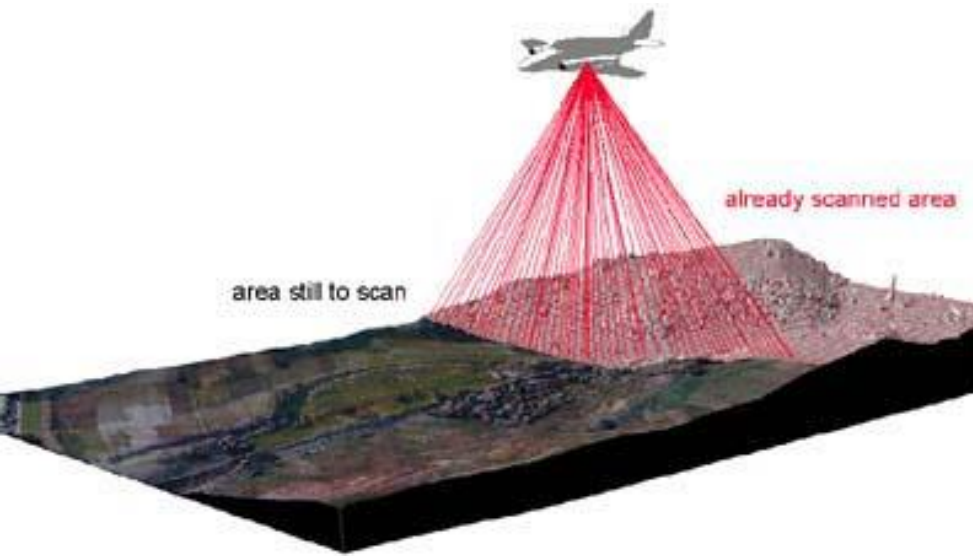


Airborne Laser Scanning (ASL) - LIDAR (light detection and ranging)



Základní komponenty:

- laserový skener
- navigační systém (GPS) a INS.
- laserové paprsky
- časový interval mezi vysláním a přijetím paprskem slouží k určení 3D polohy snímaného bodu.
- Změna intenzity signálu slouží k určení charakteru objektu, od kterého se signál odrazil.

Významné vlastnosti laserového světla

- vysoká pulzní energie
- krátké trvání pulzu
- vysoká přesnost měření vzdáleností (10^{-6-8}m)
- úzká šíře paprsku
- dobře se odlišuje od ostatního záření
- negativní vliv vodní páry a aerosol - zeslabují záření (dosah)
- odražené sluneční světlo – někdy problém

Typické hodnoty leteckých laserových systémů

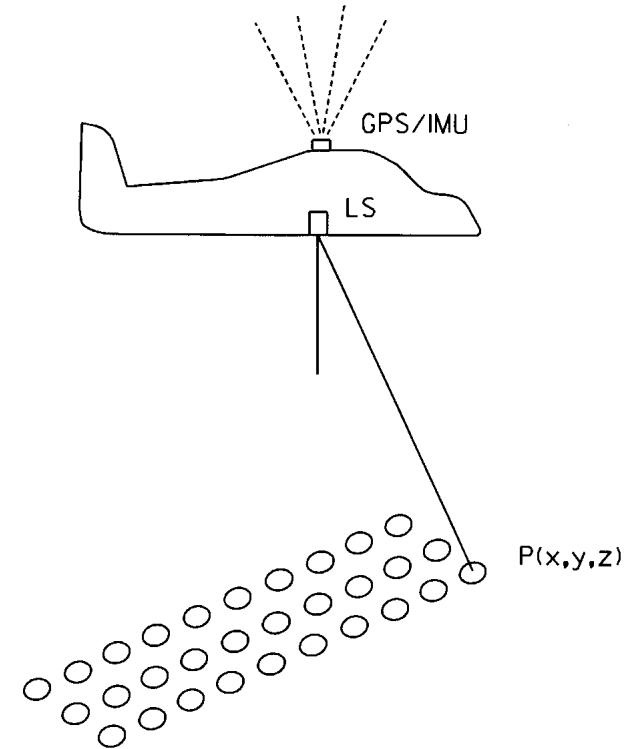
- Vlnová délka většinou 0,8-1,6
- Trvání pulsu cca 5 ns
- Frekvence měření 50-500 kHz

Laserové skenování

- **Letecké skenery** - DMT , mapování liniových staveb, 3D modely
Přesnost 0,10- 0,50 m
- **Pozemní skenery** - měření různých objektů (bližší vzdálenost, statika)
Přesnost 0,001- 0,025 m, přesnější jsou omezené dosahem, méně přesné větší vzdálenost – doly, lavinové vzdálenosti, dosah až 2km
- **Mobilní skenery** – mobilní mapování dopravního značení, inženýrských sítí, budov (streetview, panorama)
- relativní přesnost 5-10mm

Palubní laserové systémy (ALS Airborne Laser Scanning)

- Laserový dálkoměr pevně spojený s letadlem vysílá kontinuálně pulsy z laserové diody pracující v blízkém IR spektru. (pro určení prostorových souřadnic je potřeba měřit vzdálenost k bodu, náklon od svislé osy – viz obr. a souřadnice skeneru v okamžiku vysílání pulsu), rozmítáním paprsku vzniknou otisky - footprint
- Snímají:
 - jednotlivé diskrétní odrazy (Discrete Return DR)
 - celý průběh křivky (vlny) návratu signálu (Full-waveform skenery FWF)



Vývoj palubních laserových systémů

- Po delší a pomalejší vývojové etapě v 90. letech učinilo letecké laserové skenování velký pokrok v posledních 8 letech.
- Letecké laserové skenování (ALS) se stalo vedle snímkování významnou mapovací technologií. Obě technologie se používají pro mapovací účely (výškový digitální model snímková data pro tvorbu ortofotomap).
- Přibližně 500 leteckých skenerů je používáno po celém světě.
- V inženýrských aplikacích je požadována vysoká hustota přesně měřených dat (obvykle desítky bodů na metr čtvereční v sub-decimetrové přesnosti). Na druhé straně je voláno po větším pokrytí terénu (data musí být získána ze stále větší výšky létu).
- Rozsah vlnových délek: NIR 0,7-1,4 μm , Green 0,45-0,55 μm , SWIR 1,4-3,0 μm

Princip určení geometrické polohy

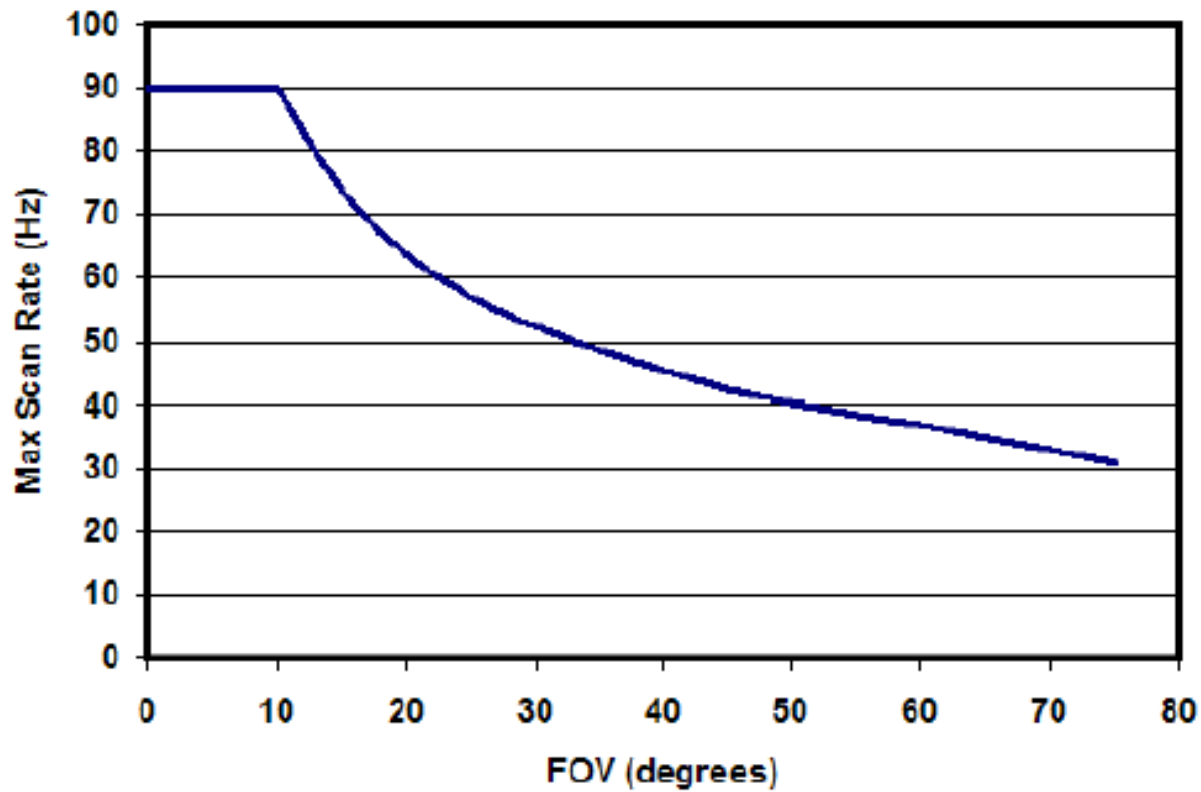
- Obecně laserové skenery pracují na základě měření doby letu vyslaného paprsku.
- Jsou využívány dvě možnosti určení vzdálenosti:
 - čas letu laserového pulsu (je vyslán laserový puls a měří se čas mezi vysláním pulsu a přijutím odrazu)
 - porovnání fáze (je vyslán paprsek, který je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu se vypočte jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou).
- Celková koncepce a hlavní komponenty ALS jsou dány tím, že pozice a orientace skeneru je průběžně měřena pomocí GNSS / IMU. Současně řada délek a odpovídajících snímacích úhlů se měří laserovým dálkoměrem a úhlovým snímačem, který je připojen k mechanismu skenování. Spojení těchto dvou sad měření vede k určení bodů (s X, Y, Z souřadnicemi).

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + R_{\omega \varphi \kappa} \begin{pmatrix} 0 \\ s \sin \alpha \\ s \cos \alpha \end{pmatrix}$$

s , α Polární souřadnice v čase t (α je rozmítací úhel)

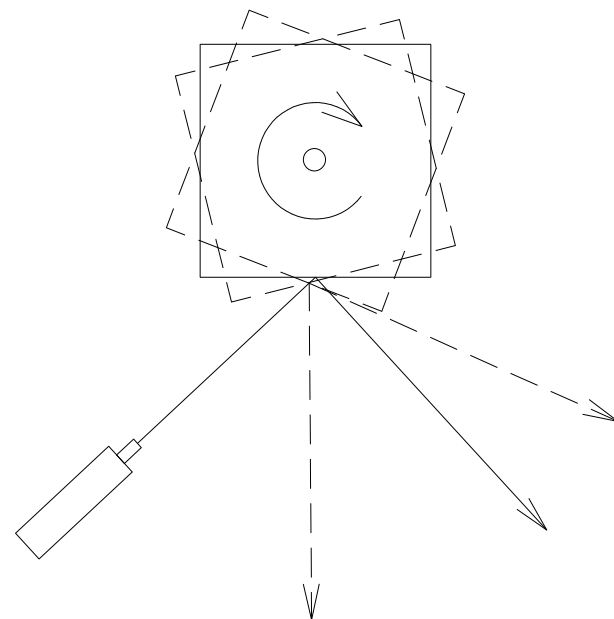
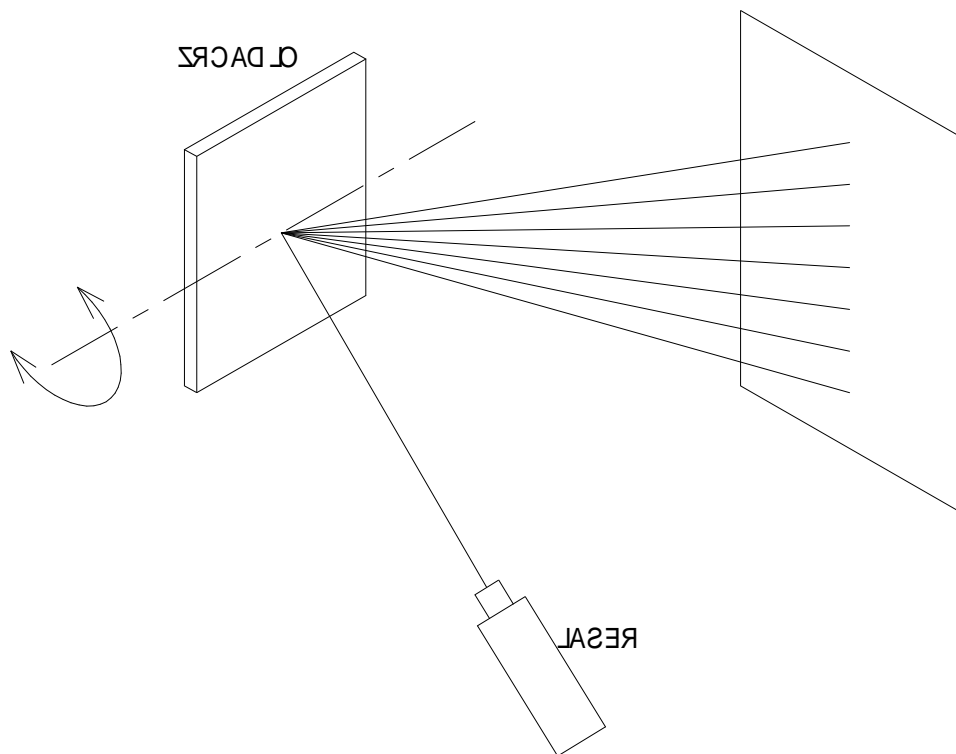
- Kromě měření délek jsou rovněž měřeny hodnoty intenzity vráceného pulsu. Tyto informace jsou často zašumělé a obtížně se interpretují nebo využívají. Až dosud se hodnoty intenzity zdají být v omezeném zájmu pro většinu uživatelů ALS dat, jejichž zájem je zaměřen na polohová a výšková data.
- Míru rychlosti po sobě jdoucích impulsů nazýváme frekvencí opakování pulsu (***pulse repetition frequency PRF*** 50 kHz-500 kHz).
- Míra rychlosti skenování postupných profilů nazýváme rychlost skenování (***scan rate*** cca 100-200 Hz) = rychlost, kolik udělá za 1s řádků
- Rychlost skenování je nepřímo úměrná úhlu záběru = FOV – field of view. Většinou bývá 60°, dá se nastavit až na 75° (více už se kvůli kvalitě odrazu nedává)
- Výška letu má vztah k PRF – pro H = 1000m bude puls putovat po dráze 2km cca 6,7 μ s, do 1s se tak vejde maximálně cca 150 000 pulsu - PRF bude 150 kHz
- Toto omezení je v současnosti překonáno technologií multipulsu – nečeká se na vrácení pulsu, ale vysílá se kontinuálně další, možný nárůst PRF
 - MPiA – Multiple-pulse-in-the-air (Leica)
 - CMP – Continuous multi-pulce (Optech)
 - MTA – Multiple time around (Riegl)

Vliv úhlu záběru na frekvenci skenování (ALS50)

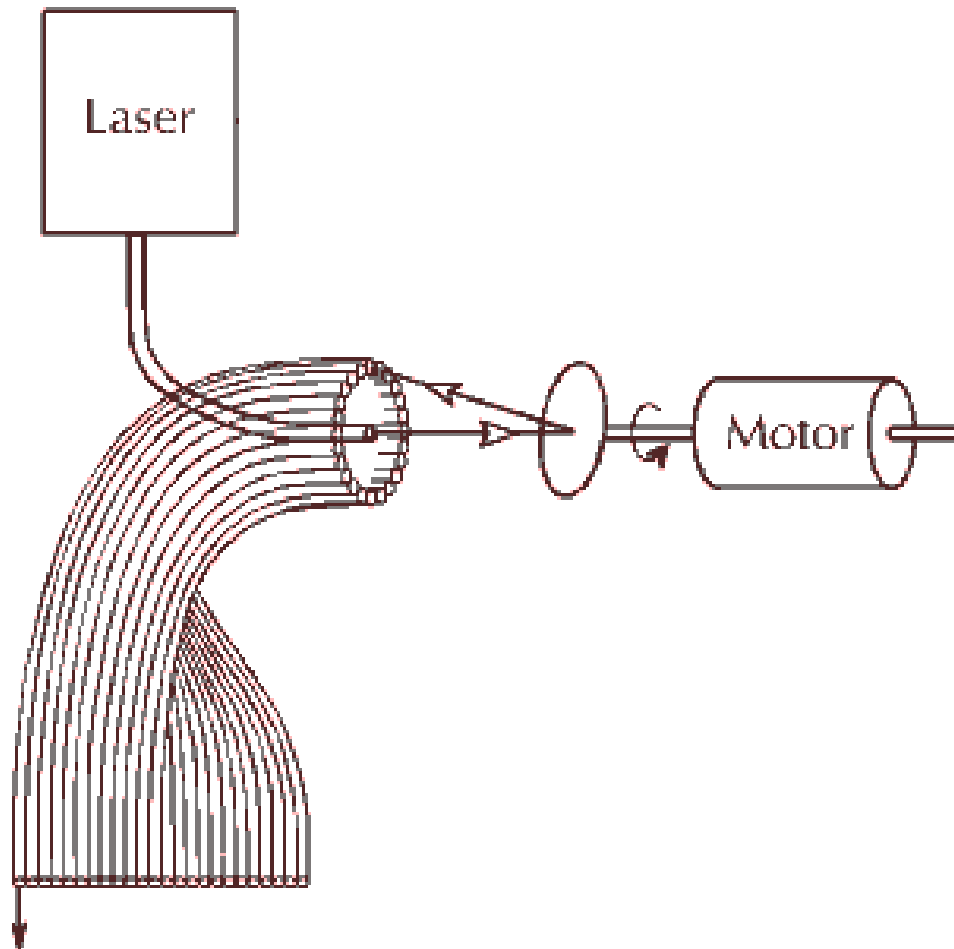


Metody rozmítání paprsku

- Rotující zrcadlo
- Rotující hrano I (vyšší rychlost pohybu svazku paprsků, nemusí se vracet)

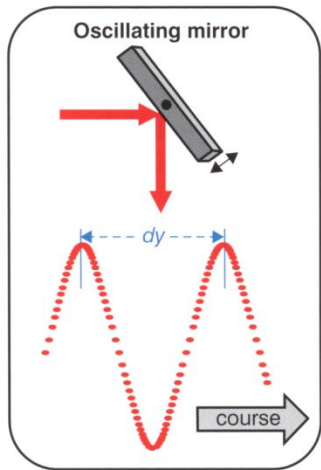


- pomocí optických vláken

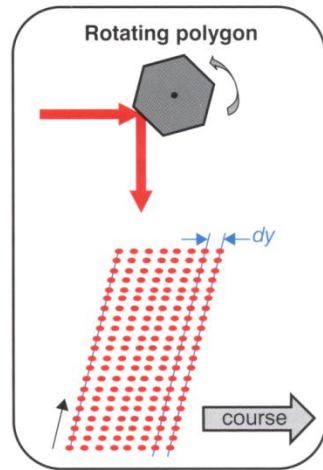


Základem je rotující zrcadlo, které rozmítá záření do optických vláken, které pak určují konečný počátek a směr šíření svazku paprsků.

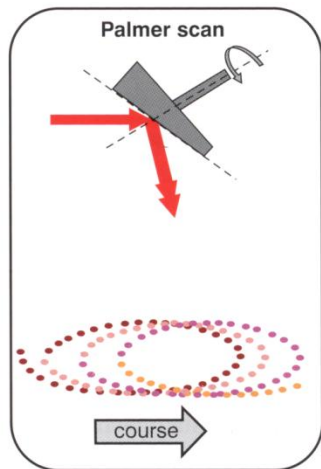
Vzory rozmítání paprsku – různé typy rozmetačů



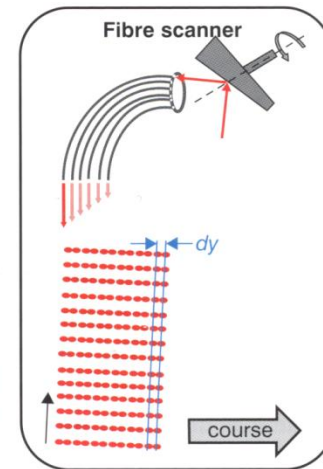
(a)



(b)

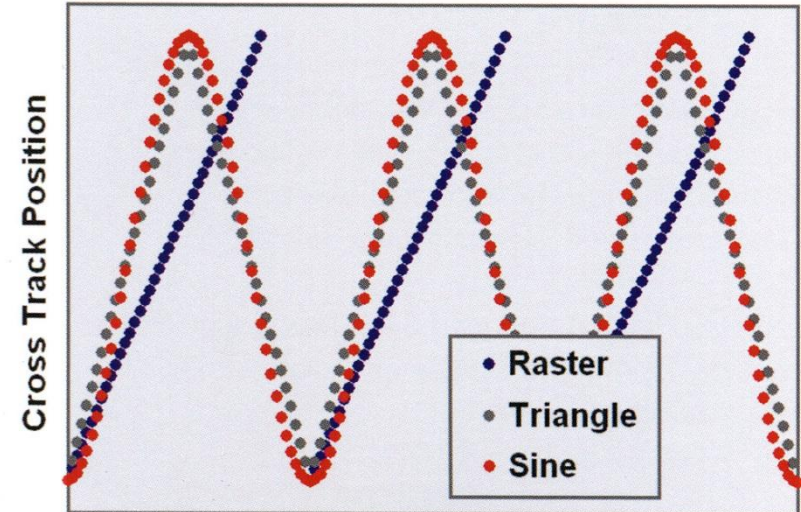


(c)



(d)

ALS70

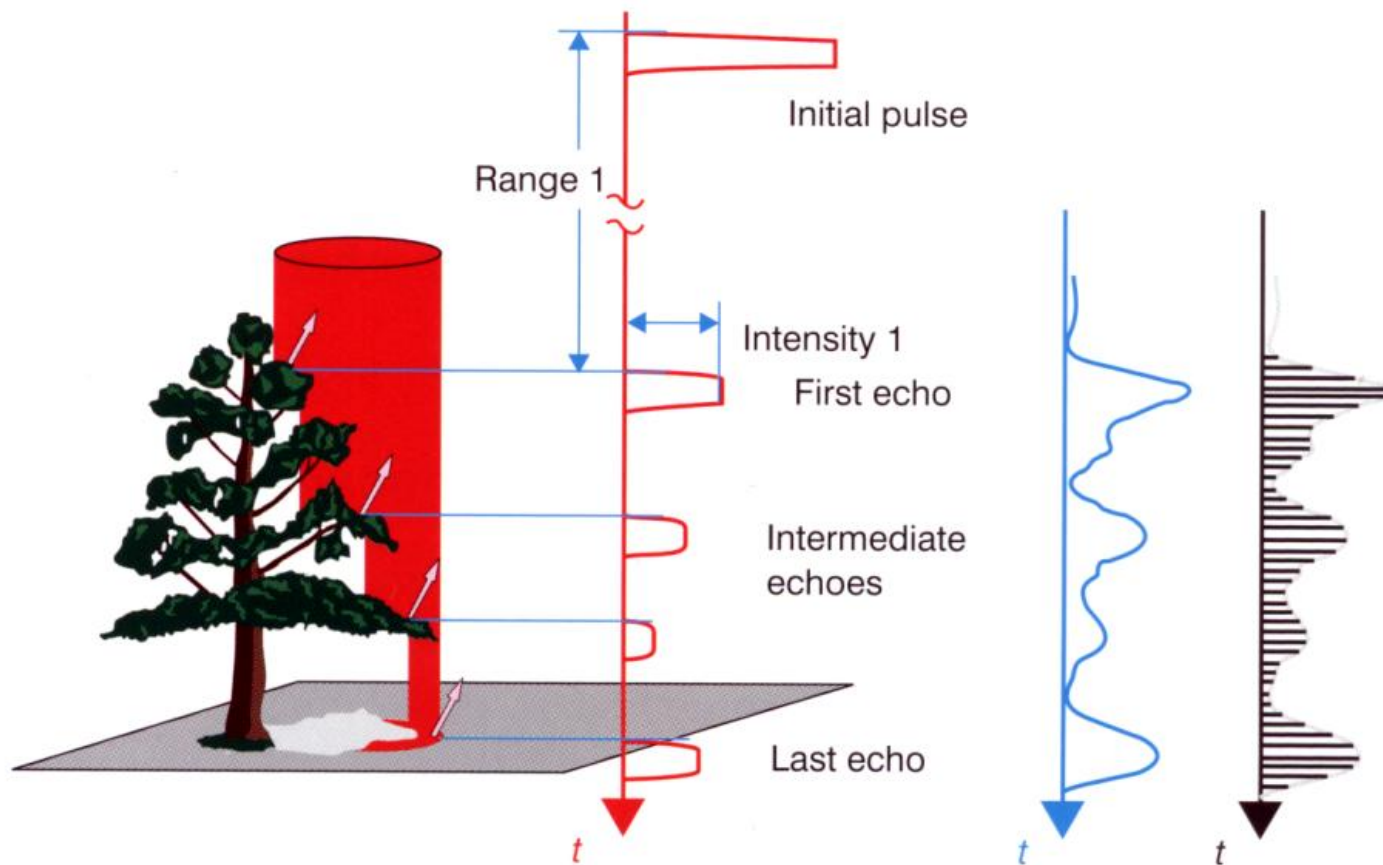


Along Track Position

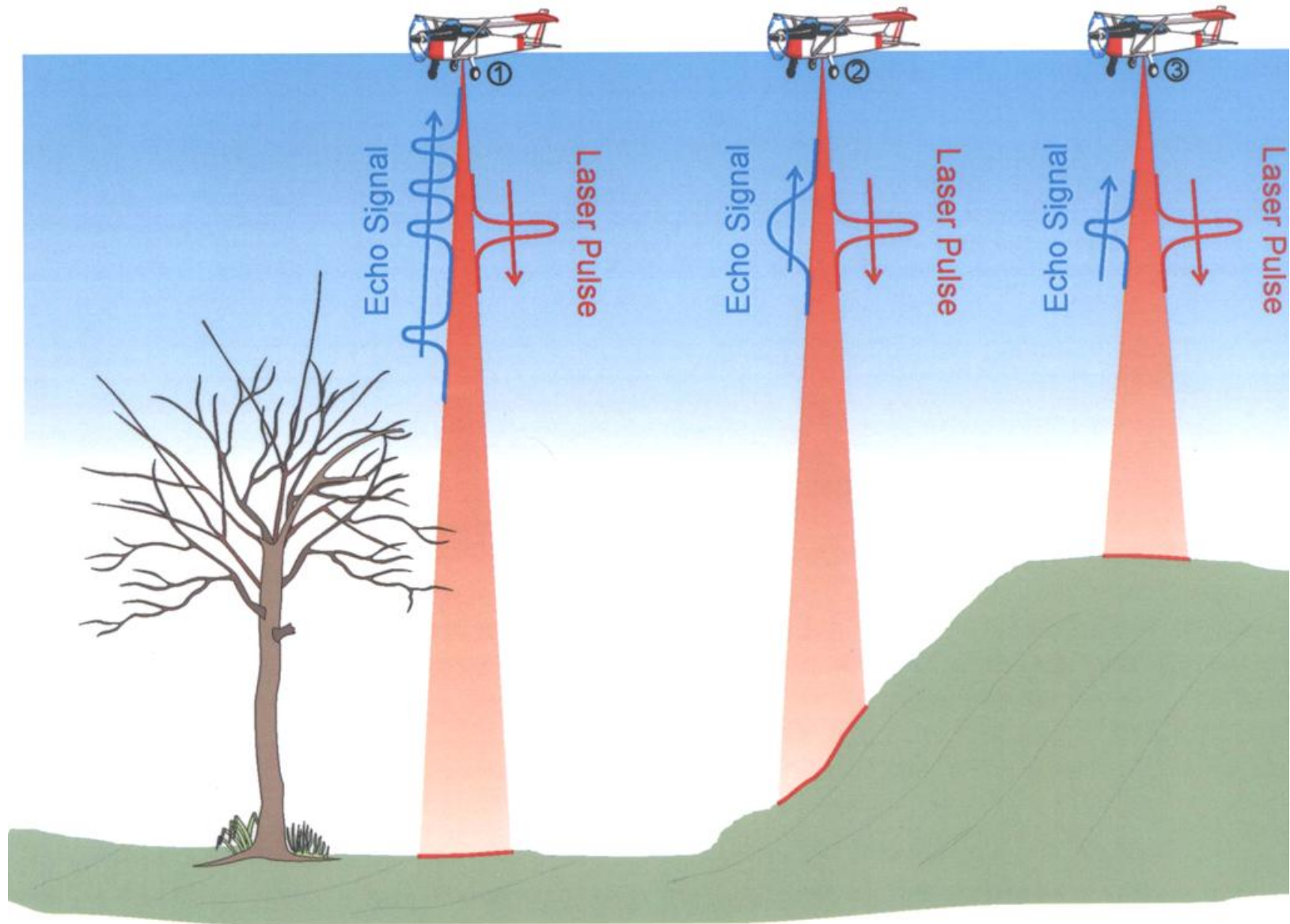
Choice of sine, triangle and raster scan patterns

Odraz pulzů – tvar vlny

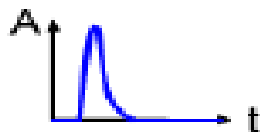
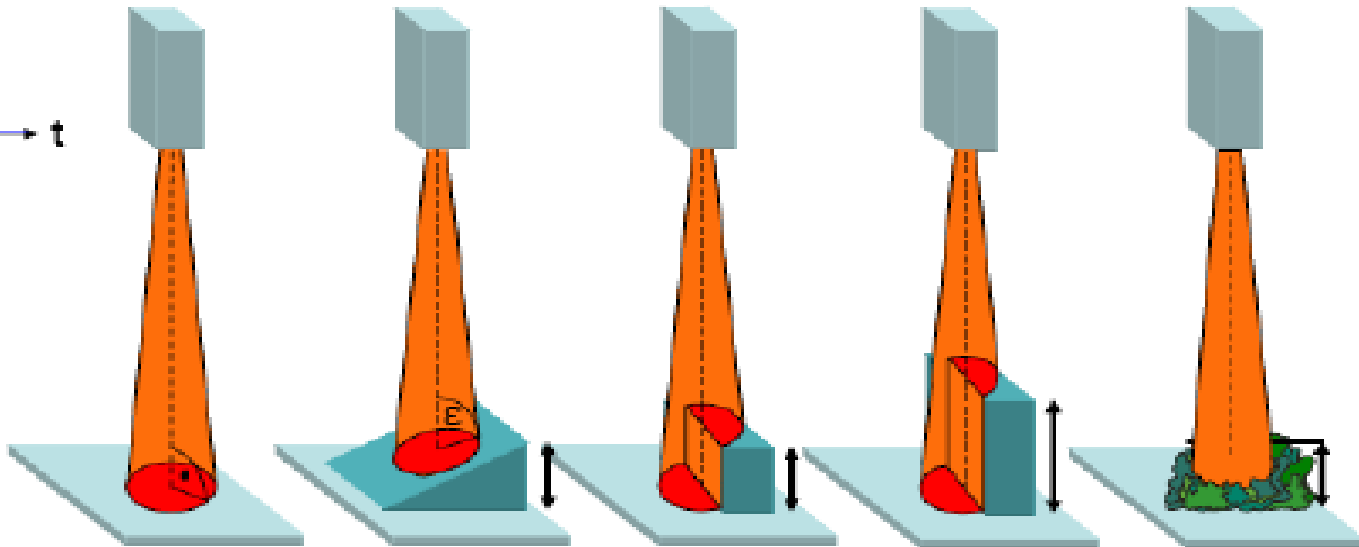
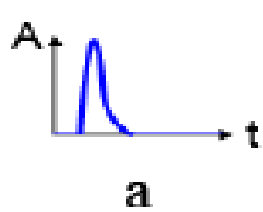
Novější přístroje umí zaznamenat i plně digitalizovaný tvar vlny (Full-WaveFormProcessing) – několikanásobný odraz, závisí na tvaru odraženého povrchu



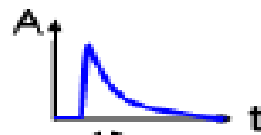
Odraz pulzů



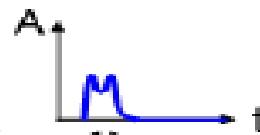
Vliv povrchu na tvar odražené vlny



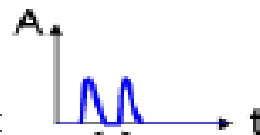
b



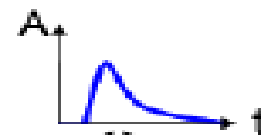
c



d



e

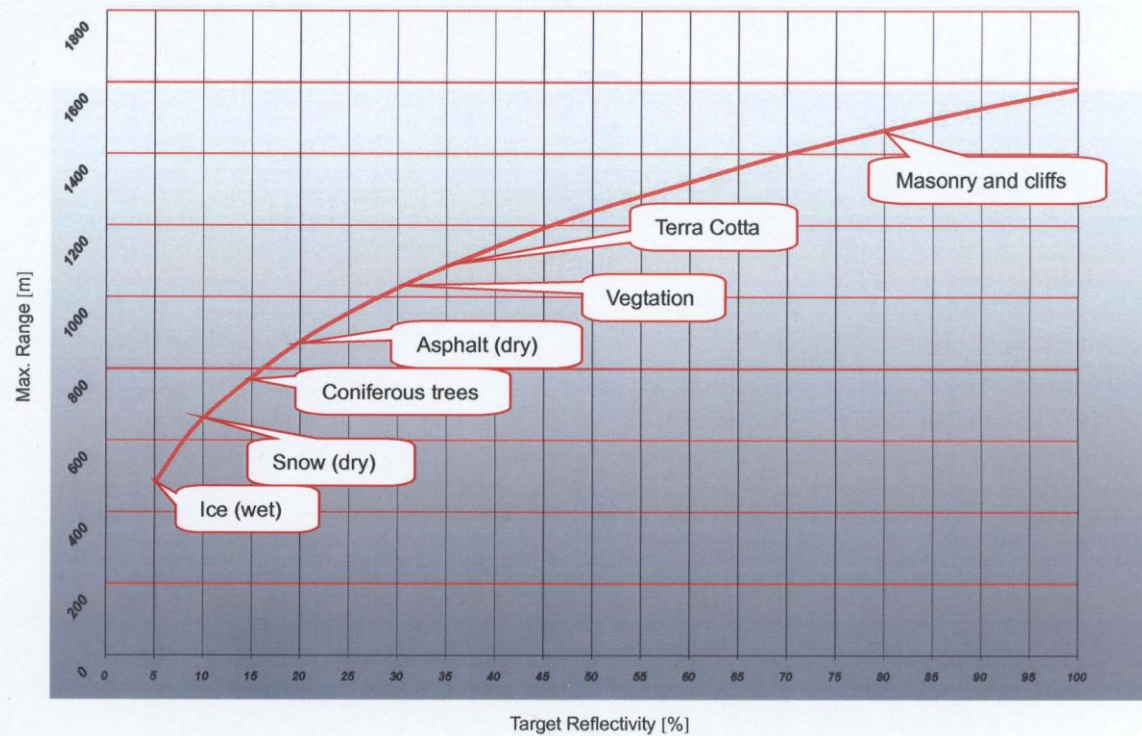


f

Dosah skeneru

- Odrazivost (při odrazivosti povrchu 80% je konkrétní dosah dle tabulky od výrobce)
- Znečistění vzduchu, viditelnost, obsah aerosolu, prachu
- Rychlost skenování – pomalejší rychlost skenování znamená větší dosah

RIEGL LMS-Q560 Range Performance



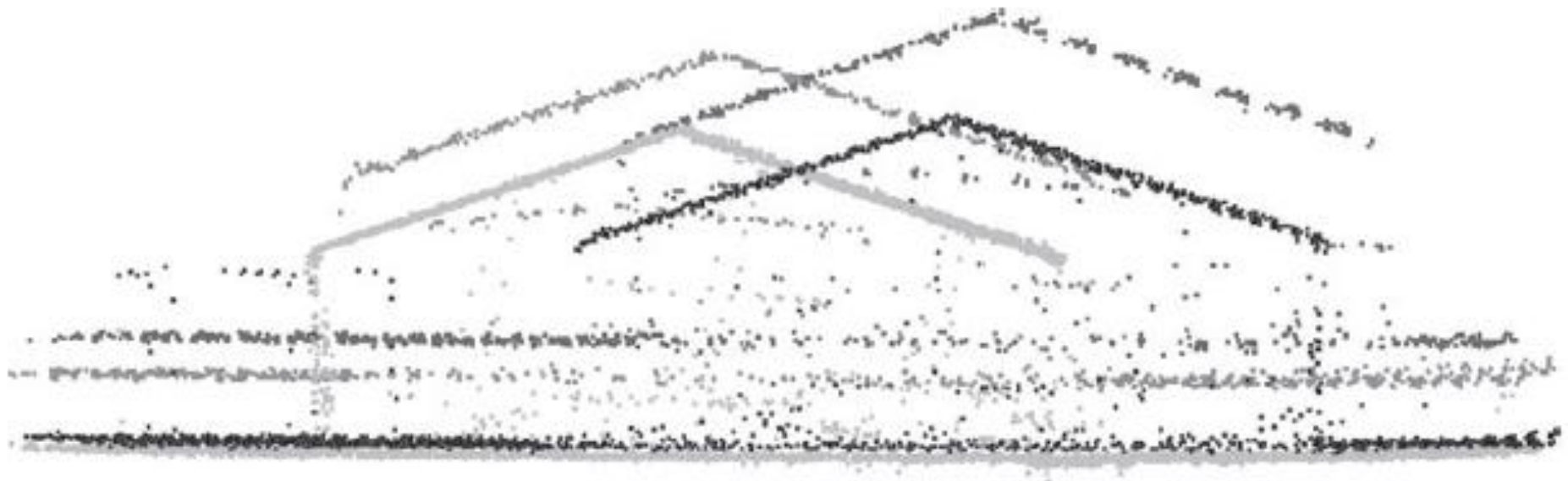
Dosah skeneru

- příklad pro Riegl LMS- Q 680
- 30% odrazivost dohlednost 23 km
dosah pro 80kHz 2400m
dosah pro 240kHz 1500m
- 30% odrazivost dohlednost 10 km
dosah pro 80kHz 1950m
dosah pro 240kHz 1300m

Přesnost polohy bodu

- Složení více systémů a jejich přesností
- GPS/IMU je cca 0,10 m (pro letadlo letící rychlostí 80m/sec s referenční stanicí vzdálenou do 50 km). Čím větší je výška letu, tím více se projeví chyby v úhlových hodnotách získaných pomocí inerciální jednotky.
- Přesnost rozmítání paprsku 5-10mgon je nutno připojit k chybám IMU (10mgon=16cm/1km).
- Přesnost laserového dálkoměru je 0,02- 0,03 m.
- Další náhodné chyby: efekt divergence paprsku (footprint), atmosférická refrakce, terénní vlivy, časová synchronizace, transformace souřadnic
- Celková přesnost ve výšce je v rozsahu 0,1-0,5 m, polohová přesnost 0,1-1 m.
- Rozdíl ze dvou náletů může být 25-30cm

Rozdílné výsledky ze 4 náletů



Faktory přesnosti

- Část paprsků z jednoho pulzu projde vegetací, část se odrazí v různých úrovních porostu. Pro eliminaci bodů, které mají měřenou vzdálenost ovlivněnou více odrazy jsou používány speciální filtry.
- Jelikož palubní laserové systémy neposkytují nadbytečná měření, doporučuje se mít v zájmovém území nezávislé údaje –“vlíčovací plochy“
- Vliv počasí je u ALS menší než u fotogrammetrického snímkování. Lze skenovat pod mraky a v noci. Využití je
 - pro tvorbu DMT, DMP
 - speciální mapování, např. dokumentace liniových staveb – vedení vysokého napětí.
- Výsledkem je zaměření terénu, výšky porostů, prostorové polohy elektrických vodičů a stožárů.

Výsledky měření, zpracování

- surová data – mračno bodů X,Y,Z
- vícenásobné odrazy – možnost extrakce DMT, DMP
- obarvení, filtrace (odstranění šumu, chyb) klasifikace do tříd (porosty, budovy), vektorizace, konverze do rastru
- možné využití intenzity odrazu
- specializované softwary, moduly (pluginy) pro GIS, CAD

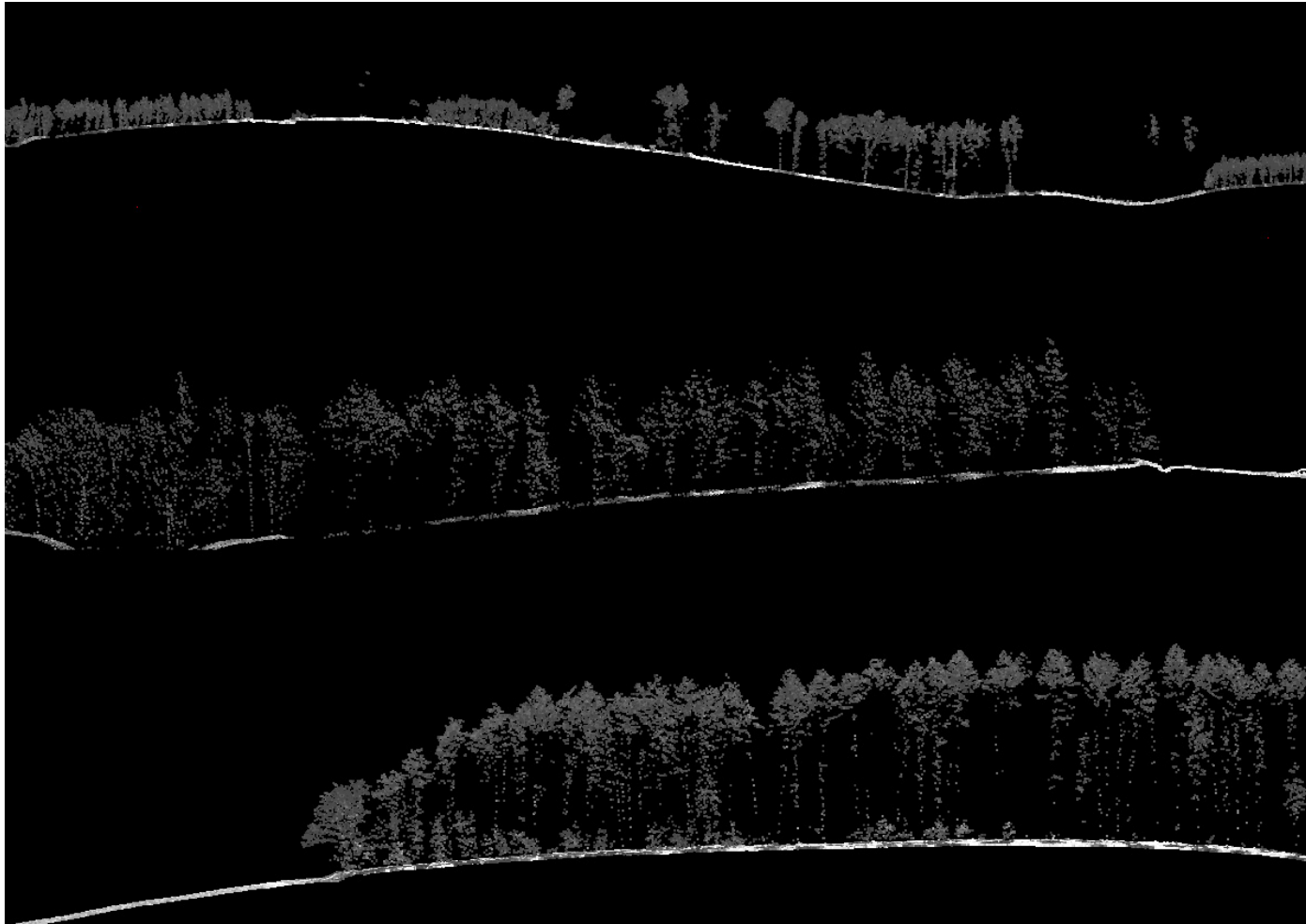
Zpracování dat



Letecké laserové skenování - svislý profil bodovým mračnem

<http://photogrammetrydevelopment.blogspot.com/search/label/Lidar%20Tutorial>

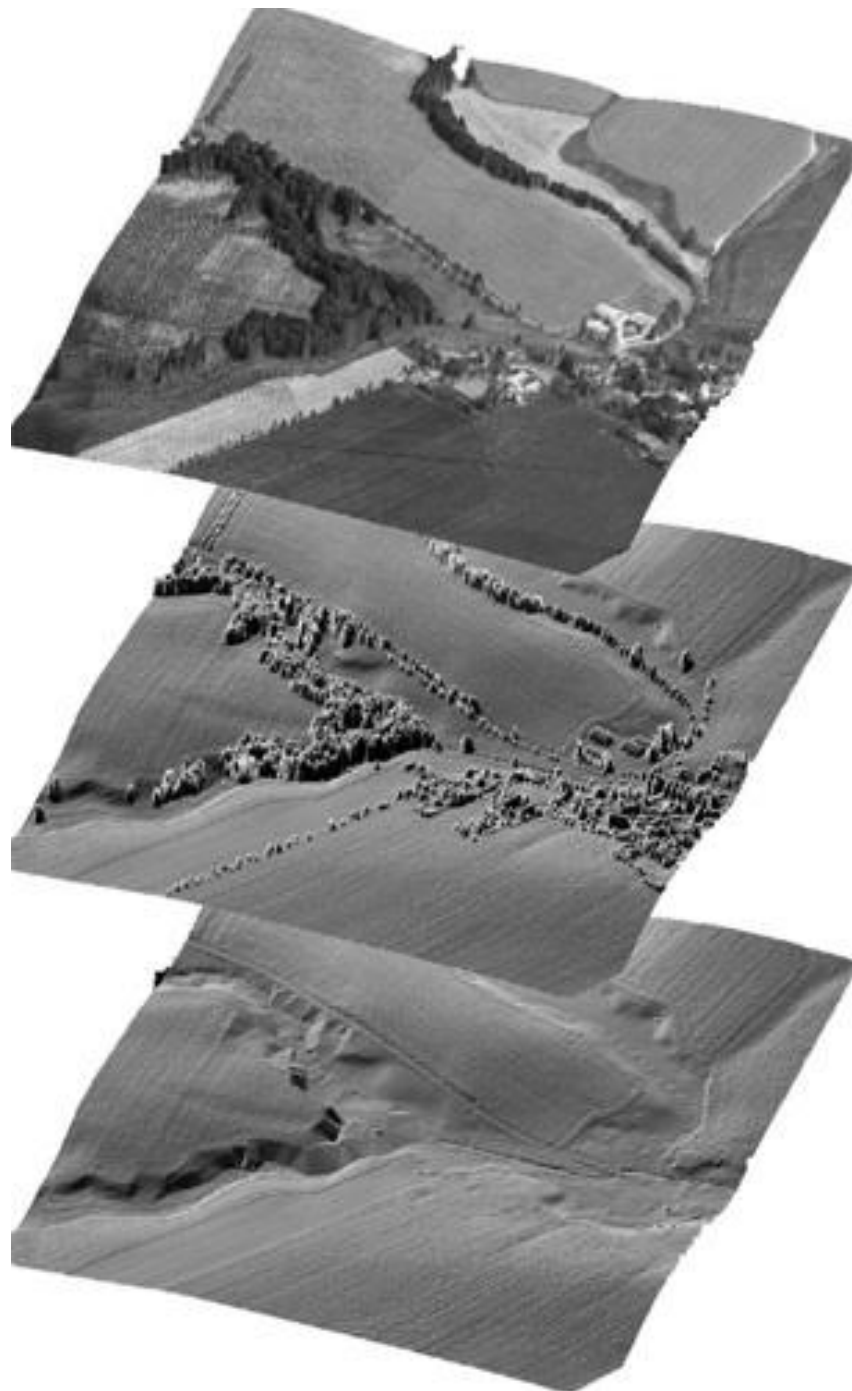
Zpracování dat



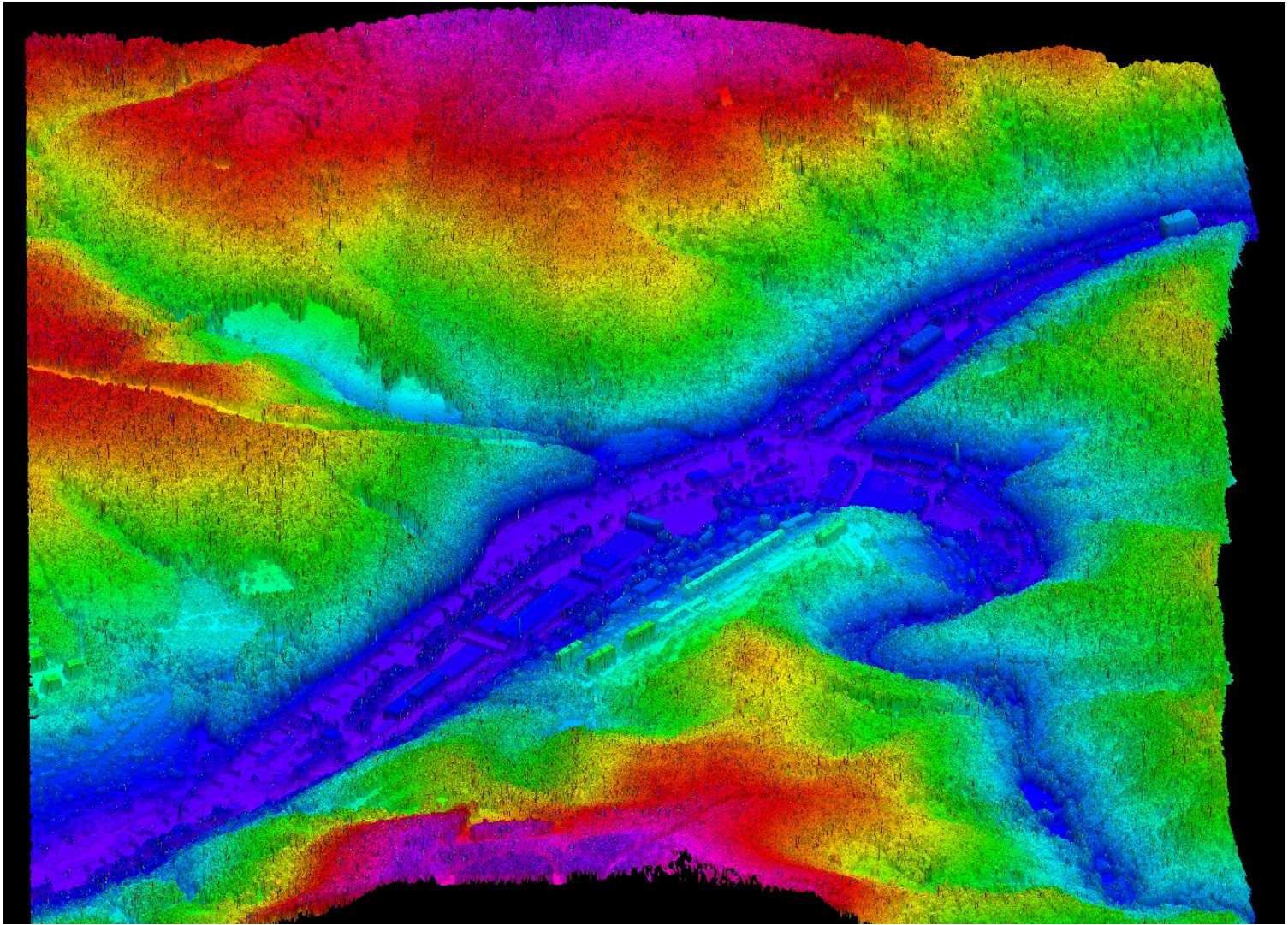
Letecké laserové skenování - svislý profil terénem

LIDAR - Aplikace

- Tvorba digitálního modelu terénu
- Vodní hospodářství
- Lesní hospodářství
- Telekomunikace
- 3D vizualizace



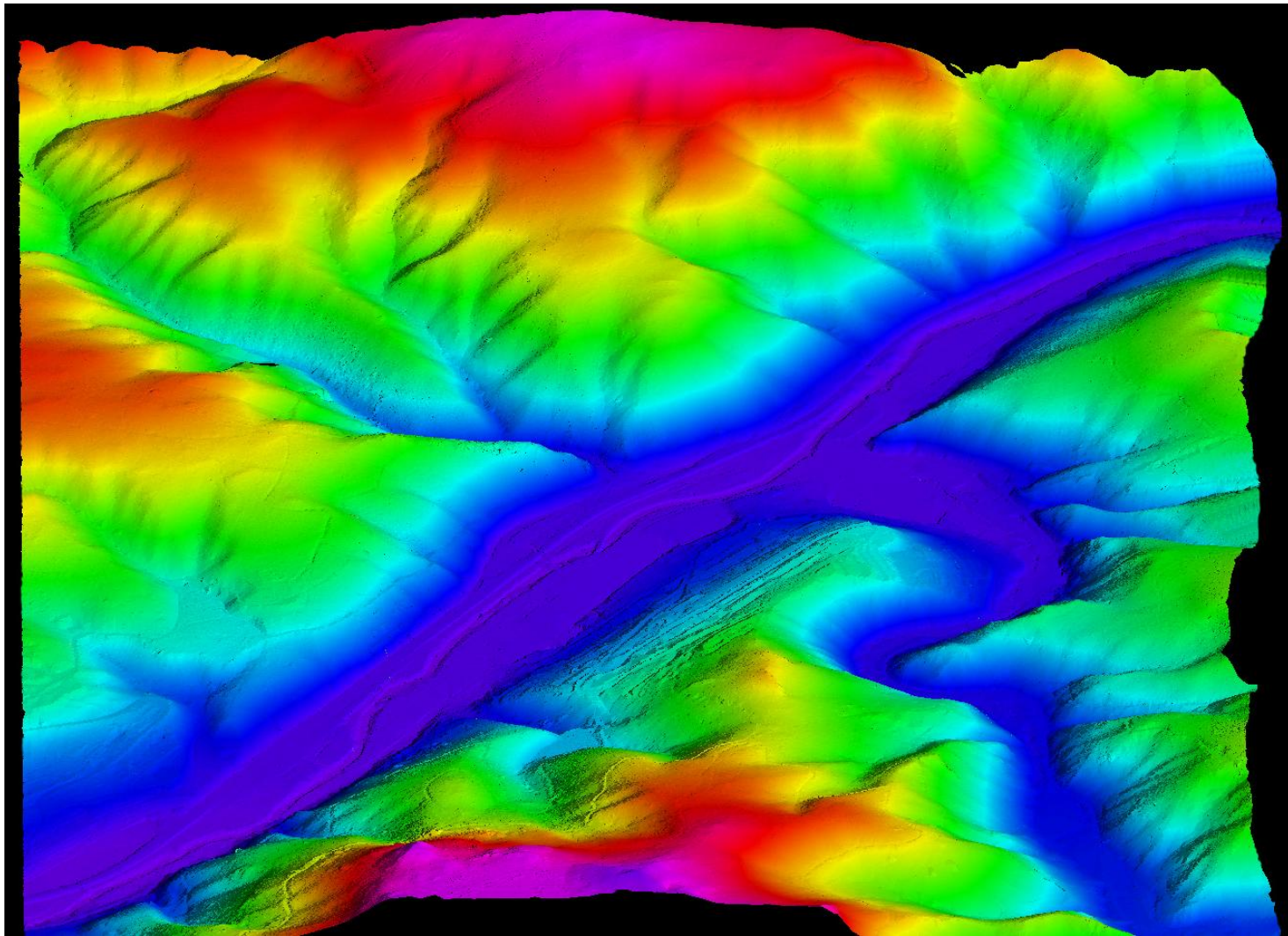
LIDAR



Digitální model povrchu - řeka Svitava

Zdroj: <http://www.geodis.cz/sluzby/letecky-laserscanning>

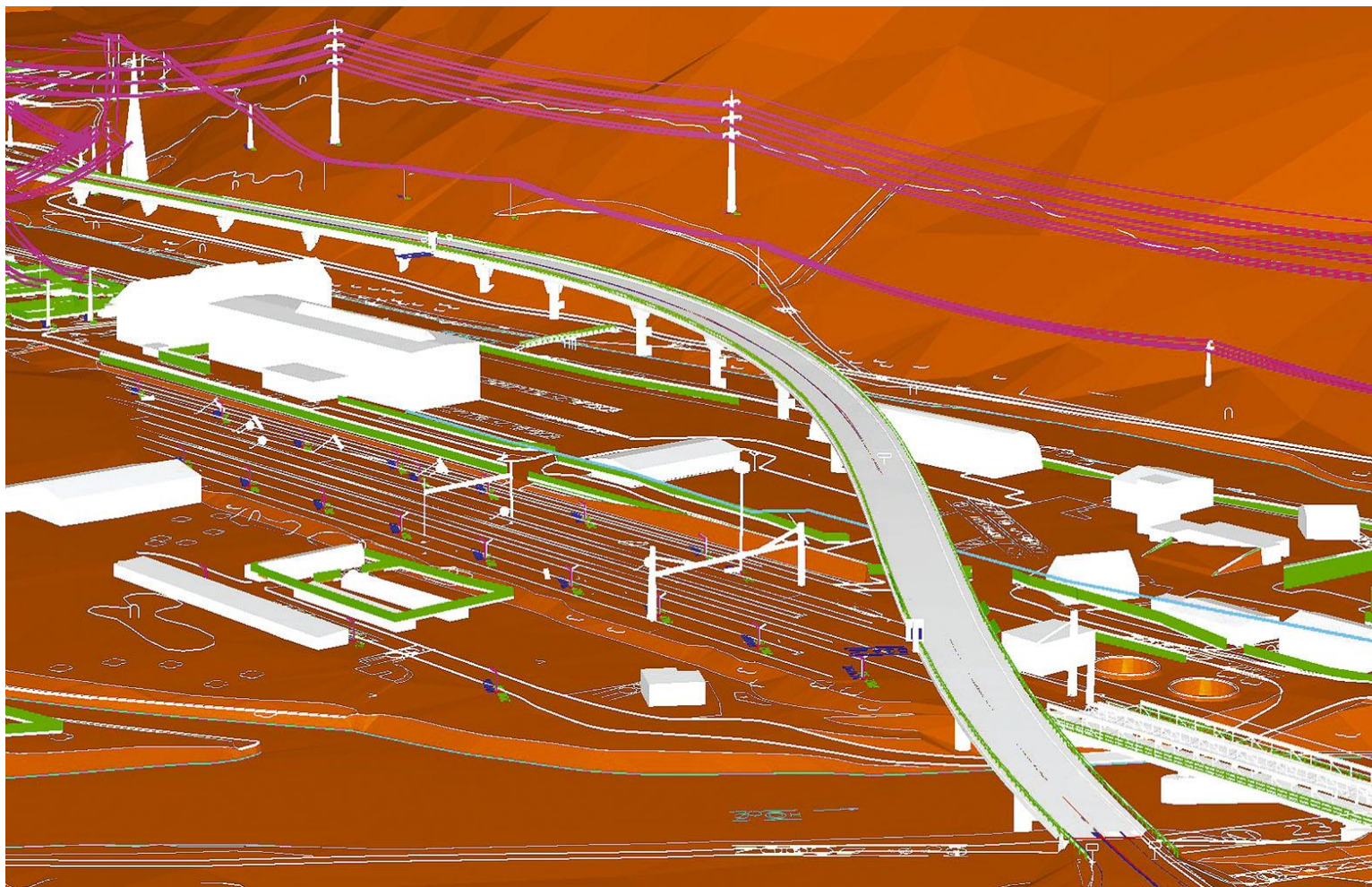
LIDAR



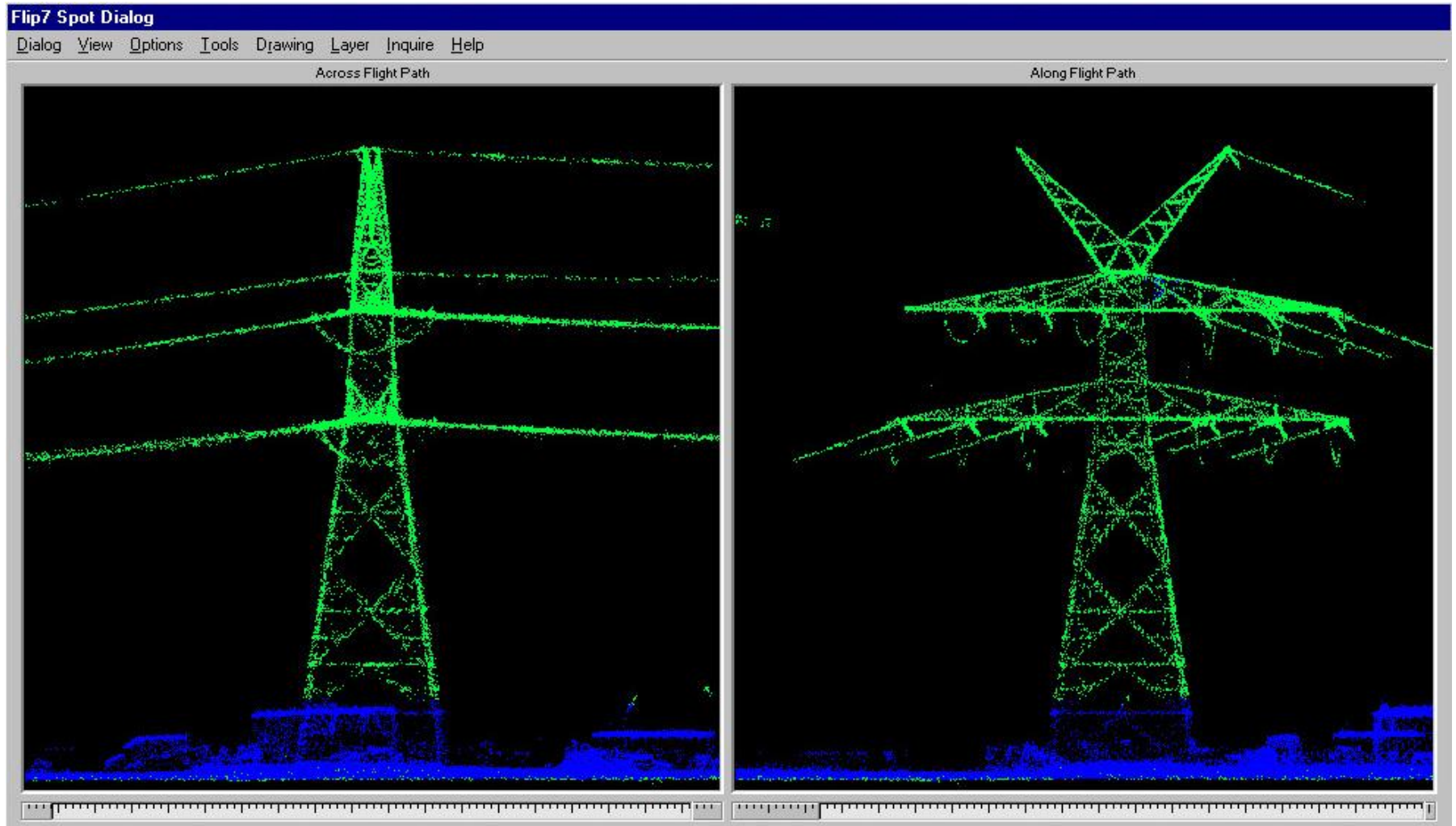
Digitální model terénu - řeka Svitava

Zdroj: <http://www.geodis.cz/sluzby/letecky-laserscanning>

Letecké skenování - výsledek 3D model



Mapování průběhu el. vedení



Výrobci skenerů

Nejznámější výrobci jsou firmy

- **Optech** : skenery ALTM Orion (liniové objekty, Gemini (plošné mapování + DMT), Pegasus (universální typ s vysokou frekvencí 400 kHz při výšce letu 500m)
- **Leica Geosystems**: skenery, ALS70-HA (plošné mapování až z výšky 5km), ALS70-HP, ALS70-CM (liniové objekty z výšky 200-1000m)
- **Riegl**: skenery LMS - Q 680, LMS- Q 680i (použití je universální – topografické aplikace, mapování koridorů i městských oblastí, mapování území pokrytých ledem a sněhem, mapování elektrických vedení. Umožňuje Full-WaveForm Processing.), Toposys – skener LIDAR.

Optech ALTM Gemini



Leica ALS 70



Riegl LMS Q680i

