



LiDAR – Pořizování 3D dat

Študijné materiály

Tomáš Tencer

2012

Obsah

Základy.....	2
Princíp.....	4
Spracovanie dát.....	7
Vizualizácia dát.....	11
Literatúra:.....	12
Videa:.....	13
WWW:.....	13

LiDAR (z anglického Light Detection And Ranging) je aktívna metóda diaľkového prieskumu zeme (DPZ, anglicky Remote Sensing). Využíva sa na meranie vzdialeností. Na jej získanie je využívaný odraz laserového lúča. Z prístroja je vyslaný lúč smerom k meranej ploche, pričom sa meria čas kedy sa lúč odrazí späť do prístroja (Wikipedia contributors, 2013). Pomocou tejto metódy je možné získať údaje pre tvorbu výškopisného modelu krajiny.

- ☉ Prístroj zisťuje vzdialenosť medzi prístrojom a cieľom. Meria časový interval, ktorý uplynie od vypustenia lúča k jeho návratu vo forme odrazu.

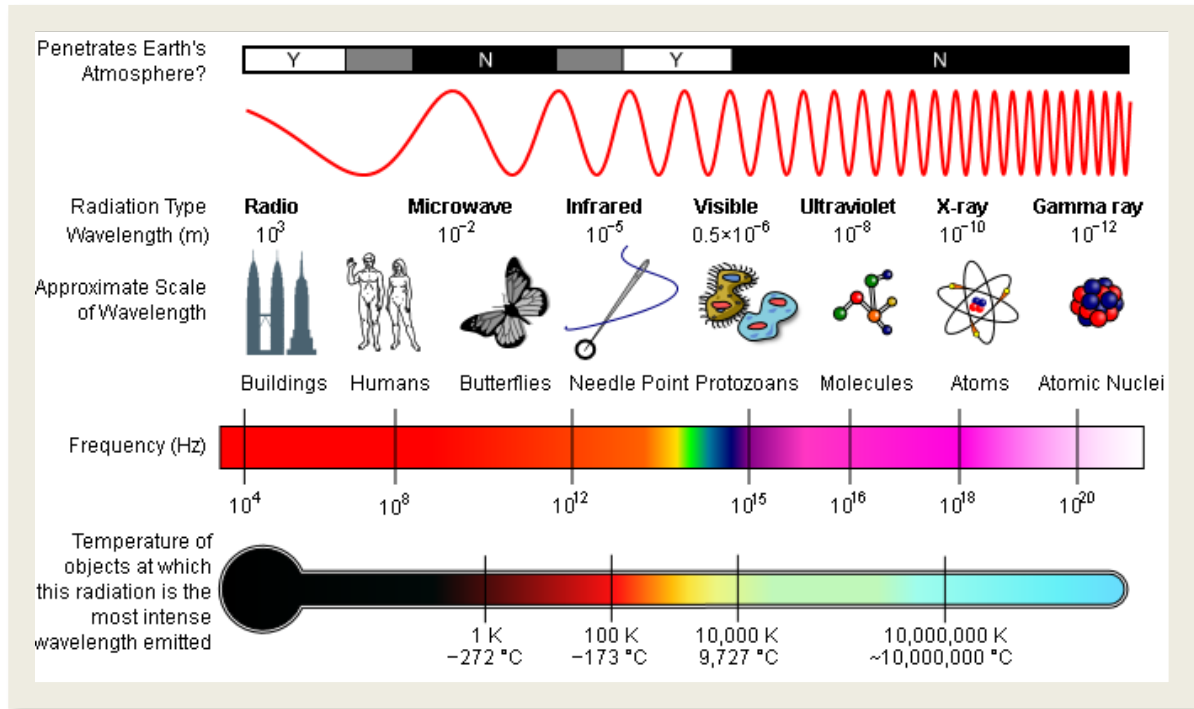


Figure 1 - Elektromagnetické spektrum (wikipedia.org)

Základy

Za vznikom tejto metódy stojí celý rad jednotlivých vynálezov. LiDAR podobne ako RADAR pracuje na princípe vysielania a prijímania vln. V prípade lidarů ide najčastejšie o vlny s vlnovou dĺžkou od 1064 do 1540 nm. Tieto sa nachádzajú v oblasti blízko infračerveného svetla (angl. NIR – Near-Infrared). RADAR naproti tomu pracuje s vlnami rádiovými (angl. Radio Detection And Ranging). Rádiové vlny majú vlnovú dĺžku od niekoľkých centimetrov po desiatky metrov, sú teda mnohonásobne dlhšie ako vlny z blízkosti červeného spektra. Práve malá vlnová dĺžka svetelného lúča umožňuje využívať LiDAR na získavanie presných meraní, čo pri radare nie je možné.

Laserové skenovanie sa v podstate delí na pozemné (TLS – Terrestrial Laser Scanning) a letecké (ALS – Airborne Laser Scanning) .



Figure 2 - Ukážky aplikácií TLS a ALS

Pozemné meranie je vhodnejšie na meranie objektov či malých úsekov krajiny. Letecké je naproti tomu priamo určené na projekty zasahujúce veľké plochy, či plochy a objekty ťažko prístupné z povrchu. Pre oba termíny (ALS a TLS) sa používa skratka LiDAR. Jedná sa o rovnakú technológiu, pričom rozdiel je iba v aplikácií.

Podľa druhu použitého laseru môžeme skenovanie rozlišovať na „klasické“ skenovanie používajúce najčastejšie červený laser a „podvodné“ - **Bathymetrické** skenovanie. Bathymetry LiDAR využíva zelený laser vďaka jeho vlastnosti penetrovať vodu. Použitie červeného lasera pre meranie hĺbky dna je nevýhodné, keďže červený laser neprechádza vodou s dostatočnou intenzitou. V nasledujúcom texte presunieme pozornosť na skenovanie červeným laserom.

Vývoj LiDARu začal už po 2 svetovej vojne, avšak až kombinácia s navigačným systémom umožnila plné využitie jeho potenciálu na veľmi presné mapovanie krajiny. Prvé komerčné riešenia LiDARu sa objavili až v 90 rokoch 20. stor. V súčasnosti je metóda laserového merania LiDAR aplikovaná v širokej škále odvetví (archeológia, astronómia, bezpečnosť, biológia, doprava, ekológia, geodézia, geológia, meteorológia, poľnohospodárstvo či diaľkový prieskum zeme).

Princíp

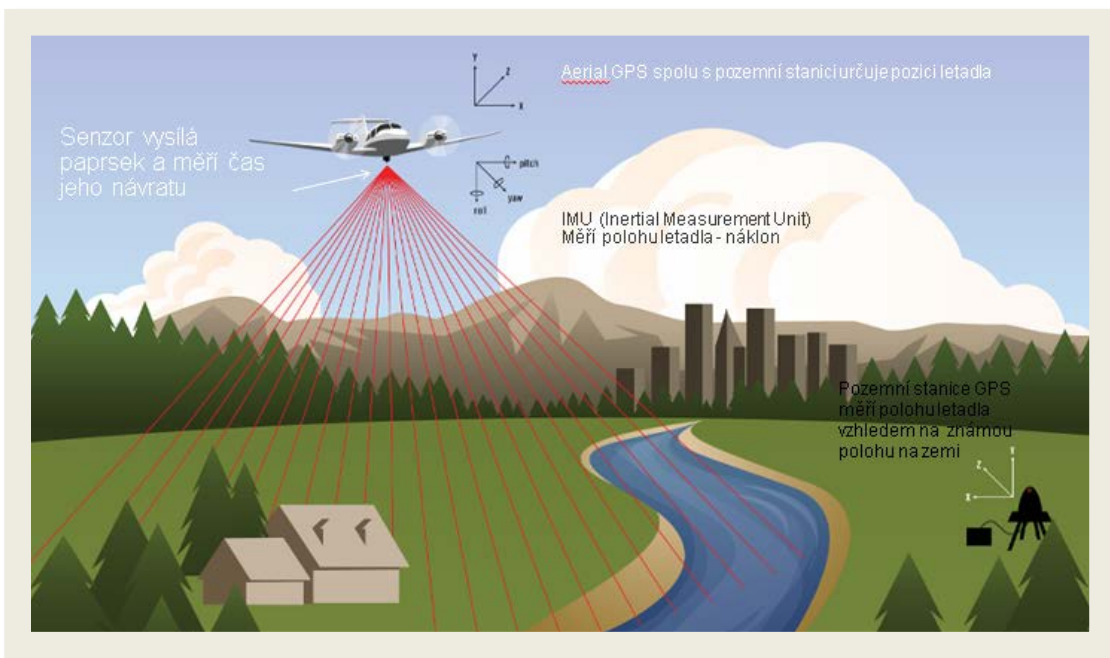


Figure 3 - Princíp fungovania lidar (sanborn.com)

LiDAR je technológia, ktorá kombinuje veľmi presné meranie laserovým lúčom a presné určovanie polohy pomocou navigačných systémov. Na obrázku vyššie (Figure 3) je schematicky zobrazený princíp fungovania ALS LiDARu. Prístroj umiestnený na platforme¹ vysiela lúč smerom k meranému objektu (odrazovej ploche). Súčasne s vyslaním sa spustí časomera, ktorá meria dobu za akú sa lúč po odrazení od meranej plochy vráti späť do prístroja. Keďže rýchlosť svetla je vo všeobecnosti známa (približne 300 miliónov m/s – 1) a čas je zaznamenaný, potom vieme vzdialenosť vypočítať podľa jednoduchšej rovnice.

$$\text{vzdialenosť} = \frac{\text{rýchlosť} \times \text{čas}}{2}$$

K určaniu presnej polohy meraného bodu sa používa kombinácia globálneho navigačného systému (GNSS)² s prístrojom určujúcim presnú polohu a rýchlosť lietadla (IMU)³. Bez kombinácie týchto

¹ Najčastejšie sa ako nosič (platforma) používa lietadlo. Aplikácie s helikoptérou či diaľkovo ovládaným nosičom (UMV – Unmanned Vehicle) nachádzajú uplatnenie v končinách bez potrebnej infraštruktúry či v prípadoch, keď je rýchlosť preletu lietadla príliš vysoká a neumožňuje dostatočne detailné meranie.

² GNSS – (angl. Global Navigation Satellite System) – Globálny družicový polohový systém je služba umožňujúca pomocou družíc autonómne priestorové určovanie polohy s celosvetovým pokrytím. (Wikipedia contributors, 2013a)

³ IMU – (angl. Inercial Measurement Unit) – je zariadenie merajúce a zaznamenávajúce rýchlosť, orientáciu a náklon. (Wikipedia contributors, 2013b)

informácií by nebolo možné presne určiť polohu lietadla v momente vyslania a prijatia laserového lúča a následne tak vypočítať polohu zmeraného bodu. Počítanie vzdialenosti na základe času, ktorý potrebuje svetlo na cestu k cieľu a späť v kombinácii s presnými GNSS a IMU údajmi, umožňuje lokalizovať merané body s presnosťou 10-15cm v horizontálnom aj vertikálnom smere.

Samotné skenovanie prebieha postupne (jednotlivo), avšak veľmi rýchlo. Behom sekundy je prístroj schopný zmerať až 200 tis. bodov. Lietadlo sa pohybuje zvyčajne vo výške od 300 do 5000 m. Táto výška zabezpečuje dostatočnú detailnosť merania pri rozumnom pokrytí⁴ (Figure 4).

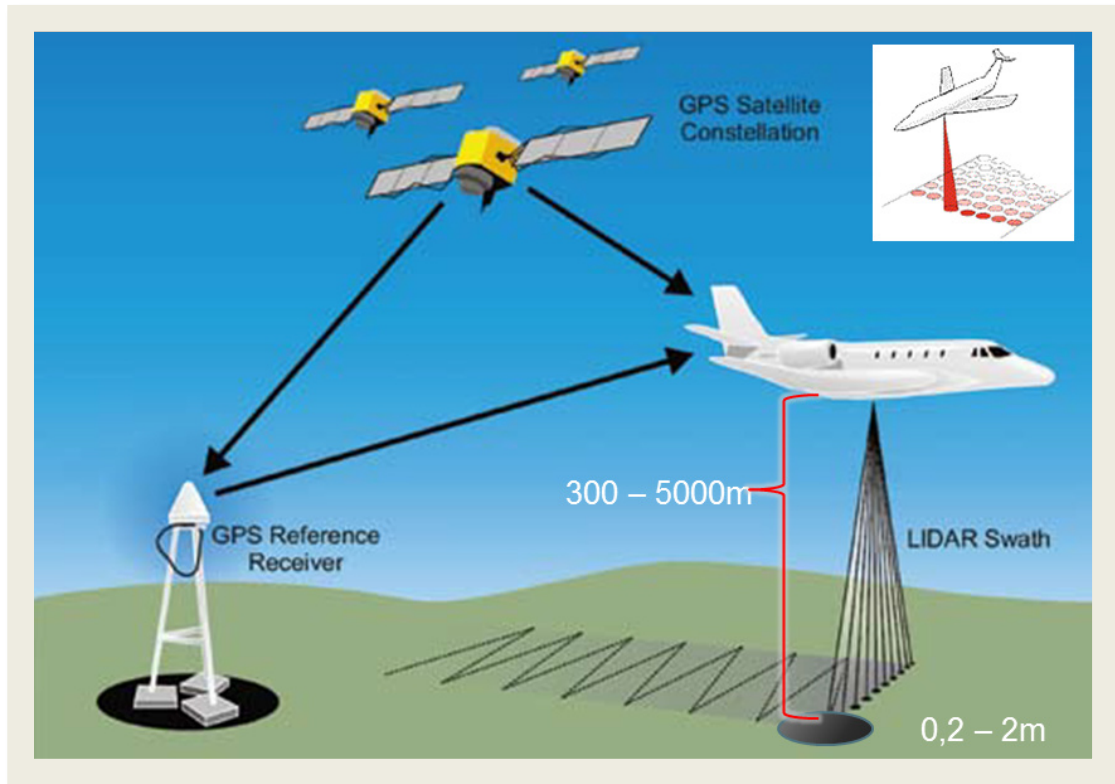


Figure 4 - Princíp skenovania z lietadla (Holden et al., 2002).

Jednotlivý lúč svetla sa v smere od zdroja rozširuje a dopadá na povrch vo forme kužeľa. Veľkosti plochy, ktorú na zemi lúč pokryje sa hovorí **footprint** (otlačok). Priemer tohto otlačku závisí od výšky letu a pohybuje sa medzi hodnotami 0,2 až 2m.

Lúč postupne prechádza atmosférou a pri dopade na nepriepustnú plochu sa odrazí. Tento odraz je zachytený senzorom a časomiera je vypnutá. Takýto prípad je možný iba za ideálnych podmienok vo

⁴ Aj napriek skutočnosti, že výdaje na letovú hodinu nie sú najdrahšou položkou z celkovej ceny, je rozumné napláňovať si počet preletov a prekrytie skenovaných pásov. Atmosférické podmienky môžu nepriaznivo ovplyvniť zber dát a skomplikovať ich vyhodnocovanie. Zbytočne dlho trvajúce skenovanie je tak viac náchylné k chybám, nehovoriac o ekologickej záťaži.

vákuu. V skutočnosti sa lúč odráža už pri prechode atmosférou⁵, v korunách stromov a od okolitých budov. Na holú zem tak dopadá úplne nakoniec už iba zvyšok pôvodnej energie, ktorá bola z prístroja vyslaná. Tieto odrazy nazývame echá. Práve skutočnosť, že niektoré lúče či ich časť dopadne až na zemský povrch je úspešne využívaná pri tvorbe DTM⁷ v zalesnených oblastiach.

V súčasnosti je väčšina prístrojov schopná zaznamenať celú škálu odrazov (angl. echo). Hovoríme o **fullwave LiDAR**. Oproti starším skenerom, ktoré zaznamenávali väčšinou iba prvý a posledný odraz, fullwave skenery dokážu zachytiť omnoho väčšie množstvo informácií o charaktere povrchu.

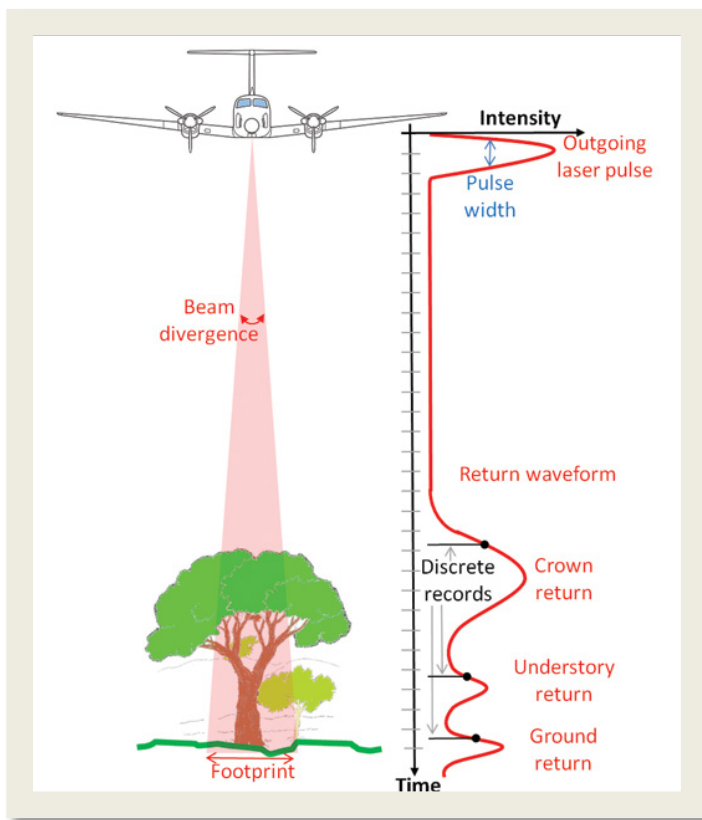


Figure 5 - Fullwave Lidar

V praxi sa však zatiaľ stále používa prvý a posledný odraz. Prvý odraz je väčšinou odrazom z korún stromov, posledný odraz je zo zemského povrchu. Pri vyhodnocovaní dát je tak informácia o jednotlivých odrazoch použitá k tvorbe výškopisných modelov krajiny. Prvý je použitý k tvorbe digitálneho modelu povrchu (**DSM**)⁶ a posledný k modelu terénu (**DTM**)⁷.

⁵ Atmosférickými korekciami je možné straty a chyby, ktoré tieto odrazy v atmosfére spôsobujú, minimalizovať.

⁶ DSM – z anglického Digital Surface Model – reprezentuje súčasný povrch, obsahuje všetky jeho prvky (budovy, vegetáciu).

⁷ DTM – z anglického Digital Terrain Model – je model holej zeme. Často sa uvádza aj skratka DMR – digitálny model reliéfu.

Okrem polohopisných súradníc miesta odrazu sú zaznamenané aj informácie o **intenzite odrazu**⁸. Inými slovami, koľko z pôvodného lúča sa odrazí smerom späť. Táto hodnota je závislá od množstva parametrov a je nutná kalibrácii, vzhľadom k výške letu, atmosférickým podmienkam atď. Z intenzity odrazu je možné vypočítať odrazivosť materiálu a výrazne tak pomôcť pri interpretácii dát z merania. Na základe intenzity odrazu je možné identifikovať typ materiálu (beton, vegetácia, zem, voda a iné). Zobrazenie výsledkov merania prostredníctvom intenzity odrazu je podobné panchromatickej kolmej fotke⁹.

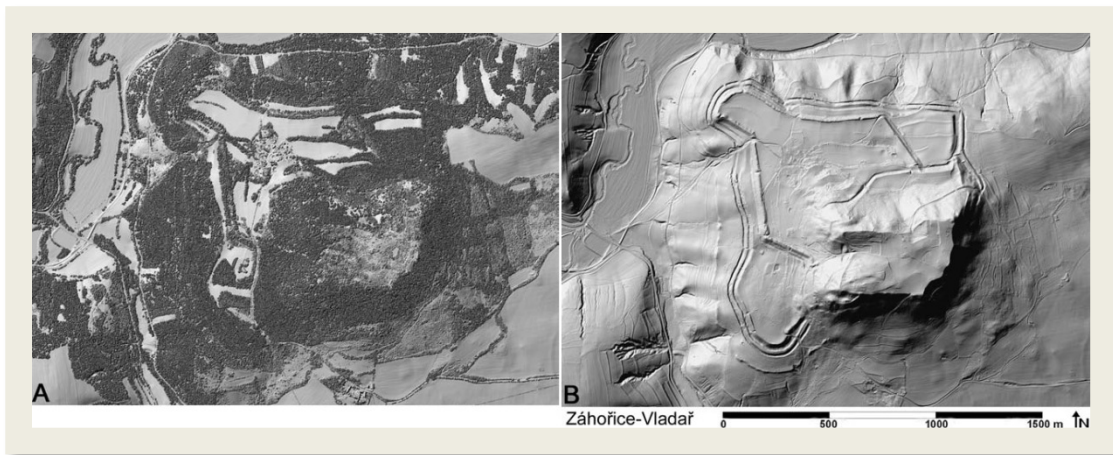


Figure 6 - Rozdiel medzi digitálnym modelom povrchu DSM (A) – digitálnym modelom terénu DTM (B) (John, 2011, s. 2)

Vyššie spomenuté faktory ako výška a rýchlosť letu, aktuálna presnosť navigácie či veľkosť footprintu výrazne ovplyvňujú kvalitu a presnosť merania. Preto je treba dbať na správnu/vhodnú kombináciu pomeru ceny a výkonu. V súčasnosti lidarové prieskumy dosahujú presnosti okolo 10 cm. Pri intenzívnych projektoch na malej ploche je možné dosiahnuť pokrytie až 60timi bodmi na m². Pričom hustota 1-4 bodov je v praxi pre archeologické účely dostačujúca a vo výsledku dokáže identifikovať väčšinu reliktov.

Spracovanie dát

Rýchlosť v kombinácii s obrovskou hustotou, s akou laserové skenovanie meria a zaznamenáva polohu jednotlivých bodov v krajine, prináša obrovské množstvo dát. Tieto dáta treba spracovať, vizualizovať a archivovať.

Výsledkom merania je mračno bodov, ktoré sa po spracovaní môže [interpolovať](#) do podoby [digitálneho modelu povrchu](#) či 3D modelov budov a iných objektov. Po aplikácii filtrov je možné z mračna bodov získať [digitálny model terénu](#).

⁸ Základné informácie intenzity odrazu: (Crutchley, 2010, s. 7)

⁹ Panchromatická (čiernobiela) fotka – vzniká záznamom celého viditeľného spektra do jedného obrazového pásma. Výsledkom je fotka v rôznych stupňoch šede, ktorá je vizuálne pre bežného užívateľa na nerozoznanie od čiernobielej fotografie.

Za základný výmenný formát lidarových dát možno považovať formát LAS. Obsahuje informácie o číslach bodu v jeho súradniciach (X,Y,Z), prípadne o intenzite odrazu. Tento súbor predstavuje celé mračno bodov (**point cloud**). Obsahuje všetky zmerané body. Výhodou je, že nedochádza k redukcii dát, avšak vizuálna interpretácia takéhoto súboru je značne náročná. Vo väčšine prípadov je point cloud prevedený do podoby povrchu (**surface**).

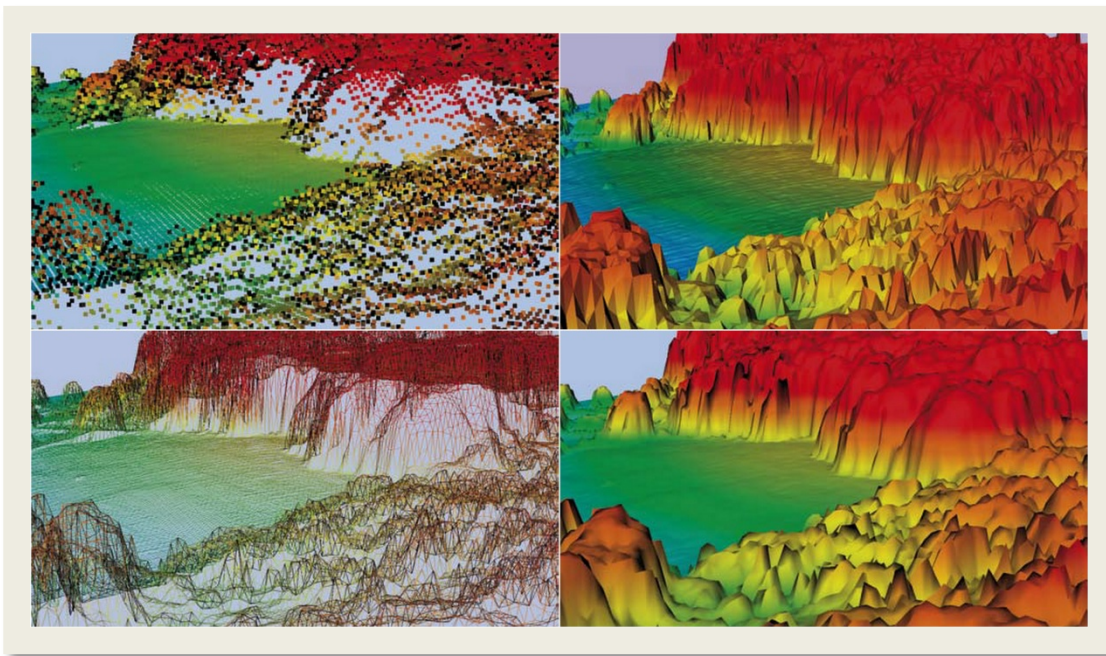


Figure 7 - ukážky Pointcloud; TIN; drôtený model; surface grid (Crutchley, 2010).

Existujú 2 základné typy povrchu: **TIN** (Triangulated Irregular Network¹⁰) a **Raster surface**. Prvý spomenutý je tvorený bodmi, ktoré sú pospájané hranami do vzájomne sa neprekrývajúcich rôznostranných trojuholníkov. Oproti rastrovému formátu je manipulácia s ním zložitejšia. Rastrový povrch často tiež nazývaný **grid**, uchováva informáciu od polohy bodu vo forme pravidelnej mriežky. Hodnoty sú interpolované¹¹ a existuje celý rad formátov a pre ich uchovávanie. Vo všeobecnosti nástroje GIS sú schopné pracovať s väčšinou z nich. Hlavnou výhodou je jednoduchá vizualizácia výsledkov a kompatibilita s programami GIS. Problematickou je práve strata pôvodných informácií pri interpolácii. V prípade, že je pôvodná hustota bodov z lidar 1 bod na m² a výsledný grid je tvorený bunkami s veľkosťou 0,5m, nastáva situácia kedy až 75% bodov je dopyčovaných. Vo výsledku sú tak dáta skôr vypočítané ako zmerané. V praxi sa odporúča pri interpolácii neprekročiť pomer 50%¹².

¹⁰ informácie o TIN: (Crutchley, 2010, s. 10), alebo [tu](#)

¹¹ Interpolácia je výpočet nových hodnôt z existujúcich informácií podľa stanovených pravidiel. V našom prípade sa jedná o výpočet novej hodnoty bodu na základe hodnôt bodov ležiacich v jeho blízkosti. Viac informácií: [tu](#), alebo [tu](#)

¹² Nie viac ako 50% bodov je výsledkom interpolácie. Napríklad ak na 1 m² máme 2 body, tak pri rastre s bunkou 50 cm je počet vypočítaných a meraných bodov rovnaký (50:50).

Najčastejším produktom lidarového prieskumu je výškopisný model (DEM - z angl. Digital Elevation Model). DEM je všeobecný názov pre rastrový súbor, ktorého hodnota bunky predstavuje jej eleváciu (nadmorskú výšku). Termíny DTM a DSM potom predstavujú aký typ krajiny daný DEM reprezentuje.

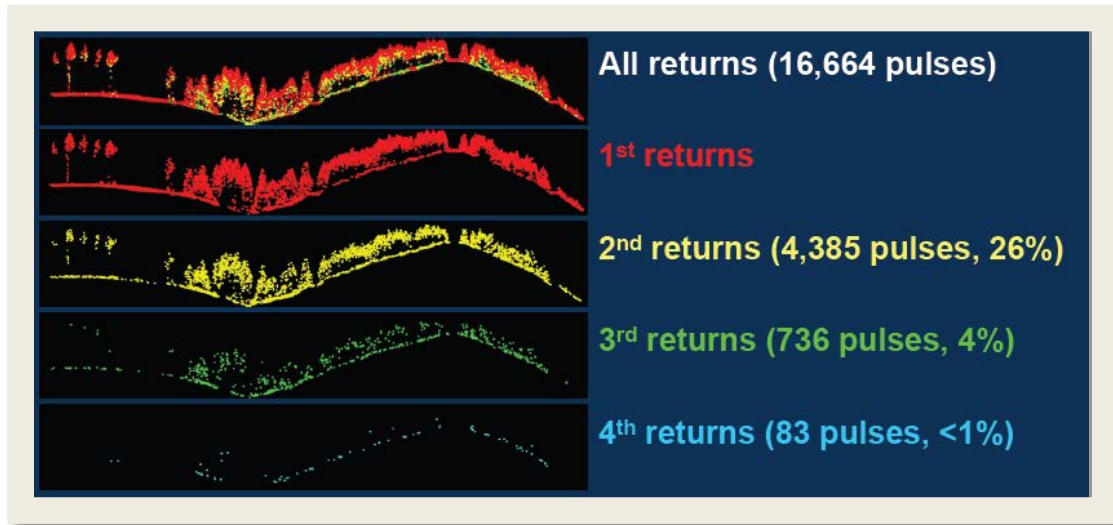


Figure 8 - Príklad mozej filtrácie na základe poradia odrazov. (wiki.cs.vsb.cz)

Model povrchu (DSM) je tvorený najčastejšie z prvých odrazov laserového lúča. Reprezentuje povrch krajiny so všetkými jej prvkami napr. vegetáciu, budovy, komunikácie atď. Naproti tomu DTM predstavuje krajinu bez týchto prvkov. Model tzv. holej zeme je výsledkom interpolácie hodnôt získaných z posledných odrazov. DTM sú vhodné na plánovanie a analýzy terénu v lesoch kde je konvenčne zameriavanie pomocou geodetických prístrojov extrémne náročné a komplikované. Existuje celý rad algoritmov ako správne interpolovať hodnoty z týchto bodov pre celé plochy a vytvoriť tak čo najpravdepodobnejší obraz reliéfu zeme. Treba však mať na pamäti, že pri filtrovaní sa môžu stratiť potenciálne dôležité informácie.

Obecne sa odporúča používať DSM pre plochy bez vegetácie a DTM pre oblasti, kde hustota vegetácie neumožňuje vidieť zemský povrch. Avšak práve v lesoch treba každú informáciu podrobiť validácii a kritike. Spracovanie dát z LiDARu je časovo najnáročnejšou časťou celého prieskumu. Vyššie spomenuté posledné odrazy často práve v lesoch reprezentujú kmene stromov a nie holú zem. Je preto nutné tento predbežný výsledok filtrovať a vyhladiť. Práve v tejto fáze sa však môže stratiť informácia o archeologicky zaujímavých miestach. Na druhú stranu odstránením vegetácie a precíznosťou je možné odhaliť terénne reliktu, ktoré by inak nášmu oku unikli (Figure 9).

Je teda namieste vždy vyžadovať od poskytovateľa všetky **metadata** a **paradata**¹³ o modeloch, prípadne si zaznamenávať všetky informácie do metadát sami.

¹³ Metadata sú dáta o dátach - wikipedia; Paradata sú informácie o procesoch vzniku dát - wikipedia

Z celého spektra programov na spracovanie dát možno pre začiatok odporučiť open-source program LAStools (Iseburg, 2013) a komerčný balík ArcGIS (ESRI, 2011).

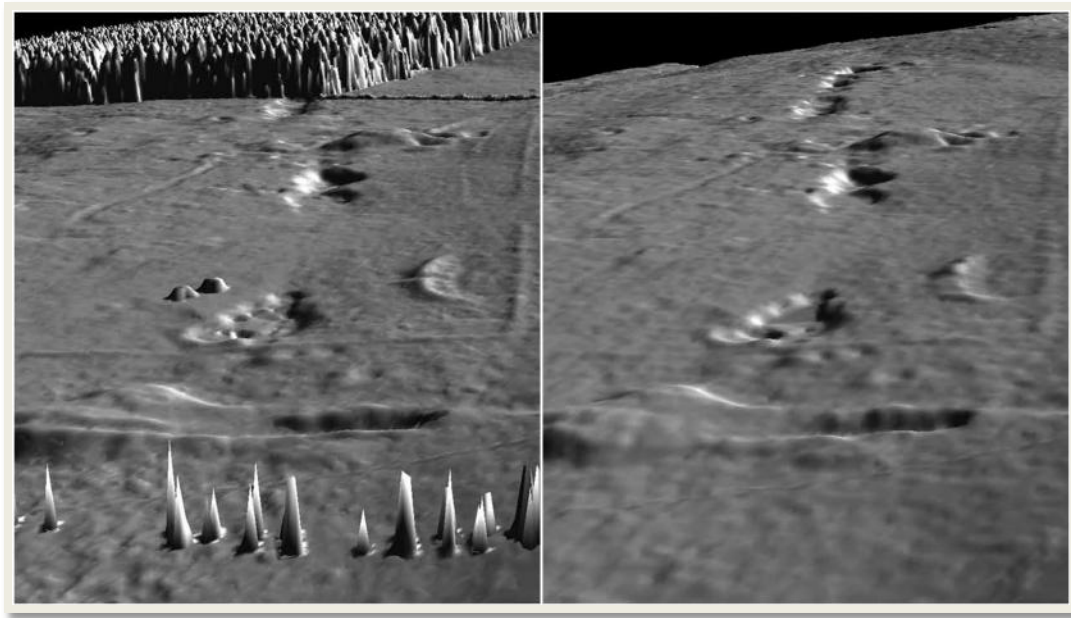


Figure 9 - Porovnanie DSM a DTM – za povšimnutie stojí, že odstránením stromov sa zjemnil aj detail archeologických štruktúr. (Crutchley, 2010, s. 13)

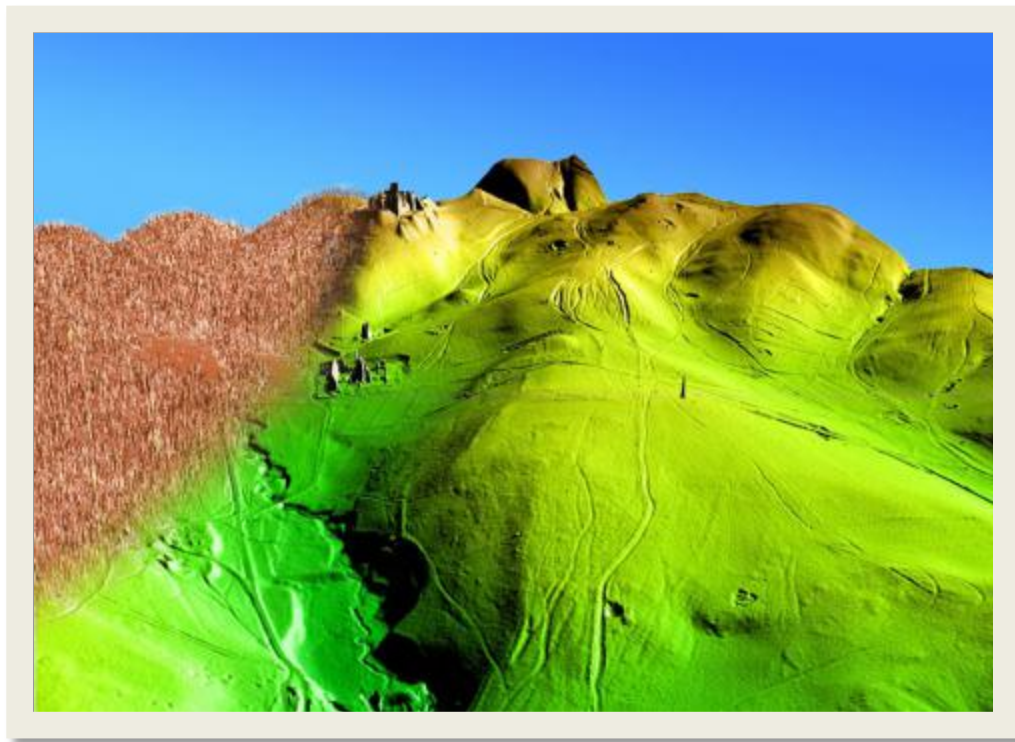


Figure 10 – Zalesnená oblasť St. Anna in der Wüste pred filtráciou (DSM) a po (DTM); (Doneus & Löcker, [LBI-ARCHPRO](#))

Vizualizácia dát

Archeologická informácia, ktorá môže byť získaná z lidarových dát, je do veľkej miery závislá na metóde, akou tieto dáta zobrazujeme (Kokalj et al. 2012).

Medzi základné techniky patrí tieňovanie reliéfu (**hillshade**). Ide o najčastejší spôsob vizualizácie výškopisných modelov v archeológii. Hlavná výhoda je priama integrácia v GIS programoch a jednoduchá interpretácia a porozumenie. Jedná sa o simuláciu svetla dopadajúceho na povrch modelu pod určitým uhlom. Tieň vrhaný modelom následne odhalí možné štruktúry. Hlavná nevýhoda tieňovania je, že v prípade, ak je uhol dopadajúceho svetla paralelný napr. s lineárnou štruktúrou, tak potom tieň nevrhá a zostane neodhalená – čo zostane neodhalené?. Čiastočným riešením je tzv. **Multiple Hillshade**, ktorý predstavuje kombináciu jednotlivých hillshadov z rôznych smerov (najčastejšie 16-tich).

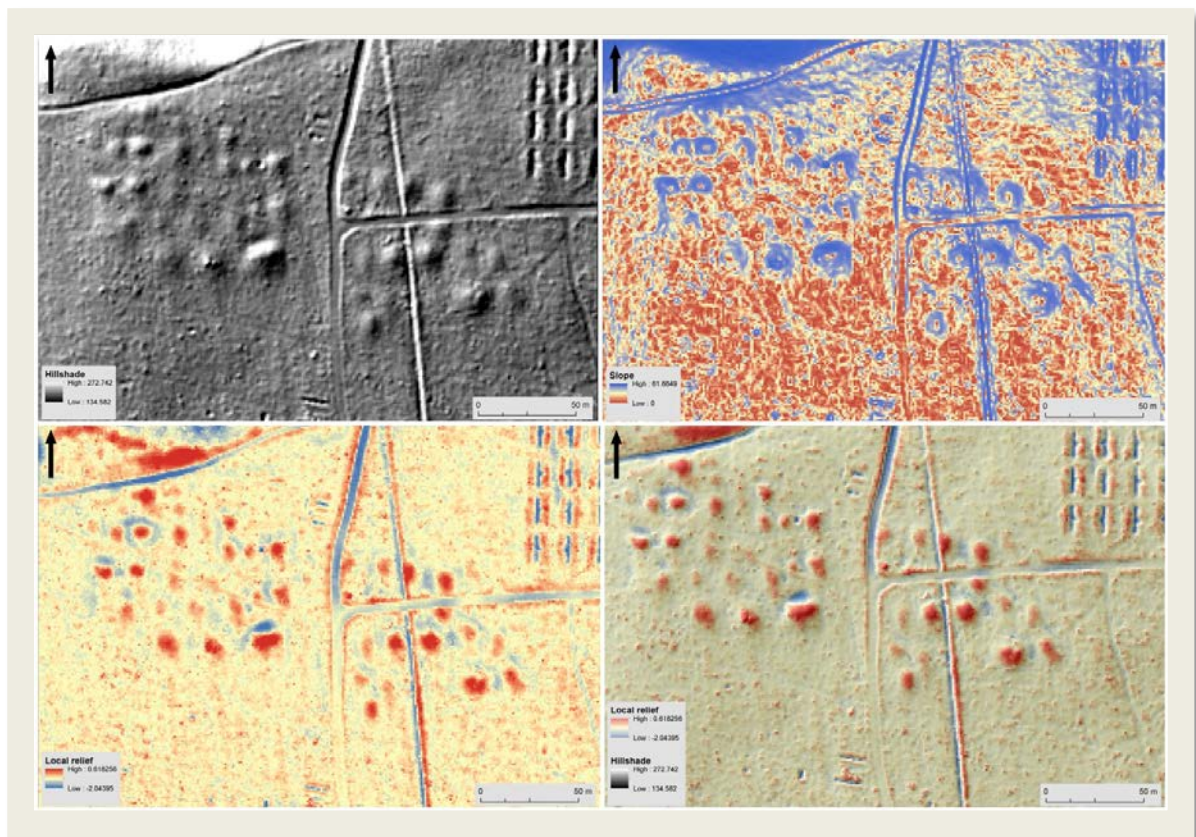


Figure 11- ukážky mozej vizualizácie, mohylník.

Ďalšou možnosťou je výpočet svahovitosti (**slope**). Podobne ako hillshade aj funkcia slope je priamo integrovaná do GIS programov a jej výpočet je veľmi jednoduchý. Výsledný obrázok jasne definuje najstrmšie svahy. Problémom je, že nie je možné rozlíšiť, či sa jedná o tvar konvexný (mohyla, val), či konkávny (priekopa, koryto). Preto je nutné ho používať v spojení napríklad s hillshadom.

Hojne využívanou metódou je zobrazenie tzv. **local relief**. Jednoduchým odčítaním výškopisného modelu od všeobecného trendu v oblasti sa zvýraznia nevýrazné štruktúry na úkor výrazných.

Komplexnosť dát ako aj špecifickosť archeologických reliktov kladie vysoké nároky na kvalitu interpretácie. Archeologické štruktúry sa často nachádzajú v členitom teréne a ich identifikácia v dátach je veľmi komplikovaná. Orientácia ako aj tvar je u komplexných štruktúr rôzna, je preto veľmi ťažké pomocou základných vizualizácií odhaliť všetky aspekty krajiny. Komplikovanejšie analýzy však vyžadujú hlbšiu a detailnejšiu znalosť problematiky skenovania a priestorových analýz¹⁴.

Literatúra:

- CRUTCHLEY, S. (2010): The Light Fantastic - Using airborne lidar in archaeological survey. – 43 pp. (English Heritage Publishing). Retrieved from www.english-heritage.org.uk/publications/light-fantastic/.
- DONEUS, M. Briesse, Ch. (2011): Airborne Laser Scanning in Forested Areas - Potential and Limitations of an Archaeological Prospection Technique. – in: Dave Cowley (Hg.): Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. Proceedings of the 11th EAC Heritage Management Symposium, Reykjavik, Iceland, 25-27 March 2010. pp. 60–76. Reykjavik (EAC). Retrieved from www.academia.edu.
- ESRI (2011): ArcGIS Desktop: Release 10. – . Redlands, CA (Environmental Systems Research Institute).
- GOJDA, M. (2006): Zaniklá krajina - pohled z výšky: Laserový skener v archeologii. – Vesmír, 85/říjen: 614–616. [PDF](#)
- GOJDA, M., JOHN, J. & STRAKOVÁ, L. (2011): Archeologický průzkum krajiny pomocí leteckého laserového skenování. Dosavadní průběh a výsledky prvního českého projektu. – Archeologické rozhledy, 63: 680–698.
- HESSE, R. (2010): LiDAR-derived Local Relief Models - a new tool for archaeological prospection. – Archaeological Prospection: 67–72.
- HOLDEN, N., HORNE, P. & BEWLEY, R. (2002): High-Resolution Digital Airborne Mapping and Archaeology. – In: BEWLEY, R.H. & RACZKOWSKI, W. (eds): Aerial Archaeology: Developing Future Practice. First Edition. – pp. 173–180.
- ISEBURG, M. (2013): LAsTools - efficient tools for LiDAR processing. – . Retrieved January 17, 2013, from lastools.org.
- JOHN, J. (2011): Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu. – in: KUCHARÍK, M., GÁL, L. & KOŠTIAL, J. (eds): Počítačová podpora v archeologii III. – pp. 24–28. Plzeň. Retrieved from uar.ff.jcu.cz.

¹⁴ Pre ukážky vizualizácií: Sky-view factor, Solar insolation a iné odporúčam nasledujúci [odkaz](#) a práce (Štular et al., 2012; Kokalj et al., 2012; Hesse, 2010)

KOKALJ, Ž., ZAKŠEK, K. & OŠTIR, K. (2012): Lidar DEM visualizations. – . ArchaeoLandscapes Europe. www.archaeolandscapes.eu

KUNA, M. (2004): Nedestruktivní archeologie : teorie, metody a cíle = Non-destructive archaeology : theory, methods and goals. – . Praha (Academia).

ŠTULAR, B., KOKALJ, Ž., OŠTIR, K. & NUNINGER, L. (2012): Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. – Journal of Archaeological Science, 39/11: 3354–3360.

WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2013a): LIDAR. – . Wikipedia, wikipedia.org.

WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2013b): Globální družicový polohový systém. – . Wikipedie. wikipedia.org.

WIKIPEDIA CONTRIBUTORS (2013c): Inertial measurement unit. – . Wikipedia, wikipedia.org.

Videa:

[3D LiDAR Technology](#)

[LiDAR Survey](#)

[Riegl-High Altitude Airborne Laser Scanner](#)

WWW:

Wikipedia.org

lidar.com

lidarbasemaps.org

archaeolandscapes.eu

a mnoho iných ... klúčové slova pre vyhľadávanie :

[LIDAR](#), [LIDAR principles](#), [fullwave LIDAR](#), [LIDAR intensity](#), [ALS \(Airborne Laser Scanning\)](#), [DEM \(Digital Elevation Model\)](#), [DTM \(D.Terrain Model\)](#), [DSM \(D. Surface Model\)](#)