



*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



## **OBOROVÝ SEMINÁŘ 2013/2014**

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita  
Ostrava, Hornicko-geologická fakulta ,čtvrtek  
27. 3. 2014 10:15-11:45**

**Neměřické kamery ve fotogrammetrii**

**Ing. Václav Šafář, VÚGTK, v.v.i., [vaclav.safar@vugtk.cz](mailto:vaclav.safar@vugtk.cz)**



Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## Analogové fotogrammetrické kamery



**PPA**  
**PPS**  
**F**  
**Distorze**



**Fotogrammetrické kamery se známými prvky vnitřní orientace**



*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



## Přídavná zařízení GPS/IMU

**AIRINS, IXSEA, IXBLUE comp.**



**SDN500-CC01,  
SYSTRON DONNER**



**MTi 100-series, XSENS**







Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## Kamery současnosti



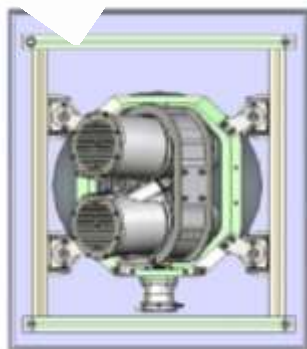
Leica  
Geosystems



ULTRACAM  
Large Format Digital Aerial Camera



A3



PPA  
PPS  
F  
Distorze

Figure 5. The stepping frame concept (left) – a CAD model of the A3 camera system (right).

Fotogrammetrické kamery se známými prvky vnitřní orientace



Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## RZ, f, PPA Fotogrammetrické kamery se známými prvky vnitřní orientace

### Large Format Panchromatic Output Image

<b>Image Format</b>	long track	67.860mm	11310pixel
	cross track	103.860mm	17310pixel
<b>Image Extent</b>		(-33.93, -51.93)mm	(33.93, 51.93)mm
<b>Pixel Size</b>		6.000 $\mu$ m*6.000 $\mu$ m	
<b>Focal Length</b>	ck	100.500mm	$\pm$ 0.002mm
<b>Principal Point (Level 2)</b>	X_ppa	0.120 mm	$\pm$ 0.002mm
	Y_ppa	-0.120 mm	$\pm$ 0.002mm
<b>Lens Distortion</b>	Remaining Distortion less than 0.002mm		

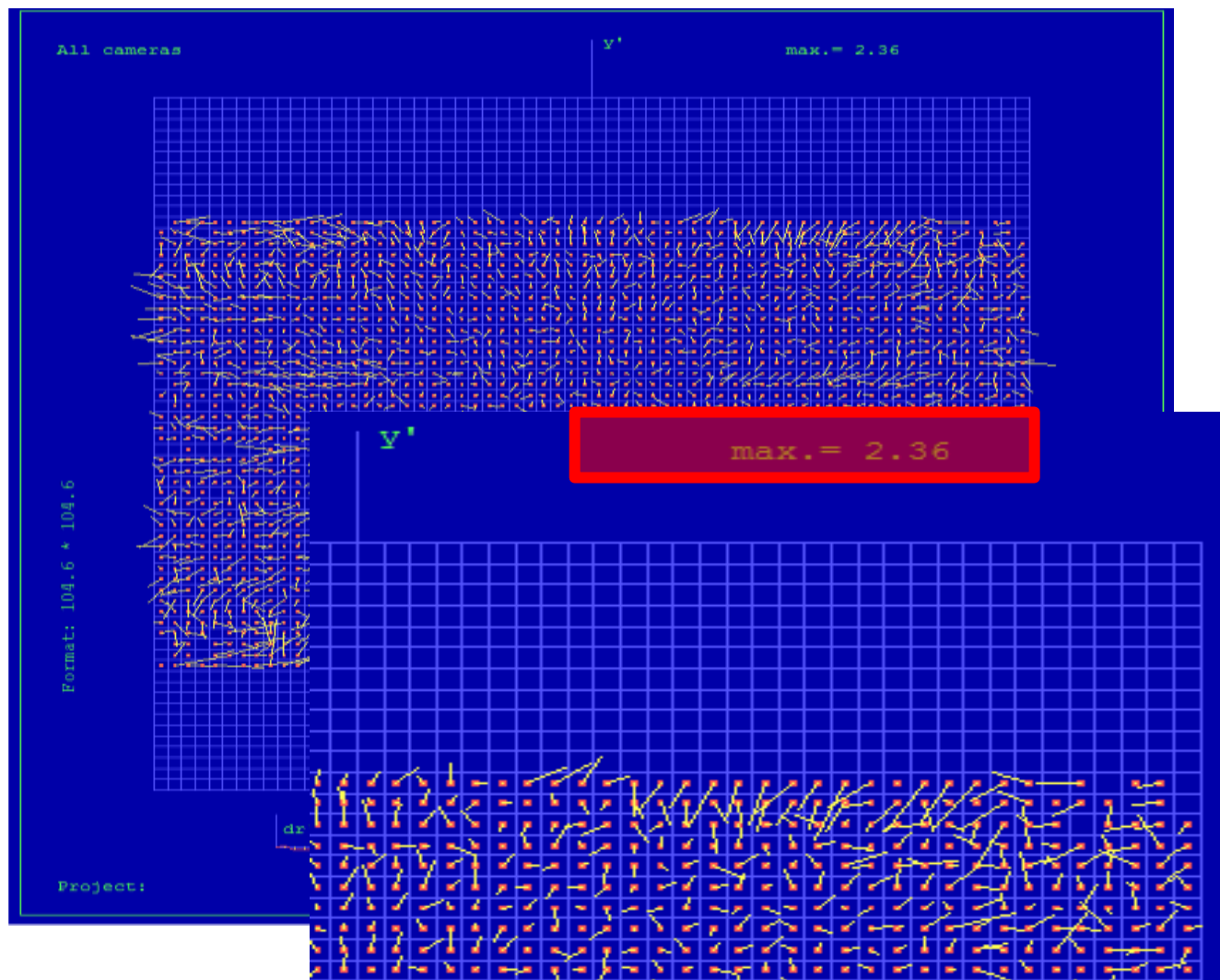


Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## DISTORZE

Fotogrammetrické  
kamery se  
známými prvky  
vnitřní orientace







*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



## **DISTORZE terminologický slovník VÚGTK**

**souhrn zbytkových vad objektivu projevující se posunem obrazu bodu od jeho správné polohy v rovině snímku; distorze má radiální a tangenciální složku a výrazně se uplatňuje u objektivů, které nebyly primárně určeny pro fotogrammetrii**



**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## Neměřické kamery



**TETRACAM**  **INC**





*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## Neměřické kamery



PHASE**ONE**  
INDUSTRIAL



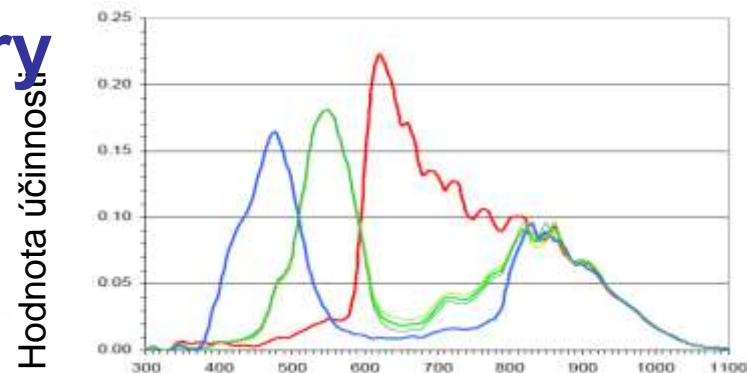
Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## Neměřické kamery



## Neměřické kamery



Hodnota účinnosti

Vlnová délka v [nm]

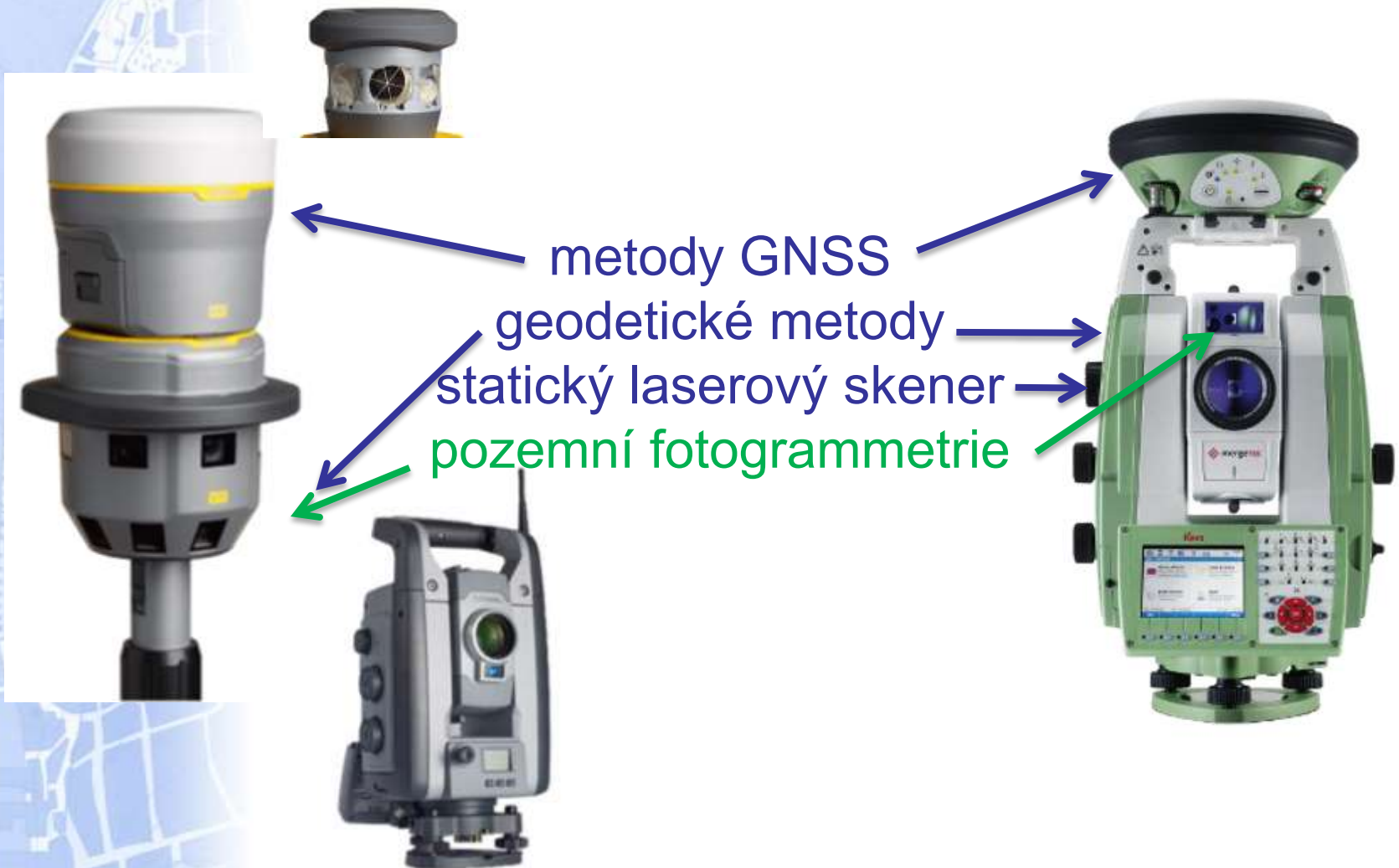






Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography

## Neměřické kamery ?????!!!!





**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## Neměřické kamery





## **DISTORZE**

### **Fotogrammetrické kamery s neznámými prvky vnitřní orientace**

Některé z běžných postupů pro výpočet hodnot distorzí objektivů neměřických kamer :

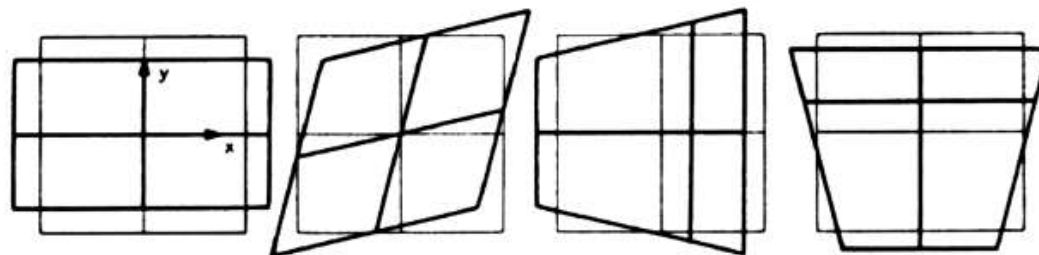
- A) distorze K která vypočítává 16 matematicky odvozených koeficientů definovatelných distorzí objektivu;**
- B) distorze H která vypočítává pouze 5 koeficientů**
- C) Distorzní model používající Čebyševovy polynomy až s 45 koeficienty pro každou složku souřadnic.**
- D) Brownův model symetrických složek**
- E) Heikkilův čtyřkrokový postup korekce distorzí**
- F) .....**



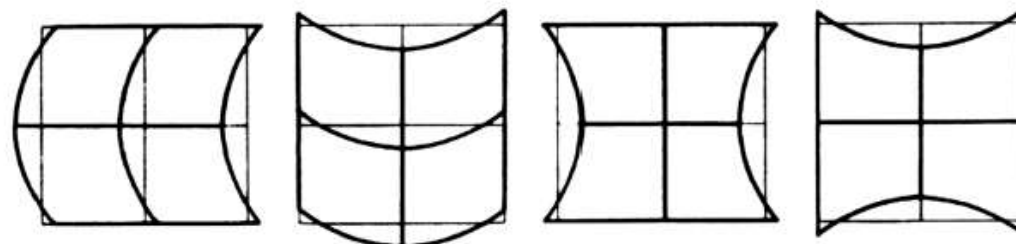


# DISTORZE

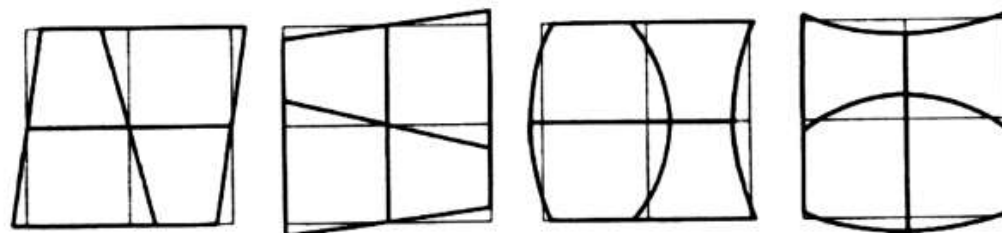
Fotogrammetrické kamery se známými prvky vnitřní orientace



$$\begin{array}{llll} x_0 := & + g_1 x & + g_2 y & - g_3(2x^2 - 4b^2/3) + g_4 xy \\ y_0 := & - g_1 y & + g_2 x & + g_3 xy - g_4(2y^2 - 4b^2/3) \end{array}$$

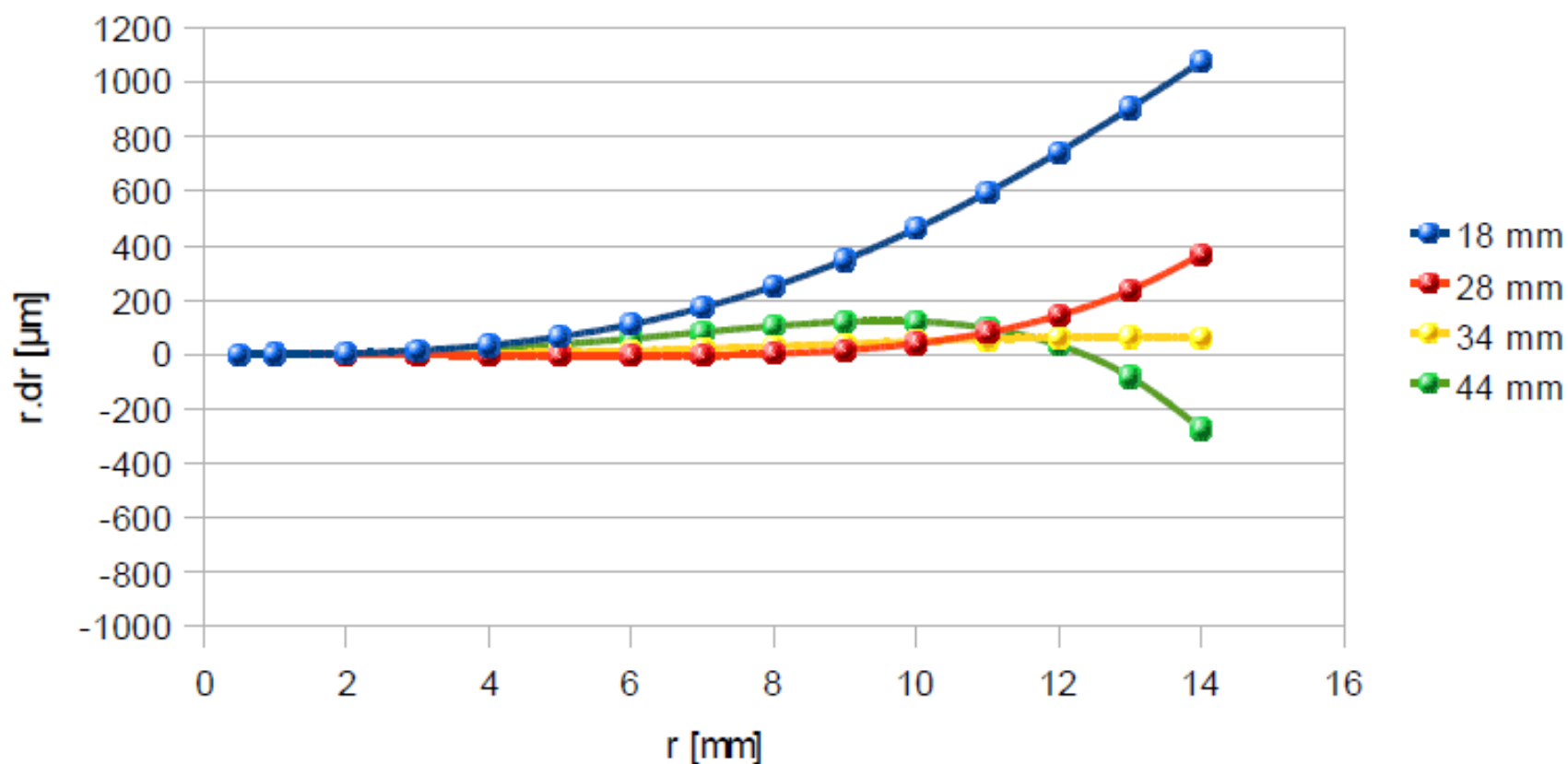


$$\begin{array}{llll} x_0 := & + g_5(y^2 - 2b^2/3) + 0 & + g_7 x(y^2 - 2b^2/3) & + 0 \\ y_0 := & + 0 & + g_6(x^2 - 2b^2/3) & + 0 + g_8 y(x^2 - 2b^2/3) \end{array}$$



$$\begin{array}{llll} x_0 := & + g_9 y(x^2 - 2b^2/3) + 0 & + g_{11}(x^2 - 2b^2/3)(y^2 - 2b^2/3) & + 0 \\ y_0 := & + 0 & + g_{10} x(y^2 - 2b^2/3) & + 0 + g_{12}(x^2 - 2b^2/3)(y^2 - 2b^2/3) \end{array}$$

## Průběh radiální distorze při použití volného ohniska





**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*





# Vývoj metod automatické korelace leteckých snímků

BARNARD AND THOMPSON: DISPARITY ANALYSIS OF IMAGES

339

## 1980 Barnard a Thompson

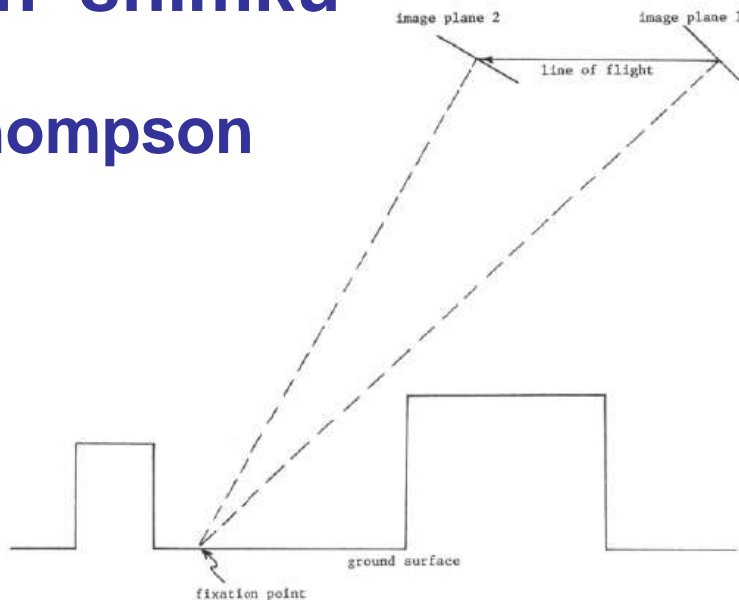


Fig. 5. Schematic of third example.



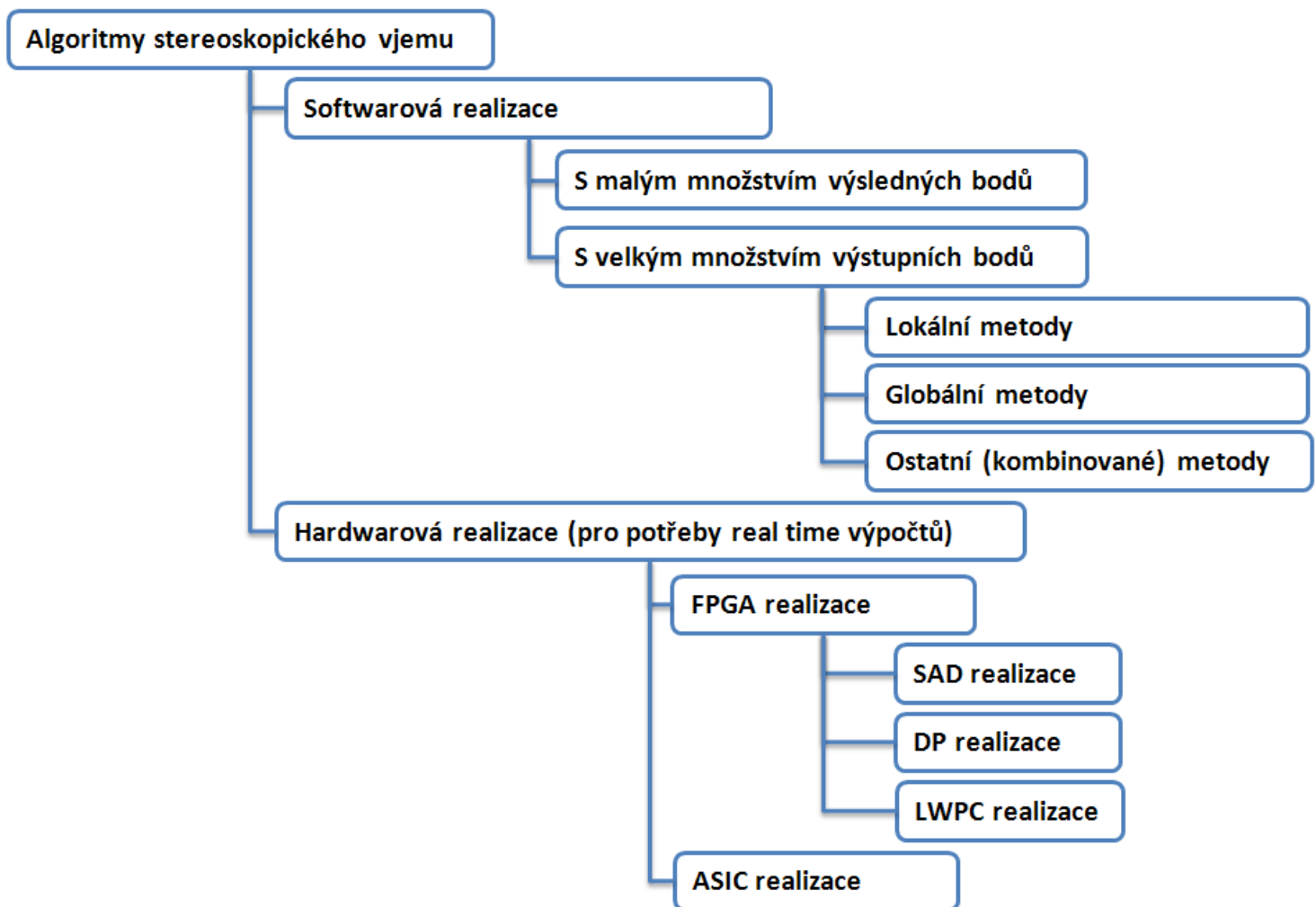
(a)

the problem of ambiguity, but the necessary adaptive windowing or extensive preprocessing can also reduce the efficiency and reliability of the matching process. Geometric distortion may prevent accurate similarity measurement by cross correlation. Constraining the search with a precisely known camera geometry restricts the process to special cases.

Another way to attack the ambiguity problem is to use information other than similarity to resolve ambiguous matches. The continuity of real world surfaces, a very general property which is independent of camera geometry, constrains disparity to values which are consistent with the local matching context. The consistency property can be used to iteratively

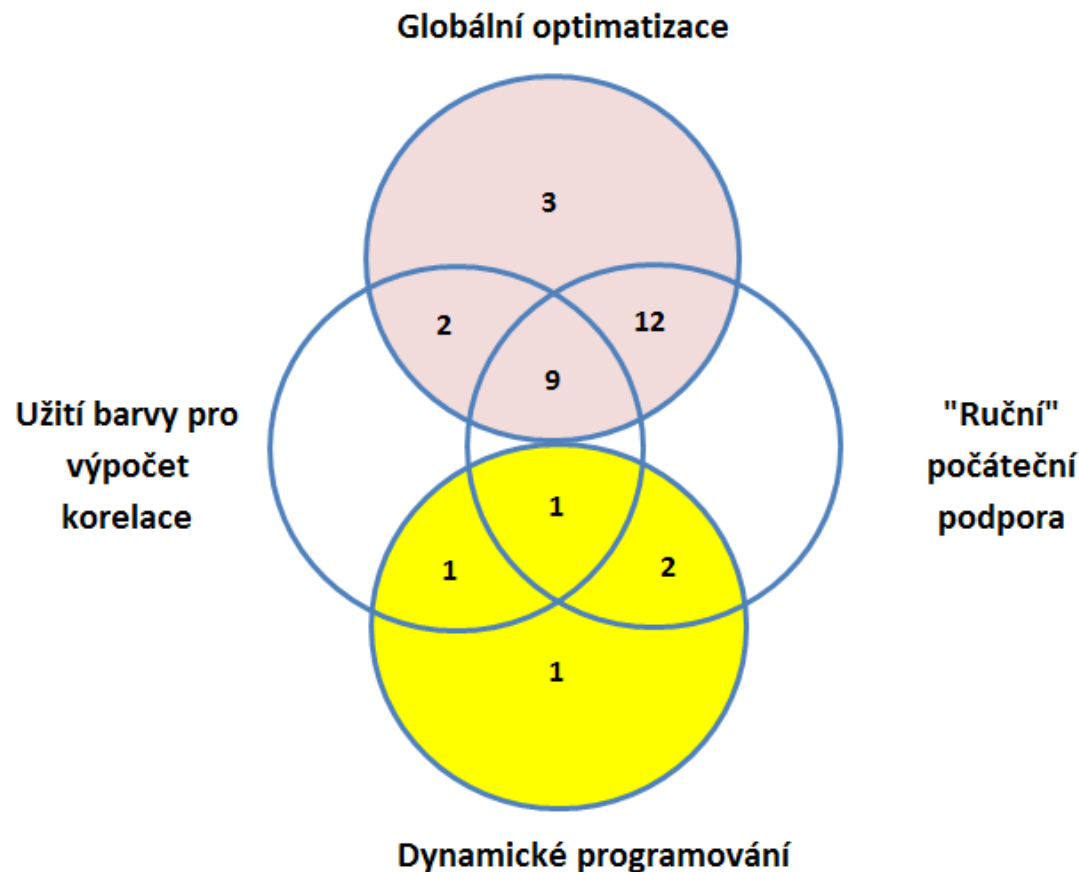


# Přehled metod automatické korelace snímků



# Vývoji metod automatické korelace snímků

Počet publikovaných korelačních softwarů







Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



# Vývoj metod automatické korelace snímků

Author	Method	Features	Speed (fps)	Image size	Disparity levels	Computational platform
Bleyer and Gelautz 2004	Global cost function	Color segmentation Occlusion handling				
Hong and Chen 2004	graph cuts	Color segmentation Occlusion handling	0.33	384 × 288	16	Intel Pentium 4 2.4 GHz
Zitnick et al. 2004	Global cost function	Color segmentation Occlusion handling GPU utilization				ATI 9800 PRO GPU
Bleyer and Gelautz 2005	Global cost function	Color segmentation Occlusion handling	0.05	384 × 288	16	Intel Pentium 4 2.0 GHz
Sun et al. 2005	Belief propagation	Color segmentation Occlusion handling Symmetrically treatment	0.02	384 × 288	16	Intel Pentium 4 2.8 GHz
Klaus et al. 2006	Belief propagation	Color segmentation	0.07	384 × 288	16	AMD Athlon 64 2.21 GHz
Yang et al. 2006b	Hierarchical belief propagation	Color segmentation Occlusion handling				
Yoon and Kweon 2006c	Belief propagation	Color segmentation Symmetrical cost functions				
Gutierrez and Marroquin 2004	Gauss-Markov random field	Occlusion handling Continuity Coherence Occlusion Adjacency	<0.017	256 × 255	32	Intel Pentium III 450 MHz
Strecha et al. 2006	Hidden Markov random field	Occlusion handling Expectation maximization algorithm				
Zitnick and Kang 2007	Belief propagation within a MRF framework	Color segmentation Occlusion handling				2.8 GHz
Hirschmuller 2005	Global cost function	Occlusion handling Mutual information	0.77	450 × 375	60	Intel Xeon 2.8 GHz
Hirschmuller 2006	Global cost function	Occlusion handling Mutual information Bidirectional match	<1	450 × 375	64	2.8 GHz
Kim and Sohn 2005	Vector field regularization	Occlusion handling Canny edge detector	0.15	384 × 288	16	Intel Pentium 4
Ogale and Aloimonos 2005b	Left-right diffusion process	Occlusion handling Phase-based matching	0.5	384 × 288	16	2 GHz
Brockers et al. 2005	Cost relaxation	Occlusion handling 3D support regions				
Yang et al. 2006a	Hierarchical belief propagation	GPU utilization	16	320 × 240	16	3 GHz CPU -NVIDIA GeForce 7900 GTX GPU
Veksler 2006	graph cuts	Prior local stereo algorithm	1.04	434 × 383	20	Intel Pentium 4 2.6 GHz



*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## Postup korelace u SemiGlobalMatching algoritmu

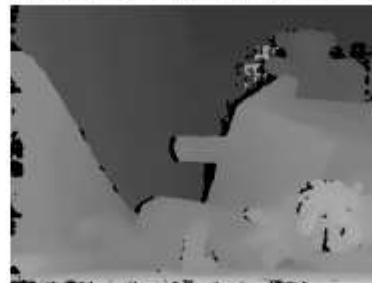
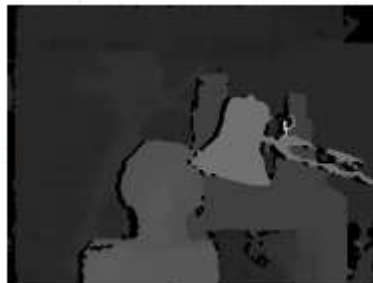
Left Images



SGM with BT  
(i.e. intensity based  
matching cost)

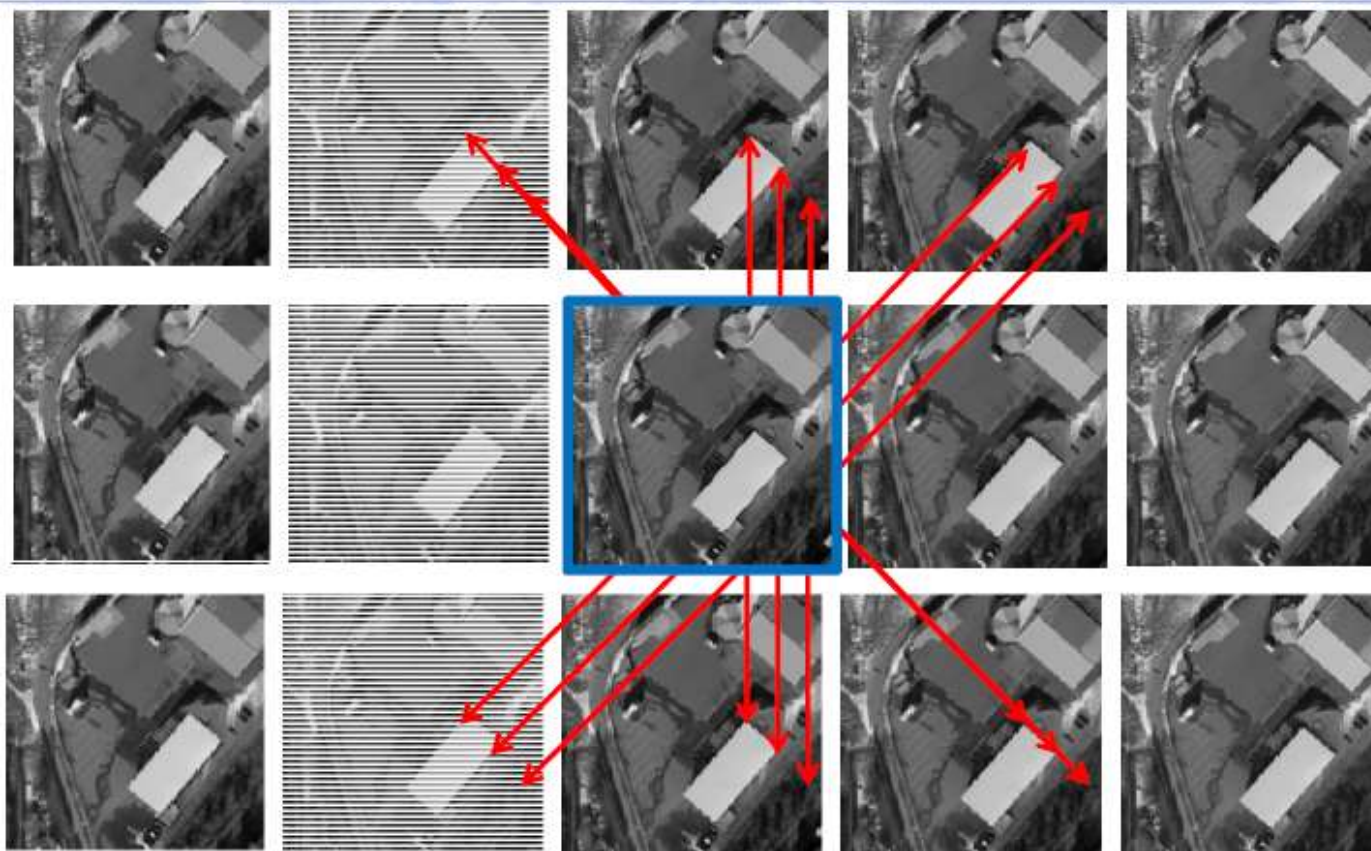


SGM with HMI,  
(i.e. hierarchical  
Mutual Information  
as matching cost)





## SGM – postup multi-stereo matching



Match each base-image pixel against multiple neighbors

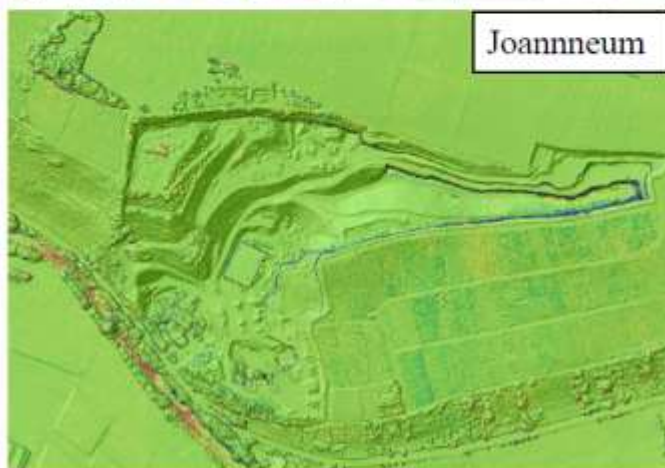




**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



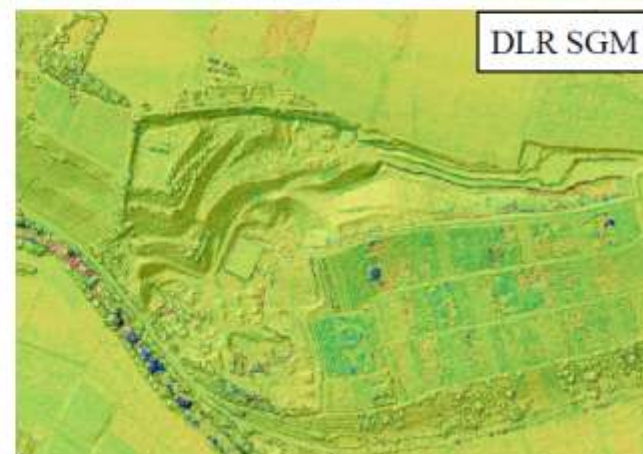
## Porovnání některých současných metod SGM 1





**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## Porovnání některých současných metod SGM 2

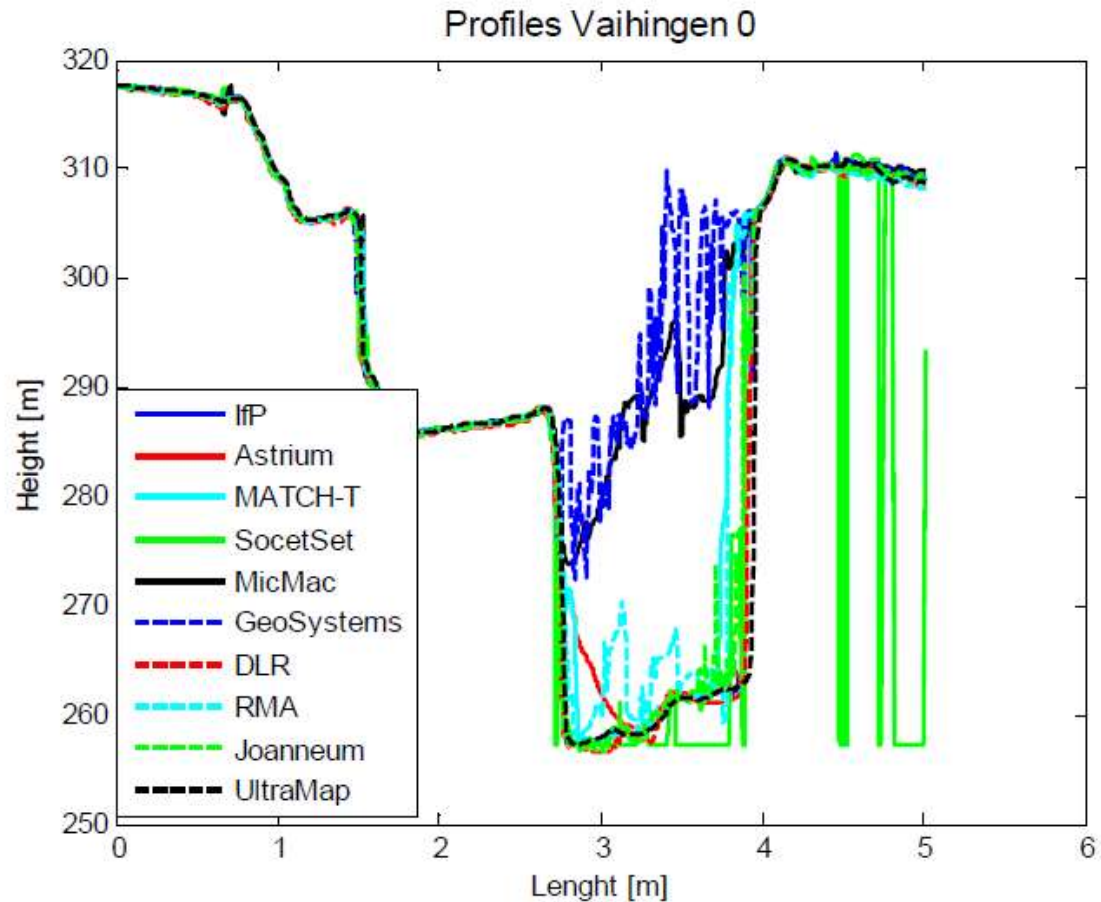






*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## Porovnání některých současných metod SGM 4



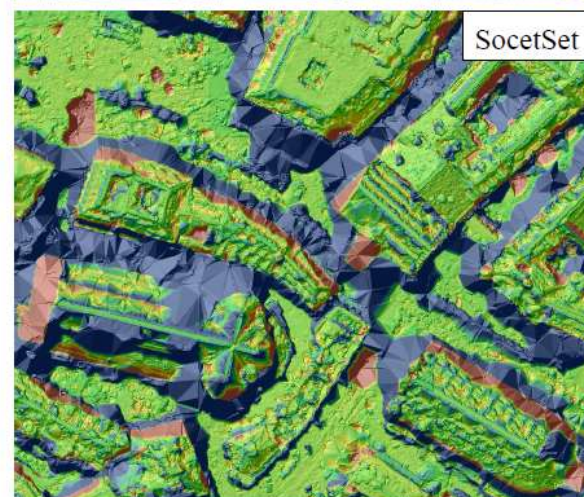
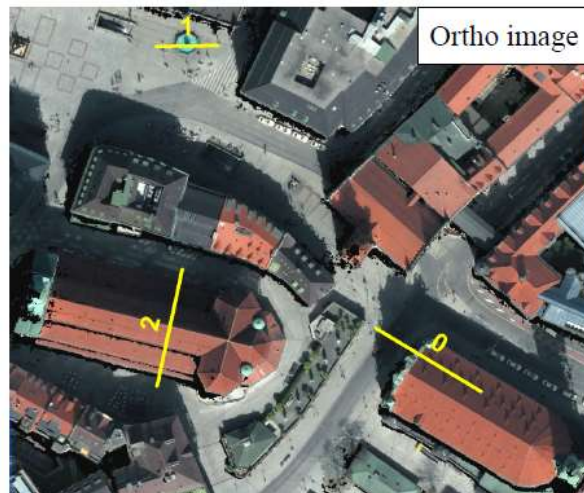




Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



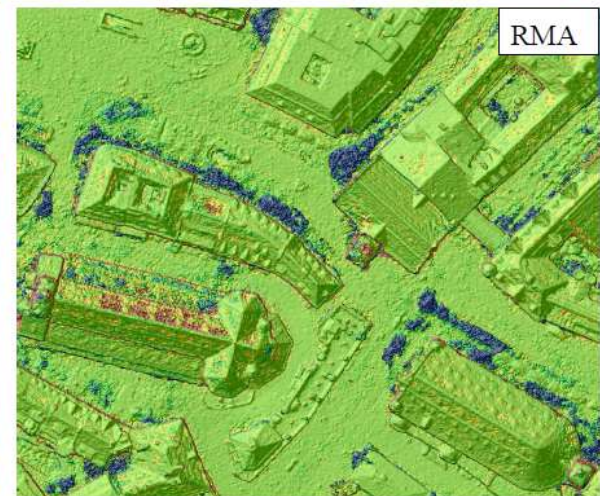
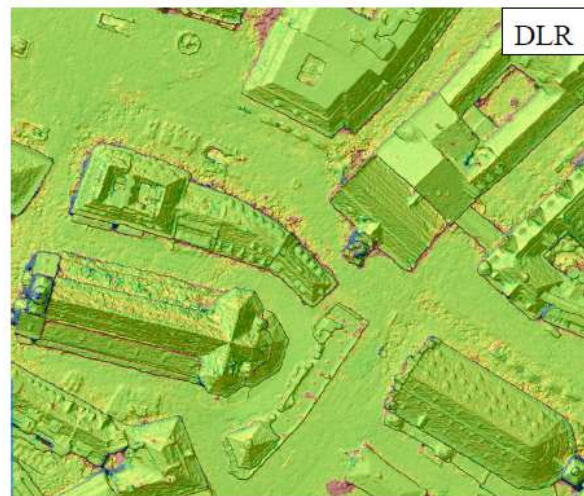
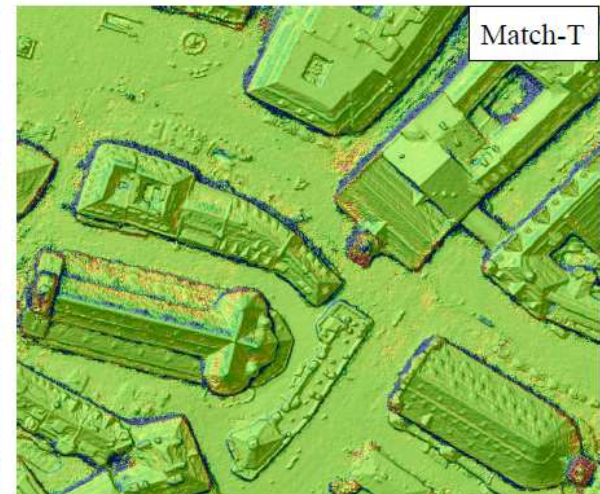
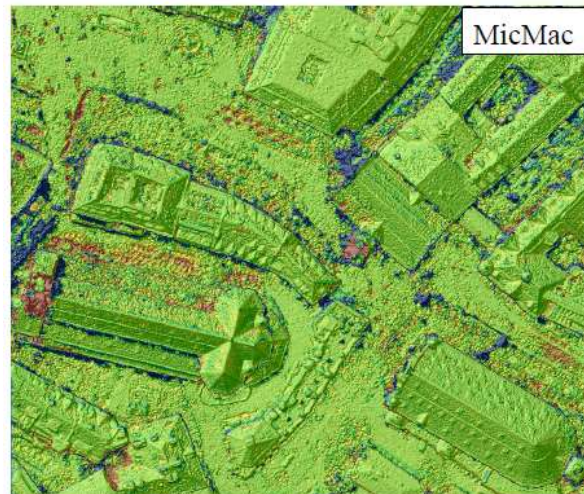
## SGM 4 – porovnání současných SW SGM







**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*







**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



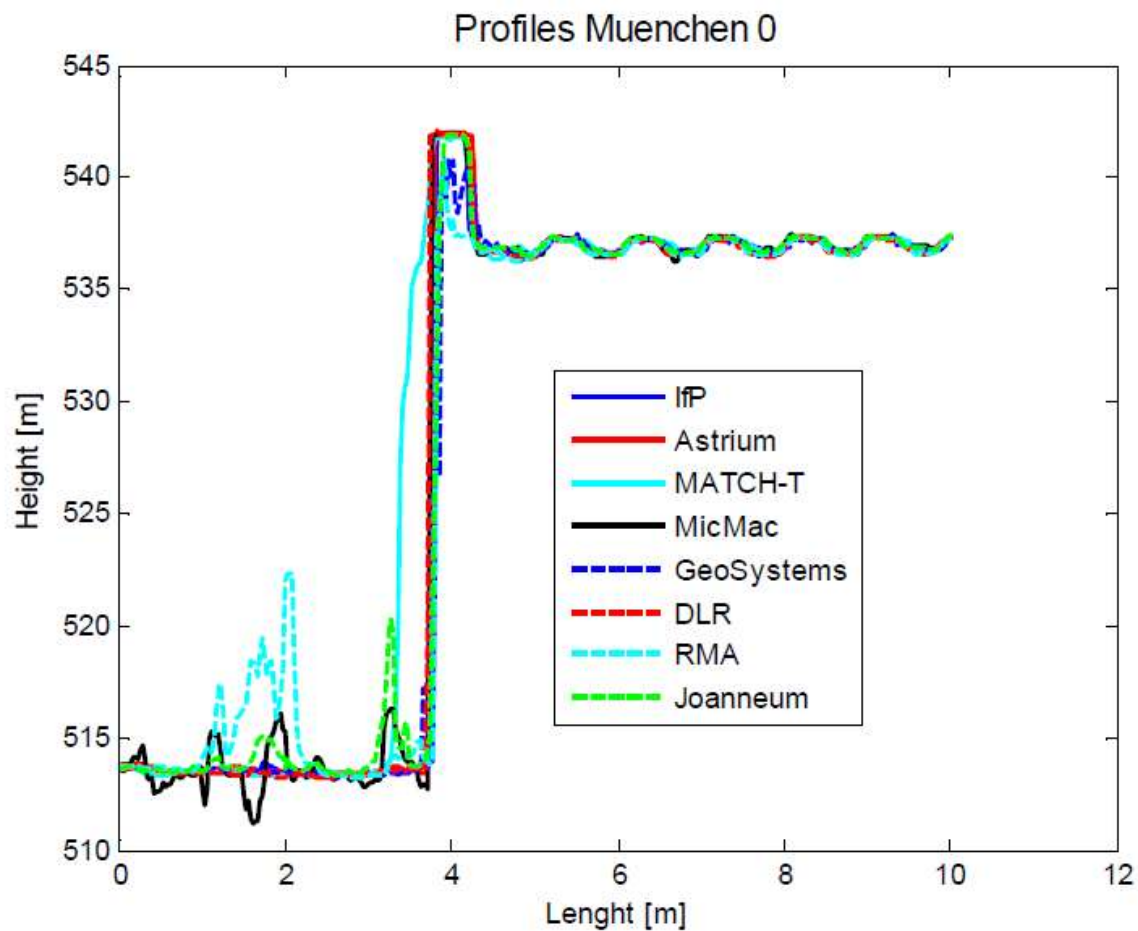




Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## SGM 5 – porovnání výsledných profilů





Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.  
Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography



## SGM – porovnání výpočetních časů

### Komerční SW

		Mnichov
SocetSet	BAE Systém	25h
MATCH-T	TRIMBLE/Inpho	19h
UltraMapV3.1	Vexcel Microsoft	<b>1h - odhad</b>
ImageStation ISAEExt – Geosystems		21h
PixelFactory	Astrium	<b>3h</b>

### Výzkumné softwary

Royal Military Acad	RMA	15h
Joanemum resaerch	Graz	22h
MicMac – IGN	France	S2h
SURE – institut fotogrammetrie Stuttgart		<b>2h</b>
DLR – Hirschmüller H.		19,5h



**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



Scancopter - Fly-n-Sense, France



Fancopter - EMT, Germany



Seeker - Fly-n-Sense, France



Airscooter, USA



DragonSlayer - Miraterre Flight Systems, USA



AeroVironment, USA



Aeryon, Canada



Mosquito 1.5 - IAI-Malat, Israel



Novadem, France



Alcore, France



BAE Systems, USA



Black Hornet  
ProxDynamics,  
Norway

**Nano RPAS bezpilotní  
letové prostředky do  
25gramů, výdrž menší  
jak 1 hodina, dolet do  
1km, dostup do 100m  
nad úrovní terénu.**





**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



X100 - Gatewing, Belgium



T-3 - Rissa, Russian Federation





**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



AGPlane Arara - AGX Technologia, Brazil



Silent Eyes - Raytheon, USA



Mini-UAV - Patria, Finland



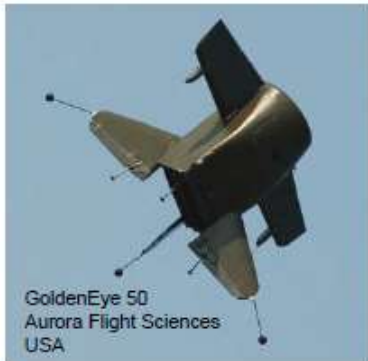
Koax X240 - Swiss UAS, Switzerland



SR-100 - Rotomotion, USA



RemoH-C100 - Ucon Systems, S. Korea



GoldenEye 50  
Aurora Flight Sciences  
USA



Karma - Comets UAVS, Spain



i-Copter II  
V-TOL Aerospace, Australia

**Mini UAS bezpilotní  
letové prostředky do  
30kg (norma ÚCL ČR  
říká nad 7kg), výdrž  
delší jak 1 hodina,  
dolet do 200km,  
dostup do 1250m nad  
úrovní terénu**



*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



## **Testy určení souřadnic podrobných bodů snímkováním z DPLS**

### **Základní parametry snímkování:**

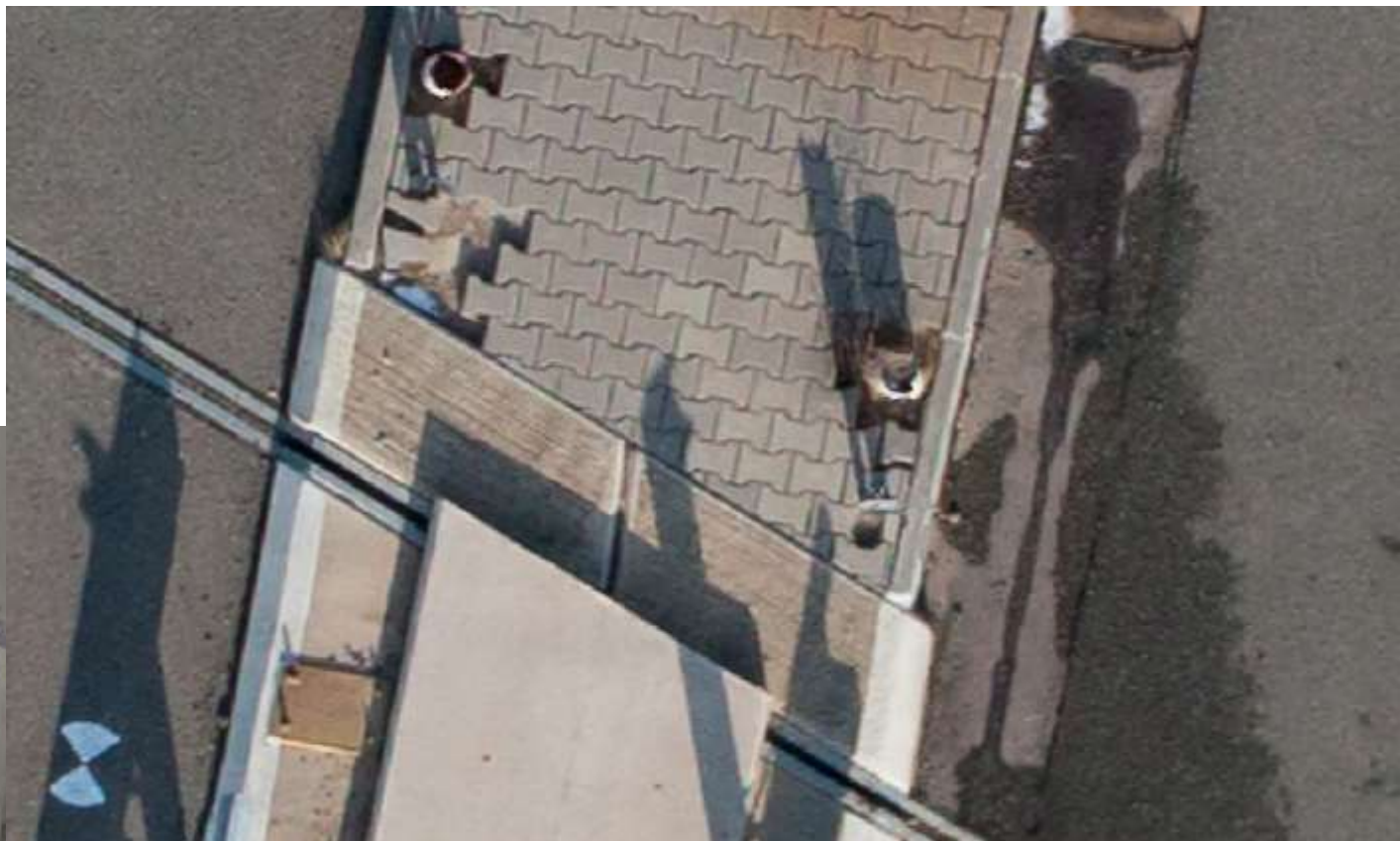
- 1. GSD 1cm**
- 2.  $p=70\%$ ,  $q=35\%$**
- 3. Počet výchozích bodů 32 z 99**
- 4. Počet snímků 1235**
- 5. Tři snímkové lety po 15 minutách celková doba trvání mise v lokalitě 70 minut**
- 6. 20ha ortofot s GSD 1cm**
- 7. Čas fotogrammetrického zpracování včetně přípravy 12 hodin, první „náhledová“ ortofotomapa za 40 na běžném laptopu**







**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*





GPS číslo	zeleně označené body byly body vstupující do fotogrammetrického zpracování			číslo ve výkresu	souřadnice odečtené z výsledné ortofotomapy		diference orto - GPS	
	Y	X	H		Y	X	difY	difX
1	646327,880	1044757,083	241,835	52	646327,901	1044757,064	0,021	-0,019
2	646338,363	1044757,281	241,556	51	646338,385	1044757,273	0,022	-0,008
3	646333,112	1044762,150	241,648	53	646333,131	1044762,147	0,019	-0,002
4	646327,808	1044767,060	241,745	55	646327,837	1044767,057	0,029	-0,002
5	646338,407	1044767,228	241,461	54	646338,414	1044767,223	0,007	-0,005
6	646333,138	1044772,179	241,548	56	646333,142	1044772,161	0,004	-0,018
7	646327,850	1044777,007	241,655	58	646327,869	1044776,992	0,019	-0,015
8	646338,432	1044777,395	241,373	57	646338,438	1044777,378	0,006	-0,016
9	646333,233	1044782,153	241,462	59	646333,242	1044782,153	0,009	0,001
10	646327,898	1044787,051	241,558	61	646327,907	1044787,046	0,009	-0,005
11	646338,489	1044787,145	241,282	60	646338,487	1044787,138	-0,002	-0,006
12	646333,280	1044792,102	241,371	62	646333,276	1044792,086	-0,005	-0,016
13	646327,973	1044797,005	241,467	64	646327,987	1044796,997	0,014	-0,008
14	646338,560	1044797,076	241,207	63	646338,563	1044797,070	0,002	-0,006
15	646333,332	1044802,111	241,299	65	646333,337	1044802,097	0,005	-0,014
16	646328,079	1044807,006	241,393	67	646328,079	1044806,992	0,000	-0,014
17	646338,622	1044807,092	241,131	66	646338,627	1044807,087	0,005	-0,005
18	646333,432	1044812,086	241,206	68	646333,437	1044812,085	0,006	-0,001
19	646328,188	1044816,972	241,308	70	646328,197	1044816,961	0,009	-0,010
20	646338,755	1044817,090	241,038	69	646338,756	1044817,087	0,001	-0,002





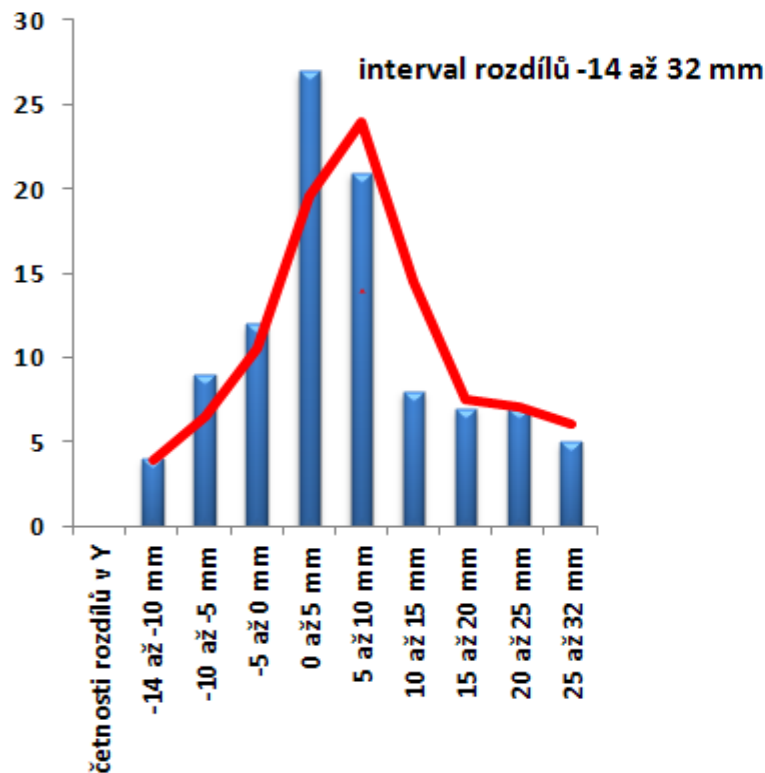
**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

79	646388,443	1045352,773	236,542	10	646388,462	1045352,753	0,019	-0,019
80	646399,163	1045352,326	236,263	11	646399,174	1045352,326	0,011	0,000
81	646399,218	1045376,160	236,182	12	646399,229	1045376,168	0,012	0,008
82	646399,835	1045401,527	236,109	13	646399,837	1045401,524	0,002	-0,003
83	646410,554	1045400,987	235,817	14	646410,570	1045400,983	0,017	-0,004
84	646411,289	1045425,433	235,723	15	646411,292	1045425,431	0,003	-0,002
85	646412,159	1045450,005	235,683	16	646412,164	1045450,004	0,005	-0,001
86	646422,927	1045449,435	235,383	17	646422,931	1045449,444	0,004	0,009
87	646424,697	1045475,108	235,300	18	646424,695	1045475,113	-0,002	0,006
88	646425,494	1045498,295	235,251	19	646425,483	1045498,298	-0,011	0,003
89	646436,297	1045497,677	234,946	20	646436,305	1045497,677	0,008	0,001
90	646437,815	1045521,407	234,869	21	646437,812	1045521,403	-0,003	-0,004
91	646439,832	1045546,363	234,794	22	646439,829	1045546,357	-0,003	-0,005
92	646450,589	1045545,517	234,497	23	646450,593	1045545,510	0,004	-0,007
93	646453,080	1045569,545	234,423	24	646453,084	1045569,536	0,004	-0,008
94	646455,195	1045594,073	234,390	25	646455,191	1045594,079	-0,004	0,007
95	646465,889	1045593,109	234,115	26	646465,894	1045593,096	0,005	-0,013
96	646468,535	1045617,639	234,077	27	646468,541	1045617,630	0,006	-0,009

## 2.3 Testy určení souřadnic podrobných bodů snímkováním z DPLS

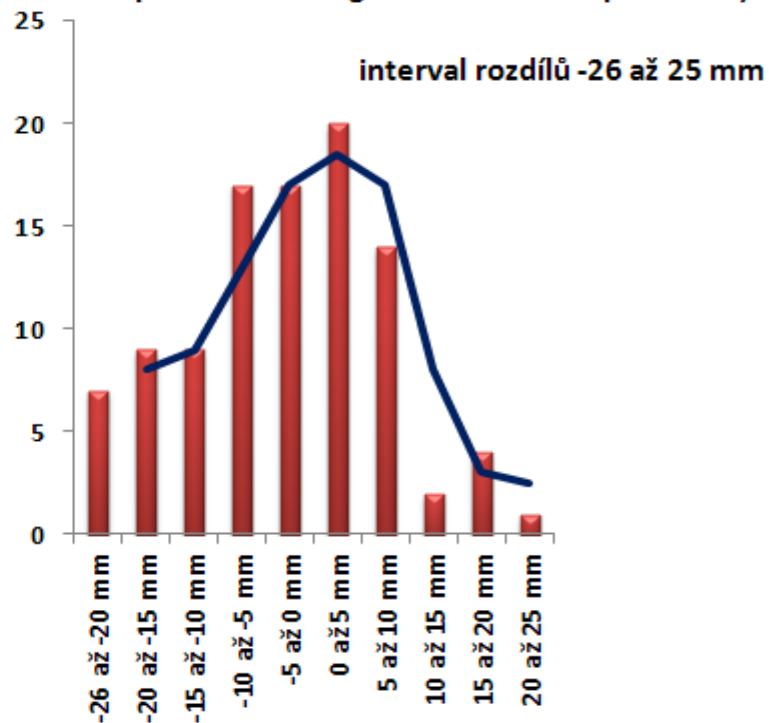
### Četnosti rozdílů GPS-orto v souřadnici Y

RMSE v souřadnici Y = 0,0121m (soubor 99 bodů z toho 32 použito do fotogrammetrického zpracování)



### Četnosti rozdílů GPS-orto v souřadnici X

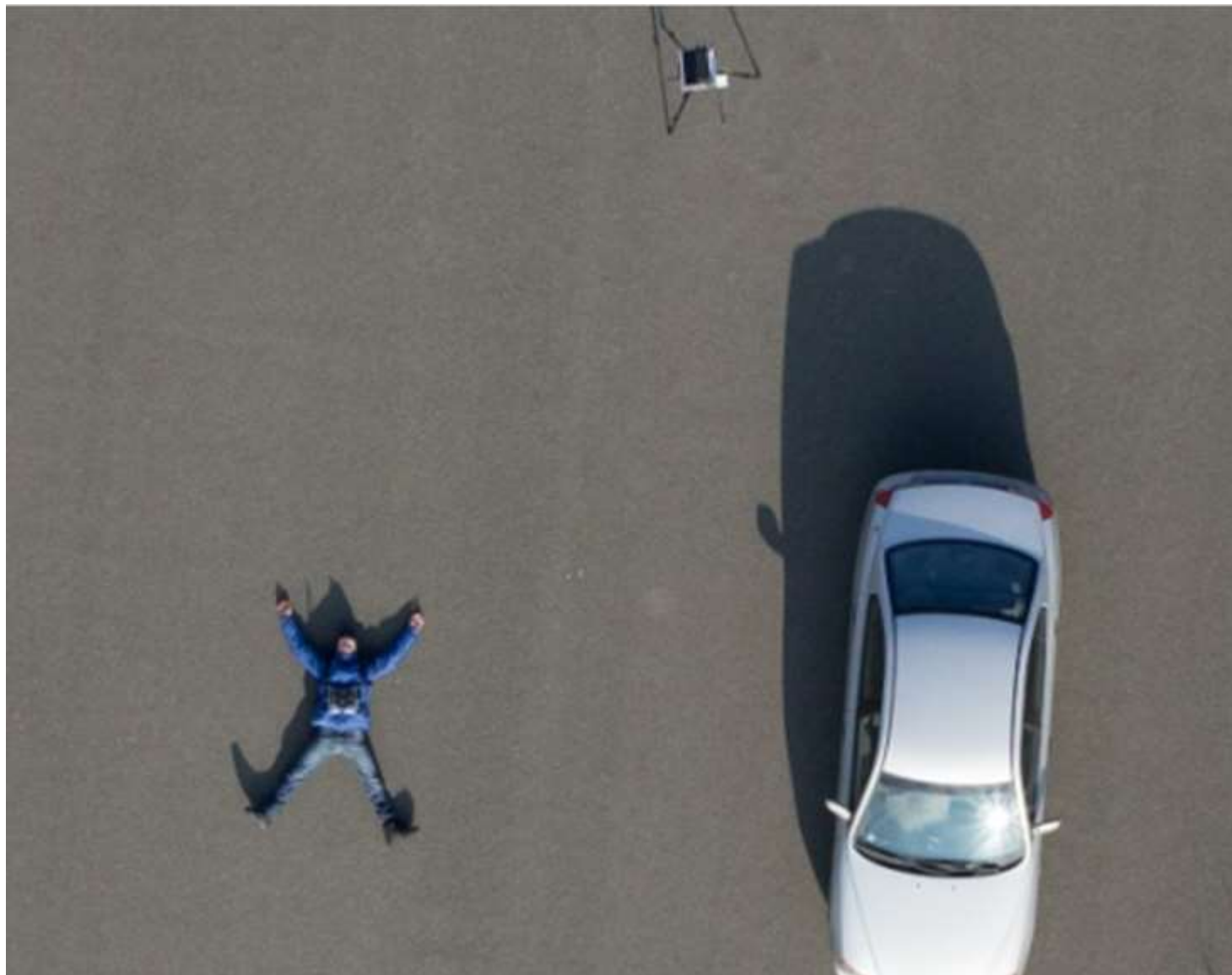
RMSE v souřadnici X = 0,0111m (soubor 99 bodů z toho 32 použito do fotogrammetrického zpracování)





**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

**Testy určení  
souřadnic  
podrobných  
bodů  
snímkování  
m z DPLS**







*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*

## **Doporučené kroky při použití neměřických kamer pro měřické úkoly**

- 1. Použít kameru s objektivem o FOV v diagonále kolem 50 až 60 stupňů**
- 2. Použít kameru s velikostí citlivého prvku alespoň poloviny kinoformátu**
- 3. Dosáhnout tuhého, trvalého a neměnného spojení mezi objektivem a tělem kamery**
- 4. Snímkovat s  $p \Rightarrow 75\%$ ,  $q \Rightarrow 35\%$**
- 5. GSD o hodnotě 60% požadované výsledného RMSE**
- 6. Nejméně jeden výchozí bod na 30 základěn v pravidelném bloku**
- 7. Fotogrammetrický zpracovatelský program založený na SGM algoritmu**



*Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.*  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



## **PRO VAŠÍ PRAXI STRAN FOTOGRAMMETRIE BY JSTE MĚLI VYSTAČIT S TĚMITO JMĚNY SOUČASNOSTI**

**Christian Höpke**  
**David Jonas**  
**Toni Schenk**  
**Dieter Fritsch**  
**Juha Hyypä**  
**Alexander Wiechert**  
**Michael Gruber**  
**Hannu Hyypä**  
**Petteri Alho**

**Yuri Boykow**  
**Yuri Reichman**  
**Andreas Ulrich**  
**Norbert Haala**  
**J. Kremer**  
**K.Wenzel**  
**Martin Cramer**  
**Suyoung Seo**  
**Heiko Hirschmüller**



**Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.**  
*Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography*



**Děkuji za pozornost**

**Dotazy?**