

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Kristýna LEIMEROVÁ

**DETEKCE VYBRANÝCH TŘÍD PRVKŮ ZABAGED
Z DMR LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ**

Magisterská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jakub MIŘIJOVSKÝ

Olomouc 2011

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci magisterského studia oboru Geoinformatika vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Jakuba Miřijovského.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 15. duben 2011

podpis

Za poskytnutá data děkuji NP České Švýcarsko a Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 5 |
| ÚVOD | 6 |
| 1 CÍLE PRÁCE..... | 7 |
| 2 POUŽITÁ DATA A METODY..... | 8 |
| 2.1 Zájmové území..... | 8 |
| 2.2 Použitá data | 8 |
| 2.2.1 LIDAR | 8 |
| 2.2.2 ZABAGED® | 11 |
| 2.3 Použité programy | 12 |
| 2.4 Zpracování..... | 12 |
| LASEROVÉ SKENOVÁNÍ..... | 14 |
| 2.5 Historie..... | 14 |
| 2.6 Současnost..... | 15 |
| 2.7 Budoucí vývoj..... | 16 |
| 2.8 Využití dat a situace v ČR..... | 16 |
| 3 EXTRAKCE PRVKŮ | 19 |
| 3.1 Účel extrakce..... | 19 |
| 3.2 Související techniky | 19 |
| 4 EXTRAKCE PRVKŮ Z DMT | 21 |
| (POSTUP A VÝSLEDKY PRÁCE) | 21 |
| 4.1.1 Výškopis | 22 |
| Vrstevnice | 22 |
| Kótované body, body polohového a výškového pole | 26 |
| 4.1.2 Polohopis | 30 |
| Vodstvo | 30 |
| Terénní reliéf..... | 33 |
| Komunikace | 35 |
| DISKUZE..... | 38 |
| ZÁVĚR..... | 40 |
| POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE | |
| SUMMARY | |
| PŘÍLOHY | |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| Zkratka | Význam |
|----------------------|---|
| DMR | Digitální model reliéfu |
| DMT | Digitální model terénu |
| DMP | Digitální model povrchu) |
| LLS | Letecké laserové skenování |
| LIDAR | Light Detection and Ranging |
| NP | Národní park |
| CHKO | Chráněná krajinná oblast |
| ZABAGED [®] | Základní báze geografických dat |
| ČÚZK | Český úřad zeměměřičský a katastrální |
| ZM | Základní mapa |
| VÚV TGM | Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigua Masaryka |
| DIBAVOD | Digitální báze vodohospodářských dat |
| GPS | Global positioning system |
| GPS/IMU | Global positioning system/inertial measurement unit |
| FEMA | Federal Emergency Management Agency |
| USACE | United States Army Corps of Engineers |
| USGS | United States Geological Survey |
| FGDC | The Federal Geographic Data Committee |
| ISPRS | International Society for Photogrammetry and Remote Sensing |
| ASPRS | American Society of Photogrammetry and Remote Sensing |

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá tématem extrakce prvků z dat laserového skenování. Prvky jsou v tomto případě myšleny polohopisné a výškopisné charakteristiky reliéfu Země. Smysl práce spočívá v nalezení řešení pomocí co nejvíce automatizovaných postupů, tak aby byl nutný minimální ruční zásah do extrahovaných dat.

Automatická extrakce je v současnosti velmi diskutované téma vzhledem k tomu, že již v roce 2012 bude dokončeno LLS celé České republiky. A tak bude možné díky těmto datům zpřesnit již dříve zdigitalizované prvky na celém území našeho státu.

Impuls pro zpracování tohoto tématu vznikl v NP České Švýcarsko, který již od roku 2006 data LLS vlastní. NP používá jako základní vektorovou reprezentaci prvky ZABAGED[®] a proto je předmětem této práce zjistit, jestli je možné z dat LLS získat přesnější vektorovou reprezentaci. Lze samozřejmě rovnou říci, že to možné určitě je, otázkou však zůstává, jakého stupně automatizace lze při tomto procesu dosáhnout. Řešení pro jednotlivé vybrané prvky jsou popsány v následujících kapitolách.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem magisterské práce bylo testovat možnosti rozpoznávání vybraných tříd prvků ZABAGED[®] z DMT leteckého LLS. Předmětem testování byly použité metody digitálního zpracování modelu terénu s jejich následným zhodnocením. Vstupními daty byl DMT vytvořený z dat LLS pro oblast NP České Švýcarsko.

Výstupy práce obsahují zejména podrobný popis použitých metod a popis možností rozpoznávání vybraných tříd prvků dat ZABAGED[®] z DMT. Jako jednotlivé prvky vhodné pro extrakci byly vybrány kóty a vrstevnice (výškopis) a vodní toky, cesty a terénní hrany (polohopis). Cílem práce bylo tedy pro každý z uvedených prvků zpracovat metodu automatické extrakce a zároveň popsat následnou editaci extrahovaných dat, která je nevyhnutelně nutná proto, aby získaná data co nejvíce odpovídala realitě.

2 POUŽITÁ DATA A METODY

2.1 Zájmové území

Zájmovým územím pro tuto práci je nejnovější z národních parků v České republice České Švýcarsko (NP od 1. 1. 2000), což je oblast, která se nachází v okrese Děčín mezi obcemi Hřensko a Chřibská. Spolu se Saským Švýcarskem (NP od roku 1992) na německé straně tvoří jednotnou chráněnou oblast. Rozloha parku na české straně je 79 km², z nichž 97% tvoří lesy. Celý NP je součástí rozsáhlejší oblasti Labské pískovce.

Geomorfologicky se jedná o českou křídovou tabuli s třetihorními vyvělinami. Oblast se vyznačuje pouze dvěma vyššími vrcholy. Jedním z nich je Děčínský sněžník (723 m n. m.), který ovšem leží už mimo oblast NP. Druhým vrcholem je Růžovský vrch (619 m n. m.).

Území je charakteristické především skalními hřbety, kaňony, pískovcovými věžemi a stolovými horami. Při prvním pohledu na mapu oblasti rovněž upoutá výrazný kaňon Labe a Kamenice. Území je z větší části pokryto hlubokými lesy, které tvoří překážku při snímání terénu ve viditelném spektru a zároveň znemožňují kvalitní měření pomocí GPS přístrojů, i když se kvalita měření v posledních letech výrazně zlepšila [13].

2.2 Použitá data

2.2.1 LIDAR

Pro tuto magisterskou práci byla poskytnuta data LLS NP České Švýcarsko. A to konkrétně DMT ve formátu *.agr, což je ArcInfo ASCII Grid a rastrový stínovaný reliéf.

Tyto produkty vznikly jako výsledek projektu EU INTERREG IIIA (GeNeSiS – „Geoinformation Networks for the cross-border National Park Region of Saxon - Bohemian Switzerland“). Hlavním úkolem projektu bylo naplánování a vytvoření homogenního geografického datasetu včetně vysoce přesných topografických dat pro celou příhraniční oblast NP. Všechna data byla vydána třemi hlavními autoritami chráněného území:

- Správa národního parku Saské Švýcarsko, Bad Schandau, Německo
- Správa národního parku České Švýcarsko, Krásná Lípa, Česká republika
- Správa CHKO Labské pískovce, Děčín, Česká republika

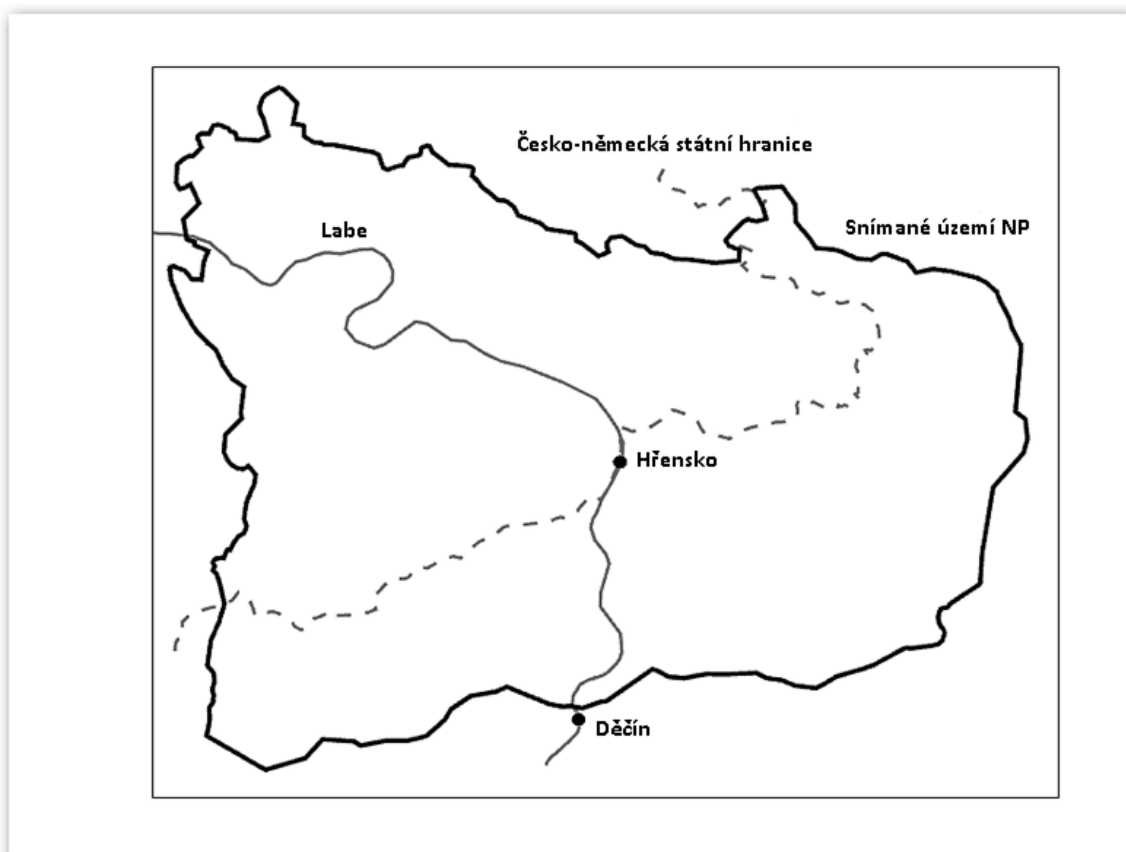
Celý dataset obsahuje:

- DTM
- DMP
- Digitální ortofoto mozaiku (s oběma spektrálními kombinacemi RGB i CIR)

Geodata pokrývají celou přeshraniční oblast NP Česko-saské Švýcarsko podél česko-německé hranice, která zaujímá přibližně 800 km². Vzhledem ke specifické situaci v obou státech jsou data dostupná ve dvou referenčních systémech. Výsledné produkty byly vypočteny na základě nasnímání území, které bylo provedeno jedním senzorem bez

rozdělování oblasti do různých částí. Snímání proběhlo v květnu roku 2005. Data LLS byla obdržena v prostorovém rozlišení jednoho zaměřeného bodu na m². Zároveň byla v rámci projektu vytvořena ortofota v RGB a infračerveném pásmu.

Vedoucím projektu a majitelem dat je katedra dálkového průzkumu Země a Institut pro fotogrammetrii a dálkový průzkum na Technologické univerzitě v Drážďanech. Projekt byl částečně financován Evropskou Unií v rámci Interreg IIIA programu přeshraniční spolupráce a Saským ministerstvem životního prostředí a zeměděLLství (SMUL).

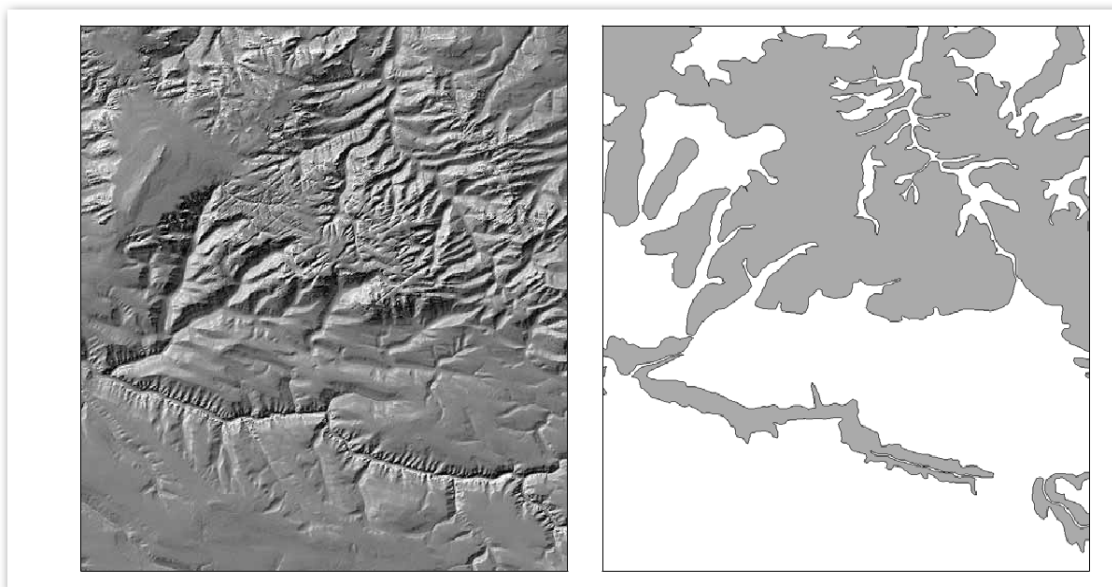


Obr. 1 - Hranice skenované oblasti NP (upraveno podle [12])

Tab. 1 – Parametry snímání (upraveno podle [12])

| | |
|---|---|
| Zodpovědná společnost | Toposys Topographische Systemdaten GmbH, Biberach |
| Počet letů | 16 |
| Časové rozmezí letů | 14. 4. – 1. 5. 2005 |
| Průměrná výška letu | 1200 m |
| Vertikální rozlišení měřených bodů | 0,01 m |
| Typ senzoru | FALCON II |
| Záběr senzoru | 1600 m |
| Úhel skenování | 14,3° |
| Počet efektivních pulsů/s | 83 000 |
| Průměrná hustota bodů | 6 bodů/m ² |
| Požadovaná hustota bodů | 1 bod/m ² |
| Vlnová délka laseru | 1560 nm |
| Typ zaznamenávaných dat | První echo |
| | Poslední echo |
| | Intenzita signálu |

Pro zpracování dat LLS byl zvolen program TopDM 5.5.3a. DMT byl vypočten z posledního echa pulsů s využitím Hierarchické robustní interpolace. Tato metoda byla upravena tak, aby byly nastaveny dva různé parametry pro oba charakteristické typy terénu – normální povrch a útesovité pískovce. Na následujícím obrázku lze vidět ukázkou stínovaného reliéfu a stanovení dvou typů reliéfů pro výpočet DMT [4].



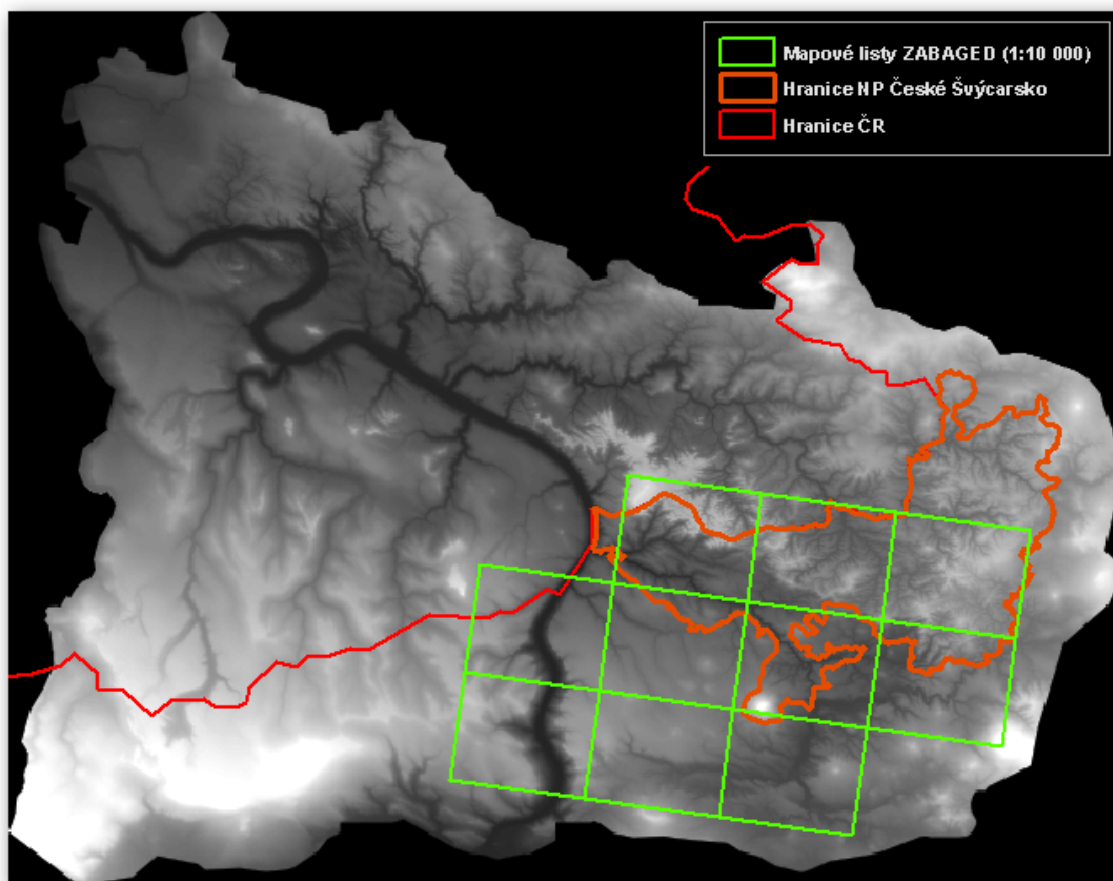
Obr. 2 – Okolí Pravčické brány, vlevo: stínovaný reliéf, vpravo: 2 rozdílné přístupy k terénu – šedá: útesy, bílá: normální terén (upraveno podle [12])

DMP byl vypočten z prvního echa měřených bodů. Jako procesní metoda bylo opět zvoleno Hierarchické robustní filtrování. Uvnitř posouvajícího se okna o velikosti 1 m^2 byl vždy zvolen nejvyšší naměřený bod. Velikost buňky gridu DMT i DMP je 1 m^2 [12].

2.2.2 ZABAGED[®]

Zároveň byla v této práci použita data ZABAGED[®] (výškopis a polohopis) v rozsahu deseti mapových listů v souřadnicovém systému S-JTSK, která byla poskytnuta úřadem ČÚZK. Kromě mapových listů jsou tato data poskytována také v rozsahu krajů, nebo jako bežešvá databáze celého území ČR. Vektorové soubory jsou poskytovány ve formátu *.dgn s atributy ve formátu *.mdb, dále ve formátu *.shp nebo *.gml.

ZABAGED je digitální geografický model území ČR. Svoji přesností a podrobností zobrazení odpovídá přesnosti a podrobnosti ZM České republiky v měřítku 1:10 000. ZABAGED[®] je tvořen 106 typy geografických objektů. Ty jsou uloženy v databázi a zobrazeny vektorem a obsahují popisné a kvalitativní atributy. ZABAGED[®] obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu a prvcích terénního reliéfu. Součástí jsou také údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území ČR a výškopis souborem vrstevnic [14].



Obr. 3 - DMT z dat LLS, vymezení NP na české straně, listy ZABAGED[®] poskytnuté ČÚZK

2.3 Použité programy

Extrakce vybraných tříd prvků byla testována v programu ArcGIS verze 9.3 a 10. V původním znění zadání práce měl být k vypracování použit program Erdas Imgaïne. Po dohodě s vedoucím práce však bylo od toho produktu odstoupeno. Autorka rozhodla o využití ArcGIS zejména kvůli častým terénním analýzám a práci s vektorovou reprezentací dat, pro které disponuje ArcGIS účinnějšími nástroji.

2.4 Zpracování

Cílem této diplomové práce bylo extrahovat předem stanovené prvky ZABAGED[®]. Jako tyto prvky byly stanoveny kótované body, body polohového a výškového pole, vrstevnice, vodní toky, rozvodnice, terénní stupně a polní a lesní cesty.

Původně měly být v této práci extrahovány rovněž budovy, vodní plochy a zpevněné komunikace. V případě budov k detekci nedošlo, protože nebyl poskytnut DMP, ve kterém jsou budovy neodfiltrované na rozdíl od DTM. Vodní plochy rovněž nebylo možné z poskytnutých dat detekovat. V klasických datech LLS se vodní hladina zobrazuje jako plocha „No Data“, protože laserový paprsek vodní hladina pohlcuje a tudíž není vrácen žádný signál. V datech DMT poskytnutých NP jsou však tato místa dopočítána neznámou metodou a proto nelze přesně určit, v jaké nadmořské výšce se vodní hladina nachází. Z dat

se zdá, že je v některých případech dokonce vymodelováno dno. Protože nebylo možné zjistit, jakým způsobem byla informace o nadmořské výšce v těchto místech získána, bylo rozhodnuto o vyřazení tohoto prvku z automatické detekce. Dalším prvkem, který nebyl detekován, byly již zmíněné zpevněné komunikace, pro jejichž extrakci jsou potřeba data intenzity odrazu laserového signálu, která nebyla pro tuto práci poskytnuta.

Při řešení zadaného problému byly systematicky extrahovány jednotlivé vybrané prvky. Podrobný popis extrakce těchto prvků se nachází v kapitole *Extrakce prvků z DMT (postup a výsledky)*. Každý detekovaný prvek je rozebírán v samostatné podkapitole v celé své šíři od vysvětlení postupu detekce až k popisu výsledků pro konkrétní prvek.

LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

2.5 Historie

Moderní laserově založený dálkový průzkum má své počátky v 70. letech, kdy NASA začala pracovat s letadlovými prototypy pro eventuální laserový vývoj. V počátcích byla tato činnost zaměřena především na získávání informací o vlastnostech atmosféry a oceánské vody, lesního krytu a ledových ker, a ne na topografické mapování [6]. Vysoká geometrická přesnost laserového systému byla dokázána díky výzkumům na Stuttgartské univerzitě v letech 1988 – 1993 s laserovým profilovacím programem zejména pro generování DMT a klasifikaci základních systémových parametrů [1]. Tato přesnost byla však v 80. letech znevýhodněna omezenou přesností určování polohy senzoru (GPS), což vedlo ke zbrzdění vývoje této technologie.

Požadavek GPS/IMU systémů pro použití leteckého snímkování urychlil vývoj těchto přímých georeferenčních technologií. Společnosti, které poskytují výzkumné vybavení a služby pro pozemní GPS vyvinuly nové letecké kinematické řešení. Konstelace satelitů GPS dosáhla v této době plné konfigurace.

V polovině 90. let existovaly laserové skenery, které byly schopny vyslat 2 000 až 25 000 pulsů za sekundu, což umožňovalo použití těchto dat pro topografické mapování. Ačkoliv byly tyto systémy z dnešního pohledu primitivní, bylo už v druhé polovině 90. let jasné, že jde o technologii budoucnosti. V této době již systémy zaznamenávaly neuvěřitelně husté mračna bodů, kterých nebylo možné dosáhnout pozemním měřením či fotogrammetrií. Technologie snímání povrchu byl také dále rozvíjena pro potenciální možnost extrakce prvků na zemském povrchu, jako jsou budovy, komunikace či vegetační kryt [9].

V době, kdy byla uvedena lidarová data, byla data pro terén a prvky na něm ve vysokém rozlišení produkována především fotogrammetrickými technikami. Produkty nižšího rozlišení pocházely z radarů nebo satelitního stereo-snímkováním. Fotogrammetrie je inerciální technologie, což znamená, že objekty musí být „viděny“, aby mohly být mapovány. Radar, ač efektivní pro velká území a unikátní pro jeho schopnost proniknout mraky, je velmi drahý na provoz a vyžaduje vysokou specializovanost pro zpracování a interpretaci těchto dat. Radar má také jisté limity při měření výšky terénu pod vegetačním krytem a signál může být rovněž zkreslen ve strmých svazích či urbanizovaných oblastech. Pozemní pokryv lidar senzorů je velmi podobný tomu z tradičních leteckých kamer, takže fotogrammetrické metody mohou být přímo použity na práci s lidarem. Lidar je také schopný tzv. vidění mezi stromy a zalesněnými oblastmi, kde je problém určit nadmořskou výšku běžnými fotogrammetrickými metodami [3]. Lidar tedy představuje rychlou, přesnou a přímou metodu (neinerciální) generování 3D dat, takže až budou ceny senzorů a služeb spojených s pořizováním dat stabilizovány na nižší úrovni, bude se jednat o velmi atraktivní metodu moderního mapování.

Nutnost zpracování velkého množství informace způsobily na přelomu století, že CAD a GIS softwary nebyly takové množství dat schopné efektivně zpracovat. Po roce 2000

docházelo k velmi rychlému vylepšování zpracování těchto dat a podpoře IT architektury, která vyžaduje pro tyto účely prostor v řádech terabytů.

Složky vlády US, zvláště FEMA, US armádní společnost inženýrů (USACE), USGS a Komise pro geografická data (FGDC) vyvinuly standardy pro ověření kvality a reportování přesnosti. Profesionální asociace jako ISPRS a ASPRS poskytují místo pro rychlou výměnu výzkumně a aplikačně založených zkoumání v použití lidarových dat v množství aplikačních domén. Ačkoliv dosud nejsou žádné veřejné standardy pro tento typ dat a jeho deriváty, ASPRS vyvinula „Lidar Archive Standard“ (LAS) pro výměnu binárních lidarových dat, který byl přijat v továrnách na výrobu senzorů, softwarovými vývojáři a také komunitou koncových uživatelů [7].

2.6 Současnost

Nyní ve světě operuje přes 200 lidarových systémů. Systémy jsou schopné vyslat 250 000 pulsů za sekundu, operovat s mnohonásobnými pulsy ve vzdušném prostoru v jakémkoliv momentu, zachytit multi-návrat jednotlivých pulsů nebo digitalizovat celou návratovou křivku. Sběr dat může být přizpůsoben, tak aby splňoval specifické požadavky aplikací. Koncoví uživatelé mají nyní rovněž výhodu vylepšených metod kontroly kvality dat a velké kapacity úložného místa [7].

Skenery rozdělujeme do dvou kategorií na tzv. 2D a 3D skenery. Optická část 2D skenerů vychyluje laserový paprsek pouze v jedné rovině. Pokud chceme tímto skenerem nasnímat plošný, nebo prostorový objekt, musíme skenerem pohybovat. 2D skenery bývají nejčastěji nesené letadlem, nebo vrtulníkem a jejich skenovací frekvence je obecně vyšší, než je tomu u 3D skenerů. V posledních letech se rozšiřují tzv. mobilní systémy, kdy je skener, nebo soustava skenerů nesená vozidlem [15].

V současnosti je přesnost systému zajištěna umístěním platformy diferenciální GPS a inerciální stanovení polohy podle IMU. Laserové snímací systémy poskytují geometrické výsledky z hlediska vzdálenosti, pozice, polohy, a souřadnice. Pro každý záběr je určen prostorový vektor z laserové platformy k bodu odrazu, a tím zajištěna XYZ souřadnicová stopa. Celková vertikální přesnost systému je obvykle v řádech dm. Většina systémů v současné době snímá z výšek až do 1000 m nad zemí. Snímací úhel je obecně $<30^\circ$, ve většině případů $<20^\circ$. Některé systémy LLS poskytují, kromě informace o intenzitě zaznamenaného signálu i amplitudu pro multi-návrat v rámci jednoho zaznamenaného pulsu. Zvláštní význam má rovněž vysoká frekvence LLS. Současné moderní systémy jsou schopné dosáhnout až 250 kHz. Skutečná hustota vzorkování závisí na systému a rovnováze mezi rychlostí a výškou letu, snímací frekvencí a úhlu snímání. LLS není schopno žádného přímého zaměření jednotlivých objektů. Výsledek snímání odkazuje na stopy LLS, tak jak k nim v reálu dochází [1].

2.7 Budoucí vývoj

V budoucím vývoji LLS lze očekávat další rozšíření využití do více aplikací. Rovněž se neustále zvyšuje přesnost a hustota pokrytí povrchu body. Dalším prostorem pro rozvoj této oblasti je odvozování povrchových vlastností díky elektronické analýze navraceného signálu. Lze také očekávat vylepšení inteligentního filtrování dat, což povede k propracovanějšímu objektovému modelování s ohledem na prvky, které nejsou přímo zachyceny (př. geomorfologické struktury). Podstatnou již existující výhodou LLS je sloučení geometrického skenování dat s digitálním obrazem jiného snímacího přístroje (př. multi-spektrální zobrazovací systémy) pro účel rozpoznávání objektů. Jedná se o obecný trend směrem k univerzálním multi-senzorovým a multi-datovým systémům. V současnosti je stále podstatnou překážkou využívání dat LLS jejich cena, avšak je nutno říci, že i ta postupem času neustále klesá [1].

Dalším z vývojových trendů LLS je rovněž létat pomaleji a níže a tím docílit hustšího sběru dat. Zpomalením letu a snížením výšky je možné pořídit většinou 5 – 20 bodů na m², maximum se však může pohybovat až okolo 40 bodů. Takový přístup je využitelný zejména v oblastech s velmi hustou vegetací, kde paprsek proniká k terénu velkým množstvím překážek [17].

2.8 Využití dat a situace v ČR

Data získaná formou LLS jsou využívána napříč širokým spektrem oborů. Jde například o lesní a zemědělské monitorování, mapování urbanizovaných zón, monitorování záplavových území nebo plánování a údržba infrastruktury.

Primární použití se týká tvorby kvalitního DTM, většinou ve formě pravidelného rastru. Jedinečnou výhodou vzdušného LLS je, že je stejně použitelné ve volném terénu, stejně jako v oblastech, které jsou částečně nebo zcela pokryty lesy a jinou vegetací. V druhém případě jsou samozřejmě vyšší nároky na interaktivní editaci nasnímaných dat [1]. V roce 2010 vznikla unikátní Celosvětová mapa výšek lesních porostů na základě dat družic NASA. Její výhoda spočívá především v jednotnosti všech dat. Do té doby existovaly pouze regionální projekty, které byly značně nesourodé. Mapa byla vytvořena na základě dat z družic ICESat, Terra a Aqua, přičemž přístroj LIDAR je umístěn na družici ICESat [18].

Dalším důležitým použitím LLS se také týká tvorby DMT v pobřežních oblastech nebo mokřadech, které jsou obtížně dostupné jinými metodami.

Vzdušné LLS je však v současné době v procesu šíření do dalších oblastí mimo pouhé generování DTM. Díky multi-návratu signálu lze odlišit vegetaci od holého terénu, což znamená, že může být vypočítána výška této vegetace.

Obzvláště zajímavé nové aplikace LLS se týkají snímání budov v zastavěných plochách pro účely 3D modelování města. Budovy a stavby, byly původně považovány za překážky, které musí být při generování DMT odstraněny. Nicméně postupem času se zjistilo, že lze takto velmi podrobně mapovat urbanizovaná území. Díky vysoké vzorkovací hustotě (např. několik bodů na m²), vertikální geometrické rozdělení surových laserových dat umožňuje

vymezení budov i ve velmi těsné blízkosti. Tato metoda je označována jako automatická detekce a geometrické zachycení budov.

Existují i další případy, kdy lze rozpoznat podrobné terénní struktury. Ty mohou být odvozeny z geometrických informací, které LLS s vysokou hustotou vzorkování poskytuje. Jde například o terénní hrany, které mohou být do určité míry detekovány. Dalšími příklady mohou být duny, živé ploty, zdi, příkopy, přehradý apod. [10].

V ČR je nyní v procesu projekt tvorby nového výškopisu České republiky (pod záštitou ČÚZK), který by měl sloužit k rozvoji základníchází geografických dat z území ČR. Na projektu spolupracuje rovněž ministerstvo zemědělství a ministerstvo obrany. Cílem je provést nové výškopisné mapování území ČR a vytvořit nové digitální databáze výškopisu. Tyto geografické produkty by měly využívat především orgány státní správy a územní samosprávy. Výsledná data jsou popsána v následující tabulce.

Tab. 2 – Parametry digitálních databází [2]

| Digitální databáze | Formát, rozlišení | Úplná střední chybou výšky – odkrytý terén | Úplná střední chybou výšky – zalesněný terén |
|--|--------------------------|---|---|
| Digitální model reliéfu území České republiky 1. 4. generace (DMR 4G) | Grid 5x5 m | 0,3 m | 1 m |
| Digitální model reliéfu území České republiky 5. generace (DMR 5G) | TIN | 0,18 m | 0,3 m |
| Digitální model povrchu území České republiky 1. generace (DMP 1G) | TIN | Ohraničené objekty 0,4 m | Objekty přesně neohraničené 0,7 m |

Výše uvedené digitální databáze výškopisu jsou zpracovány v souřadnicových referenčních systémech JTSK a WGS 84/UTM a ve výškovém systému Balt po vyrovnání.

Produkty jsou vytvářeny na území v letech 2009 – 2015. Postup řešení závisí na tvorbě ortofota ČR, protože produkt DMR 4G v souřadnicovém referenčním systému JTSK má být podkladem pro tvorbu nového generování ortofota již od roku 2010.

Produkt DMR 4G vzniká vždy nejpozději do půl roku po naskenování území. DMR 5G a DMP 1G vznikají vždy nejpozději do 2,5 roku po naskenování území. Toto období slouží zároveň k zajištění aktualizace dat tak, aby výsledné produkty DMR 5G a DMP 1G nebyly zatíženy zásadními změnami výškopisu v období zpracování uvedených produktů.

Sběr dat je realizován leteckým laserovým skenerem RIEGL 680. Základními technologickými prostředky pro zpracování surových dat je soubor programů SCOP++ firmy INPHO, GmbH, pro filtrování laserových dat a jejich separaci. Také jsou zde využívány nástroje ArcGIS Server s databází Oracle, ArcGIS a ArcGIS 3D Analyst [2].

Příkladem využití dat LLS v ČR republice může být například projekt s názvem Využití dat leteckého laserového skenování na tocích a v příbřežních zónách, který probíhá pod záštitou VÚV TGM. Projekt zkoumá možnosti aktualizace vodohospodářských dat (zejména DIBAVOD) pomocí LLS. Pro testování byly vybrány dvě oblasti o rozloze 300 km² v Polabí a na Jičínsku. Hlavními cíly zde byla analýza dat pro stanovení záplavových území a možnost identifikace výškových překážek na tocích. Výsledkem projektu je skutečnost, že díky datům LLS lze rozvíjet a aktualizovat databázi DIBAVOD, protože se jedná o velmi podrobná a přesná výškopisná data. Při tomto procesu lze také využít automatizovaných metod. Výsledkem je rovněž zjištění, že z dat LLS lze velmi dobře rozpoznat toky již o šířce 4 m a větší a rozdíly hladin od 0,4 m. Avšak na základě porovnání geodetického zaměření a dat LLS se ukázalo, že s daty LLS nelze počítat jako s jediným výškopisným zdrojem pro stanovení záplavových území, protože v korytech je většinou odchylka příliš velká. Naopak jsou ale data LLS (DMR5G) vhodná jako podrobný zdroj výškopisu pro určení geometrie inundace při tvorbě map povodňového nebezpečí a rizika [8].

3 EXTRAKCE PRVKŮ

3.1 Účel extrakce

V dřívějších letech byla pro tvorbu DMR využívána fotogrammetrie. V této metodě se využívají stereoplotery, postavené na principu vnitřní, relativní a absolutní orientace. Kompilátoři ručně digitalizují geografické prvky, které se nazývají „hard breaklines“ – drenážní kanály, silnice, spodky příkopů. Zvlněný povrch je digitalizován pomocí „soft breaklines“. Poté musí být přidány kóty ručně z údajů pozemního měření. Digitální nebo fotogrammetrické systémy vytvoří DMS spojováním příslušných bodů z bipolární převzorkované stereodvojice. Jako další produkt jsou vytvořeny vrstevnice.

V současné době neexistuje uspokojivý program pro automatickou extrakci prvků z dat LLS. Modelování musí alespoň z nějaké části probíhat ručně, což je velmi časově náročné. Data LLS mohou být takto využita pro hydrologické a terénní analýzy. Největší důraz se v poslední době klade na extrahování budov, komunikací a výšku vegetace.

Vegetace a půdy, jimiž laser prochází, mohou být detekovány prostřednictvím multi-návratového signálu. Laserové paprsky mohou procházet vegetací, nejlépe však v ročním období, kdy jsou stromy bez listů. Rozdíl mezi prvním a posledním pulsem ve stejném bodě ukazují, jak hluboko mohou laserové paprsky procházet vegetací.

Extrakce DMT je jednou z nejpřímějších metod aplikování lidar dat. Protože lidar odráží primárně charakter zemského povrchu, musí být pro tvorbu DMT odfiltrovány body náležející přímo holému terénu. Je tedy nutno odstranit vegetaci, budovy a ostatní konstrukce vytvořené na zemském povrchu. Důsledkem husté zástavby či zalesnění je výsledný DMR z bodů nepřesný.

Lidar data jsou schopná zlepšit analýzy optických snímků při detekování silnic v zastavěných oblastech. Data intenzity mají dobrou separabilitu pokud je vlnová délka vhodná pro povrchové materiály. Komunikace mají homogenní reflektivitu. Přímá klasifikace na základě intenzity má nízké výsledky. To znamená, že silnice jsou reprezentovány pouze pomocí středových linií nebo jako binární obraz namísto vektorů.

V zastavěných oblastech jsou však data se složitou variací výšek. Mnoho algoritmů se zaměřuje právě na detekci budov, respektive jejich půdorysů. Rekonstrukce střech ve 3D je velmi složitá. Půdorysy však nemohou být detekovány plně automatizovaně, protože z těchto metod vycházejí pouze jednoduché méně přesné polygony. Pro vymezení hranic budov je také nutné využít další data jako například výkresy půdorysů. V dnešní době jsou modely budov z lidarových dat produkovány nejvíce semi-automatizovanými procedurami [5].

3.2 Související techniky

Existující letecká lidarová technologie neposkytuje dobrou „real-time“ službu, protože je pro tato data nutné velmi časově náročný post-processing. Pro extrakci informací z dat LLS bylo vyvinuto mnoho algoritmů. Některé z nich jsou založené pouze na těchto datech, více

jich je však založeno na těchto a zároveň na pomocných datech. Také byly vyvinuty automatické, semi-automatické a klasifikační analýzy různých typů charakteristických rysů povrchu Země.

Většina algoritmů využívá tyto techniky:

Filtrování – neboli odstranění nežádoucích měření, nalezení měření týkající se přímo povrchu země ze směsi bodů povrchu a objektů nad povrchem. Na toto filtrování se využívají především statistické charakteristiky, morfologické filtry nebo funkce vážení. Také slouží k odstranění hrubých chyb zachovávaje diskontinuity mezi povrchy.

Segmentace – separace mraku bodů do homografických celků popisujících rozdílné geometrické, radiometrické a texturní struktury (cesta, vegetace, budova). Segmenty budov mohou být detekovány porovnáním výškových částí (slices).

Klasifikace – je využita k rozčlenění do několika tematických kategorií (budovy, komunikace, zatravněné plochy, stromy), zařazení do různých skupin výškových clusterů aplikováním algoritmů na rozeznání vzorků (pattern recognition algorithms) jako jsou ISODATA, Bayesova klasifikace, k-means. Měření tvarů může být použito pro rozlišení mezi hranicemi vegetace a budov.

Interpolace – odvozuje výšky určitých pozic, kde nebylo provedeno měření. Je mnoho interpolačních metod využívající rozptýlené body nebo rastrový formát povrchu, nejčastější jsou IDW, TIN a Kriging. Nejpopulárnější metody pro rastrové snímky jsou nejbližší soused, bilineární interpolace a kubická konvoluce. Zinger a kol. navrhli přístup šetřící energii při řešení nevýhod známých interpolačních přístupů při resamplování lidar dat v zastavěných oblastech.

Modelování – rekonstruuje pozemní povrch nebo objekt založené na geometrických vlastnostech jeho tvaru. Rozdílné kombinace jednoduchých charakteristik silnic mohou být využity při modelování silnic v různých úrovních rozlišení a kontextech pro rozdílné typy scén. Objekty jsou popsány v termínech základní tvarové charakteristiky využitím parametrických, prismatických a polyhedrických modelů, které mohou být konvertovány do „wire“ rámců (frames) nebo CSG modelů kombinováním odlišných primitiv.

Vyhlazení – může odstranit náhodný šum a vyprodukovat vyhlazenější povrch, tak aby vrstevnice vypadaly lépe. Většinou jde o iterativní proces, porovnávající bod s přilehlými body a přizpůsobováním jejich výšek. Obvykle nejlepší facetový model je vypočítán pro skupinu bodů a výška prostředního bodu je přizpůsobena, tak aby lépe odpovídala facetě.

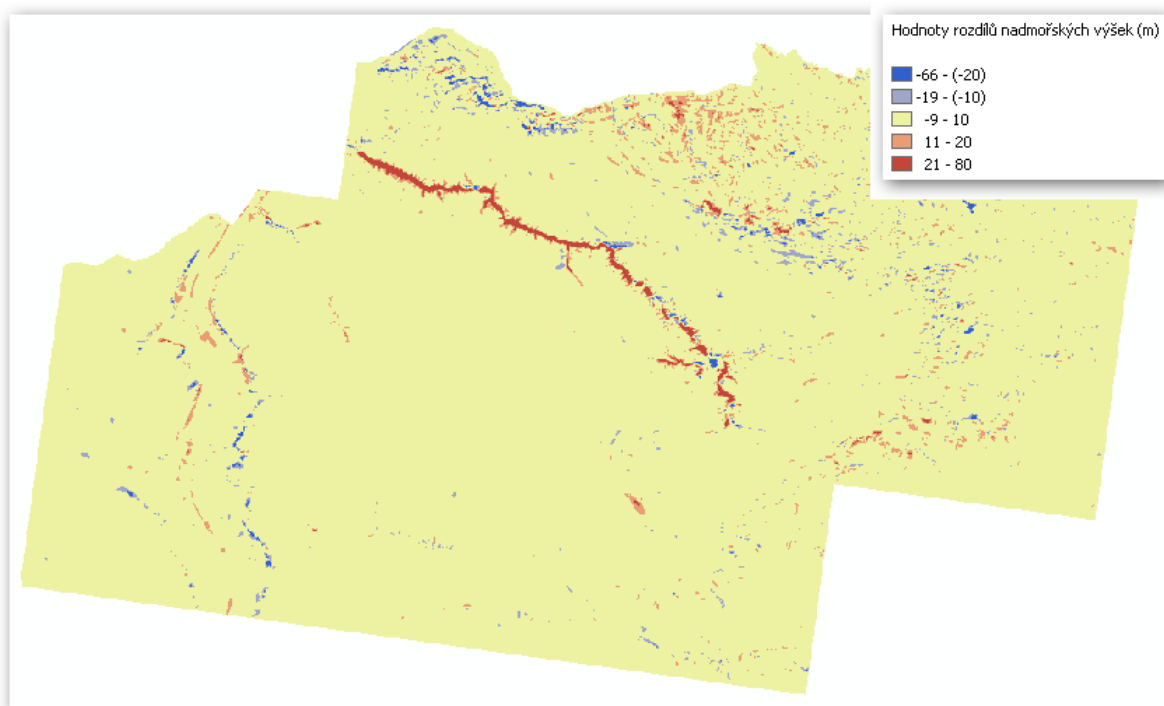
Lidská interakce – je mechanismus využívající lidské znalosti prostřednictvím počítačovo-lidských rozhraní. Plně automatizované systémy mohou selhat při extrahování charakteristik díky komplexitě nepřímých inženýrských zadání a nedostatků lidar dat. Namísto toho lidští operátoři mohou jednoduše klasifikovat rozdílné typy terénů, vybrat význačné body, nebo vymezit pozice a tvary budov [5].

4 EXTRAKCE PRVKŮ Z DMT

(POSTUP A VÝSLEDKY PRÁCE)

Všechna původní data, která byla ve formátu *.agr byla v prostředí ArcMap převedena na ESRI Grid s velikostí pixelu 1 m. Jednalo se o již filtrovaná data holého terénu, a proto nebylo potřeba obdržaná data dále upravovat a byla považována za DMT vhodný k následujícím analýzám.

Jako první krok byl z poskytnutých dat ZABAGED[®] vytvořen funkcí „Topo to Raster“ model terénu o velikosti pixelu 5 m, který byl odečten od DTM. Byly použity vrstvy kótovaných bodů, bodů výškového a polohového pole, vrstevnice, vodní toky a vodní plochy. Výsledný grid rozdílů (Obr.) nadmořských výšek poskytuje obecnou představu o oblastech, kde se od sebe oba modely nejvíce odlišují.



Obr. 4 – Grid rozdílů nadmořských výšek zájmového území

Tab. 3 – Charakteristiky gridu rozdílů nadmořských výšek

| | |
|---------------------------------|--------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -65.36 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 79.48 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | 0.46 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 5.14 |

Z obrázku je patrné, že k největším rozdílům dochází v oblasti Kamenice, která je charakteristická svým zařízým korytem ve skalním terénu. V této oblasti vrstevnice ZABAGED[®] v podstatě neexistují, takže model vytvořený z těchto dat vytvořil jednolitou plochu o určité nadmořské výšce, zatímco DMT LLS kopíruje údolí až k hladině řeky.

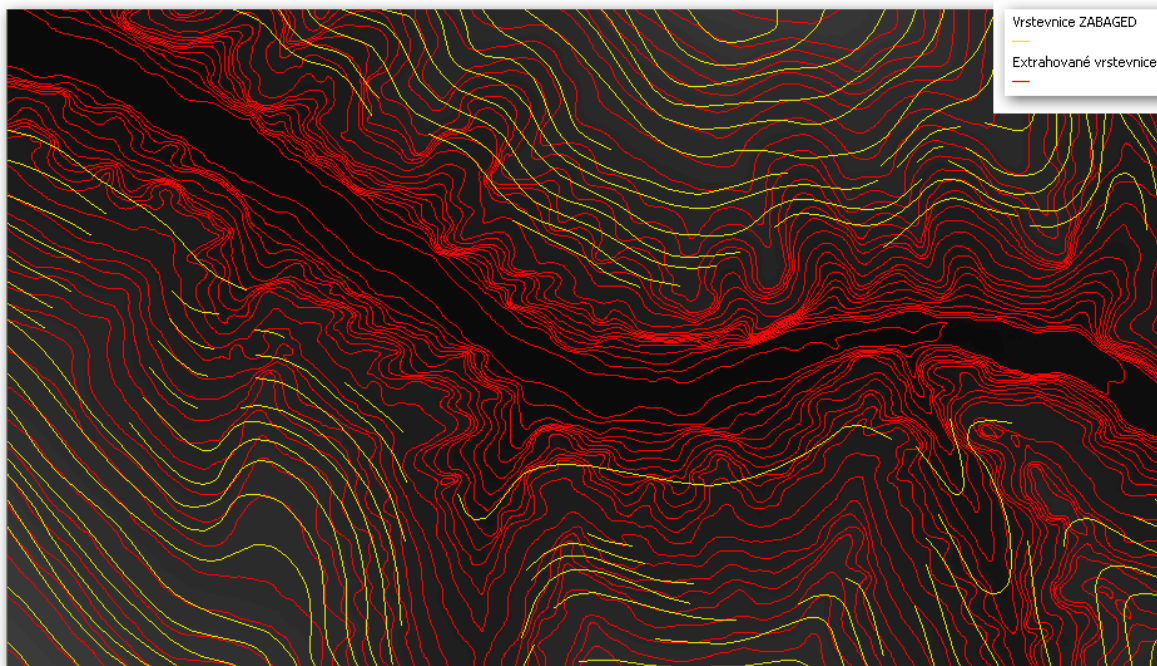
Ostatní markantní rozdílly se vyskytují především v oblastech skalních měst, kde je terén velmi členitý. Nastávají zde situace, kde v datech ZABAGED[®] není vymodelován kopec (modré odstíny) nebo naopak údolí (červené odstíny). Lze ale říci, že naprostá většina území se pohybuje v rozmezí 10 m rozdílů nadmořské výšky, i když extrémní hodnoty dosahují -66 a +80 m.

4.1.1 Výškopis

Vrstevnice

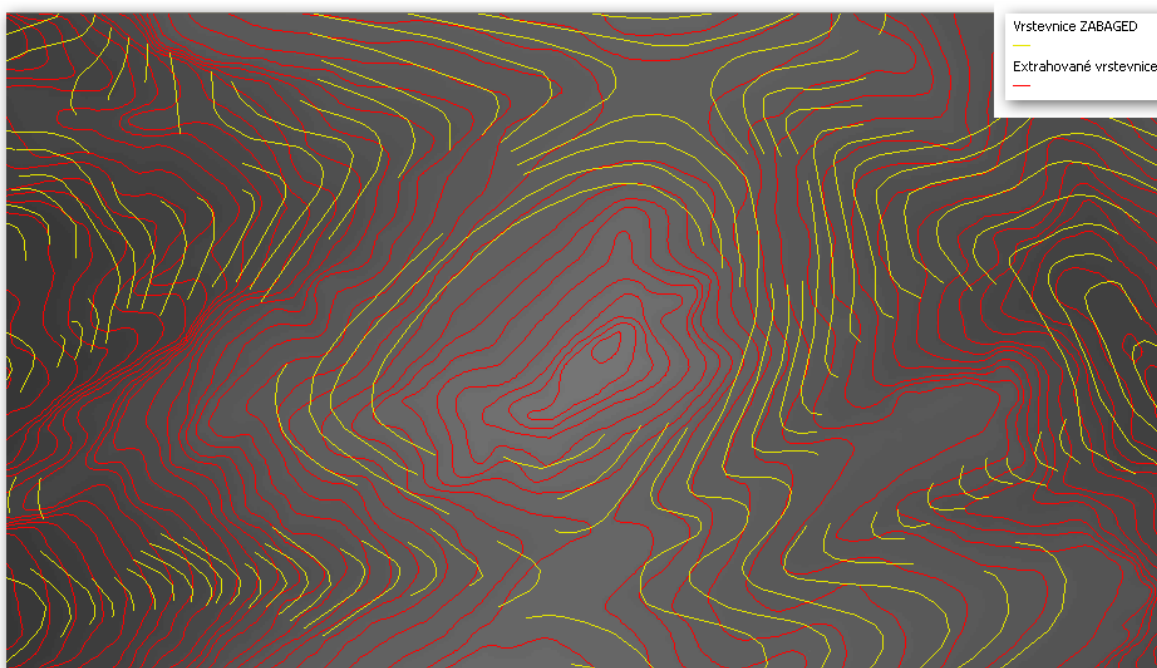
Vrstevnice byly z DMT vytvořeny pomocí algoritmu „Create contours“ v intervalu 5 m, protože toto je základní vzdálenost vrstevnic ZABAGED[®]. Tyto vrstevnice byly následně shlazeny pomocí algoritmu „Smooth Line“ s parametrem nastaveným na hodnotu 10 m. Pouhé vygenerované vrstevnice přesně kopírují tvar pixelů, to znamená, že tvoří tvar podobný schodům s délkou strany 1 m. Čím vyšší hodnotu parametru shlazení použijeme, tím více vyhlazenou linii získáme. Parametr 10 metrů byl zvolen, tak aby linie co nejdříve kopírovala realitu, ale aby zároveň nedocházelo k přímému kopírování tvaru pixelu. Realitou je zde myšlen stínovaný reliéf, na kterém jsou nejlépe vidět terénní útvary. Poté byly z dat odstraněny vrstevnice kratší než 15 m.

Tyto vrstevnice byly vytvořeny pouze pro vizualizaci rozdílů mezi nově vygenerovanými vrstevnicemi a vrstevnicemi ZABAGED[®]. Extrémně vysoké kladné rozdílly na předchozím obrázku vycházely v podstatě pouze v případě koryta vodního toku Kamenice, které je zařízuté v terénu hlubokým úzkým údolím. V případě této oblasti úplně chybí vrstevnice ZABAGED[®], naopak vrstevnice z LLS věrně kopírují údolí (viz Obr).



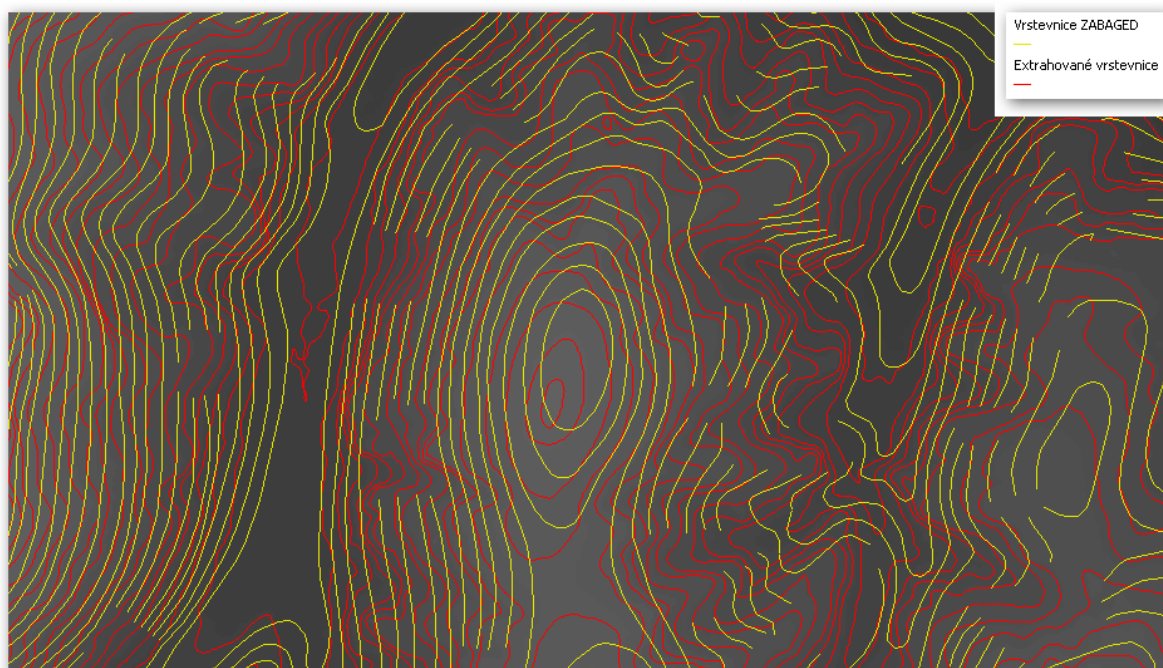
Obr. 5 – Příklad průběhu vrstevnic v místech vzniku kladných extrémů

Naopak extrémních záporných hodnot bylo dosaženo na vyvýšených místech, kde rovněž nejsou vykresleny vrstevnice ZABAGED[®]. Příkladem může být terénní vyvýšenina (viz Obr.), kde vrstevnice ZABAGED[®] končí v hodnotě 385 m n. m. DMT z dat LLS však zobrazuje kopec o výšce 415 m n. m. To znamená, že zde bylo vygenerováno ještě množství vrstevnic nad hodnotou 385 m n. m. Hodnoty obou typů křížících se vrstevnic se však rovnají – např. hodnota 385 m n. m. se vyskytuje u obou typů vrstevnic ve stejném místě.



Obr. 6 – Příklad průběhu vrstevnic v místech vzniku záporných extrémů

Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím rozdíly v nadmořských výškách vrstevnic byla rovněž nepřesná poloha vrstevnic ZABAGED[®] v rámci horizontálního souřadného systému. Tato skutečnost se například v datech projevovala tak, že bylo možné pozorovat charakteristický terénní útvar v obou sadách vrstevnic, byl však mezi nimi polohový rozdíl.



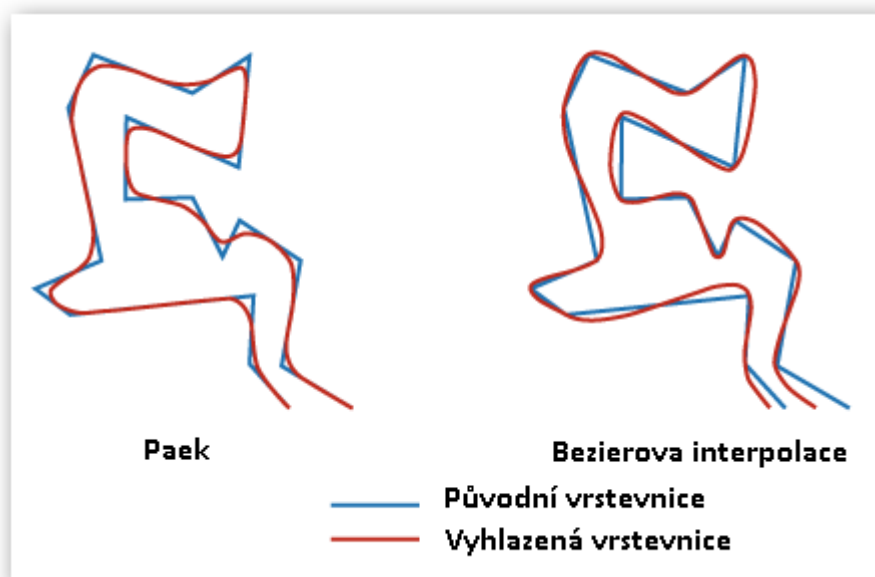
Obr. 7 – Příklad průběhu vrstevnic v místech polohového posunutí

Další metodou porovnání přesnosti vrstevnic bylo převedení vertexů vrstevnic ZABAGED[®] na body, které obsahují informaci o nadmořské výšce. Pro každý takový bod byla extrahována hodnota nadmořské výšky z DTM, čímž v atributové tabulce vznikly dva sloupce s různými hodnotami nadmořských výšek. Ty byly od sebe odečteny a vypočítány základní statistické charakteristiky.

Tab. 4 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek ve vertexech vrstevnic ZABAGED[®]

| | |
|---------------------------------|--------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -59.86 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 45.06 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | 0.68 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 4.78 |

Požadavkem NP České Švýcarsko bylo však vytvoření vrstevnic vhodných pro tisk v mapě 1:10 000. Za tímto účelem byl původní rastr LLS převzorkován na velikost pixelu 10 m. Z tohoto nově vzniklého rastru byly extrahovány body s informací o nadmořské výšce (1 bod/pixel). Na základě těchto bodů byl interpolován nový povrch metodou regulovaný Spline (velikost okna 12 pixelů, váha minimalizace zakřivení 0,1). Tato metoda zajistila plynulejší průběh generovaných vrstevnic. Vrstevnice byly vytvořeny v intervalu 5 m a následně byly ještě shlazeny pomocí algoritmu „Smooth Line“ s nastavením parametru vyhlazení 60 m. Pro vyhlazení byl zvolen algoritmus Paek (viz Obr), který věrně kopíruje hrany vrstevnic, neprochází však jejími původními vertexy. Tento algoritmus byl zvolen z toho důvodu, že původní vrstevnice obsahovaly nadměrné množství bodů, které nebylo třeba dále kopírovat. Šlo spíše o zachování charakteru hran původních vrstevnic bez nutnosti zachování přesné polohy vertexů.

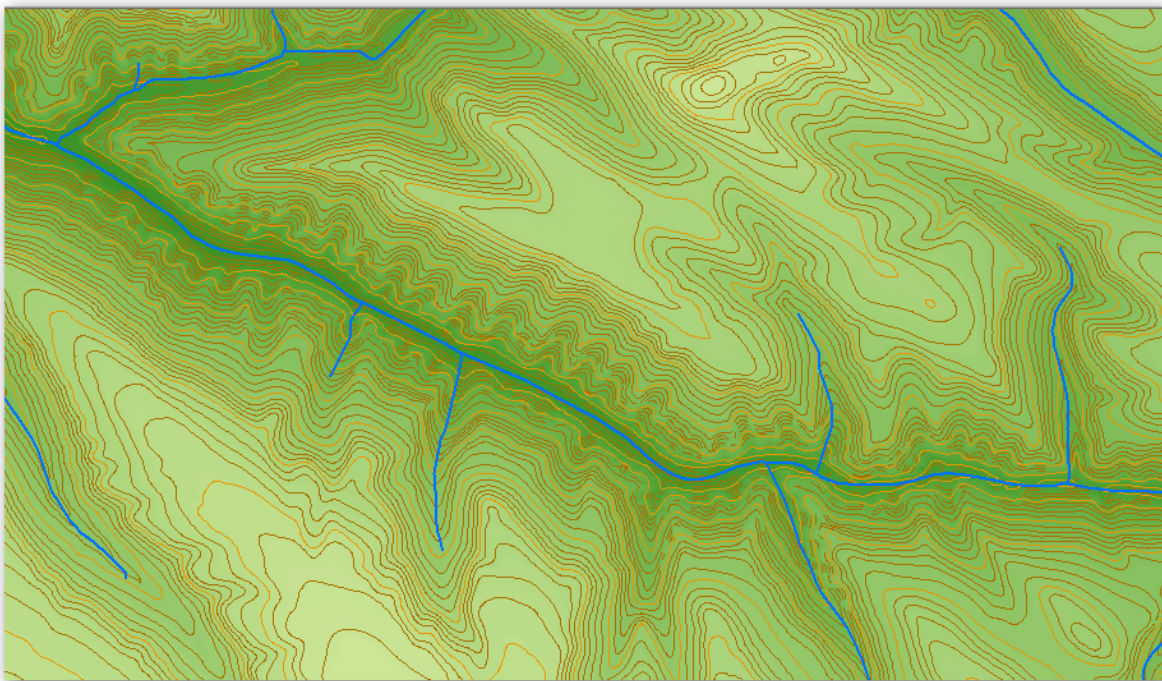


Obr. 8 – Ukázka algoritmů pro vyhlazení linie

Z takto vzniklých vrstevnic byly odstraněny všechny vrstevnice kratší než 50 m. Tím bylo zajištěno vyčištění modelu od šumových prvků vzniklých například nedostatečnou filtrací původního mračna bodů LLS. Následně byla použita kontrola geodatabázové topologie použitím pravidel „Must not Intersect“ a „Must not Self-intersect“. Tak mohla být odstraněna místa, kde vlivem algoritmu shlazení došlo u některých vrstevnic ke křížení linií. Po zkontrolování topologie byly z vrstevnic vyřezány oblasti v nichž sklon přesahoval hodnotu 45°. Tím bylo zamezeno spojení vrstevnic v jednodílnou linii.

Pro porovnání přesnosti byly vrstevnice převedeny na vertexy, pro které byla extrahována hodnota DMT LLS, vznikly tak opět dva sloupce a to s původní hodnotou vrstevnice a extrahované nadmořské výšky v konkrétním bodě. Z tabulky níže vyplývá, že se extrémní hodnoty pohybují okolo 30 m rozdílu. Tento výsledek je naprosto uspokojivý vzhledem k tomu, že rozdíly vrstevnic ZABAGED[®] dosahují až 80 m a úkolem nového

generování vrstevnic pro tisk bylo zlepšení přesnosti oproti původním datům, což se jednoznačně povedlo. Vzniklé rozdíly v nadmořských výškách vertexů jsou způsobeny faktem, že se jedná o jeden z nejsložitějších typů terénu na území ČR, kde posunutí vrstevnice o 1 m ve vertexu při vyhlazování může znamenat skok o desítky výškových metrů, pokud se na místě nachází například vysoký skalní útvar s kolmými stěnami.



Obr. 9 – Ukázka vrstevnic pro měřítko 1:10 000

Tab. 5 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek ve vertexech extrahovaných vrstevnic

| | |
|---------------------------------|--------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -32.32 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 27.81 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | -0.11 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 1.92 |

Kótované body, body polohového a výškového pole

Nové výšky těchto tří typů bodů byly z dat DMT LLS odvozeny pomocí toolboxu „Extract Values To Points“. Poloha bodů by zachována z původních dat ZABAGED[®]. Pomocí použitého algoritmu byla tedy pouze zpřesněna informace o nadmořské výšce v dané poloze.

Zpřesňování souřadnic x , y je problematické, protože některé z těchto bodů nejsou geodeticky zaměřené a jejich poloha je dopočítána stereograficky. Pokud se někde výrazně lišila výška původního bodu od extrahované hodnoty, bylo po přiblížení se na menší vzdálenost jasné, že je to způsobeno nepřesnou polohou původního bodu. Takový bod se například nacházel 10 m vedle vrcholu, patrném na DTM. Nesprávnou polohou v rámci souřadnic x , y byl tedy zapříčiněn tak velký rozdíl v nadmořských výškách.

Pokud je bod v daném místě zároveň hodnotou maximální výšky v daném okolí, bylo by možné polohu bodu zpřesnit následujícím způsobem. Pro tento účel by bylo vybráno okolí bodu 50 m, které se ukázalo jako dostatečné na celé ploše zkoumaného území. V rámci tohoto okolí by byla určena maximální hodnota a na jejím místě vytvořen nový bod. Stejný postup lze aplikovat, pokud se jedná o nejnižší bod v okolí (např. sedlo). Výběrem minima z okolí 50 m získáme novou polohu bodu.

Pokud se však jedná o bod, který nesplňuje ani jednu z přecházejících dvou podmínek, nelze v podstatě polohu zpřesnit. Jediným způsobem by mohla být identifikace bodu na leteckém snímku ve viditelném spektru pod podmínkou, že je tento bod zároveň nějakým objektem, který není zastíněn například vegetací.

Vzhledem k tomu, že se jedná o geodeticky zaměřené nebo stereofotogrammetricky určené body, vyšly rozdíly nadmořských výšek původních a nově extrahovaných hodnot bodů neúměrně veliké. To bylo způsobeno následujícími faktory:

- Zkreslení signálu skenování v místech strmých skalních útvarů – záleží totiž, v jakém místě strmé stěny se paprsek odrazí. Hustota bodů na metr čtverečný je omezená a proto existuje pravděpodobnost, že se odražený paprsek neodrazil od nejvyššího místa na konkrétním metru čtverečním (např. na horní hraně skalního útvaru), ale mohl se odrazit v polovině strmé stěny a zaznamenat tak zkreslenou nadmořskou výšku.
- Body se nachází na budovách, či jiných objektech, které jsou na DMT odfiltrovány

Proto byly vytvořeny vrstvy extrémů pro každý ze tří typů zjišťovaných bodů (kótovaný, polohového a výškového pole). Za extrémy byly považovány hodnoty rozdílů nadmořských výšek nižší než -1 m a zároveň hodnoty vyšší než 1 m. Tyto body byly systematicky procházeny a do atributu s názvem „Popis“ bylo stručně charakterizováno, na jakém místě se nacházejí. Na základě toho pak bylo rozhodnuto, zda daný bod eliminovat z výsledné analýzy či nikoliv. Příkladem bodu vhodného k eliminaci je tedy například bod ležící na budově nebo na hraně skalního útvaru. Ponechány byly například body ležící uprostřed plochého skalního útvaru, či na rovinném terénu v lese.

Rozhodováno bylo na základě ortofota, stínovaného reliéfu a vrstev ZABAGED[®] (skalní útvar, terénní stupeň, budova, komunikace, vodní tok, železniční trať).

Z vrstev bodů byly eliminovány body, které se nacházely na hranách skalních útvarů a na budovách. O tom, zda bod leží na hraně či budově, bylo rozhodnuto na podkladu

stínovaného reliéfu a vrstvy skalních útvarů ZABAGED[®]. Pokud se jednalo o body ležící na horní ploše skály či na mírném svahu, byly zachovány. Dále byly rovněž ponechány body ležící na okrajích komunikací či březích vodních toků i na terénním stupni. Bylo zde předpokládáno, že terénní stupeň by neměl způsobit zásadní zkreslení odraženého paprsku. Původní hodnoty rozdílů se všemi extrémními body ukazují následující tabulky.

Tab. 6 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek kótovaných bodů (se všemi extrémními body)

| | |
|---------------------------------|-------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -1,50 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 17,75 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | 2,79 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 3,65 |

Tab. 7 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek bodů výškového pole (se všemi extrémními body)

| | |
|---------------------------------|--------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -11,76 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 6,14 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | -0,51 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 2,66 |

Tab. 8 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek bodů polohového pole (se všemi extrémními body)

| | |
|---------------------------------|-------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -3,26 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 53,68 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | 2,43 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 8,41 |

Po eliminaci nevyhovujících extrémních bodů byla získána následující informace o rozdílech v nadmořských výškách kótovaných bodů, a bodů výškového a polohového pole a DMT LLS.

Tab. 9 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek kótovaných bodů

| | |
|---------------------------------|-------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -1,50 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 17,75 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | 2,39 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 3,55 |

Tab. 10 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek bodů výškového pole

| | |
|---------------------------------|--------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -11,76 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 6,14 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | -0,40 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 2,32 |

Tab. 11 – Charakteristiky rozdílů nadmořských výšek bodů polohového pole

| | |
|---------------------------------|-------|
| Minimální rozdíl výšek (m) | -3,26 |
| Maximální rozdíl výšek (m) | 4,44 |
| Průměrná hodnota rozdílů (m) | 0,20 |
| Směrodatná odchylka rozdílů (m) | 0,54 |

4.1.2 Polohopis

Vodstvo

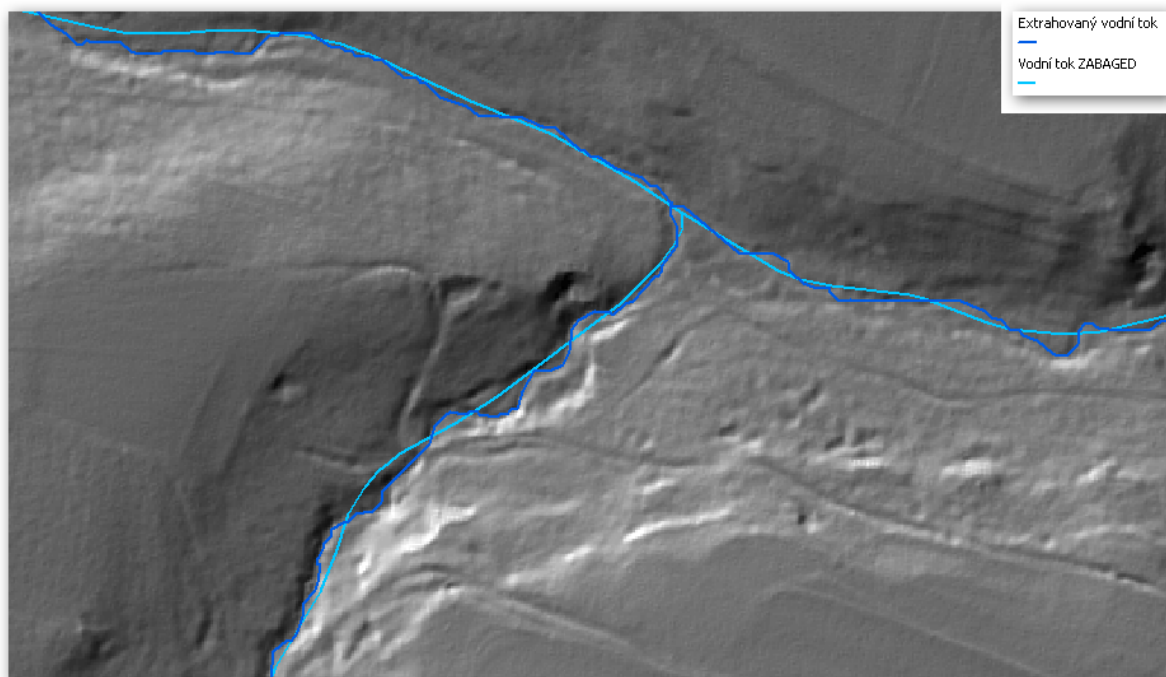
Vodní tok

Pro extrakci vodních toků byla využita extenze „ArcHydroTools“, která umožňuje odvození hydrologických charakteristik z dat DTM. Nejprve byla vybrána celistvá povodí IV. řádu (v datech ZABAGED[®] byla poskytnuta rozvodnice tohoto řádu) vyskytující se na výřezu deseti mapových listů DTM. Na nově vzniklém výřezu byly vyplněny bezodtoké oblasti, čímž byl grid připraven na následné analýzy. Z vyplněného gridu byl vypočten „Flow Direction“, „Flow Accumulation“ a „Stream Definition“. Byly tedy vytvořeny gridy směru a akumulace odtoku. Pro definici vodního toku („Stream Definition“) byl jako počátek toku zvolena hranice 20 000 pixelů (m²). Tato hodnota se jevila jako optimální pro vymodelování všech vodních toků obsažených v datech ZABAGED[®]. Zároveň zde vzniklo však množství vodních toků reálně neexistujících a ty bylo tedy nutné vymazat. Následně byla funkcí „Drainage Line from Stream“ vytvořena vektorová reprezentace vodního toku.

Otázkou však zůstává, ve kterých místech se vodní toky vyskytují a ve kterých již ne. Analýzou záměrně vznikla podstatně hustší síť vodních toků, než je obsažena v datech ZABAGED[®]. Postupným zkoumáním jednotlivých vodních toků na podkladu ortofota v rozlišení 0,5 m (CENIA) a stínovaného reliéfu (odvozený z DTM) došla autorka práce k závěru, že prameny a průběh vodních toků ZABAGED[®] nemusí vždy odpovídat realitě.

Vzhledem k absenci přesnějších dat, byla data ZABAGED[®] použita jako referenční. Z vygenerovaných vodních toků, byly odstraněny ty, které v datech ZABAGED[®] neexistují, tak aby poté mohla být generována rozvodnice.

Extrahované vodní toky lze použít pro zpřesnění průběhu linie toku, pouze v místech, kde lze podle ortofota, popřípadě stínovaného reliéfu tvrdit, že nově detekovaný vodní tok odpovídá realitě. V ostatních případech je nutné skutečnost ověřit v terénu.



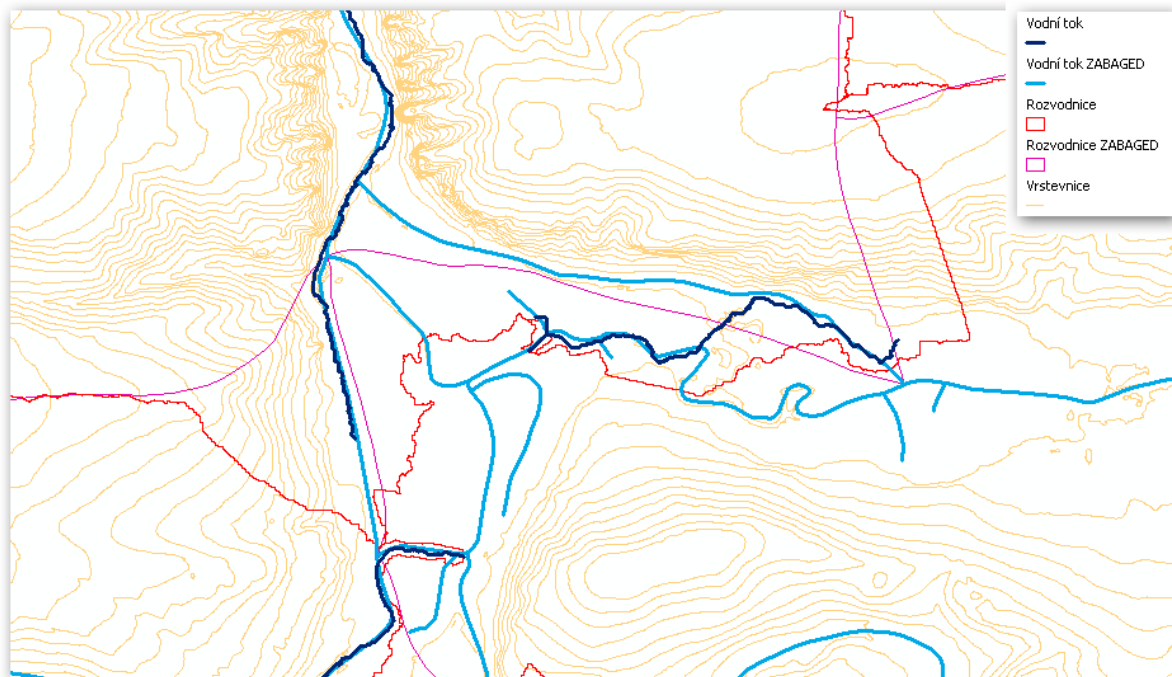
Obr. 10 – Vodní tok v původních datech ZABAGED[®] a vygenerovaný z dat LLS

Rozvodnice

Pro tvorbu rozvodnice byla použita funkce „Stream Segmentation“, která přiřadila každému úseku vodního toku jinou číselnou hodnotu („HydroID“). Následně byly funkcí „Catchment Grid“ definovány oblasti náležející do odtokové oblasti konkrétního úseku. Rastr byl poté opět převeden na vektorovou reprezentaci prvku podle pole HydroID. Protože dataset ZABAGED[®] obsahuje rozvodnice IV řádu, bylo nutné nově vzniklé polygony pospojovat funkcí „Merge“, tak aby odpovídaly původním datům.

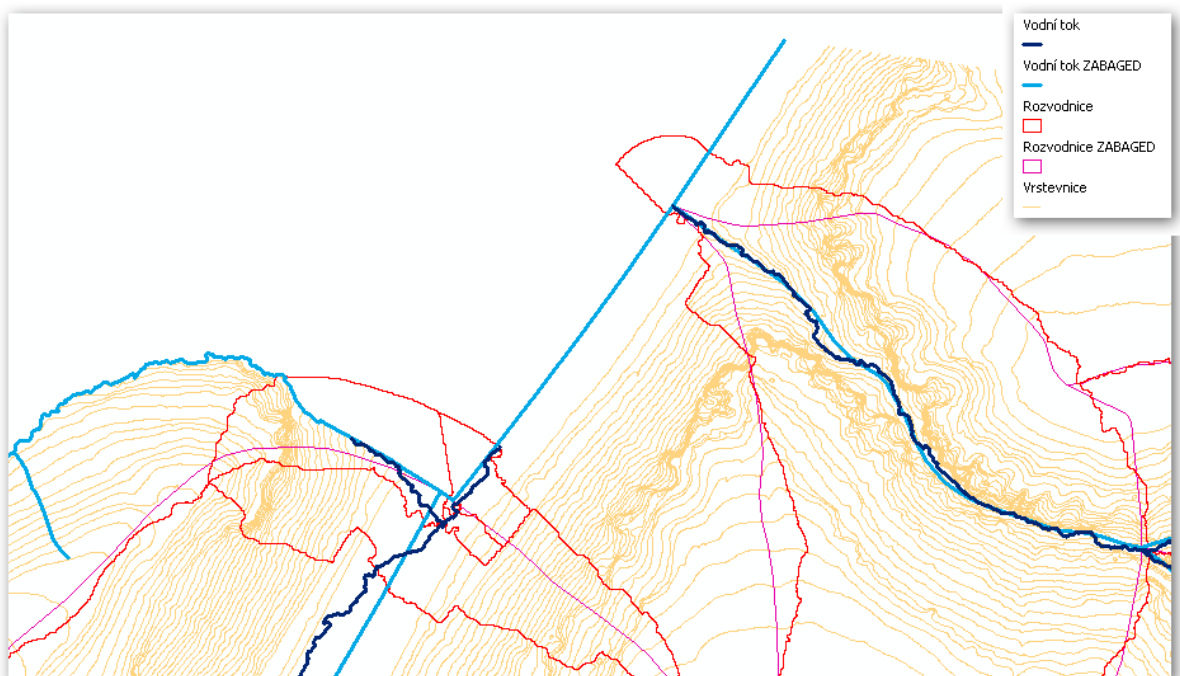
U takto vzniklé rozvodnice (tvořena hranicí polygonů) lze tvrdit, že je přesná na hřebenech, kde je vlastně tvořena na základě nadmořské výšky pixelů. Chyby se však mohou vyskytovat v údolích na soutocích vodních toků. Důvodem může být nepřesný průběh extrahovaného vodního toku – modelována je zde spádnice, která sama o sobě nemusí svědčit o reálném výskytu toku. Pokud se v oblasti vyskytuje umělý tok (př. náhon), je dosti pravděpodobné, že v daném místě nebude vodní tok vymodelován. Proto je nutné každé sporné území kontrolovat nejprve na ortofotu a zjistit, zdali se vodní tok ZABAGED[®] shoduje s realitou. Pokud to není možné z ortofota zjistit je nutné danou situaci ověřit v terénu.

Na obrázku je vidět výrazný rozdíl ve vedení rozvodnice. Nejsevernější přítok dat ZABAGED[®] je umělým náhonem, který nemohl být pomocí ArcHydroTools detekován. V nově vygenerované vrstvě vodních toků tedy tento přítok úplně chybí a jeho nepřítomnost se rovněž odráží na průběhu rozvodnice.



Obr. 11 – Ukázka rozdílného průběhu rozvodnic

Další nepřesnosti byly způsobeny na okrajích zájmové oblasti, která do analýzy vstupovala jako oříznutý grid. Ukázkový příklad lze vidět na následujícím obrázku.



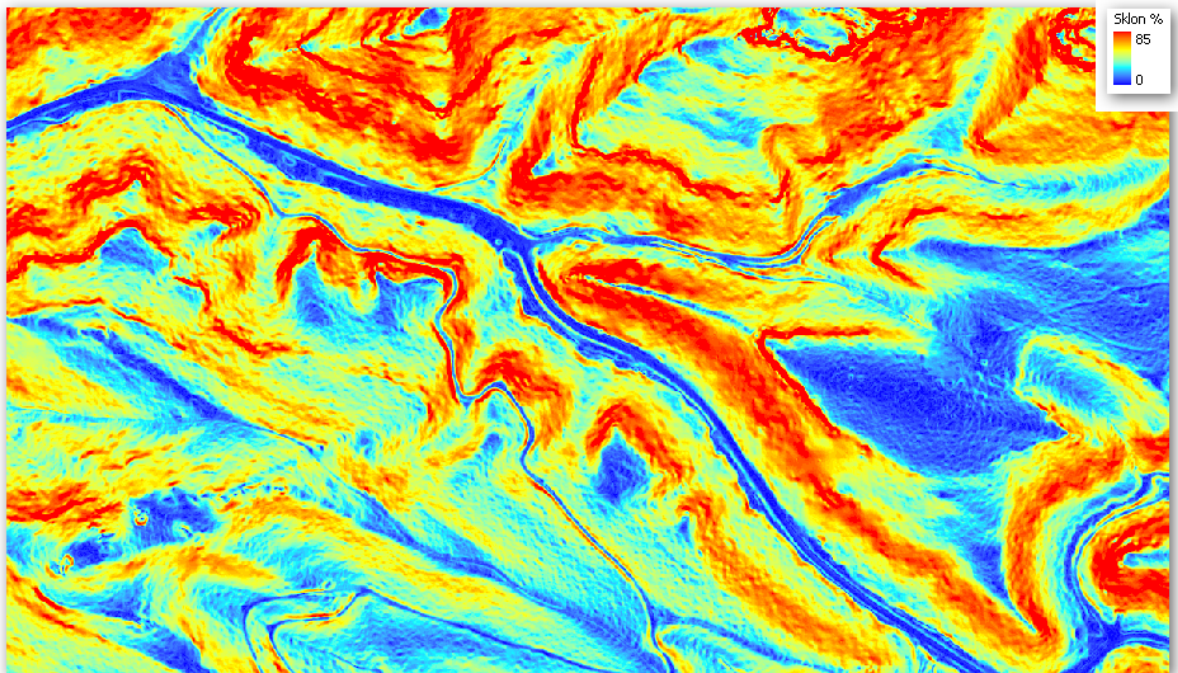
Obr. 12 – Ukázka rozdílného zkreslení rozvodnic na okrajích zájmové oblasti

Terénní reliéf

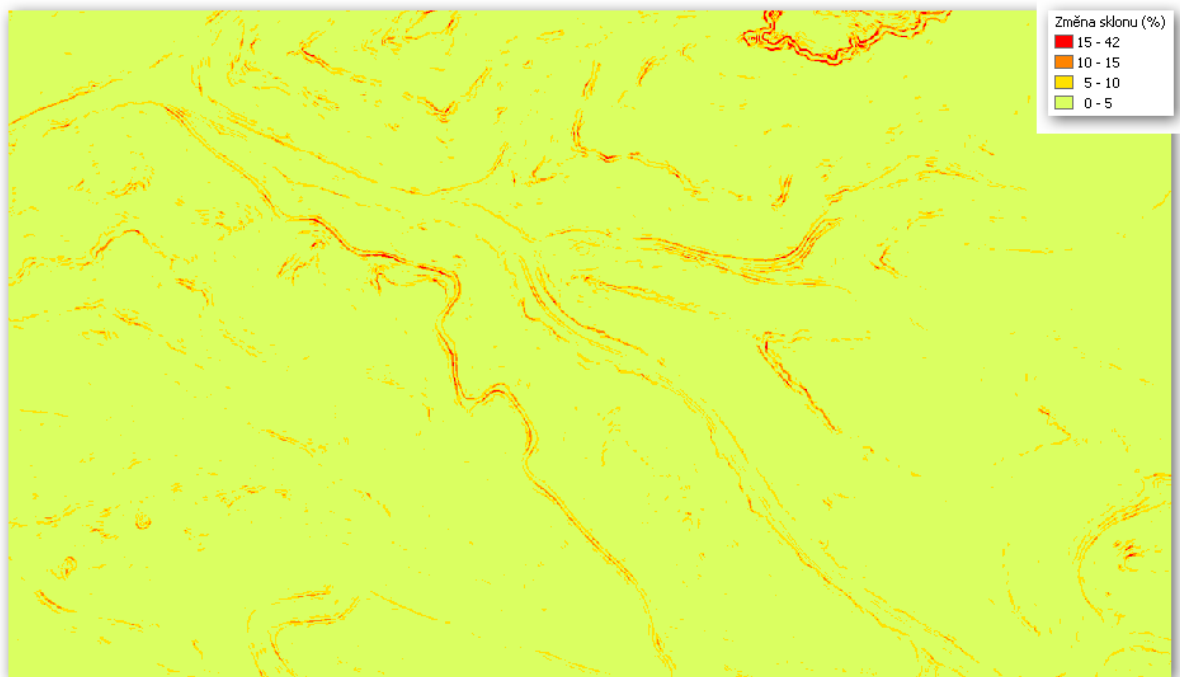
Stupeň, sráz

Podle definice terminologické komise ČUZK je terénní stupeň příkrý, ostře ohraničený sráz na úbočí mírnějšího sklonu (přírodního nebo umělého) o sklonu obvykle větším než 35°, který probíhá buď vodorovně, nebo šikmo [16], [19].

Při řešení tohoto úkolu byl vytvořen grid sklonů metodou „Slope“. V dalším postupu bylo vzato v úvahu, že analýza sklonu vytvoří grid, který vyjadřuje změnu nadmořské výšky pro konkrétní pixel. Proto byl v dalším kroku vytvořen grid vyjadřující změnu sklonu v určitém pixelu (znovu použit „Slope“ tentokrát pro grid sklonů). Hodnoty přímo vygenerované algoritmem bylo samozřejmě nutné upravit, tak aby vyjadřovaly hodnotu změny sklonu, v tomto případě na procenta (0 – 100). Na tomto výstupu lze již pozorovat charakteristické hrany skalních útvarů i terénních stupňů. Lze také například pozorovat polní a lesní cesty, které jsou od okolního terénu vyvýšeny nebo naopak vhloubeny.

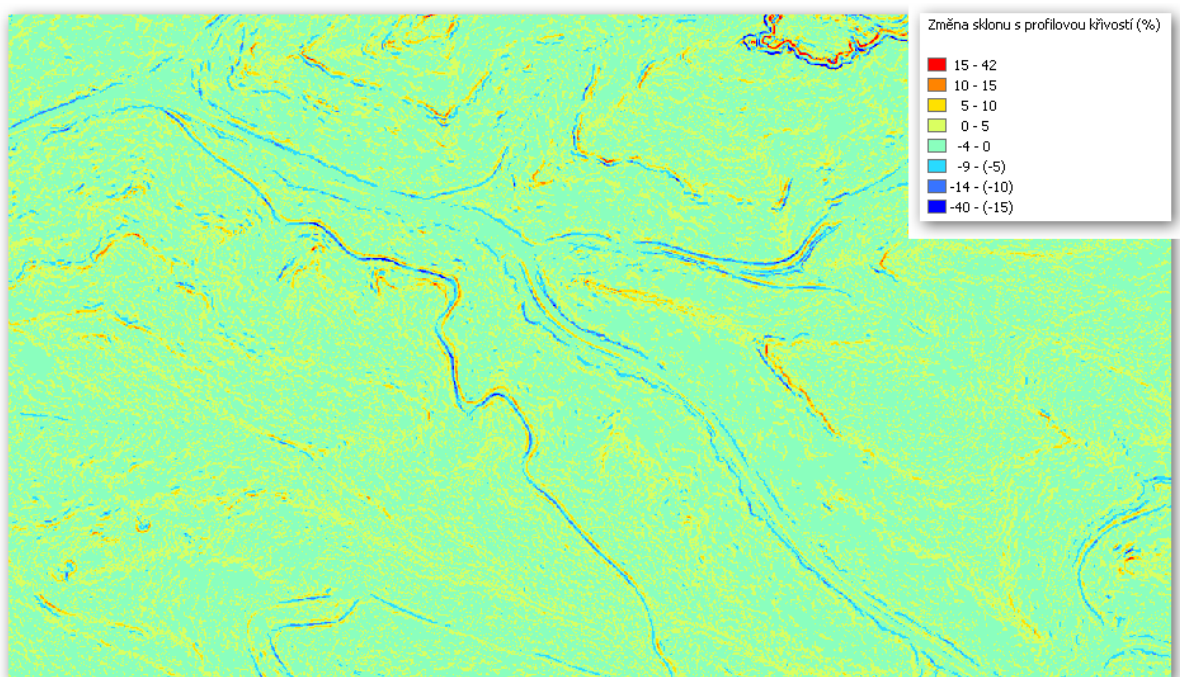


Obr. 13 – Grid sklonů



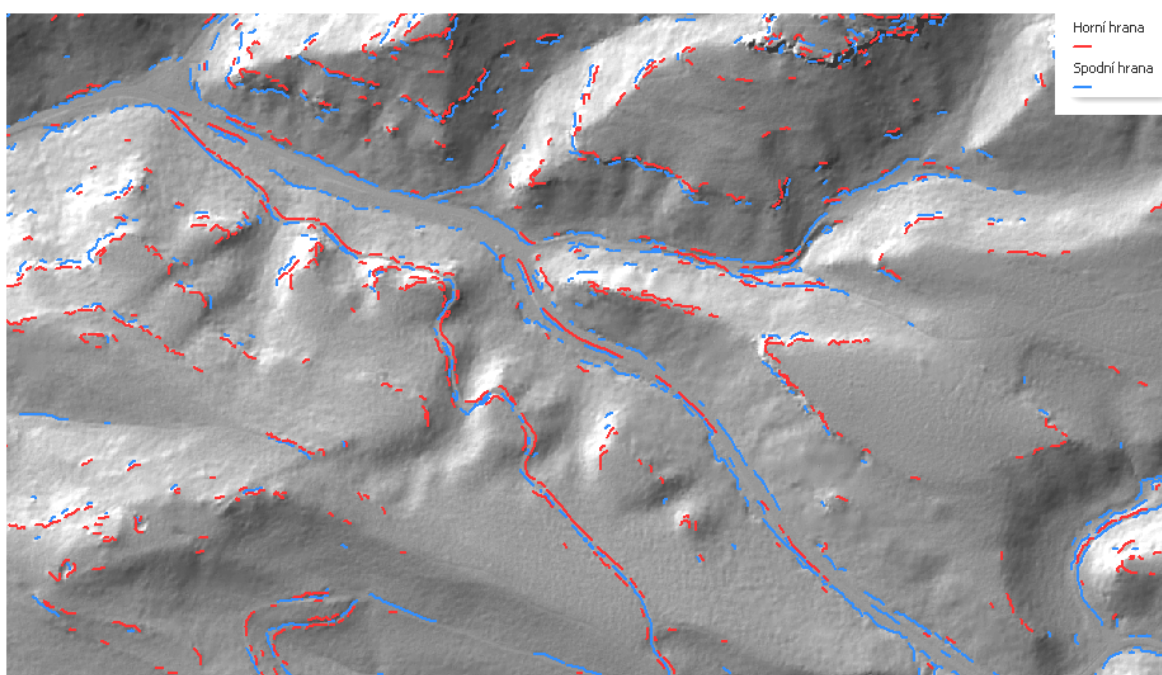
Obr. 14 – Grid změny sklonů

Dále byla použita funkce pro výpočet profilové křivosti terénu, jejímž výsledkem je grid, kde kladné hodnoty znázorňují konvexní, záporné konkávní a nulové rovinné terénní útvary. Tento grid byl reklasifikován na hodnoty -1, 0 a 1 a byl pronásoben s gridem změn sklonů. Grid tedy teoreticky nabývá hodnot -100 až +100, přičemž záporné hodnoty znamenají výskyt spodní hrany terénního útvaru a kladné hodnoty výskyt horní hrany.



Obr. 15 – Grid změny sklonů pronásobený s profilovou křivostí

V intervalech 5 – 10, 11 – 15 a 16 – 42 pro kladné hodnoty a 5 – 10, 11 – 15 a 16 – 40 pro záporné hodnoty byly pixely separovány do samostatných vrstev. Intervaly byly takto zvoleny, protože po vizuálním prozkoumání vzniklých hran společně s vrstvami ZABAGED[®] bylo usouzeno, že se v rozmezí 5 – 10 jedná většinou o cesty, 11 – 15 terénní stupně a 16 a více jsou nejčastěji skalní útvary. Na každou takto vzniklou rastrovou vrstvu byl aplikován algoritmus „Thin“ s parametrem nastaveným na 1 pixel. Tím byly shluky pixelů nahrazeny pouze řadou buněk o šířce 1 pixelu. Takto upravené gridy mohly být konvertovány na linie. Vzniklo tedy 6 sad linií vyjadřujících spodní a horní hrany terénních útvarů v daných intervalech. Na závěr byly ze všech vrstev odstraněny linie kratší než 5 m. Tato mez byla stanovena z důvodu odfiltrování krátkých především jedno-metrových úseků, které neúměrně zvyšují objem dat.



Obr. 16 – Vektorová reprezentace horních a spodních hran terénních útvarů

Komunikace

Pro extrakci komunikací se obecně používají data nesoucí informaci o intenzitě odrazu laserového paprsku. Tato data však pro diplomovou práci nebyla poskytnuta. Při extrakci komunikací se vychází z předpokladu, že je komunikace tvořena homogenním materiálem (např. asfalt), který vykazuje ve všech místech velmi podobné hodnoty reflektivity. Při takové extrakci se tedy v podstatě jedná o řízenou klasifikaci.

V NP se nevyskytuje větší množství zpevněných komunikací, které by bylo potřeba polohově zpřesňovat. Naopak je ale žádoucí zpřesňování polních a lesních cest, které vedou pod vegetačním krytem a nelze je tedy uspokojivě extrahovat z leteckých snímků (lze

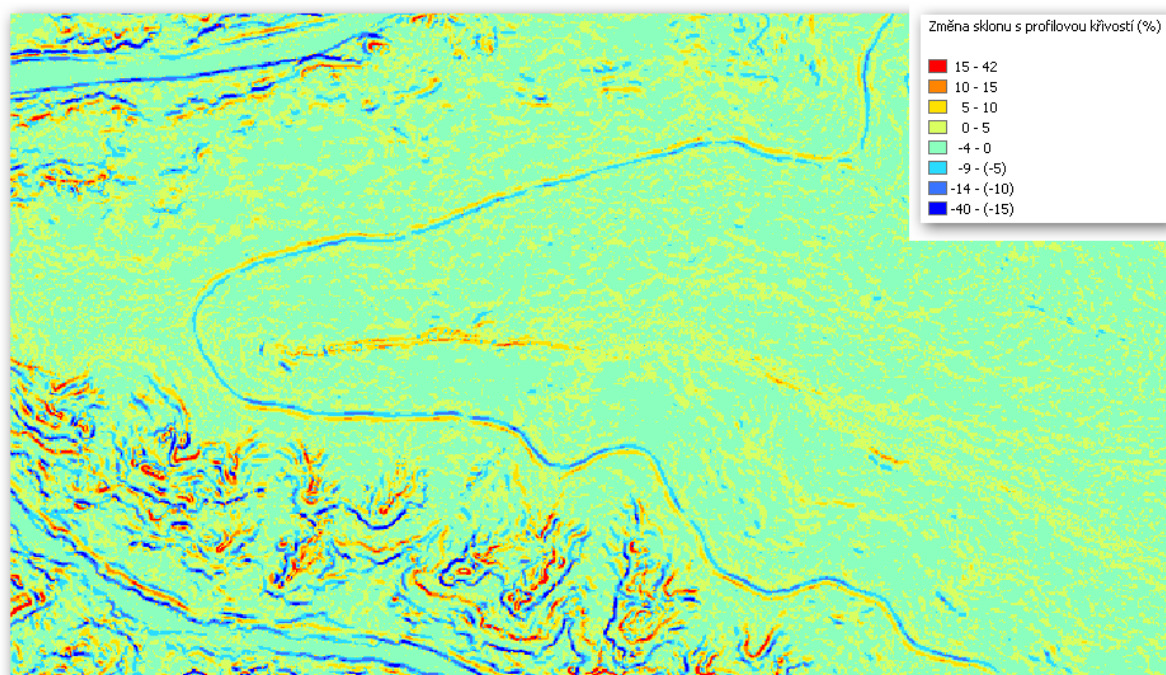
částečně v infračerveném spektru). Z důvodu požadavku NP, byla tedy tato část práce zaměřena na extrakci polních a lesních cest.

Cesta

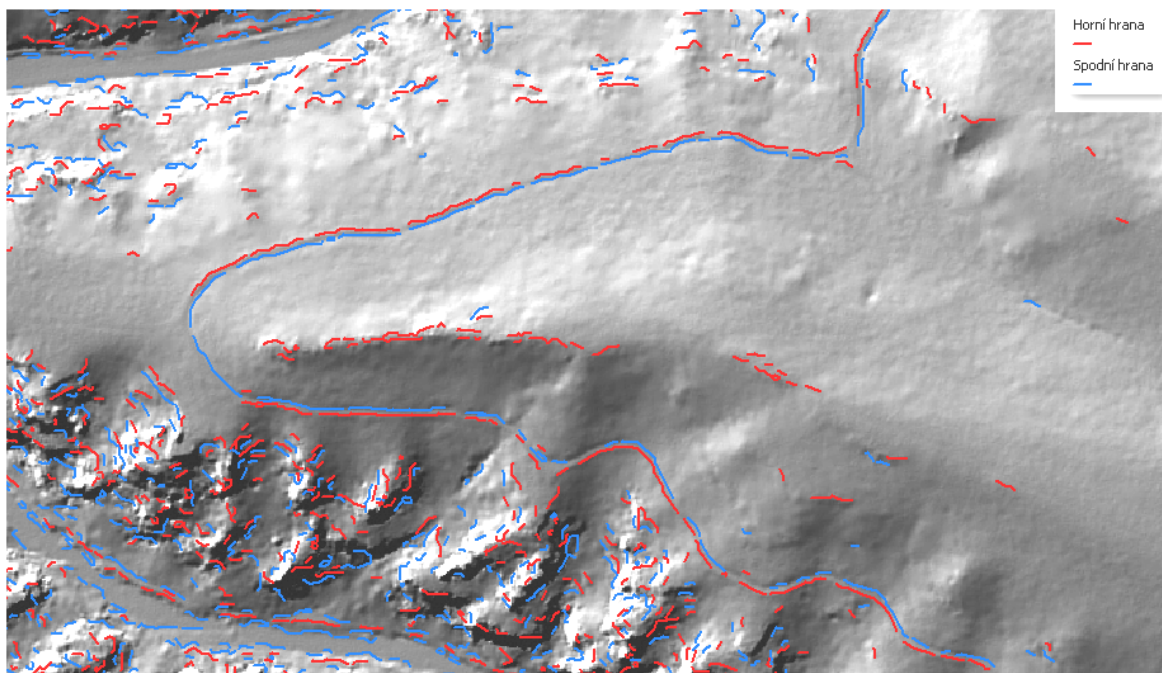
Možnosti extrakce polních a lesních byly v tomto případě omezeny tím, že byla k dispozici pouze výšková data. Na základě toho bylo možné automaticky extrahovat pouze cesty, které se od okolního terénu výškově liší (jsou mírně nad nebo pod ním).

Pro detekci byl použit stejný postup jako v předchozím případě u terénních stupňů. Ze vzniklého gridu změn sklonů, který byl rozklasifikován na horní a spodní hrany bylo vizuálním zkoumáním cest ZABAGED[®] zjištěno, že se většina cest nachází v intervalu 5 – 10 % změny sklonu. Proto lze použít obě již vytvořené vektorové vrstvy (kladné i záporné hodnoty) tohoto intervalu jako podklad pro tvorbu vlastních cest.

Autorka dospěla k závěru, že nelze uspokojivě automatizovaně extrahovat polní a lesní cesty z výškových dat DTM. Proto výstup zde navrženého postupu automatické detekce je vhodný pouze jako podklad pro ruční digitalizaci. Úseky cest, které se nacházejí v obou vektorových vrstvách, je tedy možné rovnou použít s minimální úpravou. Jako další podkladová data může sloužit ortofoto a zároveň zde jako velmi cenný zdroj informací může být stínovaný reliéf, který se dá použít při různých azimutech nasvícení.



Obr. 17 – Grid změny sklonů pronásobený profilovou křivostí



Obr. 18 – Vektorová reprezentace hran v kategorii 5-10 % změny sklonu, polní a lesní cesty

DISKUZE

Základním aspektem, který ovlivnil celou práci, byla možnost využití pouze dat DMT z LLS. K extrakci prvků se obecně používá kombinace dat Lidar, IFSAR a fotogrammetrických dat. Kromě ortofota však tato data nebyla k dispozici a proto byly možnosti extrakce v diplomové práci omezené.

Data LLS disponují vysokou přesností, která je zaručena hustotou až několika body na m², proto je logickým důsledkem využívání takových dat zájem o extrakci vektorové reprezentace geografických prvků z takto přesných dat.

Pro automatickou detekci byly v této práci vybrány kótované body, body výškového a polohového pole, vodní toky, rozvodnice, terénní stupně a polní a lesní cesty. Při extrakci každého z uvedených prvků docházelo k rozdílným problémům, které bylo nutné řešit volbou vhodnějšího postupu či manuální post editací vygenerovaných dat.

Při detekci všech typů bodů byl řešen jediný problém – nejednalo se v podstatě o detekci, ale o získání nové informace o nadmořské výšce v původní poloze v rámci souřadnic x, y. U některých bodů však bylo patrné, že ani jejich souřadnice x, y pravděpodobně nejsou přesné. Usuzovat tak šlo v případě, že se nadmořská výška původního bodu výrazně lišila od nově extrahované hodnoty. Přesně tatáž původní hodnota nadmořské výšky se však vyskytovala na některém pixelu v těsném okolí bodu. Pokud by byla jistota, že je bod lokálním minimem či maximem (z pohledu hodnot nadmořské výšky), polohové zpřesnění by nebyl problém. Body se však mohou nacházet například na výrazných objektech v terénu a proto nelze říci, že je bod v daném okolí minimem či maximem.

Při extrakci vrstevnic nedocházelo k výraznějším komplikacím, jelikož algoritmus pro generování vrstevnic je v programu ArcGIS zakotven. Protože však šlo o vrstevnice určené pro tisk v mapě 1:10 000, bylo nejpodstatnější otázkou do jaké míry linie generalizovat. Není totiž problém z takto podrobného DMT extrahovat velmi přesné vrstevnice, ty jsou však pro tisk v tomto měřítku nepoužitelné. Zároveň lze vrstevnice vyhladit až do té míry, že jsou v mapě ve všech místech velmi dobře čitelné, tím se však ztrácí informace o skutečném průběhu terénu. Bylo tedy nutné najít způsob extrakce a následné generalizace, jehož výstupem budou vrstevnice co nejvíce přesné a zároveň dostatečně čitelné. Proto byl zvolen postup generování jen mírně shlazených vrstevnic a následné vyřezání polygonů o sklonu vyšším než 45°. V místech s vymazanými vrstevnicemi byla ponechána pouze hlavní vrstevnic (e=25), aby byl pro čtenáře mapy zachován skutečný charakter reliéfu.

Detekce vodního toku je komplexním problémem a proto s sebou její řešení přináší více otázek. Pro počátek vodního toku („Stream Definition“ z „Flow Accumulation“) byla zvolena hranice 20 000 pixelů (tedy m²). Vzniklo při tom daleko více vodních toků, než ve skutečnosti existuje, bylo tím však zajištěno, že všechny reálné vodní toky budou skutečně vymodelovány. Tato hodnota však závisí na konkrétní oblasti a proto nelze tuto hranici použít na jakémkoliv typu terénu. Důležitým faktem je rovněž to, že pomocí zvolené metody

je modelována spádnice vodního toku, což nutně nemusí znamenat skutečný průběh toku. V místech, kde však lze polohu koryta ověřit například nad ortofotem, lze extrahované vodní toky použít pro zpřesnění polohy.

Generování rozvodnice úzce souvisí se vzniklou vrstvou vodních toků. Lze tvrdit, že na hřebenech, kde její průběh ovlivňuje pouze nadmořská výška, je rozvodnice přesná. V údolích velmi záleží na průběhu vodního toku. Pokud byl například soutok dvou toků vymodelován na místě o několik metrů posunutém vůči původnímu soutoku, mění se tím i průběh rozvodnice. Proto je nutné soutoky ověřit opět leteckým snímkem. Na většině míst však nelze soutok na snímcích pozorovat, v takovém případě zbývá terénní šetření.

Výstupem detekce terénních útvarů jsou linie, které odlišují horní a spodní hranu útvaru. Zde je nutné říci, že se nejedná o výstup určený pro tisk. Zobrazení terénních útvarů, včetně skalních, v mapách je rozsáhlé téma, kterým se tato práce nezabývá. Z výstupu byly pouze odstraněny všechny hrany kratší než 5 metrů jednak kvůli neúměrné velikosti souboru a zároveň kvůli nízké vypovídací schopnosti takto krátkých linií, které mohly vzniknout například špatnou filtrací původního mračna bodů LLS.

Automatická extrakce polních a lesních cest byla jako jediná vyřešena jen do určité míry. Vzhledem k tomu, že byla k dispozici výšková data, bylo možné extrahovat pouze cesty výškově odlišné od okolního terénu. To bylo zajištěno stejným postupem jako extrakce terénních stupňů. Po vizuálním prozkoumání výstupu a původních dat ZABAGED[®] bylo zjištěno, že se většina cest, které jsou detekovatelné touto metodou, nacházejí v rozmezí 5 – 10 % změny sklonu. Proto byla vrstva terénních hran rozklasifikována, tak aby z ní mohly být extrahovány pouze tyto hodnoty. Výstup však nelze použít jako hotovou vrstvu cest vzhledem k její neúplnosti. Může však sloužit jako vstup pro ruční digitalizaci, z něž lze použít části cest, které odpovídají skutečnosti – jde o skutečnou cestu, což lze ověřit nad ortofotem nebo v terénu.

Celkově lze práci shrnout poznatkem, že extrakce z dat DMT LLS je vhodná ke zpřesnění vrstev ZABAGED[®], čímž je míněno generování nových přesnějších vrstev. Nikdy se však nejedná o čistě automatizovaný proces. Vždy je zde nutná náročnější či méně náročná post editace extrahovaných dat. V případě polních a lesních cest autorka považuje za nejméně časově nákladnou ruční digitalizaci prvku na podkladu ortofota a stínovaného reliéfu s využitím nově extrahovaných prvků, které znázorňují cesty výškově rozdílné od okolního terénu.

ZÁVĚR

Cílem této magisterské práce bylo co nejvíce automatizovaná extrakce vybraných prvků ZABAGED[®] z DMT LLS. Toto téma vzniklo v NP České Švýcarsko, který používá pro vektorovou reprezentaci geografických prvků právě data ZABAGED[®]. Zároveň však disponuje velmi přeným modelem terénu, který vznikl filtrací dat LLS. Díky tomuto velkému rozlišení (1 m), vznikla myšlenka vytvoření nových vektorových vrstev extrakcí z DTM, který by byly přesnější než současně využívaná data ZABAGED[®].

Prvním krokem bylo vybrat prvky vhodné pro extrakci. V konečném seznamu tedy zůstaly kótované body, body polohového a výškového pole, vrstevnice, vodní toky, rozvodnice, terénní stupně a lesní a polní cesty. Ke každému vybranému prvku bylo přistupováno jednotlivě a to v prostředí ArcGIS verze 9.3 a 10.

Detekce všech typů bodů byla řešena jako extrahování hodnoty nadmořské výšky v daných souřadnicích x, y. Jedná se tedy o zpřesnění výškové informace, nikoliv polohové. Takové přesnění není možné vzhledem k charakteru lokalizace těchto bodů. To znamená, že nelze ve všech případech tvrdit, že jde výškově o lokální maximum či minimum.

Pro detekci vrstevnic byla nalezena vhodná metoda, která zajišťuje dostatečnou přesnost a zároveň dobrou čitelnost linií v mapě v měřítku 1:10 000. Toho bylo docíleno extrahováním mírně shlazených vrstevnic, ze kterých byly vyřezány polygony oblastí se sklonem vyšším než 45°. V místech výřezu byly ponechány pouze hlavní vrstevnice (e=25) tak, aby byl zachován charakteristický průběh terénu.

Extrakce vodního toku a rozvodnice je úzce svázána. V této části práce byla využita extenze ArcHydroTools, pomocí níž byly generovány liniové vodní toky (jejich spádnice) a polygonová rozvodnice. Vygenerované vodní toky lze použít pro zpřesnění původní vrstvy v místech, kde průběh vodního toku odpovídá spádnici, což je v této oblasti naprostá většina případů. Od toho se odvíjí přesnost rozvodnice, která je na hřebenech nesporná, v údolích, kde nově extrahovaný vodní tok neodpovídá spádnici, nemusí být zcela přesná (př. umělý náhon). V takové situaci je nutné použití referenčních dat pro editaci vodního toku. V tomto případě jimi byly data ZABAGED[®] a ortofoto.

Při extrakci terénních stupňů byly vytvořeny liniové objekty znázorňující průběh horní a spodní hrany v kategoriích pro různé změny sklonu v %. Na základě vizuální analýzy hran byly vytvořeny intervaly 0 – 5, 6 – 10, 11 – 15 a 16 – 42 %. Bylo tak deklarováno, že se ve druhé kategorii nejvíce vyskytují lesní a polní cesty, ve třetí terénní stupně a ve čtvrté skalní útvary.

Závěrem lze říci, že data DMT jsou pro automatickou detekci prvků vhodná a touto detekcí vznikají vrstvy s vyšší polohovou a výškovou přesností než dosud používaná data ZABAGED[®] v rozsahu ZM v měřítku 1:10 000. Nikdy však nejde o zcela automatizovaný proces, vždy je nutné extrahovaná data dále editovat.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ACKERMANN, Friedrich . Airborne laser scanning – present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* [online]. 1999, 54, [cit. 2011-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://warnercnr.colostate.edu/~lefsky/isprs/1134.pdf>>.
- [2] BRÁZDIL, Karel . Nové mapování výškopisu území České republiky. In *18. konference GIS ESRI* [online]. Praha : ARCDATA, 2009 [cit. 2011-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://download.arcddata.cz/konf/2009/sbornik-18-konference-web.pdf>>.
- [3] BURTCH, Robert. Lidar Principles and Applications. In *IMAGIN Conference* [online]. Traverse City : IMAGIN Conference, 2002 [cit. 2011-04-04]. Dostupné z WWW: <http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/papers/lidar_principles.pdf>.
- [4] DOLANSKÝ, Tomáš; GASIOR, Marek. LASEROVÉ SKENOVÁNÍ NA ÚZEMÍ ČESKÉHO ŠVÝCARSKA. *GEOS* [online]. 2006, [cit. 2011-04-04]. Dostupný z WWW: <http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/50_dolansky_gasior/paper/50_dolansky_gasior.pdf>.
- [5] HU, Yong. *Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data*. Calgary, 2003. 206 s. Dizertační práce. University of Calgary. Dostupné z WWW: <http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/CVT/03.20187.YongHu.pdf>.
- [6] SHUCKMAN, Karen ; KING, Beth; DUTTON, John A. *Lidar technology and application : Lesson 1: Lidar Sensor Design* [online]. 2009, 15.3.2011 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<https://www.e-education.psu.edu/lidar/node/1870>>.
- [7] SHUCKMAN, Karen ; KING, Beth; DUTTON, John A. *Lidar technology and application* [online]. 2009 [cit. 2011-03-10]. Dostupné z WWW: <<https://www.e-education.psu.edu/lidar/node/1873>>.
- [8] UHLÍŘOVÁ, Kateřina; NOVÁKOVÁ, Hana. Využití dat leteckého laserového skenování na tocích a v příbřežních zónách. In *GIS Ostrava 2011*. Ostrava : GIS Ostrava, 2011. s. 8.
- [9] WANG, Zheng; SHENK, Tony. BUILDING EBuildig extraction and reconstruction from lidar data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* [online]. 2000, Vol. XXXIII, Part B3, [cit. 2011-04-04]. Dostupný z WWW: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part3/958_XXXIII-part3.pdf>.

- [10] WEHR, Aloysius ; LOHR, Uwe . Airborne laser scanning – an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* [online]. 1999, 54, [cit. 2011-04-04]. Dostupný z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu>>.
- [11] ZINGER, S; NIKOLOVA, M; ROUX, M. 3D resampling for airborne laser data of urban areas. *IAPRS* [online]. 2002, 34, [cit. 2011-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.139.740>>.p.
- [12] Cross-border Digital Terrain Models and Digital Ortho Image Mosaic for the National Park Region : Product Information. In TROMMLER, Marco. *Geodata for the Saxon – Bohemian Switzerland*. Dresden : Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, Chair of Remote Sensing, 2007. s. 16
- [13] *České Švýcarsko* [online]. 2007 [cit. 2011-02-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.ceskesvycarsko.cz>>.
- [14] *ČÚZK* [online]. 2011 [cit. 2011-02-15]. Dostupné z WWW: <http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED>.
- [15] *GEODIS : Laser scan* [online]. 2010 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.geodis.cz/laser-scan>>.
- [16] Katalog objektů ZABAGED. *Zeměměřičský úřad* [online]. 2011, 2.3, [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED>.
- [17] *LIDARcomm : Fastest Growing Trend in Aerial LIDAR* [online]. 2010 [cit. 2011-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://lidarcomm.com/id36.html>>.
- [18] *NASA : First-of-its-Kind Map Depicts Global Forest Heights* [online]. 2010 [cit. 2011-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/forest-height-map.html>>.
- [19] *Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí* [online]. 2005 [cit. 2011-04-05]. Dostupné z WWW: <http://www.vugtk.cz/slovník/4408_terenni-stupen>

SUMMARY

The aim of this diploma thesis was to produce the most automated extraction of selected elements of ZABAGED[®] from DTM of airborne laser scanning data. The theme arose in National park Czech Switzerland, where ZABAGED[®] vector data (1:10 000) are used as representation of geographic elements. NP has also the data of DMT from ALS so it occurred if it was possible to create new vector layers by extraction from DTM.

The first step was to select elements suitable for the extraction. The final list includes quoted points, points of positioning and elevation fields, contours, watercourses, watershed, terrain and rock stages a paths. Each selected element was treated separately in program ArcGIS 9.3 and 10.

The main aspect that affected the entire work was the presence of DTM data only. For element extraction is generally used combination of LIDAR data, IfSAR and photogrammetric data. But for this work the additional data wasn't provided.

ALS data high accuracy is guaranteed by the density of several points per m². Therefore the interest of creating more accurate vector data is a logical consequence of availability of accurate DTM data.

During the detection of all types of points has been solved one problem – it is not in fact the detection, but the extraction of new height information in its original location (coordinates x, y). It was obvious that also the x, y coordinates are probably incorrect in some locations. If the altitude of original points differed significantly from the new value and exactly the same old value is placed in some very near pixel, then new location x, y could be found. The problem is that it can be done on one condition – the point has to be local minimum or maximum. But the points appear also on some significant objects in terrain (e.g. building) which aren't local minimum or maximum.

Contour extraction has avoided grater complications, since the algorithm for contours generation is embedded the ArcGIS program. The contours was designed to be printed in a map 1:10 000, so the most important question was how much generalize the line. There is no problem of creating very accurate contours, but it is inappropriate for printing in specified scale. On the other hand it can be created smoothed contours which are well readable in a map, but it loses the information of terrain characteristics. Therefore, it was necessary to find a way of extraction and proper degree of generalization so that the output was as most accurate as possible but also readable. Thus, there were generated slightly smoothed contours and then erased polygons with slope higher than 45°. In locations with erased contours were left main contours (e=25 m) in order to maintain the true character of relief for the map reader.

Detection of water flow is a complex issue and thus brings more questions. For river start (“Stream Definition” from the “Flow Accumulation”) were selected 20 000 pixels (i.e. m²). This approach generated much more water flows than exists in reality, but it ensured that all real streams were actually modelled. The value for river start depends on type of area, so his concrete value can't be applied to any type of terrain. Another

important fact is that with this chosen method the line of maximum slope of the watercourse is modelled, which does not necessarily mean the actual course of flow. In places where the location of a channel can't be verified, such as on the orthophoto it has to be verified in terrain.

Generating of watercourses is closely related to the resulting layer of watershed. The line of generated watershed is precise on ridges, because in these location plays role only the elevation of pixels. The line in valleys is very dependent on watercourse. If there is for instance the confluence of two streams modelled on the spot a few meters shifted from the original junction it is changing the line of watershed. Therefore, it is necessary to check the confluences on aerial images. If it can't be seen on image then it can be checked by field investigation.

The output of terrain and rock stages is lines separating their upper and lower edges. It is necessary to say that this output is not for printing. From the output were removed all edges shorter than 5 meters, because of excessive file size and also because of the low explanatory power of lines so short.

Automatic extraction of paths was resolved only to certain extent. There were only elevation data available, so it was possible to extract only the paths which differed from the surrounding terrain by its height. Detection of paths was done by the same procedure as the extraction of terrain and rock stages. There were found the most paths in the interval of 5- 10 % of slope change after visual examination of the output and the original data ZABAGED[®]. Therefore, the layer was classified, so that only these values can be extracted. This output can't be used as a final layer of paths due to its incompleteness. However, it can serve as an input for manual digitization.

The work can be summarized positively. Extraction of elements from the DTM ALS data is suitable for creating layers more precise than ZABAGED[®] layers. However it is never a fully automated process. There is always needed more or less demanding post editing of the extracted data. In the case of paths the author considers the least expensive method is to digitize the elements manually on a base of orthophoto, shaded relief using extracted features.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Volné přílohy

Příloha 1 DVD

Popis struktury DVD

Soubory a složky:

- mp_leimerova.pdf – text magisterské práce
- data_vystup – obsahuje jednotlivé extrahované prvky ve formátu .shp
vrstevnice
bod
hydro
stupen
cesta
- web – webové stránky shrnující celou práci
- metadata – dva soubory .xml s popisem vstupních a výstupních dat

Vstupní DMT oblasti NP České Švýcarsko není přílohou DVD, protože tato data byla poskytnuta výhradně pro konkrétní magisterskou práci.