



ČVUT v Praze  
Stavební fakulta, katedra geomatiky

---

„Fotogrammetrie a DPZ“

Karel Pavelka

E-mail: [pavelka@fsv.cvut.cz](mailto:pavelka@fsv.cvut.cz)



Laboratoř fotogrammetrie

# Úvod



**Fotogrammetrie**  $\Rightarrow$  část oboru geodézie a kartografie, který se zabývá zjišťováním geometrických a polohových informací z obrazových záznamů, nejčastěji z fotografických snímků

**DPZ**  $\Rightarrow$  zabývá se bezkontaktním zjišťováním druhů pokryvu povrchu a jejich stavem

**Laserové skenování**  $\Rightarrow$  technologie 3D skenování, která za pomoci laseru hromadně určuje prostorové souřadnice podrobných bodů na objektu

# Úvod



**Fotogrammetrie, DPZ a laserové skenování jsou metody, dodávající hromadně lokalizované informace pro technologii**

## GIS

Základní zdroje primárních informací o území dodávají:

- **geodetické metody**      přesnost v řádu **mm - cm**
- **fotogrammetrie**      přesnost v řádu **cm - dm**
- **DPZ**      přesnost v řádu **m - km**

# Historie



- Al-Hassan bin Al –Haithm r.1032 jako první popsal „*cameru obscuru*“ – *středové promítání*
- Leonardo da Vinci (1452-1519) popsal „*dírkovou komoru*“ pro konstrukci středových průmětů
- 1605 Galileo Galilei vynalezl dalekohled
- 1777 vynález světlocitlivé slouč. AgCl (C.H.Scheele)
- **vynález fotografie: Niepce a Daquerre (1839 )**
- **název fotografie pochází od J.Herschela**
- první snímky ze vzduchu pořídil známý francouzský fotograf G.F.Tournachon (zvaný Nadar) v roce 1858
- podle návrhu A.Laussedata (1859) byl konstruován první fototeodolit; využito ve Francii při mapování v r.1861
- **"fotogrammetrie" je datována do roku 1858, kdy tento výraz použil Němec A.Meydenbauer**
- G.Eastman, r.1884 (papírový film) a jeho zavedení do praxe r.1889 (celuloidový film, první fotoaparát na svitkový film )
- C.Pulfrich (Zeiss Jena) r.1901 zkonstruoval první přístroj pro stereoskopické měření *stereokomparátor*

# Historie



- E.Orel, 1909-1911 zkonstruoval první „Autostereograf“, od r.1909 v závodech Carl Zeiss Jena jako „Stereoautograf“
- **W.Wright jako první snímkoval z letadla r.1903**
- snímkování z letadel našlo uplatnění s příchodem I.světové války
- r.1935 přišel na trh první barevný film Kodakchrom
- během druhé světové války byly konstruovány některé nové komory a stroje a vypracovány metody využití fotogrammetrie, ale především pro vojenské účely
- další rozvoj fotogrammetrie nastal opět až po r. 1945 (analogové stroje)
- kosmické technologie (po r. 1957)
- sedmdesátá léta – analytické stroje
- osmdesátá léta – rozvoj digitálních technologií
- devadesátá léta – plný přechod na digitální technologii

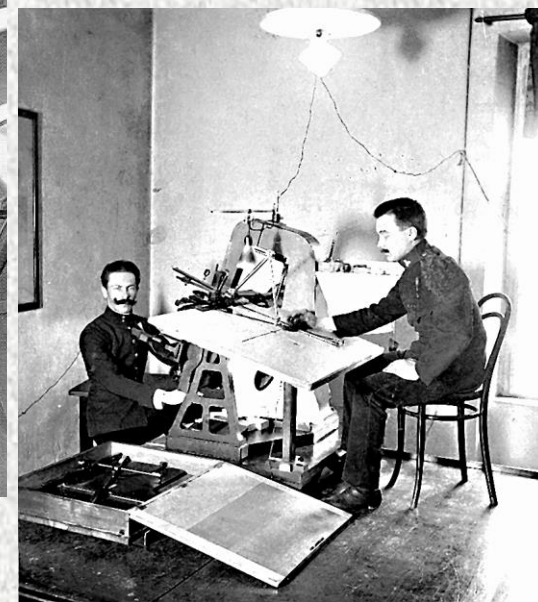
# Historie



**Karel Kořistka** (1825 1906) profesor matematiky a geodézie, první rektor Královského českého polytechnického ústavu v Praze ve školním roce 1864-65. Průkopník fotogrammetrie v českých zemích

K.Kořistka se s ní seznámil s fotogrammetrií na studijní cestě v r.1862 přímo u A.Lausseata a po návratu z této cesty ji použil v Praze

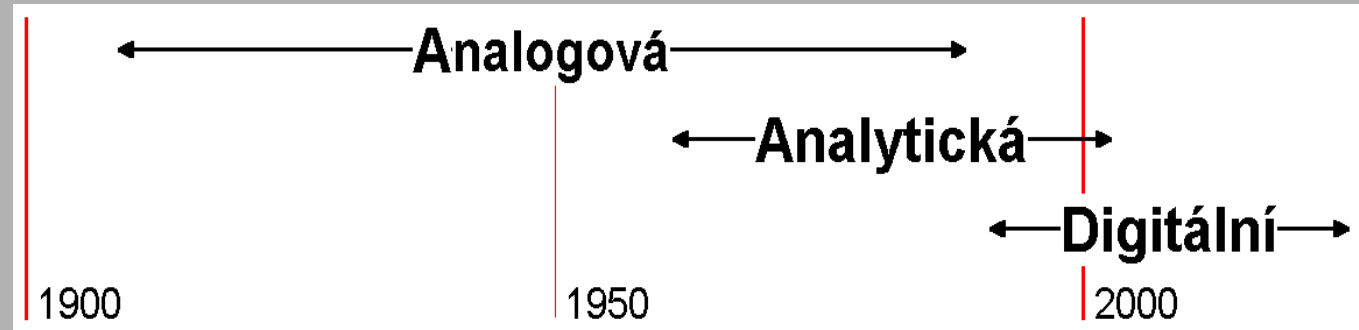
I. světová válka



# Fotogrammetrie - rozdělení



- Základní etapy vývoje: technologie



## Základní kritéria dělení fotogrammetrie

### a) podle polohy stanoviška

pozemní, letecká, družicová

### b) podle počtu a konfigurace snímků

jednosnímková a vícesnímková: stereo či průseková

### b) podle technologického postupu zpracování

analogová, analytická, digitální

# Využití fotogrammetrie



**Státní mapová díla** (resort ČÚZK) topografické mapy (1:10 000)

**Vojenské topografické mapy** (Armáda ČR)

**Informační systémy** (státní správa, informační vrstvy GIS) , **DMR+DMP**

**Památková péče** (pracovníci pam.péče, architekti) dokumentace, podklady

**Stavebnictví** (projekční a stavební firmy) podklady, dokumentace, určení deformací

**Životní prostředí** (správy NP a CHKO, ÚHÚL) lesnické mapy, delimitace vegetace

**Dále:**

- **územní plánování** - 3D modely zástavby
- **vodní hospodářství** – povodně, odtokové profily
- **inventarizace a monitoring** - doly, lomy, skládky
- **strojírenství** - kontrola přesnosti, deformace
- **rehabilitační lékařství, biomechanické aplikace**





# *Důvody nasazení fotogrammetrie*

- ⇒ **minimalizace práce v terénu**
  - ⇒ **ekonomika**
  - ⇒ **rychlost**
- **celková úspora času**
- **úspora nákladů**
- **dokumentační hodnota snímků (časová řada)**
- **vyšší vypovídací schopnost snímků ve srovnání s mapou (digitální ortofoto)**

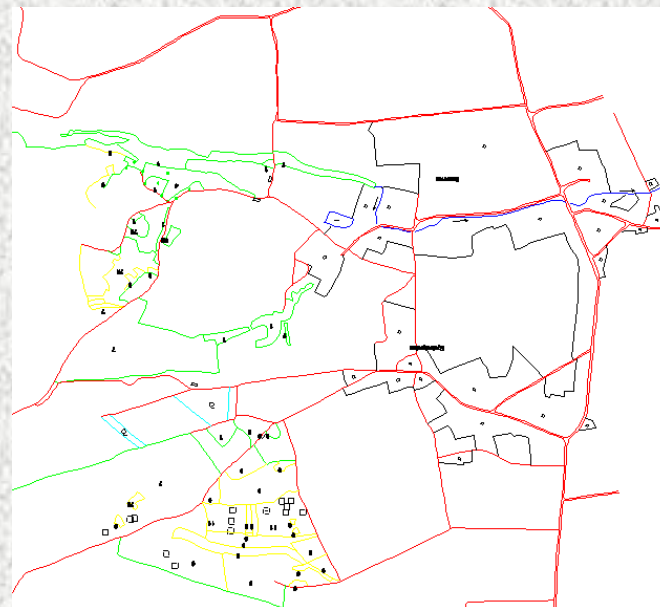
# Využití fotogrammetrie v mapování



snímek



mapa



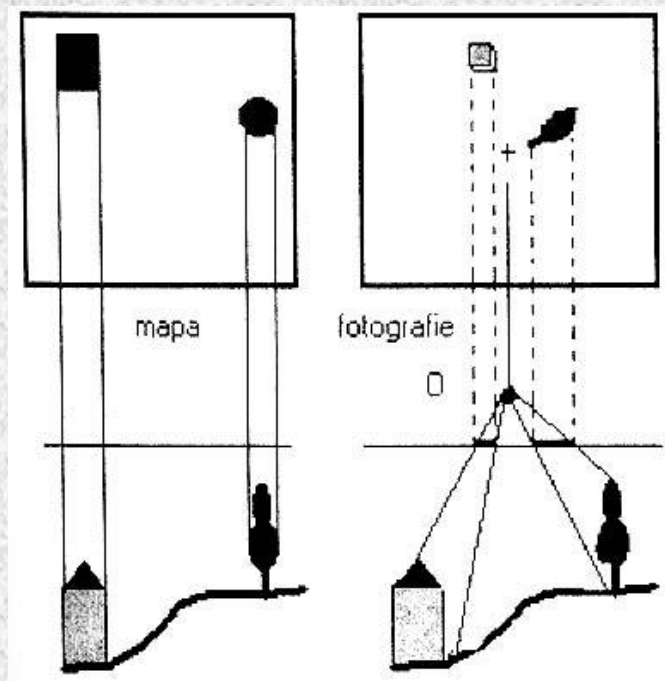
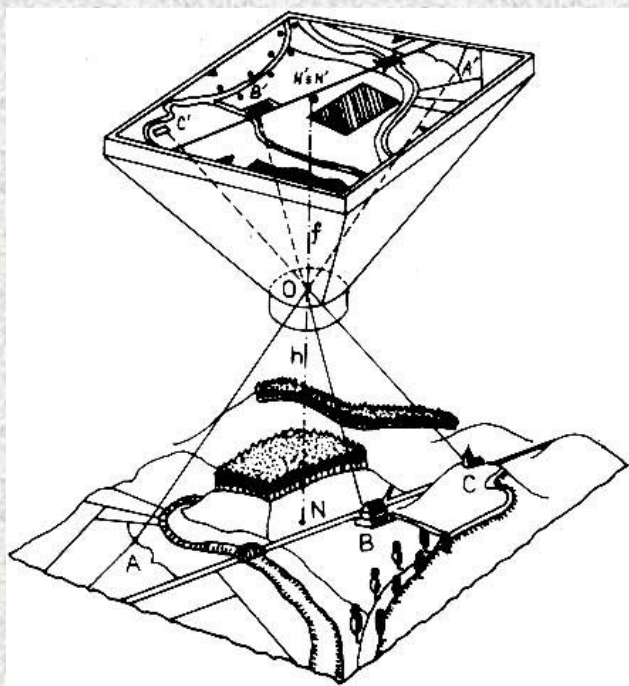


**fotografický snímek = středový průmět zobrazeného předmětu**

## **Vstupní data:**

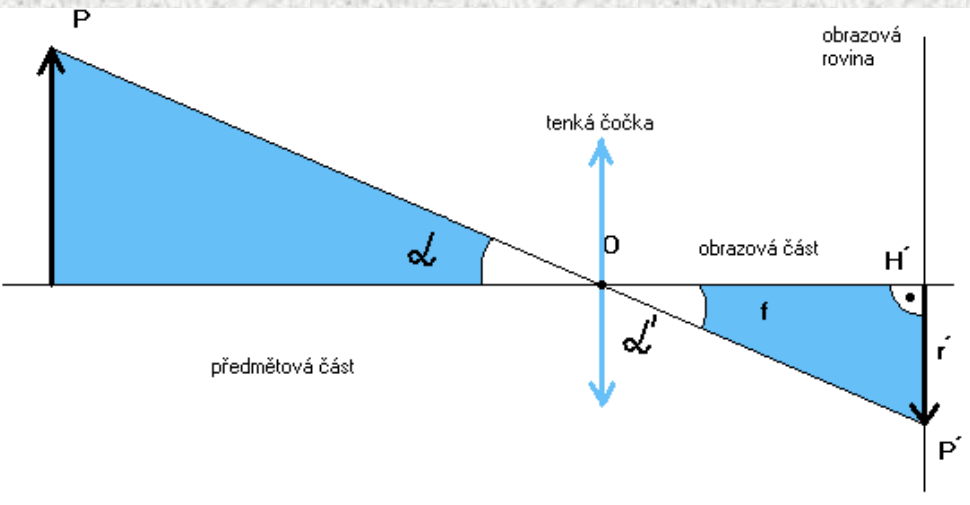
⇒ **snímek** - zdroj informací

⇒ **nutná doplňková data** - geodetické souřadnice  
vlíčovacích bodů, prvky vnitřní (vnější) orientace



# ***Základy fotogrammetrie***

# Vznik obrazu

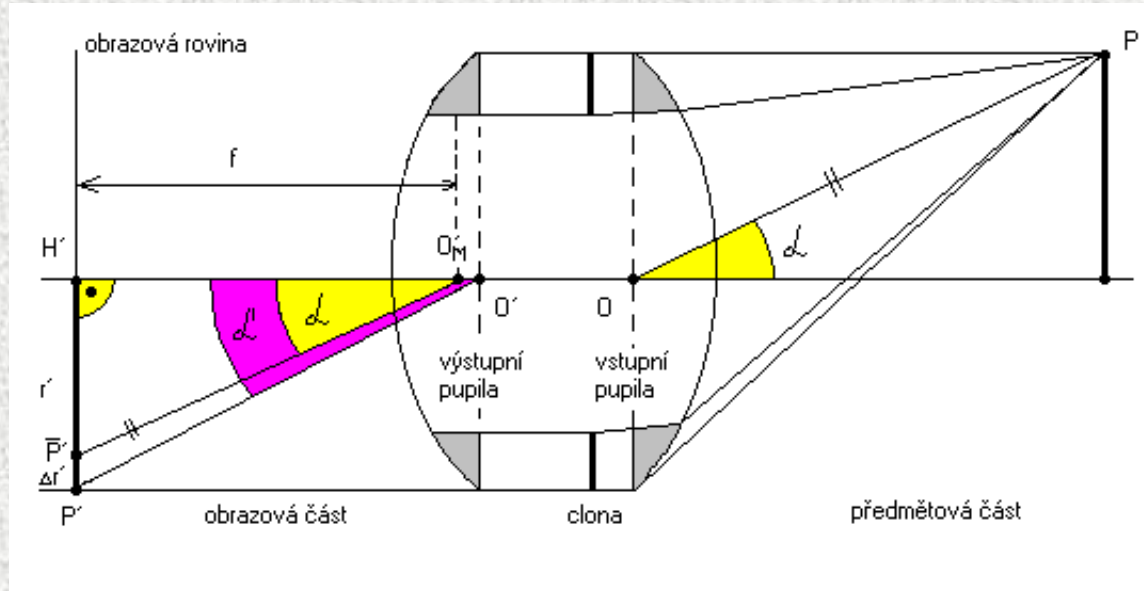


Zobrazení skutečným  
objektivem  $r' = f \cdot \operatorname{tg} \alpha + \Delta r'$   
 $\Delta r'$  - vliv distorze

$$\alpha \neq \alpha'$$

## Zobrazení ideální čočkou

$$\alpha = \alpha' \quad r' = f \cdot \operatorname{tg} \alpha$$





# ***Souřadnicové soustavy***

Obecně se v naší fotogrametrii užívá dvou typů systémů souřadnic:

a) **hlavní souřadnicové systémy**

- b) - systém snímkových souřadnic
- systém modelových souřadnic
- systém geodetických souřadnic

b) **pomocné souřadnicové systémy**

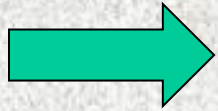
- systém fiktivních snímkových souřadnic
- systém snímkových souřadnic přesně svislého snímku





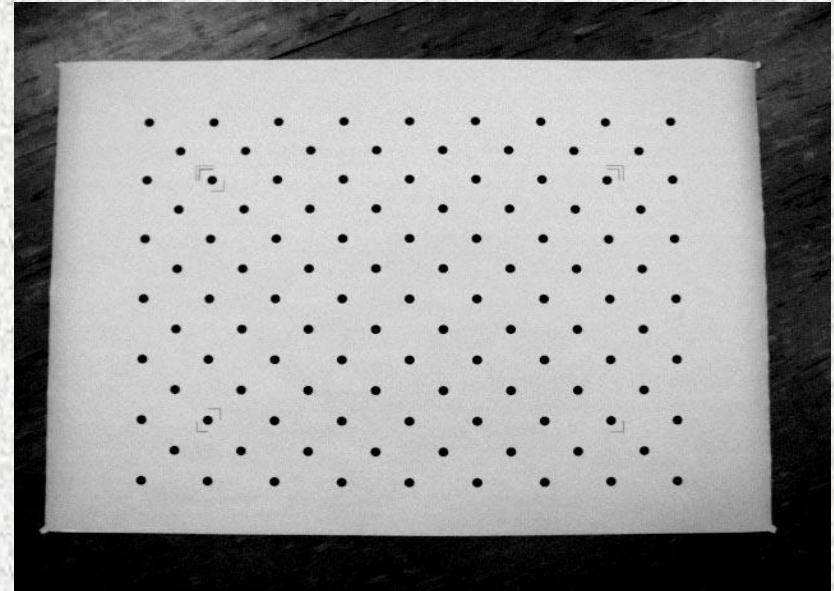
# *Kalibrace komory*

Pokud neznáme prvky vnitřní orientace, je třeba je měřením vypočítat



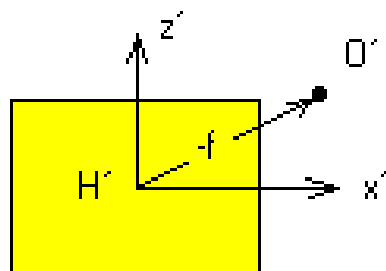
## Kalibrační metody

nejběžnější kalibrace pomocí kalibračního pole  
nebo ve specializované optické laboratoři

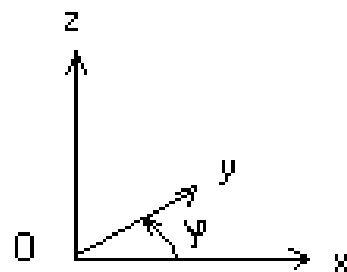




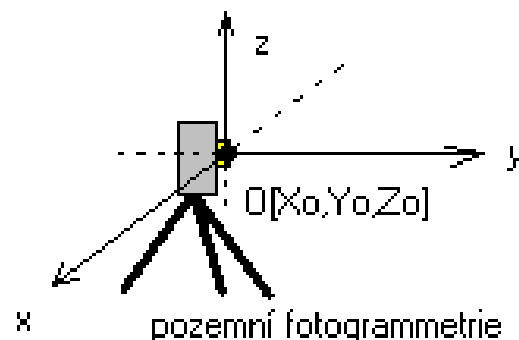
# Prvky vnitřní a vnější orientace



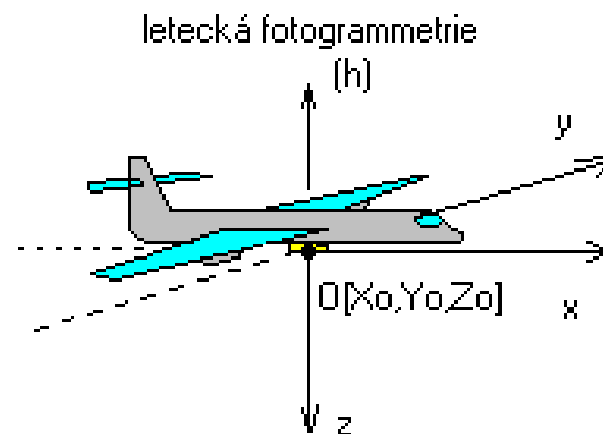
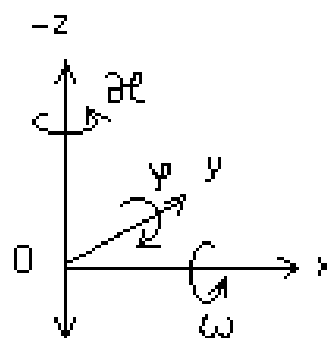
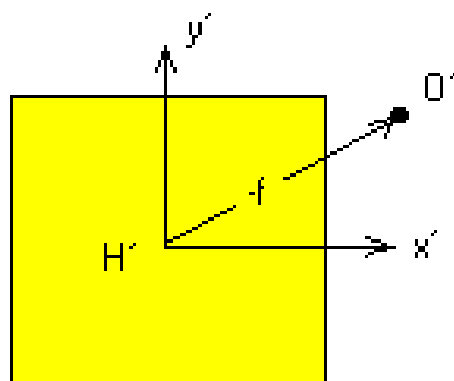
snímkové souřadnice



modelové souřadnice



pozemní fotogrammetrie



letecká fotogrammetrie  
(h)

Prvky vnitřní a vnější orientace pro pozemní a leteckou fotogrammetrii

# Převod informací ze snímku do geodetických systémů



1) Obnovení prvků vnitřní orientace

**Kalibrace kamery** – určení ohniskové vzdálenosti a polohy hl.bodu

2) Vnější orientace

Vnější orientace lze řešit klasicky ve dvou krocích jako:

- 1. relativní orientaci** (vzájemná orientace mezi oběma stereosnímky, utvoření libovolně prostorově orientovaného stereomodelu)
- 2. absolutní orientaci** (pootočení a posun modelu do referenčního geodetického systému)
3. v jednom kroku **metodou svazkového vyrovnání** (**komplexní řešení**)  
(*Bundle Adjustment, Bündelausgleichung*)

# Přímý vztah - transformace



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + m \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x' - x'_o \\ y' - y'_o \\ -f \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + m \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' - x'_o \\ y' - y'_o \\ -f \end{bmatrix}$$
$$\begin{aligned} X &= X_o + m \cdot (r_{11} \cdot (x' - x'_o) + r_{12} \cdot (y' - y'_o) - r_{13} \cdot f) \\ Y &= Y_o + m \cdot (r_{21} \cdot (x' - x'_o) + r_{22} \cdot (y' - y'_o) - r_{23} \cdot f) \\ Z &= Z_o + m \cdot (r_{31} \cdot (x' - x'_o) + r_{32} \cdot (y' - y'_o) - r_{33} \cdot f) \end{aligned}$$

$$m = \frac{Z - Z_o}{r_{31} \cdot (x' - x'_o) + r_{32} \cdot (y' - y'_o) - r_{33} \cdot f}$$

$$X = X_o + (Z - Z_o) \cdot \frac{r_{11} \cdot (x' - x'_o) + r_{12} \cdot (y' - y'_o) - r_{13} \cdot f}{r_{31} \cdot (x' - x'_o) + r_{32} \cdot (y' - y'_o) - r_{33} \cdot f}$$

$$Y = Y_o + (Z - Z_o) \cdot \frac{r_{21} \cdot (x' - x'_o) + r_{22} \cdot (y' - y'_o) - r_{23} \cdot f}{r_{31} \cdot (x' - x'_o) + r_{32} \cdot (y' - y'_o) - r_{33} \cdot f}$$

$$x' = x'_o - f \cdot \frac{r_{11}(X - X_o) + r_{21}(Y - Y_o) + r_{31}(Z - Z_o)}{r_{13}(X - X_o) + r_{23}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

$$y' = y'_o - f \cdot \frac{r_{12}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{32}(Z - Z_o)}{r_{13}(X - X_o) + r_{23}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

# Analytické metody

## Komplexní řešení, řešení rovnic na počítači, iterační metody

$$x'_{i1} = F_x(f, x'_0 = d^x, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega_1, \varphi_1, \kappa_1, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$y'_{i1} = F_y(f, y'_0 = d^y, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega_1, \varphi_1, \kappa_1, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$x''_{i2} = F_x(f, x''_0 = d^x, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega_2, \varphi_2, \kappa_2, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$y''_{i2} = F_y(f, y''_0 = d^y, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega_2, \varphi_2, \kappa_2, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$x' = x'_0 - f \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y' = y'_0 - f \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$f(x_1, \dots, x_n) = f(x_1^0, \dots, x_n^0) + \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^0 dx_1 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^0 dx_n$$

$$\begin{aligned} v_{xij} = & \left( \frac{\partial x'}{\partial X_{0j}} \right)^0 dX_{0j} + \left( \frac{\partial x'}{\partial Y_{0j}} \right)^0 dY_{0j} + \left( \frac{\partial x'}{\partial Z_{0j}} \right)^0 dZ_{0j} + \\ & + \left( \frac{\partial x'}{\partial \omega_j} \right)^0 d\omega_j + \left( \frac{\partial x'}{\partial \varphi_j} \right)^0 d\varphi_j + \left( \frac{\partial x'}{\partial \kappa_j} \right)^0 d\kappa_j + \\ & + \left( \frac{\partial x'}{\partial X_i} \right)^0 dX_i + \left( \frac{\partial x'}{\partial Y_i} \right)^0 dY_i + \left( \frac{\partial x'}{\partial Z_i} \right)^0 dZ_i - (x'_{ij} - x'^0_{ij}) \end{aligned}$$

# ***Zachycení obrazu***

# Vznik obrazu

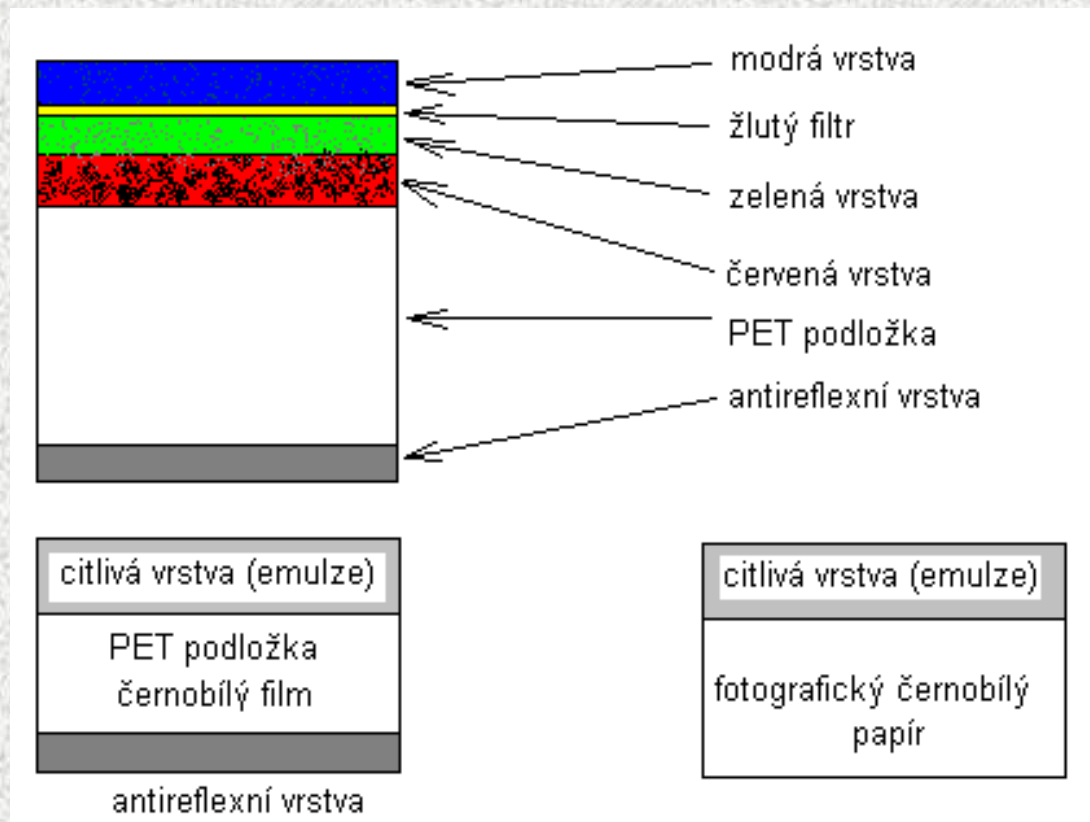
## Fotografický materiál

Všeobecně lze fotografický materiál rozdělit na:

**pozitivní materiál, negativní materiál a inverzní (diapozitivní) materiál.**

Dále se fotografický materiál dělí na:

- barevný
- černobílý
- inframateriál
- spektrozónální



# Vznik digitálního obrazu

**Digitální obraz je obraz v číslicové podobě (vyjádřený čísly).** Vzniká buď primárně digitálními snímacími zařízeními nebo skenováním analogových snímků. Digitální obraz se skládá z jednotlivých pixelů,

(z anglického *picture elements*) nabývajících určitých hodnot, která nejsou libovolné (dáno technickými možnostmi počítače a kódováním).

Definiční obor – obrazová funkce je definována jen v ploše obrazu

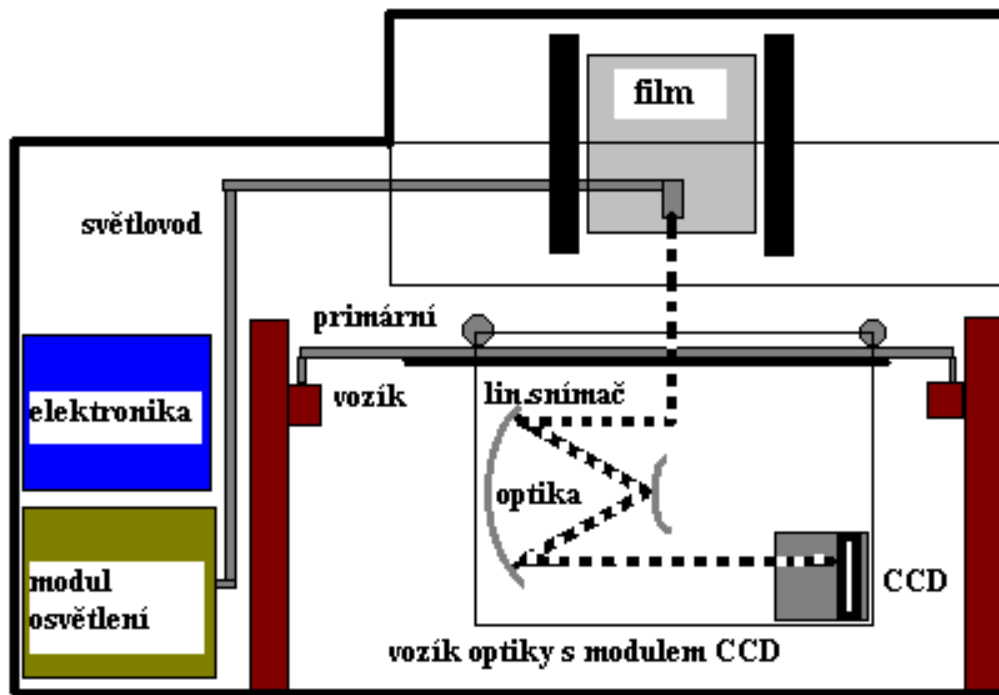
Obor hodnot – kvantování obrazu, např. na 8 bitů 0-255 hodnot

$$P[i, j] = f(i, j)$$

$f(i, j)$	$f(i, j+1)$	$f(i, j+2)$	$f(i, j+3)$	$f(i, j+4)$
$f(i+1, j)$	$f(i+1, j+1)$	$f(i+1, j+2)$	$f(i+1, j+3)$	$f(i+1, j+4)$
$f(i+2, j)$	$f(i+2, j+1)$	$f(i+2, j+2)$	$f(i+2, j+3)$	$f(i+2, j+4)$
.....				
.....				$f(m, n)$

$$M = m \cdot n \cdot e \text{ [byte]}$$

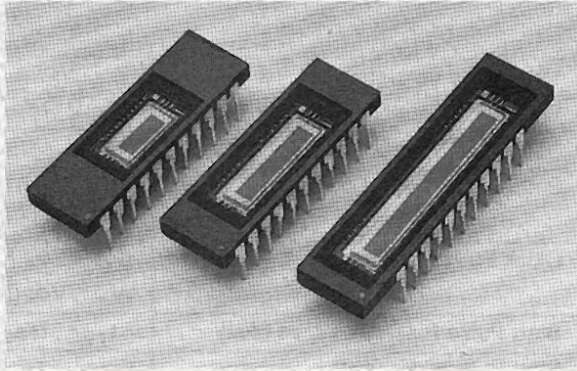
# Vznik digitálního obrazu skenováním



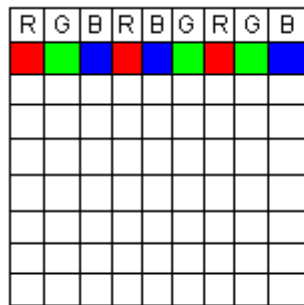
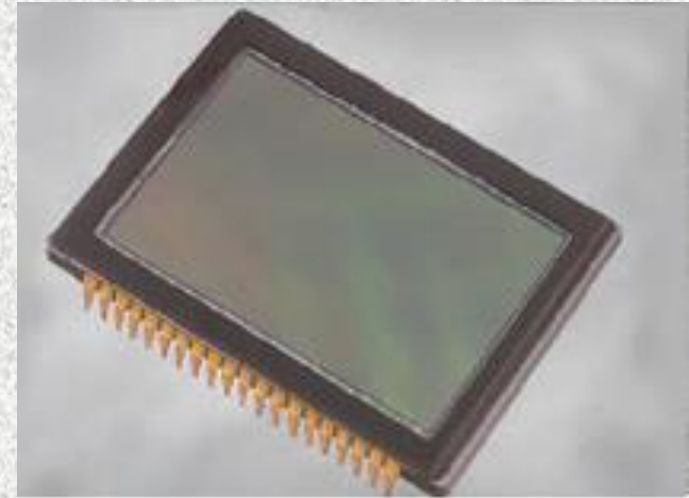
*Skener PhotoScan2001*



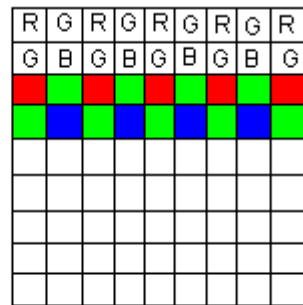
# Přímý vznik digitálního barevného obrazu



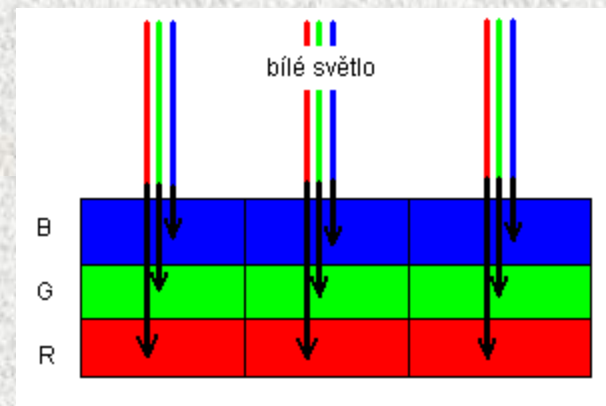
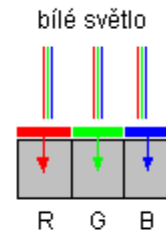
Jediný senzor (*one shot camera*)



RGB pásová maska



RGBG mozaiková maska



# ***Fotogrammetrické kamery***

# Pozemní analogové kamery



← *Těžké komory UMK  
(skleněné desky nebo planfil 13x18cm)*

*Réseau komora RolleiMetric 6006  
(svitkový film, 6x6cm)* →



70.-90.léta 20.století



# Fotogrammetrické kamery

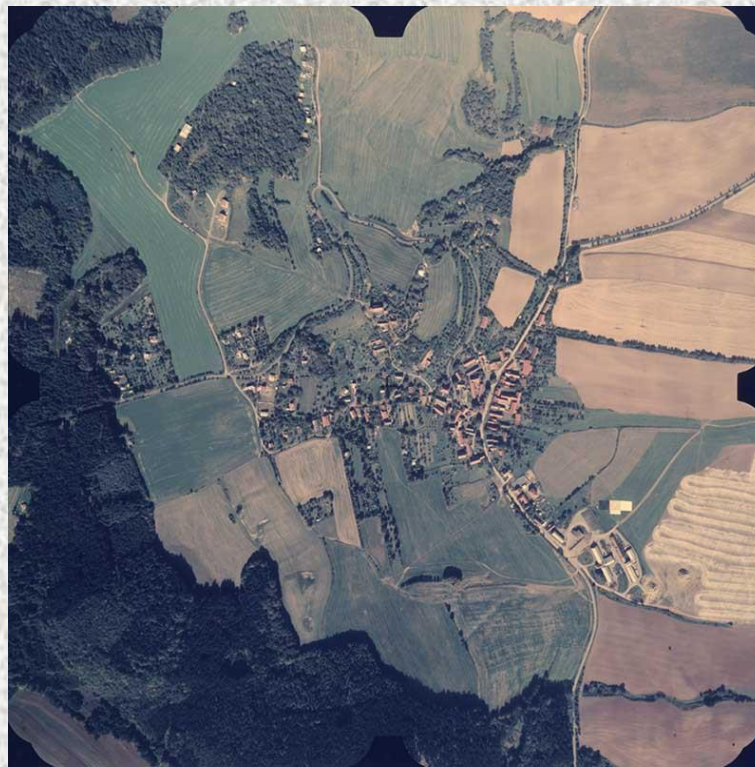
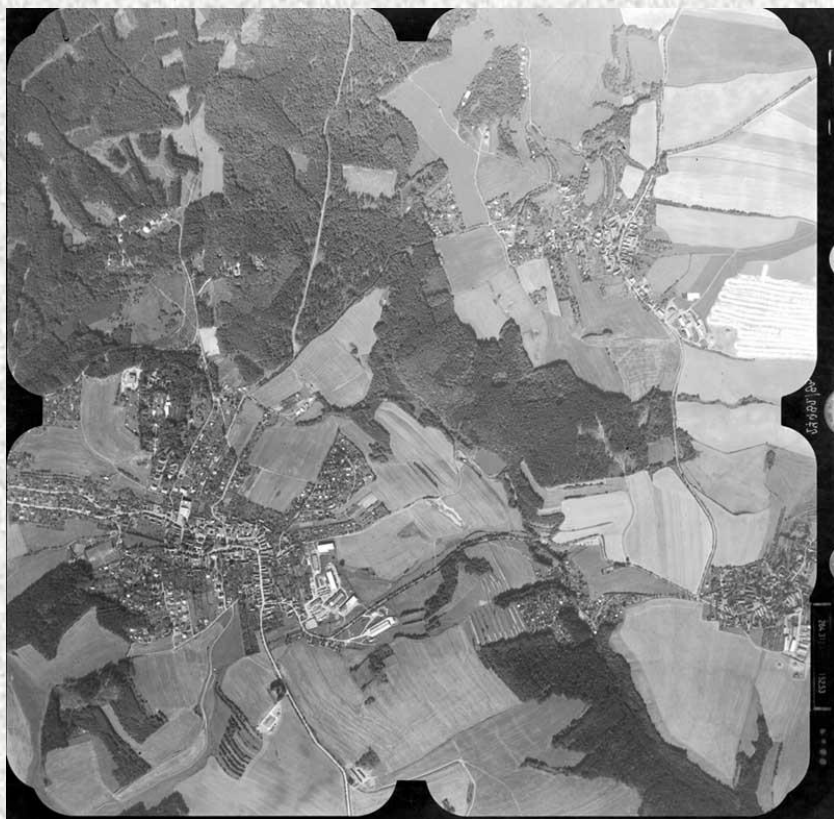


*Komora Leica RC 30  
Komora Zeiss RMK-TOP a  
gyrostabilizovaná plošina TAS, Komora  
LMK (Zeiss Jena)  
90.léta 20.století*

# Fotogrammetrické záznamy klasické



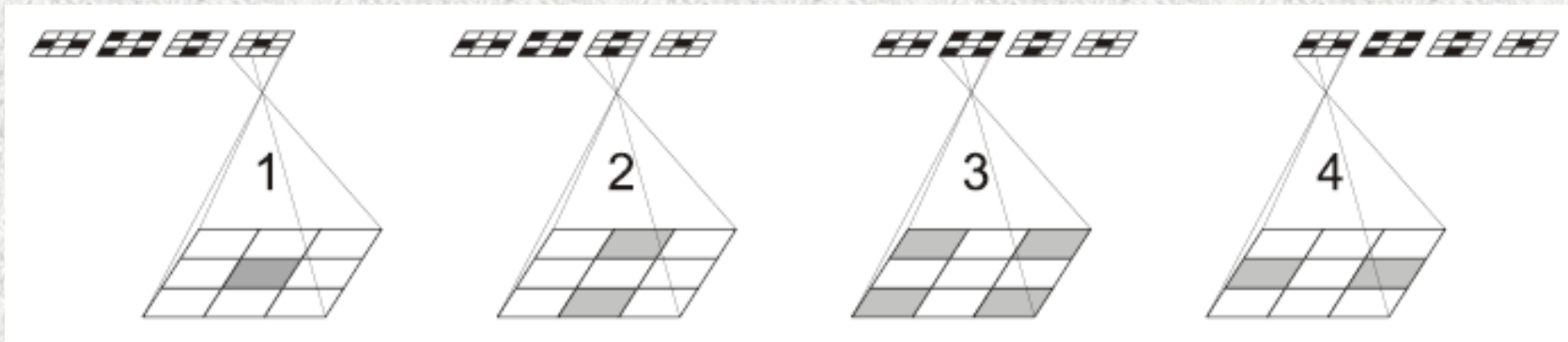
*rámové značky*



# digitální letecké kamery



*Komora UltraCam D, 2005*



# **digitální kamery (SLR – single lens reflex camera, zrcadlovky)**

*kamery Canon, Nikon, aj., (21. století)*

*-současné běžné možnosti rozlišení 10-  
30MPix*



# Prímé měření polohy a orinetace: INS - IMU



APX-UAV Boardsets



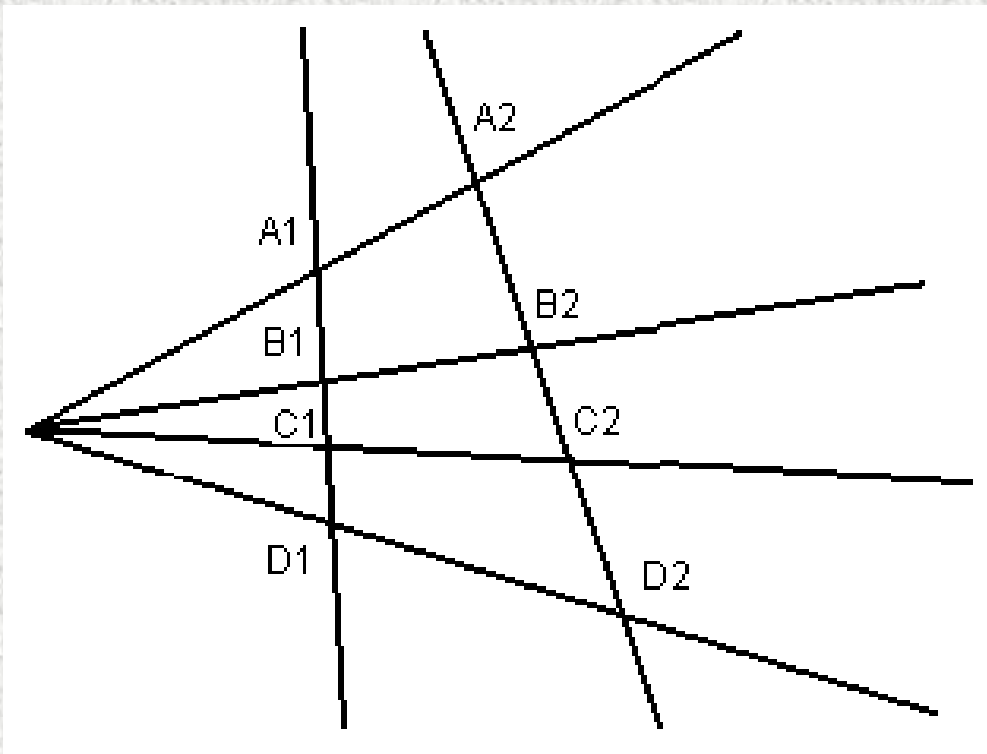


# ***Metody fotogrammetrie***

# Jednosnímková fotogrammetrie



- vztah mezi dvěma rovinami



**Pappova věta:**

*Dvojpoměr čtveřice bodové nebo paprskové zůstává v rovině mapy i snímku zachován.*

$$\frac{A_1C_1}{B_1C_1} = \frac{A_2C_2}{B_2C_2}$$
$$\frac{A_1D_1}{B_1D_1} = \frac{A_2D_2}{B_2D_2}$$

Matematickým vyjádřením skutečnosti je **kolineární transformace**

$$X = \frac{a_1x' + a_2y' + a_3}{c_1x' + c_2y' + 1}$$

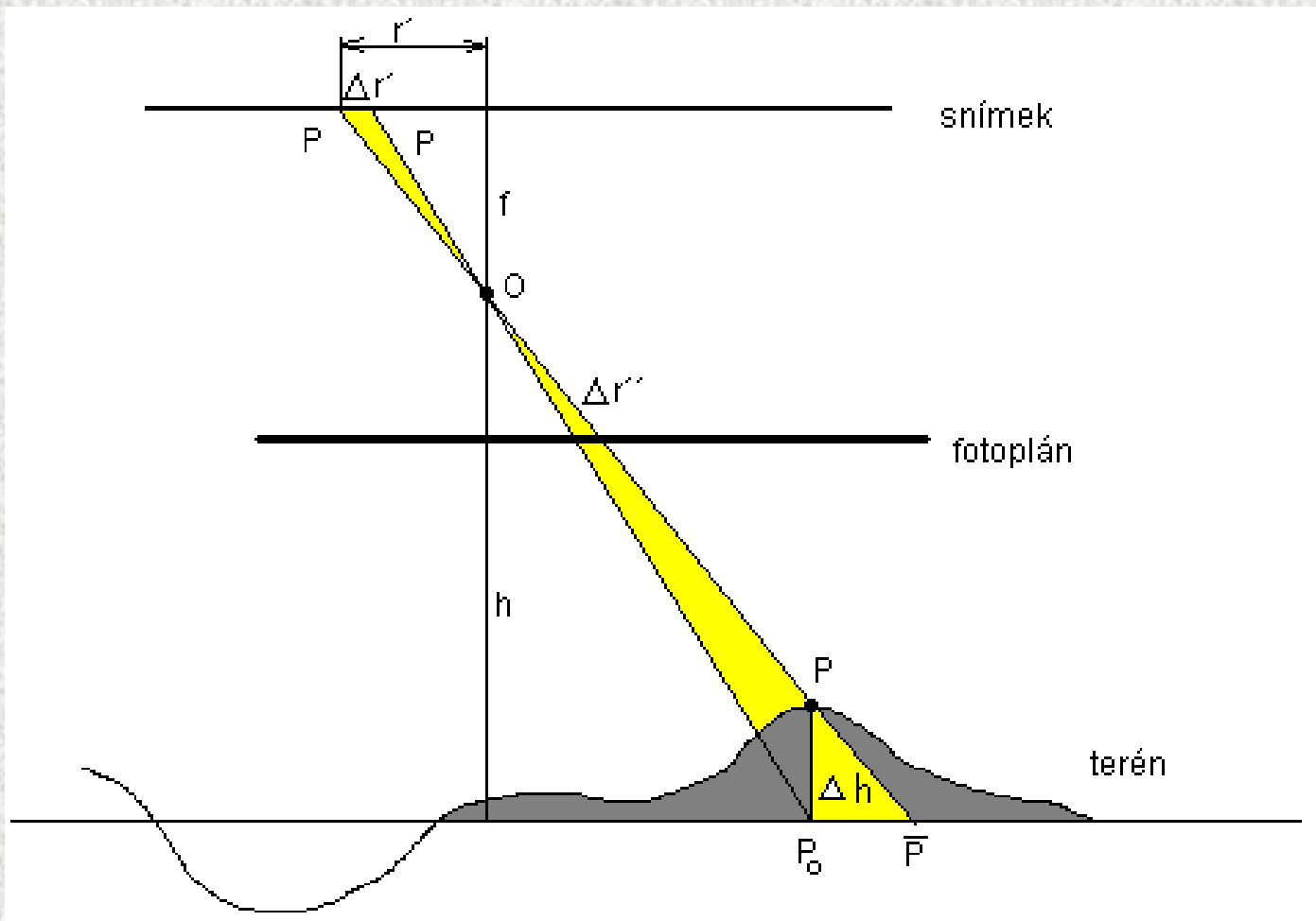
$$Y = \frac{b_1x' + b_2y' + b_3}{c_1x' + c_2y' + 1}$$



# Vliv výškového členění



$$\Delta r'' = \frac{\Delta h \cdot r'}{f \cdot m_F} \quad \Delta h_{\max} = \frac{f \cdot m_F \cdot \Delta r''_{\max}}{r'}$$



# Digitální překreslení



*Originální snímek a fotoplán, pořízený měřickou komorou (vlevo), snímek, pořízený obyčejným fotoaparát a jeho digitálně překreslená podoba – zaklenutí obrazu, vlivem neodstraněné radiální distorze je jasně viditelné (vpravo)*

# Digitální jednosním. fotogrammetrie

- Orig.snímek

$$X = \frac{a_1x' + a_2y' + a_3}{c_1x' + c_2y' + 1}$$

$$Y = \frac{b_1x' + b_2y' + b_3}{c_1x' + c_2y' + 1}$$

- Fotoplán



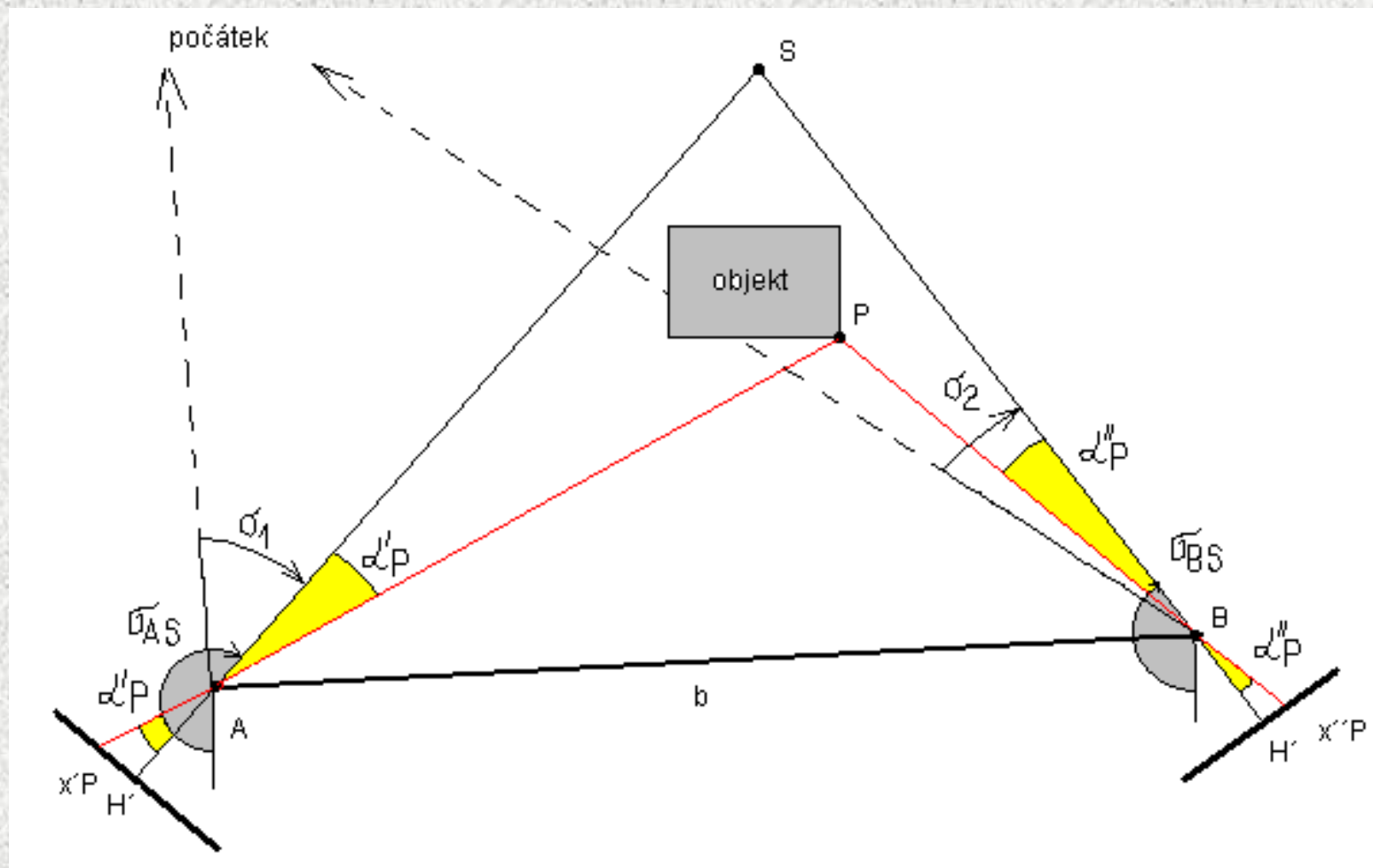
# Historické řešení



$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f}, \quad \operatorname{tg} \beta' = \frac{z'}{\sqrt{(f^2 + x'^2)}} = \frac{z'}{f} \cos \alpha'$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f}, \quad \operatorname{tg} \beta' = \frac{z'}{\sqrt{(f^2 + x'^2)}} = \frac{z'}{f} \cos \alpha'$$

$$x' = f \frac{x'_F}{f \cdot \cos \omega - z'_F \cdot \sin \omega}, \quad z' = f \frac{f \cdot \sin \omega + z'_F \cdot \cos \omega}{f \cdot \cos \omega - z'_F \cdot \sin \omega}$$



# Digitální fotogrammetrie

## Průřeková digitální fotogrammetrie

$$\begin{pmatrix} x' - x'_0 + \Delta x' \\ z' - z'_0 + \Delta y' \\ -f \end{pmatrix} = m \cdot \mathbf{R}^T \cdot \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}$$





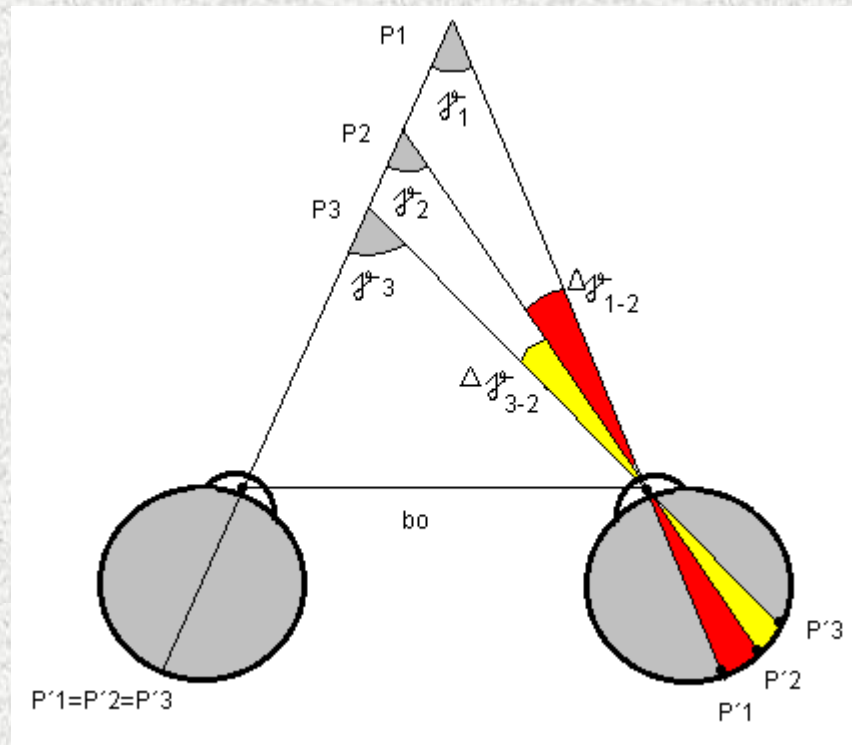
# Stereofotogrammetrie

Stereofotogrammetrická  
metoda zavedena počátkem  
20.stol. (Pulfrich)

Vyhodnocení na základě  
stereoskopického vjemu i  
pro nesignalizované body

Fotogrammetrické  
stereoskopické  
pozorování a vyhodnocení

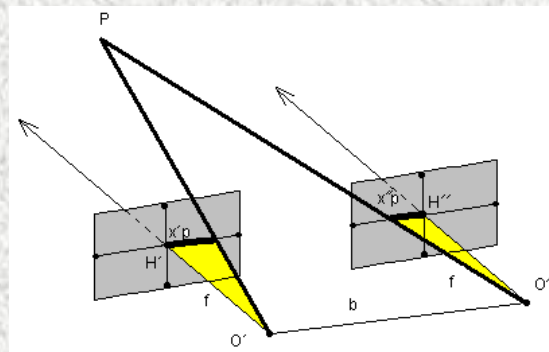
- umělý stereoskopický vjem  
na základě přirozeného  
vjemu zdravých očí



# Klasická pozemní stereofotogrammetrie

Při pozemních aplikacích lze zajistit standardizaci prvků vnější orientace **R=E**

$$x = \frac{b \cdot x'}{p} \quad y = \frac{b \cdot f}{p} \quad z = \frac{b \cdot z'}{p}$$



$b$  (AB)  $\Rightarrow$  základna

$x$   $y$  ( $z$ )  $\Rightarrow$  modelový systém

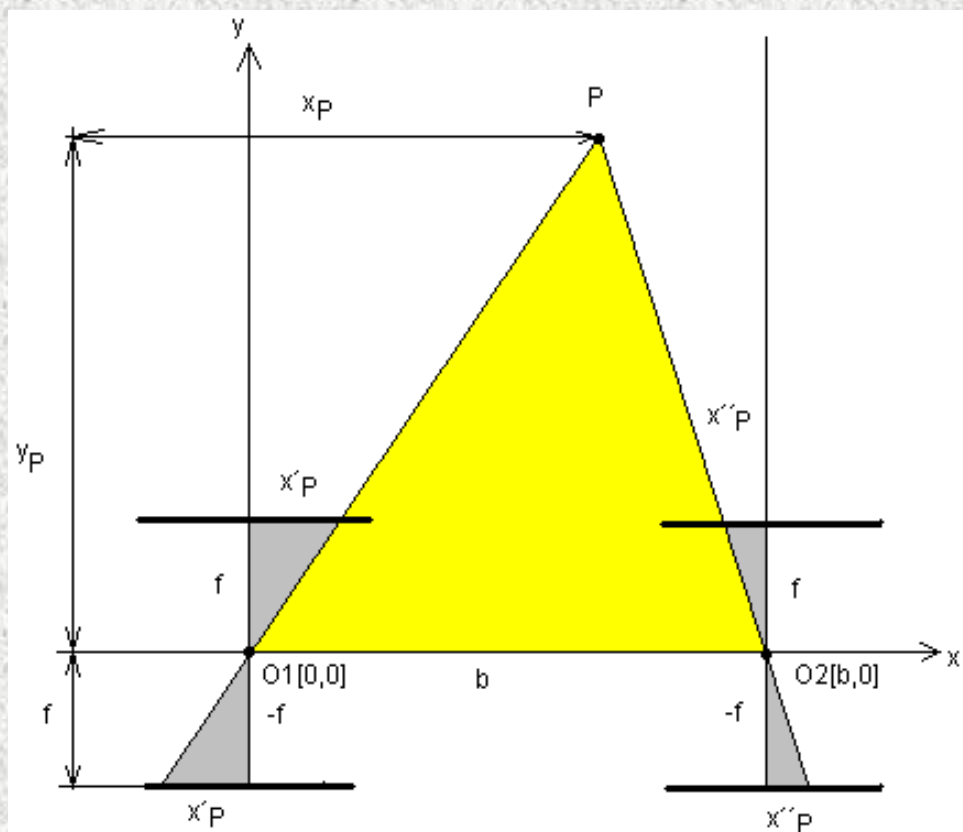
$\sigma'$ ,  $\sigma''$   $\Rightarrow$  snímkové roviny

$x'$ ,  $x''$ ,  $z'$ ,  $z''$   $\Rightarrow$  snímkové souřadnice

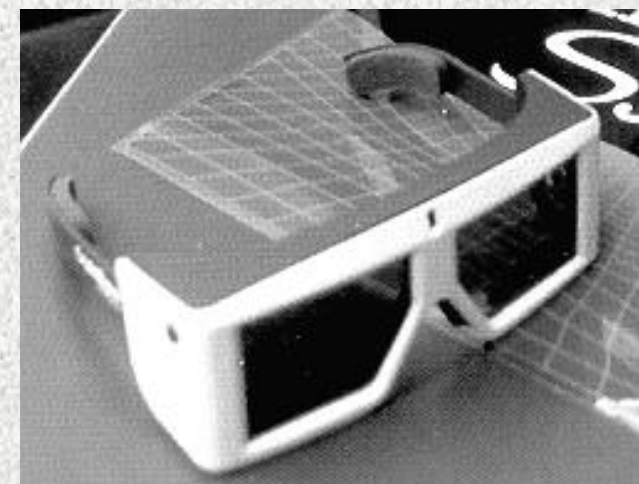
$p$   $\Rightarrow$  paralaxa (rozdíl snímkových souřadnic)

$f$   $\Rightarrow$  konstanta komory (ohnisková vzdálenost)

Přesnost:  $m_y = \pm \frac{y \cdot y}{b \cdot f} m_P$

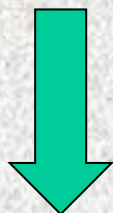


# Pomůcky

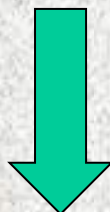


# *Fotogrammetrické technologie vyhodnocení obsahu snímků*

*Analogová technologie  
(zastaralá, nevyužívá se)*

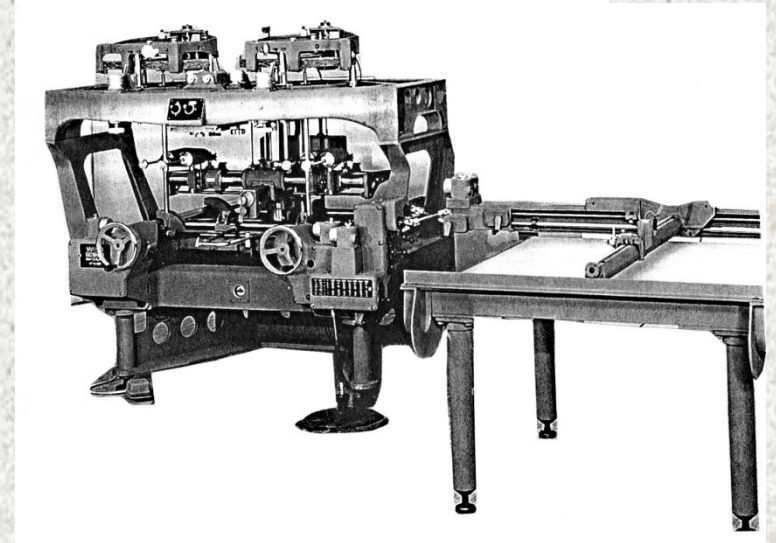
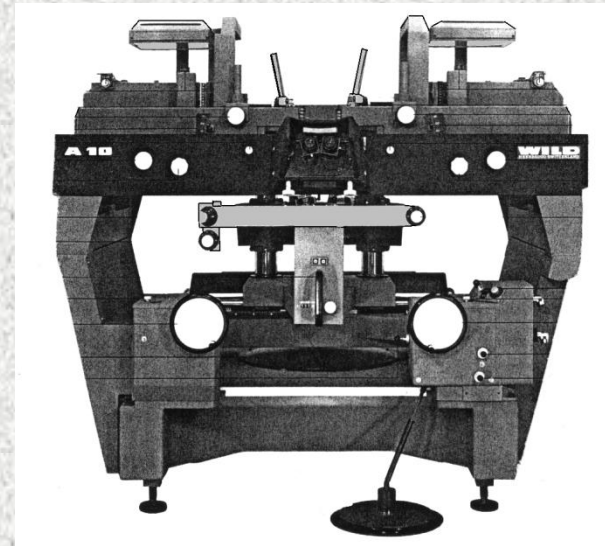


*Početní (analytická) technologie  
- s využitím analogových strojů  
a dílčích početních kroků  
(klasická)*



*Analytická technologie  
- nelze řešit bez počítače  
- současnost*

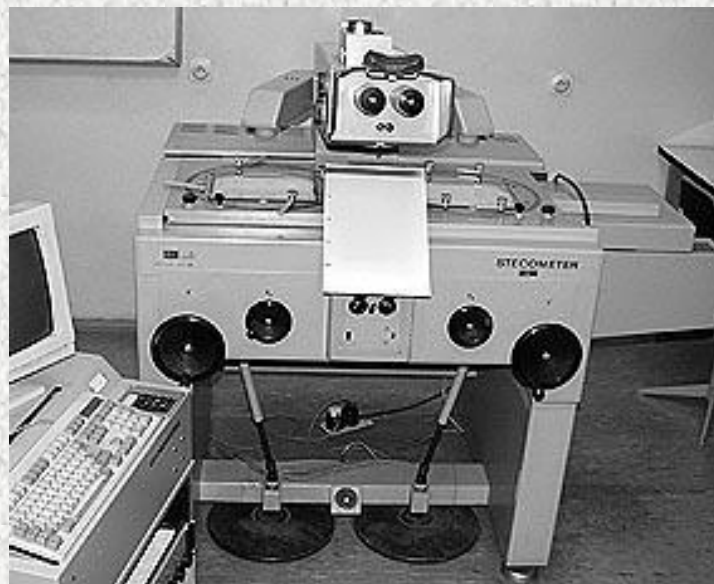
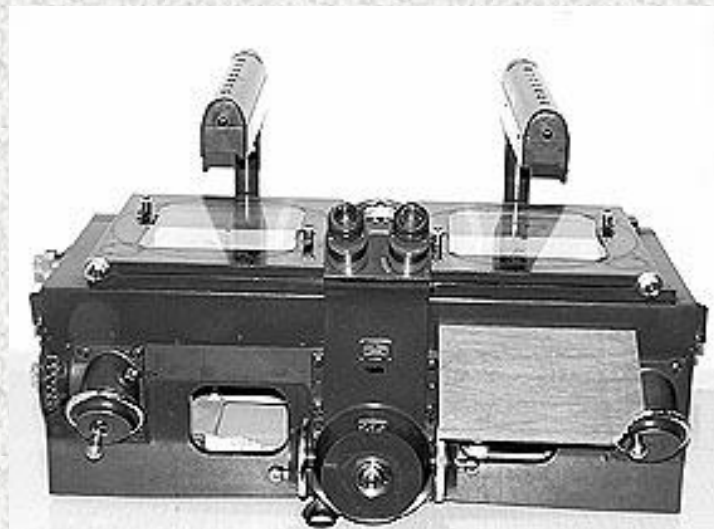
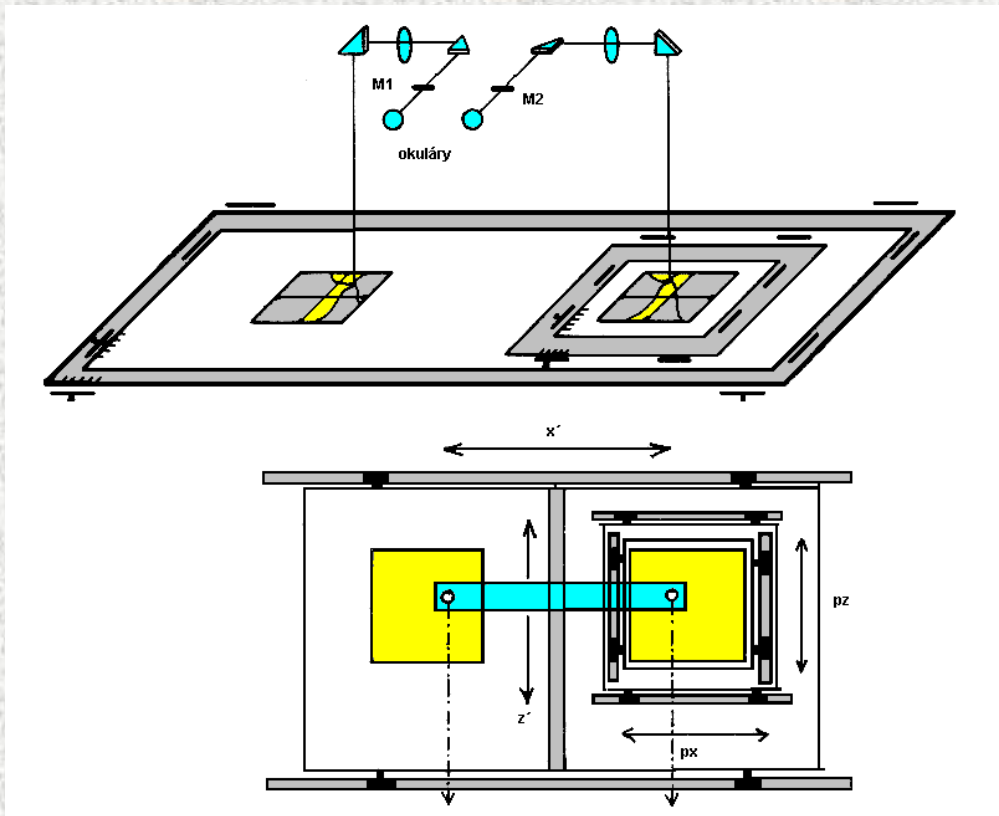
# Analogové stroje



*Stereometrograf, Topokart (Zeiss Jena)*

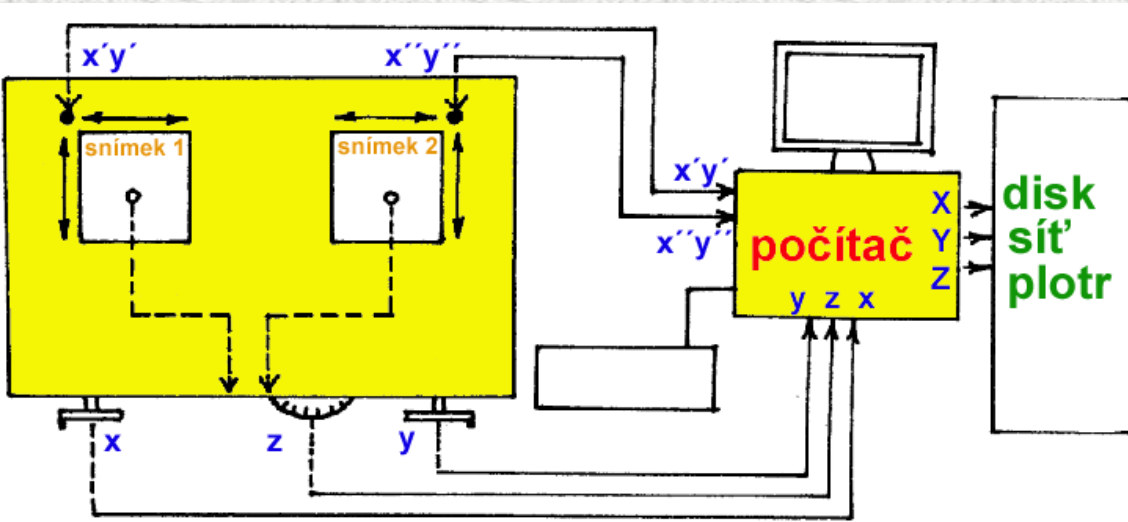
*A-10 a A-7 (Wild)*

# *analogové stroje-komparátory*



# Analytické stroje

- měří se na skutečných snímcích, nutný počítač
- nevytváří se reálný model
- nejpřesnější fm metoda
- ovládají se modelové souřadnice, na počítači se přepočítávají na snímkové
- pojízdné nosiče snímků se nastaví na vypočtené snímkové souřadnice



*BC-1 (Wild, 1985)*



*SD 2000 (Leica, 1995)*



# Digitální stereofotogrammetrie

- *Sada stereovidění s krystalovými brýlemi (Imagestation SSK), 1999*
- **Současná podoba DPW**

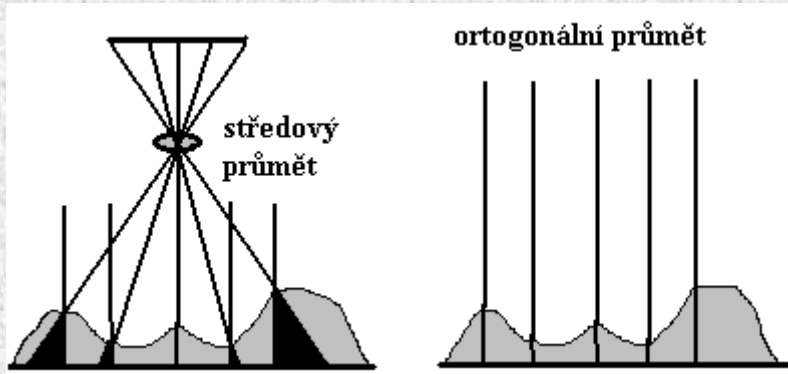
Digital photogrammetric workstation





# digitální fotogrammetrie

## Digitální ortofoto



*Nutno znát a mít: snímky, známé prvky  
vnitřní a vnější orientace,  
digitální model reliéfu nebo povrchu,  
vlíčovací body geodeticky zaměřené*



2003, 1m, skenované snímky



2015, 20cm, digitální kamera

# SfM (structure from motion), IBMR (image based modeling and rendering)

- Moderní technologie zejména pro blízkou fm (cca 30m) a „dronovou“ fm
- Automatická AAT
- Tvorba DMP a ortofota

# SfM a IBMR

- Postup:
- Pořízení snímků s velkým překrytem
- Vložení snímků do sw, založení projektu
- Tvorba řídkého mračka bodů (sparse point cloud) – klíčové body (key points ve snímcích), matching („přiřazení“)-výpočet prvků vnitřní a vnější orientace s vyrovnáním

# SfM a IBMR

- Filtrace modelu
- Tvorba hustého mračna bodů (dense point cloud), tzn. nalezení bodů, které mají obraz alespoň na dvou snímcích a výpočet jejich  $x, y, z$
- Editace modelu
- Tvorba sítě (mesh, TIN)
- Tvorba textury
- Tvorba DMP a ortofota

Digitální fotoaparát + software založený na digitální obrazové korelaci (Agisoft Photoscan - Metashape, Zephyr 3D, pix4D, 123catch atd.)





Workspace ✕



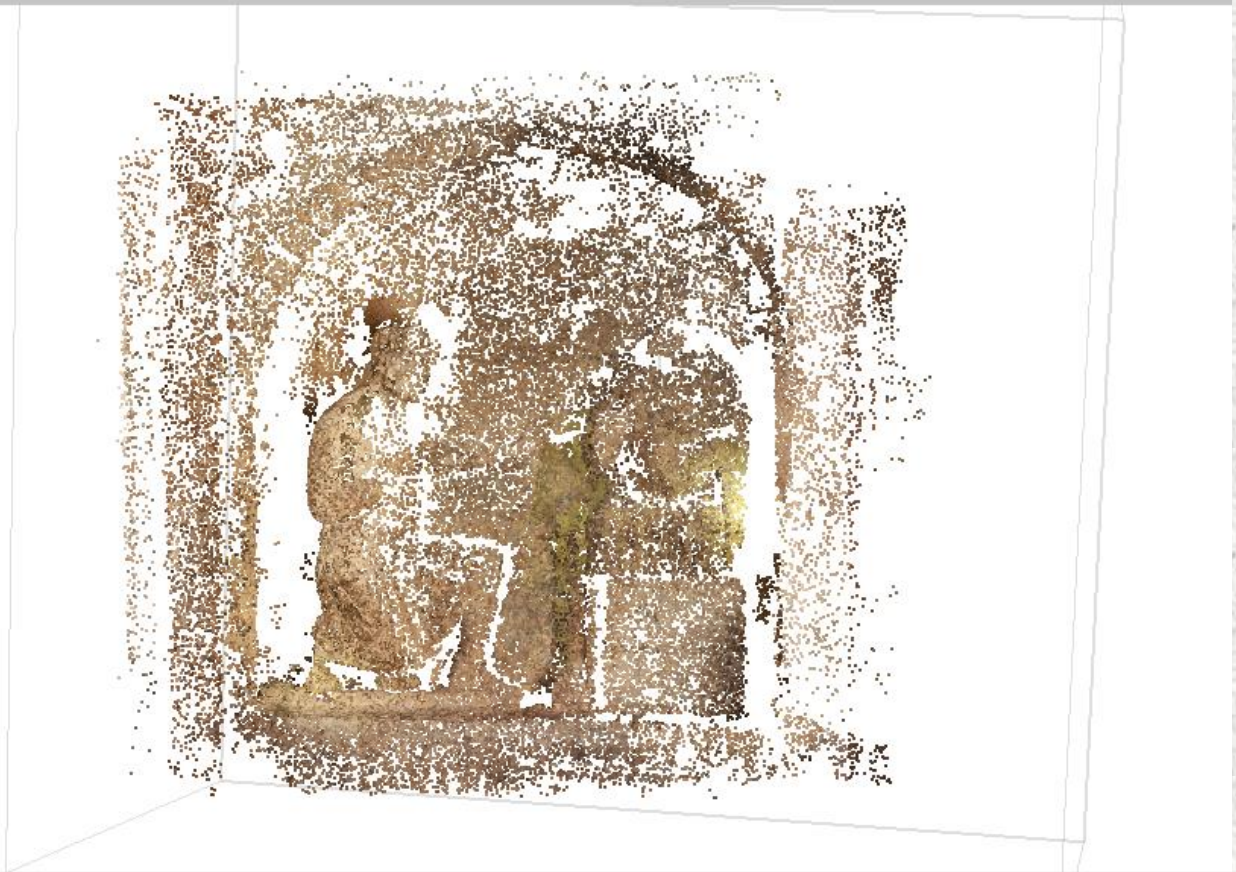
Workspace (1 chunks, 138 cameras)

▶ **Chunk 1 (138 cameras, 102,301 points) [T]**

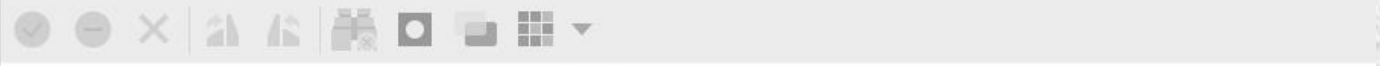
Model Ortho

Perspective 30°

102,301 points



Photos



IMG\_3975 IMG\_3976 IMG\_3977 IMG\_3978 IMG\_4782 IMG\_4783 IMG\_4784 IMG\_4785



workspace



Workspace (1 chunks, 138 cameras)

Chunk 1 (138 cameras, 102,301 points) [T]

Model Ortho

Perspective 30°



points: 57,778,176

Photos



IMG\_3975

IMG\_3976

IMG\_3977

IMG\_3978

IMG\_4782

IMG\_4783

IMG\_4784

IMG\_4785

Model Ortho

Perspective 30°



Faces: 1,283,957 vertices: 1,232,169





# Využití - příklady

# Technická dokumentace: ortofoto + vektorové vyhodnocení



# ***družicová fotogrammetrie od 90. let 20.století***



# Carnuntum, 40km JV od Vídně, římský vojenský tábor a město

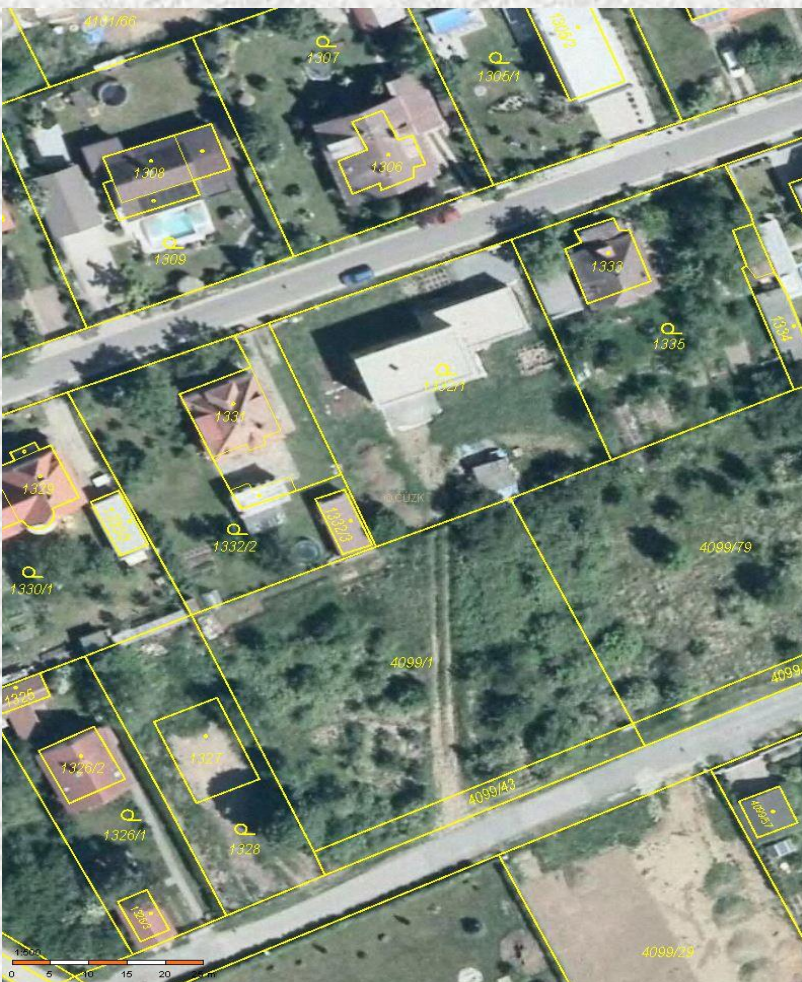


# Letecká archeologie

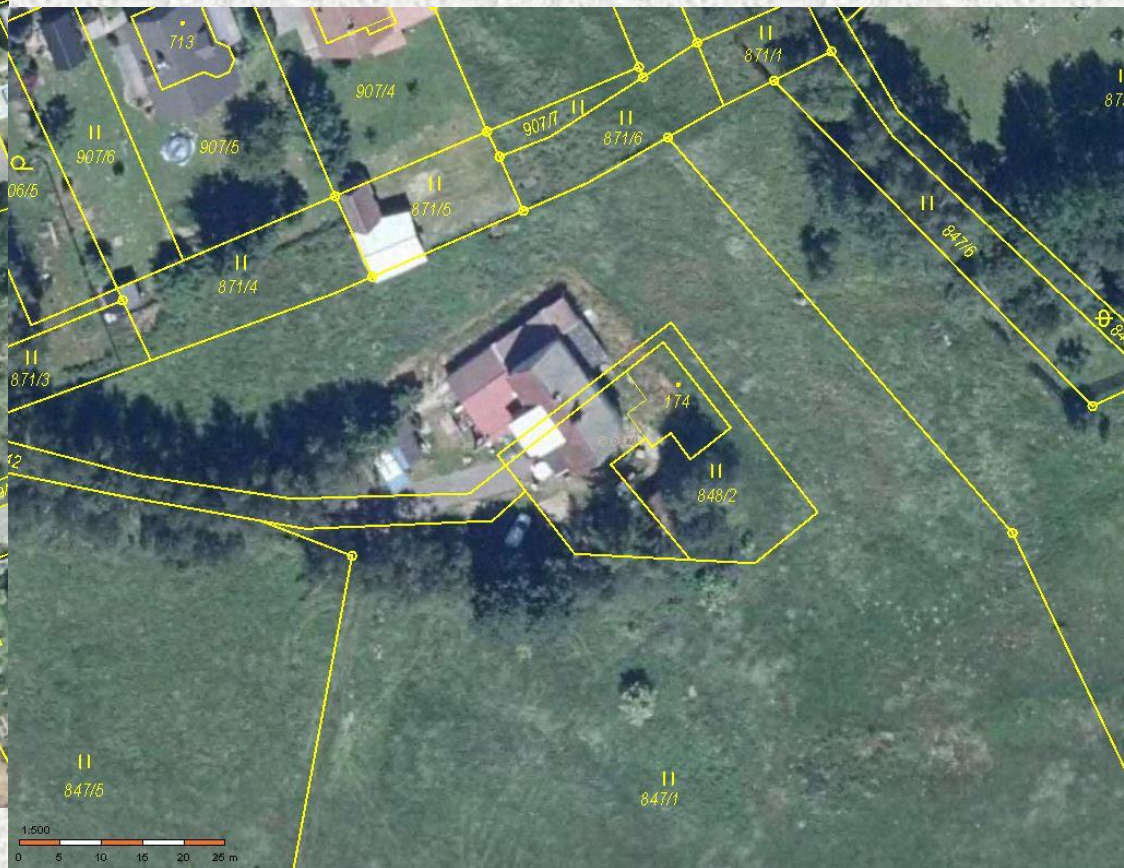


# Využití ortofota

Chybějící nové budovy



Hrubé chyby v katastrální mapě



# Veřejný registr půdy (LPIS)

CS Čeština (Česká republika) Nápověda

Videonávod 3 – Zemědělské parcely na Portálu... Informace Přehrát později Sdílet

https://eagritest.cz/ssl/app/lpisext/ Portál farmáře (eAGRI) LPIS

Mapa Tisky Exporty Datawell Vyhledávání Spis Moje historie KN Příručky Test MZe 0.5.23.1 Aktivní uživatel: Ústřední kontrolní a zkušební ústav

Farmář

U: 46552 3801/10

DPB: 3801/10 (750-1050) 06.04.2018

Základní Podrobně Zem. parcely Katastr Historie Dotace Včely v okolí

Nová parcela Editace parcel Historie  Parcely uživatele

Název	Nová er.	Vým.	Plat. od	Plat. do	Posl. plodina
Moje parcela	NEO	3,31	02.08.15		Hořčice bílá
severní	NEO	2,11	06.08.14	01.08.15	Bez plodiny
jívní	NEO	1,20	06.08.14	01.08.15	Pšenice setá jarní
Moje parcela	NEO	3,31	01.01.14	05.08.14	Řepka jarní

Parcela: Moje parcela - 3.31ha (02.08.15)

Změna údajů Nová plodina Nová aplikace Nová pastva Ukončit parcelu  
Smazat parcelu Nová eroze NS

Plodiny Činnosti Hnojiva Pastva POR Výměny Areály Odpoč. ploch VČ

Název	Od	Do	Výnos	GPS	MPL	Poznám
Hořčice bílá	02.08.15		0,00	Ne	Ano	

Scale = 1 : 2000 100 m



## Jak pořídit efektivně 3D model objektu či krajiny?

- Laserové skenování
- Fotogrammetrie
- Geodézie klasická

## Proč?

- Plány, rekonstrukce, mapování, úpravy terénu atd.
- BIM, správa objektu

## Budovy či pozemní i podzemní objekty BIM, vizualizace, plány

- nově navržené budovy nebo stavby jsou dnes implementovány do BIM přímo z projektu stavby (z CAD atd.)
- staré nebo historické budovy lze přenést do BIM, ale obvykle chybí 3D data



Je nutné získat 3D data jako  
základní soubor dat

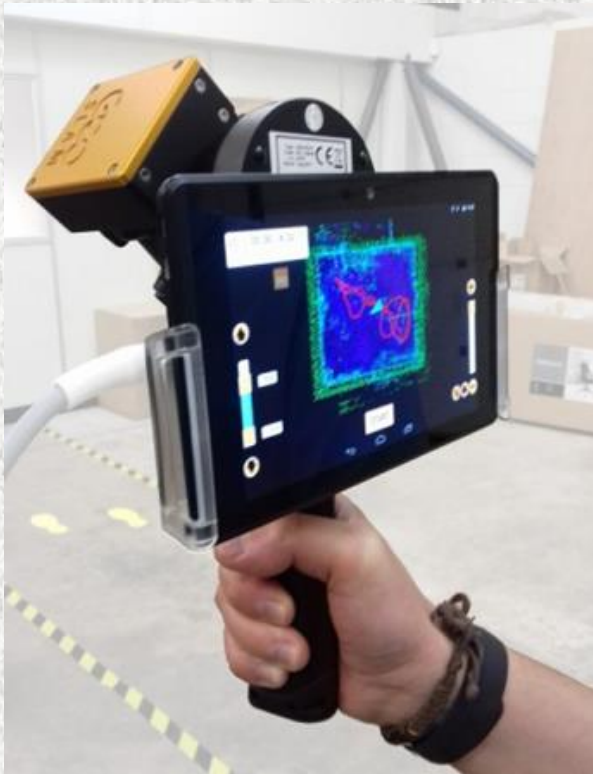
Jak to lze udělat?

a) klasické geodetické měření



## Jak to lze udělat?

b) Použití laserového skenování (pozemní nebo mobilní laserové skenování)



## Jak to lze udělat?

c) Fotogrammetrie pozemní  
(IBMR - image based  
modeling and rendering)

Digitální fotoaparát + software  
založený na digitální obrazové  
korelaci (Agisoft Photoscan -  
Metashape, Zephyr 3D, pix4D,  
123catch atd.)



**Jak to lze udělat?**

d) Fotogrammetrie  
letecká či „dronová“  
(IBMR - image based  
modeling and rendering)  
nebo  
stereofotogrammetrie

**L-410FG**



RGB



CIR



# Drony multikoptéry

DJI Mavic pro



DJI Phantom 4  
RTK





DJI Inspire 2



Dron DJI  
Matrice 210  
RTK V2

# Drony křídla



eBee



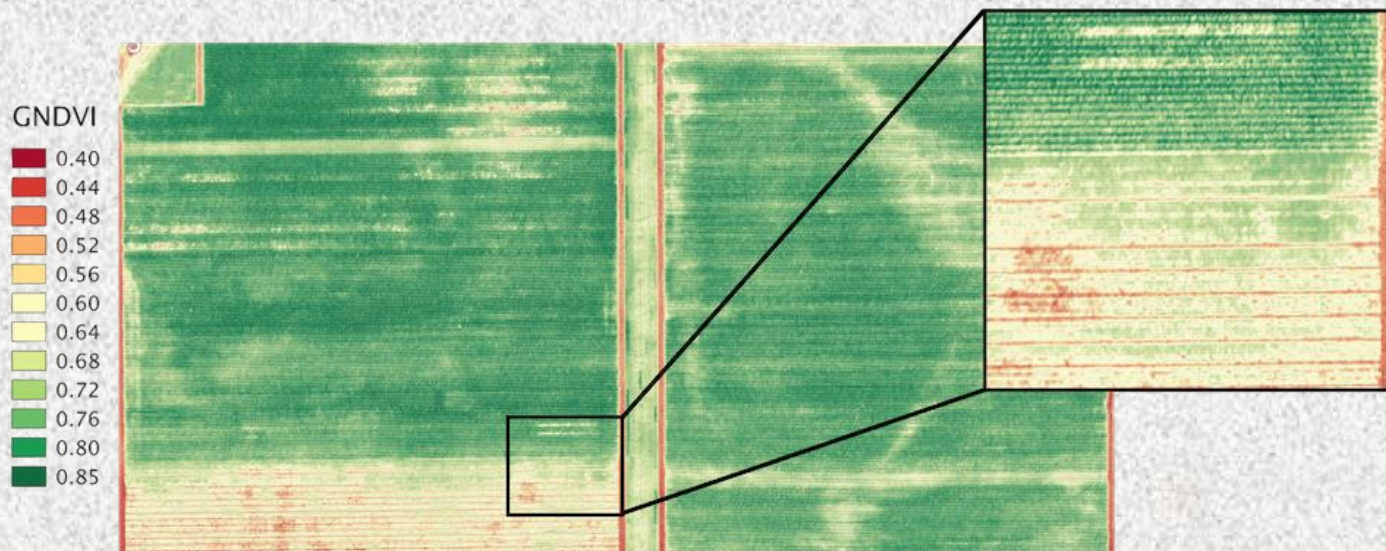
eBee Plus



# MSS camera (SenseFly)

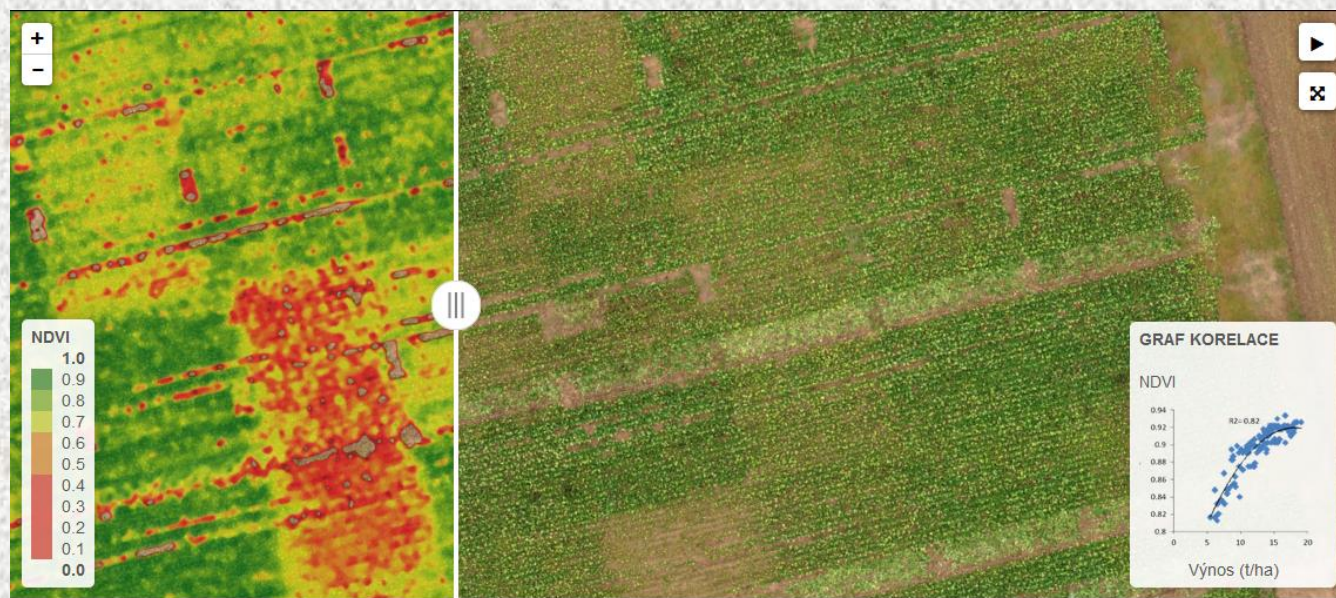


# Drony inteligentní zemědělství



Multispektrální analýzy

pomocí nízko letících prostředků, rozlišení cm, vysoká mobilita



# Ctiněves termální snímkování, hrobové jámy a mohyly



# Ctiněves NIR



# Sesuvy - monitoring D8



## Jaký je typický výsledek 3D měření?

- Selektivní body
- Neselektivní mračna bodů



Co je lepší?

... Záleží na projektu, ale:

1) **Sada selektivních bodů** - pro jednoduché objekty, malé množství předchozích strukturovaných dat, dobrá aproximace tvaru objektu s potřebnými detaily, dobrá jako vstup pro CAD

3D model lze vytvořit v CAD

2) **Neselektivní mračna bodů** -  
automatický proces, pro prostorové  
dělené objekty, velké množství dat, je  
nutné vybrat informace z mračna bodů;



... Po výpočtu sítě a texturování sítě je  
možné z cloudu bodů automaticky  
vytvořit virtuální model s původní  
texturou

## Případová studie:

-zpracování: mračno bodů lze snadno převést na grafy a primitiva (jednoduchý objekt), byl vytvořen 3D model (v aplikaci Revit sw)

## Vizualizace ve VR

Virtuální realita se stala moderním nástrojem pro vizualizaci a analýzu objektů.

Je nutné přenést 3D model do prostředí VR. **Jak?**

-byl použit Herní engine Unreal Engine 4 k pro vytvoření virtuálního prostředí

# VR hardware



HTC Vive Pro s ovladači a majáky



Oculus - Rift S

+ drahá grafická karta (počínaje GeForce GTX 1080) a dobrý počítač

# Případová studie - výsledky



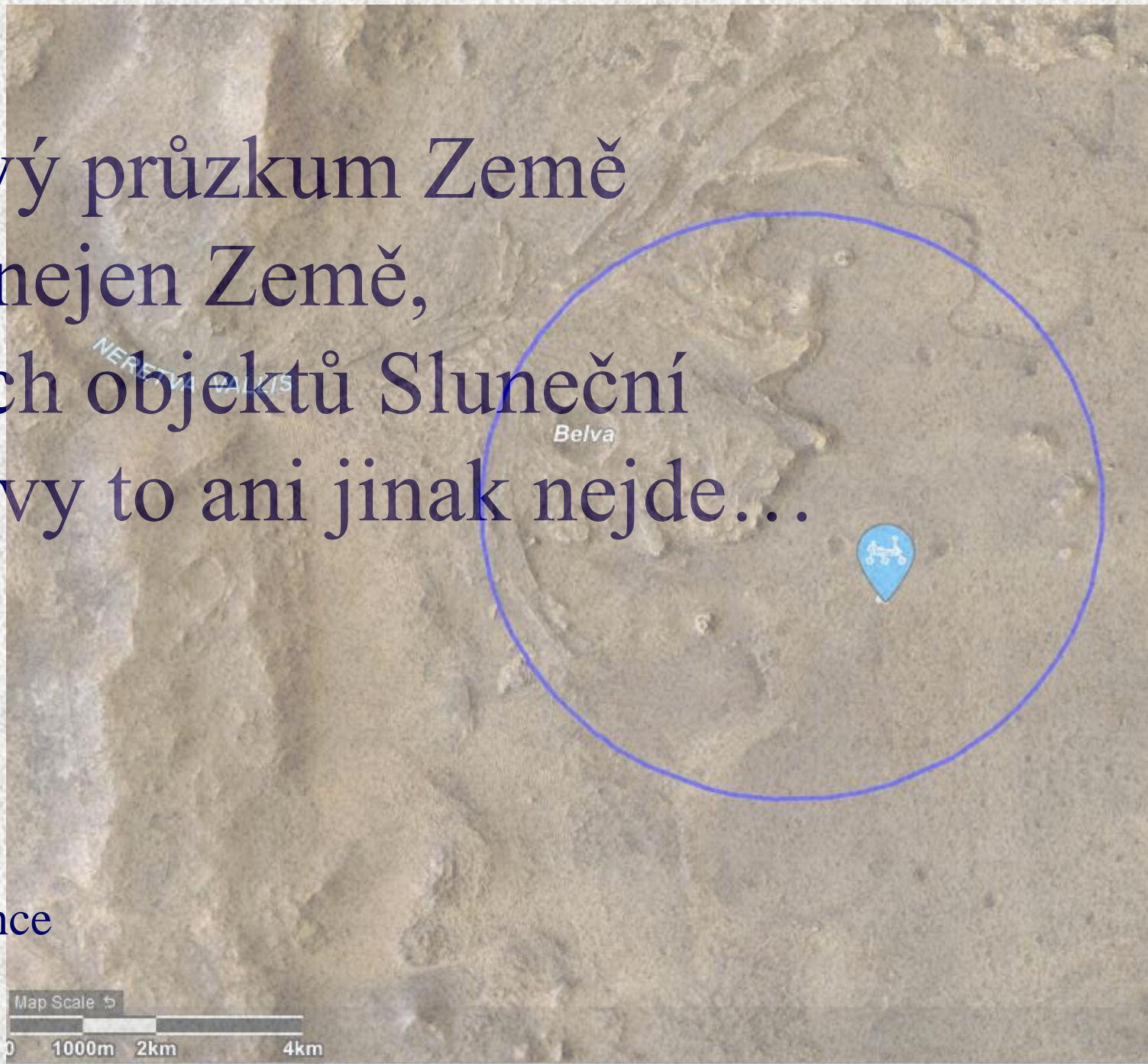
# Případová studie - výsledky



# DPZ

dálkový průzkum Země  
...ale nejen Země,  
u jiných objektů Sluneční  
soustavy to ani jinak nejde...

Perseverance



# Definování DPZ

- **DPZ** je metoda, která umožňuje získávat a zpracovávat data naměřená bezkontaktním způsobem. Nositelem informace je elektromagnetické záření .
- **Princip**:každý objekt nebo stav charakteristicky ovlivňuje okolní silová pole (v tomto případě el.-mag.záření)



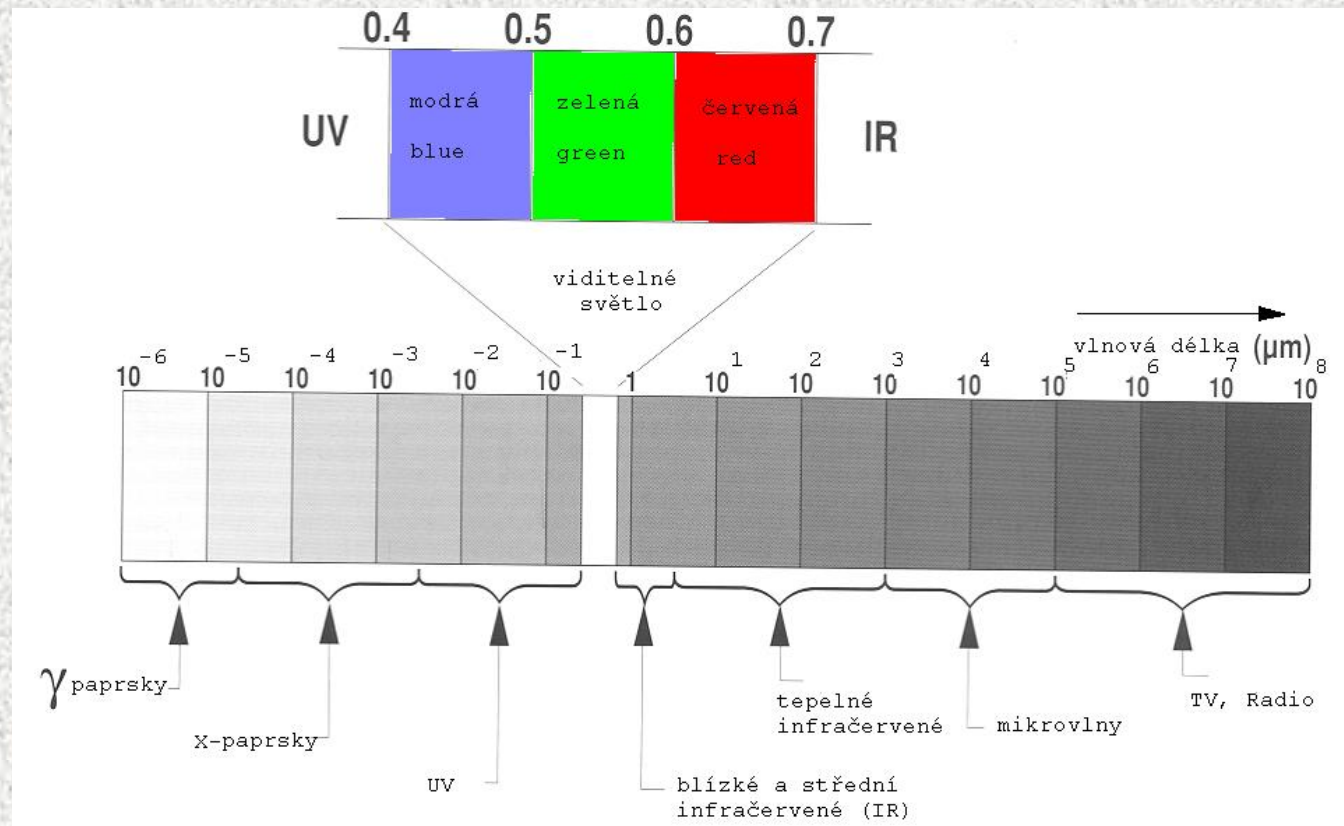
# Vysvětlení definice

- Měření veličin elektromagnetického záření = sběr dat
- Zpracování dat - interpretace a analýza měření pro získání nových informací
- Většinou se jedná o obrazová data
- Data obsahují 2 druhy informací:
  - *prostorové informace* (obdoba **fotogrammetrie**)
  - *tématické informace* (**DPZ**)

# Elektromagnetické záření

## Elektromagnetické spektrum

- Rozdělení fotonů s různou energií pro různé frekvence ukazuje elmgn. spektrum



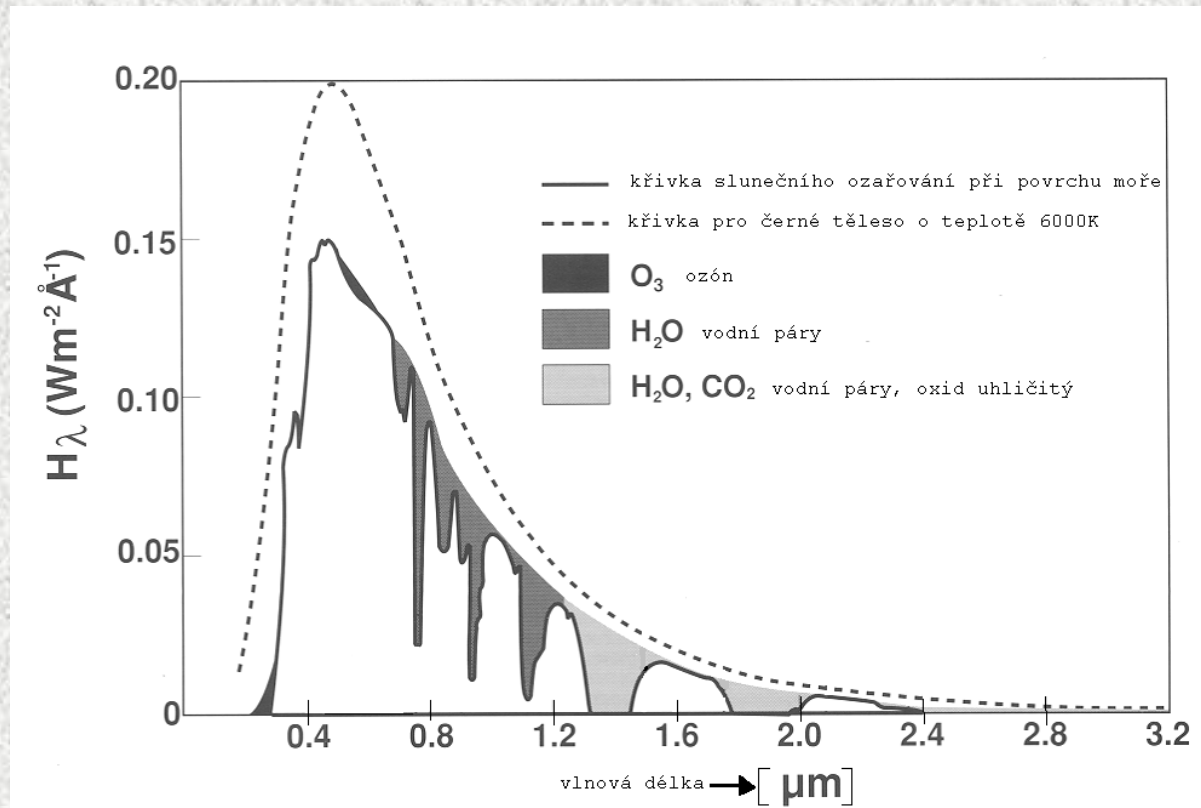
# Elektromagnetické záření

spojité spektrum



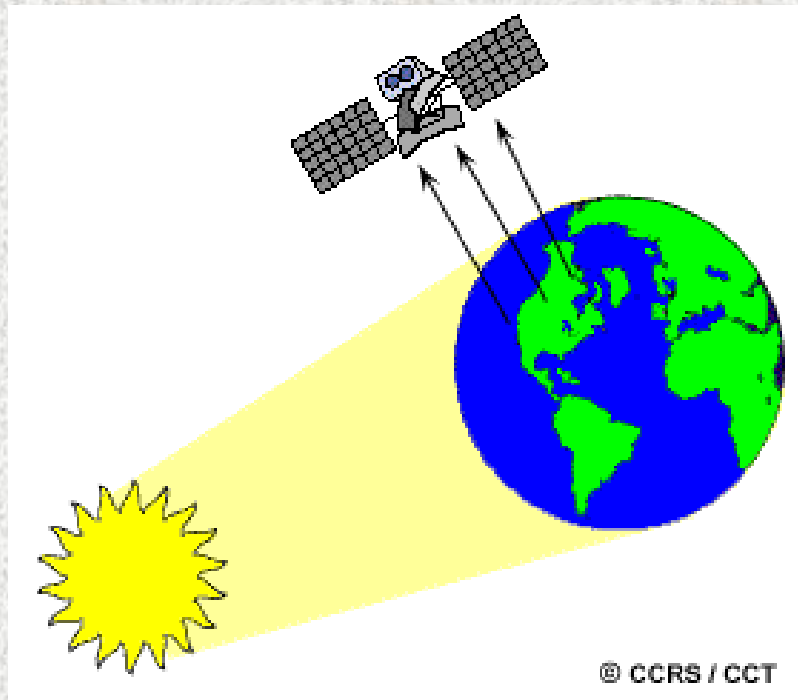
# Planckova rovnice – a skutečný průběh

- absorpce slunečního záření zemskou atmosférou



# Zdroje záření a druhy DPZ

- **Pasivní DPZ** - přírodní zdroj elektromagnetického záření - Slunce, Země



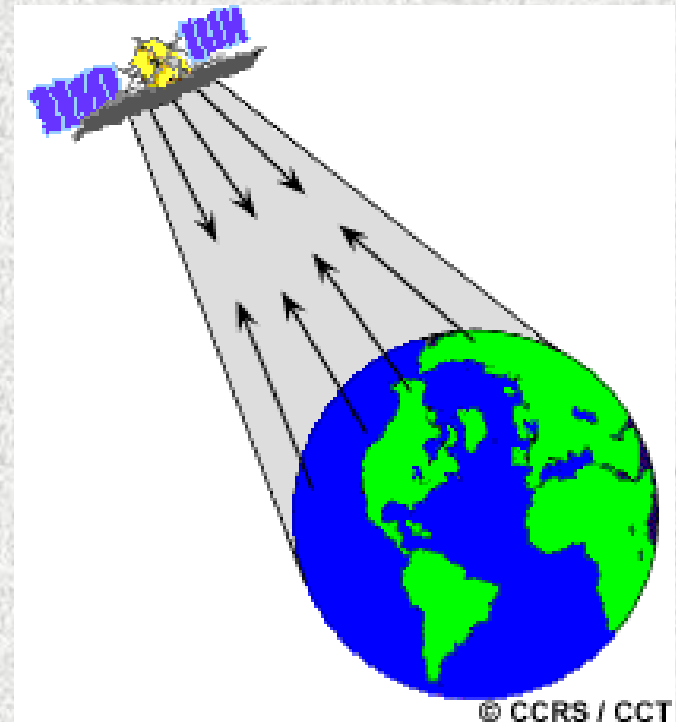
# Zdroje záření a druhy DPZ

- **Aktivní DPZ** - umělý zdroj elektromagnetického záření

- **Radar, laser** – aktivní zdroje v DPZ – koherentní záření

$\lambda$  v rozsahu cm vln (1cm – 1m ) = radar

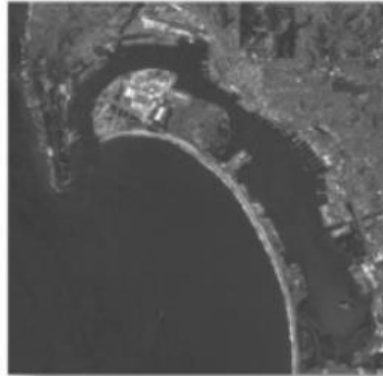
$\lambda$  v rozsahu V a IR záření – lidar (laser)



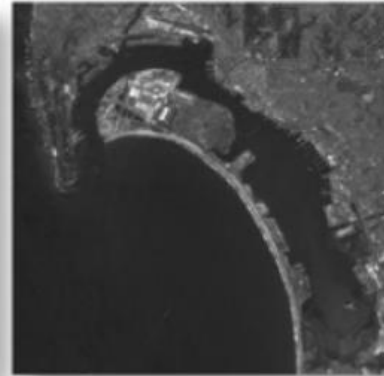
## Spektrální / multispektrální snímání a rozlišení

Měření prováděné na určitém intervalu vlnových délek se označuje jako měření spektrální a v případě, že je k dispozici více spektrálních intervalů hovoříme o měření multispektrálním (v extrémním případě i hyperspektrálním). Počet spektrálních pásem a jejich šířka je praktickým odrazem spektrální rozlišovací schopnosti použitého přístroje.

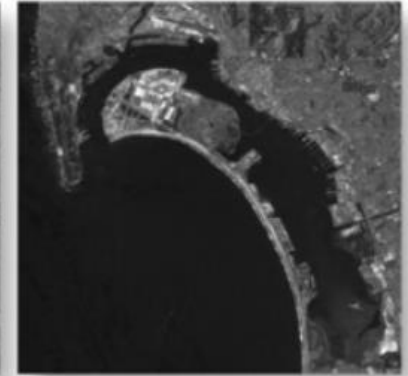
Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus Imagery of San Diego, CA



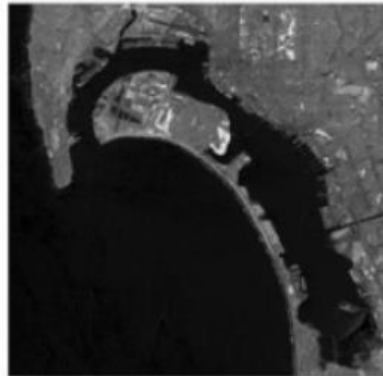
a. Band 1 (0.450 - 0.515  $\mu\text{m}$ ).



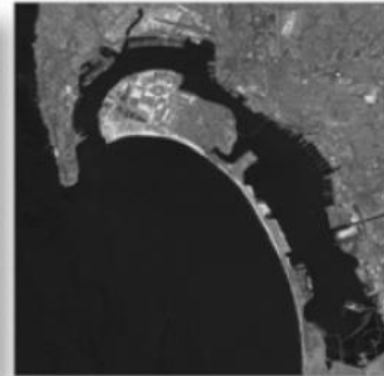
b. Band 2 (0.525 - 0.605  $\mu\text{m}$ ).



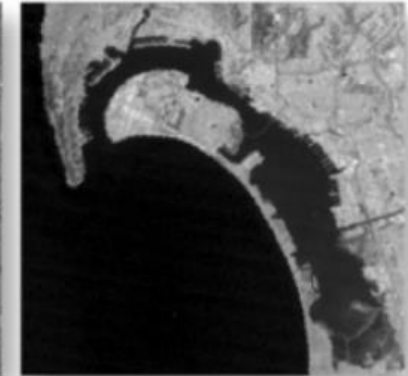
c. Band 3 (0.630 - 0.690  $\mu\text{m}$ ).



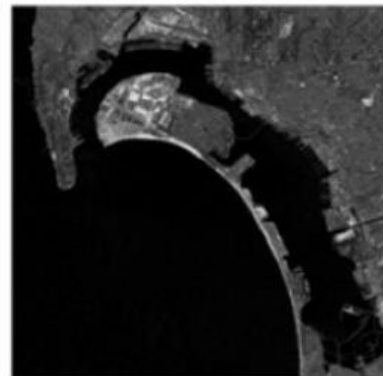
d. Band 4 (0.750 - 0.900  $\mu\text{m}$ ).



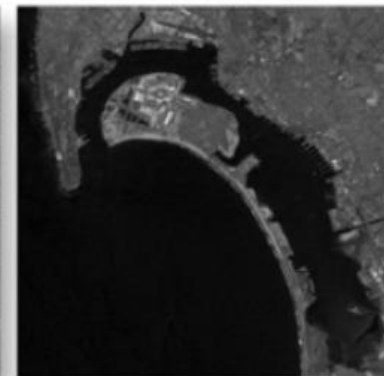
e. Band 5 (1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$ ).



f. Band 6 (10.4 - 12.5  $\mu\text{m}$ ) thermal.



g. Band 7 (2.08 - 2.35  $\mu\text{m}$ ).



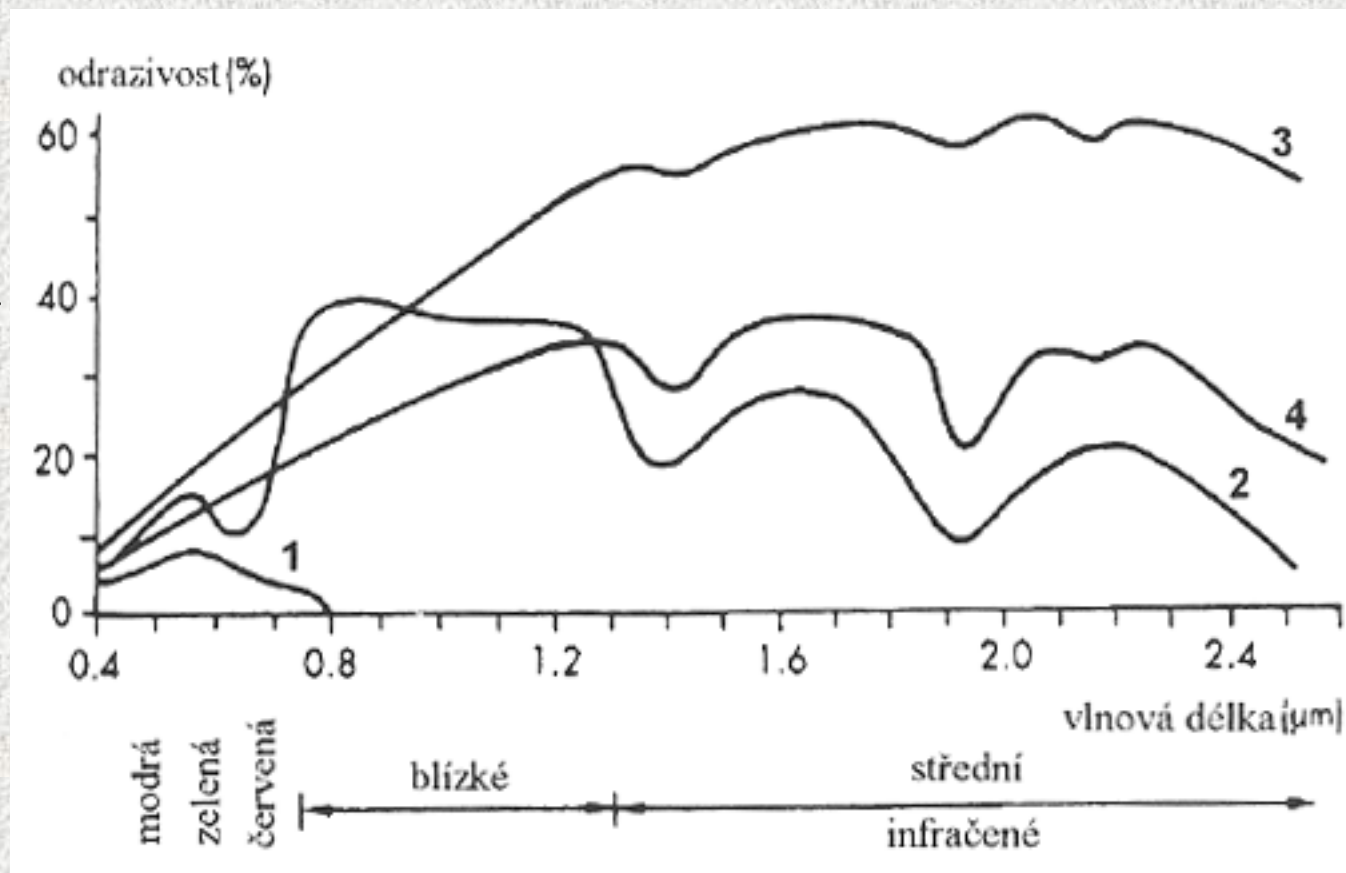
h. Band 8 (0.52 - 0.90  $\mu\text{m}$ ) panchromatic.



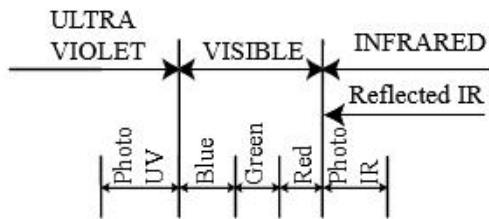
h. Band 8 enlarged.

# Zářivé vlastnosti krajinných objektů

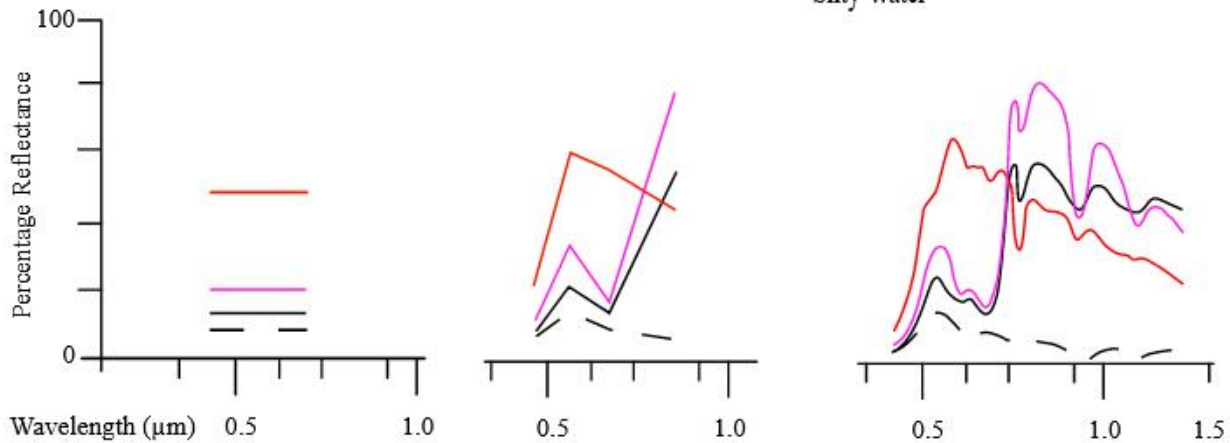
- 4 základní spektrální charakteristiky
- 1-voda
- 2-vegetace
- 3-suchá půda
- 4-vlhká půda







- Pinewood
- Grassland
- Red Sand Pit
- Silty Water



Panchromatic Band

Landsat TM Bands

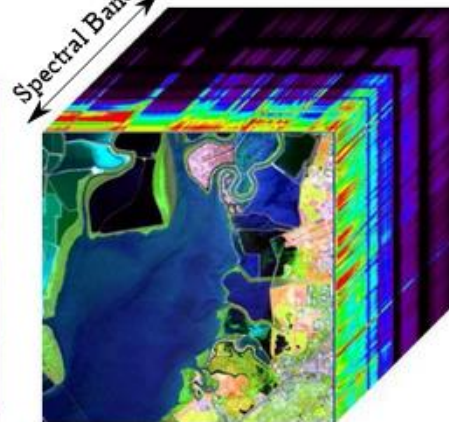
c. 100 bands  
AVIRIS bands



Single band



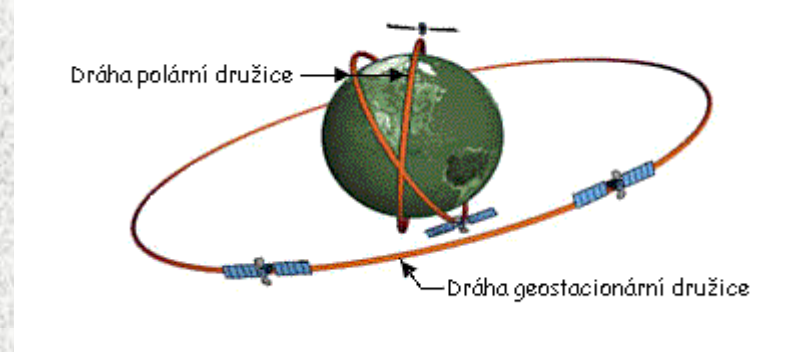
Multispectral



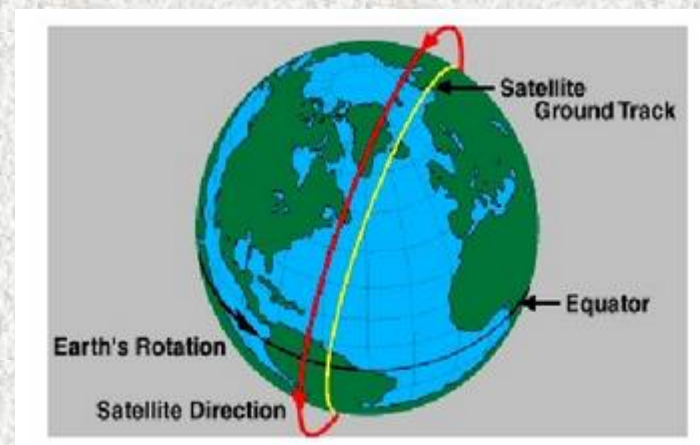
Hyperspectral



# Družicové systémy



- Meteorologické družice – nejstarší již počátkem 60. let
  - na geostacionárních drahách – 36 000 km
  - na polárních drahách – výšky cca 500-900 km
- Družice pro DPZ –
  - speciální pro DPZ
  - pilotované kosmické lety
  - meteorologické družice



# Pasivní přístroje – polární družice - Landsat

- Původní název ERTS (Earth Resource Technology Satellite)
- Nejznámější a nejdéle sloužící systém pro DPZ
- 7 spektrálních pásem, pův. 80x80m a 4 pásma, dále 30x30m a 7 pásem, nyní 8 pásem a 1 panchro 15m

## Landsat Missions: Imaging the Earth Since 1972



# Landsat (7), 8

Band 1 Visible (0.43 - 0.45  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 2 Visible (0.450 - 0.51  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 3 Visible (0.53 - 0.59  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 4 Red (0.64 - 0.67  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 5 Near-Infrared (0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 6 SWIR 1(1.57 - 1.65  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 7 SWIR 2 (2.11 - 2.29  $\mu\text{m}$ ) 30 m

Band 8 Panchromatic (PAN) (0.50 - 0.68  $\mu\text{m}$ ) 15 m

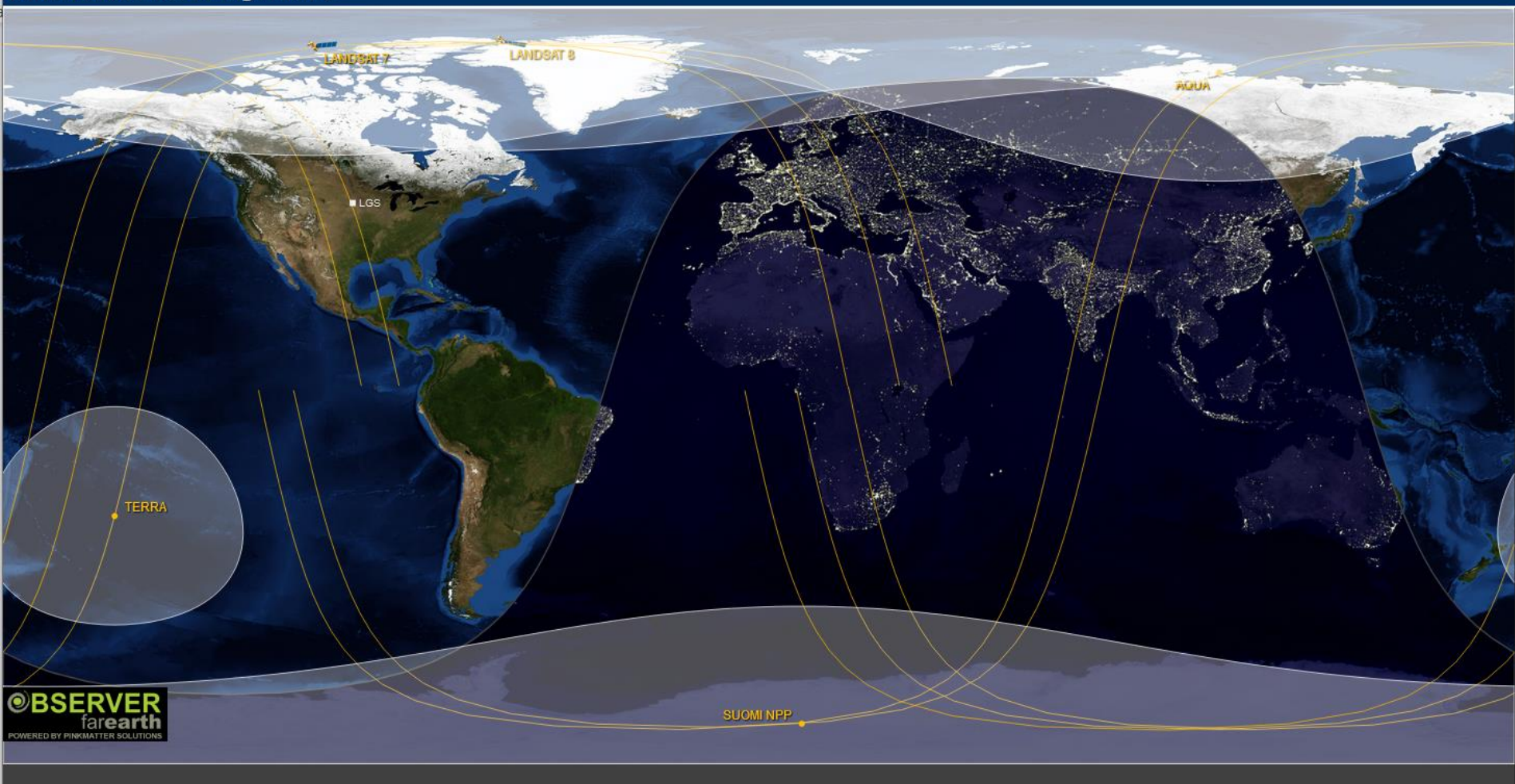
Band 9 Cirrus (1.36 - 1.38  $\mu\text{m}$ ) 30 m



Landsat – data od r. 2012 zdarma, <https://earthexplorer.usgs.gov/>



EarthNow! Landsat Image Viewer

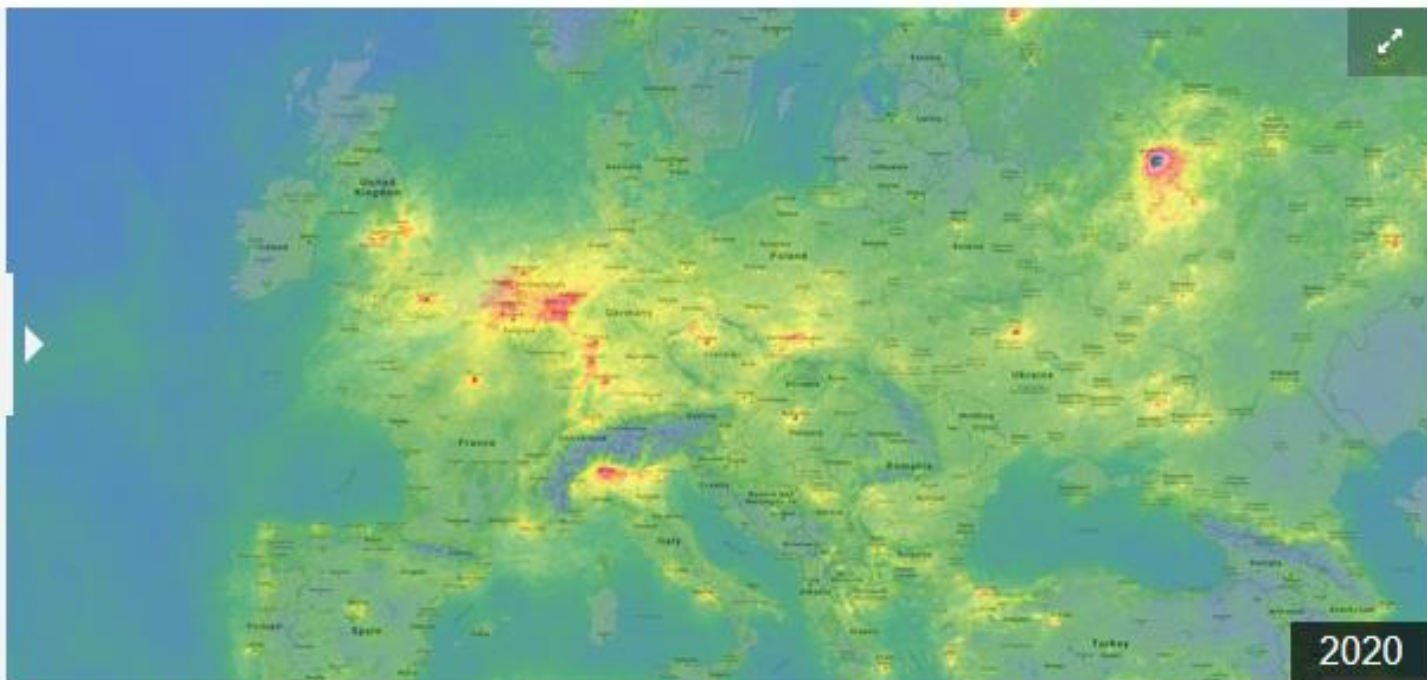
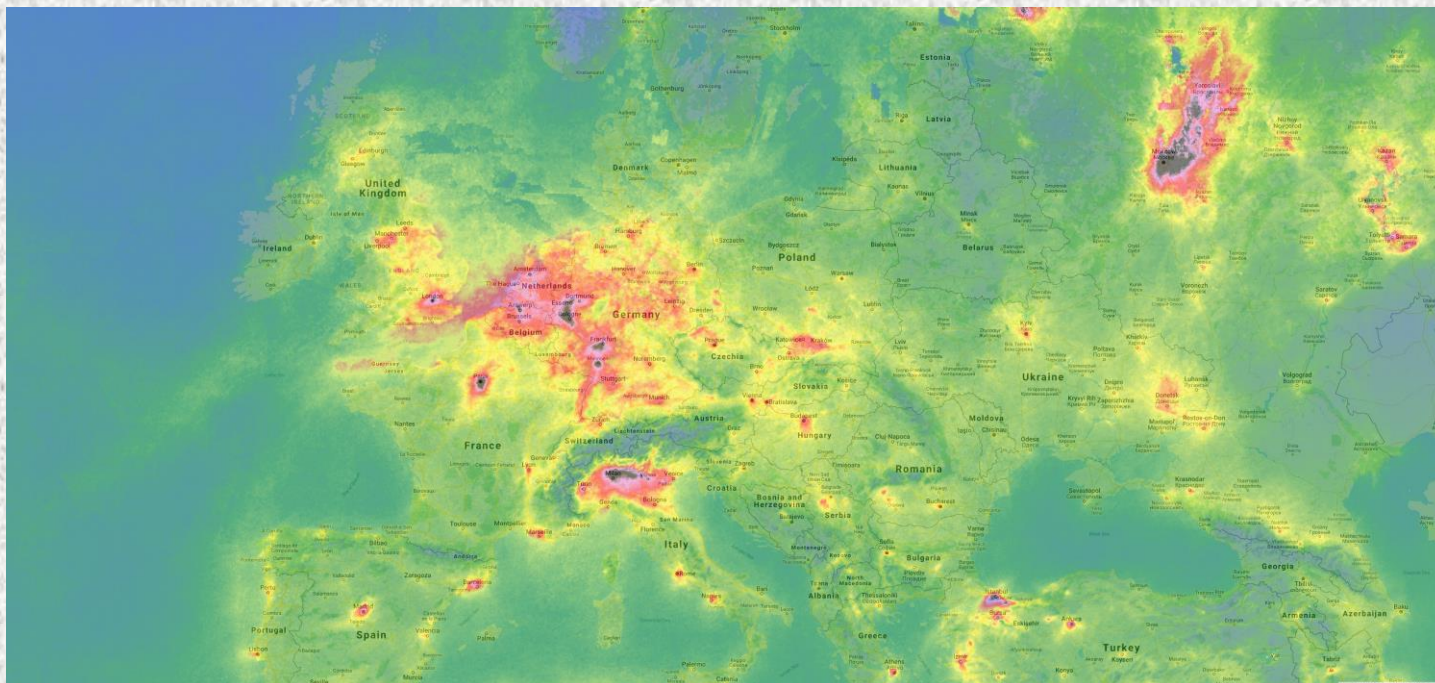


# Sentinel (EU - ESA)

- V závislosti na spektrálním pásmu poskytují **prostorové rozlišení 10, 20 nebo 60 m.** Díky soustavě družic Sentinel 2A+2B je časové rozlišení 5 dní.
- Data Sentinel jsou k dispozici na stránkách <https://scihub.copernicus.eu/>

Porovnání členitosti  
zemědělských ploch  
v Česku a Rakousku  
v roce 2018. Zdroj:  
Program Copernicus  
(ESA), data družice  
Sentinel-2, vlastní  
zpracování, 2019





Srovnání koncentrací NO<sub>2</sub> na území Evropy období 16. 3. až 8. 4. 2019 a 2020. Zdroj: Sentinel 5P (Copernicus)



# Pasivní přístroje — družice s velmi vysokým rozlišením - VHR

- Very High Resolution

1999: IKONOS - 3 VIS a 1 IR pásma RS = 4m, 1 PAN= 1m, 11 bitů

2000: EROS – PAN 1.8 m

2001: QuickBird 3 V a 1 IR – RS =2.4m PAN= 0.6 m

2008 : GeoEye, 0.5m

...v dnešní době desítky „submetrových“ družicových systémů

# Aktivní přístroje - radary

- Aktivní DPZ – radar je zdroj a přijímač zároveň
- Měření v oblasti MW
- Prochází oblačností, mlhou, tmou
- MW je citlivé na drsnost povrchu a vlhkost:
  - vyšší vlhkost, vyšší drsnost a látky s vysokou dielektrickou konstantou mají velkou odrazivost

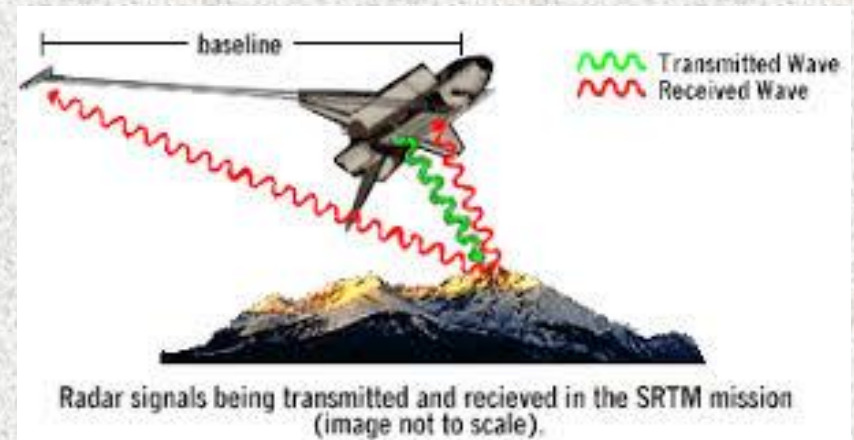
SeaSat v 1978, rozlišení 25m

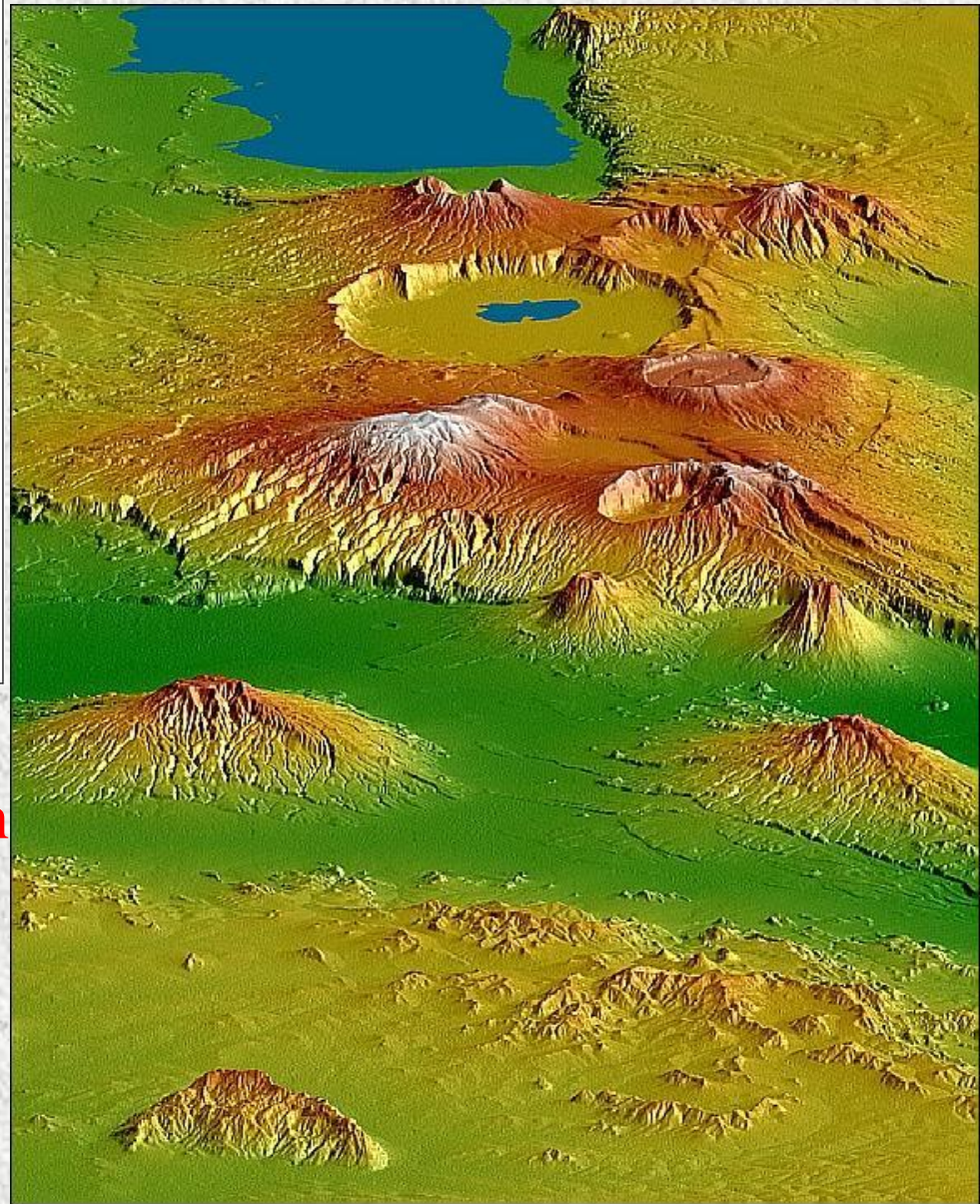
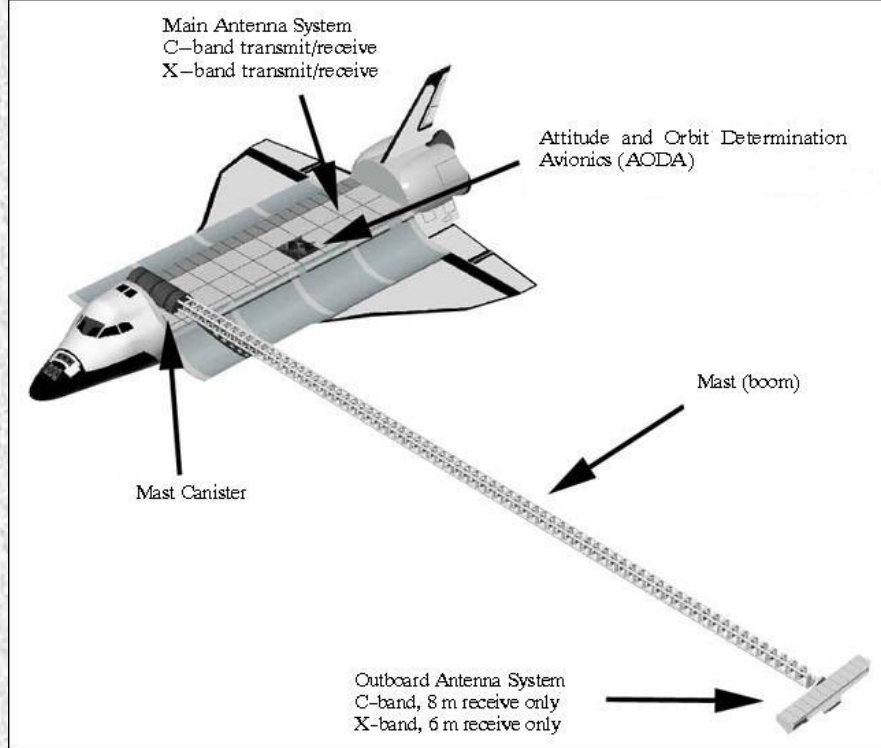
...dnes např. TerraSAR X rozlišení 1m

# SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

- V únoru roku 2000 se uskutečnila mise rakatoplánu Endeavour, na kterém byla umístěna speciální radarová snímací aparatura s jejíž pomocí byly během 11 dní pořízeny interferometrická radarová data prakticky z území celého světa.

[SRTM DEM je dostupný zdarma  
USGS EROS Data Center.](#)



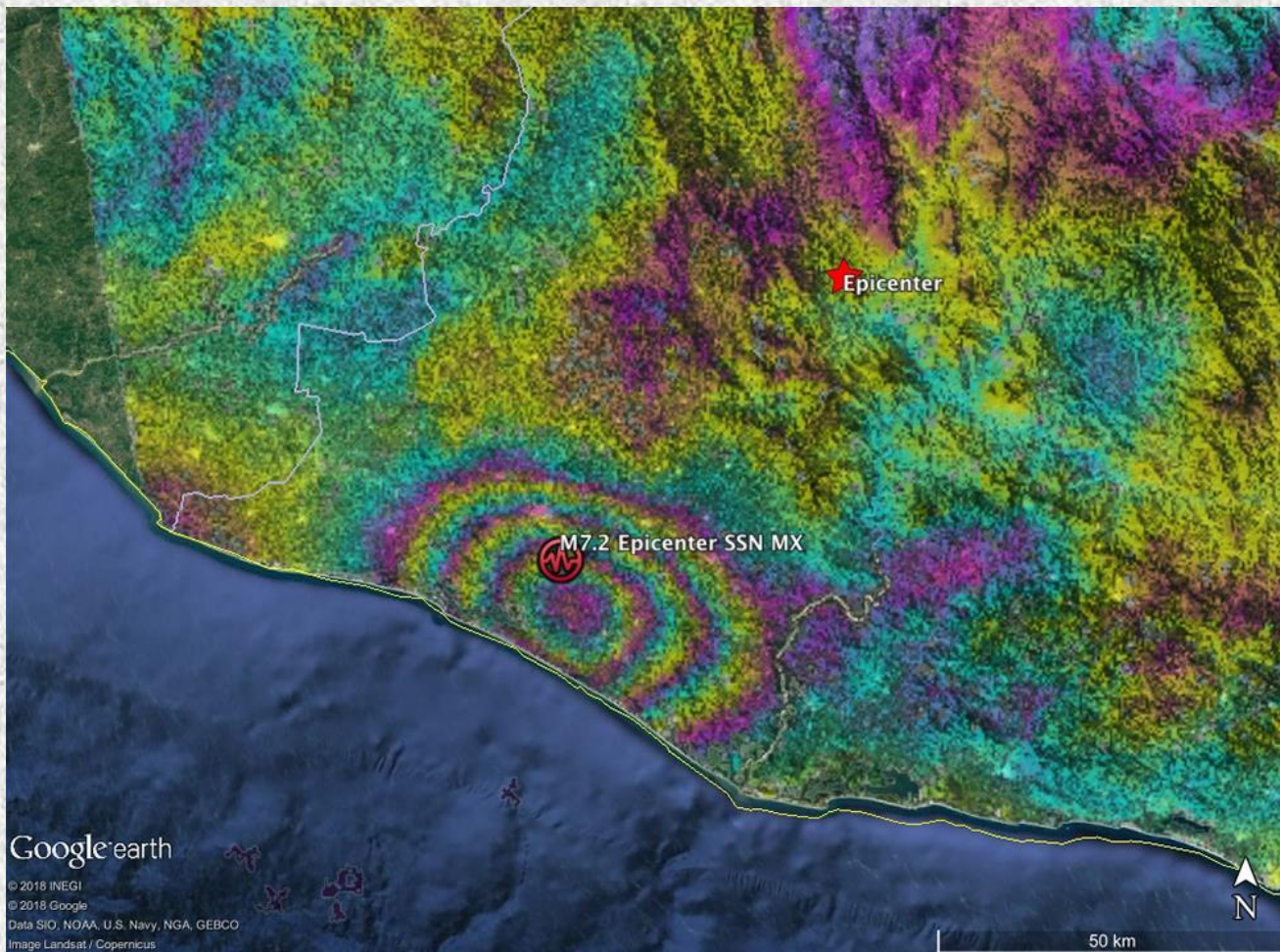


SRTM DEM (Digital Elevation Model) Tanzania (NASA/JPL)

## Shuttle Radar Topography Mission

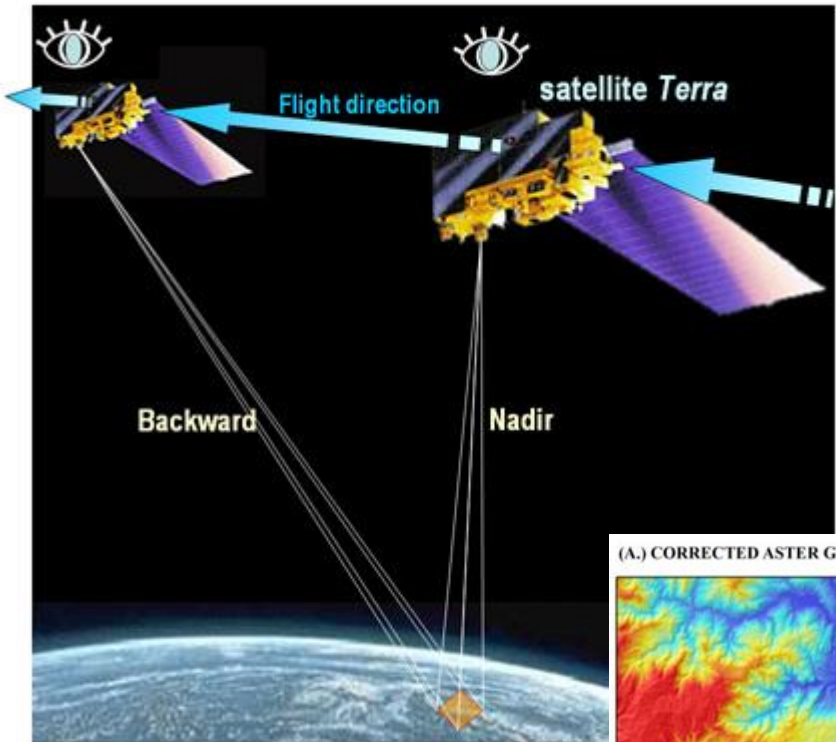
(30 m x 30 m), 16 m absolutní  
 vertikální přesnost and 20 m  
 absolutní horizontální přesnost

## Radarová data – SAR (synthetic aperture radar) a InSAR (interferometrická technologie)



- Sentinel-1
- ERS-1 and 2
- ENVISAT
- ALOS PALSAR
- TerraSAR-X
- COSMO-SkyMed
- RADARSAT-2

zemětřesení,  
fringe po 9cm



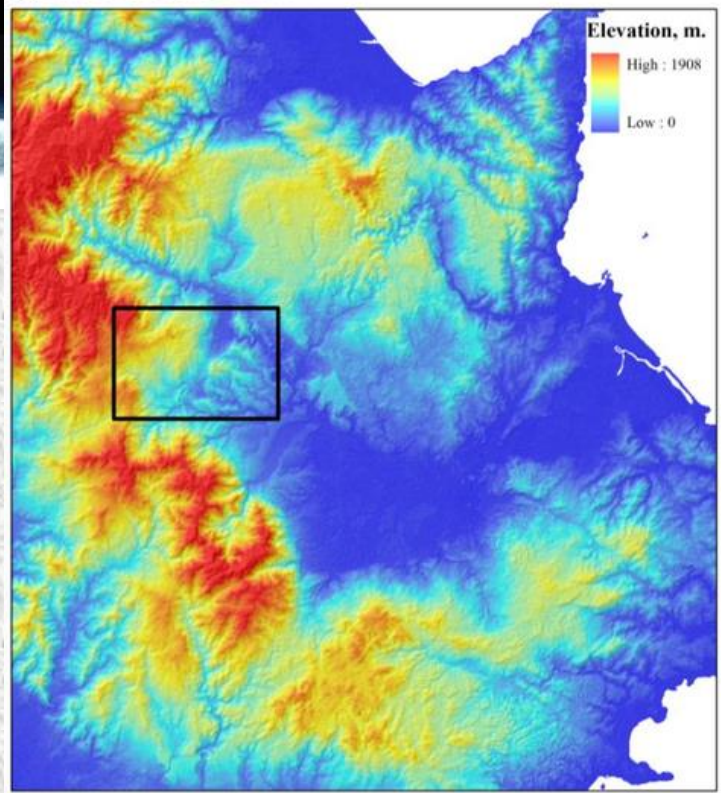
# Aster GDEM

Global Digital Elevation Model  
 Advanced Spaceborne Thermal  
 Emission and Reflection Radiometer

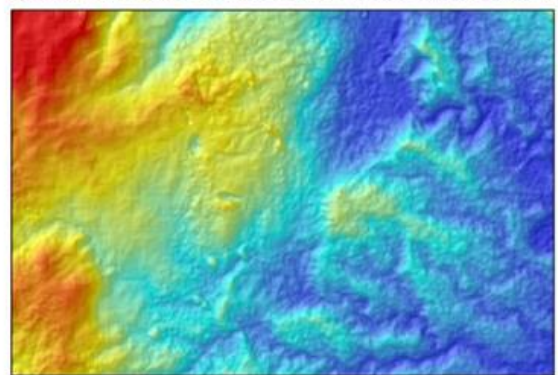
30x30m

<https://lpdaac.usgs.gov/products/astgtmv003/#tools>

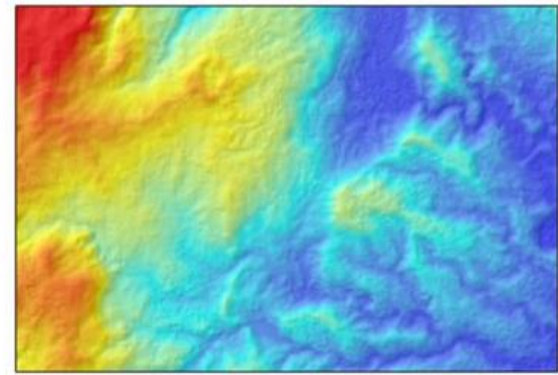
(A.) CORRECTED ASTER GDEM v2



(B.) BEFORE ANOMALY DETECTION AND CORRECTION (SUBSET)



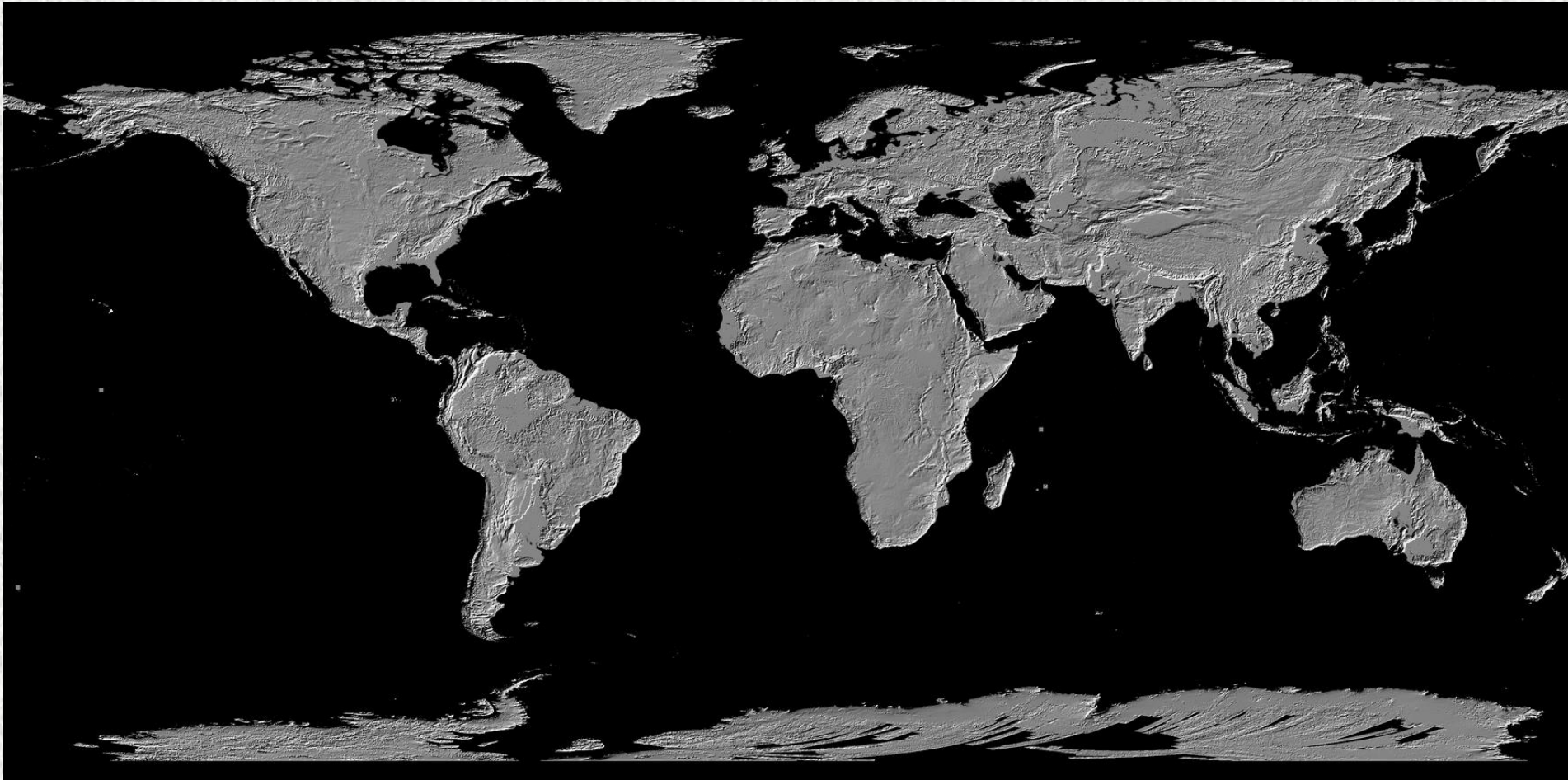
(C.) AFTER ANOMALY DETECTION AND CORRECTION (SUBSET)



0 5 10 20 Km

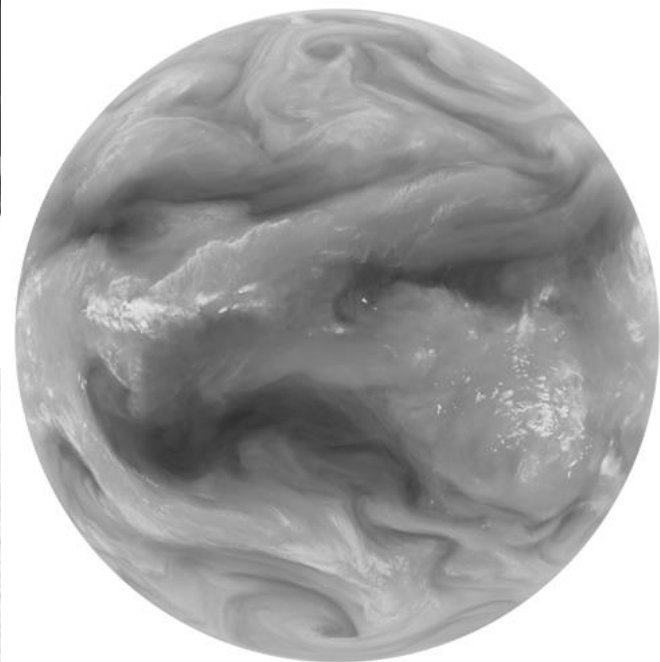
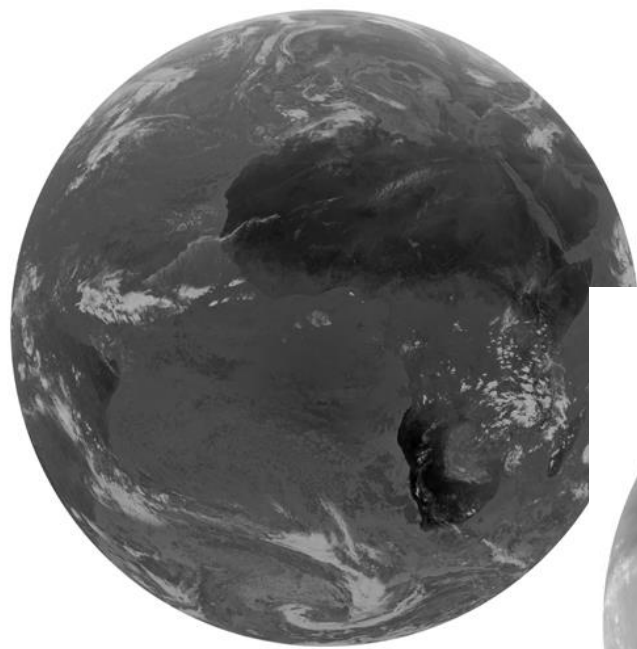
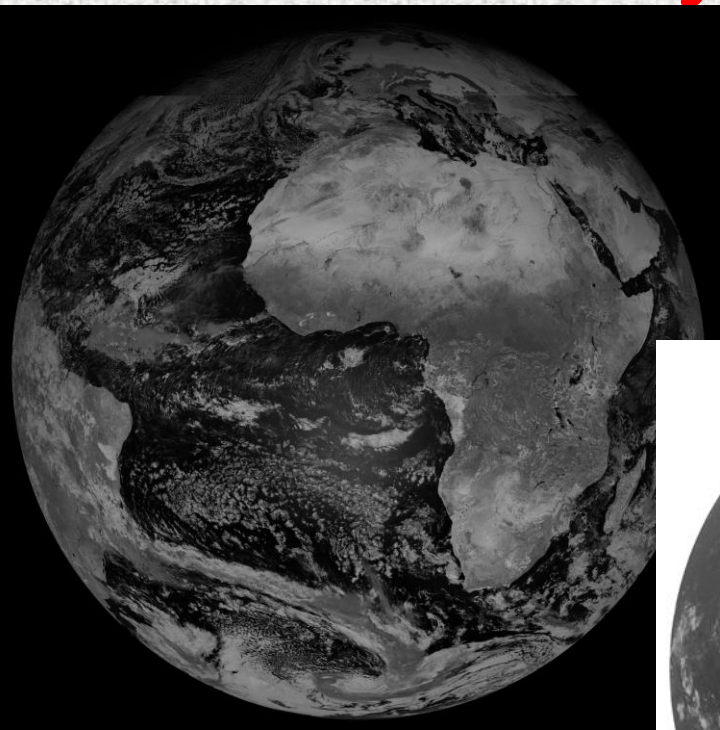
0.5 1 2 3 4 5 Km

# GDEM



# Ukázky družicových dat

Meteosat, kanály  
MSG 1, 4, 5





# Ukázky družicových dat

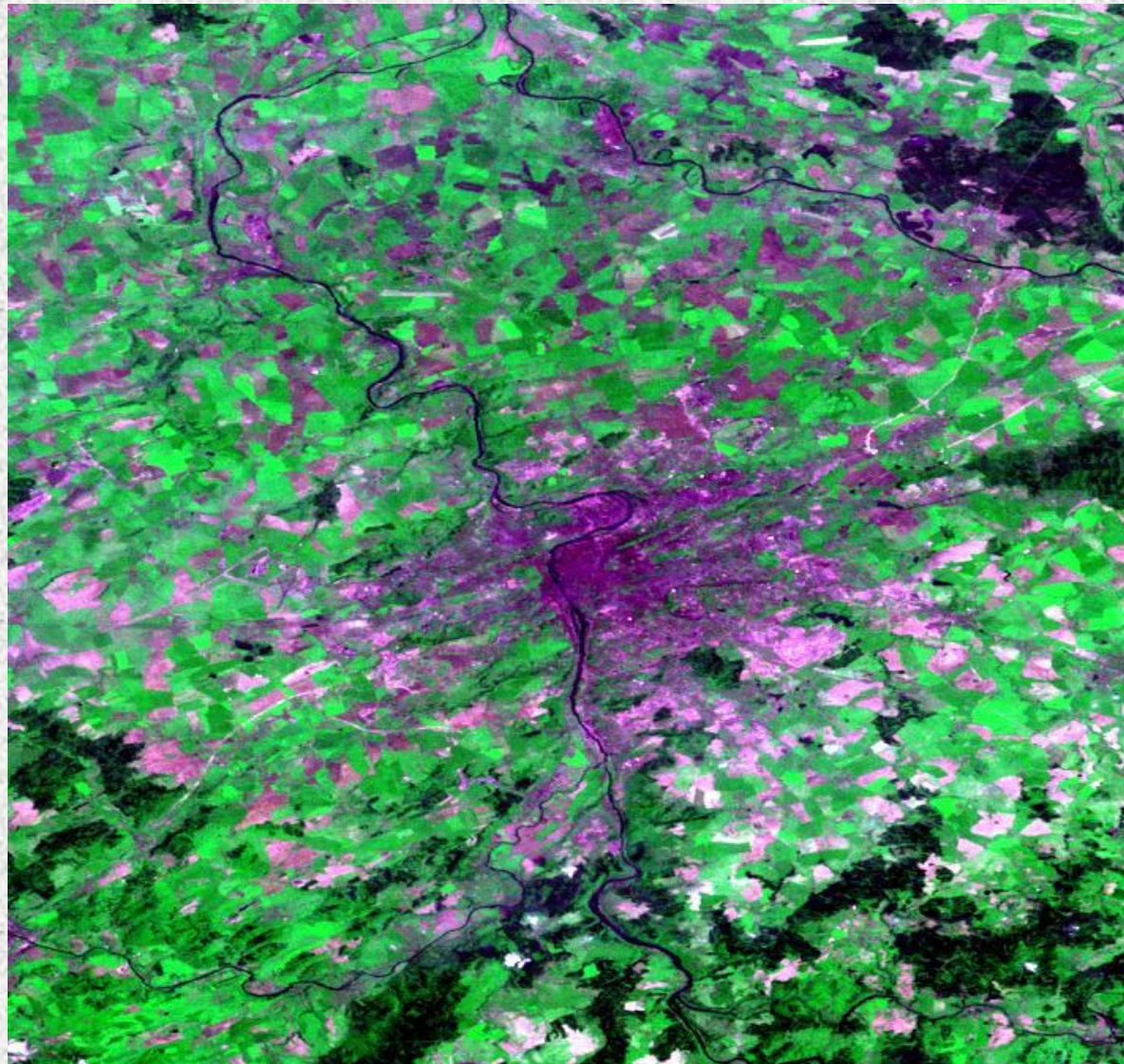
Rapid Eye, rozlišení 5m



*Figure 2: Full resolution orthorectified RapidEye image of Irvine corrected without GCPs overlaid with USGS 1:24000 vectors*

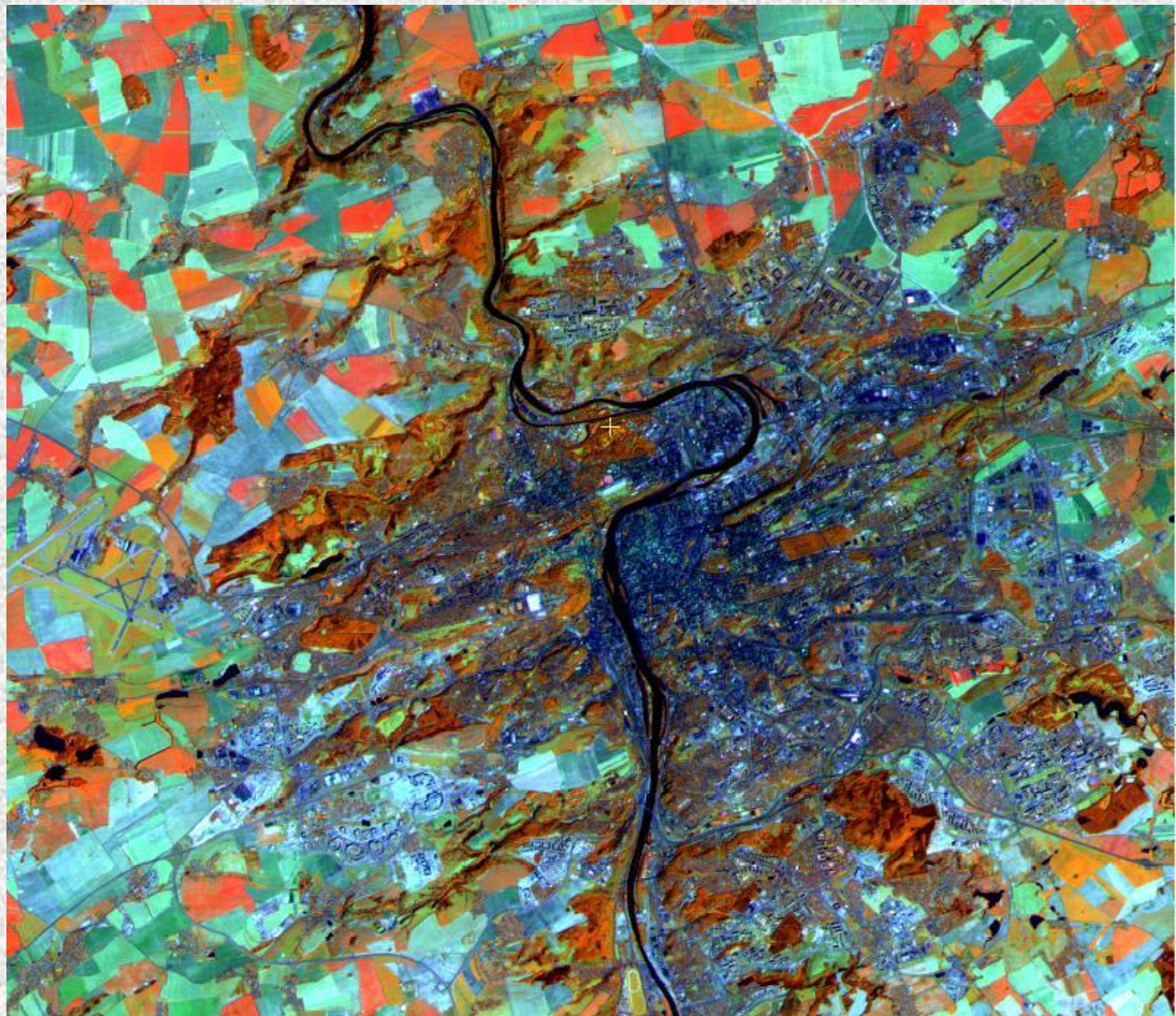
# Ukázky družicových dat

Landsat  
MSS  
1978,  
80m



# Ukázky družicových dat

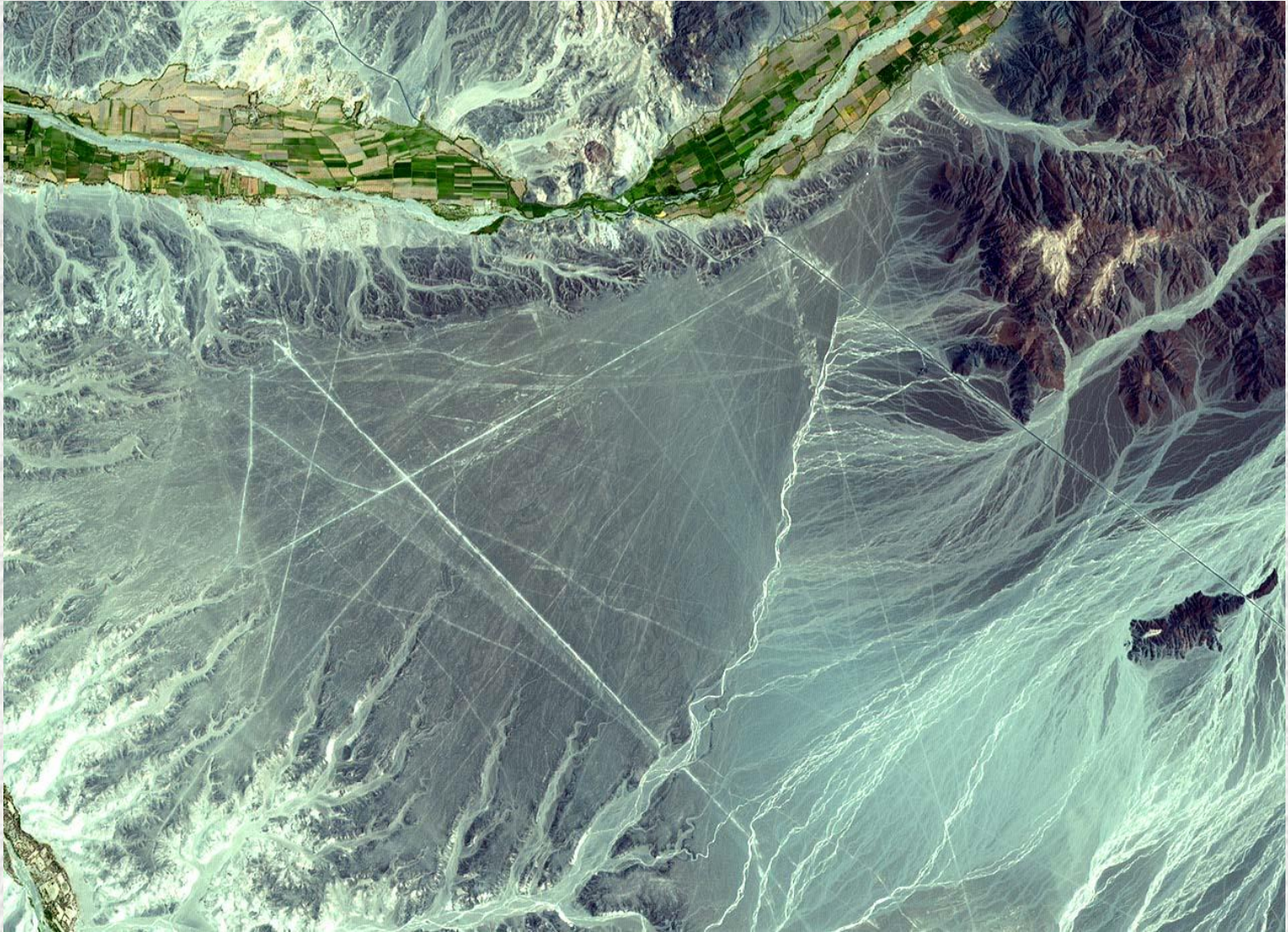
Landsat  
TM  
pásma 4,5,3  
1996, 30m



# Ukázky družicových dat

Peru, Terra/Aster, 2000 (rozlišení 15m),

Nasca / Peru



# Ukázky družicových dat

Nasca / Peru  
QuickBird2,  
(2004,2006)  
rozlišení  
0.65m (2.4m)



Data Landsatu 8 zobrazující kvetení řas v jezeře Erie v září 2017. Spektrální pásma Landsatu umožňují sledovat fotosyntetickou aktivitu, která je pouhým okem neviditelná.



# Ukázky družicových dat

QuickBird,  
panchro

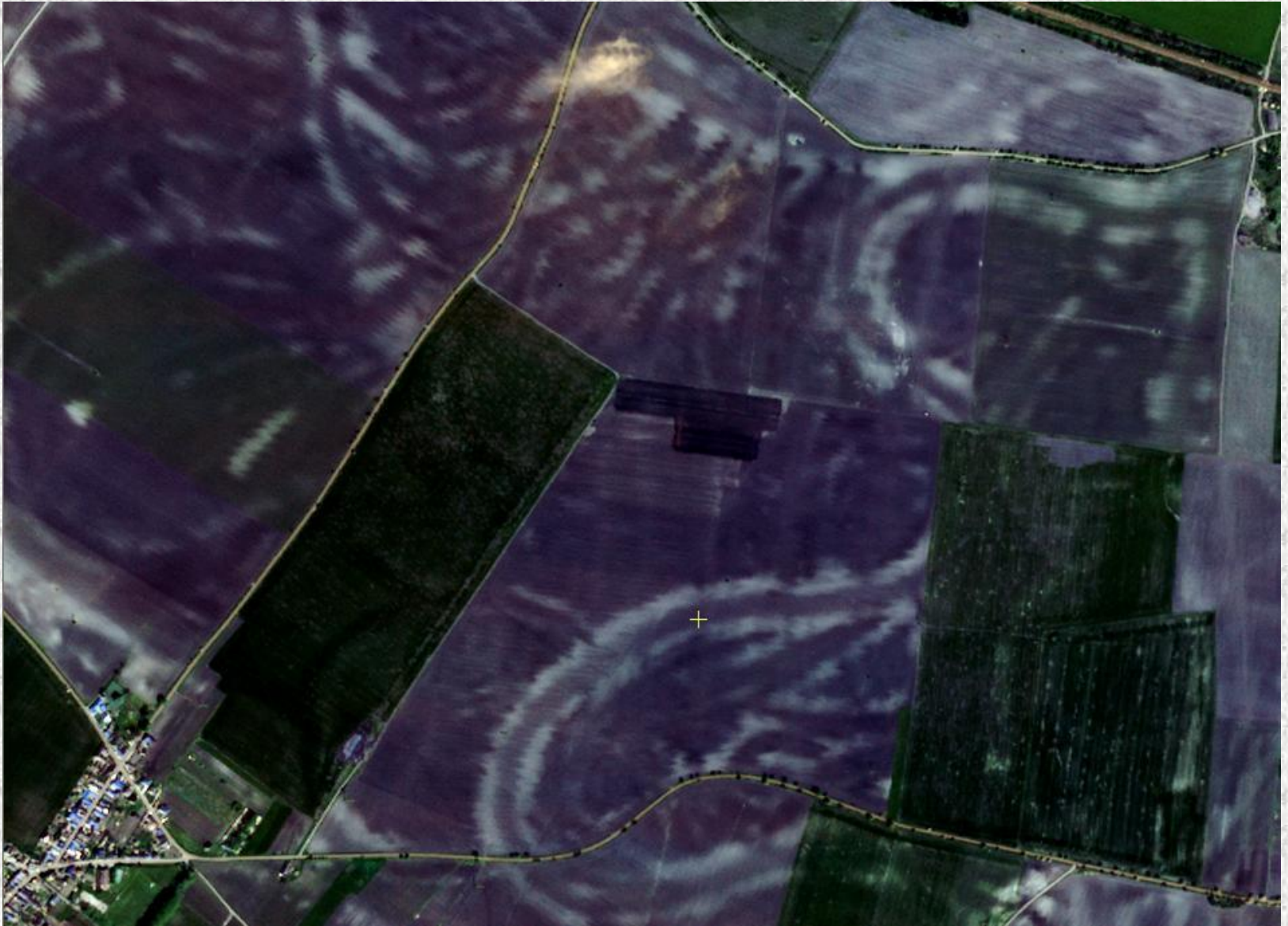
rozlišení 0.65m

(jižně od Mělníka)



# Ukázky družicových dat

QuickBird, multispektrální snímek, rozlišení 2.4m, staré meandry západně od Terezína





# Ukázky družicových dat

SPOT, rozlišení 10m, povodně na Dyji, 2002

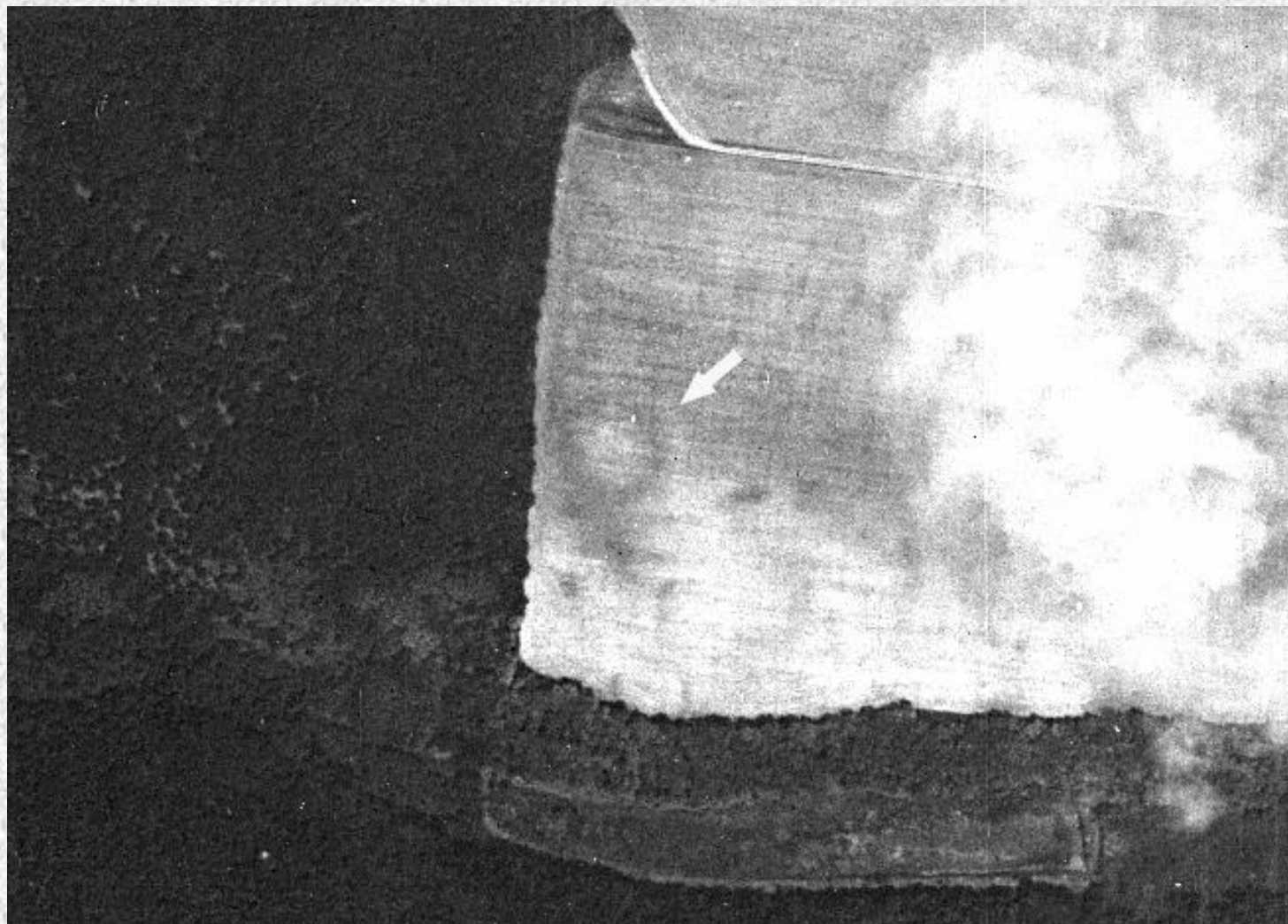


# Družicová a letecká data



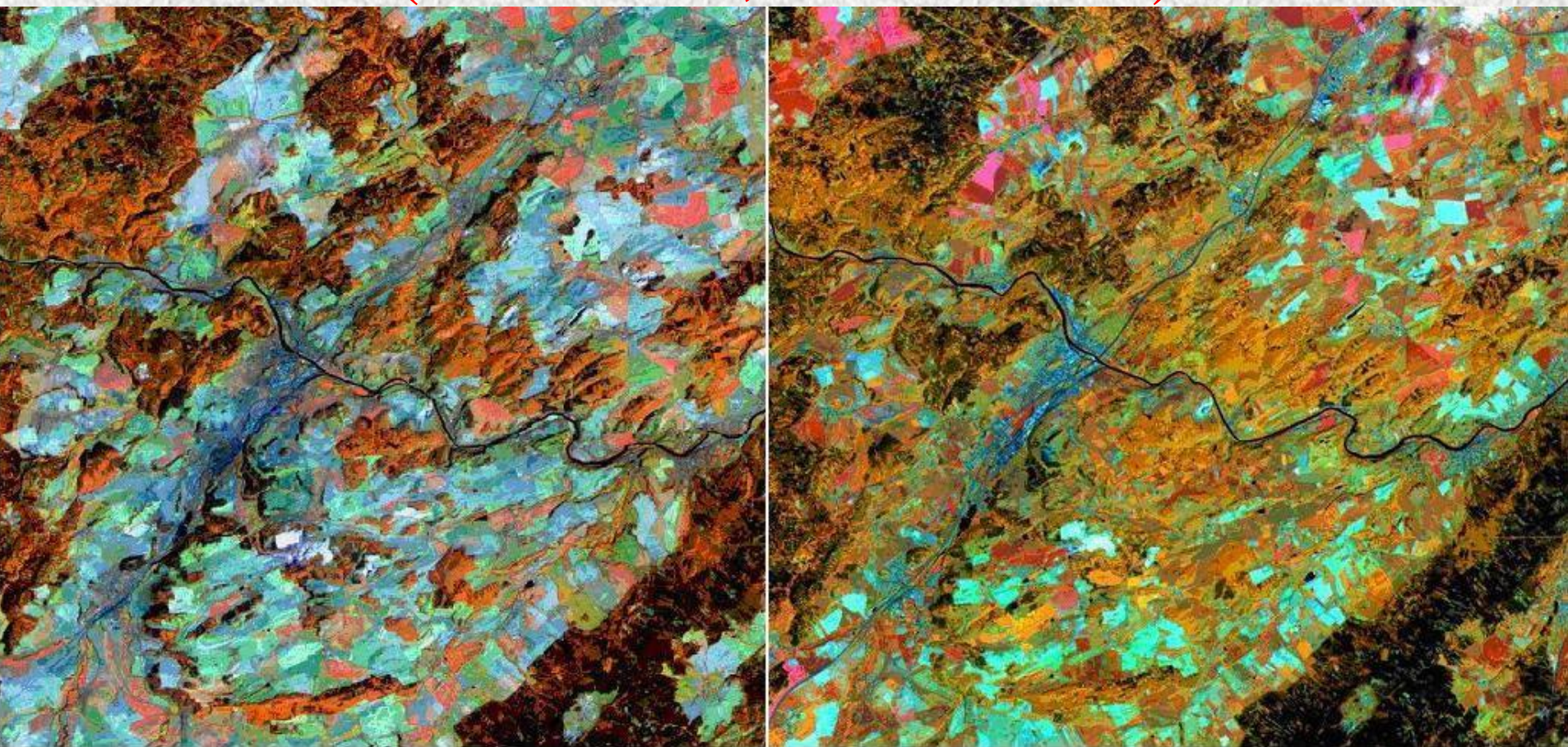
Vlevo- ortofoto, vpravo- snímek z družice QuickBird s využitím IR pásma; viditelné stopy archeologického naleziště (zemnice, odpadní jámy aj.)

# Ukázky odtajněných družicových dat



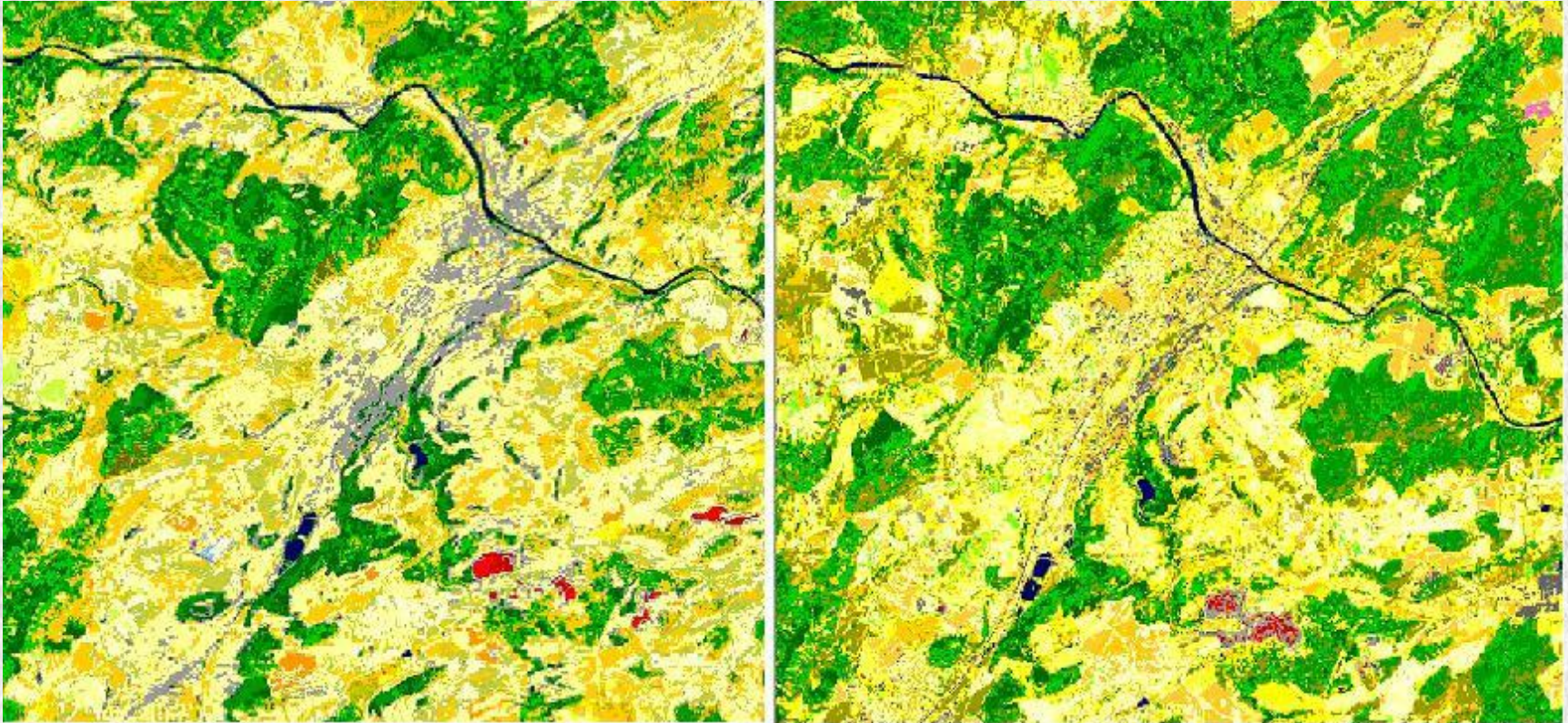
Těšetice ,Znojmo KH7-29, 4. 6. 1966, americký špionážní družicový systém Corona;  
viditelný paleolitický rondel

# Zpracování družicových dat - klasifikace povrchu (Land use, land cover)



Landsat TM 4,5,3 kombinace (vlevo, 29.8.1990) a Terra/ Aster 3N,4,2 (vpravo, 28.5.2002), sezónní změny, Berounsko

# Zpracování družicových dat - tematické mapy



Výsledky klasifikace (isoclass): TM 2,3,4,5,7 (vlevo) a Aster 1,2,3N,4,1/4(5+6+7+8)

- Děkuji za pozornost.

***konec***