

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



VYUŽITÍ DAT LLS PRO AKTUALIZACI SILNIČNÍ SÍTĚ

UTILIZATION OF ALS DATA FOR UPDATE OF A ROAD NETWORK

Diplomová práce

Bc. Tereza Kutišová

Praha 2019

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jakub Lysák, Ph.D.

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2018/2019

Zadání diplomové práce

pro Terezu Kutišovou

obor Kartografie a geoinformatika

Název tématu:

Využití dat LLS pro aktualizaci silniční sítě

Zásady pro vypracování

Diplomová práce bude zaměřena na využití dat leteckého laserového skenování k aktualizaci informací o silniční síti. Na základě studia již prezentovaných postupů bude navržen nový postup, který automatizovaně detekuje plochu komunikace. Dále budou zjišťovány doplňkové informace jako je šířka komunikace a její podélný a příčný sklon. Výsledky budou konfrontovány se skutečným stavem a porovnány s výsledky autorů řešící stejnou problematiku. Postup bude automatizovaný pomocí programovacího jazyku Python. Testovací lokality se, vzhledem k dostupnosti vhodných dat, budou nacházet zejména v Krkonošském národním parku.

Rozsah grafických prací: podle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50-60 stran

Seznam odborné literatury:

1. CLODE, S. et al. 2015. Detection and Vectorization of Roads from Lidar Data [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/273129527_Detection_and_Vectorization_of_Roads_from_Lidar_Data.
2. HATGER, C., BRENNER, C. 2003. Extraction of Road Geometry Parameters from Laser Scanning and Existing Databases [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ce.siu.edu/faculty/hzhou/Highway%20Inventory%20Refereces/Extraction%20of%20road%20geometry%20parameters%20from%20laser%20scanning%20and%20existing%20databases.pdf>.
3. LIU, L., LIM, S. 2014. A Novel Algorithm for Road Extraction from Airborne Lidar Data [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://ceur-ws.org/Vol-1142/paper17.pdf>
4. NARWADE, R., MUSANDE, V. 2014. Automatic Road Extraction from Airborne LiDAR: A Review [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue12/Part%20-%203/K0412035462.pdf.
5. WANG, Y. et al. 2013. Automatic road extraction for airborne LiDAR data [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269324337_Automatic_road_extraction_for_airborne_LiDAR_data.
- 6.

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jakub Lysák, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 11.1.2015

Termín odevzdání diplomové práce: 17.4.2019

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.

.....
Vedoucí diplomové práce

.....
Garant studijního oboru

V Praze dne 11.4.2019

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením školitele RNDr. Jakuba Lysáka, Ph.D. a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Kalištích dne 17. dubna 2019

.....

Tereza Kutíšová

Poděkování

Na tomto místě bych velmi ráda poděkovala především vedoucímu diplomové práce RNDr. Jakobovi Lysákovi, Ph.D. za věnovaný čas, ochotu, trpělivost a cenné rady, které byly zásadní pro konečnou podobu práce. V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině a přátelům za podporu a pomoc během zpracovávání diplomové práci i v průběhu celého studia.

Využití dat LLS pro aktualizaci silniční sítě

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou automatické detekce komunikací z dat leteckého laserového skenování. Cílem práce je co nejpřesněji identifikovat plochu komunikace, na jejímž základě jsou vypočítány atributy jednotlivých úseků. V první části práce jsou shrnuty návrhy postupů, které řeší danou problematiku a přístup autorů k hodnocení dosažených výsledků. V praktické části je nastíněna metodika navrženého postupu, který vychází z poznatků literární rešerše. Následně jsou představena vstupní data a modelová území. V posledních částech jsou popsány dosažené výsledky a porovnané s výsledky autorů, kteří dané hodnocení použili ve svých pracích.

Klíčová slova: letecké laserové skenování, digitální topografická databáze, silniční síť, aktualizace

Utilization of ALS data for update of a road network

Abstract

My thesis concerned problematics of automatic detection of communication data from aerial laser scanning. Goal of this method is to identify area of roads - tarmacs as accurate as possible. On its basis are counted attributes of specific parts. In first part of the thesis are summarized known procedures, which are used to deal with the issue and experiences and evaluation of the output of theirs authors. In practical part of the thesis is described procedure methodology, which is based on findings from the literature review. Subsequently, input data and model areas are introduced. In the final parts are described results and compared with the results of authors, who used such evaluation in their work.

Key words: airborne laser scanning, digital topographic database, road network, database update

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	9
1. Úvod	11
2. Úvod do problematiky a literární rešerše	12
2.1. Metody založené na obecném algoritmu	12
2.2. Metody s použitím existující databáze.....	14
2.3. Hodnocení detekce.....	18
3. Metodika.....	19
3.1. Vstupní data	20
3.1.1. Bodové mračno.....	20
3.1.2. Liniová vrstva komunikací	21
3.1.3. Polygonová vrstva katastru nemovitostí (KN)	21
3.2. Vymezení komunikace	22
3.3. Výpočet atributů	26
3.4. Výpočet hodnocení	28
3.5. Výsledné vrstvy	30
4. Modelová území a vstupní data	31
4.1. Vstupní data	31
4.2. Modelová území	34
5. Výsledky.....	39
5.1. Mýtiny.....	40
5.2. Špindlerův Mlýn	42
5.3. Mladé Buky.....	43
5.4. Úpa.....	45
5.5. Velká Úpa	47

5.6. Temný Důl	48
5.7. Mořina.....	49
6. Diskuze	51
7. Závěr.....	54
Seznam zdrojů informací.....	55
Přílohy	59

Seznam obrázků

Obrázek 1 - diagram postupu Hu, X. et al.	13
Obrázek 2 - diagram postupu Zhao, You a Huang	14
Obrázek 3 - přehled kroků navržené metodiky včetně hodnocení jejích výsledků	20
Obrázek 4 - ISKN Studio	21
Obrázek 5 - použití tří typů sítí pro vyplnění co největší plochy s maximálním sklonem 12 % (vlevo nahoře – TIN, vpravo nahoře – Thiessenovy polygony, vlevo dole – čtvercová síť, vpravo dole – sjednocení všech tří vrstev	24
Obrázek 6 - získaná (červená) vs. vstupní (modrá) osa komunikace	25
Obrázek 7 - schéma pro výpočet podélného a příčného sklonu	27
Obrázek 8 - plochy pro výpočet správnosti, úplnosti a kvality	29
Obrázek 9 - porovnání hustoty bodů bodového mračenja Krkonoše a DMR 5G	32
Obrázek 10 - vnitřní kresba parcely kopírující hranu komunikace (zvýrazněno červenou linií)	33
Obrázek 11 - přehledová mapa modelových území	34
Obrázek 12 - úsek Mýtiny na podkladu ZABAGED a ortofoto	34
Obrázek 13 - úsek Špindlerův Mlýn na podkladu	35
Obrázek 14 - výřez úseku Mladé Buky na podkladu ZABAGED a ortofoto	36
Obrázek 15 - výřez úseku Úpa na podkladu ZABAGED a ortofoto	36
Obrázek 16 - úsek Velká Úpa na podkladu ZABAGED a ortofoto	37
Obrázek 17 - úsek Temný Důl na podkladu ZABAGED a ortofoto	37
Obrázek 18 - úsek Mořina na podkladu ZABAGED a ortofoto	38
Obrázek 19 - oblast mostu ve vstupní bodové vrstvě	39
Obrázek 20 - zdánlivě nesprávně určené plochy (červená linie – plocha komunikace vymezená navrhovaným postupem, modrá linie – plocha komunikace z dat KN)	41
Obrázek 21 - chyby v lokalitě Mýtiny	41
Obrázek 22 - vliv přilehlé zástavby na vymezení komunikace	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Mýtiny, výsledky 1. část	40
Tabulka 2 - Mýtiny, výsledky 2. část	40
Tabulka 3 - Mýtiny, výsledky 3. část	42

Tabulka 4 - Špindlerův Mlýn, výsledky 1. část.....	42
Tabulka 5 - Špindlerův Mlýn, výsledky 2. část.....	43
Tabulka 6 - Špindlerův Mlýn, výsledky 3. část.....	43
Tabulka 7 - Mladé Buky, výsledky 1. část.....	44
Tabulka 8 - Mladé Buky, výsledky 2. část.....	45
Tabulka 9 - Úpa, výsledky 1. část.....	45
Tabulka 10 - Úpa, výsledky 2. část.....	46
Tabulka 11 - Úpa, výsledky 3. část.....	47
Tabulka 12 - Velká Úpa, výsledky 1. část.....	47
Tabulka 13 - Velká Úpa, výsledky 2. část.....	48
Tabulka 14 - Velká Úpa, výsledky 3. část.....	48
Tabulka 15 - Temný Důl, výsledky 1. část.....	49
Tabulka 16 - Temný Důl, výsledky 2. část.....	49
Tabulka 17 - Mořina, výsledky 1. část.....	49
Tabulka 18 - Mořina, výsledky 2. část.....	50

1. Úvod

Letecké laserové skenování je v posledních letech hojně využívanou technologií a uplatnění nachází napříč obory humanitními i technickými. Hlavním výstupem skenování jsou výškové modely terénu nebo povrchu. Tyto modely vycházejí ze základní prezentace LLS – tzv. bodového mračka. Každý bod mračka nese informaci o své poloze a nadmořské výšce. Přestože se na první pohled může bodové mračko zdát jako chaotické, existují postupy, které dokáží vyfiltrovat body podobných vlastností a tím určit hledaný znak nebo objekt v prostoru.

Část těchto postupů se zaměřuje na detekci plochy komunikace, ať už z digitálního modelu povrchu, kde jsou zahrnuty i body odražené od objektů na povrchu, jako jsou např. stromy a budovy, tak z digitálního modelu terénu, kde jsou body odražené od výše uvedených objektů odstraněny. Některé postupy jsou tak komplexnější, protože se musí vypořádat s větším množstvím bodů a „rušivých“ objektů, které mohou být mylně pokládány za plochu komunikace (např. v zastavěných oblastech ploché střechy podél silnice). Pro co největší minimalizaci rušivých objektů se tedy nabízí použití digitálního modelu povrchu jako vstupních dat. Pokud je ještě na daném území k dispozici topografická databáze, kde je zachycena alespoň přibližná poloha komunikace, množství dat, se kterými je třeba pracovat dále klesá.

Z těchto podmínek vychází i tato práce, kde bude navržen postup, který pomocí bodů LLS a existujících vektorových dat najde plochu komunikace a vypočítá doplňkové informace (atributy), a to šířku komunikace a podélný a příčný sklon. Získané výsledky budou porovnány s referenčními daty a konfrontovány s výsledky prací z literární rešerše.

V první části práce budou shrnuty návrhy postupů, které řeší danou problematiku a přístup autorů k hodnocení dosažených výsledků. V praktické části bude nastíněna metodika navrženého postupu, který vychází z poznatků literární rešerše. Následně budou představena vstupní data a modelová území. V závěru práce budou popsány dosažené výsledky (porovnané s referenčními daty) a budou konfrontovány s výsledky autorů, kteří dané hodnocení použili ve svých pracích.

2. Úvod do problematiky a literární rešerše

Problematika automatické detekce komunikací z dat dálkového průzkumu Země je velice náročná. Byla již zkoumána z mnoha pohledů a s využitím různých typů dat dálkového průzkumu Země, případně kombinací těchto dat.

Detekcí komunikací v hustě zastavěných oblastech s využitím dat leteckého laserového skenování a snímků s vysokým rozlišením se zabývá např. práce Hu, Tao, Hu (2004). Je zde také diskutována výhoda použití dvou typů dat pro kvalitnější výsledky. Tato práce bude však zaměřena pouze na data leteckého laserového skenování.

Problematikou automatické detekce komunikací případně dalších objektů pomocí dat leteckého laserového skenování se zabývá mnoho autorů. Přestože každý z autorů navrhuje vlastní řešení problému, lze navrhované postupy rozdělit do několika větších skupin. Narwade a Musande (2014) dělí tyto postupy na řešení pomocí obecných algoritmů, řešení na základě klasifikace či řešení pomocí filtrování.

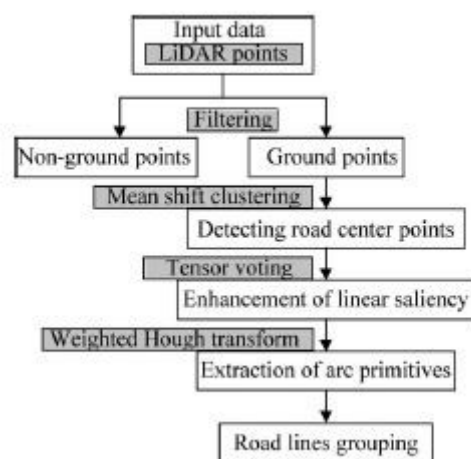
Obecně lze postup automatické detekce zjednodušit na následující kroky – získání DMT/DMP z bodového mračka (pomocí prvního/posledního odrazu, intenzity odrazu a informací o poloze a výšce bodů), aplikování obecného nebo speciálního algoritmu pro vymezení komunikací, hodnocení kvality vymezení v porovnání s manuálně vektorizovanými osami komunikací nad obrazovými daty (hodnotí se např. správnost, úplnost a kvalita vymezení).

2.1. Metody založené na obecném algoritmu

Mezi obecné algoritmy používané pro detekci komunikací patří např. morfologické operace, které jsou použity v práci Wanga et al. (2013). Dále se Zhao a You (2012) či Clode et al. (2015) zaměřují na hierarchický algoritmus generování DMT, se kterým dále pracují. Peng a Gao (2011) nejprve pomocí adaptivního TINu získají DMT, dále pracují s informací o intenzitě, nakonec použijí Delaunayovou triangulaci pro zpřesnění klasifikovaných bodů. Podobný postup (hierarchický algoritmus a informace o intenzitě) používají ve své práci i Huiying, L. et al. (2012), oblasti nerovnoměrné intenzity nakonec vyplní pomocí region growing. Autoři hodnotí tento postup jako zvláště vhodný pro rovinaté oblasti.

Klasifikační metoda SVM (support vector machine) je zahrnuta v pracích Wanga, Tsenga a Chua (2014) nebo Zhanga, Lina a Ninga (2013). Antonarakis, Richards a Brasington (2008) například používají řízenou klasifikaci.

Hlavní myšlenkou metody Hu, X. et al. (2014) je efektivní detekce geometrických primitiv potenciální osy silnice a oddělení přiléhajících nesilničních objektů (parkoviště, holá zem). Metoda se skládá ze tří hlavních kroků souhrnně označených jako MTH – Mean shift, Tensor voting a Hough transform. Pomocí Mean shift jsou zjištěny body na ose komunikace. Tensor voting odstraní shluky mimo body osy komunikace, tím zvýrazní lineární rysy vybraných bodů a Hough transform detekuje oblouková primitiva. Autoři hodnotí daný postup jako efektivní pro zastavěná území s různou šířkou komunikací a šumem v datech (např. díry po autech na komunikaci). Slabou stránkou postupu je velká výpočetní náročnost při druhém kroku a rozpoznávání souvisejících objektů (vodorovné dopravní značení, okraje silnic, křižovatky).

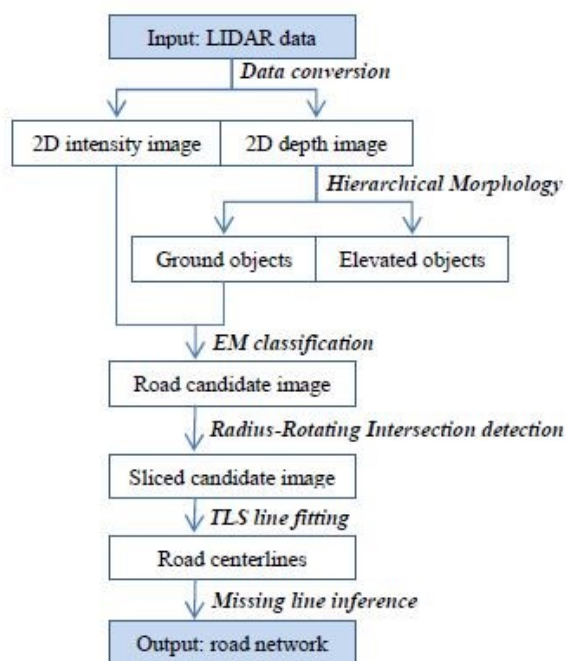


Obrázek 1 - diagram postupu Hu, X. et al.

Zdroj: Hu, X. et al. (2014)

Zhao, You a Huang (2011) přicházejí s neřízeným přístupem pro získávání gridově uspořádaných komunikací v městských oblastech. Postup se skládá ze tří hlavních kroků – separace terénu z digitálního modelu povrchu a klasifikace terénních objektů, získání os komunikací z vygenerovaných komunikačních kandidátů, doplnění a ověření kompletní komunikační sítě. V prvním kroku je vytvořena terénní maska odstraněním vyvýšených objektů, kterou je překryt snímkem intenzity, a pomocí EM (expectation-maximization) algoritmu jsou vybráni kandidáti na komunikace. V druhém kroku jsou osy komunikací získány metodou nejmenších čtverců vhodnou pro linie a křižovatky vyvinutou metodou

Radius-Rotating. Posledním krokem je doplnění chybějících segmentů komunikací na vektorové mapě pomocí tvarových pravidel, kdy pro zjednodušení odvozovacího procesu je navržena směrově orientovaná souhrnná voting technika. Nakonec jsou odvozené komunikace promítnuty zpět na snímek intenzity a výškový snímek pro ověření jejich validity.



Obrázek 2 - diagram postupu Zhao, You a Huang

Zdroj: Zhao, J., You, S., Huang, J. (2011)

Tyto postupy jsou však velmi komplexní a zaměřují se na detekci komunikací z celého objemu dat bez předchozího vymezení přibližné polohy komunikací, mohou však částečně sloužit k omezení objemu dat před dalším zpracováním dat společně s vektorovými daty.

2.2. Metody s použitím existující databáze

Získávání parametrů komunikací kombinací dat leteckého laserového skenování a existujících databází se zabývá článek Hatgera a Brennera (2003). Ve svém přístupu používají data ATKIS (topografické prvky ve vektorovém formátu). V těchto datech jsou obsaženy informace o počtu jízdních pruhů, šířce komunikace, označení komunikace. Přesnost vektorových dat by měla být méně než tři metry, ale mohou se vyskytnout chyby až deset metrů. Dalšími použitými daty jsou GDF, která jsou evropským standardem pro digitální silniční mapové databáze. Komunikační síť je zde reprezentována 2D uzly a

hranami. Pro každý koordinační bod je dostupná z hodnota. Atributy zahrnují sklon komunikace, výšku průjezdu a příčný sklon. Přesnost těch dat je 15 metrů v otevřeném terénu a tři metry v zastavěném území. Posledními daty jsou data leteckého laserového skenování (DMP i DMT), jejichž horizontální přesnost je cca 0,5 metru, výšková přesnost 0,01-0,15 m a hustota až 4 body na metr čtvereční. V práci jsou zkoumána dvě modelová území. V jednom území se vychází z gridu s velikostí buňky 1 metr, v druhém území z gridu s velikostí buňky 0,5 metru. Důležitý je také profil komunikací, které jsou navrhovány a konstruovány podle standardizovaných metod a technik. Podélný tvar může být navržen pomocí linie, kruhového oblouku a klotoidy. Podle zakřivení a sklonu je omezena průměrná rychlost. Při segmentaci dat leteckého laserového skenování máme na výběr ze dvou metod – první hledá nespojitosti (odlehle body nebo hrany), druhá hledá spojitosti (plochy splňující určitá kritéria). Je vždy žádoucí co nejvíce využít dostupné informace, ať už se jedná o přibližnou polohu nebo že hledáme víceméně vodorovné oblasti o určité minimální šířce, spojitého povrchu, které mohou být aproximovány rovinami.

Autoři se zaměřují na dva přístupy – obecnou rovinnou segmentaci a segmentaci zaměřenou na komunikace. Obecná rovinná segmentace je založena na iteraci tří kroků. Nejprve je nalezeno nejvhodnější jádro, které splňuje predikát (určená maximální vzdálenost bodu od roviny dané obecnou rovnicí roviny), následně jsou přidávány další elementy, dokud splňují predikát. Pokud se již oblast nemůže dále zvětšovat, je akceptována a segmentace pokračuje opět prvním krokem. Protože je tento přístup výpočetně náročný (po přidání každého bodu přepočítání rovnice roviny), je možné upravit postup tak, že místo jednotlivých bodů se k jádru přidávají liniové segmenty. Celý upravený postup obecné rovinné segmentace se tak skládá ze čtyř kroků – rozdělení na liniové segmenty (měly by splňovat $z = ax + d'$), nalezení jádra prozkoumáním tří následujících liniových segmentů, rozšiřování nalezeného jádra o další liniové segmenty, dokud jsou součástí stejné roviny, po seskupení všech segmentů jsou body na okrajích oblastí upraveny, aby nebyly „roztržené“. Přestože je tato metoda výpočetně rychlejší, jejím nedostatkem je rozdílné fungování ve směru x a y . V průběhu toho postupu nebyla použita žádná další data, přesto částečně vykazoval velmi dobré výsledky. Použití existujících databází by mohlo v tomto případě sloužit ke shromáždění segmentovaných oblastí komunikací.

Jak již bylo uvedeno výše, je žádoucí využít existujících databází k segmentaci, protože se předpokládá, že osa komunikace se nachází mezi skutečnými komunikačními hranicemi. Slabinou leteckých laserových dat je určení komunikací, které se výrazněji neodlišují ani výškově ani sklonem, nastává pak otázka, jak malé nespojitosti jsou ještě zjistitelné (chodníky podél komunikací, dopravní ostrůvky atd.). V tomto případě je použita metoda RANSAC. Dále získáme dvojice bodů, které jsou kolmé na komunikaci, a vypočteme parametry přímky a , b , c . Získané parametry porovnáme s množinou bodů nacházejících se v profilu ($|ax + bz + c| < \epsilon$). Nevyhovující dvojice bodů jsou vyřazeny, vybrán je ten, který vyhovuje největší spojitě oblasti překrývající osu komunikace z existující databáze. Co se týče zjištění šířky komunikace, základní odhad je získán použitím mediánového filtru.

Autoři hodnotí obecnou rovinnou segmentaci jako vhodnou pro hrubý odhad pozice komunikace, např. pokud jsou vektorová data nepřesná, na druhou stranu u druhé přístupu vyzdvihují detekci hranic komunikací. Navrhují zapojit informace jako standardní šířku pruhu nebo třídy komunikace.

Dalším přístupem kombinujícím existující vektorové podklady a data leteckého laserového skenování se zabývají Liu a Lim (2014). Jako hlavní odlišnost jejich metody od ostatních, uvádí, že používají vektorová data pouze ke zdokonalení, aby minimalizovali efekt způsobený měřítkem a generalizací vektorových dat. Mezi hlavní kroky metody patří rozdělení bodů na souřadnice x a y a jejich přetvoření na souřadnice y a x (aby byly lépe detekovány komunikace i v jiných směrech), dále nastavení minimální a maximální velikosti pohyblivého okna a detekce komunikačních bodů, následuje zvětšení velikosti okna a opakování detekce až k dosažení maximální prahové hodnoty (do detekce komunikačních bodů jsou dále zapojena tři pravidla omezující sklon, výškové rozdíly a intenzitu). Nakonec vstupují vektorová data, která „vyhladí“ výsledek detekce, dále se vyplní mezery a odvodí osy komunikací. První část navrženého postupu tedy vychází z obecné automatické detekce komunikací. Po počáteční extrakci komunikací mohou být klasifikovány i další nechtěné plochy, které mají podobné vlastnosti jako komunikace. Do postupu se tedy zařadí vektorová data. Nejdříve je vytvořen buffer okolo vektorových dat. Body, které nespádají do bufferu, jsou vyřazeny, jako špatně detekované. Mezery ve zbylých bodech jsou lineárně interpolovány a je z nich vypočtena osa komunikace.

Metoda byla testována na čtyřech různých územích – obytná zóna s vysokými svahy podél ulic a částečně s hustou vegetací; hlavní dopravní tepna obklopená obytnou zónou s vysokými i malými budovami, vegetací, různými třídami komunikací a místy velké množství aut; hlavní komunikace s obytnou zónou, vegetací, vysokými svahy, kdy některé domy jsou pod úrovní komunikace; hlavní komunikace obklopena domy a vegetací. Hustota bodového mračna se pohybovala od 0,74 do 1,05 bodu na metr čtvereční. Dostupná vektorová data měla rozlišení dva metry a byly známy pouze počáteční a koncové body komunikačních segmentů.

Za slabinu metody považují autoři extrakci dopravních ostrůvků. Uvítali by také další body v segmentech vektorových dat. Kritický moment také vidí v určení velikosti okna, kdy může docházet k chybnému výběru střech budov.

Kombinací laserových dat a vektorové databáze pro automatické získání části komunikace se zabývá práce Kumar a Lewis (2017). Přestože je jejich práce zaměřena na střední část komunikace, např. betonová bariéra nebo pás zeleně pro rozdělení jízdních pruhů jiného směru, je postup obdobný jako pro určení plochy komunikace. Jejich návrh vychází z předpokladu, že hledané oblasti mají v laserových datech odlišnou výšku a intenzitu.

Prvním krokem je výběr bodů v oblasti komunikace pomocí existujících linií jízdních pruhů. Protože se v datech vyskytují i mimoúrovňová křížení, autoři analyzují četnost výšek bodového mračna a méně zastoupené výšky odstraní. Dále jsou určeny prahové hodnoty výšky a intenzity pro prvotní výběr bodů středového pásu. Z těchto bodů je vytvořen 2,5D rastr intenzity, následně převedený na binární, ze kterého jsou pomocí morfologických operací odstraněny zbytkové části komunikace a vyplněné díry. Vybrané buňky jsou pospojovány na základě konektivity a je porovnávána jejich šířka a délka s prahovými hodnotami (ty vycházejí ze znalosti parametrů středových pásů), tak je zajištěno odstranění zbývajících částí komunikace.

Oude Elberink a Vosselman (2009) se zabývají 3D modelování složitých dopravních uzlů. Jejich cílem pomocí 2D topografických dat získat z bodového mračna 3D model i přesto, že se v něm nacházejí oblasti chybějících dat (mimoúrovňová křížení).

2.3. Hodnocení detekce

Důležitou součástí navrhování nového postupu je jeho hodnocení a možnost srovnání se stávajícími metodami. V některých člancích jsou výsledky hodnoceny pouze vizuálním srovnáním ortofota a získaných výsledků, případně autoři způsob kvantifikovaného hodnocení neuvádí. Dále uvedení autoři neurčovali celou plochu komunikace (kromě Zhao a You, 2012), ale pouze středovou osu (přestože v průběhu navrženého postupu získají i plochu komunikace, ze které dále odvozují její osu).

Hu, X. et al. (2014) porovnává detekci s dvěma dalšími metodami – template matching a metoda PCD. Všechny tři metody porovnává s manuálně digitalizovanými komunikacemi a hodnotí relativní správnost, úplnost a kvalitu:

$$\text{správnost} = \frac{SU}{SU + NU} \cdot 100 \%$$

$$\text{úplnost} = \frac{SU}{SU + NN} \cdot 100 \%$$

$$\text{kvalita} = \frac{SU}{SU + NU + NN} \cdot 100 \%$$

V rovnicích výše se udávají hodnoty v metrech, kde SU znamená správně určenou komunikaci, NU nesprávně určenou komunikaci a NN neurčenou komunikaci.

Zhao a You (2012) používají stejné tři ukazatele, jaké jsou uvedeny výše. Dva použité datasey porovnává s ručně digitalizovanými komunikacemi ze snímků intenzity ověřených leteckými snímky.

Zhao, You a Huang (2011) pro hodnocení používají pouze dva z ukazatelů, a to správnost a úplnost. Výsledky jsou opět porovnávány s ručně určenými komunikacemi.

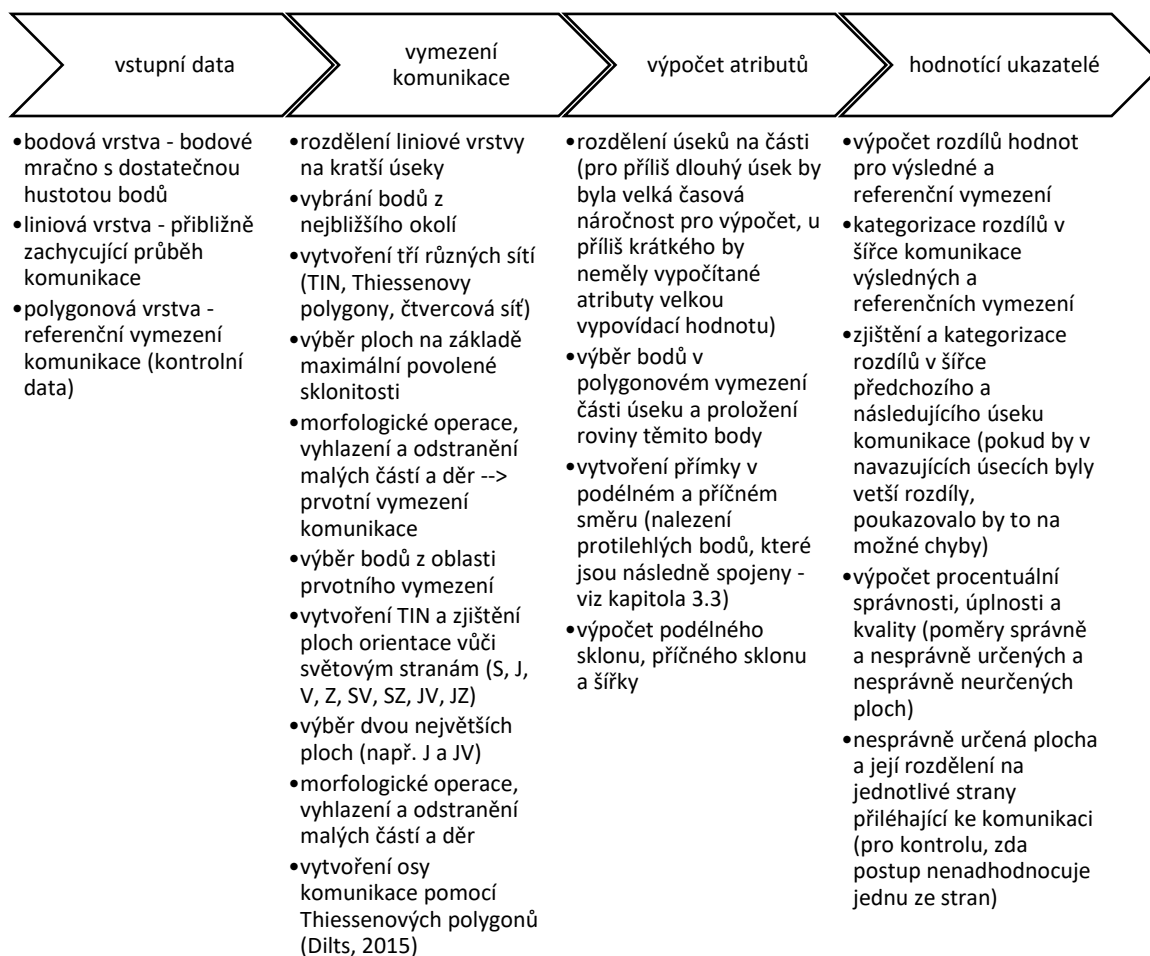
3. Metodika

V této části bude popsán navržený postup, především jeho implementace, pro vymezení komunikace a výpočet dalších atributů jako jsou šířka komunikace a její podélný a příčný sklon. Jednotlivé kroky vycházely z několika předpokladů, které byly uplatněny v dřívějších pracích. Např. Hatger a Brenner (2003) uvádí že je hledána víceméně vodorovná spojitá plocha, která může být aproximována rovinou. Liu a Lim (2014) zavádějí do postupu tři pravidla, a to omezení sklonu, výškových rozdílů a intenzity. Kumar a Lewis (2017) využívají morfologických operací k odstranění nechtěných zbytkových ploch a vyplnění děr výsledného polygonu. Cílem práce bylo automatizované získání uvedených informací, proto je celý postup psaný v programovacím jazyku Python. Pro snazší orientaci v popisu postupu je vhodné stanovit označení jednotlivých částí zkoumaných lokalit. V práci se pracuje se sedmi **testovacími lokalitami** (viz kapitola 4.2). Vzhledem k rozdílným velikostem testovacích lokalit se ještě některé dělí na **části** (Mladé Buky 1-5, Velká Úpa 1-3, Špindlerův Mlýn 1-3, Úpa 1-7). Zpracování probíhalo po jednotlivých lokalitách, resp. částech.

Na Obrázek 3 je obecně popsán postup, který vychází z několika základních předpokladů:

- je daný maximální sklon komunikace (ČSN 73 6110, 2006)
- největší určená souvislá plocha v okolí rámcového vymezení komunikace z OSM by měla být komunikací
- ve většině případů je komunikace v terénu oddělena terénním stupněm od okolí, např. svah, příkop, potok, násep, ...
- dílčí plochy komunikace mají určitou orientaci vůči světovým stranám

Detaily postupu a implementace jsou popsány dále. Skript je součástí příloh.



Obrázek 3 - přehled kroků navržené metodiky včetně hodnocení jejich výsledků

Zdroj: vlastní tvorba

3.1. Vstupní data

3.1.1. Bodové mračno

Data byla dostupná ve formátu *.las* pro oblast 250x250 metrů. Pro práci s bodovým mračnem v ArcGIS for Desktop bylo nutné převést soubor *.las* na ASCII textový soubor pomocí open source nástroje *las2txt* ze sady nástrojů LASTools (Isenburg, 2007). V textovém souboru je každý bod popsán souřadnicemi *x* a *y* a údajem o nadmořské výšce. Je také nutné zkontrolovat typ oddělovače desetinných míst – v tomto případě tečka – tato informace pak vstupuje do funkce, která převede textový soubor na shapefile s bodovou geometrií – *ASCII 3D To Feature Class (3D Analyst)*. Dílčí oblasti jsou pak spojeny do jedné bodové vrstvy pro každou část nástrojem *Merge (Data Management)*. Co se týče dat

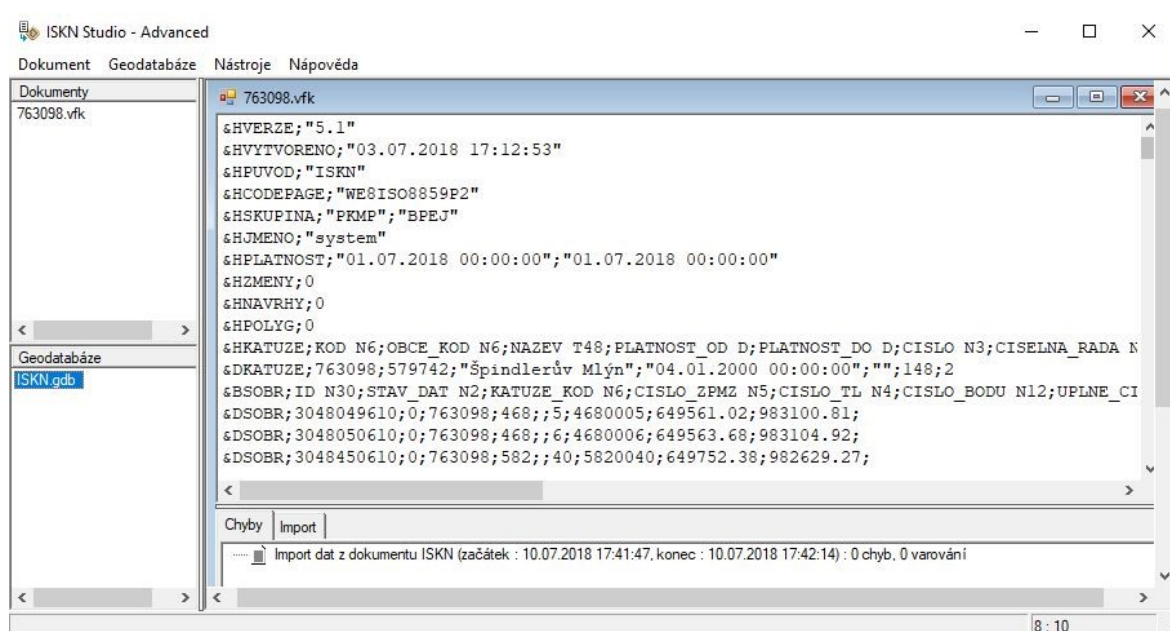
DMR 5G (která byla použita pro testovací lokalitu Mořina), tato jsou ve formátu textového souboru, stačí je tedy jen převést na shapefile vrstvu.

3.1.2. Liniová vrstva komunikací

Jak bude popsáno dále (viz kapitola 4.1), data komunikací pocházejí z OpenStreetMap. ArcGIS umožňuje instalaci sady nástrojů pro podporu používání OpenStreetMap, díky které lze získat data z daného území ve vektorové podobě. Díky nástroji Download OSM Data (Loveman, 2016) se podle zadaného rozsahu do Feature Datasetu načtou bodová, liniová a polygonová vrstva a dvě tabulky. Dále pomocí atributu byly vybrány linie komunikací z testovacích lokalit, které byly spojeny v jednu linii pro celou část modelového území nástrojem *Dissolve (Data Management)*.

3.1.3. Polygonová vrstva katastru nemovitostí (KN)

Cesta k získání polygonové vrstvy KN byla poměrně komplikovaná. Nejdříve bylo potřeba na úložišti (ČÚZK, 2013) vyhledat dané území buď podle názvu nebo čísla katastrálního území. Po stažení a odzipování složky se dostaneme k souboru s příponou *.vfk* – výměnný formát informačního systému katastru nemovitostí. Abychom importovali data do formátu geodatabáze, je potřeba pracovat s volně dostupným programem ISKN Studio (ARCDATA PRAHA, 2018). Nejprve je třeba nahrát soubor *.vfk*, který se zobrazí v části „Dokumenty“. Dále se vytvoří geodatabáze, je vhodnější vytvářet přímo v ISKN



Obrázek 4 - ISKN Studio

Zdroj: ARCDATA PRAHA, 2018c

Studiu, aby bylo zajištěné její správné naformátování. Když je nahraný dokument a vytvořená geodatabáze (viz Obrázek 4), je možné přejít k importování dat a následnému vytvoření vektorových prvků pomocí karet nástrojů v záhlaví programu. Z vektorizovaných prvků, pak byly vybrány linie kopírující hranu komunikace. Protože cílem byla polygonová vrstva, bylo nutné, nejdříve zkontrolovat návaznost linií, případně opravit některé drobné nenavazující úseky, aby co nejvěrněji kopírovaly hranu komunikace a na okrajích částí modelových území „uzavřít“ souběžné linie. Takto připravená liniová data byla převedena na polygonová data pomocí funkce *Feature To Polygon (Data Management)*.

Prvním ze vstupních souborů je bodová vrstva – bodové mračno – nazvané *body.shp*. Z důvodů výpočetní náročnosti (např. tvorba TIN) probíhal výpočet po jednotlivých částech. Každá část lokality se nachází na ploše o velikosti cca 1x1 km. Z celé plochy ale byly vybrány pouze dílčí čtverce bodového mračna o velikosti 250x250 m, aby pokryly dostatečně široké okolí zkoumané komunikace. Druhým vstupním souborem je liniová vrstva *silnice.shp*. Délka komunikací v jednotlivých částech se pohybovala od 589,48 m (úsek Špindlerův Mlýn 1) do 3 058,98 m (úsek Mladé Buky 3). Posledním vstupním souborem byla polygonová vrstva *kn.shp*, která slouží k ověření získaných výsledků a výpočet parametrů hodnotící úspěšnost navrhovaného postupu. Pro zdárný průběh navrhovaného postupu je třeba mít pythonový soubor a tři vstupní shapefile soubory v jedné složce.

3.2. Vymezení komunikace

První část skriptu vymezuje plochu komunikace, tzn. vznikne polygonová vrstva, která by měla co nejvěrněji kopírovat rozsah komunikace. V úvodu skriptu se importují moduly *arcpy*, *sys*, *scipy*, *os*, *numpy* a *arceditor*, dále proběhne načtení rozšíření ArcGIS, a to *3D Analyst* a *Spatial Analyst*. Pro kontrolu délky průběhu skriptu se zaznamená čas jeho spuštění. Ten se společně s cestou k aktuálnímu pythonovému souboru vypíše do logu. Dále se v úvodu skriptu definují vstupní vrstvy – *body.shp*, *silnice.shp* a *kn.shp*. Ty by se měly nacházet ve stejné složce jako skript. Pro sjednocení souřadnicového systému vrstvy *silnice.shp* s ostatními vrstvami je použita funkce *Project (Data Management)*. Jak bylo uvedeno výše, vrstvy *kn.shp* a *silnice.shp* byly připraveny pro všechna modelová území, skript však probíhá pouze na jednotlivých částech – podle rozsahu určeným vrstvou

body.shp – proto jsou oříznuty funkcí *Clip (Analysis)* podle polygonu určujícího rozsah bodů získaného funkcí *Minimum Bounding Geometry (Data Management)*.

Z důvodu výpočetní náročnosti postupu probíhá vymezení komunikace po kratších úsecích. Vstupní linii bylo třeba rozdělit na podobně dlouhé úseky, které nepřesáhnou délku 200 metrů a zároveň by neměly na okrajích částí úseků zůstat velmi krátké úseky (např. 1 m). Skript tedy nejprve zjistí délku jednotlivých linií komunikace, určí, na kolik úseků bude která linie rozdělena, a vypíše tyto informace do logu. Pokud je délka větší než 200 m jsou pomocí cyklu podél linie rozmístěny body v pravidelném rozestupu. Výpočet délky pravidelného rozestupu vychází z následujícího výpočtu:

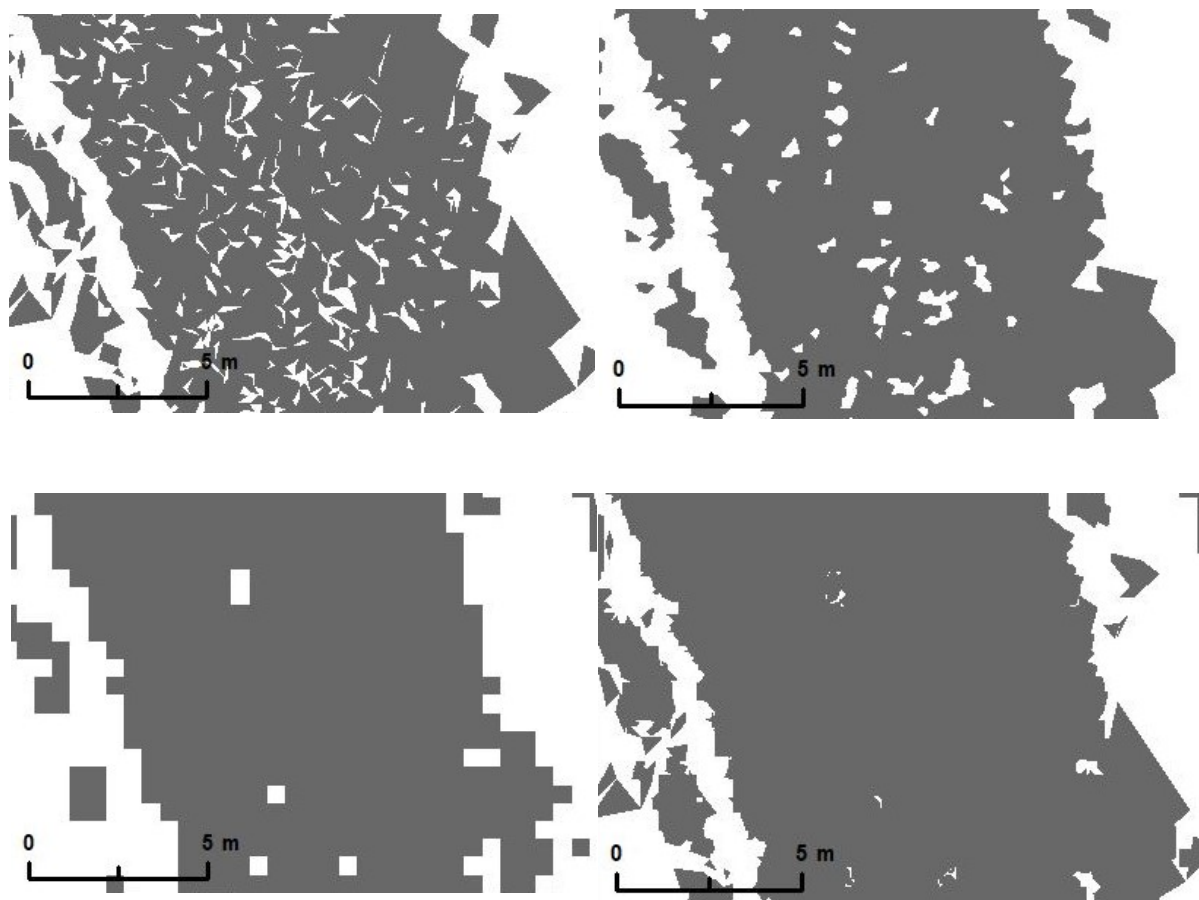
$$\text{počet úseků} = (\text{délka} / \text{délka úseku}) + 1$$

$$\text{rozestup} = (\text{délka} / \text{počet úseků}),$$

kde *délka* je délka jednotlivých linií komunikace a *délka úseku* již zmíněných 200 metrů. Po rozmístění bodů podél linie v intervalu určeném hodnotou proměnné rozestup, je tato rozdělena na úseky pomocí funkce *Split Line at Point (Data Management)*.

Dalším krokem je cyklus, který proběhne na každém úseku komunikace. Nejprve se kolem úseku vytvoří *Buffer (Analysis)* o šířce 10 metrů, který by měl pokrýt dostatečně široké okolí vstupní linie – dle ČSN 73 6110 (2006) je maximální šířka pruhu 3,5 metru. Dále jsou vybrány body spadající do vymezeného bufferu. Z nich je následně vytvořen TIN (*Create TIN – 3D Analyst*). Pomocí funkce *TIN Triangle (3D Analyst)* je TIN převedený na polygonovou vrstvu s údajem o sklonu v každém trojúhelníku, která je dále oříznuta pomocí vymezeného bufferu a jsou vybrány pouze polygony splňující podmínku sklonu menšího nebo rovného 12 %. Podmínka maximálního sklonu 12 % vychází z ČSN 73 6110 (2006). Další „sítí“ která vznikne na základě vybraných bodů jsou Thiessenovy polygony (*Create Thiessen Polygons – Analysis*), do kterých je vepsána (*Spatial Join – Analysis*) hodnota sklonu z trojúhelníkové polygonové vrstvy a opět vybrány ty, které odpovídají hraniční hodnotě. Poslední ze vzorkování je vytvoření pravidelné čtvercové sítě (*Create Fishnet – Data Management*), se kterou se dále pokračuje jako s Thiessenovými polygony. Vybrané polygony (trojúhelníkové, Thiessenovy a čtvercové) se spojí do jedné vrstvy pomocí funkce *Merge (Data Management)* a převedou na rastrovou vrstvu (*Polygon to Raster – Conversion*) se dvěma hodnotami 0 a 1 (*Reclassify – 3D Analyst*). Vytvořením

tří různých sítí by mělo dojít k co největšímu vyplnění plochy komunikace (viz Obrázek 5), které usnadní použití navazujících morfologických operací, které by měly



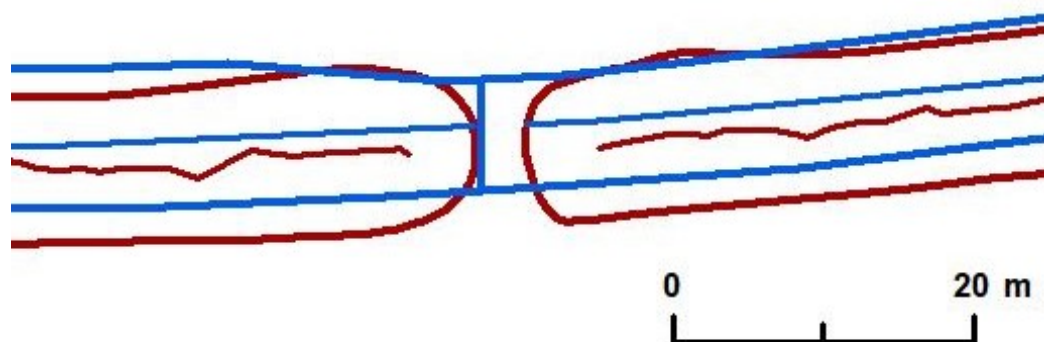
Obrázek 5 - použití tří typů sítí pro vyplnění co největší plochy s maximálním sklonem 12 % (vlevo nahoře – TIN, vpravo nahoře – Thiessenovy polygony, vlevo dole – čtvercová síť, vpravo dole – sjednocení všech tří vrstev)

Zdroj: vlastní tvorba

uzavřít díry v komunikaci a odstranit část nesprávně vybraných ploch mimo komunikaci (např. louka za příkopem). Pokud by byl použitý pouze jeden typ sítě, při vyplňování plochy komunikace by došlo k napojení i nechtěných ploch. Jde o morfologické uzavření, následované erozí, otevřením a znovu uzavřením. Výsledný rastr je převedený zpět na polygon (*Raster to Polygon – Conversion*), jehož obrys je vyhlazení funkcí *Smooth Polygon (Cartography)*. Nyní se může v úseku stále vyskytovat několik polygonů mimo komunikaci (malé plochy v okolí, které nejsou spojené s hlavní komunikací) či děr v komunikaci, které je třeba odstranit, proto je vypočtena plocha každého polygonu a odstraněny polygony menší než 50 m². Vyplnění děr menší než 50 m² je zajištěno funkcí

Eliminate Polygon Part (Data Management). Tímto se dostaneme k prvotnímu vymezení komunikace, které ale ještě prochází další úpravou ke zpřesnění výsledku.

Další úprava začíná výběrem bodů z bodového mračna, které se nachází v prvotně vymezeném polygonu. Z těchto bodů je vytvoření TIN, který je následně převedený na rastr (*TIN To Raster – 3D Analyst*), oříznutý podle vymezeného polygonu (*Extract by Mask – Spatial Analyst*) a na jehož základě je vypočítaná orientace (*Aspect – 3D Analyst*). Rastr je dále reklasifikovaný (*Reclassify – 3D Analyst*) na osm tříd podle hlavních a vedlejších světových – např. severovýchod vymezený hodnotami 22,5 a 67,5. Reklasifikovaný rastr je převedený na polygon, jednotlivé třídy jsou sjednoceny (*Dissolve – Data Management*), je vypočítána jejich plocha a jsou vybrány dvě třídy s největší plochou – tento krok by měl předejít vybrání větších ploch mimo komunikaci, vychází z toho, že komunikace na takto krátkém úseku nemůže být orientována více směry. Vrstva je znovu rasterizována a projde stejným procesem jako při prvotním vymezení – jak již bylo popsáno výše – morfologické operace (v pořadí uzavření, eroze, otevření, uzavření, dilatace), vyhlazení obrysu, odstranění malých částí a děr. Tím je získána výsledná plocha komunikace.



Obrázek 6 - získaná (červená) vs. vstupní (modrá) osa komunikace

Zdroj: vlastní tvorba

Z výsledné plochy komunikace je pak pomocí nástroje *Polygon to Centerline* (Dilts, 2015) získána nová osa komunikace. Jde o nástroj, který se skládá ze dvou částí. První z nich je založena na metodě Thiessenových polygonů a vytvoří osu polygonu, druhá má za úkol odstranit krátké nadbytečné úseky vybočující z osy. Protože takto vytvořená

osa nedosahuje až k okrajům výsledného polygonu komunikace, je pro výpočet atributů použita vstupní (přibližná) linie komunikace (viz Obrázek 6).

3.3. Výpočet atributů

Další část skriptu je určena k výpočtu atributů komunikace, konkrétně šířky, podélného a příčného sklonu. Tyto parametry popisují základní vlastnosti každého úseku komunikace a jejich maximální i minimální hodnoty jsou dané (ČSN 73 6110, 2006). Na jejich základě se komunikací dělí na kategorie, které podle svého účelu a konstrukčních vlastností mají určenou maximální povolenou rychlost. Protože jsou tyto parametry proměnlivé, neměly by platnost po celý úsek komunikace (cca 200 m). Proto byly jednotlivé úseky ještě rozděleny na části o maximální délce 10 m. Rozdělení úseků na části probíhalo stejně jak bylo uvedeno výše (viz kapitola 3.2), při dělení komunikace na úseky. Do atributové tabulky liniové vrstvy komunikací byly přidány nové sloupce (*Add Field – Data Management*), do kterých byly dalším postupem vepsány hodnoty. Byly také přidány sloupce pro zapsání hodnot k porovnání výsledků s kontrolními daty KN.

Pro výpočet atributů bylo třeba vybrat bezprostřední okolí části úseku komunikace, tj. rozdělit polygon vymezení komunikace podle jednotlivých částí úseků a v každé vypočítat požadované atributy. Toho bylo docíleno vytvořením *Buffer* a následným ořezem (*Clip*) polygonového vymezení komunikace. Aby mohly být vypočítány podélný a příčný sklon, bylo potřeba získat koeficienty obecné rovnice roviny ve tvaru:

$$z = ax + by + c,$$

kde $a, b, c \in R$, kde alespoň jedno z čísel a, b, c je nenulové

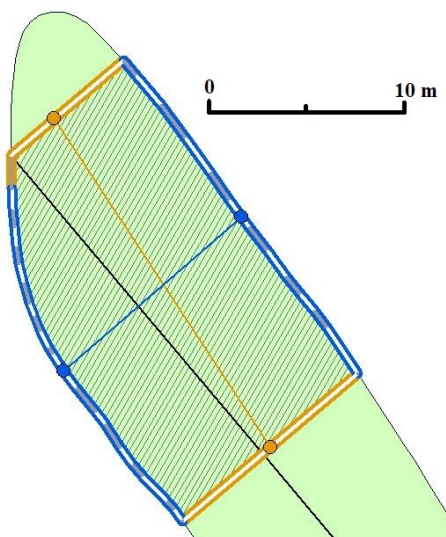
U všech bodů příslušného úseku byly zjištěny souřadnice (*Add XY Coordinates – Data Management*), které jsou rozděleny do dvou matic $M[x, y, I]$ a $b[z]$ a vstupují do výpočtu normálového vektoru roviny, tj. koeficientů obecné rovnice roviny. Funkce *numpy.linalg.lstsq* vyřeší soustavu rovnic pomocí metody nejmenších čtverců.

Abychom mohli vypočítat podélný sklon, je potřeba určit dva body – ideálně střed začátku a konec zkoumaného úseku – a zjistit jejich souřadnice (viz Obrázek 7, oranžové linie a body). Díky *Bufferu*, pomocí kterého se vybírá pouze okolí části úseku (šrafovaná plocha), dojde k zarovnání polygonu na jeho kratších stranách křížících se s linií komunikace. Polygon komunikace byl převeden na linii (*Polygon to Line – Data*

Management) a následně rozdělen na jednotlivé úseky (*Split Line at Vertices – Data Management*). Na Obrázek 7 jsou tyto úseky bílo šedé, komunikace je vyznačena tmavě šedou linií. Pomocí *Spatial Join (Analysis)* jsou vybrané linie, které se kříží nebo se přimykají ke vstupní liniové vrstvě komunikace, ty jsou opět sjednoceny pomocí funkce *Dissolve (Data Management)*, aby vytvořily souvislé linie. V této fázi jsou vedeny v atributové tabulce jako jedna položka (multipart), jsou tedy rozděleny na dvě souběžné linie (*Multipart To Singlepart – Data Management*) a jsou nalezeny středy těchto linií (*Feature Vertices To Points (Data Management)*). Po zjištění souřadnic nově nalezených bodů (*Add XY Coordinates – Data Management*), je pomocí koeficientů obecné rovnice dopočítána i jejich nadmořská výška. Body jsou následně spojeny linií (*Points To Line – Data Management*) a je zjištěna jejich vzdálenost. V tuto chvíli jsou již dostupné všechny proměnné k výpočtu goniometrické funkce a zjištění podélného sklonu:

$$\text{sklon } [^\circ] = \arctg\left(\frac{\text{vzdálenost}}{|z_1 - z_2|}\right) * \frac{180}{\pi}$$

$$\text{sklon } [\%] = \arctg\left(\frac{\text{vzdálenost}}{|z_1 - z_2|}\right) * 100$$



Obrázek 7 - schéma pro výpočet podélného a příčného sklonu

Zdroj: vlastní tvorba

Výpočet příčného sklonu byl obdobný, pouze byly vybrány linie, které se nekříží se vstupní linií (vstupní linií je liniová vrstva, modré linie a body) a vzdálenost dvou bodů, pomocí kterých byl počítán příčný sklon byla zároveň zapsaná jako šířka komunikace pro daný úsek.

3.4. Výpočet hodnocení

Ve skriptu je zařazen výpočet několika hodnotících ukazatelů. Jak již bylo uvedeno výše, jako referenční data slouží data katastru nemovitostí. Tato polygonová vrstva vstupuje do stejného výpočtu atributů jako postupem vymezený polygon komunikace, tj. na stejných částech úseků, a tak jsou všechny hodnoty atributů dostupné v jedné tabulce liniové vrstvy komunikací. Kromě prostého rozdílu hodnot jsou tyto rozdíly u šířky komunikace rozděleny do kategorií pro lepší orientaci:

Kategorie	Rozdíl v šířce komunikace
1	$< 0,5 \text{ m}$
2	$\geq 0,5 \text{ m} \wedge \leq 1 \text{ m}$
3	$> 1 \text{ m}$

Dalším kontrolním ukazatelem jsou rozdíly v šířce porovnávány s předchozím a následujícím úsekem. Tento ukazatel by měl odhalit větší rozdíly navazujících úseků, které by mohly poukázat na chyby ve vymezení plochy komunikace. Ukazatel je rozdělený do šesti kategorií:

Kategorie	Rozdíl v šířce komunikace
1	je oboustranně menší nebo rovno 0,5 m
2	je oboustranně větší než 0,5 m a menší nebo rovno 1 m
3	je oboustranně větší než 1 m a menší nebo rovno 1,5 m
4	je oboustranně větší než 1,5 m a menší nebo rovno 2 m
5	je oboustranně větší než 2 m
6	všechny ostatní případy

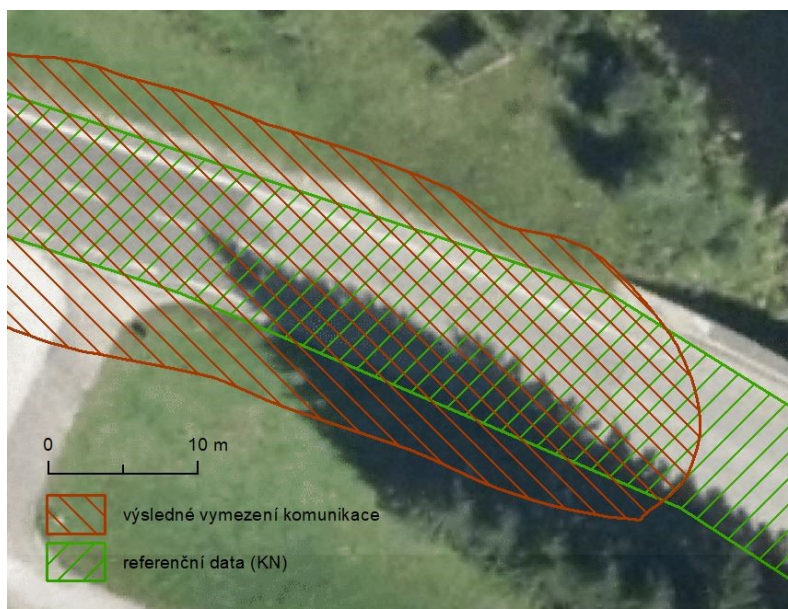
Dále je také porovnávány plochy komunikací určených a kontrolních. Procentuální hodnocení vychází z práce Hu, X. et al. (2014), kde je sledována procentuální správnost, úplnost a kvalita (ve vzorci ve formátu desetinného čísla, tj. od 0 do 1):

$$\text{správnost} = \frac{SU}{SU + NU}$$

$$\text{úplnost} = \frac{SU}{SU + NN}$$

$$\text{kvalita} = \frac{SU}{SU + NU + NN}$$

kde SU (správně určené) jsou plochy, které byly vyhodnoceny navrhovaným postupem a jsou i v referenčních datech, NU (nesprávně určené) jsou plochy vybrané pouze navrhovaným postupem a NN (nesprávně neurčené) plochy, které jsou pouze v referenčních datech, ale nebyly detekovány navrhovaným postupem. Na Obrázek 8 jsou správně určené plochy červenozelenou šrafou, nesprávně určené plochy pouze červenou šrafou a nesprávně neurčené plochy pouze zelenou šrafou.



Obrázek 8 - plochy pro výpočet správnosti, úplnosti a kvality

Zdroj: vlastní tvorba

Posledním ukazatelem je celková nesprávně určená plocha a její rozdělení na pravou a levou část, protože většinou jde o nadhodnocení šířky komunikace. I když je plocha nesprávně určená, může být ve skutečnosti součástí komunikace. Může jít o případy, kdy k silnici přiléhá odpočívadlo, případně parkovací plocha, nebo se připojuje komunikace nižší třídy, jde tedy o spojitou plochu, která ale není v kontrolních datech zahrnuta. Pomocí nesprávně určených ploch po stranách komunikace můžeme sledovat, zda navrhovaný postup výrazněji nenadhodnocuje jednu ze stran (v tomto případě je označení levá/pravá spíše ilustrativní).

3.5. Výsledné vrstvy

Hlavními výslednými vrstvami je polygonové vymezení komunikace, liniová vrstva komunikace s vypočítanými atributy a hodnocením vzhledem k referenční vrstvě a liniová vrstva komunikace, prezentující osu komunikace z polygonového vymezení komunikace. Polygonové vymezení má pouze jeden atribut a to plochu. V atributové tabulce výsledné liniové vrstvy najdeme údaje o podélném a příčném sklonu ve stupních a v procentech a údaj o šířce ke každému cca desetimetrovému úseku. Pro kontrolu jsou stejné atributy vypočítány i z kontrolních dat a porovnány, jak bylo popsáno výše.

Pro vizuální porovnání jsou ve výsledné složce ještě další polygonové vrstvy. Je to kontrolní vrstva katastru nemovitostí pro danou část, dále vrstva průniku kontrolní a určené vrstvy komunikace a také dvě vrstvy nesprávně určených ploch po pravé a levé straně komunikace.

4. Modelová území a vstupní data

Výběr modelových území byl určen rozsahem dostatečně hustého bodového mračna LLS a dále omezen dostupností referenčních dat pro ověření správnosti navrhovaného postupu.

4.1. Vstupní data

V následující části budou popsána použitá vstupní data. Nejprve data leteckého laserového skenování Krkonoš a DMR 5G, dále jako referenční data katastrální mapa, a nakonec pomocná data OpenStreetMap.

Data LLS Krkonoše

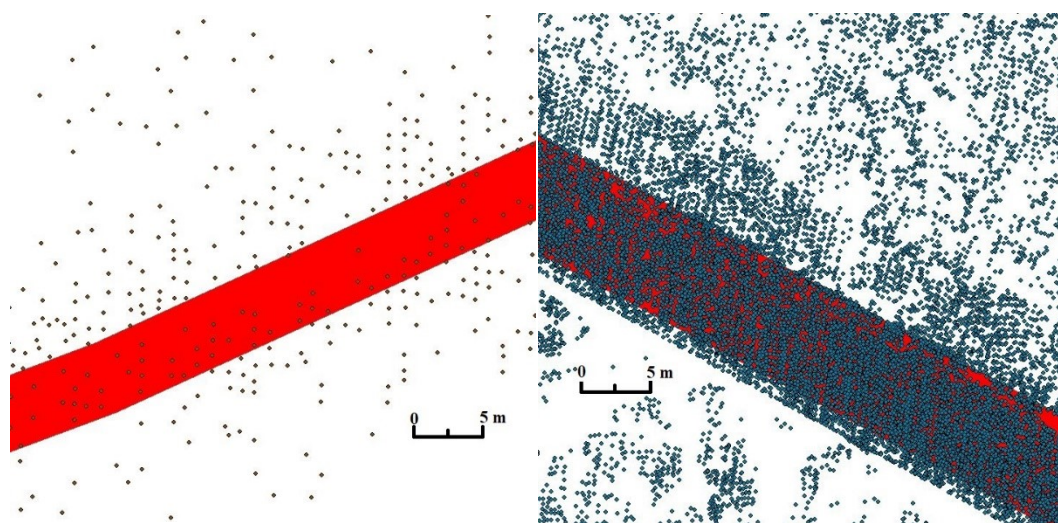
Data LLS Krkonoše, jak budou v této práci nazývána, byla pořízena v rámci projektu KRKONOŠE v INSPIRE – společný GIS v ochraně přírody, který byl podpořen v programu Přeshraniční spolupráce ČR-PR 2007-2013 financovaného z prostředků fondu pro regionální rozvoj. Cílem zakázky bylo pořízení kompletních geoprostorových dat pro území 550 km² Krkonošského národního parku z vegetačního období a jejich následné vyhodnocení. Kromě bodového mračna byly pořízeny letecké měřické snímky. Mračno laserových bodů bylo pořízeno s hustotou 5 bodů/m², což v té době bylo pro rozsáhlé území s velkými výškovými rozdíly a za použití skeneru se záznamem kompletní informace o odražené světelné vlně (full-waveform) unikátní. Snímkování parku trvalo celkem 16 letových dní, během kterých bylo naskenováno 553 letových řad. Následně bylo mračno bodů relativně i absolutně urovňováno a v dalším kroku z něj byly vytvořeny digitální modely terénu a povrchu. (Puchrik, Nýdrle, 2013)

DMR 5G

Celým názvem Digitální model reliéfu České republiky 5. generace, je produkt Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) a představuje reprezentaci přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu. Je dostupný ve formátu textového souboru s příponou .xyz, který obsahuje souřadnice x a y v souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a údaj o nadmořské výšce ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv). Body jsou uspořádány v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) a jejich hustota je 1-1,6 bodu/m². Model je vhodný například k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních,

vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru apod. (ČÚZK, 2010a)

V této práci byl DMR 5G použitý pouze pro účely srovnání vlivu hustoty bodového mračka (viz Obrázek 9) na výsledek navrženého algoritmu na území v blízkosti Mořiny. Byla použita pouze jedna lokalita, protože od počátku bylo zřejmé, že hustota dat DMR 5G pro navržený algoritmus bude nedostatečná.



Obrázek 9 - porovnání hustoty bodů bodového mračka Krkonoše a DMR 5G

Zdroj: vlastní tvorba

Katastrální mapa

Katastrální mapa je mapou velkého měřítka. V současné době je již celé území České republiky dostupné i v elektronické podobě. Katastrální mapa se skládá z polohopisu (hranice katastrálních území, hranice územních správních jednotek, státní hranice, hranice chráněných území a ochranných pásem, hranice nemovitostí, ...), popisu (čísla bodů polohového bodového pole, místní a pomístní názvosloví a označení parcel parcelními čísly a mapovými značkami, ...) a bodů (polohová bodová pole – jen v S-JTSK). (ČÚZK, 2010b)

V práci byla použita pouze část geodetických informací, konkrétně vnitřní kresba parcel komunikací (viz Obrázek 10), která v zájmových územích zachycovala hrany komunikací – tj. kopírovala krajnice silnic – a umožnila tak ověření správnosti zkoumaného postupu. V porovnání s dalšími datovými sadami se katastrální mapa vyznačuje vyšší polohovou přesností a nereprezentuje komunikaci pouze středovou osou.

Z důvodu dostupnosti vektorových dat byly zájmové oblasti omezeny na lokality, kde byla v době vzniku práce dostupná katastrální mapa digitalizovaná (KMD) nebo digitální katastrální mapa (DKM).



Obrázek 10 - vnitřní kresba parcely kopírující hranu komunikace (zvýrazněno červenou linií)

Zdroj: ČÚZK, 2010c

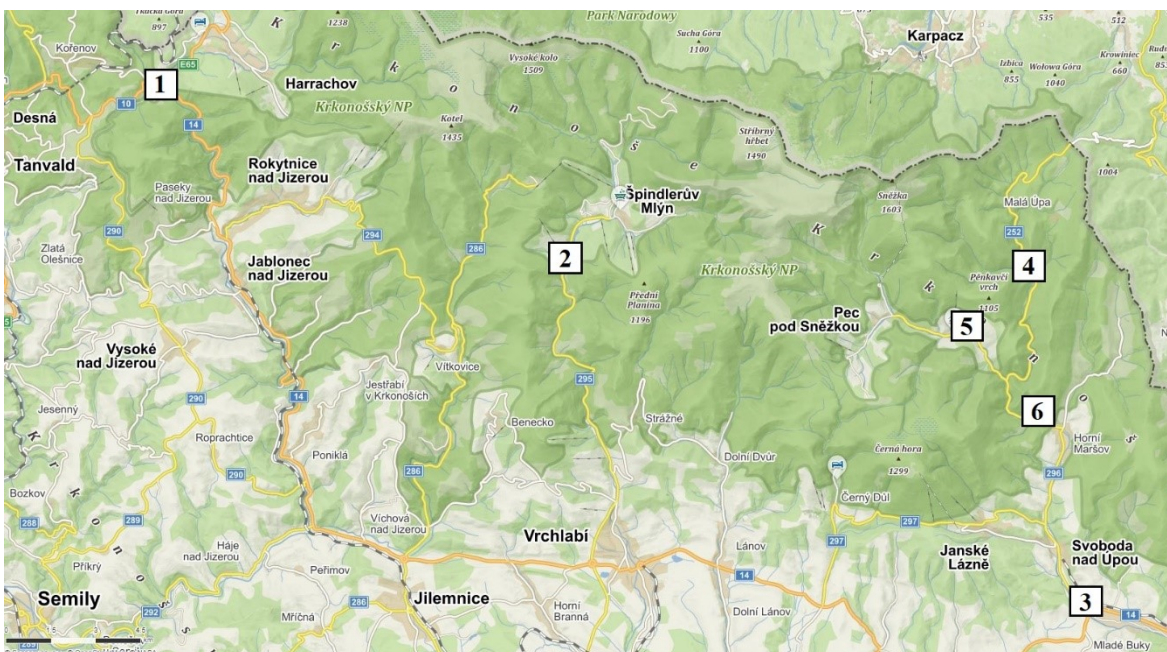
OSM

OSM je zkratkou projektu OpenStreetMap, který má za cíl vytvořit volně dostupná geografická data celého světa, která následně vizualizuje do podoby map. Projekt OpenStreetMap vznikl v roce 2004 ve Velké Británii a dále se rozvíjí díky kolektivní spolupráci spolu s koncepcí otevřeného software. Vzhledem k volné dostupnosti dat – Open Database License – je možnost tato data svobodně sdílet, upravovat. OSM ukládá data ve vlastním souborovém formátu pro vektorová geodata založená na XML v referenčním souřadnicovém systému WGS 84. Data se ukládají do centrální databáze v podobě primitiv – uzlů, cest, relací a atributů. Příspěvkatelem může být jakýkoliv registrovaný uživatel, každá změna je uložena a je možnost tak řešit případná sporně zadaná data. (OpenStreetMap, 2017)

Vzhledem k dostupnosti dat na všech modelových územích, byla pro účely práce využita jako vstupní vrstva liniová vrstva komunikací. Tato vrstva splňuje předpoklad, že přibližně kopíruje průběh komunikace.

4.2. Modelová území

S ohledem na popsané charakteristiky vstupních dat se nacházejí všechny zkoumané úseky na území Krkonoš (viz Obrázek 11). Vzhledem k lokalitě větší část úseků vede v členitém terénu. Jedno území, které slouží pro porovnání výsledků s daty s odlišnou hustotou bodového mračna se nachází v CHKO Český kras.

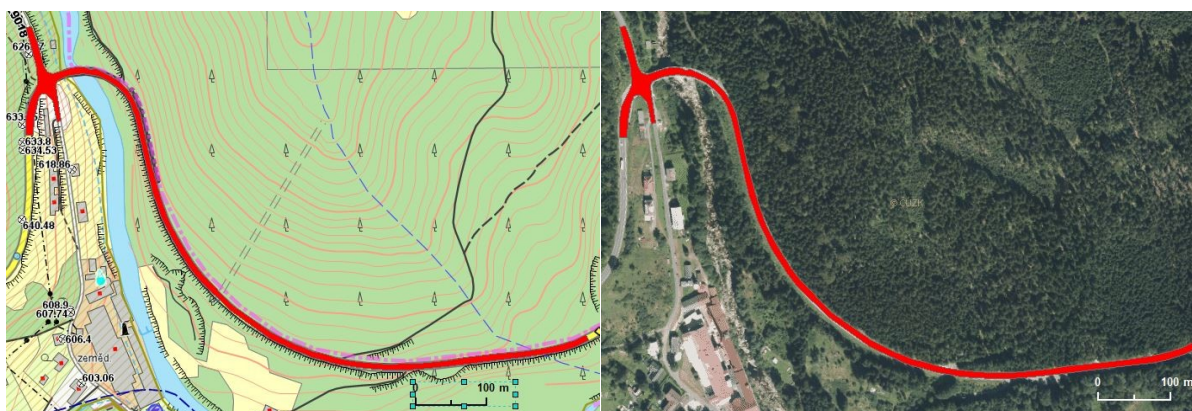


Obrázek 11 - přehledová mapa modelových území

(1. Mýtiny, 2. Špindlerův Mlýn, 3. Mladé Buky, 4. Úpa, 5. Velká Úpa, 6. Temný Důl)

Zdroj: Mapy.cz

V Krkonošském národním parku bylo vytipováno celkem šest vhodných území:



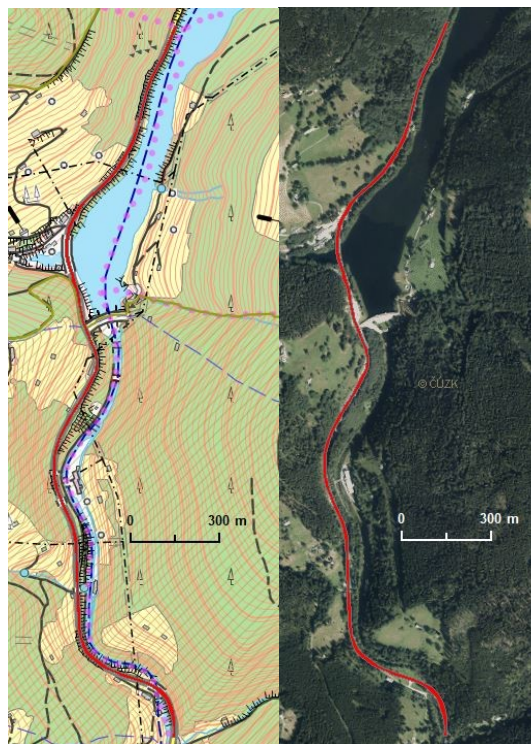
Obrázek 12 - úsek Mýtiny na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

Mýtiny (délka úseku 1 131 m) – silnice I. třídy číslo 10 spojující Turnov, Železný Brod, Tanvald, Harrachov a státní hranici s Polskem. V práci byla zkoumána část komunikace mezi Kořenovem a Harrachovem nacházející se v částečně zalesněném údolí řeky Jizery, je zde také zahrnuto křížení se silnicí třetí třídy (viz Obrázek 12).

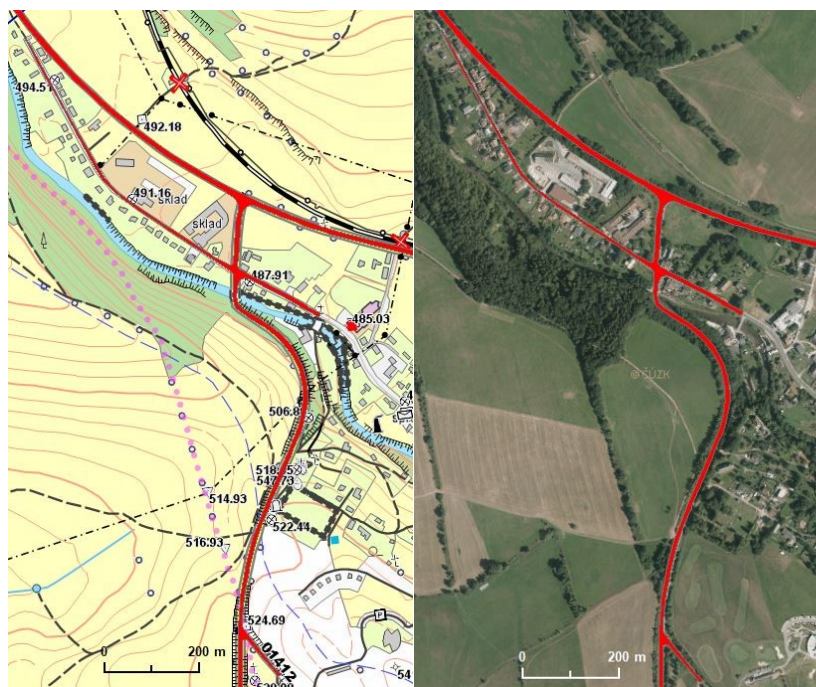
Špindlerův Mlýn (délka úseku 2 593 m) – silnice II. třídy číslo 295 vedoucí od Studence, přes Vrchlabí do Špindlerova Mlýna. V práci je zahrnut úsek od autobusové zastávky Michlův Mlýn v údolím řeky Labe a končí cca v polovině vodní nádrže Labská. Úsek je částečně zalesněný, ovšem v menší míře než předchozí úsek (viz Obrázek 13).

Mladé Buky (délka úseku 7 893 m) – druhý nejdelší úsek zahrnuje silnice všech tříd. Nejdelší úsek však pokrývá silnice I. třídy číslo 14, vedoucí z Liberce podhůřím Jizerských hor, Krkonoš a Orlických hor až ke Svitavám. Zájmový úsek vede od Hertvíkovic ke Kalné Vodě a zahrnuje tak nezalesněné úseky bez zástavby i se zástavbou podél komunikace. Ze silnice I. třídy odbočuje silnice II. třídy číslo 296 vedoucí do Pece pod Sněžkou. Jedná se o část komunikace v rovinatějším otevřeném terénu, částečně vedoucí v zástavbě.



Obrázek 13 - úsek Špindlerův Mlýn na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

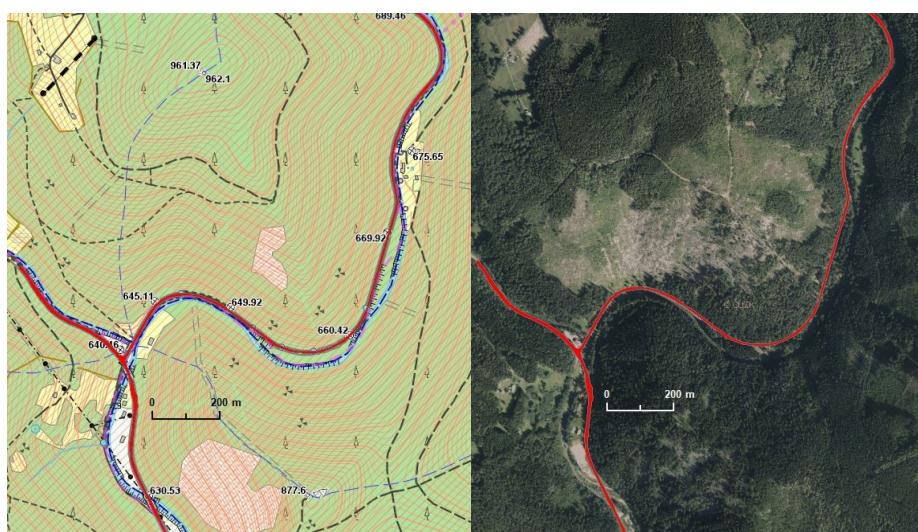


V tomto úseku se nachází i dvě křižení (viz Obrázek 14). Jedno s komunikací třetí třídy vedoucí z Vlčic mimo zástavbu. Druhé s místní komunikací vedoucí zástavbou.

Obrázek 14 - výtah úseku Mladé Buky na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

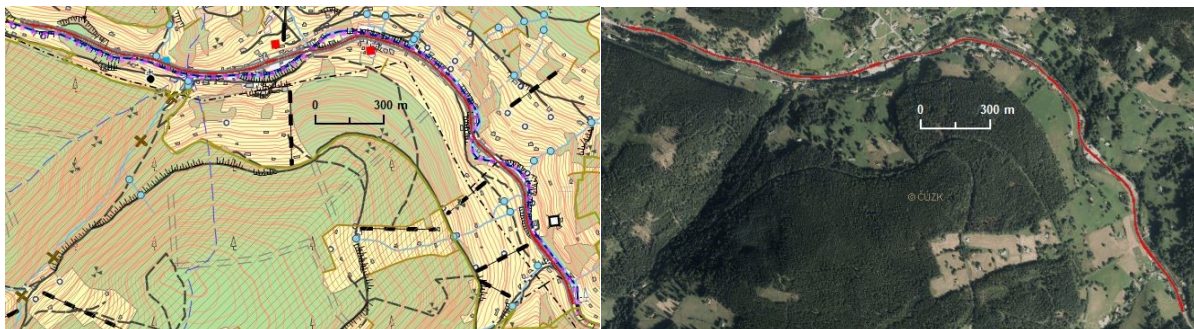
Úpa (délka úseku 9 414 m) – nejdelší modelový úsek se sestává ze dvou úseků silnic II. třídy (číslo 252 a 296) a jejich křižení (viz Obrázek 15). Delší z úseků (silnice 252) vede zalesněným údolím řeky Malá Úpa od křižovatky se silnicí číslo 296 po Seidlův Důl. Kratší z úseků, silnice 296, vede od brusírny dřeva v Temném Dolu a končí asi 400 metrů za křižovatkou se silnicí 252.



Obrázek 15 - výtah úseku Úpa na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

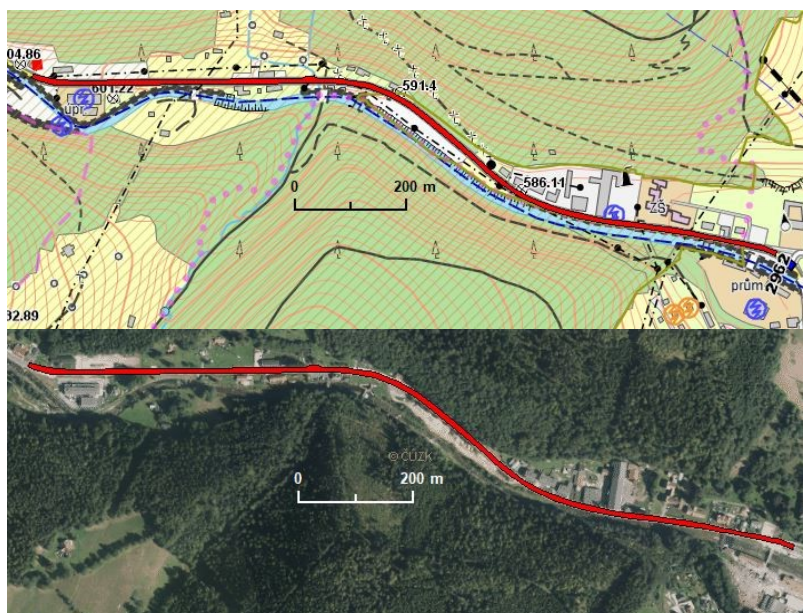
Velká Úpa (délka úseku 3 082 m) – úsek silnice II. třídy číslo 296 vedoucí od autobusové zastávky Vavřincův Důl po benzinovou pumpu u Pece pod Sněžkou. Tento úsek vede nezalesněným údolím řeky Úpy, podél komunikace je místy rozptýlená zástavba (viz Obrázek 16).



Obrázek 16 - úsek Velká Úpa na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

Temný Důl (délka úseku 1 422 m) – úsek silnice II. třídy číslo 296 od úpravny vody v Temném Dole po most přes Úpu u zámku Horní Maršov. Komunikace vede otevřeným údolím, částečně obklopena zástavbou (viz Obrázek 17).

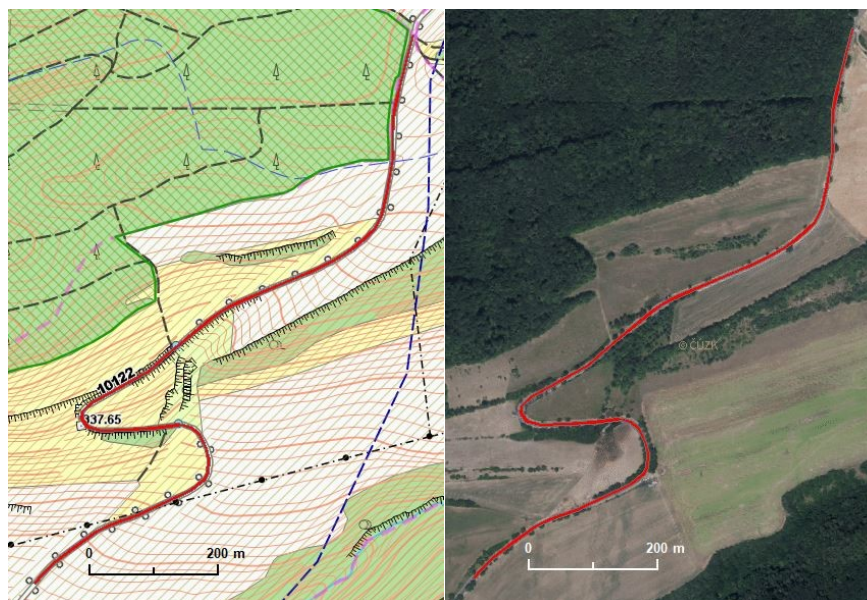


Obrázek 17 - úsek Temný Důl na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

Mořina

Poslední modelové území se nachází v CHKO Český kras. Jde o nezalesněný úsek (délka úseku 1 441 m) silnice III. třídy mezi Mořinou a Hlásnou Třebání (viz Obrázek 18).



Obrázek 18 - úsek Mořina na podkladu ZABAGED a ortofoto

Zdroj: WMS Ortofoto, WMS ZABAGED

5. Výsledky

Postup byl nejdříve otestován na datech menšího rozsahu, po odstranění chyb byl spuštěn na všech testovacích lokalitách. V následující kapitole budou popsány dosažené výsledky navrhovaného postupu. U každé testovací lokality jsou uvedeny tabulky s dílčími výsledky, souhrnné výsledky jsou pak přehledně uvedeny v tabulce v příloze této práce. Výsledkové tabulky jsou rozděleny na dvě u některých lokalit i na tři části. V první je uvedena délka úseku komunikace v testovací lokalitě/v části testovací lokality, počet úseků, na které byl rozdělen, délka výpočtu (ve formátu h:mm:ss) a procentuální správnost, úplnost a kvalita (uvedeno ve formátu desetinného čísla, tj. od 0 do 1). Druhá část tabulky je zaměřena na neprávne určené plochy (NU) a to na jednotlivých stranách komunikace, rozdíl mezi stranami a celkově nesprávne určená plocha. U některých testovacích lokalit (Mýtiny, Velká Úpa 2 a 3, Špindlerův Mlýn 1-3 a Úpa 1-5 a 7) je v třetí části tabulky



Obrázek 19 - oblast mostu ve vstupní bodové vrstvě

Zdroj: Puchrik, Nýdrle, 2013; WMS ortofoto; vlastní tvorba

uvedená plocha mostů nacházejících se v dané lokalitě, nové hodnoty úplnosti a kvality a hodnota, o kterou byly tyto hodnotící ukazatele zlepšeny. Protože do skriptu vstupuje digitální model reliéfu, tak v těchto datech jsou odfiltrovány body zachycující stavby včetně mostů. Jak je patrné na Obrázek 19 tak by v dané oblasti nebylo možné provést

výpočet z důvodu absence bodů, v referenčních datech jsou ale tyto úseky zahrnuty, což se následně negativně projeví v hodnotících ukazatelích, protože jde o nesprávně neurčenou plochu, která figuruje právě ve výpočtu úplnosti a kvality.

Průměrné výsledné hodnoty správnosti, úplnosti a kvality vycházejí z testovacích lokalit Krkonošského národního parku, testovací lokalita Mořina je popsána zvlášť. Průměrná správnost dosahuje 79,75 %, úplnost 88,67 % a kvalita 71,92 %. Nesprávně určené plochy jsou napříč testovacími lokalitami poměrně vyrovnané – jejich poměr je 1,11 (průměr levé 1 426,25 m², pravé 1 506,13 m²). Pokud odečteme plochu mostů, průměrná úplnost vzroste na 90,74 % a kvalita na 73,38 %.

Nejhorší výsledky má navržený postup v úsecích procházejících zástavbou, případně v místech, kde není větší terénní rozdíl mezi komunikací a okolním terénem. Naopak v členitějším terénu, i přes drobné nepřesnosti, dosahuje uspokojivých výsledků. V některých případech jsou detekovány i navazující komunikace, případně lesní cesty.

5.1. Mýtiny

Správnost, úplnost a kvalita této testovací lokality je spíše podprůměrná (viz Tabulka 1).

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita
Mýtiny	1 131,24	7	0:29:57	0,7888	0,7699	0,6384

Tabulka 1 - Mýtiny, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Větší nesprávně určené plochy se nacházejí v oblasti křižovatky (Obrázek 20), kde je na levé straně levého obrázku dobře patrné rozšíření komunikace z důvodu autobusové zastávky, jedná se tedy o plochu komunikace. V druhém případě jde o část komunikace nižší třídy, kdy přechod mezi komunikací a okolím není terénně nijak patrný.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Mýtiny	805,29	1 513,15	0,53	2 318,44

Tabulka 2 - Mýtiny, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

Nesprávně určené plochy (viz Tabulka 2), jsou tedy částečně ovlivněny výše zmíněnými důvody.



Obrázek 20 - zdánlivě nesprávně určené plochy (červená linie – plocha komunikace vymezená navrhaným postupem, modrá linie – plocha komunikace z dat KN)

Zdroj: Mapy.cz, WMS ortofoto, vlastní tvorba



Obrázek 21 - chyby v lokalitě Mýtiny

Zdroj: WMS ortofoto, vlastní tvorba

Neoprávněné výraznější chyby jsou patrné na dvou místech (viz Obrázek 21). V těchto oblastech není zjevný důvod pro chybné ne/určení oblasti komunikace. V této testovací lokalitě se nacházela chybějící data v oblasti mostu. V Tabulka 3 je tedy patrné zlepšení úplnosti i kvality o jednotky procent, pokud vyjmete z hodnocení plochu mostu.

	mosty plocha (m²)	nová úplnost	nová kvalita	zlepšení úplnost	zlepšení kvalita
Mýtiny	943,89	0,8400	0,6858	0,0701	0,0474

Tabulka 3 - Mýtiny, výsledky 3. část

Zdroj: vlastní tvorba

Průměrný rozdíl mezi testovacími a referenčními daty v podélném sklonu je 0,30°, v příčném sklonu 0,70°. Rozdíl v šířce komunikace je průměrně 2,17 m. Největší rozdíly jsou ve výše popsané oblasti křižovatky a přilehlé komunikace nižší třídy (viz Obrázek 20). To se projevuje i v kategoriích rozdílu šířky, kde více než v polovině úseků (38 z 66) se šířka liší více než o jeden metr. Co se týká rozdílu v šířce po sobě jdoucích úseků, nejpočetnější je šestá kategorie (23 z 66 úseků), téměř polovina úseků (31 z 66) spadají do prvních tří kategorií, tudíž že rozdíl v šířce navazujících úseků není větší než 1,5 m.

5.2. Špindlerův Mlýn

Správnost je u všech úseků nadprůměrná, úplnost a kvalita dosahuje nadprůměrných výsledků pouze ve druhém úseku, v dalších dvou je mírně podprůměrná. Celkově nejhorších výsledků dosahuje třetí úsek, který v úplnosti a kvalitě dosahuje nejnižších hodnot ze všech části testovacích lokalit.

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita
Špindlerův Mlýn 1	589,48	4	0:15:51	0,8205	0,8340	0,7053
Špindlerův Mlýn 2	1 053,55	7	0:29:17	0,8000	0,9351	0,7580
Špindlerův Mlýn 3	949,66	6	0:28:39	0,8226	0,7199	0,6232

Tabulka 4 - Špindlerův Mlýn, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Nesprávně určené plochy se vyskytují ve většině případů na místech napojení místních komunikací, případně v místech rozšíření vozovky (parkoviště), v menší míře se jedná o místa, kde není výraznější terénní tvar a postup tak opravdu nesprávně určil komunikaci (viz Tabulka 5). Naopak neurčení plochy komunikace se objevilo v místech, kde je komunikace od okolního terénu oddělena zídka. Pravděpodobně dochází morfologickými operacemi k podhodnocení šířky daných úseků.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Špindlerův Mlýn 1	556,14	673,90	0,83	1 230,05
Špindlerův Mlýn 2	876,12	1 485,35	0,59	2 361,47
Špindlerův Mlýn 3	906,57	795,33	1,14	1 701,90

Tabulka 5 - Špindlerův Mlýn, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

Ve všech třech úsecích této lokality byly plochy mostů. Největší zlepšení výsledků můžeme pozorovat u třetího úseku, a to přes 9 % u úplnosti a přes 6 % u kvality. Naopak téměř neznamenné zlepšení nastalo u druhého úseku, kde se jednalo pouze krátký mostek.

	mosty plocha (m ²)	nová úplnost	nová kvalita	zlepšení úplnost	zlepšení kvalita
Špindlerův Mlýn 1	445,20	0,8930	0,7470	0,0590	0,0417
Špindlerův Mlýn 2	31,79	0,9381	0,7599	0,0030	0,0019
Špindlerův Mlýn 3	1258,93	0,8133	0,6919	0,0934	0,0678

Tabulka 6 - Špindlerův Mlýn, výsledky 3. část

Zdroj: vlastní tvorba

Průměrný rozdíl podélného sklonu je v první části 0,10°, v druhé části 0,14° a ve třetí části 0,07°. V příčném sklonu dosahuje průměrný rozdíl v první části 0,23°, v druhé a třetí části 0,33°. Průměrný rozdíl šířky je v první části 2,48 m, ve druhé 2,61 m a ve třetí 1,26 m. V kategorizaci rozdílů šířky jsou si první dvě části podobné. V každé z nich spadají dvě třetiny úseků do třetí kategorie, pouze ve třetí části spadá více než polovina úseků do prvních dvou kategorií. Co se týká rozdílů v šířce po sobě jdoucích úseku, je v první části téměř polovina úseků (15 z 32) v šesté kategorii, do prvních tří kategorií se řadí přibližně třetina úseků. V druhé části se také třetina úseků řadí do prvních tří kategorií, ve třetí části dokonce dvě třetiny úseků (35 z 51).

5.3. Mladé Buky

Správnost je ve dvou případech nadprůměrná, úplnost je nadprůměrná ve všech částech (o 5 a více procent), nakonec kvalita je nadprůměrná ve třech částech. Nadprůměrných výsledků ve všech třech hodnotících kritériích dosahuje druhý a pátý úsek. Jde o úseky ve velmi roztroušené zástavbě a mimo ni, kdy je komunikace jasně ohraničena příkopem. V této lokalitě dvě části dosahují nejvyšších hodnot ze všech testovacích lokalit

– čtvrtá část má nejvyšší hodnotu úplnosti a pátá část kvality. Nejhorších výsledků dosahuje třetí úsek, který je ohraničený zástavbou. Předzahrádky domů navazují na komunikaci, případně jsou odděleny chodníkem ve stejné úrovni jako komunikace.

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita
Buky 1	1 457,65	8	0:40:15	0,7415	0,9330	0,7040
Buky 2	1 403,63	8	0:28:25	0,8008	0,9641	0,7776
Buky 3	3 058,98	18	1:20:28	0,6758	0,9374	0,6467
Buky 4	1 028,13	6	0:25:25	0,7897	0,9877	0,7820
Buky 5	944,41	6	0:22:05	0,8354	0,9707	0,8149

Tabulka 7 - Mladé Buky, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Nesprávně určené plochy vycházejí jsou v této lokalitě způsobené přilehnutou zástavbou, která bez výraznější terénní změny navazuje na komunikaci. Jak je patrné na Obrázek 22



Obrázek 22 - vliv přilehlé zástavby na vymezení komunikace

Zdroj: Mapy.cz, WMS ortofoto, vlastní tvorba

(červená linie je hranicí postupem vymezené komunikace, modrá linie jsou referenční data), navrhovaný postup nerozliší komunikaci od okolí v rovinném terénu obklopeného

zástavbou. Avšak mimo zástavbu poukazovaly nesprávně určené plochy především na napojující se komunikaci či cestu.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Buky 1	2 567,37	1 336,24	1,92	3 903,62
Buky 2	1 836,26	1 008,08	1,82	2 840,32
Buky 3	5 863,82	6 786,20	0,86	12 617,48
Buky 4	1 288,97	1 570,34	0,82	2 859,31
Buky 5	940,61	1 010,70	0,93	1 951,32

Tabulka 8 - Mladé Buky, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

Průměrný rozdíl podélného sklonu je v první části 0,09°, ve druhé 0,07°, ve třetí 0,09°, ve čtvrté 0,68° a v páté 0,02°. V příčném sklonu dosahuje průměrný rozdíl v první části 0,25°, ve druhé 0,15°, ve třetí 0,18°, ve čtvrté 0,09° a v páté 0,08°. Průměrný rozdíl šířky je v první části 2,67 m, ve druhé 2,37 m, ve třetí 4,30 m, ve čtvrté 2,50 m a v páté 1,95 m. V kategoriích rozdílů šířky je ve všech částech většina úseků ve třetí kategorii, tomu napovídá již výše zmíněný průměrný rozdíl šířky vymezené a referenční vrstvy komunikace. V kategoriích rozdílů šířky po sobě jdoucích úseků byla v první části více než polovina úseků v prvních třech kategoriích, ve druhé a třetí části necelá polovina, ve čtvrté části dvě třetiny a v páté pouze jedna třetina.

5.4. Úpa

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita
Úpa 1	1 177,15	8	0:34:00	0,8193	0,9004	0,7512
Úpa 2	2 199,11	15	0:52:33	0,8579	0,8203	0,7222
Úpa 3	1 376,92	8	0:25:30	0,8008	0,8522	0,7031
Úpa 4	1 084,50	6	0:26:24	0,9200	0,8578	0,7983
Úpa 5	1 286,97	7	0:36:17	0,8369	0,8342	0,7176
Úpa 6	1 104,41	7	0:27:58	0,9094	0,8631	0,7948
Úpa 7	1 184,65	7	0:35:15	0,8091	0,8558	0,7121

Tabulka 9 - Úpa, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Správnost je ve všech částech nadprůměrná, u čtvrtého úseku dosahuje až 92 %, což je nejvíce ze všech částí testovacích lokalit. Úplnost je nadprůměrná pouze v jedné části, u zbylých je maximálně 6 % pod průměrem. Co se týká kvality, tři části jsou podprůměrné, maximálně o necelé dva procentní body.

Nesprávně určené plochy jsou z větší části v místech rozšíření komunikace (odpočívadla) či napojení komunikace nižší třídy nebo cesty. Menší nesprávně určené plochy se objevují jako výstupky z komunikace. Důvodem je pravděpodobně přilehlý vodní tok (Soví potok, Malá Úpa), který navrhovaný postup v malé ploše určí jako komunikaci a ta je pomocí morfologických operací připojena ke správně určené ploše komunikace. V této testovací lokalitě také dochází k ve větší míře než v ostatních lokalitách k mezerám v určení plochy komunikace. Protože se jedná o lokalitu s poměrně hustým lesním porostem a komunikace se nachází v oboustranně sevřeném údolí, je možné, že dochází k zastínění a menší hustotě bodů.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Úpa 1	1 010,86	1288,14	0,78	2 299,00
Úpa 2	1 555,86	862,41	1,80	2 457,27
Úpa 3	854,98	1188,11	0,72	2 043,09
Úpa 4	150,55	459,86	0,33	610,41
Úpa 5	741,87	827,41	0,90	1 569,29
Úpa 6	89,29	644,00	0,14	733,31
Úpa 7	1 488,32	393,67	3,78	1 882,01

Tabulka 10 - Úpa, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

I v této testovací lokalitě (kromě šestého úseku) bylo několik mostů, jejichž plochy zkreslovaly výsledné hodnoty úplnosti a kvality. Největší plochy mostů se vyskytovali v prvním a druhém úseku, kde je také zlepšení úplnosti a kvality nejpatrnější, a to od cca dvou do šesti procent (viz Tabulka 11).

Průměrný rozdíl podélného sklonu je v první části 0,11°, ve druhé 0,33°, ve třetí 0,31°, ve čtvrté 0,08°, v páté 0,14°, v šesté 0,06° a v sedmé 0,26°. V příčném sklonu dosahuje průměrný rozdíl v první části 0,21°, ve druhé 2,24°, ve třetí 2,29°, ve čtvrté 0,21°, v páté 0,48°, v šesté 0,43° a v sedmé 1,10°. Rozdíly v podélném a příčném sklonu mají

největší průměrný rozdíl v druhém, třetím a sedmém úseku, což poukazuje na vyšší četnost výběžků nesprávně určených ploch, např. do sousedícího koryta vodního toku. Průměrný rozdíl šířky je v první části 1,93 m, ve druhé 1,76 m, ve třetí 1,71 m, ve čtvrté 1,07 m, v páté 2,07 m, v šesté 1,26 m a v sedmé 1,93 m. V kategoriích rozdílu šířky je v první, druhé, třetí a sedmé části většina úseků ve třetí kategorii. Pátá a šestá část má přesně polovinu úseků ve třetí kategorii, čtvrtá část má dokonce méně než polovinu úseků ve třetí kategorii. V kategoriích rozdílů šířky po sobě jdoucích úseků byla nadpoloviční většina v prvních třech kategoriích pouze ve čtvrté a šesté části. Prvních třech kategorií ve více než třetině úseků měly druhá, třetí a pátá část. Nejhuře v této kategorizaci dopadly první a sedmá část, kde v prvních třech kategoriích byla asi čtvrtina úseků.

	mosty	nová úplnost	nová kvalita	zlepšení	zlepšení
	plocha (m²)			úplnost	kvalita
Úpa 1	718,28	0,9600	0,7922	0,0596	0,0410
Úpa 2	522,25	0,8447	0,7410	0,0244	0,0188
Úpa 3	117,99	0,8628	0,7103	0,0106	0,0072
Úpa 4	28,70	0,8608	0,8009	0,0030	0,0026
Úpa 5	81,90	0,8413	0,7228	0,0071	0,0052
Úpa 7	171,30	0,8718	0,7231	0,0160	0,0110

Tabulka 11 - Úpa, výsledky 3. část

Zdroj: vlastní tvorba

5.5. Velká Úpa

První dvě části dosahují velmi podobných výsledků ve správnosti, úplnosti a kvalitě. Ve správnosti a kvalitě jsou jejich výsledky podprůměrné, v úplnosti nadprůměrné. Třetí úsek má výsledky opačné. Ve správnosti a kvalitě jsou nadprůměrné a v úplnosti podprůměrné.

	délka	počet	délka	správnost	úplnost	kvalita
	úseku (m)	úseků	výpočtu			
V. Úpa 1	920,79	6	0:34:32	0,7000	0,9416	0,6709
V. Úpa 2	1 046,41	7	0:38:14	0,7130	0,9360	0,6799
V. Úpa 3	1 114,57	9	0:40:11	0,8607	0,8533	0,7498

Tabulka 12 - Velká Úpa, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Protože část komunikace v této lokalitě je obklopena zástavbou, jsou opět nesprávně určené plochy ve větší míře součástí zpevněných ploch před domy nebo jako parkovací místa podél komunikace.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
V. Úpa 1	1 314,98	2 168,42	0,61	3 483,41
V. Úpa 2	1 305,39	2 251,67	0,58	3 557,07
V. Úpa 3	1 075,19	519,21	2,07	1 594,41

Tabulka 13 - Velká Úpa, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

I v této lokalitě se v druhé a třetí části vyskytly mosty. Vzhledem k nevelké ploše mostku v druhé části došlo pouze k mírnému zlepšení a to o 1,30 % v kvalitě a 2,50 % v úplnosti. Ve třetím úseku se nacházely mostky celkem tři, jejich celková plocha byla větší, tzn. i zlepšení výsledků bylo výraznější – o 4,37 % v úplnosti a 3,35 % v kvalitě.

	mosty plocha (m ²)	nová úplnost	nová kvalita	zlepšení úplnost	zlepšení kvalita
V. Úpa 2	245,62	0,9610	0,6929	0,0250	0,0130
V. Úpa 3	563,00	0,8970	0,7833	0,0437	0,0335

Tabulka 14 - Velká Úpa, výsledky 3. část

Zdroj: vlastní tvorba

Průměrný rozdíl podélného sklonu je v první části 0,06°, v druhé části 0,15° a ve třetí části 0,07°. V příčném sklonu dosahuje průměrný rozdíl v první části 0,43°, v druhé části 0,52° a ve třetí části 0,22°. Průměrný rozdíl šířky je v první části 2,98 m, ve druhé 3,58 m a ve třetí 1,33 m. V kategorizaci rozdílů šířky jsou si první dvě části podobné. V každé z nich spadá většina úseků do třetí kategorie, pouze ve třetí části spadá více než polovina úseků do prvních dvou kategorií. Co se týká rozdílů v šířce po sobě jdoucích úseku, je v první části téměř polovina úseků (24 z 52) v prvních třech kategoriích. V druhé části se do prvních tří kategorií řadí přibližně třetina úseků, ve třetí části dokonce polovina úseků (35 z 51).

5.6. Temný Důl

Správnost a kvalita jsou podprůměrné. Správnost dokonce dosahuje nejnižší hodnoty ze všech testovacích lokalit. Úplnost je naopak nadprůměrná.

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita
Důl	1 422,32	8	0:37:26	0,6472	0,9666	0,6331

Tabulka 15 - Temný Důl, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Tato lokalita je podobného rázu jako výše zmíněná třetí část Mladých Buků. Proto díky okolní zástavbě je určeno velké množství ploch, které nejsou komunikací, ale pouze rovinným okolím.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Důl	3 296,57	3 340,34	0,99	6 636,90

Tabulka 16 - Temný Důl, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

Průměrný rozdíl mezi testovacími a referenčními daty v podélném sklonu je 0,11°, v příčném sklonu 0,50°. Rozdíl v šířce komunikace je průměrně 4,36 m. To se projevuje i v kategoriích rozdílu šířky, kde ve většině úseků (66 z 80) se šířka liší více než o jeden metr. Co se týká rozdílu v šířce po sobě jdoucích úseků, nejpočetnější je šestá kategorie (31 z 80 úseků), třetina úseků (27 z 80) spadají do prvních tří kategorií.

5.7. Mořina

Hodnoty správnosti, úplnosti a kvality jsou v této testovací lokalitě s ostatními lokalitami nesrovnatelné (viz Tabulka 17).

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita
Mořina	1441,25	8	0:13:26	0,3825	0,5658	0,2957

Tabulka 17 - Mořina, výsledky 1. část

Zdroj: vlastní tvorba

Přestože se jedná o typově odlišné lokality, tak stejně jako v délce je lokalita Mořina srovnatelná s lokalitou Temný Důl i v nesprávně určené ploše. V lokalitě Mořina je ale nejpravděpodobnějším důvodem výrazně nižší hustota bodů. Zatímco ve všech výše zmíněných lokalitách je hustota bodů v oblasti komunikace minimálně 10 bodů na metr čtvereční, v Mořině je to pouze 0,2 bodu na metr čtvereční.

	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Mořina	3 607,73	2 704,47	1,32	6 404,26

Tabulka 18 - Mořina, výsledky 2. část

Zdroj: vlastní tvorba

Průměrný rozdíl podélného sklonu je 0,81°, v příčném sklonu 2,21°. Průměrný rozdíl šířky je 5,93 m, čemuž odpovídá i zařazení úseků do kategorií, kdy většina (46 z 63) je ve třetí kategorii. Co se týká rozdílu po sobě jdoucích úseků je necelá polovina (30 z 63) v šesté kategorii, pouze necelá třetina (19 z 63) je v prvních třech kategoriích.

6. Diskuze

Kvantifikované hodnocení výsledků bylo inspirováno pracemi tří skupin autorů. Podobné hodnocení použili ve svých pracích i Hu et al. (2014), Zhao a You (2012) a Zhao, You a Huang (2011). Všechny tyto práce zahrnovaly i filtrování bodového mračka na body na zemském povrchu a body vyvýšených objektů. Oproti této práci nevstupovala do výpočtu hodnotících ukazatelů plocha, ale ve všech případech délka středové osy komunikace, idea hodnocení zůstává zachována (poměry správně či nesprávně určených ploch/délek se vypočítávají stejným způsobem).

Hu et al. (2014) aplikoval svůj postup ve dvou lokalitách, obě se však nacházely v městské zástavbě. Autoři v této práci uvádí i hustotu bodů, která byla cca 4 a 6 bodů/m². Navržená metoda je konfrontována s dvěma dalšími metodami, referenčními daty jdou manuálně digitalizované linie – i v tomto případě probíhá výpočet pomocí poměrů délek středových os. Správnost je u jednotlivých metod poměrně dost odlišná – od 48,1 % po 73,8 %. Úplnost vykazuje v každé metodě a testovací lokalitě rozdílné výsledky, a to 43,2-73,9 %. Celková kvalita je poměrně vyrovnaná, ale nedosahuje vysokých hodnot, tj. 36,5-56,5 %.

Zhao a You (2012) testovali svůj návrh na dvou datasetech o velikost 20 a 35 km². Opět se oba nacházeli v městské zástavbě. Přestože postup detekuje i plochu komunikace, do hodnocení vstupují pouze osy (jsou porovnány s manuálně vektorizovanými osami). Výsledky dosahují poměrně vysokých hodnot. U správnosti je to 88,4 % a 89,2 %, úplnost dosahuje 87,2 % a 91,8 % a kvalita 78,3 % a 82,6 %.

Zhao, You a Huang (2011) testovali svůj postup na čtyřech urbanizovaných územích o velikosti 1 km² a všechny silniční sítě byly pravidelné, geometrické. V hodnocení byly použity pouze dvě ze tří kategorií – správnost se pohybovala v rozmezí 90-97 %, úplnost byla 71-93 %.

Navrhovaný postup dosáhl v hodnocení správnosti, úplnosti a kvality poměrně uspokojivých výsledků. Nejvyššího procentuálního hodnocení dosahovala úplnost, jejíž průměrná hodnota byla 90,74 % (nejméně 71,99 %, nejvíce 98,77 %). Druhá byla správnost s průměrnou hodnotou 79,75 % (nejméně 64,72 %, nejvíce 92,00 %). Poslední kvalita byla průměrně 73,38 % (nejméně 62,32 %, nejvíce 81,49 %).

Ve srovnání s dříve prezentovanými postupy se zdají výsledné hodnoty příznivé. Nejnižším hodnocením je cca 62 %, ale například v práci Hu et al. (2014) to je přibližně 36 %. Další dvě skupiny autorů mají výsledky v průměru vyšší a konzistentnější napříč jednotlivými lokalitami. Nelze však opomenout diametrálně odlišný ráz testovacích lokalit, také není možnost celkově zhodnotit podobnost vstupních dat (např. hustotu bodů), jelikož nebyla předmětem zájmu autorů.

Z výše uvedených výsledků (viz kapitola 5) jednotlivých lokalit jsou patrné podobné znaky, které poukazují na slabá místa postupu. Těmto místům by v případných dalších úpravách postupu měla být věnována zvýšená pozornost, případně je zde prostor pro hledání alternativních cest, které by zaručily spolehlivější výsledek.

Prvním slabým místem bylo použití morfologických operací. Pokud morfologické operace pomohly k oddělení ploch podél komunikace (za příkopem), nastávalo „trhání“ plochy komunikace. Po upravení postupu, kdy se nejdříve měly vyplnit „díry“ v komunikaci a následně odstranit nechtěné plochy původně oddělené od určené plochy komunikace, docházelo ke slévání obou ploch, což způsobilo velmi nekvalitní výsledky. Daná situace se alespoň částečně vyřešila použitím několika druhů sítí, ze kterých byly vybírány plochy podle zadané prahové hodnoty sklonu.

Další slabé místo souvisí s předchozím problémem. Pokud se již podařilo udržet oddělené plochy komunikace a okolí, tak i po eliminaci malých ploch zůstávaly ve výsledných polygonech větší nechtěné plochy. Z toho důvodu byl zapojen výběr jednotlivých ploch na základě orientace, kdy se vycházelo z předpokladu, že v daném úseku (cca 10 m) převáží velikost ploch orientovaných určitým směrem a umožní tak rozeznat odlišný terén (odlišně orientované plochy) podél komunikace.

Hlavní slabinou celého návrhu je chování v rovinnatějším terénu, případně zástavbě. Postup je od základu stavěný na předpokladu odlišnosti rovinné komunikace od členitějšího okolí, tj. těleso komunikace je od okolí odděleno výraznějším příkopem, případně komunikace je zapuštěna ve svažitém terénu. V tomto směru by bylo vhodné do postupu zahrnout další data. Pokud bychom zůstali u dat leteckého laserového skenování, mohla by mít informace o intenzitě pozitivní vliv na výsledek v rovinnatějších oblastech, s žádnou nebo jen velmi rozvolněnou zástavbou. V hustěji zastavěném území je pravděpodobné, že by intenzita odražených paprsků komunikace a přiléhajících zpevněných ploch byla

podobná. Co se týká míst s vyšší intenzitou zástavby bylo by vhodné do postupu zapojit například letecké snímky, případně využít pozemní laserovou technologii, která zaznamenává čím dál častější využití.

Další otázka vyvstává u výsledného průměrného rozdílu v šířce komunikace, který dosahuje poměrně velkých rozdílů. Příčinou mohou být tři faktory. První je chybná detekce komunikace a zahrnutí okolí, druhý je možné rozpoznání napojující se komunikace a třetí je širší krajnice, než je zachycena v referenčních datech. V prvním případě je možné řešení použití dalších informací a zpřesnění postupu. V druhém případě se nabízí otázka, zda by se tato vlastnost postupu dala dále rozvíjet, případně využít pro označení potencionálních křižovatek. Co se týká třetího případu, je vždy vhodné zohlednit i vizuální hodnocení výsledků. Důvodem může být lokální rozšíření komunikace (odpočívadlo, parkoviště), které svými vlastnosti odpovídá hledané ploše komunikace.

Součástí práce byla i testovací lokalita Mořina, na kterou byl aplikován stejný postup, ale za použití jiných vstupních dat. Jak již bylo uvedeno výše (viz podkapitola 5.7), rozdíl je v hustotě bodového mračna. V lokalitě Mořina dosahovala hustota bodů v rozmezí komunikace pouze 0,2 bodu/m², v ostatních lokalitách to bylo minimálně 10, maximálně 19 bodů/m². Procentuální hodnotící ukazatelé jsou mírně nižší než v práci Hu et al. (2014), přestože v jejich práci je vyšší hustota bodů. Co se týká vizuální stránky, je výsledek neuspokojivý, plocha komunikace již není souvislá. Pokud je již komunikace detekována, většinou i s jejím širším okolím, které není žádoucí. Díky tomuto příkladu lze konstatovat, že hustota bodů je pro navrhovaný postup zcela zásadním kritériem.

Je známo, že bodové mračno může dosahovat nižší kvality v zalesněných oblastech. Více než třetina délky úseků této práce vedla zalesněným terénem, především testovací lokalita Úpa. V této lokalitě byly jisté nepřesnosti pozorovány a je pravděpodobné, že k tomu přispěl tvar a vegetační pokryv terénu, které nejsou příznivé průniku laserových paprsků na zemský povrch. Aby mohla být tato skutečnost s jistotou potvrzena, bylo by vhodné aplikovat postup na dalších územích podobného rázu.

7. Závěr

Navrhovaný a testovaný postup si kladl za cíl co nejpřesněji identifikovat plochu komunikace z bodů s informací o poloze a výšce a vektorových dat přibližné polohy zkoumaných komunikací. Následnou analýzou této plochy měly být získány doplňkové atributy pro každý úsek komunikace. Lze konstatovat, že dané cíle práce byly naplněny. Získané informace mohou být využity pro identifikaci rizikových míst na komunikacích. Protože v posledních letech je snaha o co největší autonomizaci automobilů a k tomu je zapotřebí co nejvíce informací o komunikaci a okolí, mohlo by být dalším využitím například navigační systém takových vozidel.

Ačkoliv je navrhovaný postup v některých lokalitách poměrně úspěšný, lze tuto práci vnímat jako vhodnou pouze pro určitý ráz území. Protože vychází pouze z informací o poloze a výšce není vhodný pro rovinatější terén, případně komunikace obklopené zástavbou – takové okolí pak splňuje podmínky postupu a je chybně označeno jako plocha komunikace. Pokud by byly do postupu zahrnuty výše uvedené další druhy informací, lze uvažovat větší spolehlivost postupu i na těchto územích.

Seznam zdrojů informací

ANTONARAKIS, A. S., RICHARDS, K. S., BRASINGTON, J. 2008. Object-based land cover classification using airborne LiDAR [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/James_Brasington/publication/49310709_Object-based_land_cover_classification_using_airborne_LiDAR/links/0deec52a06487d1472000000.pdf.

ARCDATA PRAHA. 2018. ISKN Studio 10.4 [online]. [cit. 2018-07-10]. Dostupné z WWW: <https://www.arcdata.cz/produkty/software-arcdata/import-iskn>.

ČSN 73 6110. 2006. Projektování místních komunikací [online]. [cit. 2018-07-07]. Dostupné z WWW: <http://www.unmz.cz/files/normalizace/%C4%8CSN%2073%206110/74506.pdf>

ČÚZK. 2010a. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) [online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z WWW: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(1urltvf0bvctelcdadzgjuhcc\)\)/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302](http://geoportal.cuzk.cz/(S(1urltvf0bvctelcdadzgjuhcc))/Default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&mapid=8&menu=302).

ČÚZK. 2010b. Katastrální mapa [online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z WWW: <https://www.cuzk.cz/Katastr-nemovitosti/Digitalizace-a-vedeni-katastralnich-map/Katastralni-mapa.aspx>.

ČÚZK. 2010c. Nahlížení do katastru nemovitostí [online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z WWW: <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>.

ČÚZK. 2013. Data katastrální mapy ve formátu VFK – ISKN [online]. [cit. 2018-07-10]. Dostupné z WWW: <http://services.cuzk.cz/vfk>.

CLODE, S. et al. 2015. Detection and Vectorization of Roads from Lidar Data [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/273129527_Detection_and_Vectorization_of_Roads_from_Lidar_Data.

DILTS, T. E. 2015. Polygon to Centerline Tool for ArcGIS. University of Nevada Reno [online]. [cit. 2018-12-01]. dostupné z WWW: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=bc642731870740aabf48134f90aa6165>.

HATGER, C., BRENNER, C. 2003. Extraction of Road Geometry Parameters from Laser Scanning and Existing Databases [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ce.siu.edu/faculty/hzhou/Highway%20Inventory%20Refereces/Extraction%20of%20road%20geometry%20parameters%20from%20laser%20scanning%20and%20existing%20databases.pdf>.

HU, X., TAO, C. V., HU., Y. 2004. Automatic road extraction from dense urban area by integrated processing of high resolution imagery and lidar data [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/288.pdf>.

HU, X. et al. 2014. Road Centerline Extraction in Complex Urban Scenes From LiDAR Data Based on Multiple Features [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: https://engineering.purdue.edu/~jshan/publications/2014/IEEE_GRS_road.pdf.

HUIYING, L. et al. 2012. Hierarchical Algorithm in DTM Generation and Automatic Extraction of Road from LIDAR Data [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B3/133/2012/isprsarchives-XXXIX-B3-133-2012.pdf>.

ISENBURG, M. 2007. LAStools [online]. [cit. 2018-07-09]. Dostupné z WWW: <http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools/>.

KUMAR, P., LEWIS, P. 2017. Automated Extraction of Road Median from Airborne Laser Scanning Data [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://zenodo.org/record/1157858/files/Automated%20Extraction%20of%20Road%20Median%20from%20Airborne%20Laser%20Scanning%20Data.pdf>.

LIU, L., LIM, S. 2014. A Novel Algorithm for Road Extraction from Airborne Lidar Data [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://ceur-ws.org/Vol-1142/paper17.pdf>

LOVEMAN, C. 2016. ArcGIS Editor for OSM 10.4.x Desktop [online]. [cit. 2018-07-09]. Dostupné z WWW: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=c18d3d0d5c62465db60f89225fdd2698>.

MAPY.CZ [online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z WWW: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4001000&y=50.1018980&z=11>.

NARWADE, R., MUSANDE, V. 2014. Automatic Road Extraction from Airborne LiDAR: A Review [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue12/Part%20-%203/K0412035462.pdf.

OPENSTREETMAP.CZ. 2017. Wikipedie.cz [online]. [cit. 2018-07-04]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>.

OUDE ELBERINK, S., VOSELMAN, G. 2009. 3D Information Extraction from Laser Point Clouds Covering Complex Road Junctions [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1477-9730.2008.00516.x/citedby>.

PENG, J., GAO, G. 2011. A method for main road extraction from airborne LiDAR data in urban area [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6066443&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6066443.

PUCHRIK, L., NÝDRLE, J. 2013. Snímkování a letecké laserové skenování Krkonošského národního parku. Geodis news, roč. 12, č. 1, s. 24.

WANG, C. K., TSENG, Y. H., CHU, H. J. 2014. Airborne Dual-Wavelength LiDAR Data for Classifying Land Cover [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/1/700/htm>.

WANG, Y. et al. 2013. Automatic road extraction for airborne LiDAR data [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269324337_Automatic_road_extraction_for_airborne_LiDAR_data.

WMS – Ortofoto. 2010. Geoportál ČÚZK [online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z WWW: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx.

WMS – ZABAGED. 2010. Geoportál ČÚZK [online]. [cit. 2018-06-27]. Dostupné z WWW: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZABAGED_PUB/WMSservice.aspx.

ZHANG, J., LIN, X., NING, X. 2013. SVM-Based Classification of Segmented Airborne LiDAR Point Clouds in Urban Areas [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/8/3749/htm>.

ZHAO, J., YOU, S. 2012. Road Network Extraction from Airborne LiDAR Data using Scene Context [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://graphics.usc.edu/cgit/publications/papers/Jiaping_PCP_2012.pdf.

ZHAO, J., YOU, S., HUANG, J. 2011. Rapid Extraction and Updating of Road Network from Airborne LiDAR Data [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://graphics.usc.edu/cgit/publications/papers/Huang11_Rapid.pdf.

Přílohy

Příloha i – tabulka souhrnných výsledků.....	60
Příloha ii – obsah přiloženého CD.....	62
Příloha iii – CD.....	volná příloha

	délka úseku (m)	počet úseků	délka výpočtu	správnost	úplnost	kvalita	NU levá (m ²)	NU pravá (m ²)	NU – poměr	NU celkem (m ²)
Buky 1	1 457,65	8	0:40:15	0,7415	0,9330	0,7040	2 567,37	1 336,24	1,92	3 903,62
Buky 2	1 403,63	8	0:28:25	0,8008	0,9641	0,7776	1836,26	1008,08	1,82	2840,32
Buky 3	3 058,98	18	1:20:28	0,6758	0,9374	0,6467	5863,82	6786,20	0,86	12617,48
Buky 4	1 028,13	6	0:25:25	0,7897	0,9877	0,7820	1288,97	1570,34	0,82	2859,31
Buky 5	944,41	6	0:22:05	0,8354	0,9707	0,8149	940,61	1010,70	0,93	1951,32
Důl	1 422,32	8	0:37:26	0,6472	0,9666	0,6331	3296,57	3340,34	0,99	6636,90
Mýtiny	1 131,24	7	0:29:57	0,7888	0,7699	0,6384	805,29	1513,15	0,53	2330,24
Velká Úpa 1	920,79	6	0:34:32	0,7000	0,9416	0,6709	1314,98	2168,42	0,61	3483,41
Velká Úpa 2	1 046,41	7	0:38:14	0,7130	0,9360	0,6799	1305,39	2251,67	0,58	3557,07
Velká Úpa 3	1 114,57	9	0:40:11	0,8607	0,8533	0,7498	1075,19	519,21	2,07	1594,41
Špindlerův Mlýn 1	589,48	4	0:15:51	0,8205	0,8340	0,7053	556,14	673,90	0,83	1230,05
Špindlerův Mlýn 2	1 053,55	7	0:29:17	0,8000	0,9351	0,7580	876,12	1485,35	0,59	2361,47
Špindlerův Mlýn 3	949,66	6	0:28:39	0,8226	0,7199	0,6232	906,57	795,33	1,14	1701,90
Úpa 1	1 177,15	8	0:34:00	0,8193	0,9004	0,7512	1010,86	1288,14	0,78	2299,00
Úpa 2	2 199,11	15	0:52:33	0,8579	0,8203	0,7222	1555,86	862,41	1,80	2457,27

Úpa 3	1 376,92	8	0:25:30	0,8008	0,8522	0,7031	854,98	1188,11	0,72	2043,09
Úpa 4	1 084,5	6	0:26:24	0,9200	0,8578	0,7983	150,55	459,86	0,33	610,41
Úpa 5	1 286,97	7	0:36:17	0,8369	0,8342	0,7176	741,87	827,41	0,90	1569,29
Úpa 6	1 104,41	7	0:27:58	0,9094	0,8631	0,7948	89,29	644,00	0,14	733,31
Úpa 7	1 184,65	7	0:35:15	0,8091	0,8558	0,7121	1488,32	393,67	3,78	1882,01
celkem	25 534,53	158	11:28:42	-	-	-	28 525,01	30 122,53	-	-
průměr	-	-	-	0,7975	0,8867	0,7192	1 426,25	1 506,13	1,11	-
průměrná délka úseku			161,61 m							
průměrný čas na úsek			0:04:22							

Mořina	1 441,25	8	0:13:26	0,3825	0,5658	0,2957	3 607,73	2 704,47	903,26	6 404,26
---------------	----------	---	---------	--------	--------	--------	----------	----------	--------	----------

Příloha i – tabulka souhrmných výsledků

Zdroj: vlastní tvorba

Na přiloženém CD se nacházejí tyto soubory a složky:

soubory:

Kutišová_DP.pdf	elektronická verze textu práce
skript_DP.py	navržený postup v jazyku Python

složky:

lokality	obsahuje složky jednotlivých lokalit; v každé z nich jsou vstupní i výsledné vrstvy
----------	--

Příloha ii – obsah přiloženého CD

Zdroj: vlastní tvorba