

SEZNÁMENÍ S PROJEKTEM „AMA“ AUTONOMOUS MAPPING AIRSHIP

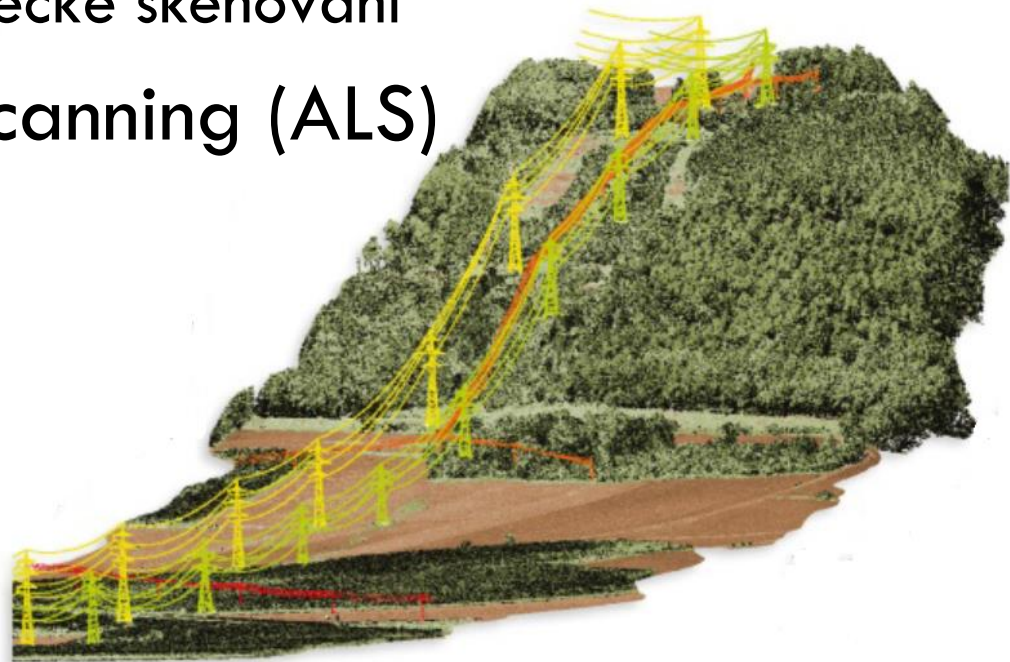
Bronislav Koska*, Tomáš Křemen*,
Vladimír Jirka**

*Katedra speciální geodézie, Fakulta stavební
ČVUT v Praze

**ENKI, o.p.s.

Obsah

- Porovnání metod sběru dat
 - 3D rekonstrukce X letecké skenování
- UAV Aerial Laser Scanning (ALS)
- AMA
- Ukázka výstupů



(obrázek www.riegl.com)

Porovnání metod sběru dat

UAV ALS

+ viditelnost povrchu z jedné pozice (vegetace)

+ nezávislost na textuře a světelných podmínkách

+ spolehlivější zpracování

+ vícenásobné odrazy

3D rekonstrukce

+ pořizovací náklady (není nutná znalost pozice a orientace)

+ možnost měřit na libovolnou vzdálenost (lineární snížení rozlišení/přesnosti)

+ nezávislost na odrazivosti povrchu

+ nízká váha kamery (bezpečnost)

UAV ALS systémy

Riegl VUX – SYS

Senzory	Riegl VUX – 1
	APX-15 UAV
Přesnost určení pozice	0.02 - 0.05 cm pro postprocessing
Přesnost určení orientace	Horiz. 0.025° pro postprocessing
	Vert. 0.08° pro postprocessing
Dosah	920 m (50 kHz při 60%)
Přesnost měřené délky	Systematická složka 10 mm
	Náhodná složka 5 mm
Frekvence měření	500 kHz
Váha	3,6 kg
Cena	6,2 mil. Kč
Další informace	MTA, registrace vícenásobných odrazů



Riegl VUX -1



Riegl RiCOPTER

UAV ALS systémy

Routescene - UAV LidarPod

Senzory	Velodyne HDL-32e
	neuveveno
Přesnost určení pozice	0.008 m v horizontální rovině 0.015 m výška
Přesnost určení orientace	Horiz. 0.15°
	Vert. 0.07° (2 GNSS antény)
Dosah	100 m
Přesnost bodů	4 cm / 20 m, 6 cm / 30 m
Frekvence měření	700 kHz
Váha	2,5 kg
Cena	2,5 mil. Kč
Další informace	vějířovitým uspořádáním 32 laserových svazků



UAV LidarPod



UAV ALS systémy

Phoenix Aerial - SCOUT

Senzory	Velodyne VLP-16
	OEM-STIM-300
Přesnost určení pozice	1cm + 1ppm
Přesnost určení orientace	Horiz. 0.015°
	Vert. 0.08°
Dosah	100 m
Přesnost měřené délky skenerem	2 cm / 25 m
Frekvence měření	300 kHz
Váha	3,5 kg
Cena	1,4 mil. Kč
Další informace	vějířovitým uspořádáním 16 laserových svazků



Phoenix Aerial - SCOUT



DJI S1000

UAV ALS systémy

Yellowscene

Dosah	150 m
Přesnost výsledných souřadnic	Pro rovinu XZ : 0.1 m + 1% z výšky Pro osu Z : 0.1 m + 0.5 % z výšky
Frekvence měření	40 kHz
Váha	2,2 kg
Cena	1,9 - 2,5 mil. Kč



Yellowscene



Seznámení s projektem AMA



- TAČR 2011-14: „Technologie a systém určující fyzikální a prostorové charakteristiky pro ochranu a tvorbu životního prostředí a pro zvýšení potenciálu energetických zdrojů,,
- Vzducholoď vybavená multi-senzorovou platformou

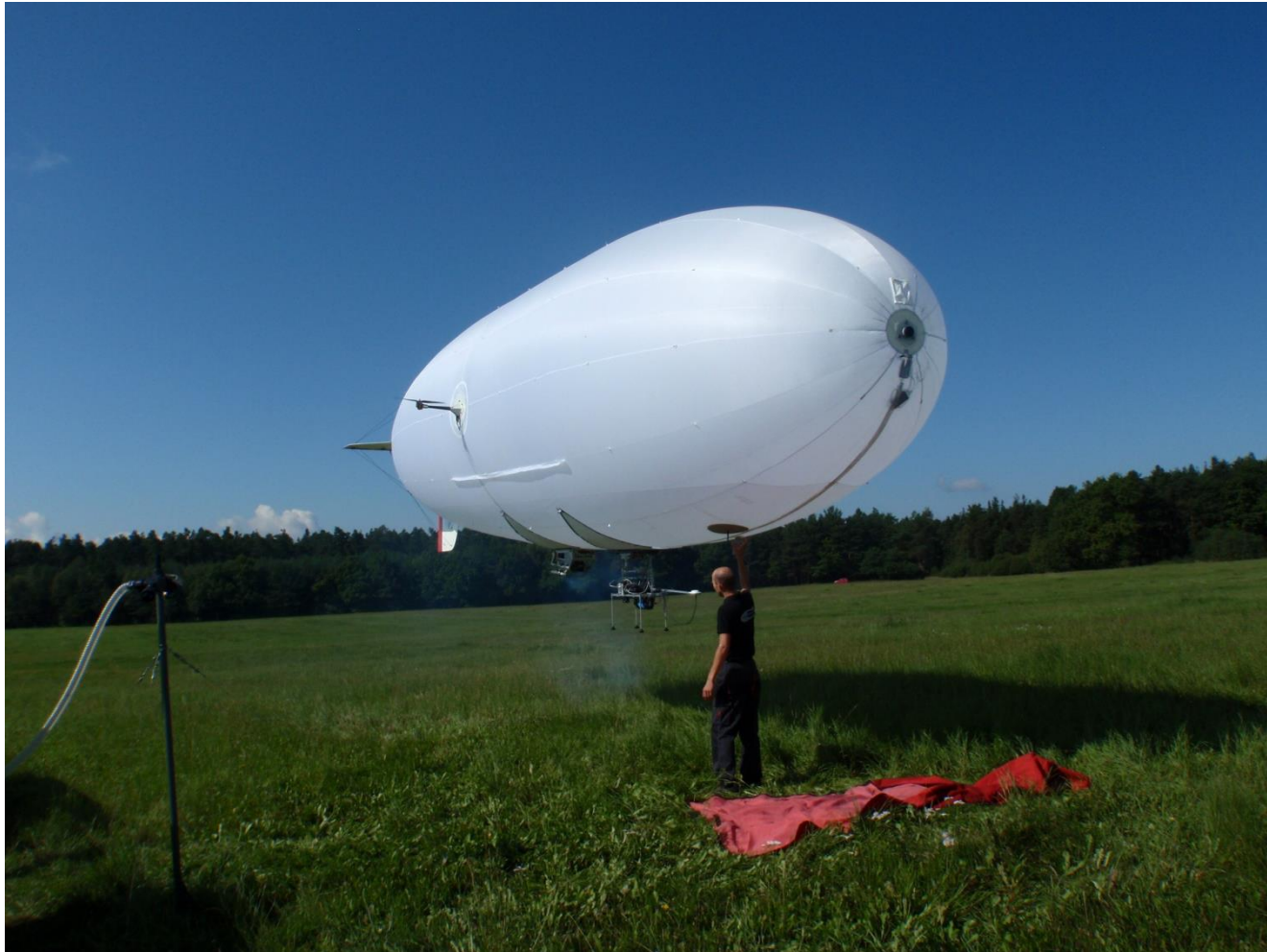


Seznámení s projektem vzducholod'



- typové označení ACC15X, vyrobená airshipclub.com
- 12 m dlouhá
- tělo o průměru 2,8 m plněné heliem s obsahem 57 m³
- provozní rychlost 30 km/h, maximální 55 km/h
- konstrukční výškový dosah až 1000 m
- pohon je zajištěn vrtulemi poháněnými elektromotory
- celý systém je napájen benzinovým generátorem s výdrží až 3 hodiny

Seznámení s projektem vzducholod'



Seznámení s projektem vzducholod'



Seznámení s projektem vzducholod'



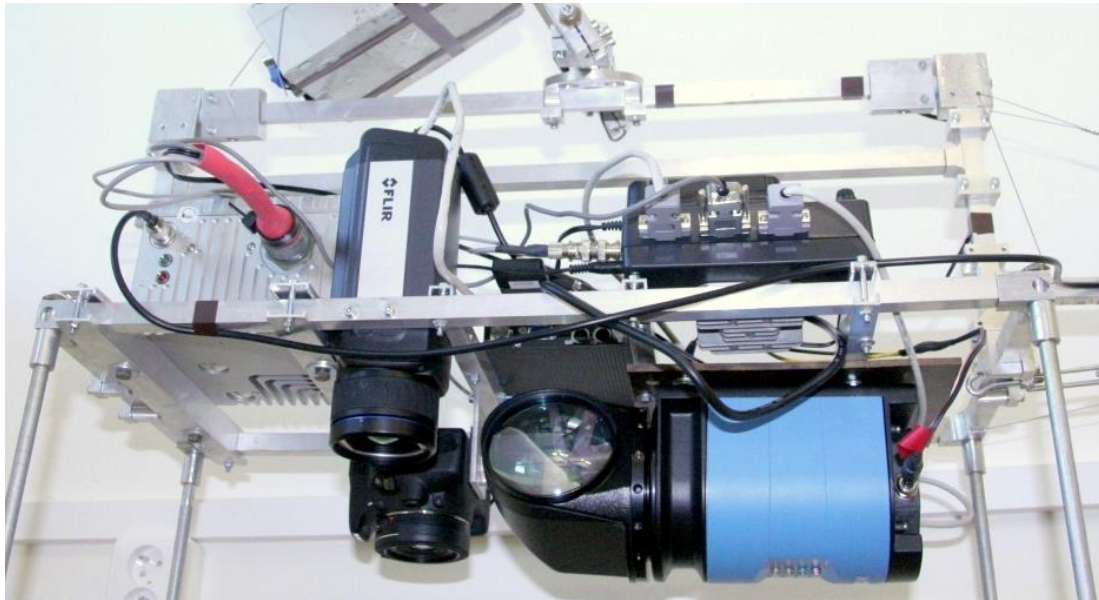
Seznámení s projektem vzducholod'



Seznámení s projektem vzducholod'



Seznámení s projektem platforma



Canon EOS 100D
Canon EF 40mm f/2.8 STM



Sick LD-LRS1000



Flir SC645



iMAR iTracerRT - F200

Seznámení s projektem

iMAR iTracerRT – F200



- Nutný pro přímé georeferencování - skenování
- Gyroskopy technologie optických vláken (FOG), akcelerometry MEMS
- Přesnost podle výrobce
 - $\pm 2 \text{ cm} + 2 \text{ ppm}$ (INS/RTK-GPS)
 - $\pm 10 \text{ cm}$ (při výpadku GPS 10s)
 - 0.01° (roll, pitch), 0.04° (heading)
- Frekvence záznamu 200 Hz
- Hmotnost 2.4 kg
- Software pro zpracování iWP+ (Intertial Explorer - NovAtel)
- Cena cca 2 mil. Kč



Seznámení s projektem

Sick LD-LRS1000



Dosah/odrazivost	250m/100%, 80m/10%
Úhlový rozsah	360°
Maximální frekvence měření	14400 Hz
Rotační frekvence	5-10 Hz
Směrodatná odchylka (náhodná)	30 mm
Systematická odchylka	±38 mm do 80m, ±63 mm nad 80m
Minimální úhlový krok	0.125°
Průměr stopy při ústí	40 mm
Rozbíhavost laserového svazku	2.8 mrad = 0.16°
Rozhraní	RS-232/RS-422, ethernet, CAN

Časová značka službou “Interface Routing Services”

Výhodný poměr výkonu/ceny

Bore-sight kalibrace

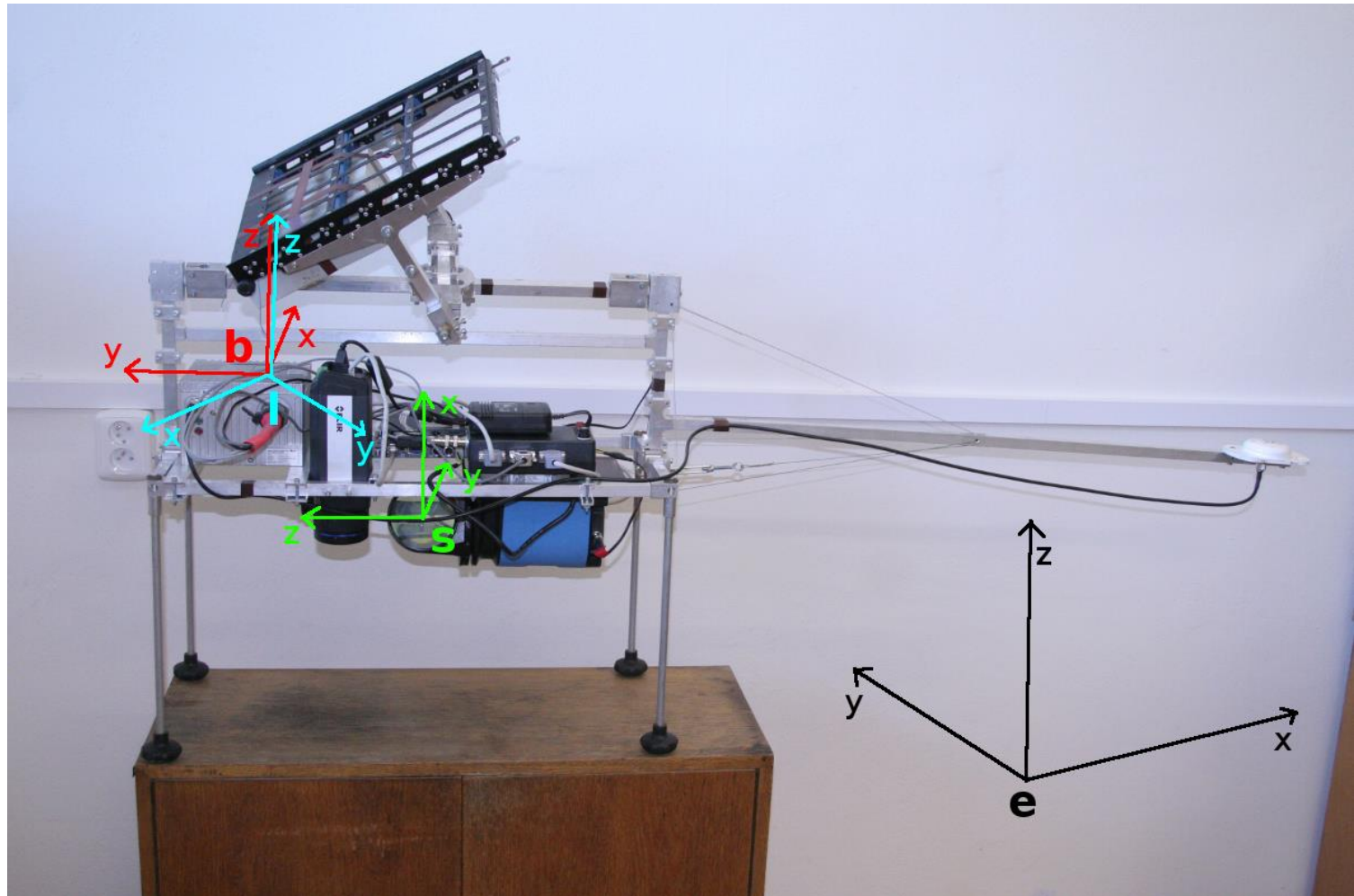
laserového skeneru



- Jedná se o určení (zbytkových) úhlů rotace mezi souřadnicovými systémy pozičního senzoru INS/GNSS a laserového skeneru
- Základním vztahem je přímé georeferencování (direct georeferencing, DR), což je vztah mezi měřením skeneru na jeden bod a jeho souřadnicemi ve vnější vztažné soustavě
 - ▣ Při známé bore-sight kalibraci je DR použito pro výpočet jednotlivých bodů

Bore-sight kalibrace

Základní souřadnicové systémy



Bore-sight kalibrace

Přímé georeferencování



$$\mathbf{x}^e = \mathbf{x}_b^e + \mathbf{R}_l^e \cdot \mathbf{R}_b^l \cdot \mathbf{R}_{b'}^b \cdot \mathbf{T}_s^{b'} \cdot (\mathbf{x}^s - \mathbf{x}_b^s)$$

$\mathbf{x}^e$ - Souřadnice ve vnější s.s. „e“ (Earth) většinou typu ECEF (např. WGS84)

$\mathbf{x}_b^e$ - Souřadnice počátku „b“ (body) systému (INS/GNSS) v „e“ systému

$\mathbf{R}_l^e$ - Matice rotace z „l“ (local) systému (lokální podle φ, λ) do „e“ systému

$\mathbf{R}_b^l$ - Matice rotace z „b“ systému do „l“ systému (podle roll, pitch a yaw)

$\mathbf{R}_{b'}^b$ - Matice rotace bore-sight (montáž versus realita)

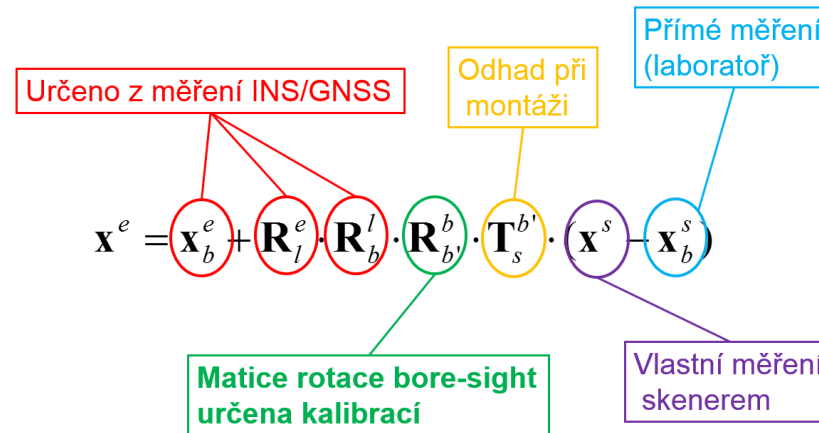
$\mathbf{T}_s^{b'}$ - Matice rotace z „s“ (skener) systému skeneru do „b“ systému (montáž)

$\mathbf{x}^s$ - Souřadnice bodu určené skenerem v jeho systému „s“

$\mathbf{x}_b^s$ - Souřadnice počátku „b“ systému v „s“ systému (inverzní „lever-arm“)

Bore-sight kalibrace

Řešení



- Založeno na zaměření rovinných ploch a minimalizaci odchylek od těchto rovin

$$a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0, \quad a^2 + b^2 + c^2 - 1 = 0$$

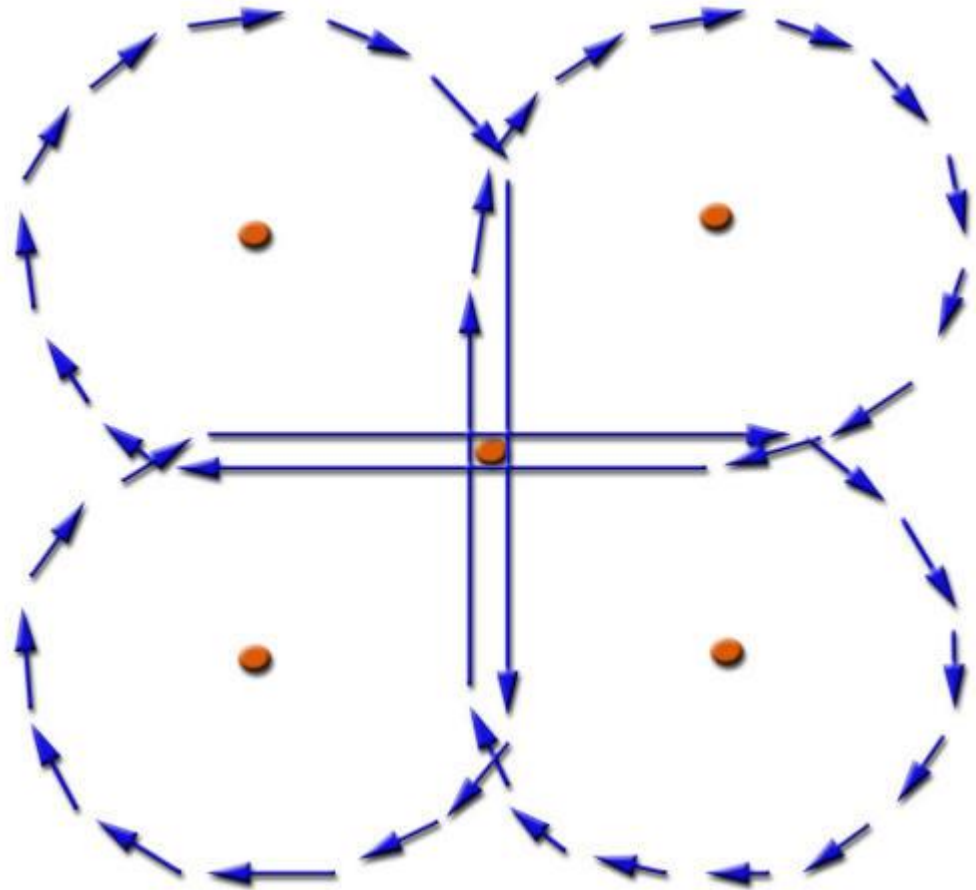
$$d_i = a \cdot x_i^e + b \cdot y_i^e + c \cdot z_i^e + d$$

Bore-sight kalibrace

Měření

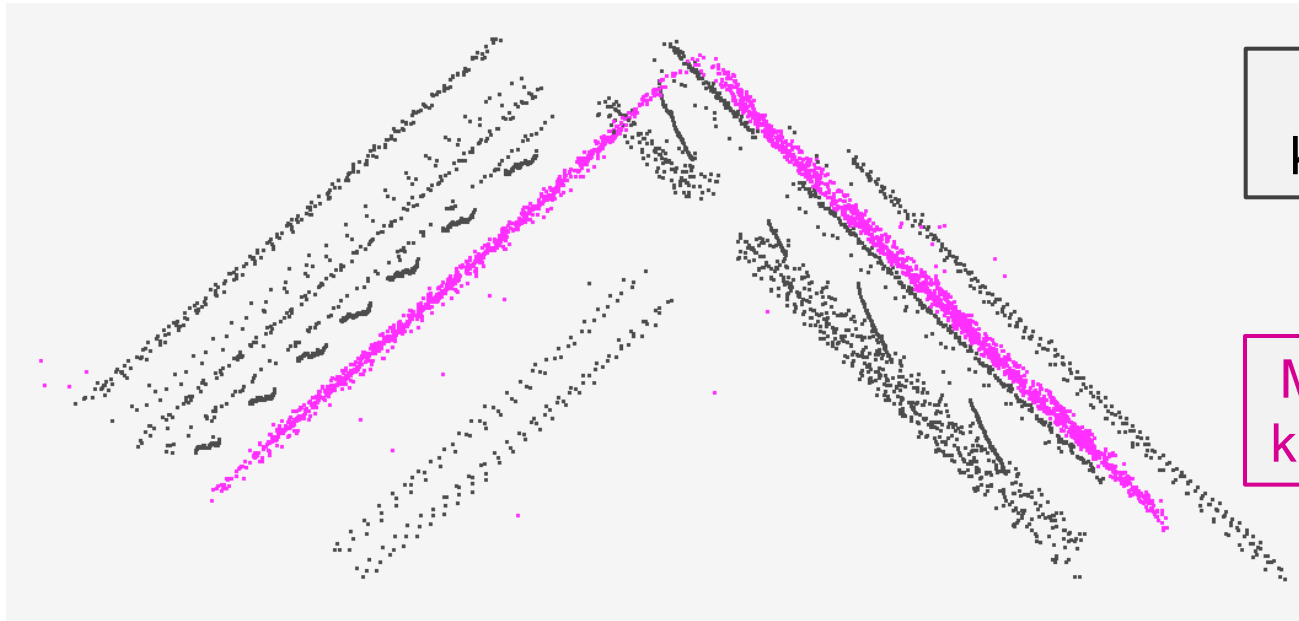


- Oblast s různě orientovanými (horizontálně i vertikálně) rovinami byla nalétána v doporučeném cloverleaf (čtyřlístek) vzoru ve dvou výškách
- 9 rovin pro kalibraci
- 8 kontrolních



Bore-sight kalibrace

Výsledky



Mračno před
kalibrací (šedé)

Mračno po první
kalibraci (fialové)

- Po odstranění chybných bodů dosáhla jednotková směrodatná odchylka kalibrace hodnoty **0.036 m**
 - ▣ To představuje kvadratický průměr vzdáleností jednotlivých bodů od rovin

Ukázky výstupů

Detekce meliorací Domanín



- Rozloha území: 1.8 x 1.5 km (cca 3 km²)
- Délka snímkovacího letu: 75 minut
- Počet snímků: cca. 2100
- Data:
 - viditelné spektrum (VIS) – pozemní rozlišení cca. 4cm
 - infračervené spektrum (IR) – pozemní rozlišení cca. 20cm
 - laserový skener – nebyl použit

Ukázky výstupů

Detekce meliorací Domanín



Georeferencované
VIS - orthophoto

- rozlišení 10 cm



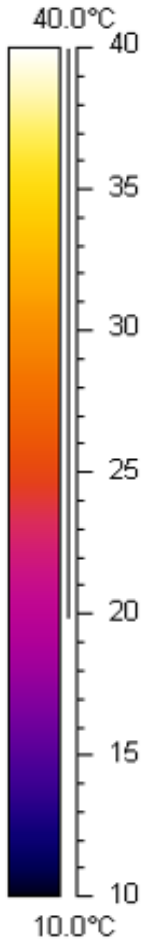
Ukázky výstupů

Detekce meliorací Domanín



Georeferencované
termo - orthophoto

- rozlišení 20 cm
- teplotní škála 10 – 40 °C



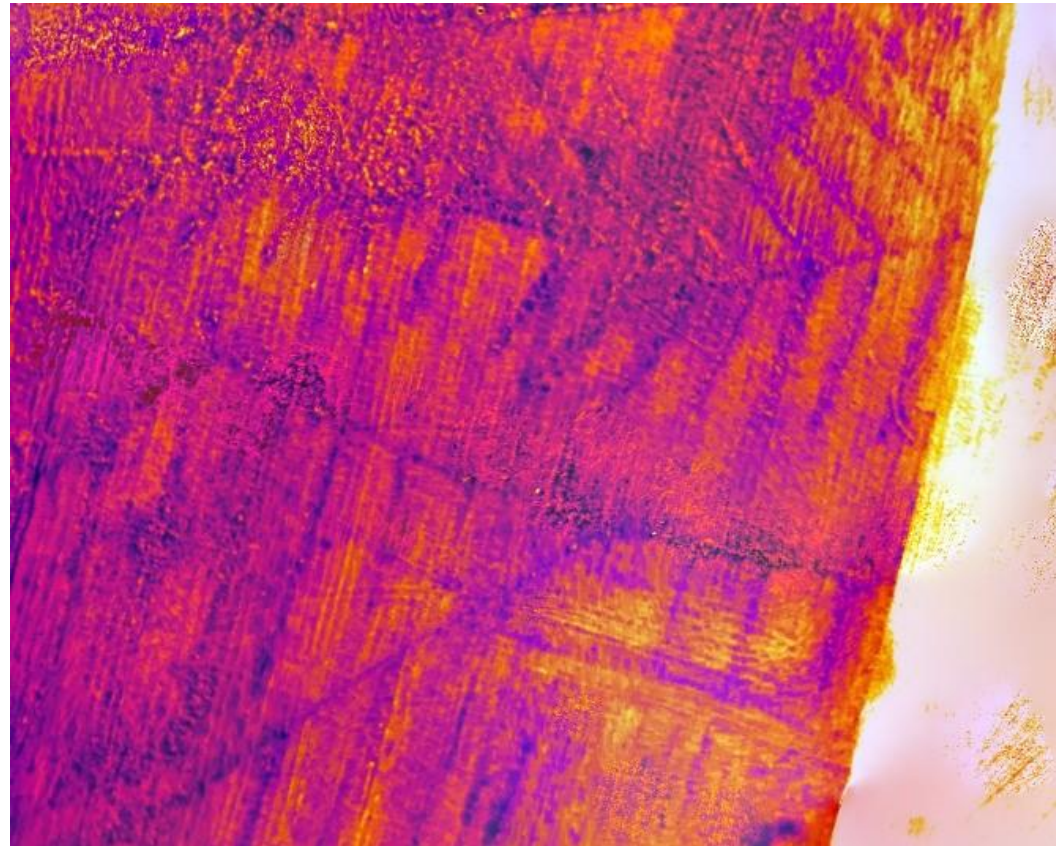
Ukázky výstupů

Detekce meliorací Domanín



Georeferencované
termo - orthophoto

- rozlišení 20 cm
- teplotní škála 24 – 34 °C



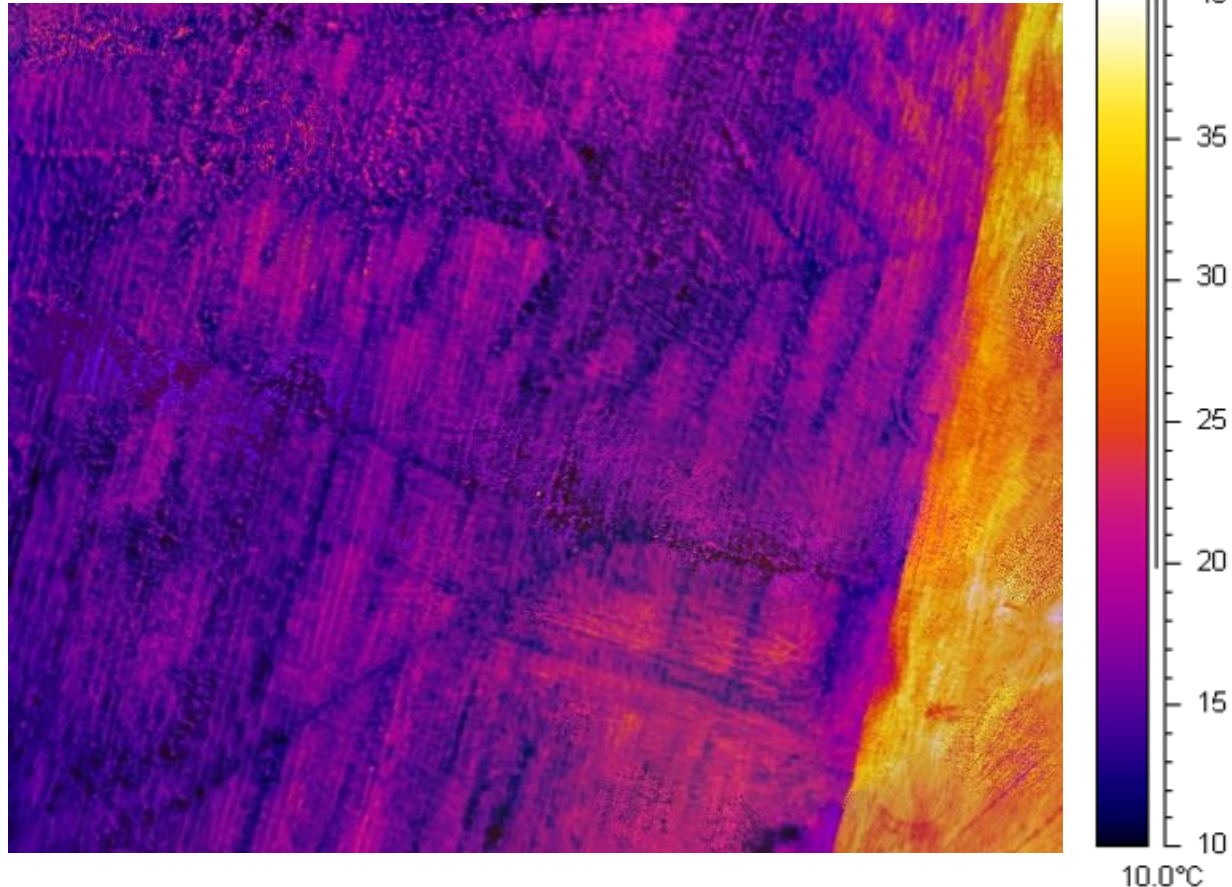
Ukázky výstupů

Detekce meliorací Domanín

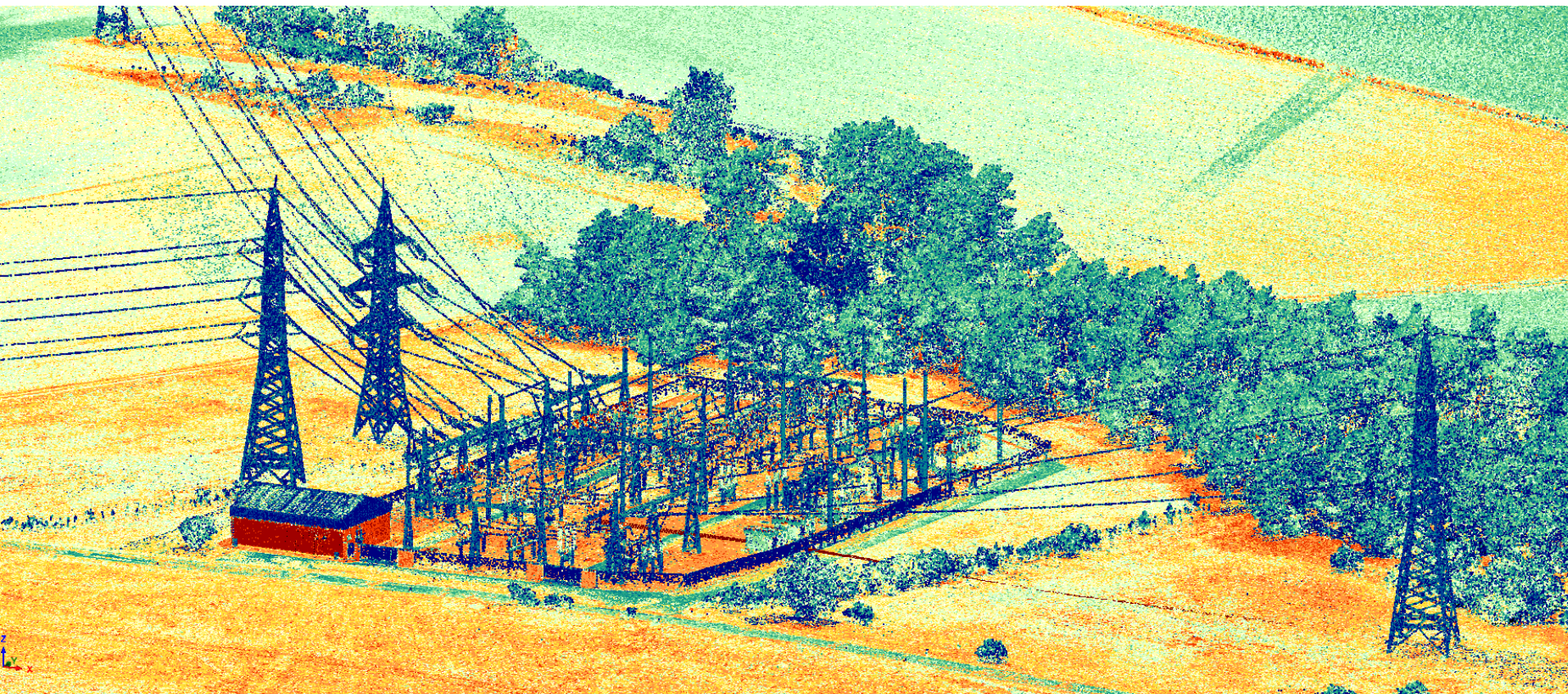


Georeferencované
termo - orthophoto

- rozlišení 20 cm
- teplotní škála 25 – 40 °



Děkuji za pozornost



(obrázek www.applanix.com)