

Spracovanie masívnych lidarových dát pre použitie v GIS

Bc. Ján Šašak

Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika
Jesenná 5, 040 01 Košice, Slovenská republika
sasakjan@gmail.com

Abstract: Lidar scanning is a method that provides us with detailed information about the Earth's surface and objects on it. The actual mapping is relatively simple, but the processing of collected data requires appropriate software solutions and experienced user. From the software point of view current GIS packages are not well suited for processing massive lidar data. This paper, therefore, demonstrates the massive processing lidar data using the software suite LAStools by Martin Isenburg offering appropriate solutions to these issues. Output data are digital terrain model (DTM), digital surface model (DSM) and digital intensity model (DIM). For further processing, we selected the DTM, which was subject to hydrological and basin analyzes in GRASS GIS. This contribution showed how large extent lidar data files can be processed efficiently for further analysis in a GIS environment.

Keywords: lidar dataset, LAStools, DTM, GRASS GIS

1 Úvod

Metódy zberu dát o krajine prešli za posledné roky výraznými zmenami. V súčasnosti možno pozorovať prechod od klasických terénnych metód k metódam automatickým, ktoré ponúkajú pohodlné riešenie pre získanie údajov o rôznych krajinných sférach a súvisia najmä s diaľkovým prieskumom Zeme. Pre výskum georeliéfu a objektov na ňom, predovšetkým pre čo najpresnejšie určenie ich vertikálnych a horizontálnych parametrov, je použitie leteckého laserového skenovania (LLS) pravdepodobne najvhodnejším riešením. LLS poskytuje bodové merania nadmorských výšok zemského povrchu s relatívne vysokou presnosťou a priestorovou hustotou (Gallay, 2013).

V rámci riešenia projektu APVV - Nové metódy priestorového modelovania pomocou laserového skenovania a 3D GIS-u (SPATIAL 3D) na Ústave geografie v Košiciach bolo firmou Photomap realizované letecké laserové skenovanie juhozápadnej časti Slovenského krasu v okolí jaskyne Domica a severne od nej. Výsledkom mapovania bolo mračno bodov tvorené približne 10 miliárd bodov z územia o rozlohe 68 km², taktiež ortofoto snímky v reálnych farbách a v infračervenej kompozícii a napokon aj nespracované letecké meračské snímky skúmaného územia. V prípade LLS údajov ide o niekoľko miliárd bodov, čo predstavuje veľké množstvo údajov, a preto len máloktorý softvér ponúka vhodné možnosti na ich korektné spracovanie.

Cieľom nášho príspevku je demonštrovať možnosti spracovania masívnych lidarových dát pomocou softvérovej sady LAStools na báze otvoreného kódu, ktorá

má dostatok zobrazovacích a editačných nástrojov pre prácu s údajmi laserového skenovania. Hlavnou úlohou je pomocou dostupných nástrojov v LAStools vytvoriť digitálne modely terénu (DTM), povrchu krajiny obálky (DSM) a intenzity odrazu (DIM) v presne stanovenom priestorovom rozlíšení a dátovom formáte. Digitálny model terénu (DTM) je následne použitý v prostredí geografického informačného systému GRASS GIS pri hydrologických a morfometrických analýzach a analýzach povodia študovaného územia.

2 LiDAR a údaje laserového skenovania

Laserové skenovanie, tiež známe pod skratkou LiDAR (Light Detection And Ranging), je metóda diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) zameraná na detekciu objektov a meranie vzdialeností k nim (Hofierka et al., 2014). Lidar funguje ako aktívne zariadenie, ktoré emituje elektromagnetické žiarenie (EMG) s vysokou frekvenciou smerom k povrchu a na základe času, za ktorý prejde lúč od skenera k objektu a späť, dokáže určiť vzdialenosť medzi objektom a skenerom (Carter et al., 2012; Gallay, 2013). Polohová presnosť odrazeného lúča je závislá od viacerých faktorov ako je presnosť merania vzdialenosti a najmä od polohy skenera vzhľadom na nosič. Ak je nosičom lietadlo, polohovú presnosť skenera voči lietadlu udáva IMU (Inertial Measurement Unit) a voči súradnicovému systému zase diferencielne GPS (Baltsavias, 1999).

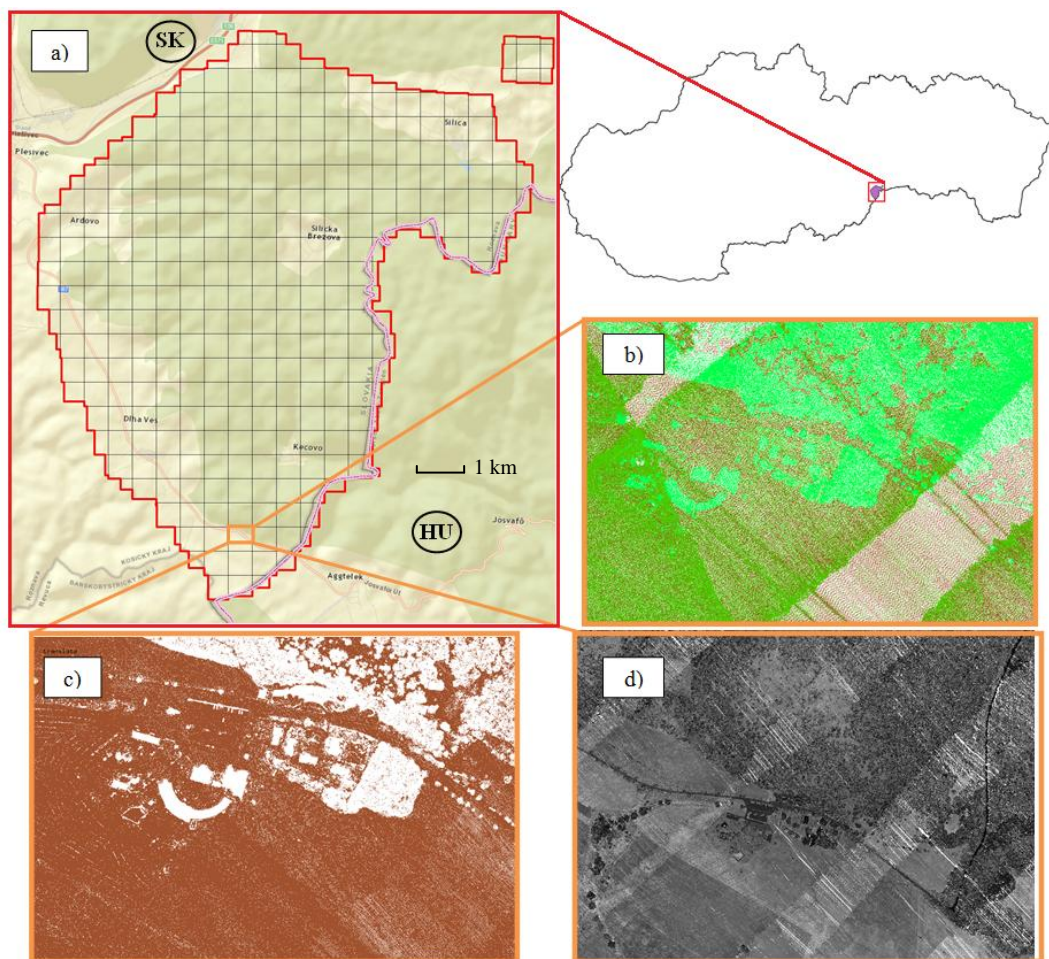
Záznamom laserového skenovania je mračno bodov tvorené jednotlivými odrazmi emitovaných lúčov od objektov. Štandardne sú tieto údaje produkované vo formáte LAS, čo je binárny formát obsahujúci informácie o odrazených lúčoch (APSRs, 2010). V praxi sa často stáva, že emitovaný lúč sa odrazí niekoľkokrát, napr. od koruny stromu, od kríkov a napokon aj od terénu, čím vznikne niekoľko odrazových plôch s rôznymi údajmi o vzdialenosti voči skeneru. Preto je potrebné po skončení skenovania klasifikovať jednotlivé body, čím získame body reprezentujúce antropogénne objekty a vegetačný kryt a body reprezentujúce terén. Letecké laserové skenovanie dokáže, v závislosti od stanovených požiadaviek, vyprodukovať obrovské množstvo dát. Táto schopnosť je hlavnou výhodou laserového skenovania oproti iným metódam DPZ. Spracovanie takéhoto množstva údajov si však vyžaduje jednak vhodný softvér, ale taktiež aj výkonný hardvér, schopný splniť požiadavky používateľa za relatívne krátky čas. V porovnaní s inými metódami DPZ laserové skenovanie produkuje veľmi presné merania nadmorských výšok povrchu, ktoré sú zároveň veľmi husto distribuované v priestore. V závislosti od parametrov skenera, výšky a rýchlosti letu to môže byť v rozmedzí 0,1 – 20 bodov/m². Presnosť na nezakrytom teréne býva na úrovni niekoľkých centimetrov až decimetrov (Gallay, 2013).

3 Metódy a údaje

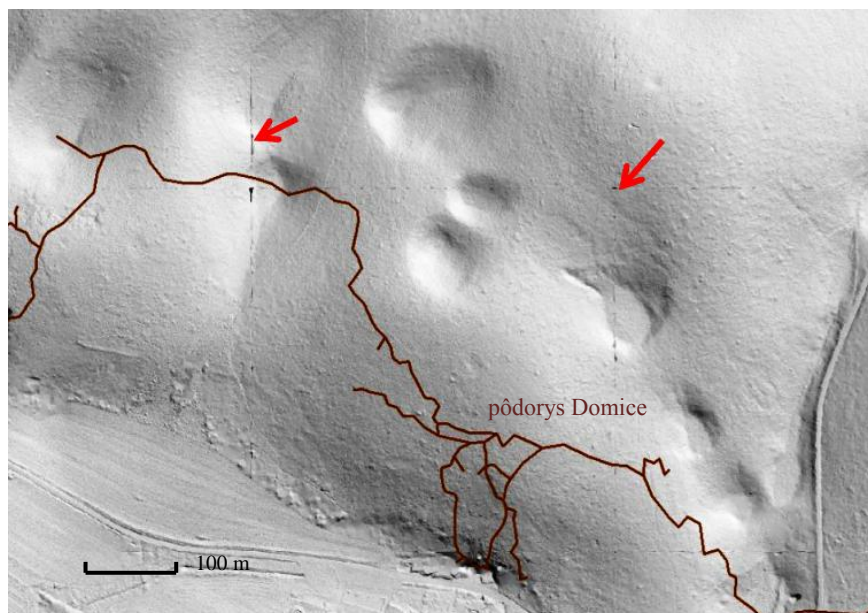
3.1 Vstupné data a ich spracovanie pomocou nástroja *lastile*

Mračno bodov, ktorého spracovaním sa zaoberáme v našom príspevku, je tvorené približne 10 miliárd samostatných bodov a pokrýva 68 km² v priestore medzi Plešivcom, Domicou a Silicou, ako ukazuje *Obr. 1*. Dáta boli dodané vo formáte LAS a v súradnicovom systéme S-JTSK (Balt po vyrovnaní). Hustota bodov posledného odrazu (od terénu) bola priemerne 4,86 bodov/m², hustota všetkých bodov zase 29,26 bodov/m². V prípravnej fáze spracovania dát sme najskôr rozdelili mračno bodov do menších celkov. Pomocou softvéru ArcGIS sme vytvorili geodatabázu, t.j. študované územie sme rozčlenili na 325 štvorcov o veľkosti 500x500 m, samozrejme až na hraničné oblasti, kde sa veľkosť jednotlivých segmentov prispôbovala priebehu štátnej hranice, resp. hranice záujmového územia. Pri prvotnej tvorbe digitálneho modelu terénu (DTM) pomocou *las2dem* a pri jeho následnej vizualizácii v ArcGIS sme si všimli, že na styku dvoch štvorcov sa vytvárajú artefakty, t.j. plochy nepokryté údajmi laserového skenovania (*Obr. 2*), čo spôsobuje vizuálnu, ale predovšetkým technickú prekážku pri ďalších analýzach DTM. Na odstránenie tohto problému sme použili nástroj *lastile* softvérovej sady LAStools (Isenburg, 2014). Ako vyplýva aj z názvu (ang. tile - dlaždica), *lastile* je nástroj operujúci s dlaždicami, čo v našom prípade predstavuje 325 štvorcov pokrývajúcich záujmové územie. Pre vyriešenie nášho vyššie definovaného problému bolo rozhodujúce nastavenie parametra s označením *buffer*. Buffer predstavuje prekryvnu zónu okolo jednotlivých dlaždíc, resp. štvorcov. Pri veľkosti štvorcov 500x500 m sme ako optimálnu hodnotu pre *buffer* zvolili 50 m, čo spôsobilo vzájomné prekrytie všetkých susedných štvorcov (*Obr. 3*) a zamedzilo tak vzniku artefaktov pri tvorbe digitálnych modelov terénu a povrchu krajiny obálky. Pri dátach, ktoré vstupovali do výpočtu digitálneho modelu intenzity odrazu sme veľkosť dlaždíc zmenšili na 200x200 m pričom *buffer* sme zachovali na hodnote 50 m. Okrem manuálneho nastavenia parametrov v grafickom prostredí, *lastile* aj všetky ostatné nástroje balíka LAStools, ponúkajú možnosť definovania potrebných parametrov pomocou príkazového riadku (Isenburg, 2014). Je to pohodlné riešenie pre skúsených používateľov, ktorí ovládajú princípy tvorby príkazov. Funkcia *COPY* zároveň umožňuje skopírovať a uložiť zapísaný príkaz a následne ho použiť pri nových analýzach. Príklad zápisu v príkazovom riadku nástroja *lastile* pre prípravu dlaždíc s prekrytom:

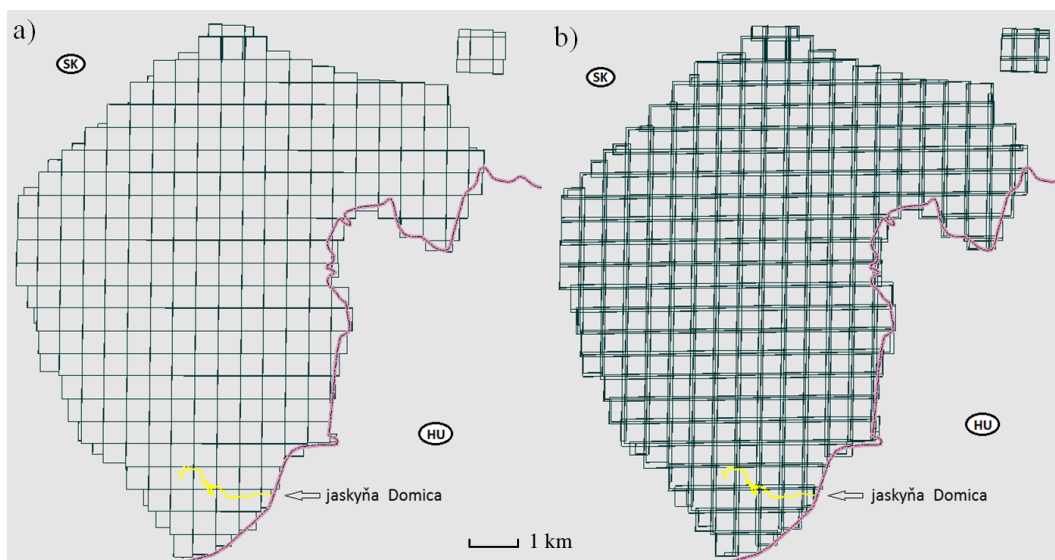
```
lastile -lof file_list.txt -o "tile.las" -tile_size 200 -buffer 50 -files_are_flightlines -odir "D:\Sasak\TILES\tile_DMS" -olas
```



Obr. 1 a) vymedzenie záujmového územia, b) mračno bodov všetkých odrazov, c) mračno bodov posledného odrazu (od terénu), d) mračno bodov prvého odrazu (zobrazenie intenzity odrazu) - detailné zobrazenie okolia vstupu do jaskyne Domica



Obr. 2 Vznik artefaktov na okrajoch štvorcov pri spracovaní dlaždíc bez prekryvnej zóny. Zdroj: Ústav geografie UPJŠ, Košice



Obr. 3 Segmentácia mračna bodov skenovaného územia s plochou 68 km² do dátových dlaždíc s rozmermi 500 x 500 m: a) pred tvorbou zóny - buffer, b) po tvorbe zóny 50 m okolo nich (600 x 600 m).

3.2 Tvorba rastrových digitálnych modelov povrchov z masívnych geodát

Softvérová sada LAStools ponúka niekoľko možností tvorby digitálnych rastrových modelov. V našom prípade sme použili nástroj *blast2dem*, ktorý dokáže efektívne spracovať miliardy bodov. Grafické používateľské rozhranie *blast2dem* je rovnaké ako u ostatných nástrojoch LAStools, líši sa iba ponukou funkcií a parametrami, ktoré je možné účelovo meniť. Ovládanie nástroja je taktiež možné cez príkazový riadok. Princíp výpočtu digitálnych modelov vo forme pravidelnej rastrovej mriežky je v nástrojoch LAStools založený na tvorbe TIN-u, čiže nepravidelnej trojuholníkovej siete, kde vrcholy trojuholníkov sú reprezentované vstupnými bodmi laserového skenovania. TIN je následne lineárnou interpoláciou pretransformovaný na rastrový formát grid, čiže pravidelnú štvorcovú sieť (Isenburg, 2014).

Po úprave údajov leteckého laserového skenovania nástrojom *lastile* sme mohli pristúpiť k samotnej tvorbe digitálnych modelov nástrojom *blast2dem*. Ako vstupné dáta boli použité body prvého odrazu, čiže body odrazené od povrchu krajinej obálky, a taktiež body posledného odrazu, t.j. body odrazené od zemského povrchu. Údaje prvého odrazu sme použili na tvorbu digitálneho modelu povrchu krajinej obálky (DSM) a k nemu prislúchajúcemu tieňovanému modelu (DSM_hillshade). Oba modely boli vytvorené v priestorovom rozlíšení 1 m, avšak dátový formát bol odlišný. Pre DSM sme zvolili formát ASCII a pre DSM_hillshade formát TIFF. Z uvedených dát bol tiež vytvorený digitálny model intenzity odrazu (DIM) v priestorovom rozlíšení 0,5 m a vo výstupnom formáte TIFF, ktorý predstavuje vizuálne prijateľnejší výstup.

Druhou skupinou údajov boli dáta posledného odrazu, z ktorých bol vytvorený digitálny model terénu (DTM) vo formáte ASCII a k nemu prislúchajúci tieňovaný model (DTM_hillshade) vo formáte TIFF, oba v priestorovom rozlíšení 1 m. Pri používaní údajov upravených nástrojom *lastile* je pri tvorbe digitálneho modelu potrebné aktivovať funkciu „use tile bounding box“, aby softvér do výpočtu zakomponoval aj vzájomné prekrytie jednotlivých dlaždíc, čím sa predíde vzniku artefaktov na ich okrajoch. Taktiež vzhľadom na reprezentovaný jav je potrebné zvoliť, či ide o elevation, slope, hillside shading a pod. Príklad zápisu v príkazovom riadku nástroja *blast2dem*:

```
blast2dem -lof file_list.txt -step 0.5 -intensity -use_tile_bb -odir "D:\Sasak\RASTER_DLAZDICE\DMI" -otif
```

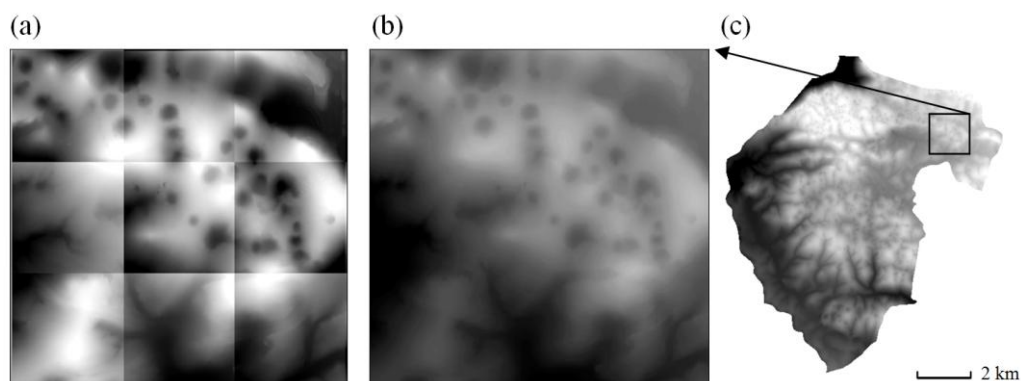
3.3 Spojenie dlaždíc rastrových digitálnych modelov povrchov do jednoliateho celku

Digitálne modely vytvorené nástrojom *blast2dem* nebolo možné z vizuálneho a technického hľadiska klasifikovať ako vhodné vstupné dáta pre ďalšie analýzy. Dôvodom bol fakt, že ani jeden z týchto modelov nezobrazoval daný jav ako jeden homogénny celok, ale ako mozaiku dlaždíc s viditeľným ohraničením (Obr. 4a). Použitý nástroj *blast2dem* síce umožňuje spojiť dlaždice do jedného celku, avšak iba v komerčnej verzii, s ktorou sme nepracovali. Preto sme použili alternatívne riešenie, ktoré poskytuje knižnica GDAL. GDAL (Geospatial Data Abstraction

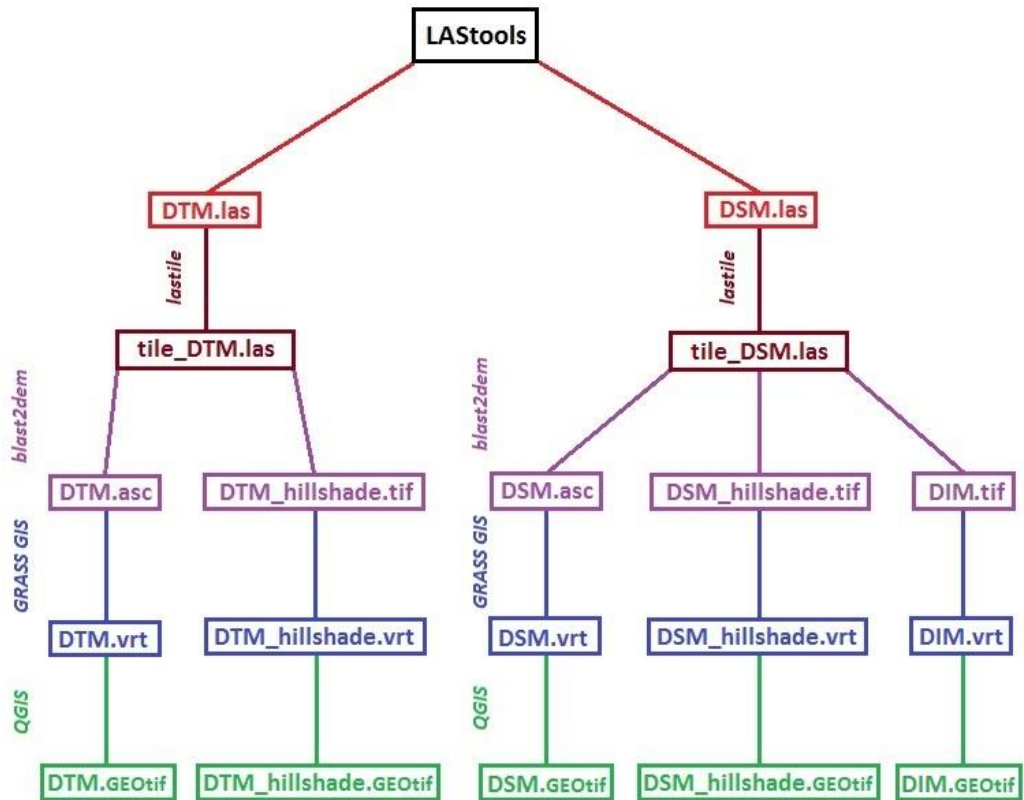
Library) je knižnica určená na čítanie a zápis rastrových a vektorových geopriestorových dátových formátov (GDAL, 2015). V open source softvéri GRASS GIS funguje ako zásuvný modul - plugin, určený na konverziu a spracovanie dát. Pomocou tejto knižnice sme z digitálnych modelov vo formáte ASCII a TIFF vytvorili virtuálny raster (VRT), ktorý je vlastne indexom (zoznamom) odkazujúcim na jednotlivé mozaiky rastrov (Obr. 4b). Na to slúži príkaz *gdalbuildvrt* pre príkazový riadok, kde je potrebné zadať názov výstupného súboru a cestu s umiestnením vstupných dát. Príklad zápisu príkazu *gdalbuildvrt*:

```
gdalbuildvrtDSM_hillshade.vrt  
D:/Sasak/RASTER_DLAZDICE/DSM_hillshade/*.tif
```

Výstupné súbory vo formáte VRT sme zobrazili v programe QuantumGIS a uložili ako jednoliatý digitálny rastrový model vo formáte GeoTIFF bez interpolačných artefaktov, vhodné na vykonávanie ďalších analýz. Celý metodický proces tvorby digitálnych modelov znázorňuje Obr. 5.



Obr. 4 Výsledný raster digitálneho modelu terénu (1500 x 1500 m) ako súboru dlaždíc (a) z *blast2dem*, (b) ako jednoliaty virtuálny raster VRT v QuantumGIS a (c) v zobrazení celého územia.



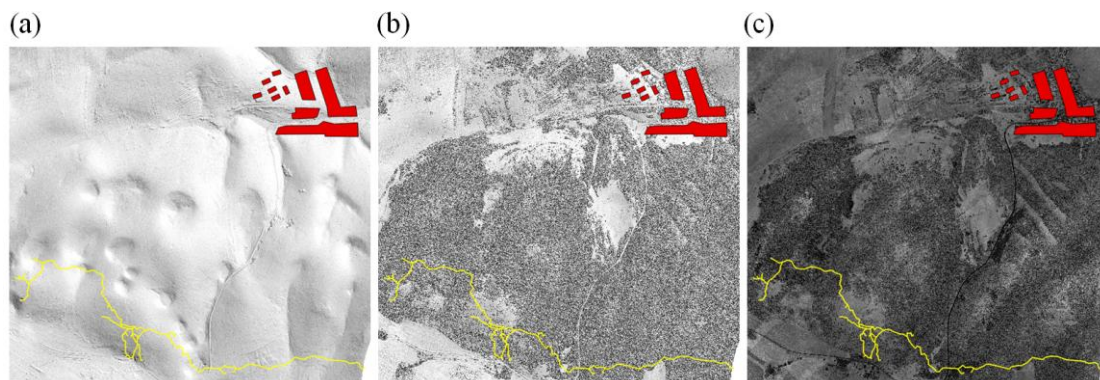
Obr. 5 Postup tvorby rastrových digitálnych modelov povrchov v open-source prostredí.

4 Výsledné digitálne modely a ich analýza

V predchádzajúcej kapitole bol predstavený metodický postup, ktorého výsledkom sú jednoliate rastrové dáta reprezentujúce povrch krajiny. Spracovaním dodaných údajov leteckého laserového skenovania sme vytvorili päť digitálnych modelov: digitálny model terénu (DTM) a z neho odvodený tieňovaný model (DTM_hillshade), digitálny model povrchu krajinej obálky (DSM), taktiež s odvodeným tieňovaným modelom (DSM_hillshade) a napokon digitálny model intenzity odrazu (DIM). Tieňované modely slúžia predovšetkým k vizuálnej analýze povrchových foriem. Digitálny model povrchu krajinej obálky (DSM) môže slúžiť ako podklad pre stanovenie využívania územia, pre určenie rozlohy zastavaného územia, poľnohospodárskej pôdy, lesných porastov a pod. Digitálny model intenzity odrazu

(DIM) zase môže poslúžiť pri analýze druhového zloženia lesa, poškodenia lesa škodcami a chorobami, pri stanovení vlhkosti pôdy a pod. Tieto modely sú preto užitočným zdrojom informácií pre osoby a inštitúcie rôzneho, nie len geografického zamerania. Celkovo tvorba jednej sady digitálnych modelov v rozlíšení 1x1 m vrátane predspracovania pomocou *lastile*, trvala približne 200 minút, bola však plne automatizovaná. Výsledné tri modely (DTM, DSM, DIM) sú hotovým produktom pripraveným pre ďalšie spracovanie v GIS (Obr. 6). Hoci možno daný dataset spracovať aj inými postupmi napr. v ArcGIS alebo GRASS GIS, prezentovaný postup je oveľa jednoduchší a efektívnejší.

Digitálny model terénu (DTM) ako model nadmorských výšok je vhodným podkladom pre rôzne analýzy. Použili sme ho na odvodenie morfolometrických parametrov - orientácie voči svetovým stranám (*aspect*) a sklonu (*slope*) v softvéri GRASS GIS, pomocou príkazu *r.param.scale*, kde sme zároveň definovali veľkosť okna 7x7 buniek, čím sme zabezpečili hladší priebeh reliéfu u oboch vzniknutých modeloch. DTM bol vytvorený v priestorovom rozlíšení 1x1m, čo predstavuje vysokú úroveň detailu, predovšetkým, ak má byť model použitý pri hydrologických analýzach. Preto sme sa rozhodli vytvoriť nový DTM použitím rovnakého postupu ako pri pôvodnom modeli, avšak v priestorovom rozlíšení 2x2m. Následne sme nový rastrový model mohli použiť pri modelovaní povrchového prúdenia vody a pri modelovaní povodí. V prostredí GRASS GIS na to slúžia príkazy *r.flow* a *r.watershed*, ktoré produkujú dáta vo vektorovom aj rastrovom formáte zobrazujúce smer prúdenia, oblasti akumulácie vody, povodia a mnohé iné (Burian et al., 2015) Treba poznamenať, že vysoká úroveň detailu vstupného DTM kladie vysoké nároky na operačnú pamäť, čo predlžuje čas výpočtu rádovo aj na niekoľko desiatok minút v závislosti od výkonnosti použitého hardvéru.



Obr. 6 Vizualizácia digitálnych rastrových modelov (2000 x 2000 m): a) DTM b) DSM c) DIM s lokalizovanou jaskyňou Domica (—) a obcou Kečovo (■).

Záver

Letecké laserové skenovanie je jedna z metód diaľkového prieskumu Zeme produkujúca veľké množstvo dát o krajine, ktorých spracovanie vyžaduje osobitý prístup z hľadiska ich ďalšieho využitia v GIS. V našom príspevku sme sa zaoberali spracovaním takýchto dát a to konkrétne pomocou softvérovej sady LAStools (Isenburg, 2014). Použitím dostupných nástrojov *lastile* a *blast2dem* sme približne z 10 miliárd bodov na ploche 68km² vytvorili digitálne modely v rozlíšení 1m pre DTM a DSM a 0,5m pre DIM. Kľúčovým faktorom spracovania LLS dát pre digitálne mapovania povrchov bola tvorba digitálnych modelov pre menšie štvorcové územia. Tieto rozdeľovali celú oblasť na 325 štvorcových dlaždíc s prekryvnou zónou 50 metrov. Pre spojenie dlaždíc do jednotného a jednoliatého celku sme využili nástroj knižnice GDAL a prostredie GRASS GIS za účelom tvorby virtuálneho rastra (VRT). Ich transformáciou na GeoTIFF súbory v geografickom informačnom systéme Quantum GIS sme získali výsledné rastrové digitálne modely terénu, povrchu krajiny obálky a intenzity odrazu. S týmito výslednými rastrovými produktmi už možno jednoducho pracovať v prostredí ArcGIS alebo GRASS GIS. Hlavným prínosom tohto výskumu je teda metodologický postup, ktorým možno efektívne odvodiť digitálne modely povrchov pre spracovanie v GIS. Analýzy digitálneho modelu terénu v GRASS GIS boli zamerané na výpočet morfometrických parametrov a hydrologických charakteristík daného územia. Použitím príkazu *r.watershed* sme skúmané územie rozčlenili na jednotlivé povodia, ktoré reprezentujú teoretický (ideálny) povrchový odtok vody. Nakoľko ide o krasové územie s množstvom depresných foriem a špecifickým režimom infiltrácie, tento model posluží ako základ pre analýzu genézy krasovej krajiny v okolí jaskyne Domica. Ďalší výskum sa bude orientovať na nastavenie vhodných parametrov pre modelovanie povodí a viacmierkové analýzy DTM.

Pri každom takomto spracovaní lidarových dát je dôležité mať na pamäti, že sa jedná o kapacitne veľké dátové súbory. Veľkosť vstupných dát zase priamoúmerne ovplyvňuje dĺžku výpočtov pri jednotlivých analýzach.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci výskumného projektu APVV-0176-12: Nové metódy priestorového modelovania pomocou laserového skenovania a 3D GIS-u (SPATIAL 3D).

Moje pod'akovanie patrí Mgr. Michalovi Gallayovi, PhD. za odborný prístup, cenné rady a praktickú pomoc pri tvorbe tohto príspevku.

Literatúra

- BALTSAVIAS, E., 1999: Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *Photogrammetry and remote sensing*, 54, 199 - 214.
- BURIAN, L., JENČO, M., RUSNÁK, M., 2015: *GRASS GIS: Geovedné aplikácie*. Bratislava (Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta).
- CARTER, J., SCHMID, K., WATERS, K., BETZHOLD, L., HADLEY, B., MATAOSKY, R., HALLERAN, J., 2012: *Lidar 101: An introduction to lidar technology, data and applications*. Charleston (National oceanic and atmospheric administration) [online].
<http://coast.noaa.gov/digitalcoast/_/pdf/lidar101.pdf>
- GALLAY, M., 2013: Direct Acquisition of Data: Airborne laser scanning. In: Clarke, L., ed. *Geomorphological Techniques*. London (British society for Geomorphology), pp. 90 - 106.
- GDAL - Geospatial Data Abstraction Library [online]*.
<<http://www.gdal.org/>>
- Gdalbuildvrt tutorial [online]*.
<<http://www.gdal.org/gdalbuildvrt.html>>
- HOFIERKA, J., KAŇUK, J., GALLAY, M., 2014: *Geoinformatika*. Košice (Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Prírodovedecká fakulta).
- ISENBURG, M., 2014: LAStools Tutorial. *LAStools [online]*.
<<http://rapidlasso.com/category/tutorials/>>
- Large raster data processing. *GRASS-Wiki [online]*.
<http://grasswiki.osgeo.org/wiki/Large_raster_data_processing>
- LAS specifications. *The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing [online]*.
<http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_3_r11.pdf>