

# Laserové skenování a možnosti jeho využití

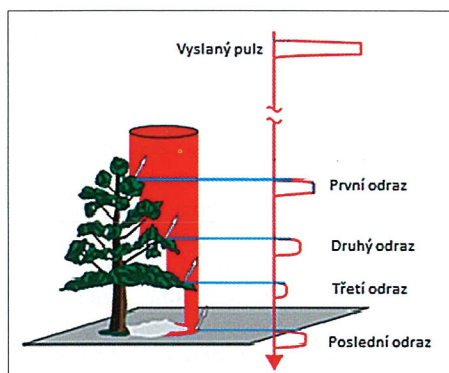
*Jednou z nejdůležitějších charakteristik každého místa na zemském povrchu je jeho nadmořská výška. Ale jak informace o ní, ideálně co nejrychleji, nejpřesněji a nejlevněji, zjistit? K tomu účelu slouží řada různých způsobů, které se vzájemně v mnoha ohledech liší. V článku je představena jedna z nejmodernějších metod zjišťování nadmořské výšky terénu – letecké laserové skenování (LLS), pro které se používá anglický akronym LiDAR.*

## Princip laserového skenování

Jak už napovídá název metody, při její aplikaci je základním nástrojem laser. S tímto zařízením je možné se setkat v řadě odvětví lidské činnosti. Namátkou lze uvést například medicínu, průmysl či policii. V každé z těchto disciplín se využívá různých vlastností laseru, obecně se však jedná o zdroj elektromagnetického záření (světla). Jinými slovy je laser zařízení, které je schopné vyzařovat úzký světelný paprsek.

Podstatou metody LLS je využití laserového paprsku k měření vzdálenosti. Nejdříve je emitováno světelné elektromagnetické záření, které je pod určitým (známým) úhlem vysláno ke snímanému povrchu. Díky fyzikálním vlastnostem elektromagnetického záření se po dopadu na jakýkoliv objekt část energie pohltí a část se odrazí zpět do aparatury, kde je zaznamenána. Následně je ze znalosti doby, která uplynula mezi vysláním a příjmem paprsku, vypočtena vzdálenost mezi aparaturou a bodem odrazu. Pokud zároveň známe přesnou polohu skeneru v době měření (tj. vyslání paprsku), můžeme určit souřadnice bodu povrchu, od kterého se paprsek odrazil.

Z výše uvedeného není těžké odvodit, že technické pozadí LLS mimo samotného laseru musí obsahovat i velmi přesné hodiny pro určení doby, kterou paprsek potřeboval k překonání vzdálenosti mezi senzorem a bodem na povrchu. Vynásobíme-li tuto dobu rychlostí světla, získáme dvojnásobek vzdálenosti mezi oběma body. Další komponentou skenovacího zařízení je aparatura GNSS, zajišťující znalost o okamžité poloze skeneru v době vyslání paprsku, a inerciální měřicí jednotka (IMU), udávající informace o tzv. vnější orientaci, tedy natočení skeneru podle os.



Obr. 1: Princip vícenásobného odrazu, kdy se část paprsku odrazí od horní části koruny stromu a část paprsku projde až na zem. Zdroj: Berardin, Blais, Lohr, 2010

Bylo již řečeno, že laser vysílá úzký svazek paprsků. Jeho divergence (rozbíhavost) však není nulová a stopa paprsku na povrchu tak odpovídá ploše, i když malé. Kvůli tomu se může stát, že se paprsek odrazí postupně od jednotlivých vrstev objektu. Nejjednodušeji si lze toto představit na vzrostlé vegetaci. Dopadne-li paprsek na korunu stromu, část se od listů či větví odrazí, část ale může projít a odrazit se od nižších partií vegetace a v ideálním případě až od země (viz obr. 1). Tento jev – vícenásobný odraz – jsou schopné laserové systémy zachytit a při dalším zpracování se ho využívá. Je zřejmé, že pravděpodobnost dosažení paprsku až na zemský povrch se snižuje s hustotou vegetace. Z toho důvodu, pokud není cílem skenování získat informace právě o vegetaci, se skenování provádí v době vegetačního klidu, ideálně brzy na jaře, případně na podzim, kdy je vegetace lépe prostupná a zároveň není sněhová pokrývka (Dolanský, 2004).

Výše popsaným postupem zjistíme prostorové souřadnice jednoho bodu na snímaném povrchu. Opakujeme-li měření pro dostatečný počet bodů a v dostatečné hustotě na celém povrchu, můžeme získat jeho věrný model.

## Zpracování dat

Výsledkem celého skenování je tzv. mračno bodů – souřadnice  $x$ ,  $y$  a  $z$  pro velký počet bodů na zkoumaném povrchu (obr. 2). Jejich polohová i výšková chyba se pohybují v řádu decimetrů. Hustota naměřených bodů záleží na výšce skenování a konkrétním použitém skeneru, typicky však dosahuje několika bodů na  $1 \text{ m}^2$ . Z toho všeho vyplývá, že mračno bodů velice dobře reprezentuje snímaný povrch. Zároveň se však jedná o obrovský soubor dat ke zpracování a je tedy jasné, že pro jejich další využití je nutné data nejprve upravit.

Prvním krokem je odstranění tzv. hrubých chyb, což jsou body, které zcela jistě nepatří snímanému povrchu a změřeny byly omylem. Může se jednat o body výrazně nad terénem (pokud se laserový paprsek odrazí např. od letícího ptáka), ale i o body výrazně níže, než je okolní terén.

Ani po očištění dat od hrubých chyb však všechny body neodpovídají pouze terénu. Pokud je totiž na zemském povrchu nějaký objekt, svazek paprsků se odrazí od něho a je tedy možné říci, že body LLS odpovídají horním plochám objektů na zemském

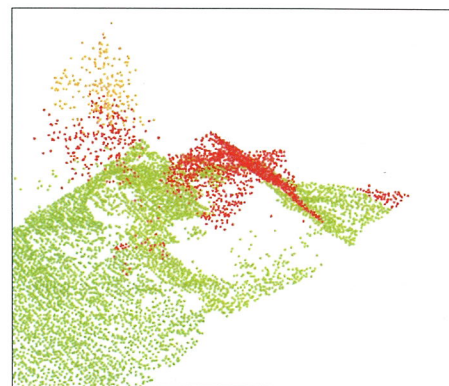
povrchu. Pro člověka většinou není složité určit, který bod leží na terénu a který nikoliv, ale protože by ruční editace dat byla časově enormně náročná, existuje řada postupů, které tuto práci udělají automatizovaně. Výsledkem tohoto procesu, označovaným jako filtrace, jsou dvě kategorie bodů – terénní a neterénní.

Posledním krokem úprav může být tzv. ředění bodů, kdy jsou pro další zpracování vybírány pouze reprezentativní body, které mají význam pro věrné zachycení skenovaného povrchu. Díky tomu se významně snižuje objem dat ke zpracování s minimálním snížením přesnosti modelu.

## Využití dat

Laserová data mají uplatnění v širokém spektru praktických disciplín. Typickým příkladem je vytvoření digitálního modelu reliéfu (DMR), který odpovídá holému zemskému povrchu bez umělých i přírodních objektů na povrchu (tj. bez budov, vegetace atd.). Takovýto dostatečně podrobný model je základním vstupem pro řadu dalších, nejenom geografických úkolů a aplikací. Namátkou je možné jmenovat například generování vrstevnic pro mapy velkého měřítka, určování výšek (Lysák a Potůčková, 2016), simulování záplav či dalších přírodních katastrof nebo je model možné využít jako podklad pro stavební projekty.

Objektem zájmu však nemusí být vždy pouze terén. V takových případech se jindy nepříjemná vlastnost laserového skenování – totiž zachycení i objektů na povrchu – stává výhodou. Pokud je území nasnímano s dostatečnou hustotou bodů, je možné taková data použít například na vizualizaci 3D modelu města či k mapování



Obr. 2: Mračno bodů LLS zachycující budovu a nalevo od ní strom. Zdroj: Data LLS, Správa KRNAP, 2016

## GEOINFORMATIKA A KARTOGRAFIE

průběhu různých liniových staveb. Příkladem může být sledování sítě vedení vysokého napětí a kontroly třeba i takového faktu, zda není v její bezprostřední blízkosti vzrostlá vegetace, která by mohla vedení poškodit. Dráty elektrického vedení jsou sice velice slabé, ale přesto existuje relativně velká pravděpodobnost, obzvláště pokud se snímkování provádí z malé výšky a s malou divergencí paprsku, že se od nich alespoň některé laserové paprsky odrazí. Na výstupu tak vznikne sice řídký, přesto však dostatečně zřetelný obraz průběhu vedení.

Laserové skenery dále mají široké uplatnění i v lesnictví. Nejenže je možné s jejich pomocí vytvořit DMR v zalesněných oblastech, kde mají jiné metody vzhledem k neprostupnosti vegetace problém (fotogrammetrie) či by jejich využití zabralo neúměrně dlouhou dobu (tachymetrie), ale je možné jich využít i k inventarizaci lesa. Představíme-li si, že odečteme výšku prvního odrazu (tj. bodu na vrchní části vegetace) od posledního odrazu (tj. bodu pravděpodobně na zemském povrchu), zjistíme výšku stromu. Za předpokladu, že hustota skenovaných bodů je dostatečně velká, lze tímto způsobem, případně podpořeným ještě daty z jiných zdrojů, vypočítat obsah biomasy.

Zajímavým oborem, kde se LLS možná trochu překvapivě také používá, je archeologie. Řekne-li se archeologický výzkum, většina z nás si představí vykopávky. Takové metody ale dané místo nezvratně změní či dokonce zničí a z toho důvodu jsou označovány jako metody destruktivní. V dnešní době, pokud to není nezbytně nutné, se proto tyto metody nevyužívají a jsou nahrazovány metodami nedestruktivními, mezi které je možné zahrnout i laserové skenování. Kromě skenování nalezených předmětů, případně již odkrytých archeologických nalezišť dobře slouží i k dokumentaci antropogenních zásahů do krajiny, jako jsou různé valy a příkopy,



Obr. 3: Keltské hradiště na hoře Vladař. Zatímco na ortofotu zachycujícím danou oblast (vpravo) není hradiště zřetelné, na stínovaném modelu terénu vytvořeném pomocí LLS je jasně viditelná akropole (nejvýše umístěná část na jihovýchodě hradiště) a obranné valy a příkopy na severní, respektive západní straně kopce.

Zdroj: DMR 5G, ortofoto: ČÚZK, 2016

ale i zbytky hradišť či vesnic, mohylová pohřebiště, rybníky, opevnění atd. Tyto artefakty po lidské činnosti se do dnešní doby nejlépe zachovaly v zalesněné krajině, protože v otevřené zemědělské krajině byly a jsou pravidelně ničeny orbou (Pavelka a kol., 2014).

### Snímkování Česka

V letech 2009–2013 proběhlo ve spolupráci Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany a Ministerstva zemědělství laserové snímkování celého území republiky s cílem vytvořit DMR pro různá využití včetně celoplošné aktualizace výškopisu Česka. Získaná data se zpracovávají a postupně vznikají tři produkty – digitální modely reliéfu 4. a 5. generace (body zachycující pouze zemský terén v pravidelné mřížce 5 x 5 m, respektive v nepravidelné trojúhelníkové síti) a digitální model povrchu 1. generace (nerovnoměrně rozmístěné body zachycující terén včetně objektů na něm). Pro představu, střední výšková chyba DMR 5G dosahuje 0,18 m v odkrytém a 0,30 m v zalesněném terénu (Brázdil, 2010).

S výsledky všech tří modelů je možné se seznámit v aplikaci Analýzy výškopisu přístupné ze stránek ČÚZK. Mimo prohlížení

různých vizualizací, jako je např. stínovaný model terénu, je zde možnost i základních výškopisných analýz – třeba odečítání výšek v libovolném bodě či tvorba výškových profilů. DMR 4G, který je jako jediný již dokončen pro celou republiku, je možné prohlížet na stejných stránkách v rámci 3D webové služby i v trojrozměrném prostoru. V kombinaci s ortofotem jde o zajímavou možnost prohlédnout si libovolné místo v Česku ve formě přirozené lidskému vnímání. Zbýlé dva modely by měly být pro celé území republiky dokončeny do konce letošního roku.

### Závěr

Přestože o technologii leteckého laserového skenování lze stále ještě mluvit jako o relativně mladé metodě sběru výškových dat, nachází své uplatnění v mnoha aplikacích. Mezi její výhody bezesporu patří přesnost a rychlost sběru dat. Geoinformatikům a posléze i geografům tak přináší možnost, jak efektivně získat data nejenom o zemském povrchu, ale i o objektech, které se na něm nacházejí.

Tereza Peterková, PřF UK  
tereza.peterkova@natur.cuni.cz

**Airborne Laser Scanning and its Possible Applications.** This article focuses on airborne laser scanning. This method provides precise elevation data about the Earth's surface in the form of a point cloud. The author discusses the technical background and basic steps of data processing involved in laser scanning and presents examples of real applications.

### LITERATURA A ZDROJE DAT:

- BERALDIN, J., A., BLAIS, F., LOHR, U. (2010): Laser scanning technology. In: Vosselman, G., Maas, H. G. (eds.) Airborne and terrestrial laser scanning, CRC Press, 1. edition, p. 1–44.
- BRÁZDIL, K. (2010): Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. Sborník GIS, Ostrava 2010, 7 s.
- DOLANSKÝ, T. (2004): Lidary a letecké laserové skenování. UJEP, Ústí nad Labem, 100 s.

- DUŠÁNEK P. (2014): Nové výškopisné mapování České republiky. In: Inspektor, T., Horák, J., Růžička, J. (eds.) Sborník - Symposium GIS Ostrava 2014. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014.
- LYSÁK, J., POTUČKOVÁ, M. (2016): Nadmořské výšky vrcholů v Česku s využitím nových technologií. Geografické rozhledy, 25, 4, s. 18–19
- PAVELKA, K., FALTÝNOVÁ, M., ŠVEC, Z., DUŠÁNEK, P. (2014): Mobilní laserové skenování. ČVUT, Praha, 130 s.