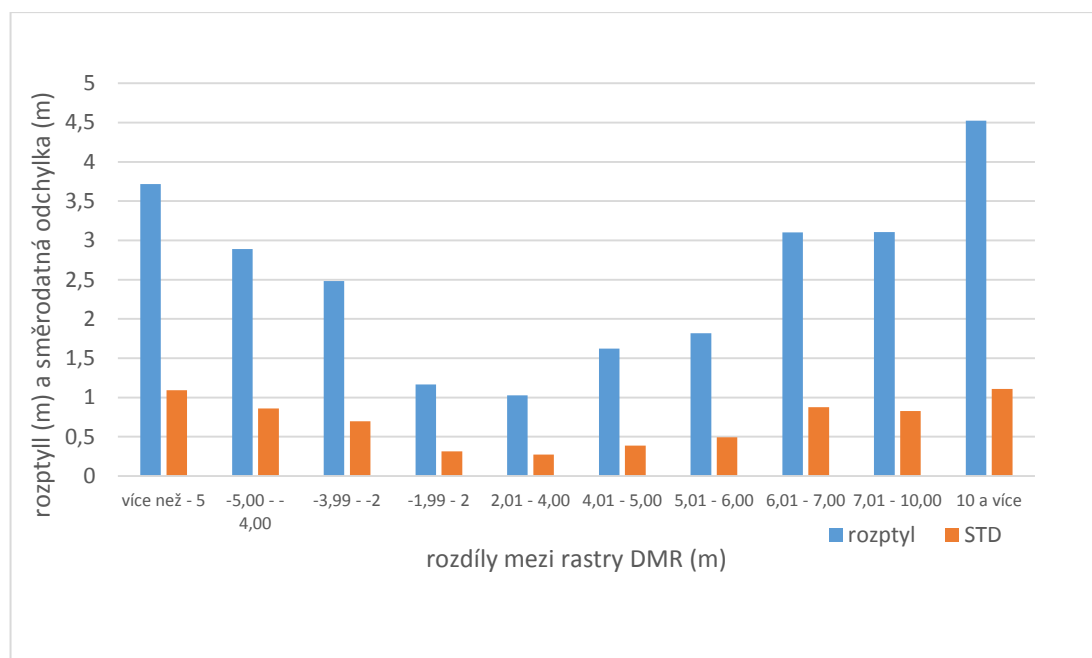
Na základě níže uvedených grafů lze vysledovat závislost mezi velikostí chyb a průběhem terénu. Na grafu č. 7 je patrné, že nejvíce zastoupených hodnot je v intervalu od - 1,99 do 2. Tato hodnota musela být ještě 1000 x zmenšena, aby byla v grafu zobrazitelná. Oproti této hodnotě jsou všechny ostatní hodnoty prakticky zanedbatelné.



Graf 7 Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMR (Kadlecová 2018)

Nejvíce chyb je založeno v intervalu kolem nulové hodnoty. Z rozložení grafu tedy vyplývá, že DMR ČÚZK je velmi podobný Lidarovým datům.

I druhý graf, který je zobrazen jako graf č. 8, zobrazuje téměř ideální rozložení chybovosti. Uvedený graf zobrazuje rozptyl a analogicky vyplývající směrodatnou odchylku.

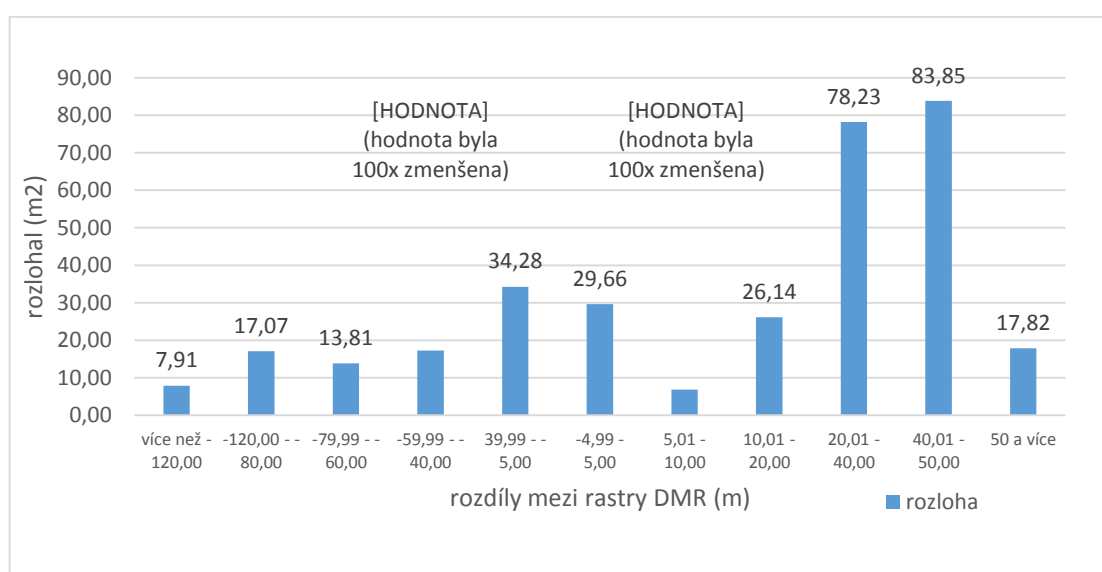


Graf 8 Průměrný rozdíl jednotlivých polygonů v kategoriích reliéfu DMR (Kadlecová 2018)

Nejmenší chybové hodnoty se pohybují kolem nulových intervalů. Naopak extrémní jsou zastoupeny výrazněji. Z grafu lze jednoduše vyčíst, že v rovinných oblastech je nejmenší chyba, naopak ve velmi členitých oblastech rostou i nepřesnosti mezi porovnávanými rastry.

6.4 Vyhodnocení chyb DMP v závislosti na průběhu reliéfu

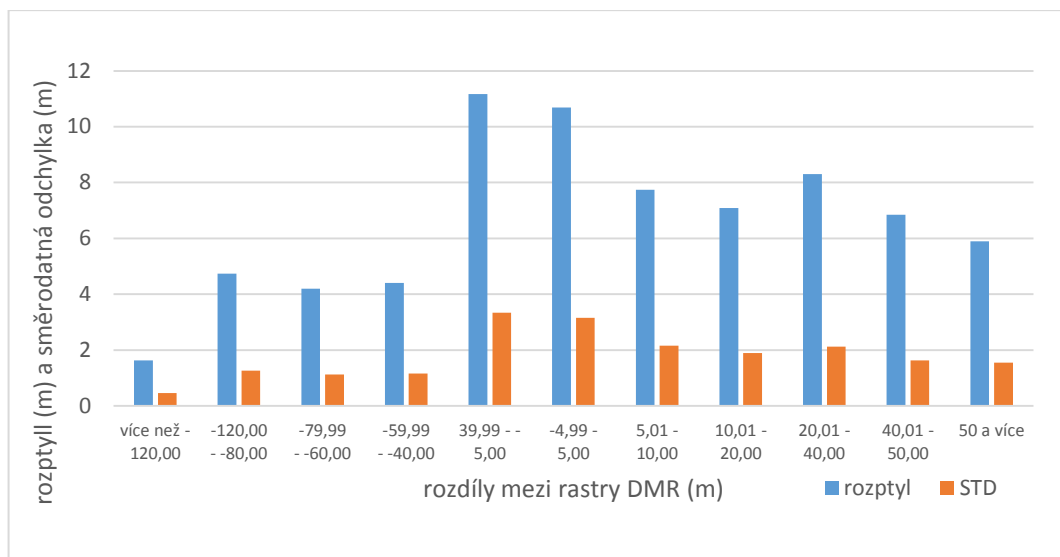
Zhodnocení chybovosti DMP v závislosti na reliéfu dokazuje dosavadní trend, kdy na rozdíl od DMR, DMP vykazuje nepředpokládané a těžko interpretovatelné výsledky. Na grafu č. 9, je vidět rozloha jednotlivých kategorií v intervalech.



Graf 9 Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMP (Kadlecová 2018)

Na první pohled jsou patrné dvě extrémní hodnoty. Zatímco ta v intervalu od 5 do 10, je očekávaná, fakticky nejvíce zastoupené jsou hodnoty v intervalu od - 59,99 do - 40. Vzhledem k velikosti této chyby lze uvažovat, že se jedná o systematickou chybu.

Graf č. 10 toto pouze potvrzuje. V místa s největším rozptylem výšek se nacházejí v intervalu kolem nuly. Tato skutečnost může být způsobena neschopností ČÚZK data správně postihnout povrch terénu a zachytit drobné rozdíly ve vegetaci.



Graf 10 Průměrný rozdíl jednotlivých polygonů v kategoriích reliéfu DMP (Kadlecová 2018)

6.5 Komplexní zhodnocení

Výsledky porovnání chybovosti DMR a DMP z dat ČÚZK a vlastního náletu jsou překvapivé. V případě porovnání s vegetací DMR vykazoval poměrně malou chybu, kde nejde odpozorovat závislost. U DMP jsou výsledky snadno interpretovatelné, avšak zatímco u DMR se směrodatná odchylka pohybuje do jednoho metru, v případě DMP se jedná o metry desítky. Toto vychází z podstaty věci. Digitální model reliéfu nezobrazuje vegetační ani antropologický pokryv. Tyto dva faktory, které tvoří největší podíl na chybovosti modelů, však digitální model povrchu zobrazuje. To je jeden z hlavních důvodů, proč jsou výsledky takto odlišné.

Vyhodnocení porovnání z hlediska průběhu terénu také přináší nečekané výsledky. Závislost chybovosti DMR na reliéfu byla očekávaná. V místech s vyšší terénní členitostí se zvyšuje i počet chyb mezi porovnávanými datovými sadami. Neočekávaným výsledkem je poté chování DMP, kdy lze výsledek označit za téměř opačný. Zde je možné se až přiklánět k systematické chybě měření, kdy největší zastoupení chyb je v intervalu, který se nachází velmi hluboko v záporných číslech.

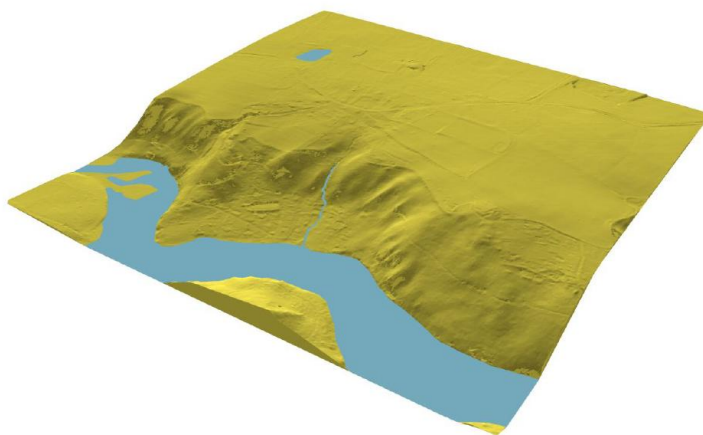
7 DISKUZE

Z předložených výsledků jsou zřejmé jasné rozdíly mezi datovou sadou ČÚZK a vlastním lidarovým náletem. Tato skutečnost je způsobena rozdílností pořízení dat, přesností surových dat, interpolační metodou zpracování a následnou generalizací při vytváření rastru o určitém rozlišení.

Co se týče přesnosti DMR 5G, dosavadní ověřovací zkoušky potvrzují, že deklarovaná střední chyba tohoto modelu reliéfu, tj. 0,18 m v terénu bez souvislé vegetace a zástavby a 0,3 m v terénech pokrytých hustou vegetací, byla dosažena. Uvedené však neznamená, že se v DMR 5G nemohou ojediněle vyskytovat i větší lokální chyby. Výraznější odchylky se mohou vyskytovat především v lokalitách porostlých souvislou hustou vegetací, což jsou husté křoviny apod.

Protože je model DMR 5G poměrně datově objemný, doporučuje se zpracovávat najednou pouze úlohy lokálního charakteru, což znamená rozdělit větší územní celky do dílčích částí (Bělka a kol. 2012).

V důsledku lidské činnosti či přírodních jevů se reliéf terénu může v období od provedení LLS do doby použití DMR 5G, proto je z důvodu minimalizace důsledků těchto změn požadovat nové verze v Zeměměřickém úřadu, který zajišťuje průběžnou aktualizaci výškopisných databází ČR. Dalším krokem vedoucím k minimalizaci důsledků uvedených změn je důsledná rekognoskace skutečného stavu terénu (Bělka a kol. 2012).

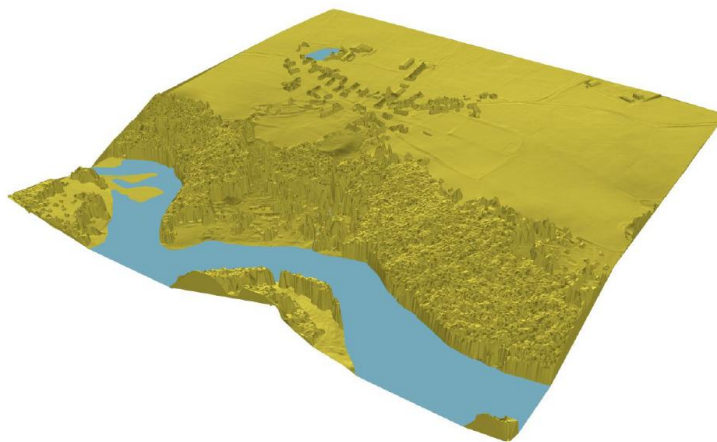


Obr. 18 Digitální model reliéfu 5. Generace – DMR 5G (Bělka a kol. 2012)

Výše uvedené v podstatě platí i při užívání modelu DMP 1G, který je prioritně určen pro potřeby Ministerstva obrany. Ani u DMP 1G se nedá garantovat, že se nevyskytnou i větší lokální chyby, kdy se výraznější odchylky objeví v místech, kde byly body uměle vytvořeny interpolací.

I v případě modelu DMP 1G se jedná o velký objem dat, kdy se doporučuje zpracovávat najednou pouze úlohy lokálního charakteru a v případě zpracování větších územních celků je potřeba území rozdělit do několika částí nebo data vhodným algoritmem zředit (Dušánek a kol. 2016).

Jak bylo řečeno výše u užívání modelu DMR 5G, i při užívání modelu DMP 1G je nutné vzít v úvahu změny terénního reliéfu vlivem přírodních jevů či lidské činnosti od doby provedení LLS a důsledky těchto změn minimalizovat jednak vyžadováním nových verzí od Zeměměřického úřadu a dále pak rekognoskací skutečného stavu terénu v době zpracování. Optimálním podkladem pro tuto rekognoskaci je stínované zobrazení terénu, které lze získat na Geoportálu ČÚZK jako samostatný produkt Zeměměřického úřadu (Dušánek a kol. 2016).



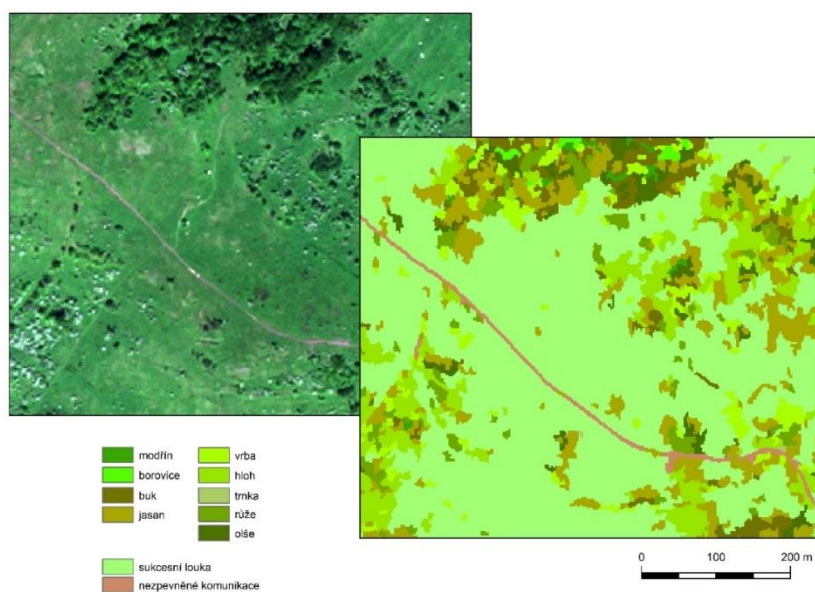
Obr. 19 Digitální model povrchu 1. generace – DMP 1G (Dušánek a kol. 2016)

Správné vyhotovení digitálního modelu terénu i povrchu vyžaduje korektní filtraci, resp. klasifikaci jednotlivých odražených laserových signálů. Filtrace může být buď automatizovaná, nebo manuální. V drtivé většině případů se jedná o filtraci automatickou, manuální bývá využívána až v případě neschopnosti automatické klasifikace či pro kontrolu výsledků. V případě klasifikace datové sady DMR 5G i DMP 1G, zhotovitel dat – ČÚZK - předkládá ve své technické zprávě následující: „Úspěšnost automatizovaných postupů správné klasifikace výškových bodů značně

závisí na ročním období, ve kterém byla data pořízena, tj. na stupni rozvinutí vegetace. Orientačně lze klasifikovat úspěšnost automatického zatřídění dat, pořízených v období bez rozvinuté vegetace (březen – květen), na 90 % a naopak, v oblastech skenovaných později (červen – září), pouze na 30-40 %.“ (Dušánek a kol. 2016).

V práci využívaná datová sada, vzniklá vlastním náletem, má výhodu v tom, že zpracovateli dat byla poskytnuta pouze surová data, která byla zpracována pomocí SpikeFree algoritmů. Výsledkem byl Canopy Height model dosahující mnohem větší přesnosti, než je uváděná ve výše citované technické zprávě ČÚZK. Už jenom tato skutečnost naznačuje, že určité rozdíly v datových sadách jsou z podstaty věci nezbytné.

Vzhledem k tématu práce, byla správná klasifikace multispektrálního snímku zásadní. Z technické zprávy „Klasifikace snímku družice WorldView-2 a hodnocení jejich využitelnosti v environmentálních aplikacích“ (Klouček 2017) je patrné, že ze snímků velmi vysokého rozlišení z družice WorldView-2 je možné, s relativně dostatečnou přesností, detailně klasifikovat krajinný pokryv, a to i na úrovni jednotlivých rostlinných druhů. Přesnějších výsledků bylo v projektu dosaženo při použití kombinace multispektrálních snímků s analýzou hlavních komponent a indexu NDVI, než při využití pouze samotných multispektrálních snímků. Při klasifikaci Doupovských hor byla dosažena maximální přesnost 72 %.



Obr. 20 Ukázka klasifikace snímku WV2 – Doupovské hory (Klouček 2017)

Z předešlých odstavců je patrné, že kvalita vstupních dat a jejich následné zpracování velkou měrou přispívá k celkovým výsledkům práce. Vzhledem ke skutečnosti, že v žádném kroku není a ani nemůže být stoprocentní přesnost, určité chyby se tak promítají i do samotných výsledků. V takto detailním měřítku vyhodnocení oblasti jsme však na hranici dostupných technologií a metodických postupů.

8 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla koncipována s hlavním cílem porovnat digitální modely terénu vytvořené z lidarových dat získaných při leteckém laserovém snímání s daty, které poskytuje Český úřad zeměměřický a katastrální. Výsledkem této práce mělo být zjištění míry závislosti rozdílů mezi výše uvedenými datovými sadami na vegetačním pokryvu a konfiguraci reliéfu daného zájmového území.

Teoretická část práce je zaměřena na představení základních pojmů, jako je letecké laserové skenování, systém LiDAR, družicové snímání. Dále byly popsány postupy metody zpracování lidarových dat na digitální terénní modely a způsoby jejich hodnocení a zonální statistika. V závěru této části bylo představeno i vybrané zájmové území – Vojenský újezd Hradiště.

Před samotným zpracováním výsledků bylo nutné provést mnoho dílčích kroků. Zásadním krokem bylo získání datových zdrojů a jejich zpracování v prostředí geoinformačního systému ArcGIS 10. 5 a vytvoření klasifikace jednotlivých druhů krajinného pokryvu. Výslednými produkty tohoto zpracování byly vytvořené digitální terénní modely – digitální model reliéfu a digitální model povrchu, které byly následně pomocí zonální statistiky porovnávány v souladu s cíli této práce.

Pro přehlednější zobrazení výsledků byly v prostředí software Microsoft Excel zpracovány grafy, které jsou uvedeny jak ve výsledcích této práce, tak i v jejich přílohách.

Ze samotných výsledků práce vyplývá následující: mezi datovými sadami poskytnutými ČÚZK a datovými sadami získanými vlastním lidarovým náletem, jsou zřetelné rozdíly. Tyto rozdíly jsou dány již z podstaty věci – rozdílným pořízením dat, přesností surových dat, metodami zpracování a následnou generalizací při vytváření rastru o určitém rozlišení. Výhodou dat vzniklých vlastním náletem byla skutečnost, že byla poskytnuta pouze surová data, která byla zpracována pomocí SpikeFree algoritmů, čímž bylo dosaženo mnohem větší přesnosti, než u již zpracovaných dat poskytnutých ČÚZK. U porovnání dat DMR lze vysledovat očekávané chování. Existuje závislost chyb jak na krajinném pokryvu, tak na konfiguraci terénu. Oproti tomu DMP vykazuje mnohem větší chybovost a nelze najít vývojový trend v datech.

Slovy klasika: „Pokrok nezastavíš“. To platí i v případě vývoje technologií a metod zpracování dat z leteckého laserového skenování. Dá se očekávat, že v blízké budoucnosti budou tato data využívána nejen k určení reliéfu terénu, porostu a jeho skladbě, ale např. i k parametrům jejich vývoje. LiDAR data mají široké spektrum využití v kartografii, fotogrammetrii, geografii, geodézii, lesním hospodářství, při zjišťování změn klimatu a půdních erozí, v ochraně přírody, při navrhování inženýrských sítí, vodních děl atd.

9 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

Odborné publikace:

ACKERMANN, F., 1996: Airbone laser scanning for elevation models. GIM International.

ARYA, S. a kol., 1998: An Optimal algorithm for approximate nearest neighbour searching fixed dimensions. Journal of the Association for Computing Machinery 45, 891-923 s.

BAYER, T., 2016: Digitální modely terénu. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.

CAMPBELL, J. B., 1996: Introduction to remote sensing. London: Taylor and Francis, 622 s. ISBN 0-7484-0663-8.

DOLANSKÝ, T., 2004: Lidary a letecké laserové skenování. Ústí nad Labem. ISBN 80-7044-575-0.

FLOOD, M., 2001: Laser altimetry: from science to commercial Lidar mapping. Phptpmetric Engineering and Remote Sensing.

GALLANT, J.C. a WILSON, J.P., 2000: Digital Terrain Analysis in Terrain Analysis: Principles and Applications, 1-27 s.

HYYPÄ, J. a kol., 2008: Review od methods od small-footprint airborne lase scanning for extracting forest inventory data in boreal forests.

KLIMÁNEK, M., 2006: Digitální modely terénu. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 96 s. ISBN 80-7157-982-3.

KLOUČEK, 2017, Metodický pokyn ke zpracování snímků VW2, KAGÚP FŽP ČZU

KLUSÁK, P., 2014: Tvorba digitálního modelu terénu zadané části lokality Jedovnice. Vysoké učení technické v Brně. Diplomová práce. Nepublikováno.

KŘIKAVOVÁ, L., 2009: Interpolace bodových dat v GIS. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie. 55 s. Nепublikováno.

LAGNER, O., 2017: Digitální modely terénu v krajinné ekologii a ekologii živočichů. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování. Teze disertační práce. 38 s. Nепublikováno.

LI, Z. L., 2005: Digital terrain modeling Principles and Methodology. New York, USA: CRC press.

Li, Z. L., 1990: Sampling Strategy and Accuracy Assessment for Digital Terrain Modelling.

LIM, K., 2003: LiDAR remote sensing for forest structure. New York, USA: Progress and Physical Geography.

Maune, D. F. a kol., 2001: DEM user applications. Digital Elevation Model Techniques and Applications: The DEM User Manual. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 367-394

Miller, C. a Laflamme, R., 1958: The digital terrain model – theory and applications, Photogrammetric Engineering, 24, 433-442

PAVELKA, K., 2003: Fotogrammetrie 20. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 193 s.

PAVELKA, K. a HODAČ, J., 2008: Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-03978-6.

PATOČKA, Z., 2012: Využití dat leteckého laserového skenování v lesnictví. Brno. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav geoinformačních technologií. Bakalářská práce. Nепublikováno.

ŠIKOVÁ, Z., 2015: Využití metod optického skenování v geomorfologických analýzách. Praha. Univerzita Karlova, Fakulta přírodovědecká, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie. Diplomová práce. Nепublikováno.

ŠÍMA, J., 2009: Abeceda leteckého laserového skenování. GeoBusiness, 8, č. 3, 22-25 s.

ŠIMÍČEK, M., 2014: IMPLEMENTACE METODY STRUCTURE FROM MOTION DO UAV FOTOGRAFMETRIE. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geoinformatiky. Diplomová práce. Nepublikováno.

TALHOFER, V. a kol., 2008: Vojenská topografie. Brno: Univerzita obrany, Fakulta vojenských technologií.

Tang, L., 1989: Surface modelling and visualization based upon digital image processing techniques. Optical 3-D Measurement Techniques, 317-325

ŽELEZNÝ, M., 2009. Dálkový průzkum Země. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 96 s.

Internetové zdroje:

BAYER, T., 2016: Digitální modely terénu. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/~bayertom/images/courses/Adk/adk5.pdf>

BĚLKA, L. a kol., 2012: *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)* [online]. Pardubice. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf

ČÚZK, ©2014: *Český úřad zeměměřický a katastrální: Terminologický slovník*. [cit. 2018-04-24] Dostupné z: www.vuqtk.cz/slovník

Digitální model terénu - 1. část [online]. 1999. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/rubriky/3d-grafika/digitalni-model-terenu-1-cast-126906cz>

DUŠÁNEK, P. a kol., 2016: *Technická zpráva k digitálnímu modelu povrchu 1. generace (DMP 1G)* [online]. Pardubice. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMP_1G.pdf

Geografické informační systémy [online]. In: ARCDATA PRAHA. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data>

JEDLIČKA, K. *Úvod do GIS: Zpracování dat II* [online]. 51 s. [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/uqi/Prezentace/09-InterpolaceTvorbDMRTopologickeCistenDatGeneralizace.pdf>

KACHLÍK, P. *Přehled družicových systémů* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://druzice.kachlik.com/>

LOWE, D. G., 2004: *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints* [online]. University of British Columbia, Computer Science Department. Vancouver, B. C. Canada. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ijcv04.pdf>.

Metody prostorové interpolace [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/Z8102/um/Geostatistika_6.pdf

O'NEIL-DUNNE, J., 2014: *Canopy Height Models - An Object-Based Approaches* [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://letters-sal.blogspot.cz/2014/10/canopy-height-models-object-based.html#!/2014/10/canopy-height-models-object-based.html>

PATKOVÁ, L., 2007: *Fotogrammetrické metody kontroly kvality digitálního modelu terénu* [online]. Univerzita Karlova Praha, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie. Diplomová práce. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/95436/120292404.pdf?sequence=1>.

Princip leteckého laserového skenování [online]. In: VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, v. v. i. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/90/princip-leteckeho-laseroveho-skenovani.html?PHPSESSID=uxbjycatmqkz>.

SNAVELY, N., S. M. SEITZ a R. SZELISKI. 2007: *Modeling the World from Internet Photo Collections* [online]. Springer Science+Business Media, LLC 2007. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: http://phototour.cs.washington.edu/ModelingTheWorld_ijcv07.pdf.

SVOBODOVÁ, J. *HODNOCENÍ PŘESNOSTI DIGITÁLNÍCH MODELŮ RELIÉFU*
[online]. [cit. 2018-03-24].

Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/238776627_HODNOC

Velmi vysoké rozlišení [online]. In: Gisat [cit. 2018-02-10]. Dostupné
z: <http://www.gisat.cz/content/cz/druzicova-data/dodavana-data/velmi-vysoke-rozliseni>.

Worldview-2 [online]. In: GEOIMAGE. [cit. 2018-01-25]. Dostupné
z: <https://www.geoimage.com.au/satellite/worldview-2>

10 SEZNAM GRAFŮ A OBRÁZKŮ

Grafy:

- Graf 1 Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR
- Graf 2 Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMR
- Graf 3 Směrodatná odchylka jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR
- Graf 4 Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP
- Graf 5 Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMP
- Graf 6 Směrodatná odchylka jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP
- Graf 7 Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMR
- Graf 8 Průměrný rozdíl jednotlivých polygonů v kategoriích reliéfu DMR
- Graf 9 Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMP
- Graf 10 Průměrný rozdíl jednotlivých polygonů v kategoriích reliéfu DMP

Obrázky:

- Obr. 1 Geometrický princip leteckého snímkování (Talhofer a kol. 2008)
- Obr. 2 Princip leteckého skenování (Šíma 2009)
- Obr. 3 Družice WorldView2 (<https://www.digitalglobe.com/about/our-constellation>)
- Obr. 4 Výstupy DMT (Bayer 2016)
- Obr. 5 Znázornění rozdílů mezi DMP a DMR (Computemaps 2014)
- Obr. 6 Výpočet váhové funkce (Jedlička 2018)

- Obr. 7 IDW (Křikavová 2009)
- Obr. 8 Thiessenovy polygony (Křikavová 2009)
- Obr. 9 Metoda přirozeného souseda (Křikavová 2009)
- Obr. 10 Lineární trend (Křikavová 2009)
- Obr. 11 Kvadratický trend (Křikavová 2009)
- Obr. 12 Vojenský újezd Hradiště (Googlemaps)
(<https://www.google.cz/maps/place/Hradi%C5%A1t%C4%9B/@50.2571351,12.9813676,35147m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470a0a0aec2827a3:0x4840ac4d93f333b!8m2!3d50.1744536!4d13.0454163>)
- Obr. 13 Vstupní datové sady ČÚZK (vlevo - DMR 5G, vpravo – DMP 1G)
(ČÚZK ©2018)
- Obr. 14 Vstupní datové sady vlastního náletu (vlevo – DMR, vpravo DMP)
(ČZU ©2018)
- Obr. 15 Klasifikace krajinného pokryvu snímku WV2 v nepravých barvách
(ČZU ©2018)
- Obr. 16 Rozdíly po odečtení datových sad (vlevo – DMR, vpravo DMP)
(ČZU ©2018)
- Obr. 17 Výsledek zonální statistiky (výřez tabulky) (Kadlecová 2018)
- Obr. 18 Digitální model reliéfu 5. Generace – DMR 5G (Bělka a kol. 2012)
- Obr. 19 Digitální model povrchu 1. generace – DMP 1G (Dušánek a kol. 2016)
- Obr. 20 Ukázka klasifikace snímku WV2 – Doupovské hory (Klouček 2017)

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3D	trojdimenzionální, trojrozměrný
ALS	letecký laserový skener
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
č.	číslo
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMP	digitální model povrchu
DMR	digitální model reliéfu
DMT	digitální model terénu
ENVI	Software americké společnosti Harris Geospatial Solutions, Inc.
GIS	Geoinformační systém
GPS	Global Positioning System - Globální polohový systém
CHM	Canopy Height Model
IDW	Inverse Distance Weighted - Metoda vážené inverzní vzdálenosti
km	kilometr
km ²	čtverečný kilometr
kol.	kolektiv
LiDAR	Light Detection and Ranging - metoda dálkového měření vzdálenosti
LLS	letecké laserové skenování
m	metr
např.	například
obr.	obrázek
RMSE	The root mean square error - relativní střední kvadratická chyba

SfM Structure from Motion – „Struktura z pohybu“
SIFT The Scale Invariant Feature Transform
S-JTSK Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
tj. to jest
tzv. takzvaně

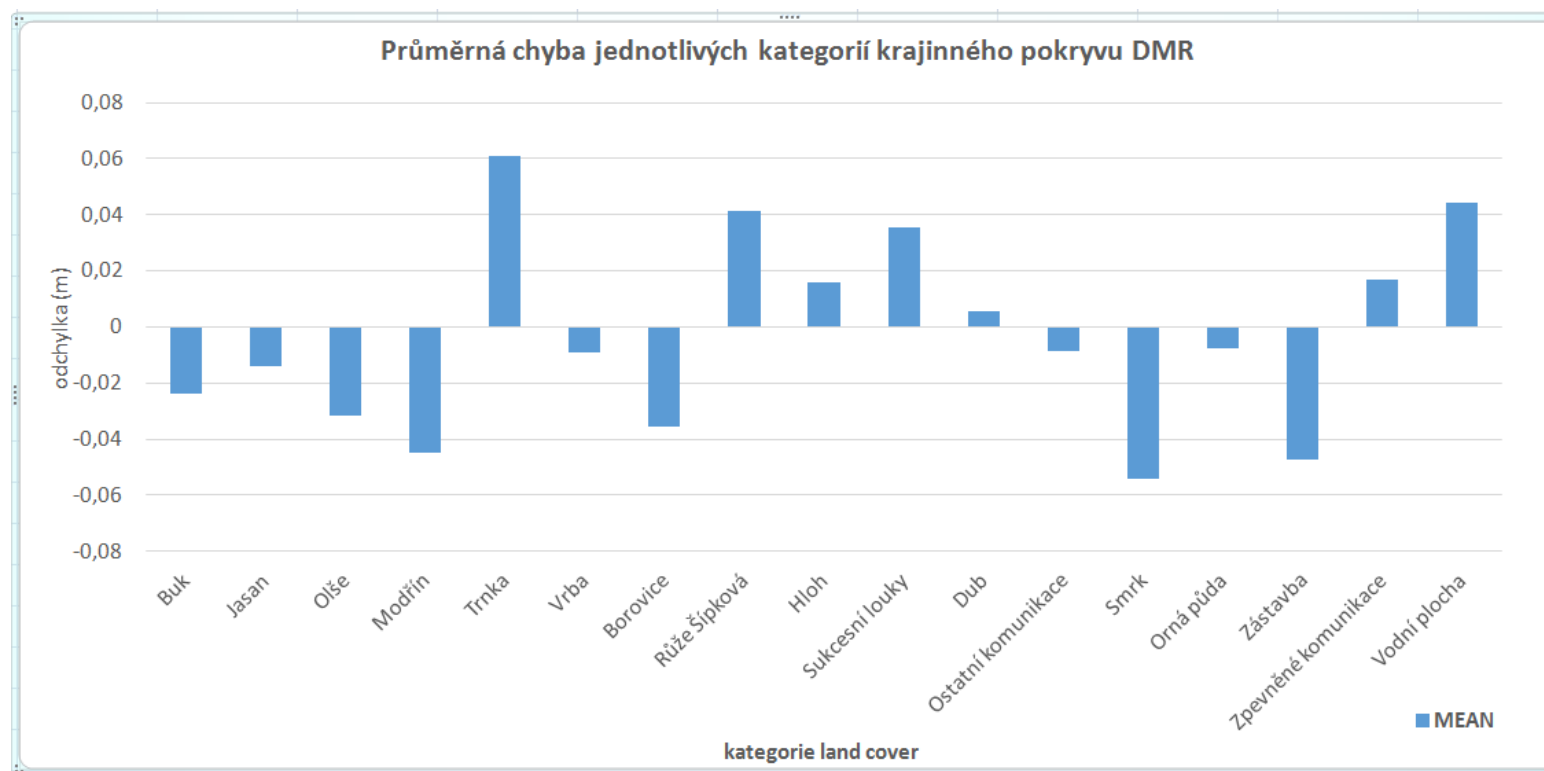
12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tabulka „Zonální rozdíl DMR kategorie“
Příloha 2	Graf „Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR“
Příloha 3	Graf „Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMR“
Příloha 4	Graf „Směrodatná odchylka jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR“
Příloha 5	Graf „Rozptyl jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR“
Příloha 6	Tabulka „Zonální rozdíl DMP kategorie“
Příloha 7	Graf „Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP“
Příloha 8	Graf „Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMP“
Příloha 9	Graf „Směrodatná odchylka jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP“
Příloha 10	Graf „Rozptyl jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP“
Příloha 11	Graf „Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMR“
Příloha 12	Graf „Průměrný rozdíl jednotlivých polygonů v kategoriích reliéfu DMR“
Příloha 13	Graf „Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMP“
Příloha 14	Graf „Průměrný rozdíl jednotlivých polygonů v kategoriích reliéfu DMP“

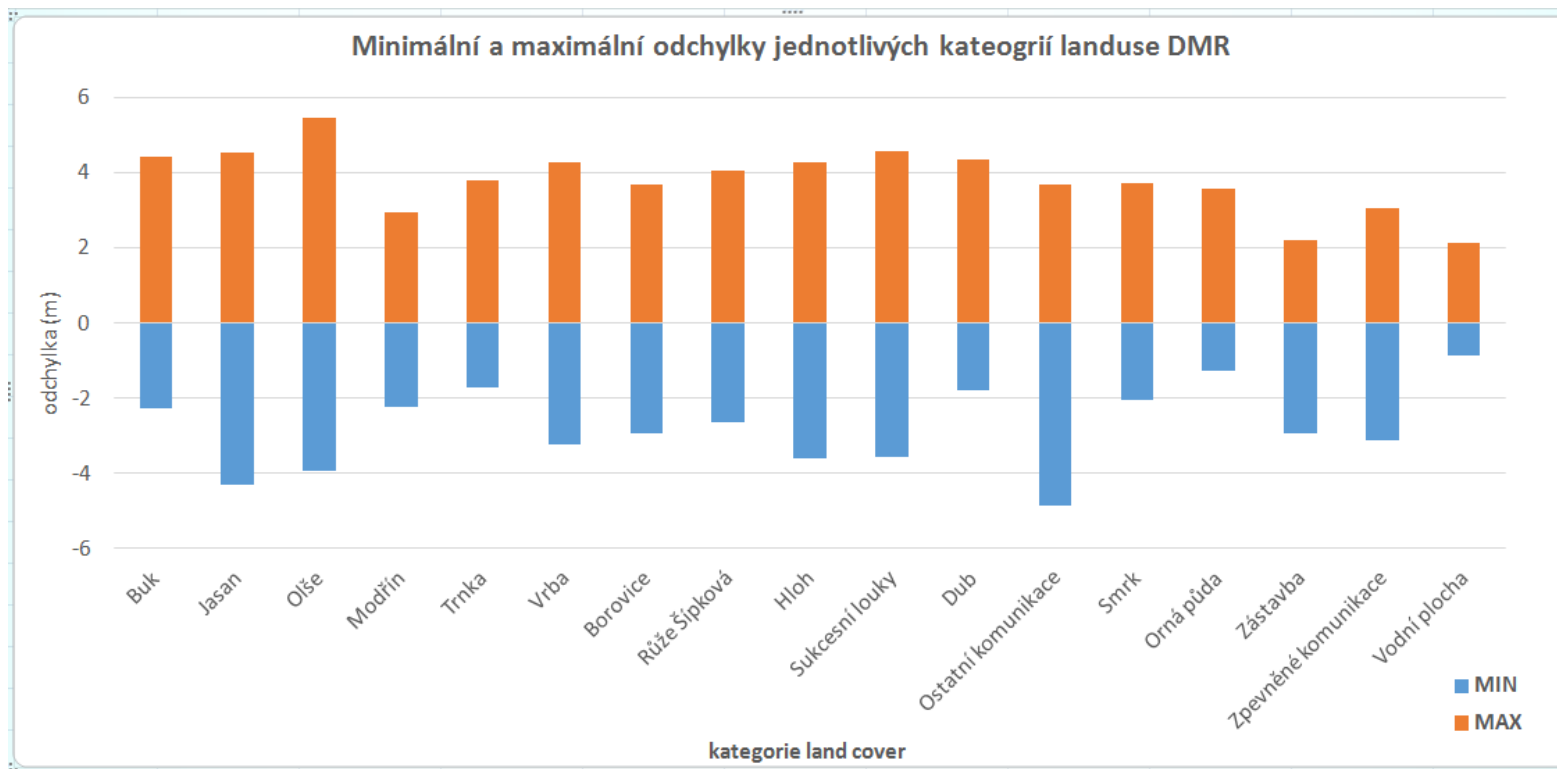
Příloha 1 Tabulka „Zonální rozdíl DMR kategorie“

Rowid	CLASS_NAME		COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3221	Buk	2440066	9760264	-2,263367	4,430145	6,693512	-0,023622	0,209184	-57639,93094
2	3223	Jasan	4358458	17433832	-4,306641	4,519989	8,82663	-0,014244	0,246222	-62080,95221
3	3212	Oře	2986776	11947104	-3,919983	5,464966	9,384949	-0,031581	0,227604	-94324,14984
4	312	Modřín	472290	1889160	-2,25	2,959961	5,209961	-0,044789	0,20668	-21153,55508
5	3214	Trnka	32135	128540	-1,710022	3,80603	5,516052	0,060933	0,323125	1958,091034
6	3215	Vrba	1824261	7297044	-3,223328	4,282349	7,505676	-0,009	0,21283	-16418,50513
7	311	Borovice	1396658	5586632	-2,950012	3,693542	6,643555	-0,035776	0,222168	-49966,69489
8	3213	Růže šípková	831859	3327436	-2,644958	4,040009	6,684967	0,041277	0,216045	34336,54279
9	3211	Hloh	2450802	9803208	-3,590027	4,290588	7,880615	0,015953	0,199725	39097,15698
10	33	Sukcesní louky	7528780	30115120	-3,56665	4,570007	8,136658	0,035711	0,164367	268861,8965
11	3222	Dub	74477	297908	-1,789978	4,351105	6,141083	0,005792	0,270627	431,402191
12	122	Ostatní komunikace	287495	1149980	-4,862488	3,696716	8,559204	-0,008551	0,189974	-2458,41748
13	313	Smrk	360672	1442688	-2,047302	3,738892	5,786194	-0,054275	0,230594	-19575,56036
14	21	Orná půda	105910	423640	-1,286682	3,592529	4,879211	-0,00757	0,144231	-801,68811
15	11	Zástavba	8743	34972	-2,940002	2,210022	5,150024	-0,047532	0,337556	-415,572296
16	121	Zpevněné komunikace	114393	457572	-3,109985	3,039978	6,149963	0,017103	0,190823	1956,414093
17	41	Vodní plocha	3036	12144	-0,881653	2,120026	3,001678	0,04448	0,581168	135,041931

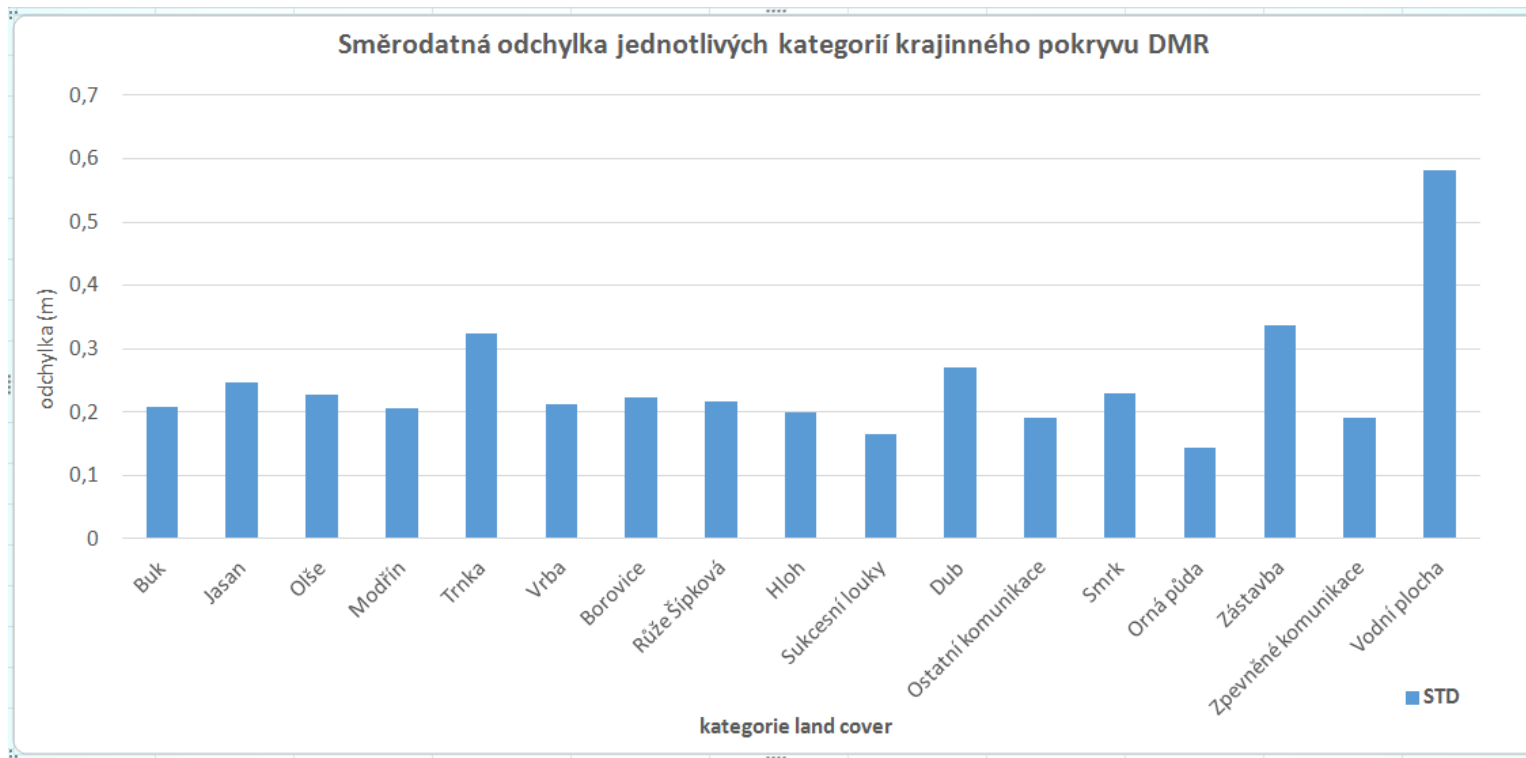
Příloha 2 Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR



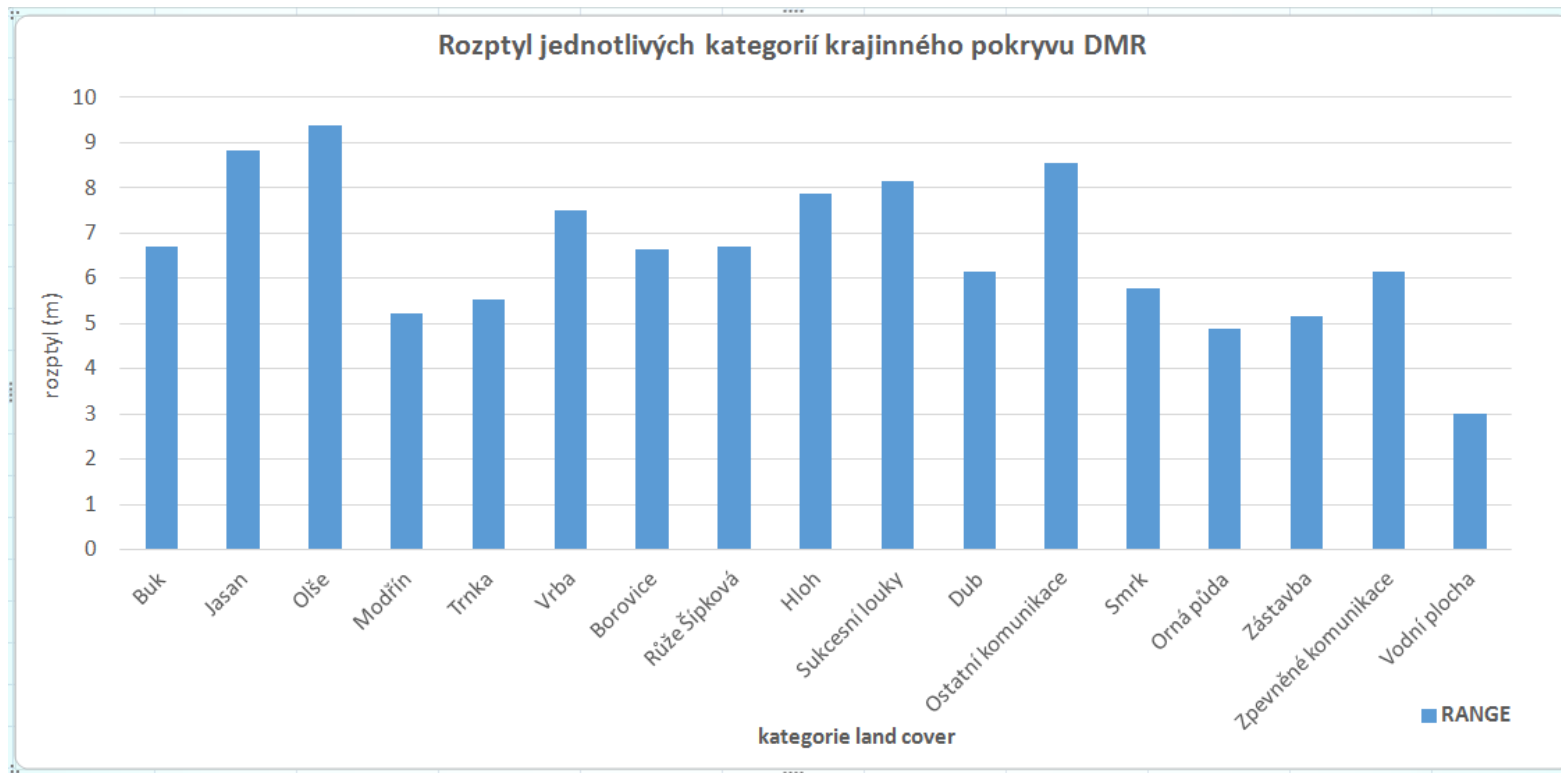
Příloha 3 Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMR



Příloha 4 Směrodatná odchylna jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR



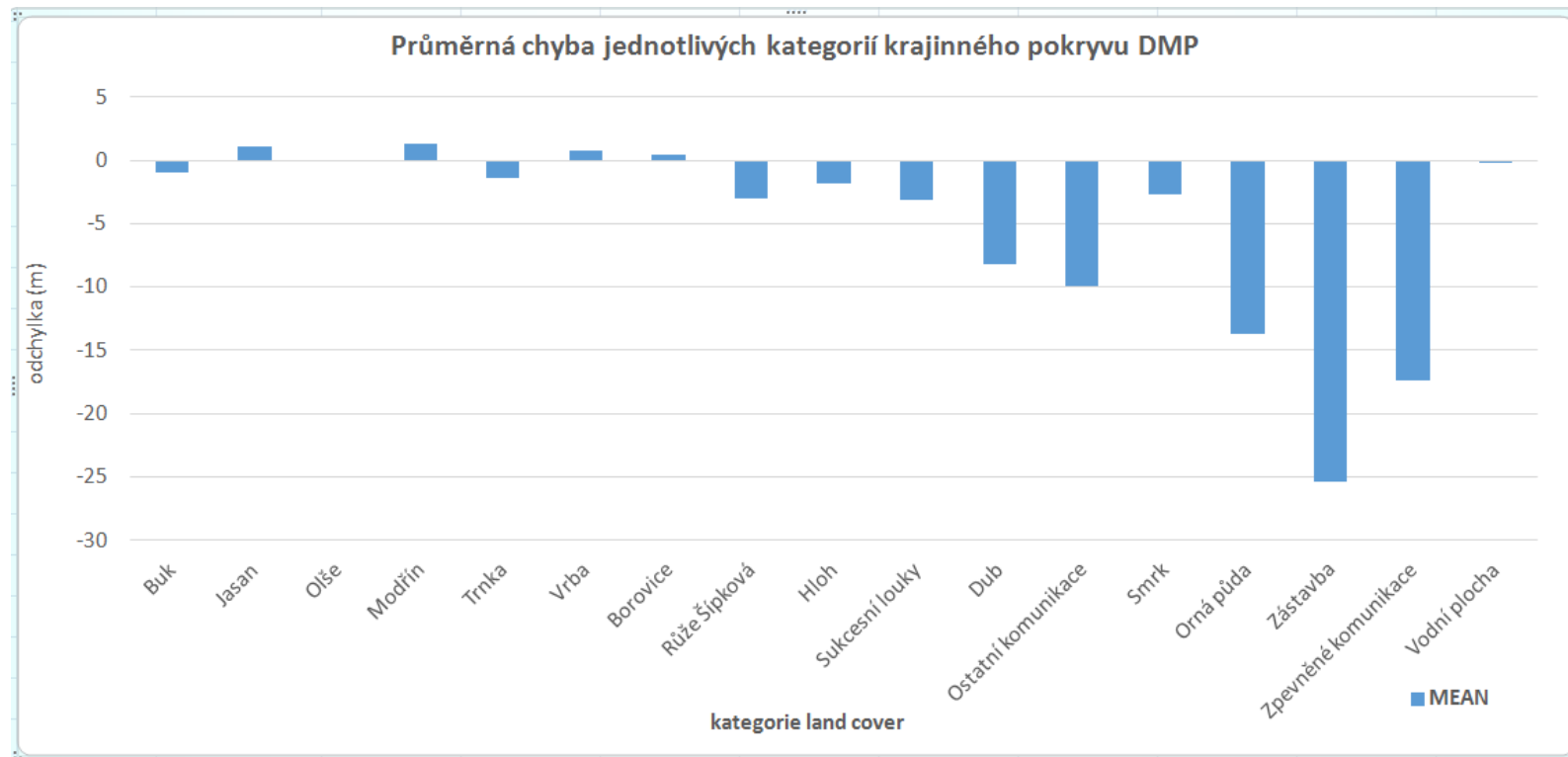
Příloha 5 Rozptyl jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMR



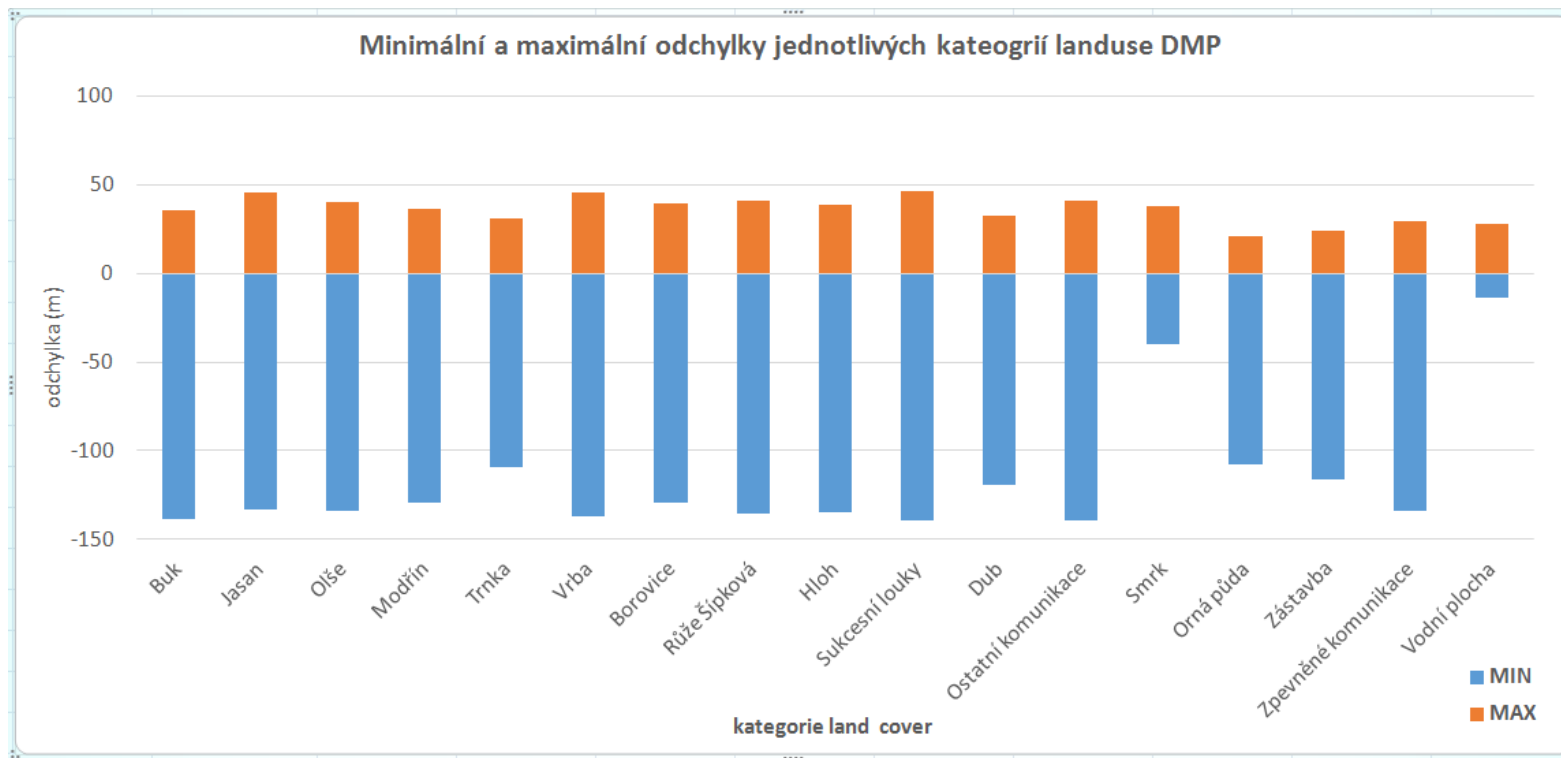
Příloha 6 Tabulka „Zonální rozdíl DMP kategorie“

Rowid	CLASS_NAME		COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	3221	Buk	2440066	9760264	-138,580017	35,820007	174,400024	-1,019125	24,108368	-2486731,813
2	3223	Jasan	4358458	17433832	-132,869995	45,872681	178,742676	1,102068	14,58234	4803317,18
3	3212	Olše	2986776	11947104	-133,589996	40,436707	174,026703	-0,035108	19,310281	-104860,5344
4	312	Modřín	472290	1889160	-129,089996	36,450012	165,540009	1,299558	16,079272	613768,3018
5	3214	Trnka	32135	128540	-109,580017	30,929993	140,51001	-1,449259	16,233818	-46571,94278
6	3215	Vrba	1824261	7297044	-136,790009	45,565369	182,355377	0,773335	12,944975	1410765,456
7	311	Borovice	1396658	5586632	-129,440002	39,369995	168,809998	0,463363	14,59499	647159,4394
8	3213	Růže šípková	831859	3327436	-135,609985	41,215515	176,8255	-3,075461	19,333559	-2558349,829
9	3211	Hloh	2450802	9803208	-134,929993	38,959106	173,889099	-1,884782	15,354074	-4619227,108
10	33	Sukcesní louky	7528780	30115120	-139,01001	46,785767	185,795776	-3,139891	19,307629	-23639546,07
11	3222	Dub	74477	297908	-119,595001	32,390015	151,985016	-8,212801	30,750007	-611664,8029
12	122	Ostatní komunikace	287495	1149980	-139,309998	40,943481	180,253479	-9,932174	30,238801	-2855450,382
13	313	Smrk	360672	1442688	-40,16571	37,890015	78,055725	-2,651701	9,063855	-956394,4375
14	21	Orná půda	105910	423640	-108,019989	20,86499	128,884979	-13,659072	32,759098	-1446632,306
15	11	Zástavba	8743	34972	-116,440002	24,360046	140,800049	-25,363218	40,688303	-221750,6125
16	121	Zpevněné komunikace	114393	457572	-133,579987	29,194977	162,774963	-17,358322	37,931292	-1985670,487
17	41	Vodní plocha	3036	12144	-13,93158	28,205017	42,136597	-0,220222	4,187628	-668,595184

Příloha 7 Průměrná chyba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP

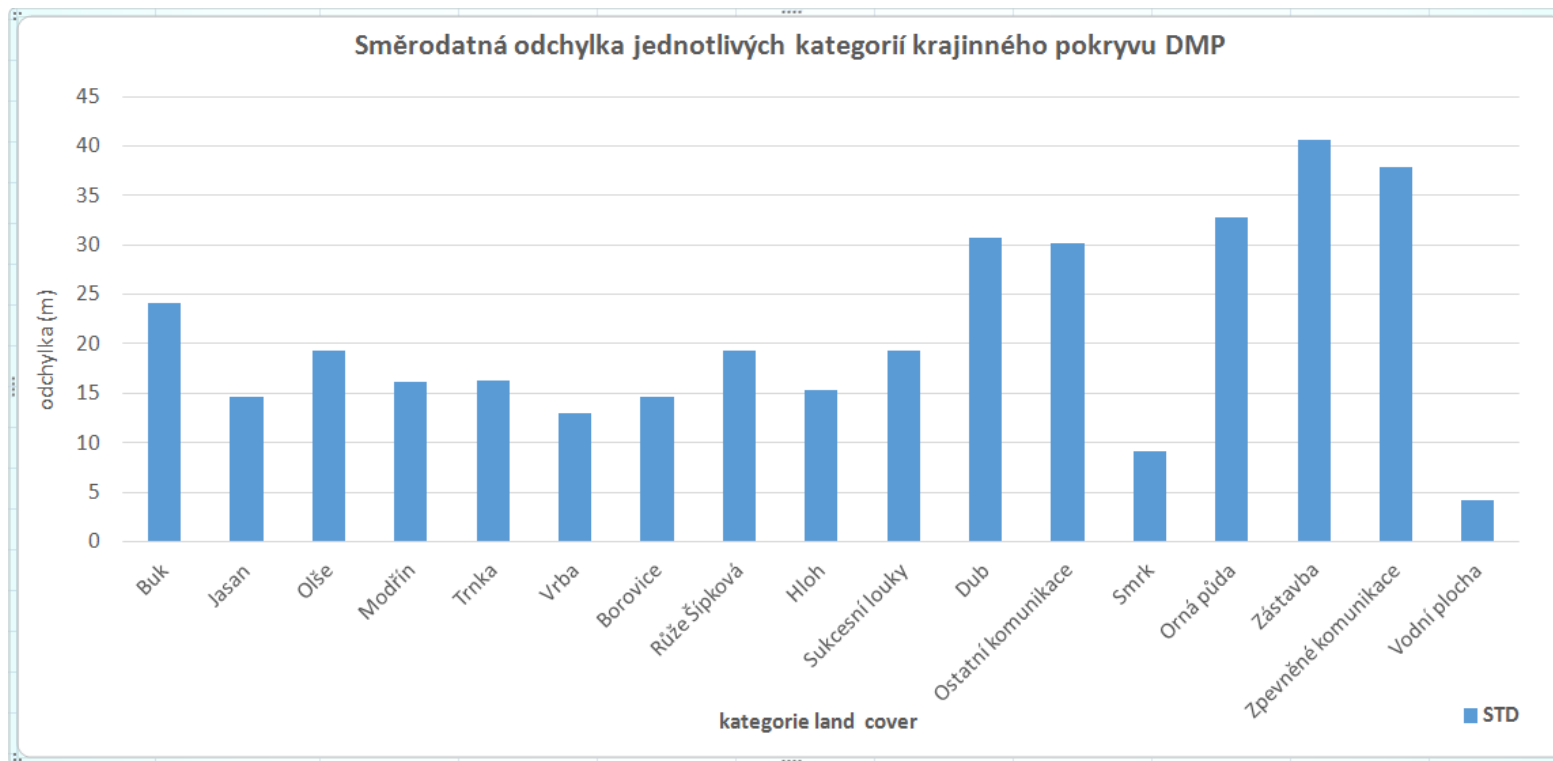


Příloha 8 Minimální a maximální odchylky jednotlivých kategorií landuse DMP



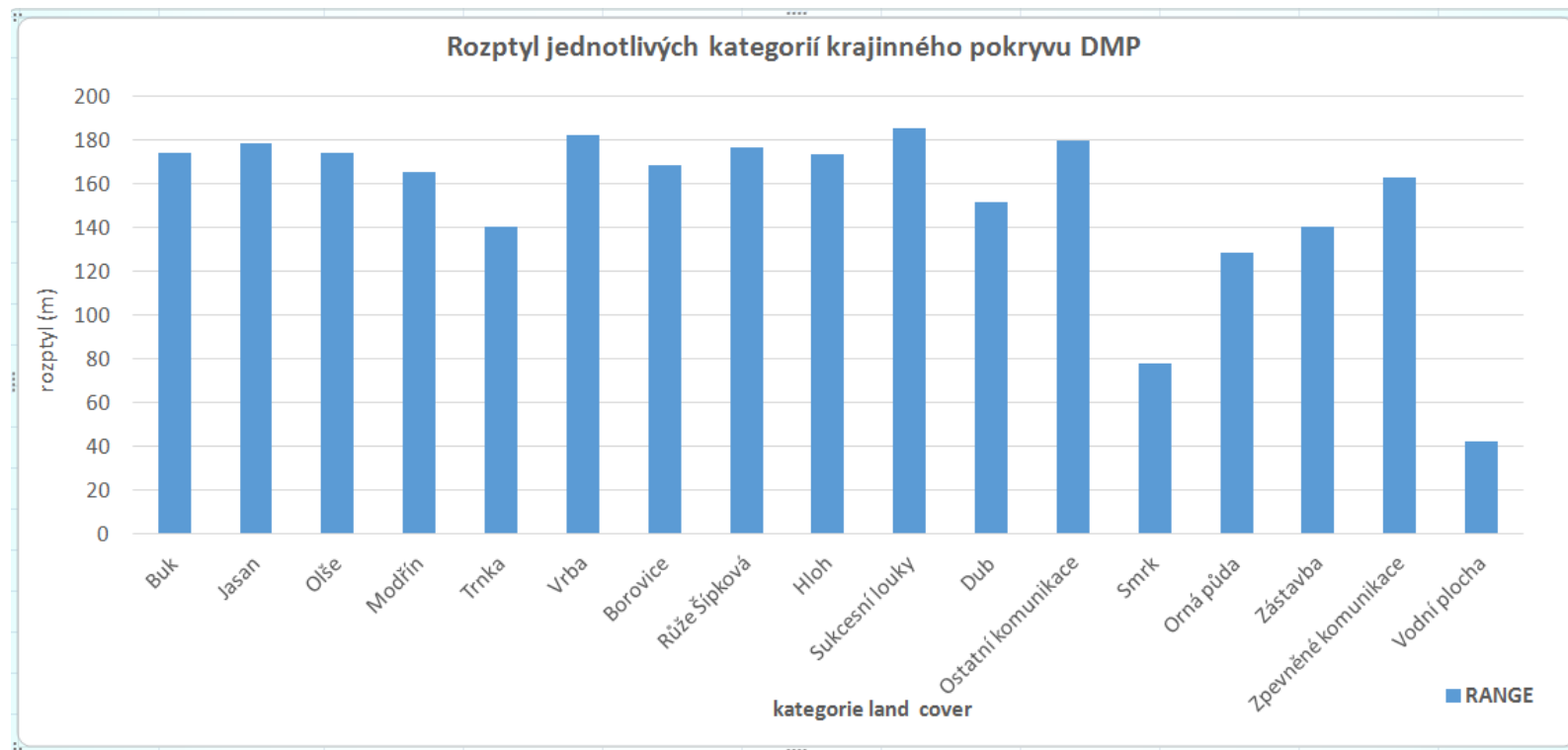
Příloha 9

Směrodatná odchylna jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP



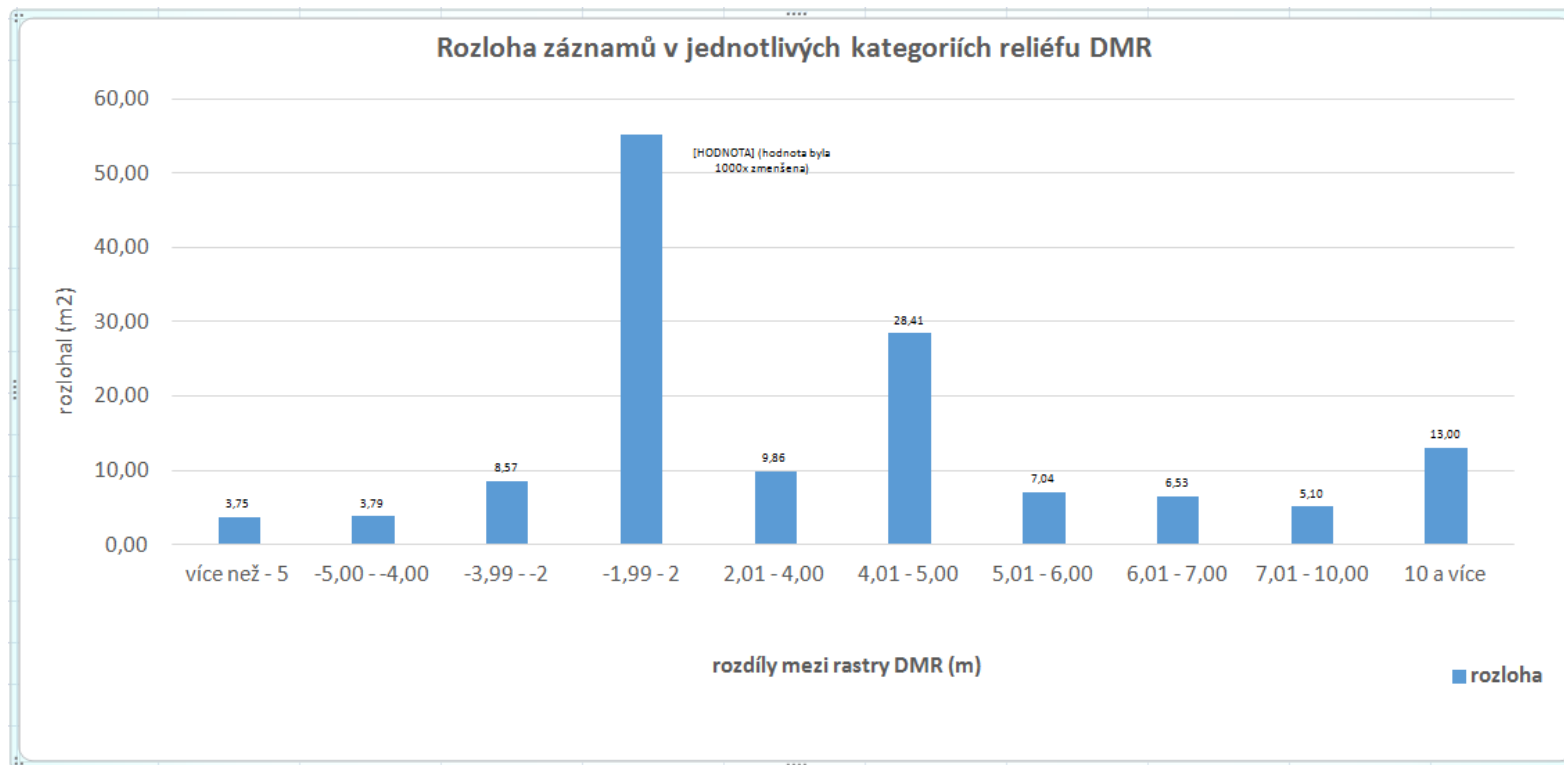
Příloha 10

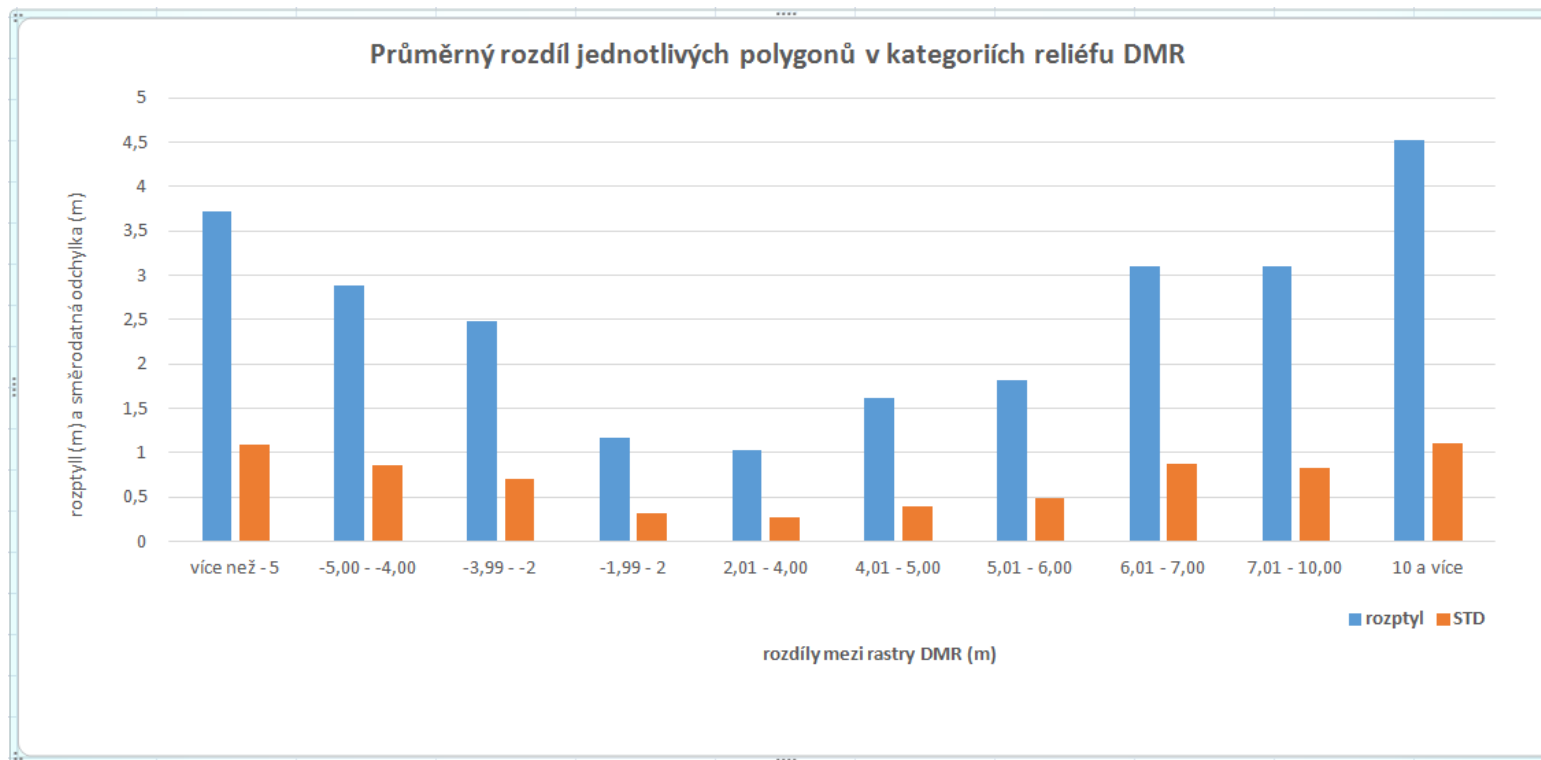
Rozptyl jednotlivých kategorií krajinného pokryvu DMP



Příloha 11

Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMR





Příloha 13

Rozloha záznamů v jednotlivých kategoriích reliéfu DMP

