

Távérzékelés BSc.

Lovas Tamás

Lézerszkennelés

Lézer és tulajdonságai

Légi lézeres felmérés alapjai

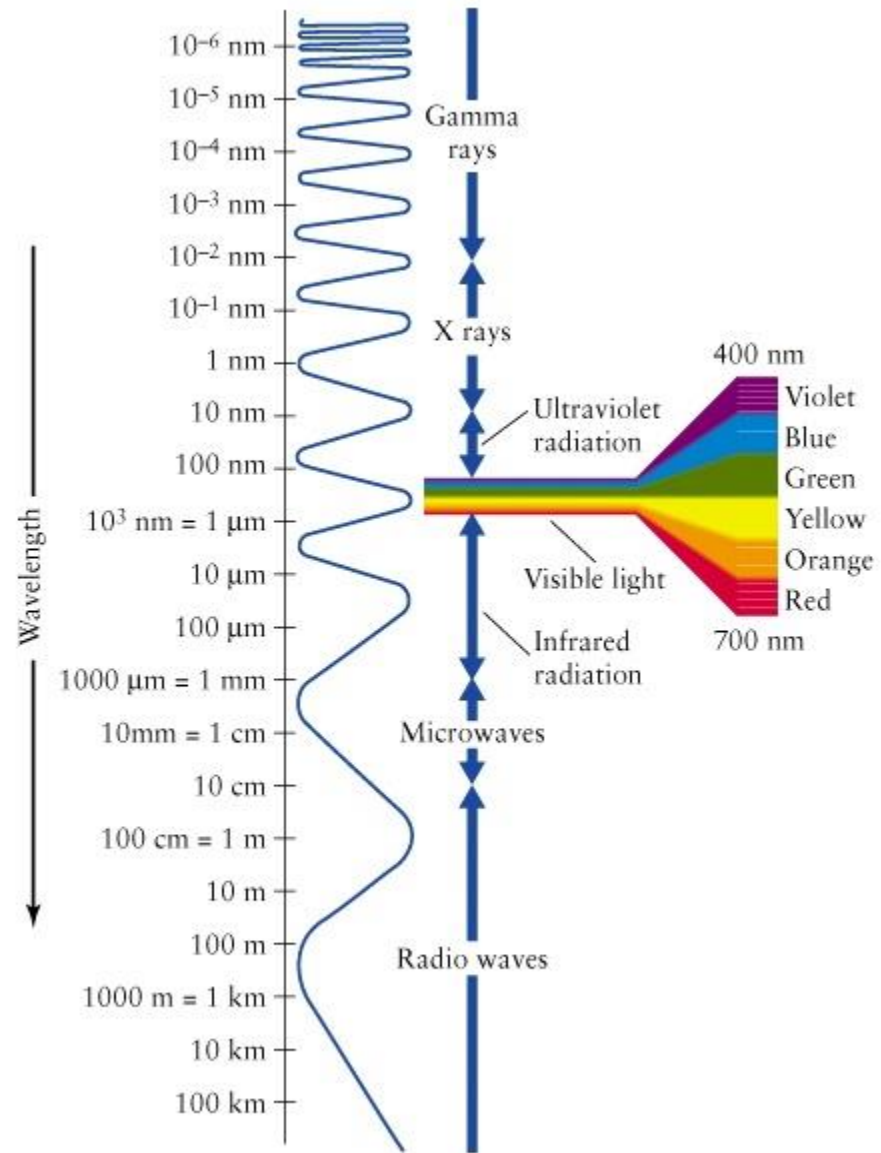
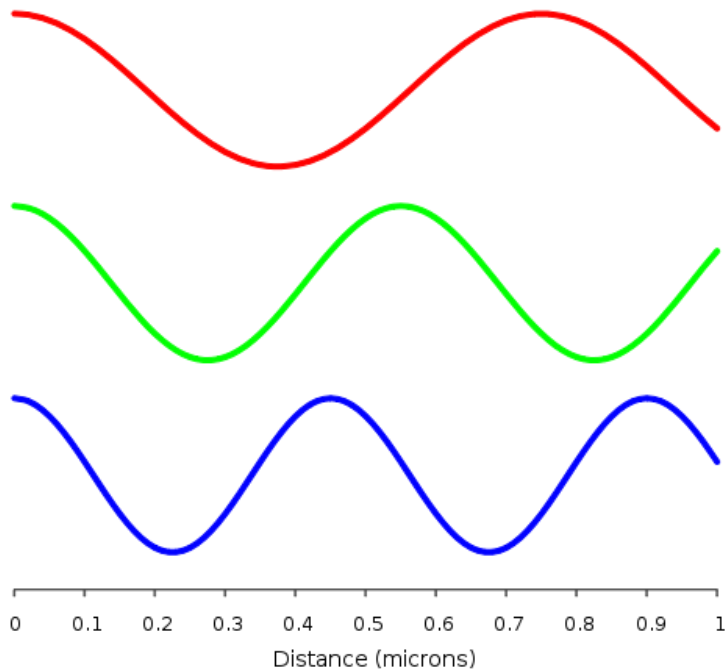
Légi lézerszkennelés alkalmazási területei

A fény

- Elektromágneses hullám
- Jellemzői
 - Sebesség, frekvencia, hullámhossz
 - $c=f\lambda$
 - Energia
 - $E=hf$
- Terjedési jellemzők
 - Egyenes vonalban terjed, Fermat, visszaverődhet/elnyelődhet, független sugarak

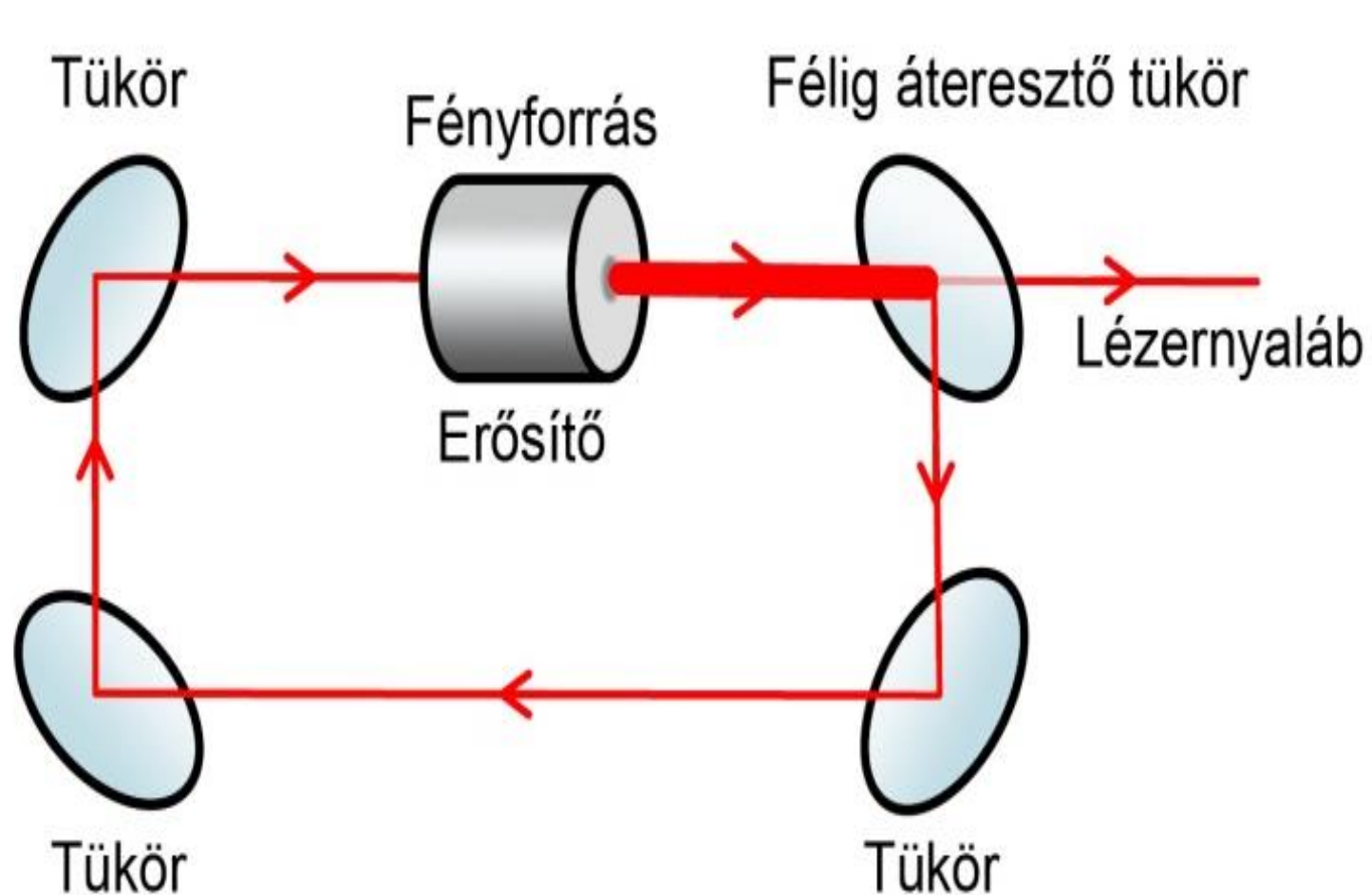
Félt

- Látható fényt: 400-700 nm (ibolyától vörösig)



Lézer

- LASER: L indukált
- Einstein,
- Maiman



Kibocsátás

Lézerek fajtái

Fényerősítő közeg szerint

- Szilárd (pl. rubin, 695 nm)
 - Hosszú élettartam, de ritka (az anyag), főleg jó minőségben
- Gáz, pl. üvegcsőben hélium (632nm) vagy CO₂ (infra)
 - Olcsó, könnyen előállítható, de a hullámhossz és energia korlátozott
- Folyadéklézer (festéklézer)
 - Hangolható (bármilyen hullámhossz), de rövidebb az élettartama és általában mérgező folyadékok
- Félvezető lézerek (piros és infra)

Lézer tulajdonságai (<-> „normál” fény)

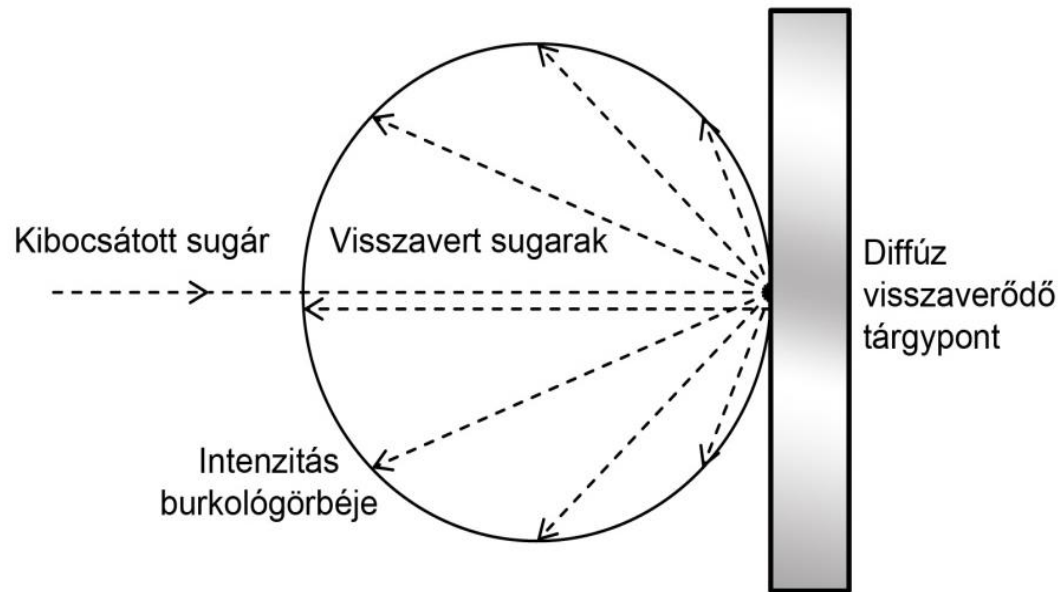
- Monokromatikus (egyetlen hullámhosszú összetevőből áll)
- Koherens (a fázis minden keresztmetszetben azonos)
- Kis divergencia (keskeny és kis széttartású nyaláb)
- Polarizáció (lézer által kibocsátott hullámok mágneses mezejének iránya állandó)
- Koncentrált energiájú



Lézer típusok hullámhossz (szín) szerint

- Kék 460nm
- Zöld 532nm (vízbe hatoló) (LiDAR)
- Piros 635nm
- NIR, pl. 1064nm (Nd:YAG) (LiDAR)
- SWIR, pl. 1540nm LiDAR)

Visszaverődési táblázat; 900nm



anyag	Visszaverődés (%)
Fa-anyag (fenyő, tiszta, száraz)	94
Hó	80-90
Fehér fal	85
Mészkö, agyag	75
Lombhullató fa	60
Fenyők	30
Száraz homok	57
Nedves homok	41
Parti, sivatagi homok	50
Beton (sima)	24
Kavicsos aszfalt	17
Láva	8
Gyémánt	5

Két fontos jellemző: biztonság és terjedés

- Koncentrált fény
 - Különböző lézerosztályok
 - Vagy alacsony energia vagy olyan hullámhossz, melyre a szem nem érzékeny (pl. SWIR)
- Terjedés
 - Tkp. ahogy az emberi szem lát
 - Enyhe köd, pára nem akadály
 - Sötétben is működik

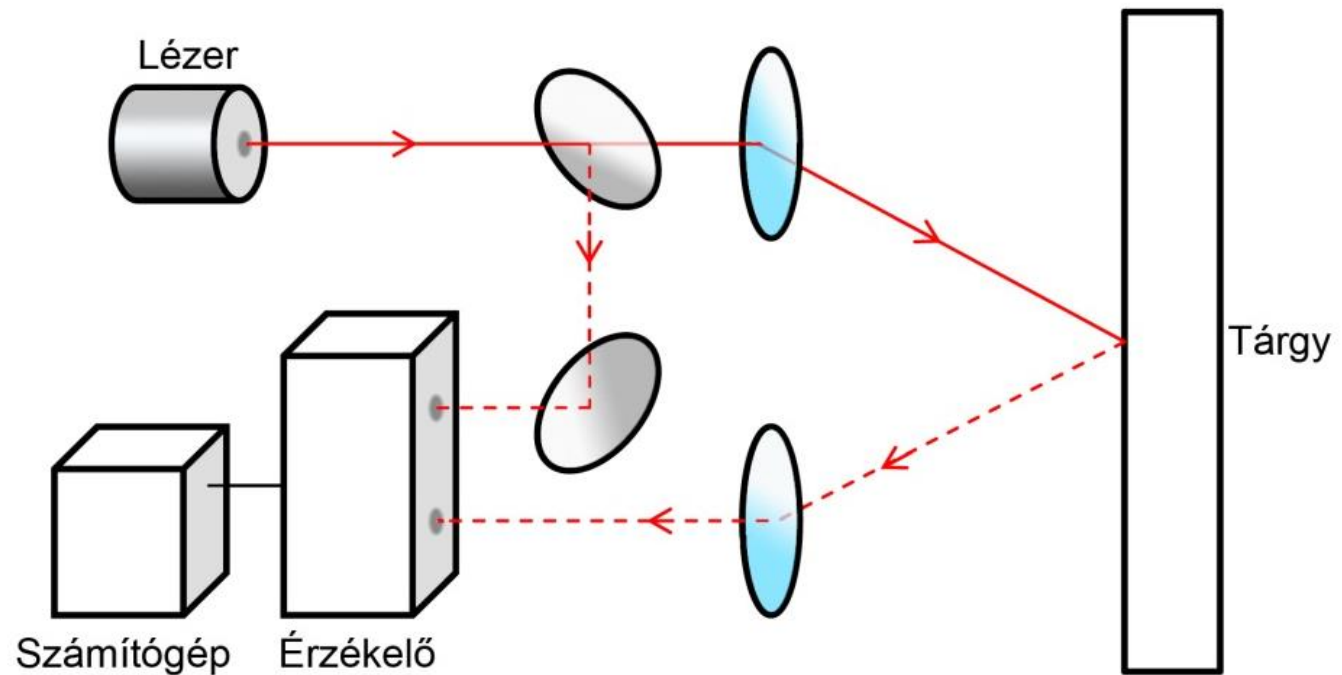
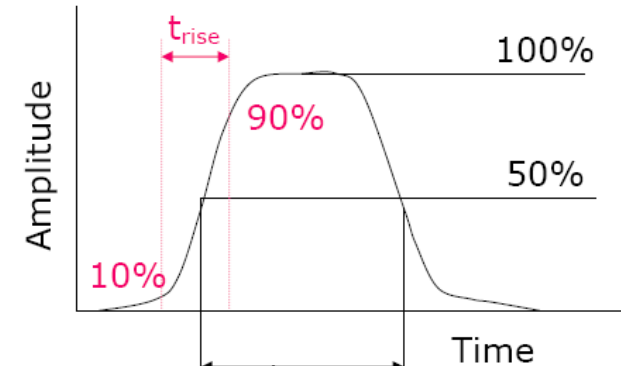
Lézer alkalmazási területei

- Pointer, CD stb.
- Koncentrált fény: jó marker

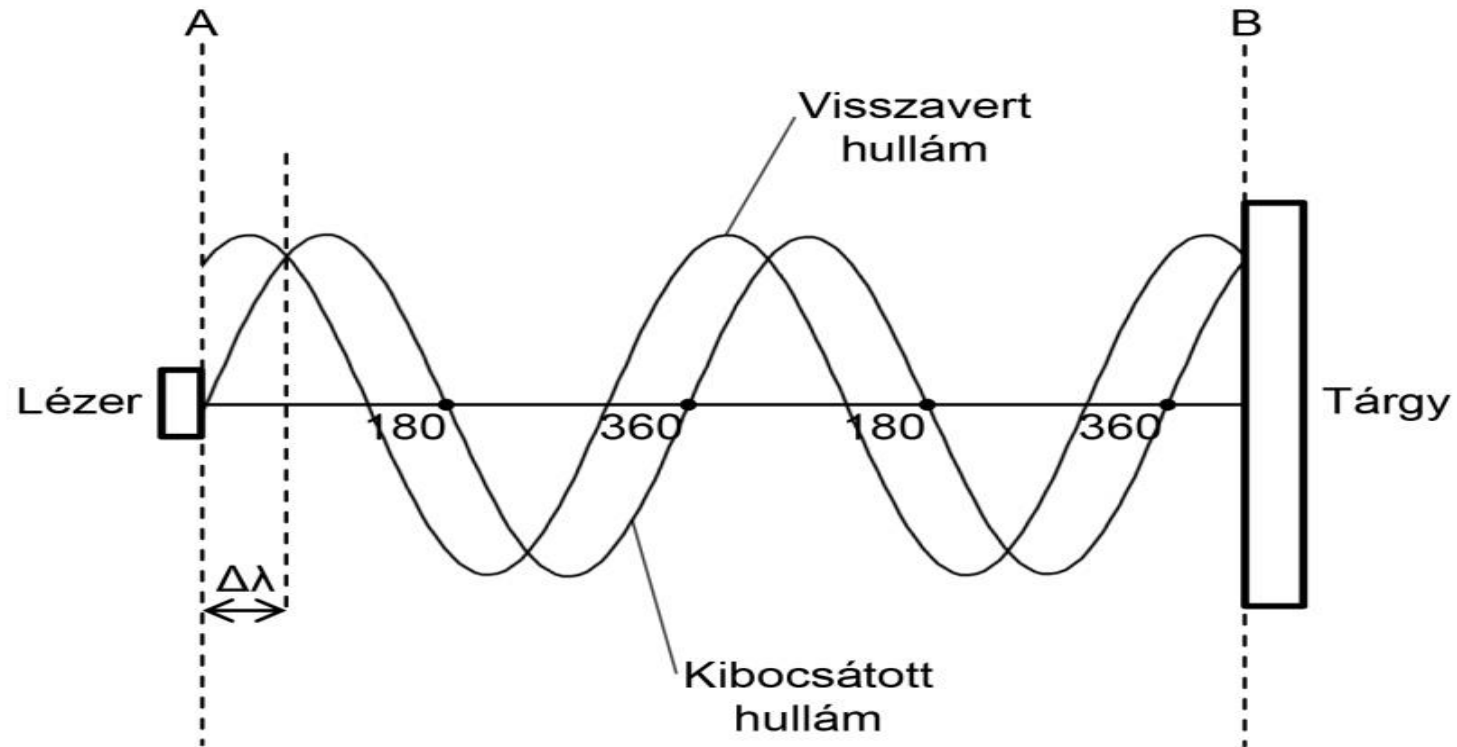


Táv mérés - ToF

- $D = v \cdot t / 2$
 - D-távolság
 - v-fény sebessége
 - t-fény utazási ideje (oda-vissza)
- Felbontás: $\Delta D = v \cdot \Delta t / 2$



Táv mérés - Fázismérés

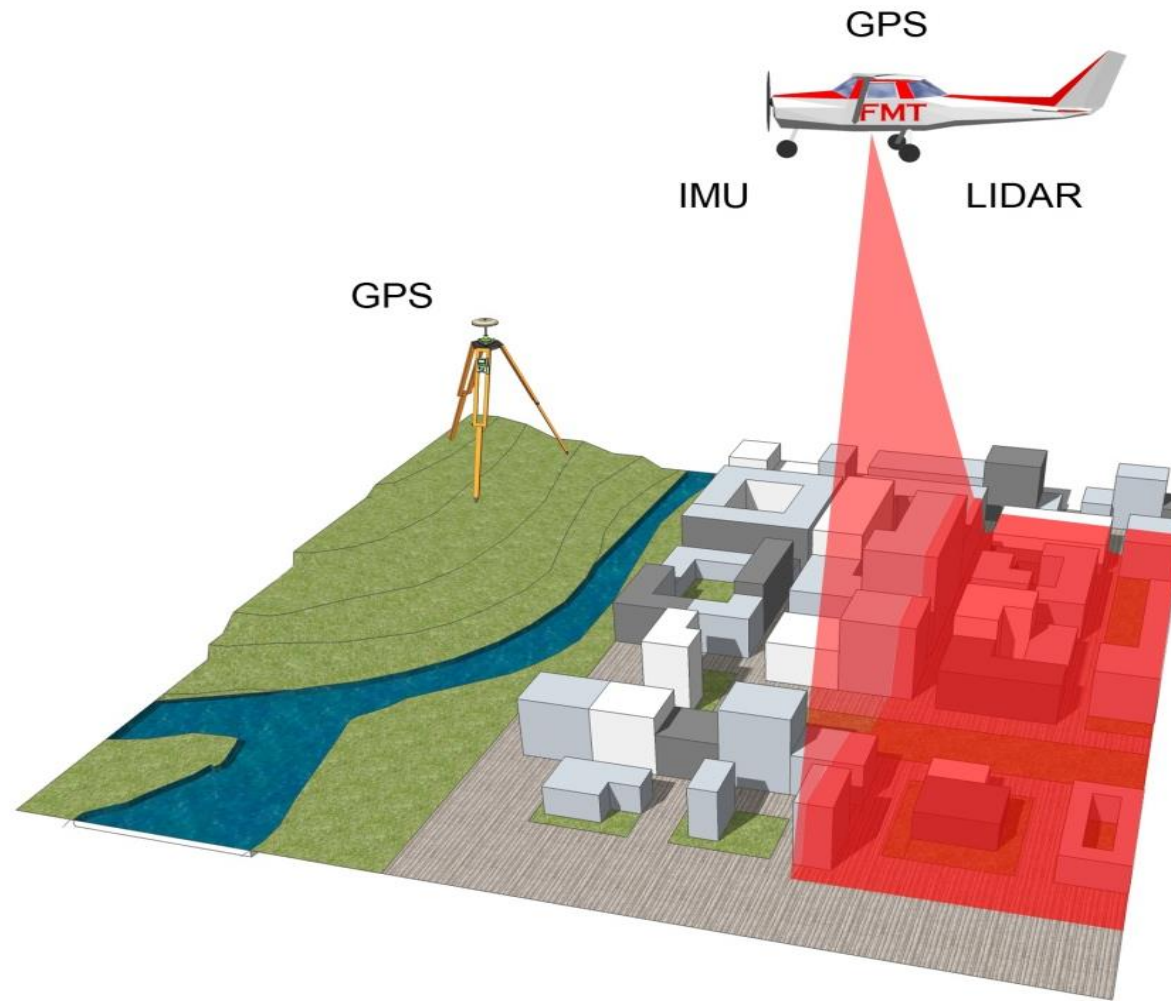


$$D = n \frac{\lambda}{2} + D_m$$

$$D_m = \frac{\Delta\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

LiDAR működése

- Platform
- GPS/IMU
- Lézer szenzor



ODOT rendszer

- Cessna
- Jena LMK
- Optech ALTM
- Applanix navigációs rendszer

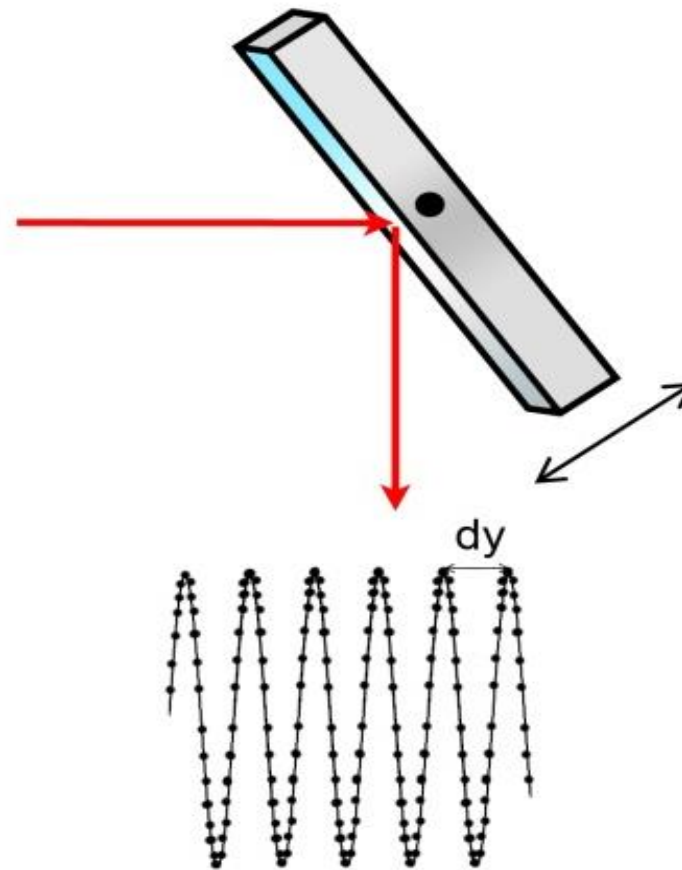
Platformok

- Ma
 - Repülőgépek
 - Helikopterek
- Fejlesztések
 - UAV
 - Űrhajó
 - Műhold



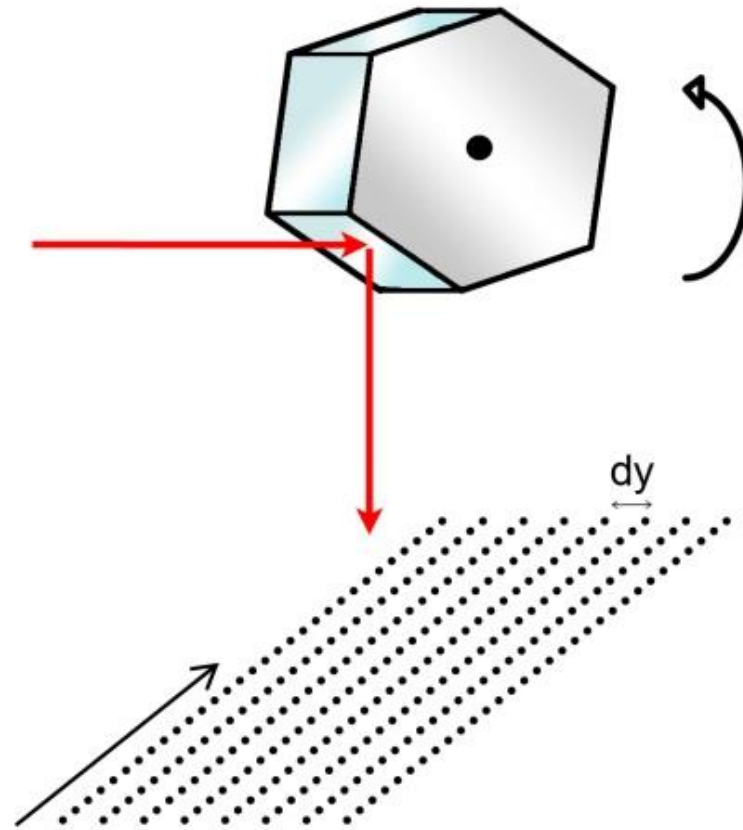
LiDAR szenzorok - oszcilláló tükrös

Oszcilláló tükrös



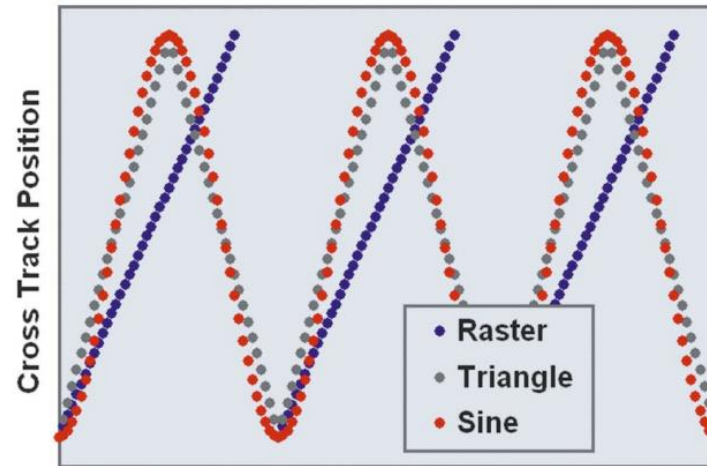
LiDAR szenzorok - poligon tükrös

Poligon tükrös



LiDAR szenzorok - kombinált megoldás egy rendszerben

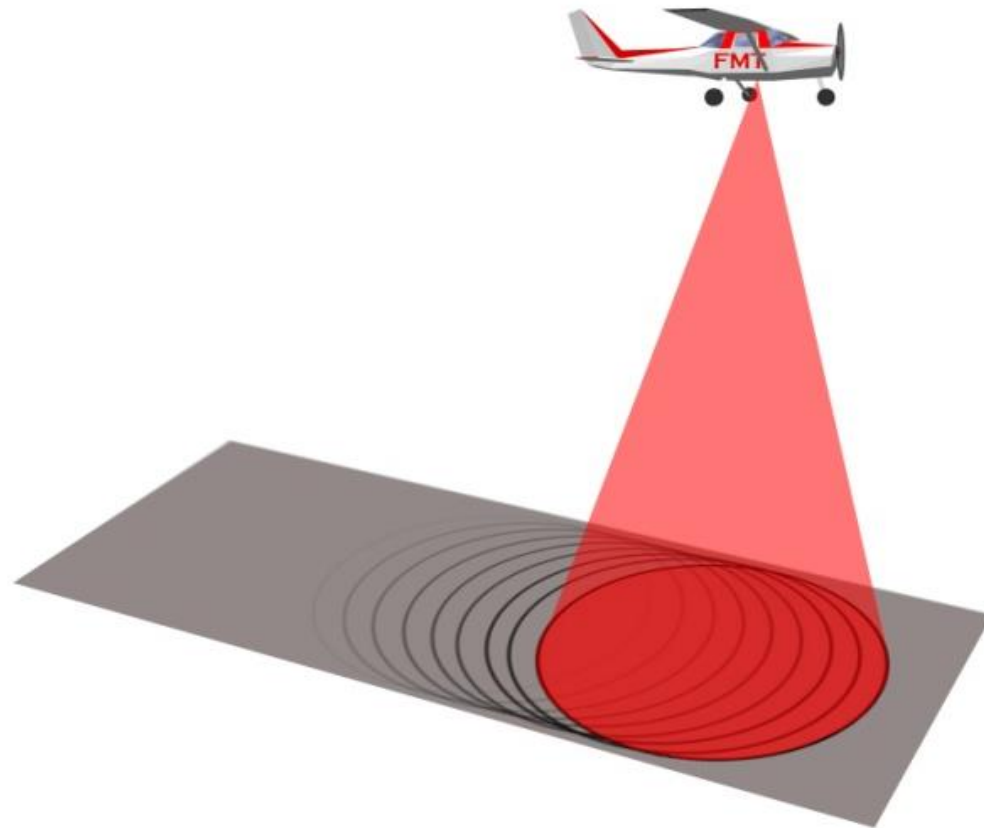
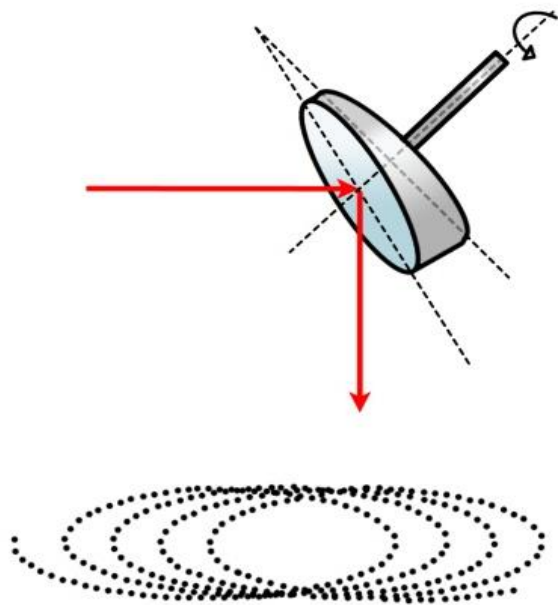
- Pl. Leica ALS70 sorozat



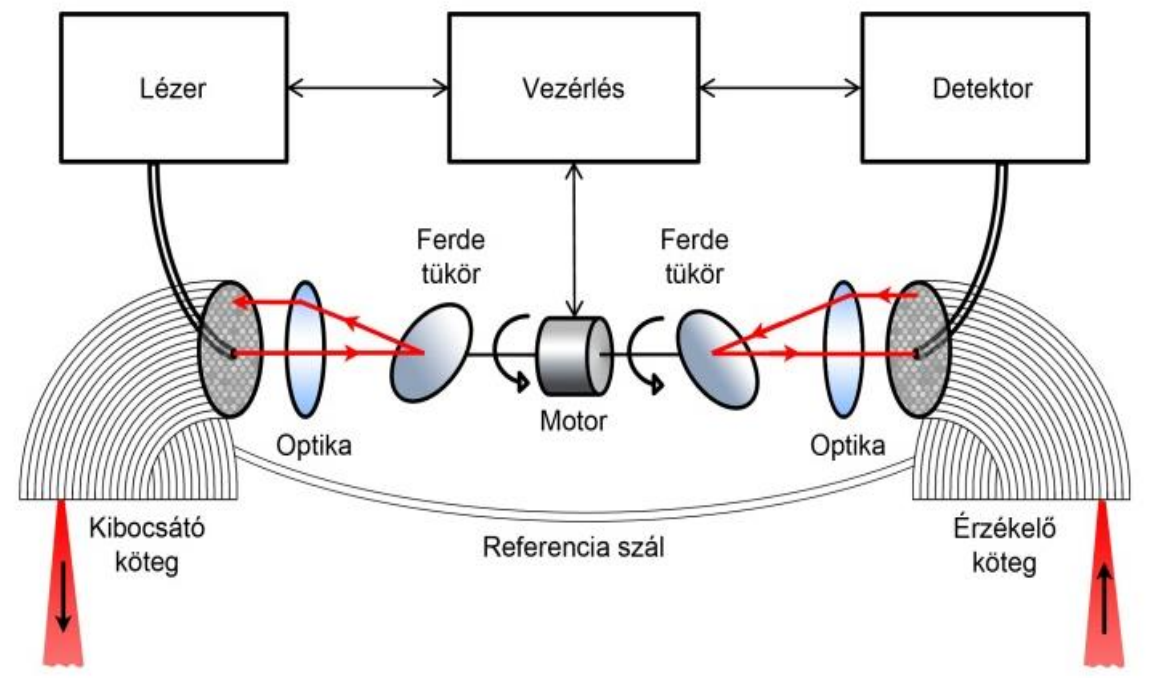
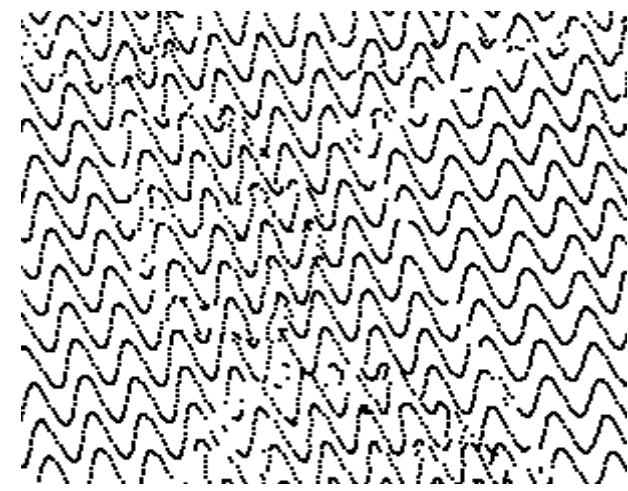
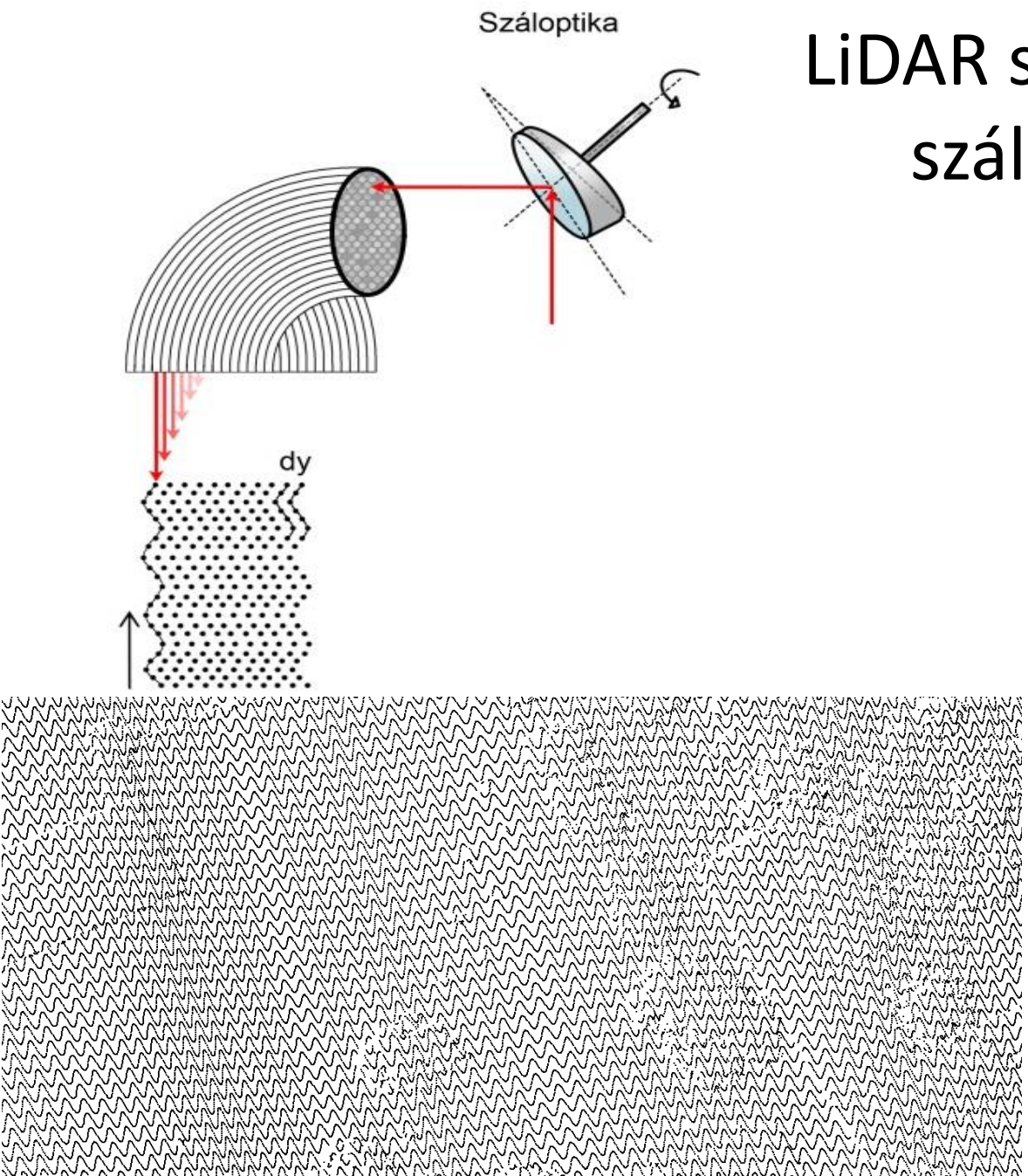
Along Track Position
Choice of sine, triangle and raster scan patterns

LiDAR szenzorok - nutáló tükrös

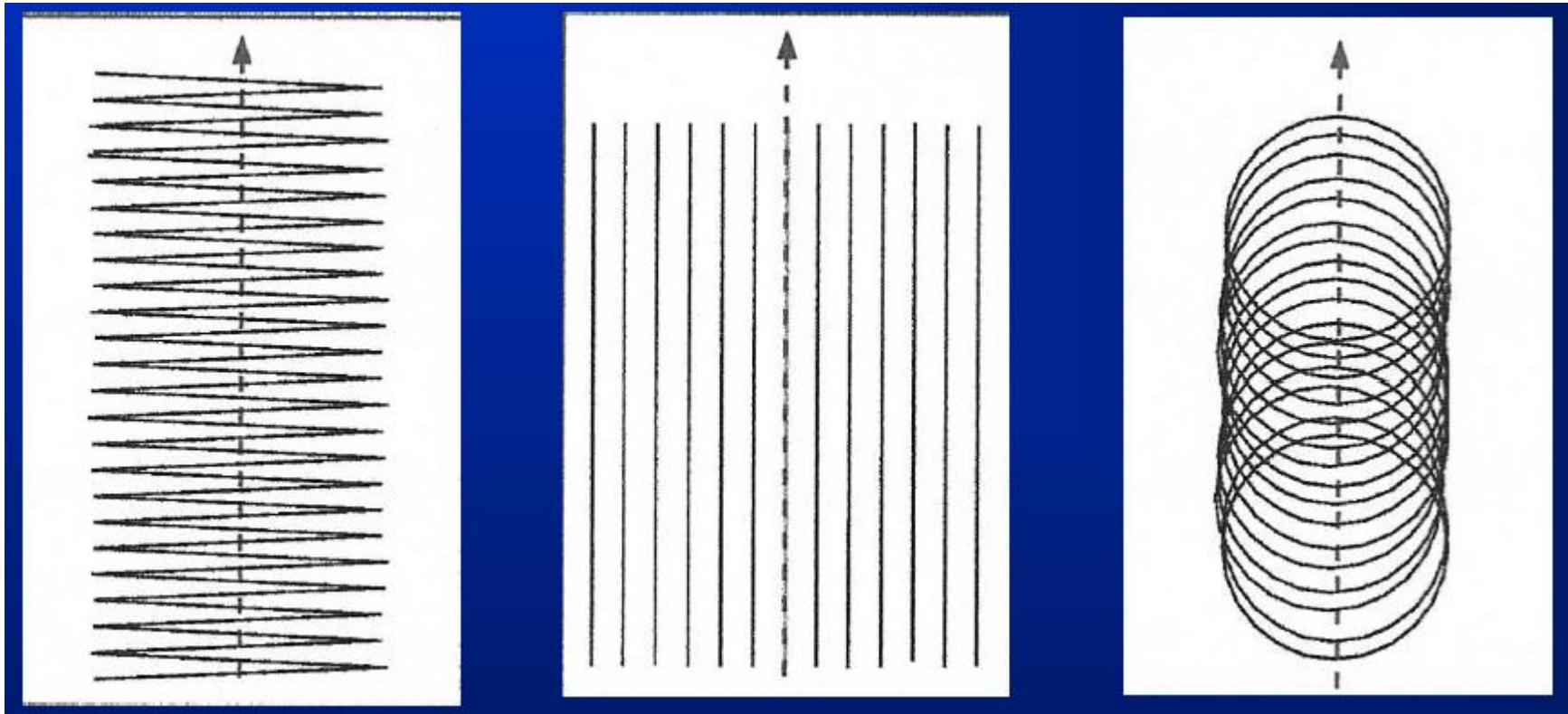
Nutáló tükrös



LiDAR szenzorok - száloptikás

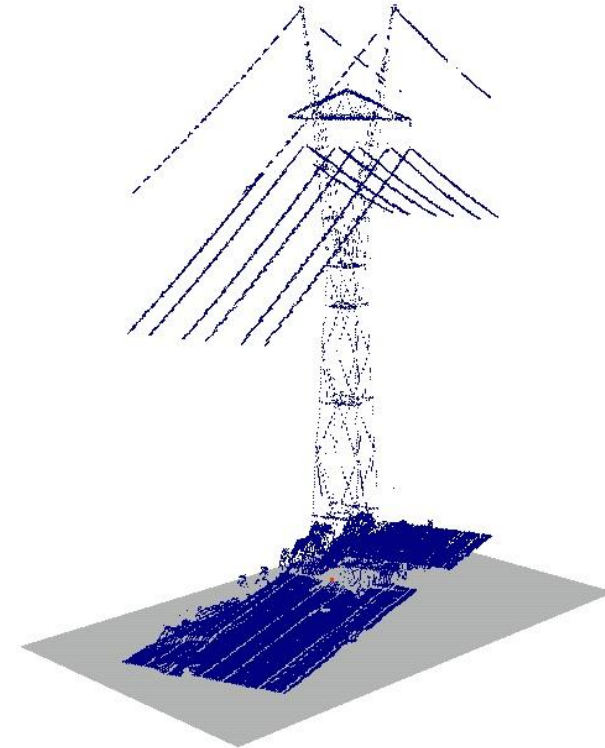


Szkennelési minták összehasonlítás



LiDAR pontsorok felbontása

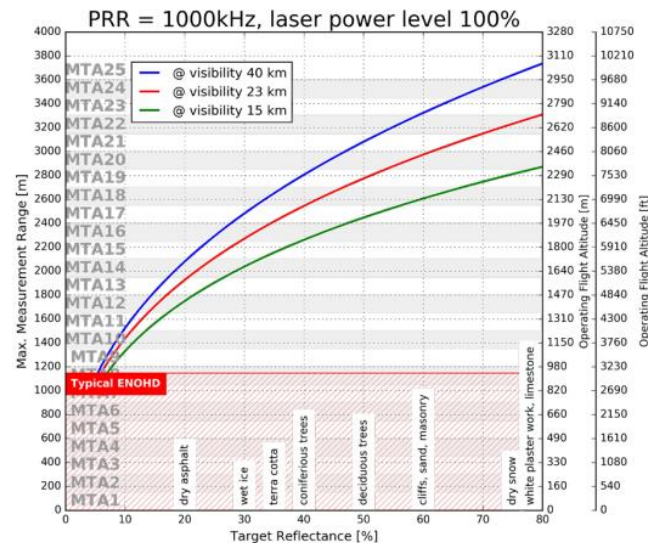
- Pontok távolsága a repülés irányában
 - $(v/sf)/2$
 - v : szenzor sebessége
 - sf : szkennelési frekvencia
- Pontok távolsága keresztirányban
 - $(2*sf*sw)/rr$
 - sw : szkennelési sáv szélessége
 - $sw=2*sh*\tan(sa/2)$
 - » sh : szenzor magassága
 - » sa : szkennelési szög
 - rr : kibocsátási frekvencia (pulzus gyakorisága)



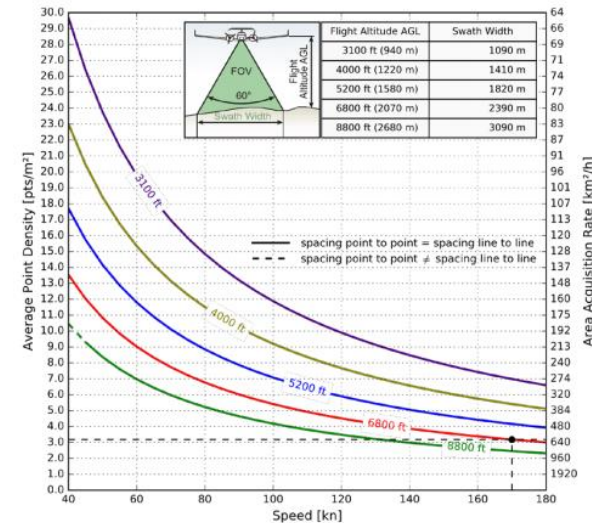
Pontsűrűség növelése

- Kibocsátási frekvencia növelése
- Többszörös kibocsátás
- Szkennelési frekvencia növelése
- Tandem szkennelés (pl. Riegl BP-560, Optech Pegasus)

Riegl VQ-780i



Example: VQ-780i at 1,000,000 pulses/sec, laser power level 100%
Altitude = 6,800 ft AGL, Speed 170 kn



Results: Point Density ~ 3.18 pts/m²
Area Acquisition Rate ~ 600 km²/h

The following conditions are assumed for the Operating Flight Altitude AGL

- ambiguity resolved by multiple-time-around (MTA) processing
- target size \geq laser footprint
- full FOV of 60°
- average ambient brightness
- roll angle $\pm 5^\circ$

Assumptions for calculation of the Area Acquisition Rate

- 20% overlap of neighboring flight strips. This overlap covers a roll angle of $\pm 5^\circ$ or a reduction of flight altitude AGL of 20%.

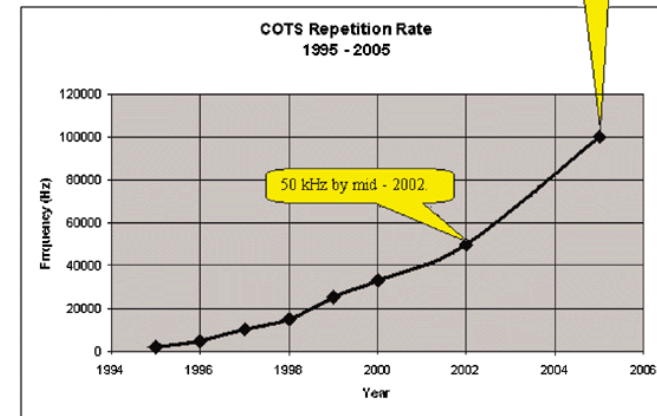
Lézer-hatótáv

- Eddig: következő kibocsátás mindig az előző jel visszaérkezése után
- Új irányzat
 - Multiple-pulses-in-the-air (Leica)
 - Continuous multipulse (Optech)
 - Multiple time around (Riegl)
- Repülő által megtett út kibocsátás és visszaverődés között
 - $s=2vR/c$ (pl. $v=60\text{m/s}$, $R=750\text{m}$: $s=0.3\text{mm}$)
- 25kHz-es rendszernél a max. hatótáv: 6km
 - $(300000/25000)/2$
- A hatótáv tehát a következőktől függ:
 - Kibocsátási energia, sugár széttartás, atmoszferikus hatások, visszaverődési tulajdonság, vevő érzékenysége stb.

Rep rate

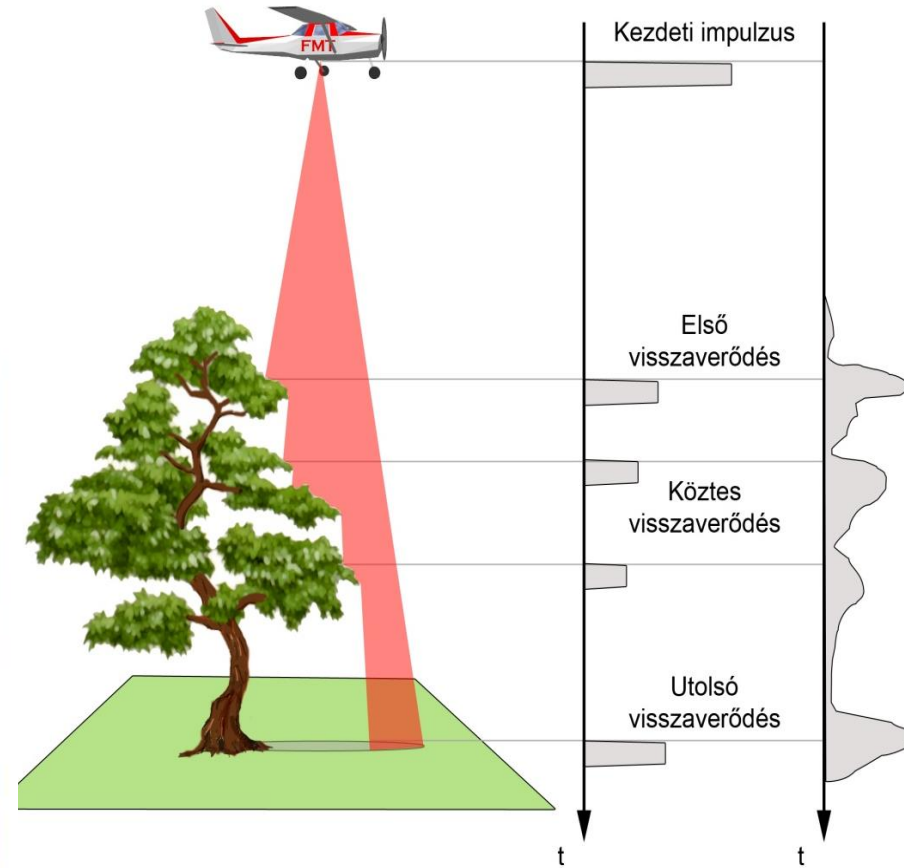
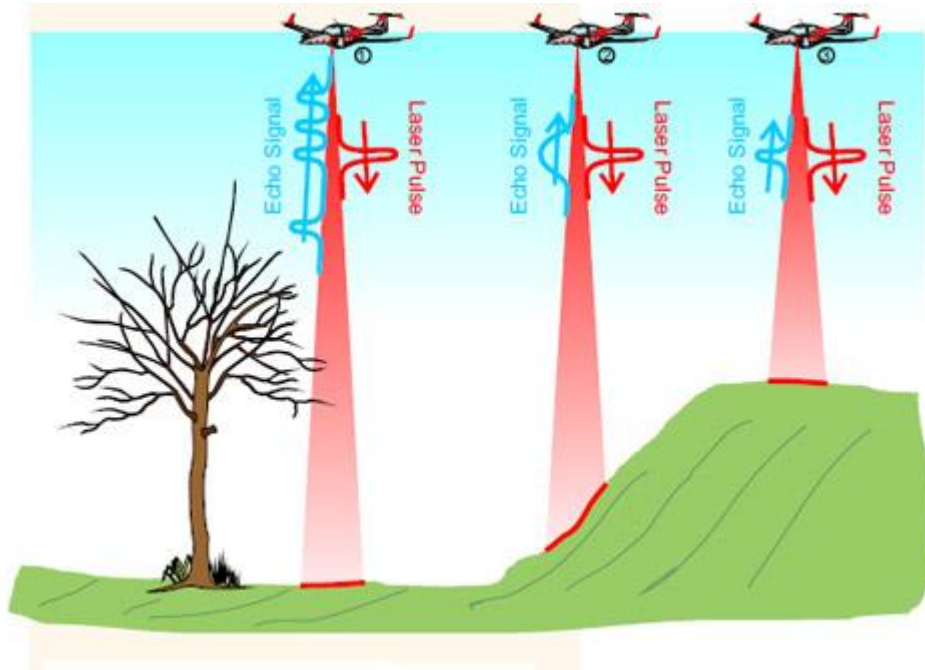
- Optech ALTM 3100: 100 kHz (2005)
- Leica ALS70: 500 kHz (2020)
- Riegl LMS: 1000 kHz (2020)

Repetition Rate Increase in
Small Footprint COTS Sensors
1995 - 2005

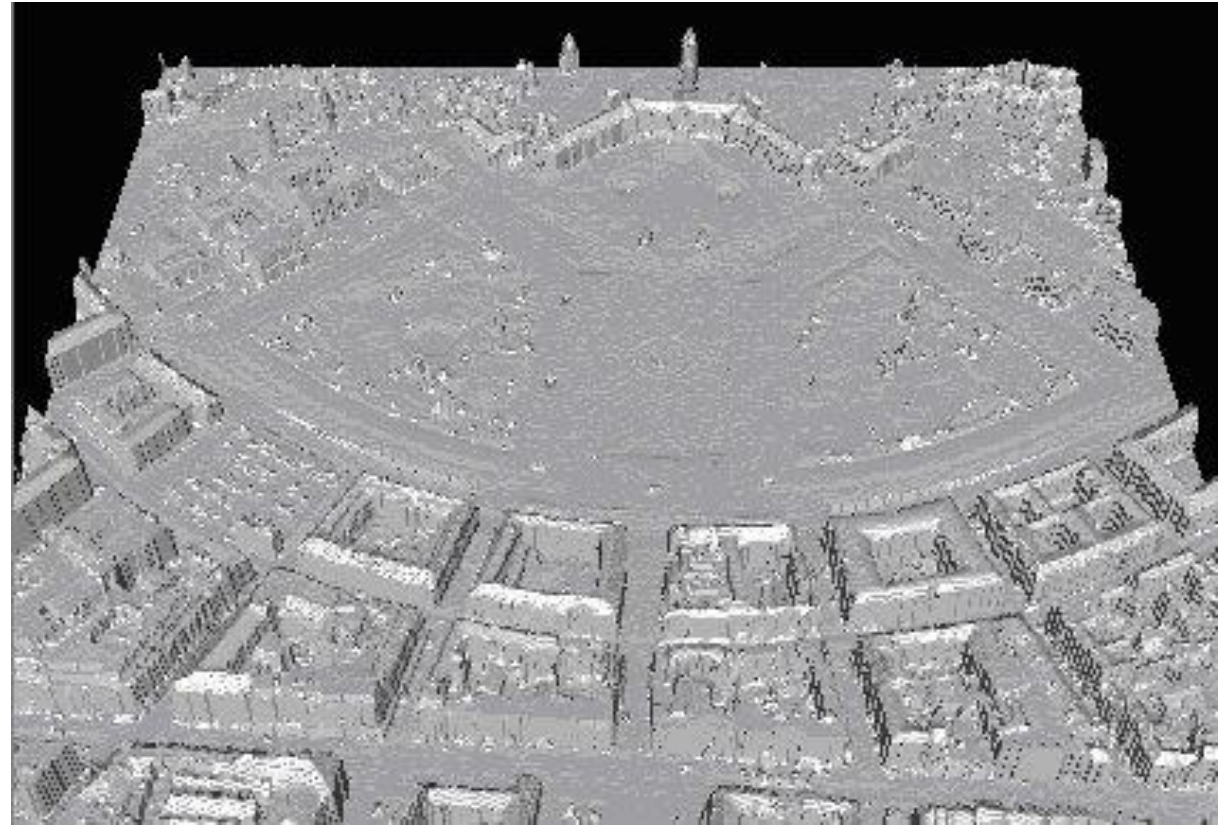
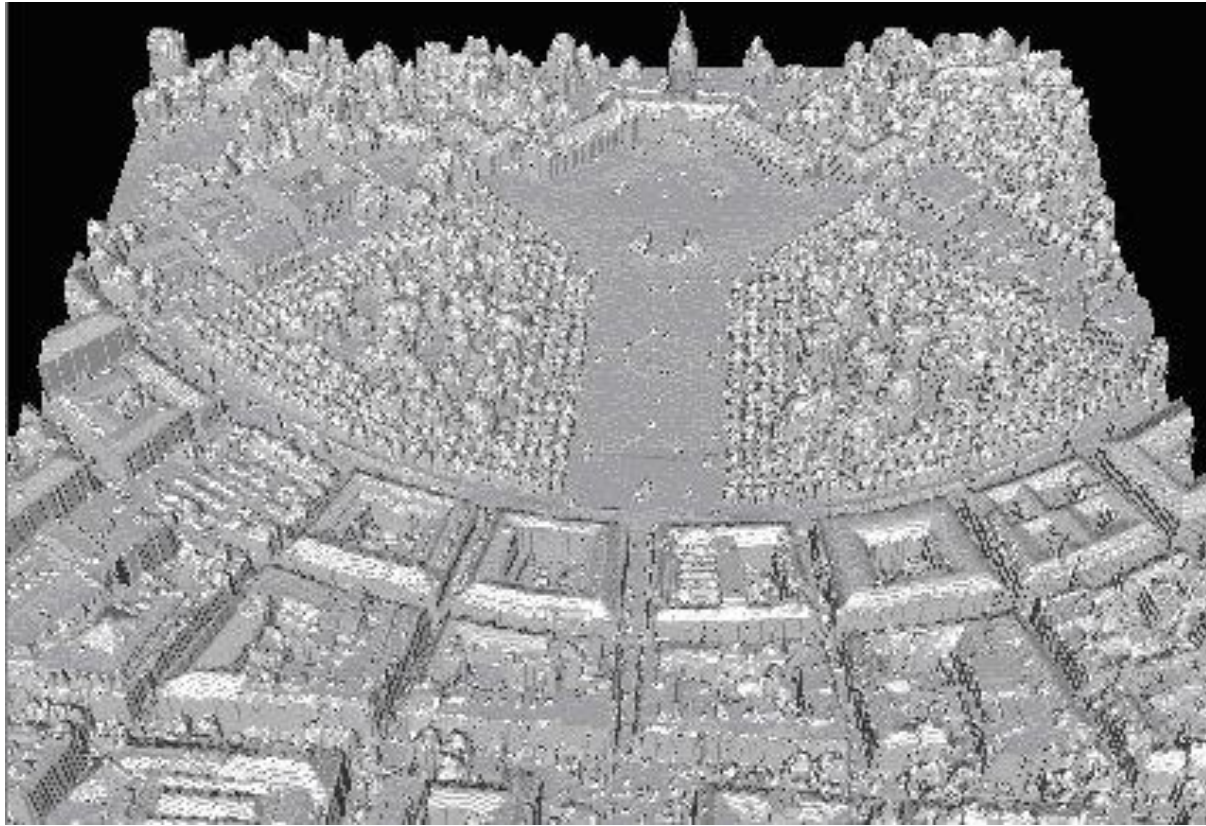


First/Last pulse, multiple returns

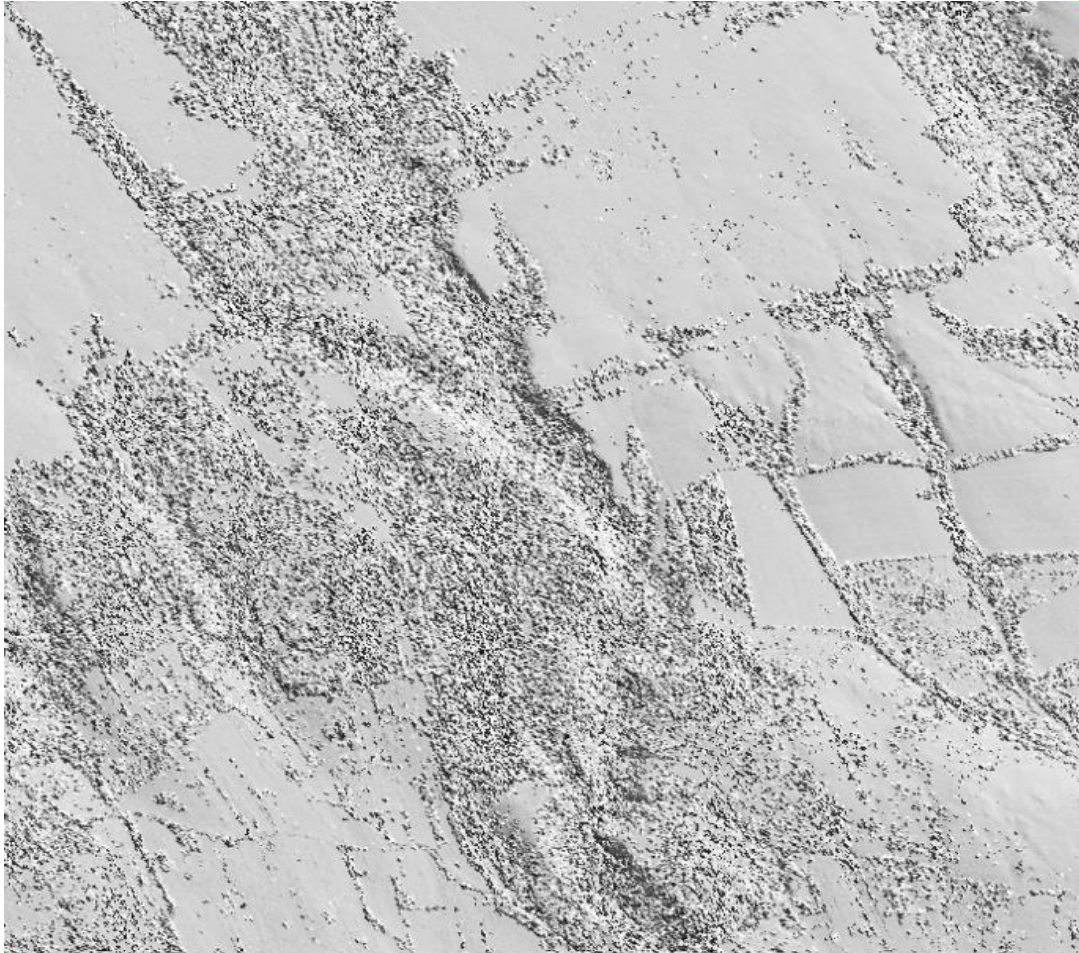
- Több visszaverődés (akár 3-4)
- Impulzus hosszától függ
 - Mai rendszerek: 2-3 m
- Teljes hullámforma digitalizálás



First/Last pulse DSM/DEM



First/Last pulse DSM/DEM



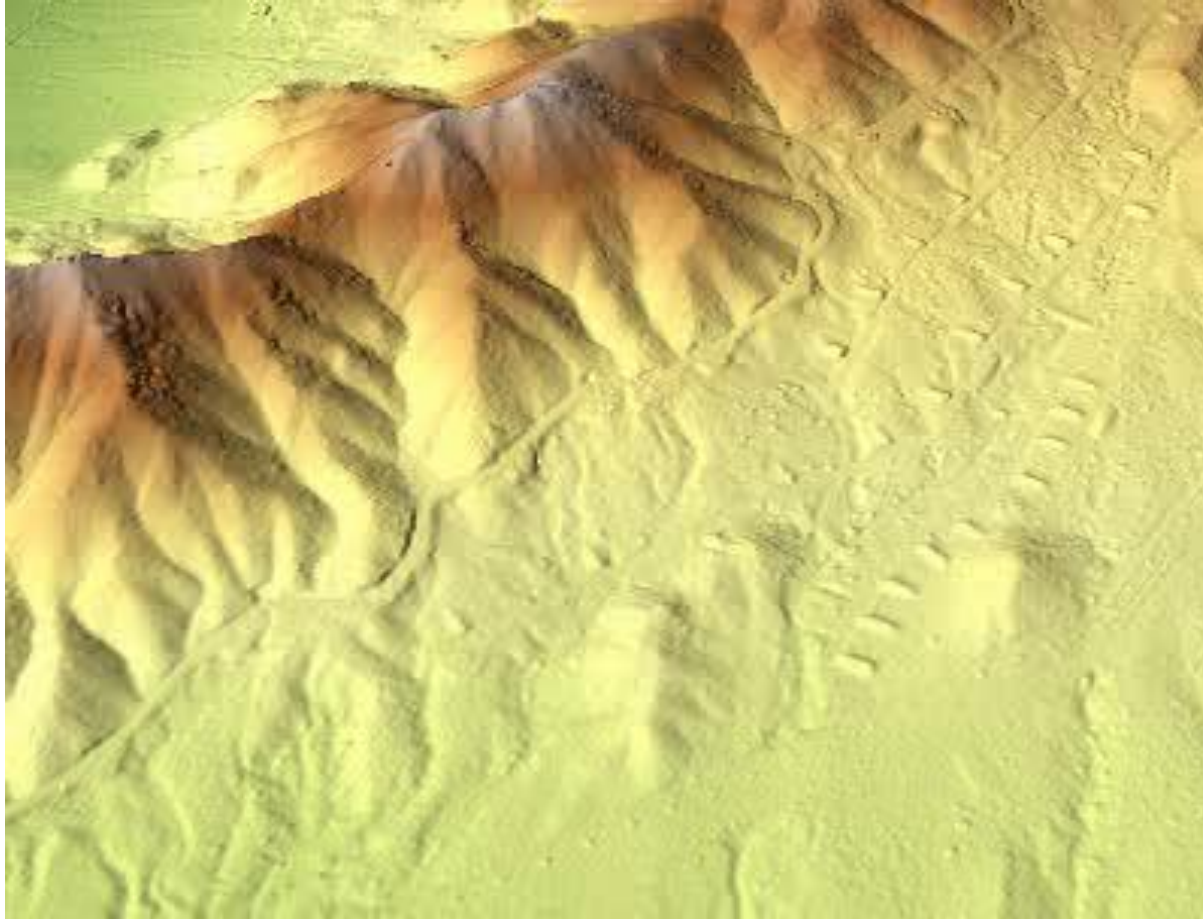
Intenzitás



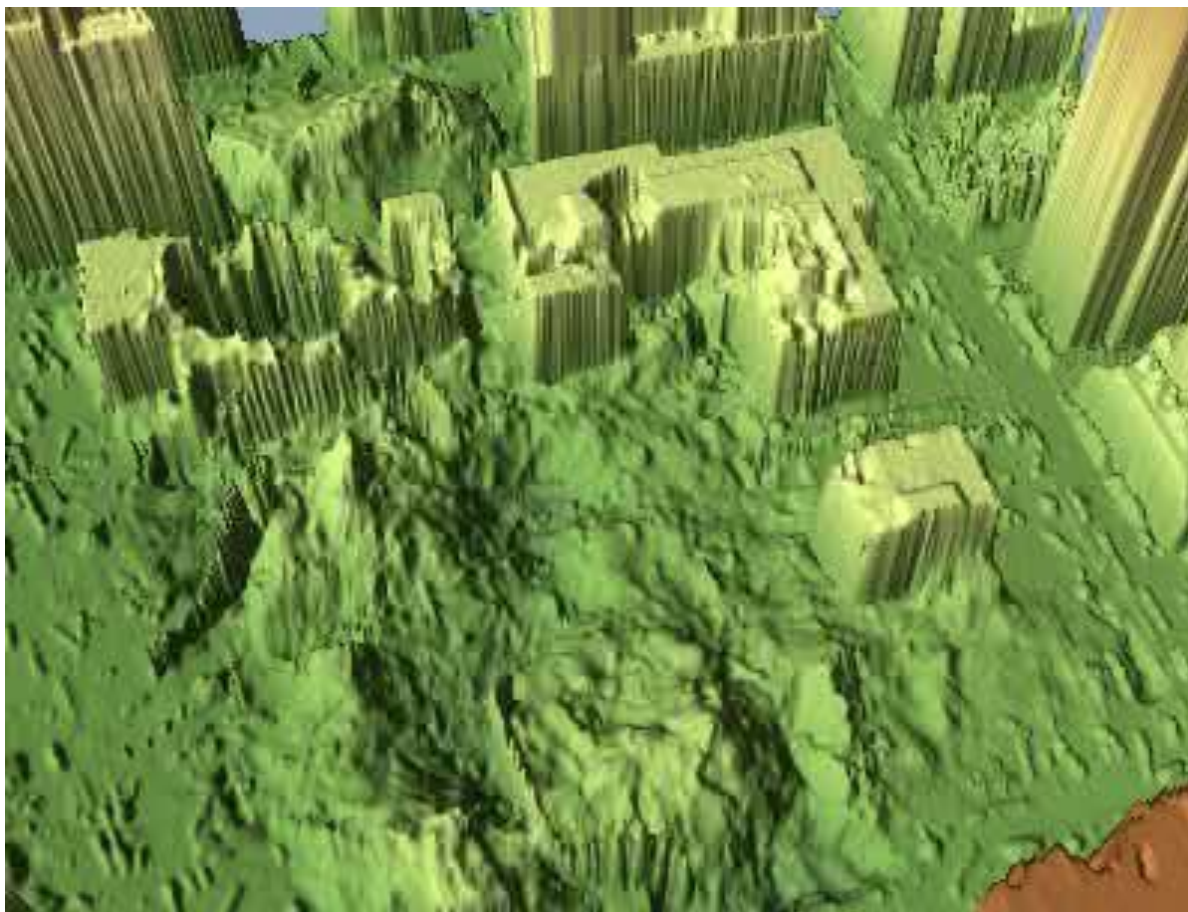
LiDAR adatok tárigénye

LiDAR Data Storage Requirements /Airborne1/	
Parameter	Data Size (typical)
Raw Data - Dual Return wt intensity	
Laser Range	4 byte
Intensity	2 byte
Laser Range	4 byte
Intensity	2 byte
Scan Angle	2 byte
Time Stamp	8 byte
Data Size - Dual Return wt intensity	22 byte
Processed Data - Dual Return wt Intensity	
XYZ Coordinate	3 x 8 byte = 24 byte
Intensity	2 byte
XYZ Coordinate	3 x 8 byte = 24 byte
Intensity	2 byte
Data Size - Dual Return wt intensity	52 byte
Data Storage Requirements (25.000 Hz, dual return with intensity)	
Per Hour os Data Collection	25.000 Hz x 3.600s x 52 byte = 4.57 Gbyte
Per Project Area (assuming 1 pulse per 1 m2)	
100 sq. Mile	13.16 Gbyte
100 sq. Km	5.08 Gbyte
100 acre	20.5 Mbyte
Per Acre	205.0 Kbyte

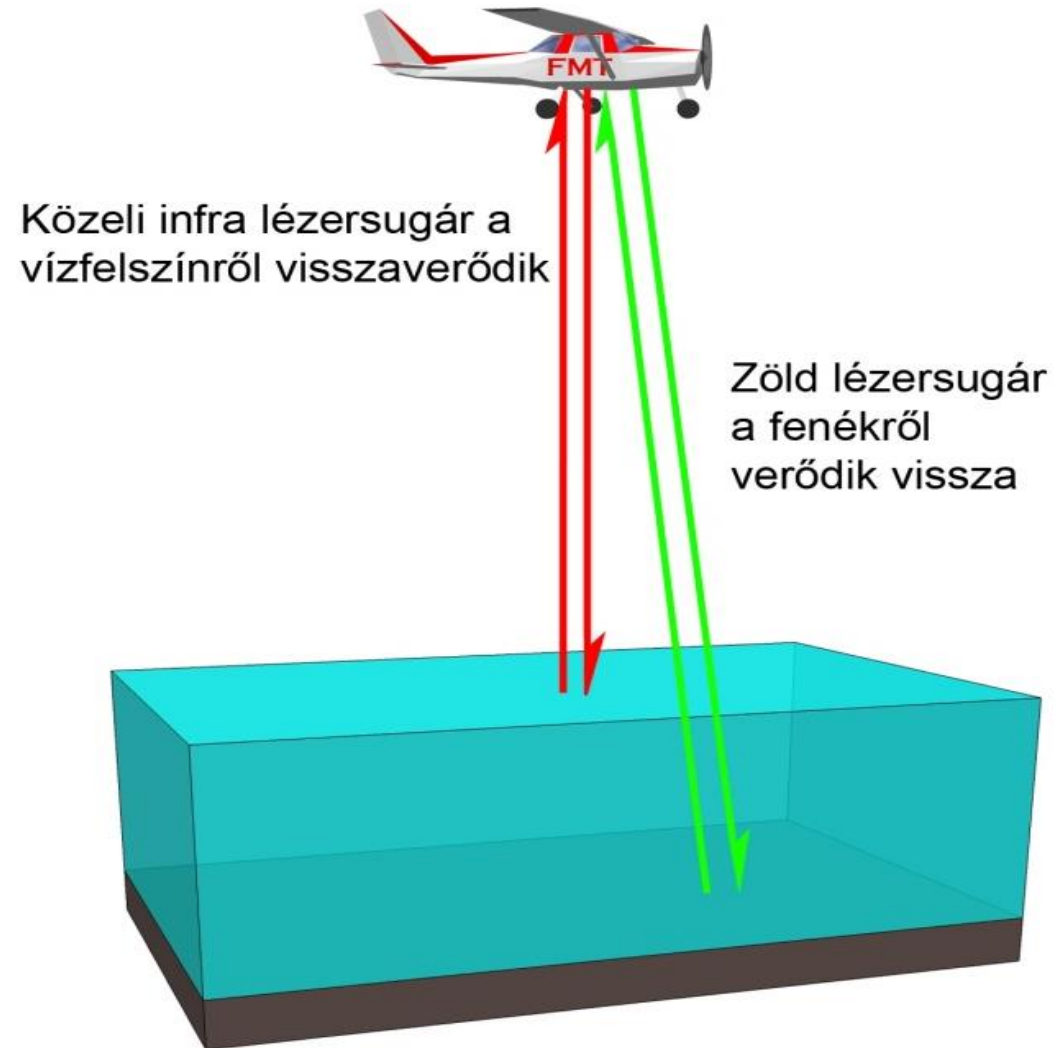
Emlékeztető: RADAR



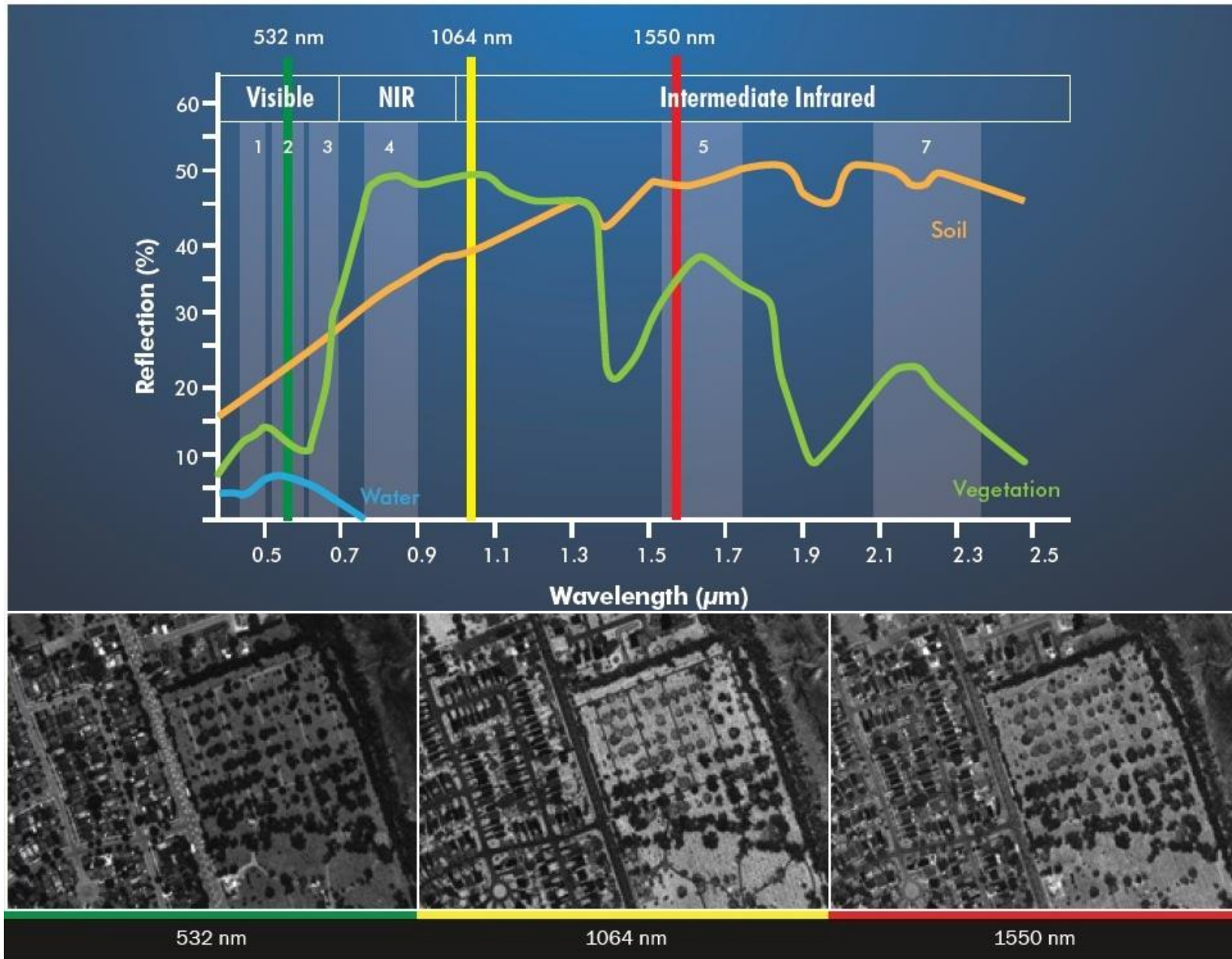
LiDAR DSM



Tengerfenék felmérés

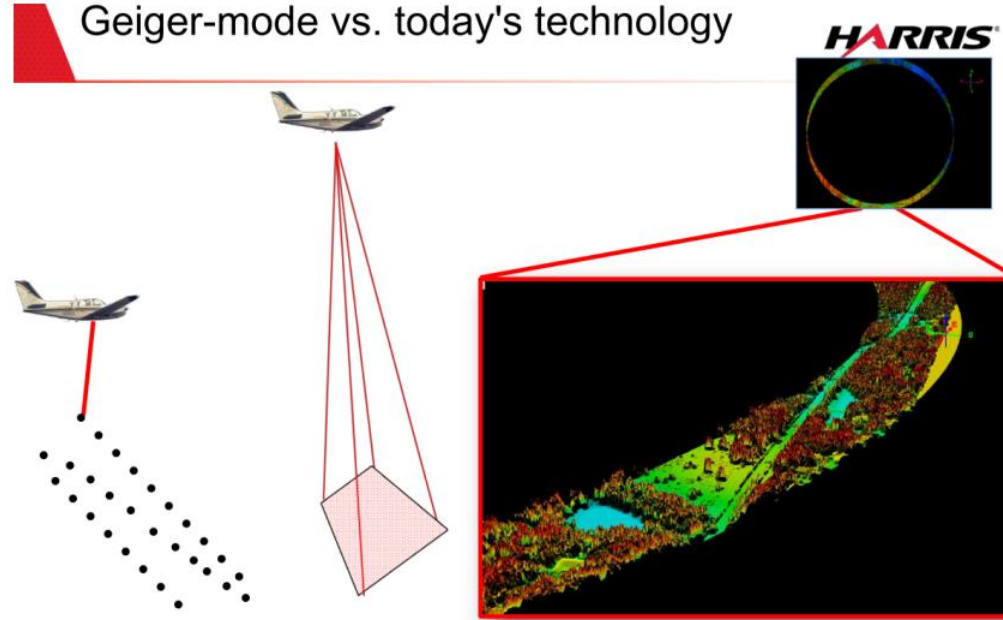


Multispektrális LiDAR



Geiger-mode LiDAR

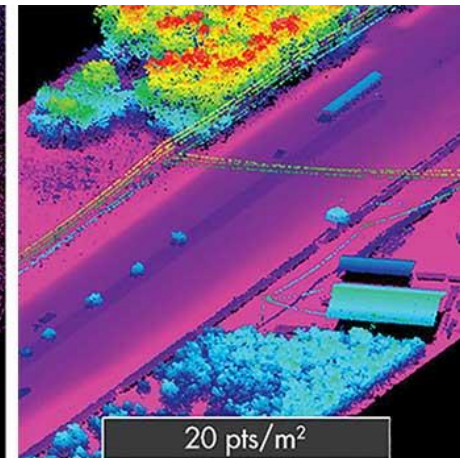
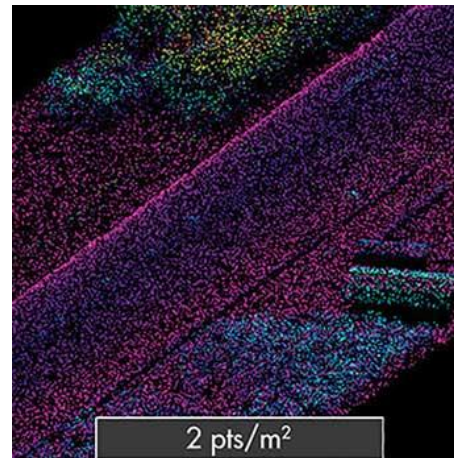
Geiger-mode vs. today's technology



Technology Comparison

Linear LiDAR	Geiger LiDAR
<p>Swath 3,300 ft.</p>	<p>Swath 16,000 ft.</p>

HARRIS

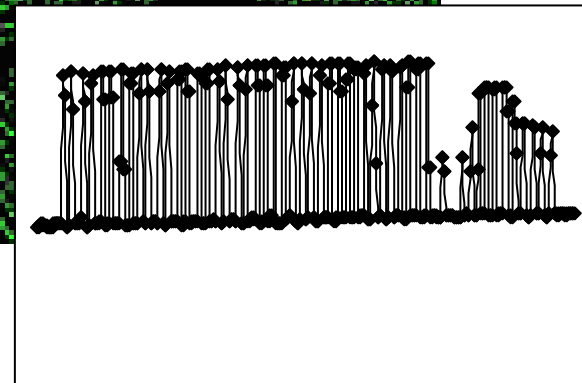
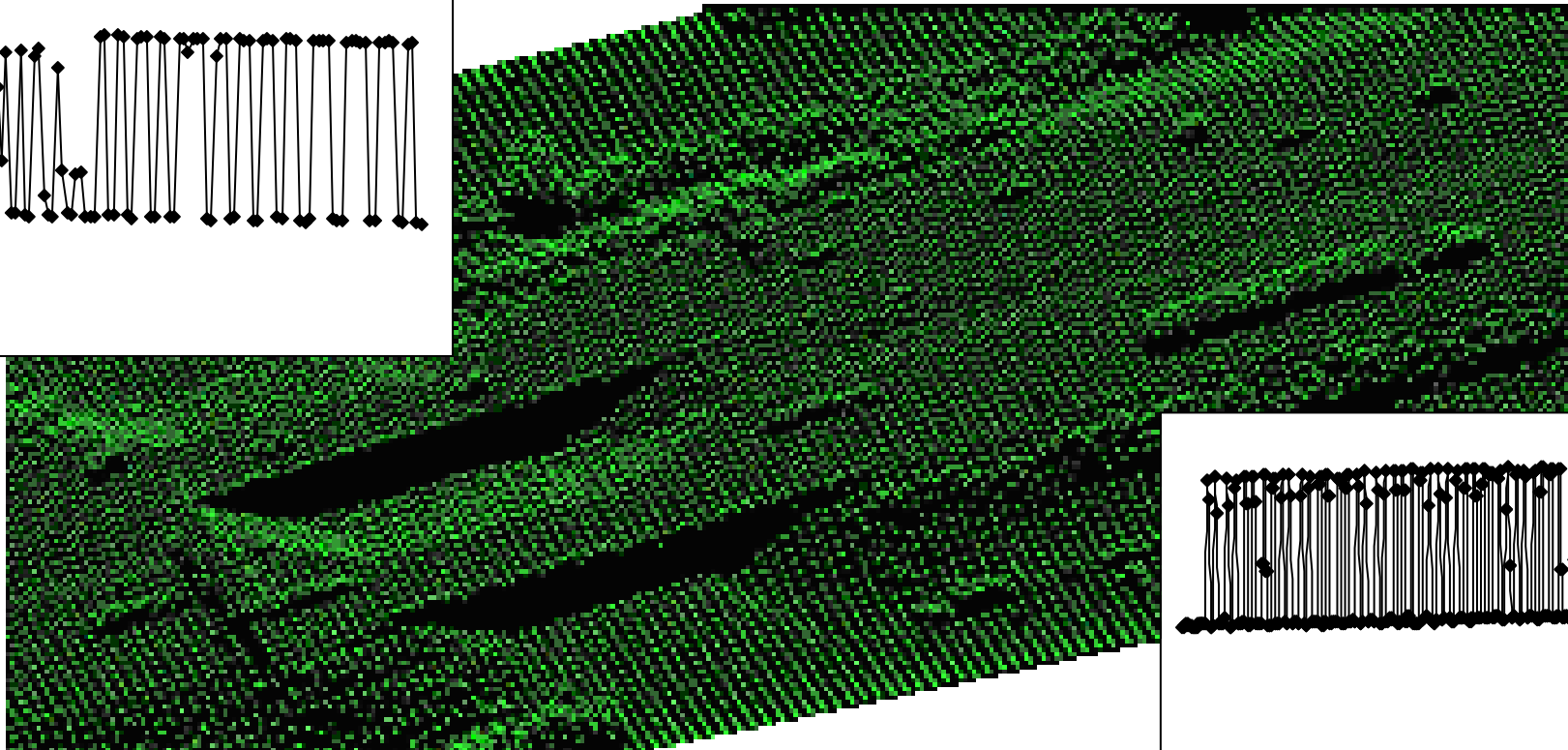
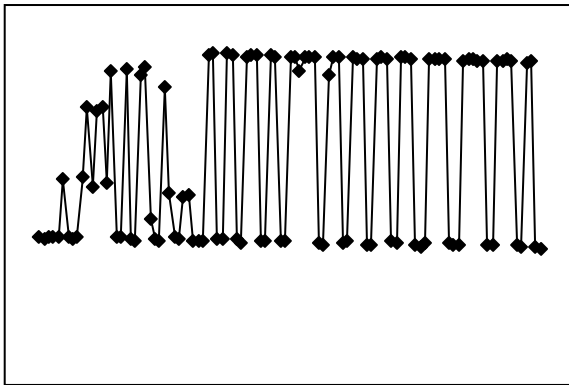


Alkalmazási területek

- DEM/DSM
- Erdészet (forestry)
- Part felmérés (coastal engineering)
- Vonalas felmérés (corridor mapping)
- Építkezések (construction)
- Árvízvédelmi alkalmazások (flood mapping)
- Városi alkalmazások (urban modeling)
- Katasztrófavédelmi alkalmazások (disaster response and damage assesment)
- Vizenyős vagy nehezen elérhető területek (wetlands, restricted access areas)

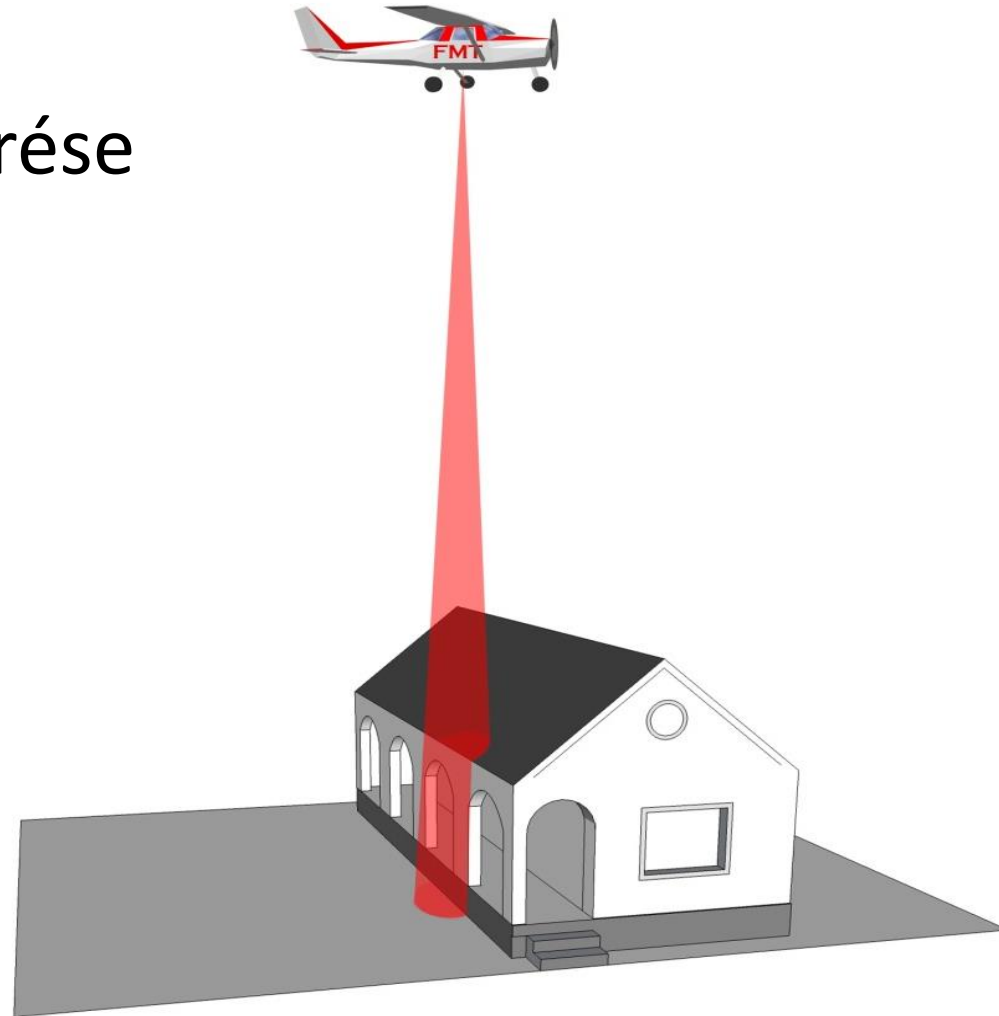
Speciális alkalmazás – forgalom detektálás

- Közlekedési adatnyerés: count? volume? flow?
- Statikus vagy dinamikus adatnyerés?



LiDAR hátrányok

- Költségek
- Vizek határvonalának felmérése
- Törésvonalak detektálása
- Légköri hatások
- Új technológia
 - Feldolgozás
 - Szakértelem
 - szabványok



Sensor fusion

- Korábban kis felbontású video kamera
- Ma 16-60Mpixeles kamera
- Egybeépített rendszer (pl. Leica ALS 50)
 - Közös stabilizáló platform
 - Közös GNSS/IMU
 - Közös repülési kontroller



Irodalomjegyzék

- Farrell, J.A. – Barth, M. (1999): The Global Positioning System and Inertial Navigation, McGraw-Hill, New York
- A. Wehr, U. Lohr (1999): Airborne laser scanning – an introduction and overview, ISPRS
- E.P. Baltsavias (1999): Airborne laser scanning: basic relations and formulas, ISPRS
- P. Lohmann: Laserscanning Geometric Aspects, IPI presentation
- P. Lohmann: Laserscanning Introduction