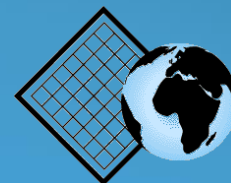


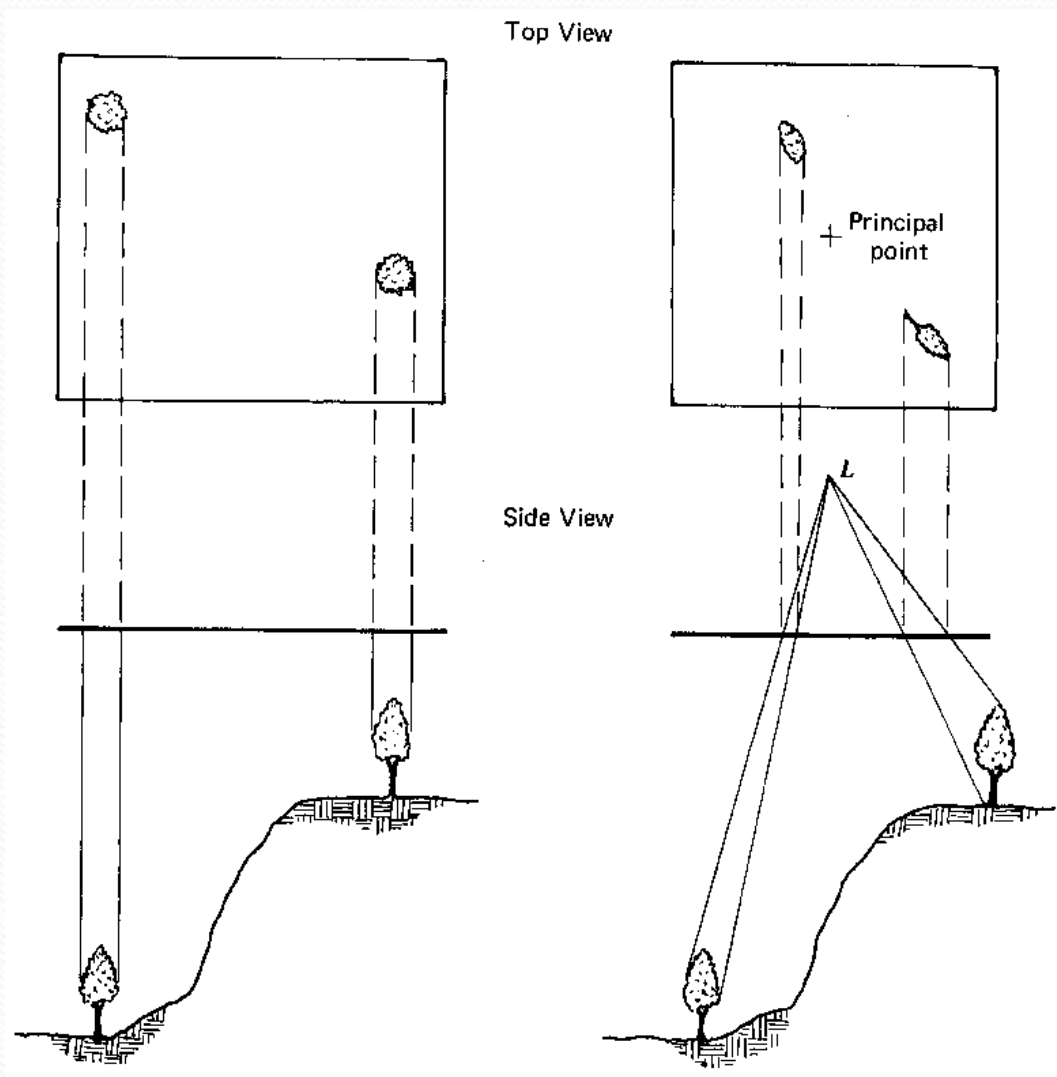
Geometrická korekce obrazu



Zdroje nepřesností a „chyb“ v geometrii obrazových záznamů

- Nezpracovaná obrazová data obvykle obsahují tak významné geometrické nepřesnosti, že je nelze použít jako mapy.**
- Vzájemná poloha objektů v obraze neodpovídá jejich poloze ve skutečnosti, nelze zjišťovat plochy, vzdálenosti, záznam nemá jednotné měřítko**
- Zdroje nepřesností plynou většinou ze způsobu vytváření obrazového záznamu, jsou specifické pro leteckou fotografii i pro záznamy z různých typů skenerů.**
- Zabírají jevy od kolísání výšky a rychlosti pohybu nosiče až po faktory postihující zakřivení Země, atmosférické refrakce, zdánlivé změny v poloze objektů v důsledku kolísání nadmořské výšky terénu a nelinearity v průběhu snímání senzoru.**

Rozdíly v geometrii mapy s ortogonální projekcí a snímku pořízeného centrální projekcí



Dělení vlivů na geometrii obrazu

Faktory, ovlivňující geometrické vlastnosti obrazu, mohou mít trojí původ:

- **v parametrech dráhy nosiče (kolísání výšky a změny v orientaci)**
- **ve vlastnostech senzoru (nepřesnosti při snímání obrazu)**
- **na zemském povrchu (zakřivení Země, její rotace a lokální topografické efekty).**

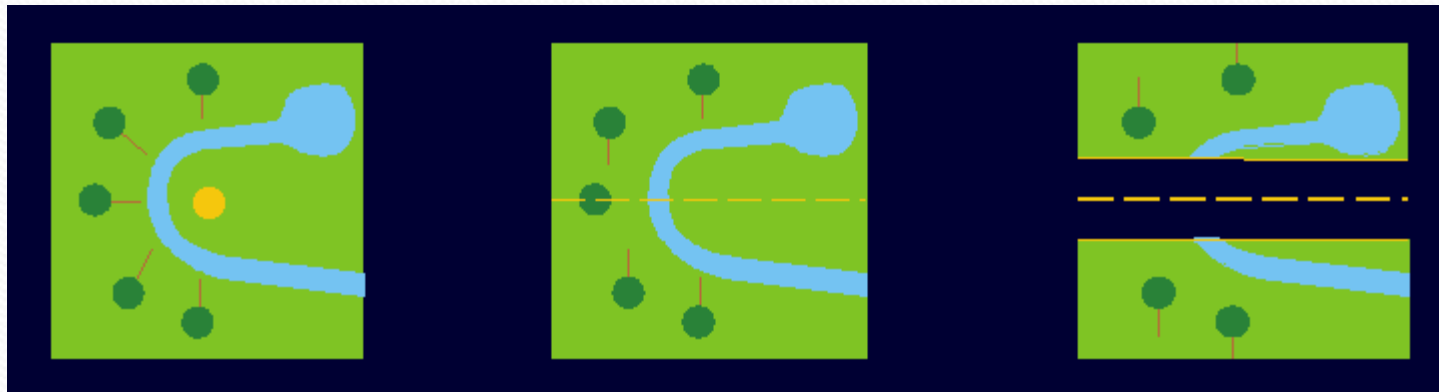
Bez ohledu na původ:

- **nepřesnosti systematické (lze je poměrně snadno modelovat a tedy i odstranit)**
- **nepřesnosti náhodné povahy**

Cíle geometrické korekce obrazu

S ohledem na mapování je cílem geometrických transformací odstranit významné vlivy tak, aby obraz získal požadovaný souřadný systém zvoleného kartografického zobrazení a aby bylo možné ho použít jako mapy.

V závislosti na požadované přesnosti lze některé vlivy zanedbat.



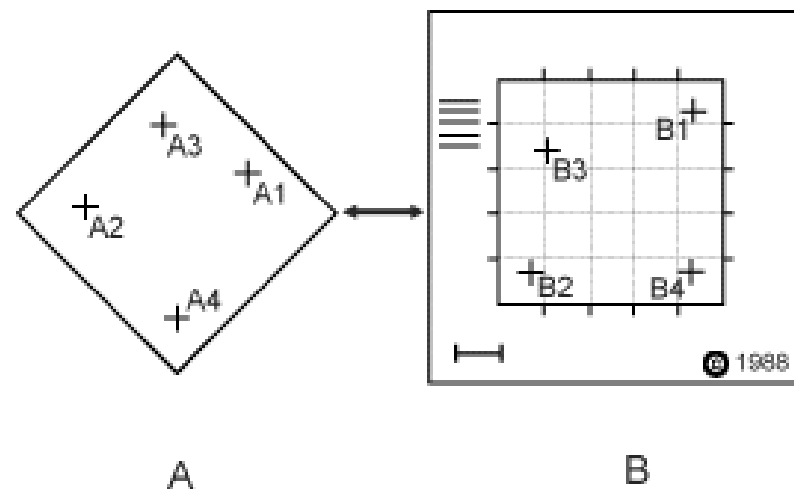
Základní rozdíly v geometrii letecké fotografie, skenovaného záznamu a radarového snímku

Cíle geometrické korekce obrazu

- **transformace obrazových dat do určité mapové projekce**
- **propojení obrazových dat s prostorovou vektorovou databází v GIS**
- **porovnání dvou či více obrazových záznamů pořízených stejným či odlišným snímacím zařízením za účelem studia časových změn**
- **tvorba ortofotomap**
- **vytváření mozaiky z několika obrazových záznamů**

Základní pojmy používané při geometrické transformaci obrazu

- Kartografická projekce (map projection)
- Souřadnicový systém (geodetic datum)
- Řádek, sloupec = poloha obrazového prvku (P,L) (pixelu), rozměr = „prostorové rozlišení“ (spatial resolution)
- Rektifikace
- Převzorkování
- Registrace
- Georeferencování
- Geokódování
- Ortorektifikace



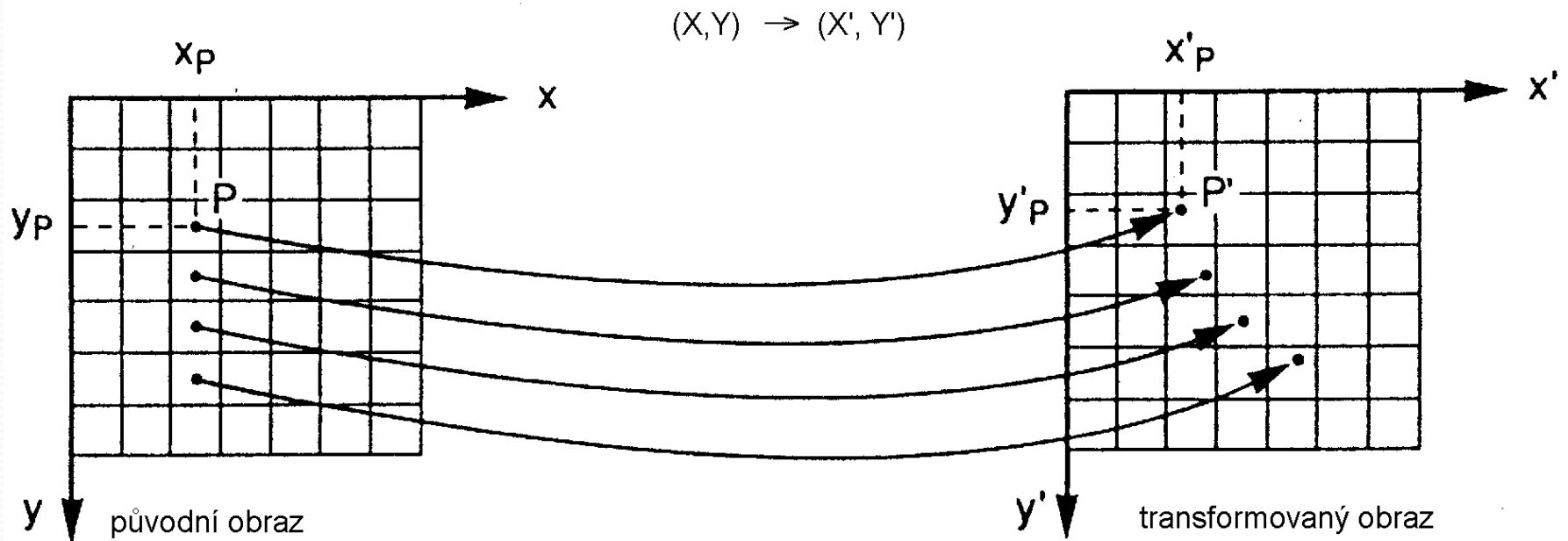
- **rektifikace** - obecný proces transformace polohy všech obrazových prvků z jednoho souřadného systému do jiného souřadného systému – poloha a rozměr prvku v nové souř. soustavě může být jiná následuje:
- **převzorkování** (druhý krok transformace) - proces transformace DN hodnoty každého obrazového prvku z původní souřadné soustavy do nové soustavy, výsledkem rekt. a převz. je porovnatelnost dvou záznamů, mají stejnou souřadnou soustavu a prostorové rozlišení
- **registrace** – (jeden ze způsobů rektifikace) úprava dvou obrazů v rozdílných souřadných systémech či v rozdílném rozlišení na stejný souřadný systém, jeden obraz se přizpůsobí druhému (nemusí jít o souřadnou soustavu mapového zobrazení)

- **georeferencování** – dodání informace k registrovaným datům o absolutní poloze alespoň jednoho obrazového prvku (mění se pouze poloha, nemění se DN)
- **geokódování** - rektifikace, během které jsou obrazová data transformována do určité kartografické projekce a poloha každého pixelu obrazového záznamu je vyjádřena v systému mapových souřadnic, vznikají tzv. geokódovaná data, lze je kombinovat s vektorovými daty ve stejné kartografické projekci
- **ortorektifikace – proces, během něhož jsou odstraněny i nepřesnosti vznikající** v důsledku relativní změny polohy objektů, jež plyne z jejich různé nadmořské výšky, je nutný DMT, pro členité horské povrchy, pro ortofotomapy, družicové mapy

Data systémově korigovaná

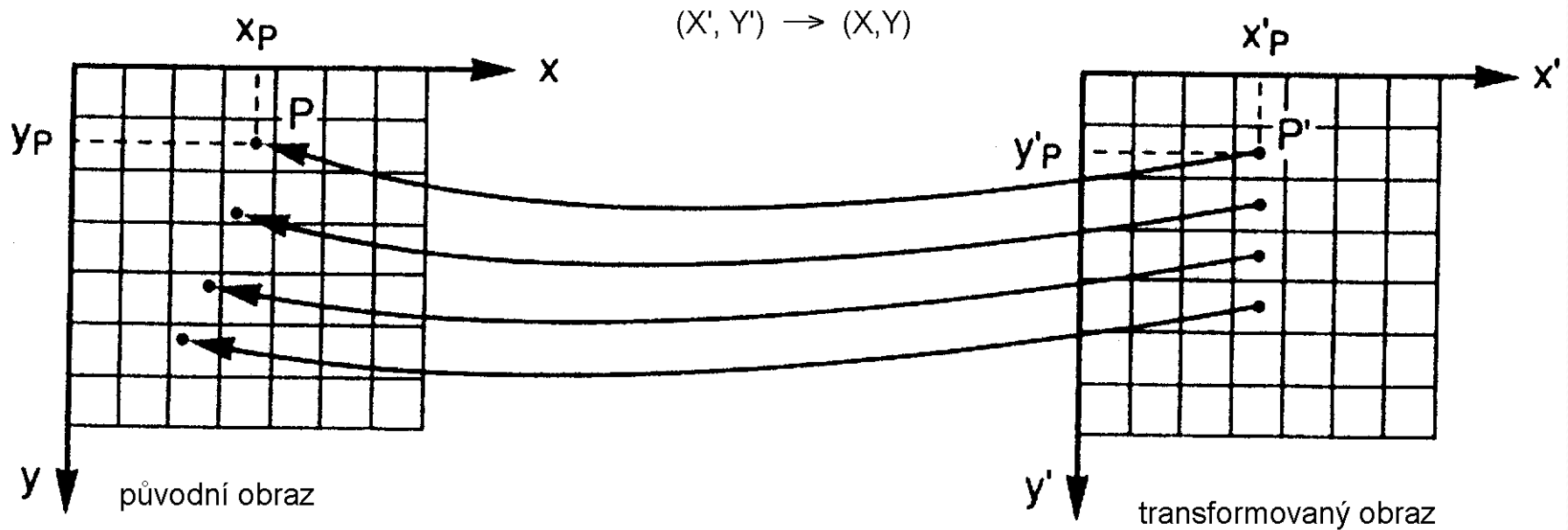
- **georeferencovaná data mají odstraněna systematické nepřesnosti plynoucí z dráhy letu a pohybu Země (skenované řádky se posunují, aby vyrovnávaly otáčení k západu)**
- **lze modelovat jejich příčiny, známe precizně parametry dráhy družice a její polohu v čase v době pořízení snímků – sférická trigonometrie, stabilní nosiče, údaje vysílány v reálném čase na Zemi společně s obrazem**
- **tuto transformaci lze použít pro data s nižším prostorovým rozlišením např. meteorologické družice, pro vyšší rozlišení se používá sběr identických bodů a polynomické transformace**

Přímá transformace obrazu



1. Z databáze vlíčovacích bodů se určí vztah mezi zdrojovou a cílovou souřadnou soustavou. Tento vztah je sestaven do podoby transformačních rovnic.
2. Z originálního obrazu se bere ve směru řádek pixel za pixel a pomocí transformačních rovnic se vypočte nová - obecně neceločíselná - poloha ve výsledném obraze.
3. Nové hodnoty obrazových prvků jsou určeny jedním z algoritmů převzorkování. Nevýhodou této metody je nepravoúhlost výsledného obrazu a možnost vzniku prázdných míst ve výsledném obraze.

Nepřímá transformace obrazu



Je založena na opačném postupu, využívá se nejčastěji.

1. Vychází z nadefinování výsledného obrazu pravoúhelníku.
2. Na základě inverzních transformačních rovnic se v originálním obraze hledá pixel, který je vzorem pro výsledný přetransformovaný pixel.
3. Takto „zpětně“ spočtená poloha vzoru v pixelových souřadnicích může být také neceločíselná a je nutno jednoznačně určit, který pixel je použit pro vytvoření DN hodnoty pixelu výsledného.
4. Nové hodnoty jsou opět určeny převzorkováním.

Základní dělení algoritmů

- globální a lokální
- exaktní a aproximující

Nejčastěji využívané algoritmy

- polynomická transformace
- splinové funkce (thin plate splines)
- transformace po částech (TIN)
- orthorektifikace

Polynomická transformace

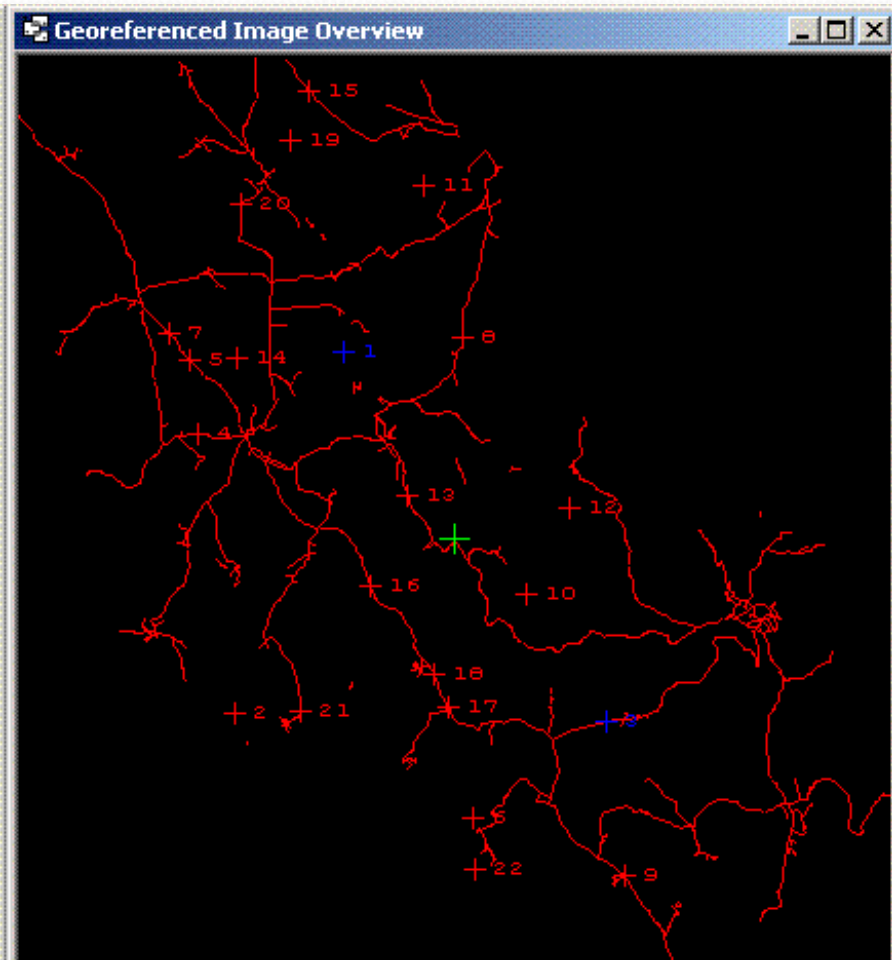
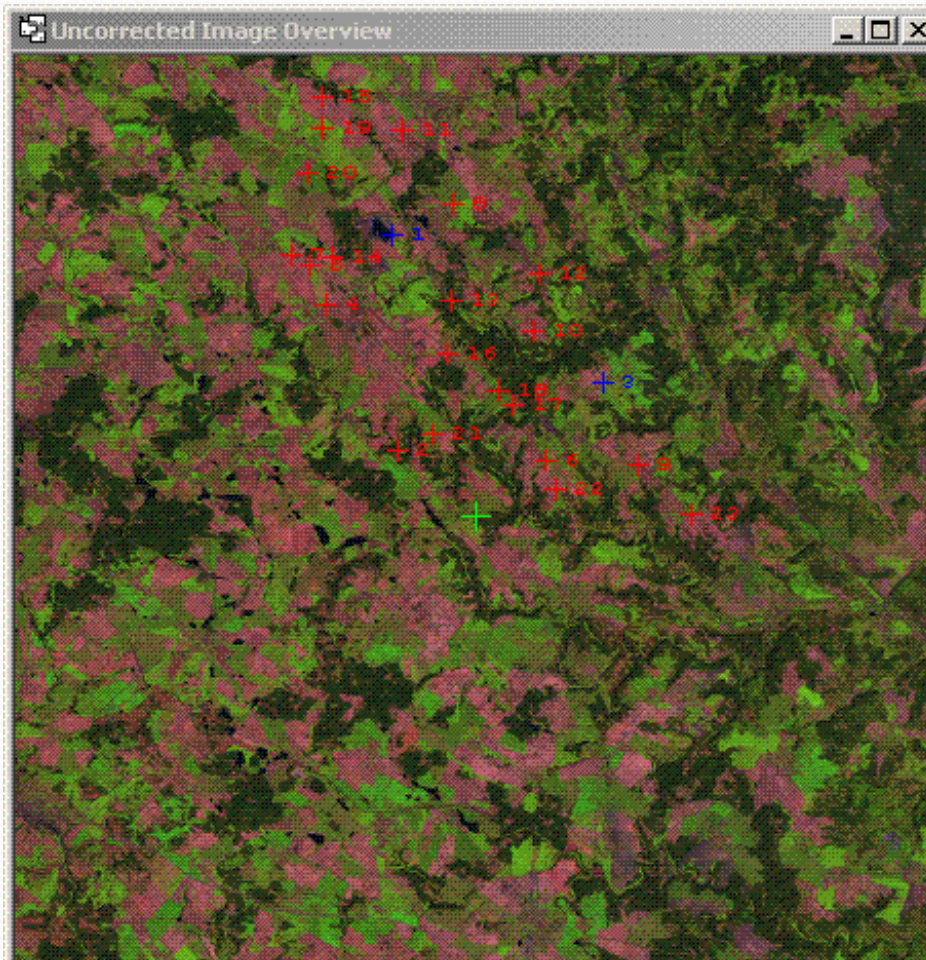
Obecný postup rektifikace obrazu pomocí identických bodů

- 1. sběr identických bodů**
- 2. volba stupně transformace**
- 3. výpočet transformačních rovnic**
- 4. testování transformačních rovnic**
- 5. rektifikace obrazu**
- 6. převzorkování obrazu**

Způsoby sběru vlíčovacích (identických) bodů:

- **korekce k mapě (papírová předloha, téměř se nepoužívá, nutný digitizér)**
- **korekce k jinému obrazu (rastru...)**
- **korekce k databázi identických bodů (zaměřené např. GNSS, geodeticky)**
- **korekce k vektorové prostorové databázi (většinou liniové prvky, ArcČR, OSM aj.)**

Sběr vřícovacích (identických)



Sběr vřicovacích (identických)

GCP Selection and Editing

File Reports Elevation

GCP Editing

GCP Id: 24

Georef: -619878.652 E -1128314.313 N

Elev (m)

Uncorr: 523.9 P 281.0 L

Accept as GCP Use as Check Pt Delete

Model

1st 2nd 3rd 4th 5th

RMS Error: 0.78 0.70

Accepted GCPs: 21

GCP Ordering: Worst By Id

Id	Error	(Residual X,	Y) (Georef
2:	1.02	(0.31,	0.98) (-623964
4:	0.65	(-0.61,	0.23) (-624604
5:	0.91	(0.90,	0.17) (-624770
6:	0.71	(-0.71,	-0.06) (-619651
7:	1.18	(-0.84,	-0.83) (-625128
8:	1.54	(1.12,	1.06) (-619829
9:	0.30	(-0.03,	0.30) (-616916
10:	0.89	(0.74,	0.49) (-618693
11:	0.60	(-0.59,	0.13) (-620545
12:	2.09	(-1.78,	-1.10) (-617913
13:	1.36	(-0.04,	1.36) (-620819
14:	0.85	(-0.84,	0.16) (-623901
15:	0.40	(0.15,	0.15) (-620007

Check GCPs: 2

Id	Error	(Residual X,	Y) (Georef
1:	3.15	(3.00,	0.95) (-621997.7
3:	3.99	(2.80,	-2.85) (-617223.6

Uncorrected Selection

Linear RGB Load

Georeferenced Selection

Linear RGB Load

Transformační rovnice

$$\begin{aligned} X &= f1(x,y) \\ Y &= f2(x,y), \end{aligned}$$

**X, Y - souřadnice daného obrazového prvku
v nekorigovaném obraze**

**x, y - souřadnice daného obrazového prvku
v korigovaném obraze**

$f1, f2$ - transformační rovnice

Polynom 3. stupně

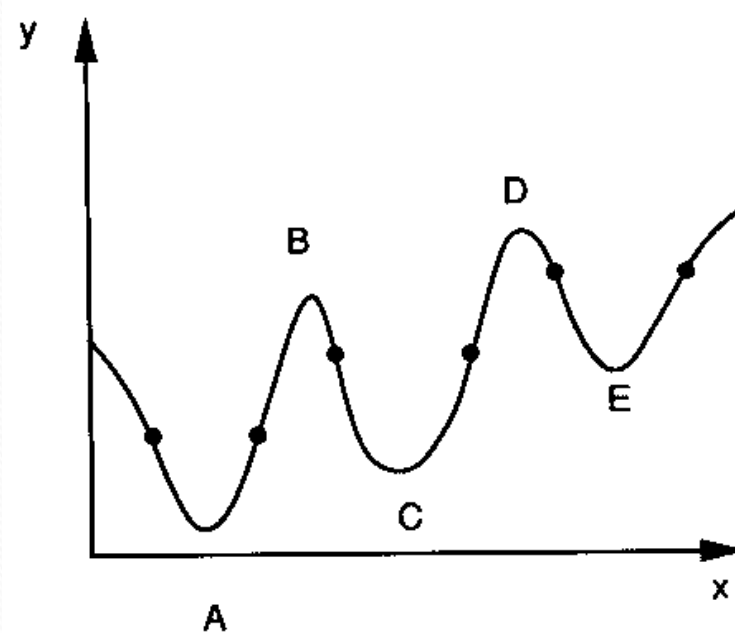
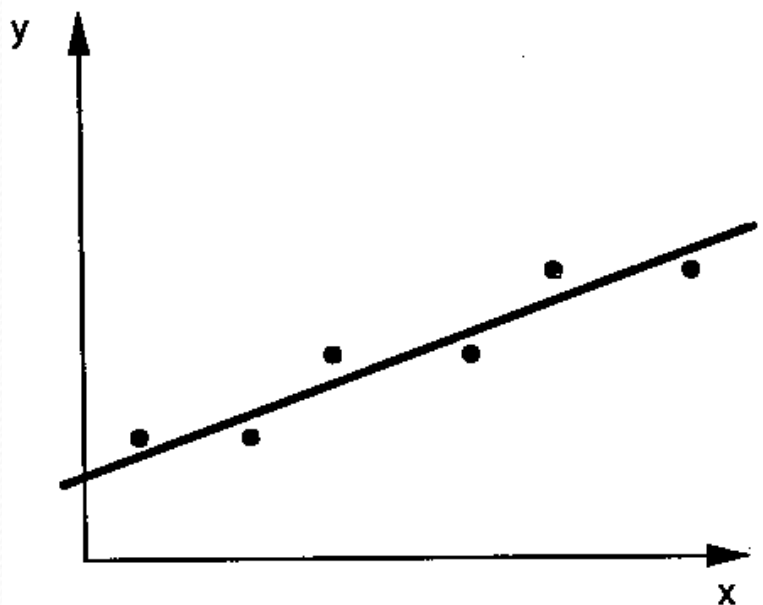
$$X_1 = A_0 + A_1x + A_2y + A_3xy + A_4x^2 + A_5y^2 + A_6x^2y + A_7xy^2 + A_8x^3 + A_9y^3$$

$$Y_1 = B_0 + B_1x + B_2y + B_3xy + B_4x^2 + B_5y^2 + B_6x^2y + B_7xy^2 + B_8x^3 + B_9y^3$$

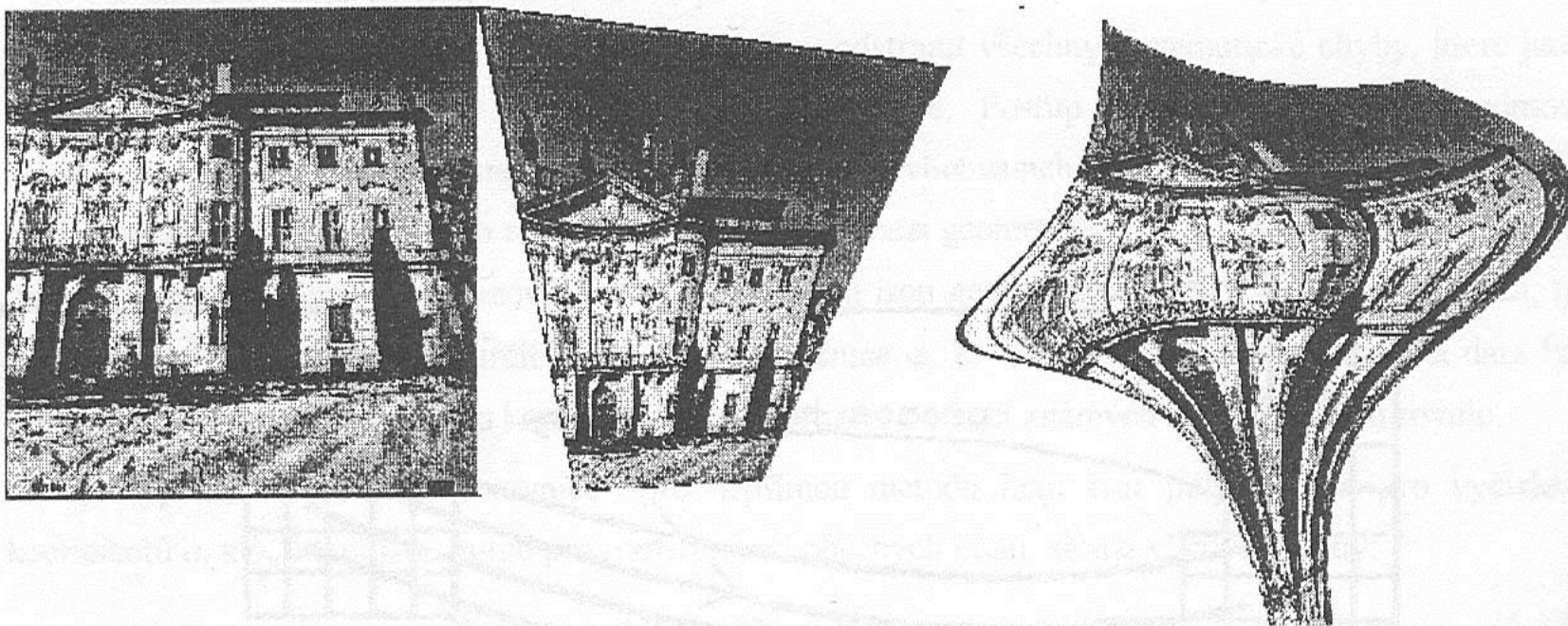
Minimální množství identických bodů podle stupně polynomu:

Řád polynomu	Minimální počet bodů
1 (podobnostní, afinní kolineární)	2-4
2	6
3	10
4	15
5	21

Vliv stupně polynomu na přesnost transformace



Vliv stupně polynomu na přesnost transformace



Hodnocení přesnosti transformace

RMS - Střední kvadratická chyba

$$RMS = \sqrt{(x - x_{or})^2 + (y - y_{or})^2}$$

x , y - souřadnice identického bodu ve zdrojové soustavě vypočtené z transformačních rovnic

x_{or} , y_{or} - původní souřadnice identického bodu ve zdrojové soustavě

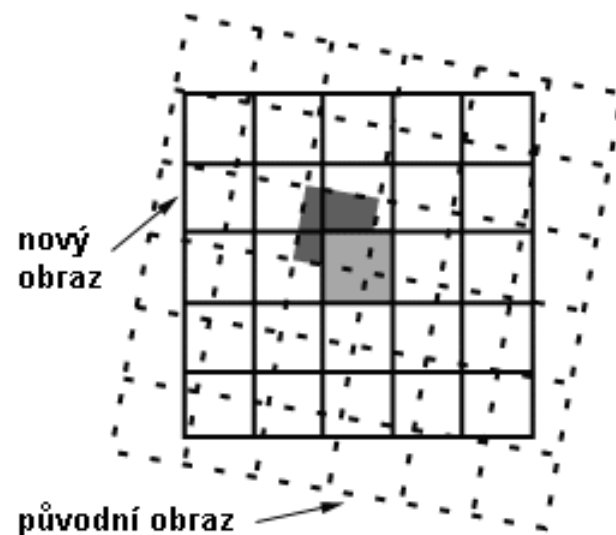
- **lze vypočítat jednotlivé i celkovou RMS chybu, vyloučit odlehlé hodnoty, akceptovatelná chyba cca pod 1px (prostorové rozlišení)**

Základní metody převzorkování obrazu

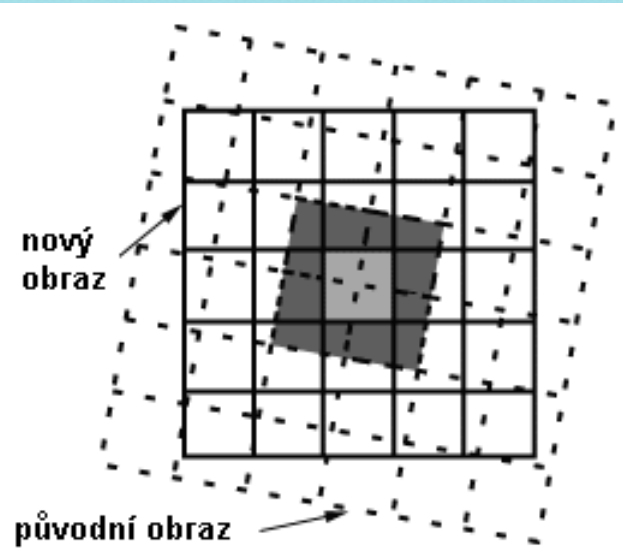
- **metoda nejbližšího souseda**
- **bilineární interpolace (4 pixely)**
- **kubická konvoluce (16 pixelů)**
- **$\sin(x)/x$ - (64, 256 pixelů)**

Metoda nejbližšího souseda

- **Prosté posunutí DN hodnoty nejbližšího pixelu z původního obrazu**
- **Metoda je geometricky nejméně přesná. Výsledný snímek může obsahovat nespojitosti, protože sousední pixely objektů mohou být ve výsledném obraze posunuty až o polovinu šířky pixelu**
- **Zachovává původní hodnoty pixelů.**
- **Pokud však transformovaný obraz bude v následujících krocích klasifikován, je nutné použít právě tento algoritmus.**



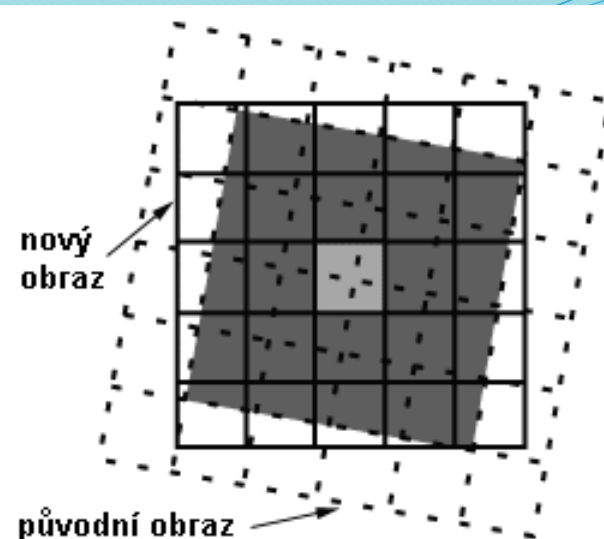
Metoda bilineární interpolace



- **Hodnota pixelu v novém obraze vypočtena jako vážený průměr čtyř nejbližších pixelů z původního obrazu, přesněji geometricky.**
- **Výsledný obraz neobsahuje nespojitosti v poloze objektů, avšak shlazuje výsledný obraz, který ztrácí rozlišení.**
- **Mění původní hodnoty obrazových prvků, což může ovlivňovat výsledky následné spektrální analýzy obrazu.**

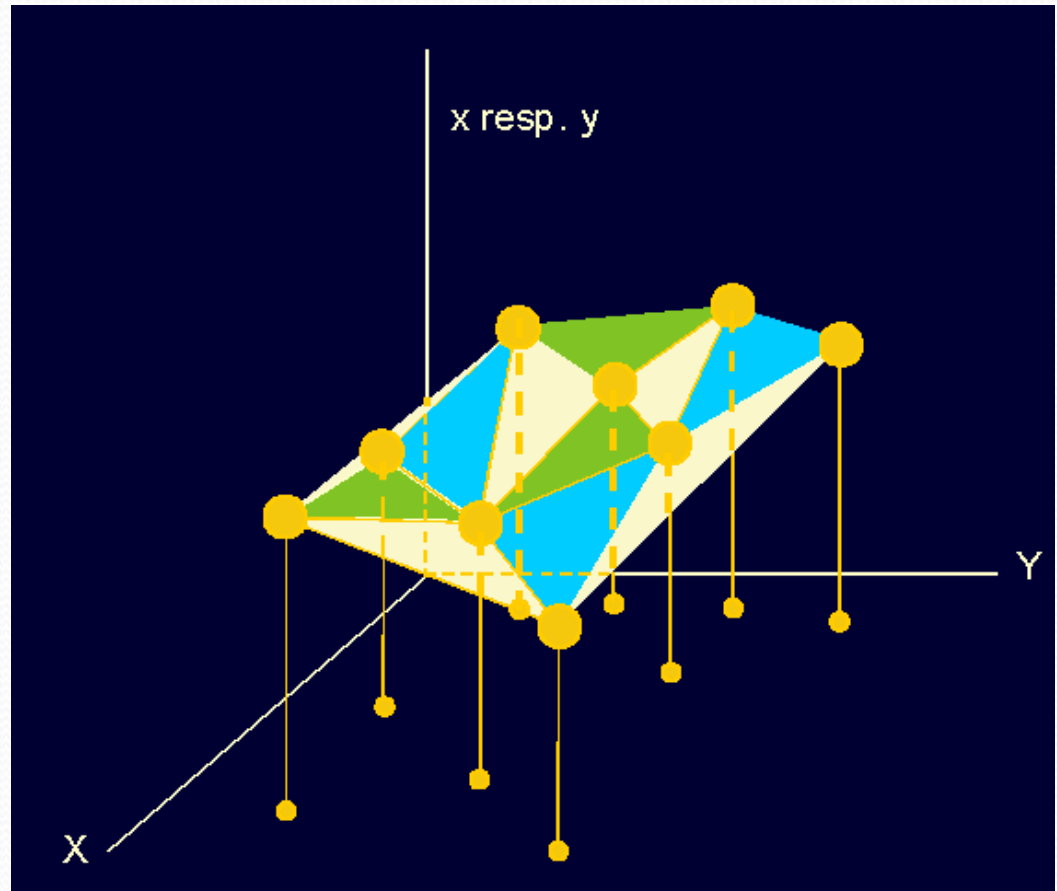
Metoda kubické konvoluce

- Nová hodnota obrazového prvku vypočtena jako vážený průměr ze 16 nejbližších pixelů původního obrazu.
- Z hlediska geometrické přesnosti dává tato metoda lepší výsledky než metody předchozí.
- Výsledný transformovaný obraz má ostrý vzhled, opět však mění původní hodnoty pixelů.
- Algoritmus je výpočetně nejvíce náročný.
- V případě funkce $\sin(x)/x$ může být nová hodnota obrazového prvku vypočtena jako vážený průměr 64 resp. 256 okolních pixelů.

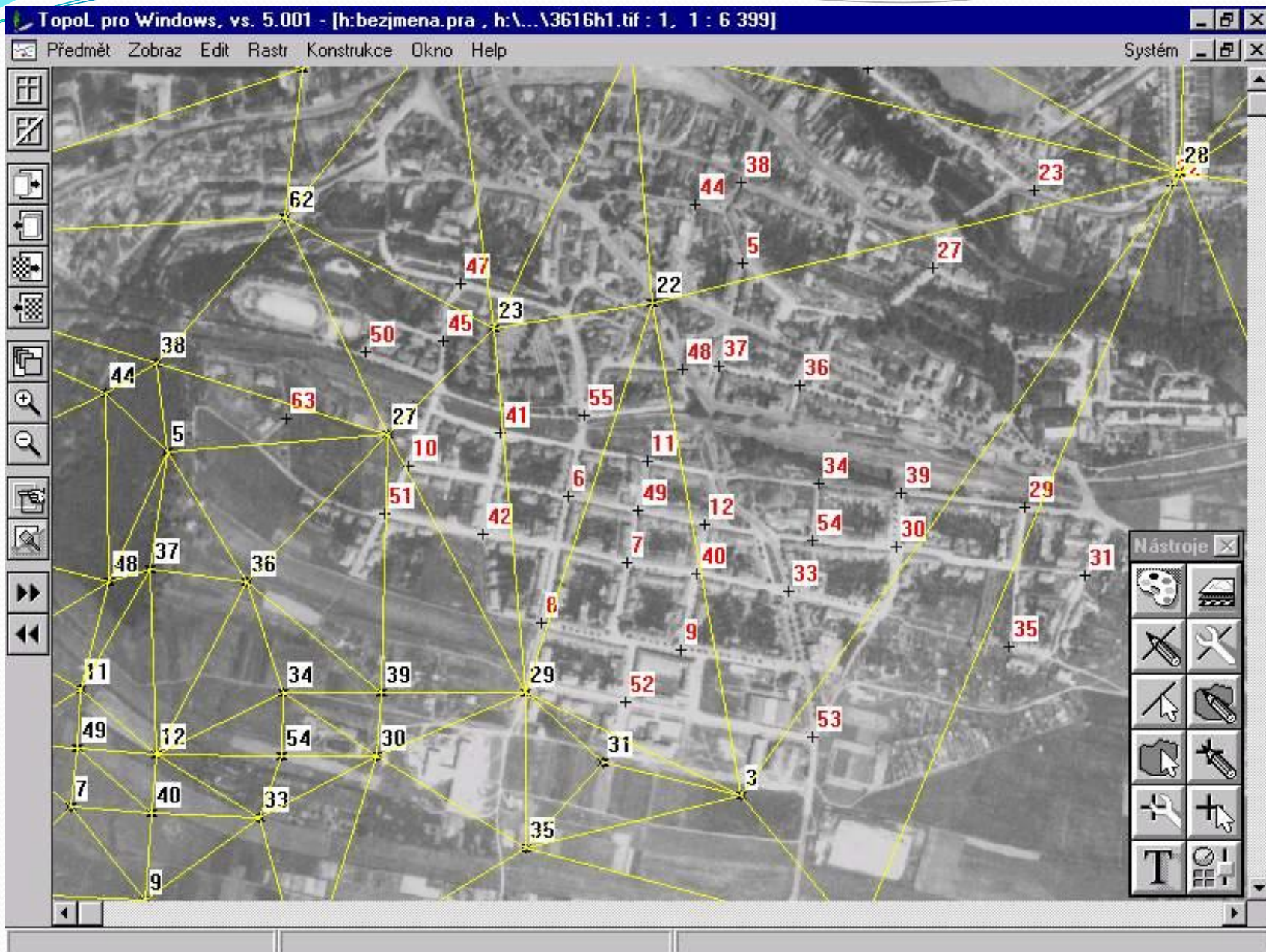


Transformace po částech

- Transformace exaktní
- Transformace lokální
- Nemožnost extrapolace
- TIN model

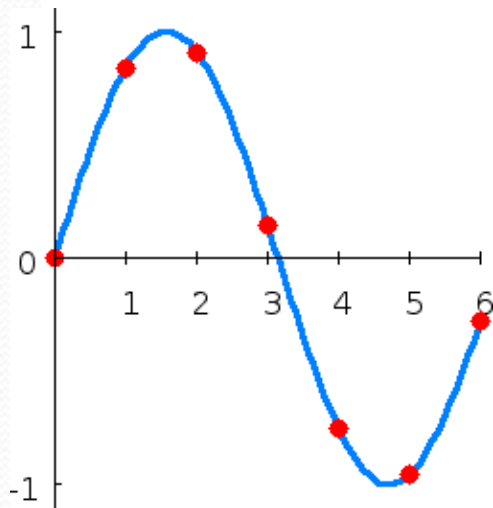


Transformace po částech



Splínové funkce

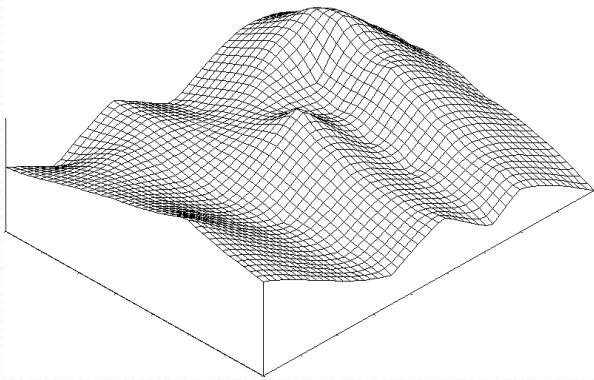
- **Metoda minimální křivosti**
- **Globální interpolace**
- **Interpolace exaktní**
- **Potřeba velkého množství bodů**
- **Potřeba nezávislých kontrolních bodů pro hodnocení přesnosti**



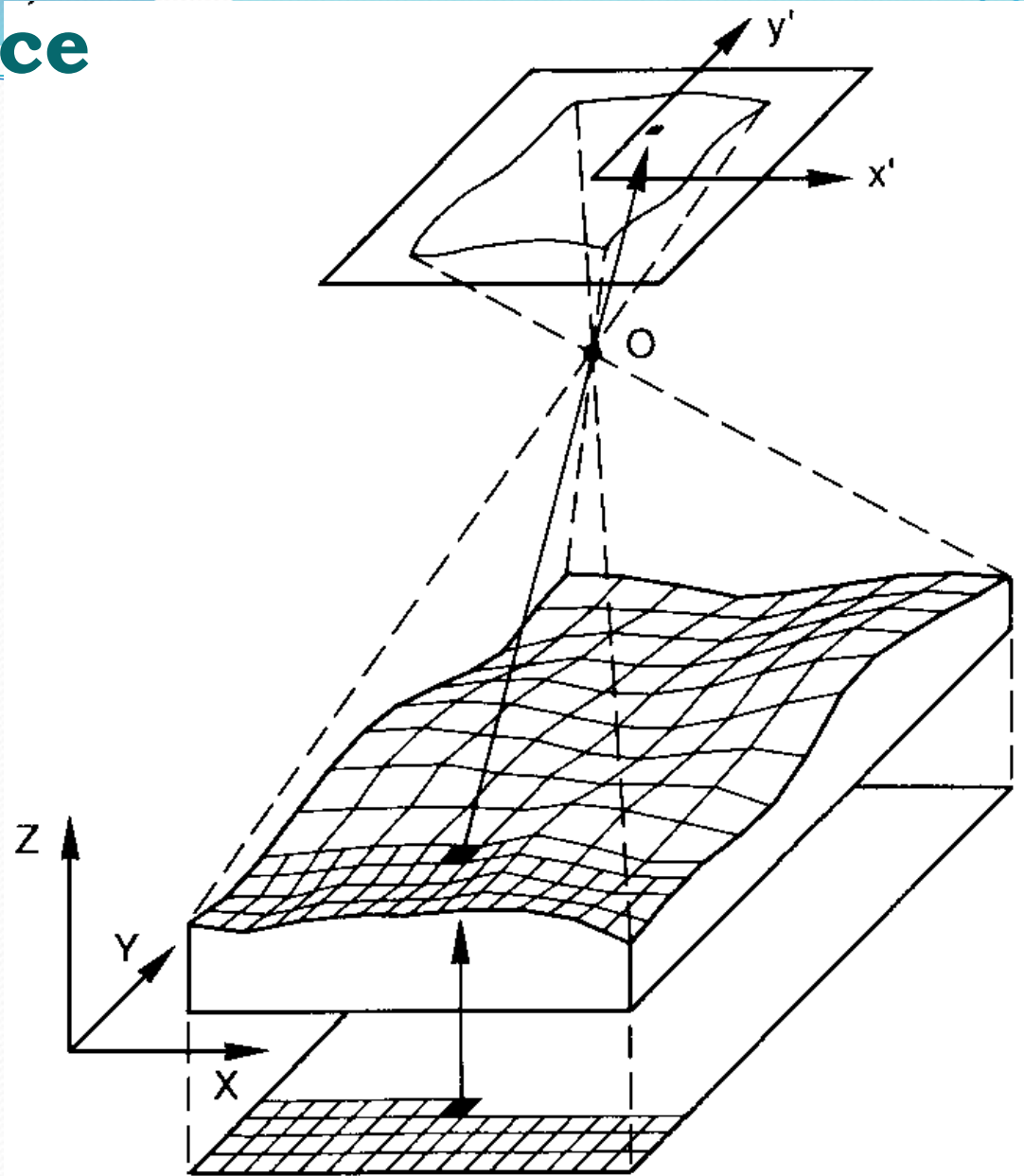
$$f(x) = \begin{cases} -0.1522x^3 + 0.9937x, & \text{if } x \in [0, 1], \\ -0.01258x^3 - 0.4189x^2 + 1.4126x - 0.1396, & \text{if } x \in [1, 2], \\ 0.1403x^3 - 1.3359x^2 + 3.2467x - 1.3623, & \text{if } x \in [2, 3], \\ 0.1579x^3 - 1.4945x^2 + 3.7225x - 1.8381, & \text{if } x \in [3, 4], \\ 0.05375x^3 - 0.2450x^2 - 1.2756x + 4.8259, & \text{if } x \in [4, 5], \\ -0.1871x^3 + 3.3673x^2 - 19.3370x + 34.9282, & \text{if } x \in [5, 6]. \end{cases}$$

Pro interpolování linií se používá tzv. **kubických splínů**, pro interpolování snímků se využívá jejich 2D analogie označované jako „**thin plate splines**“

Orthorektifikace



kolineární rovnice

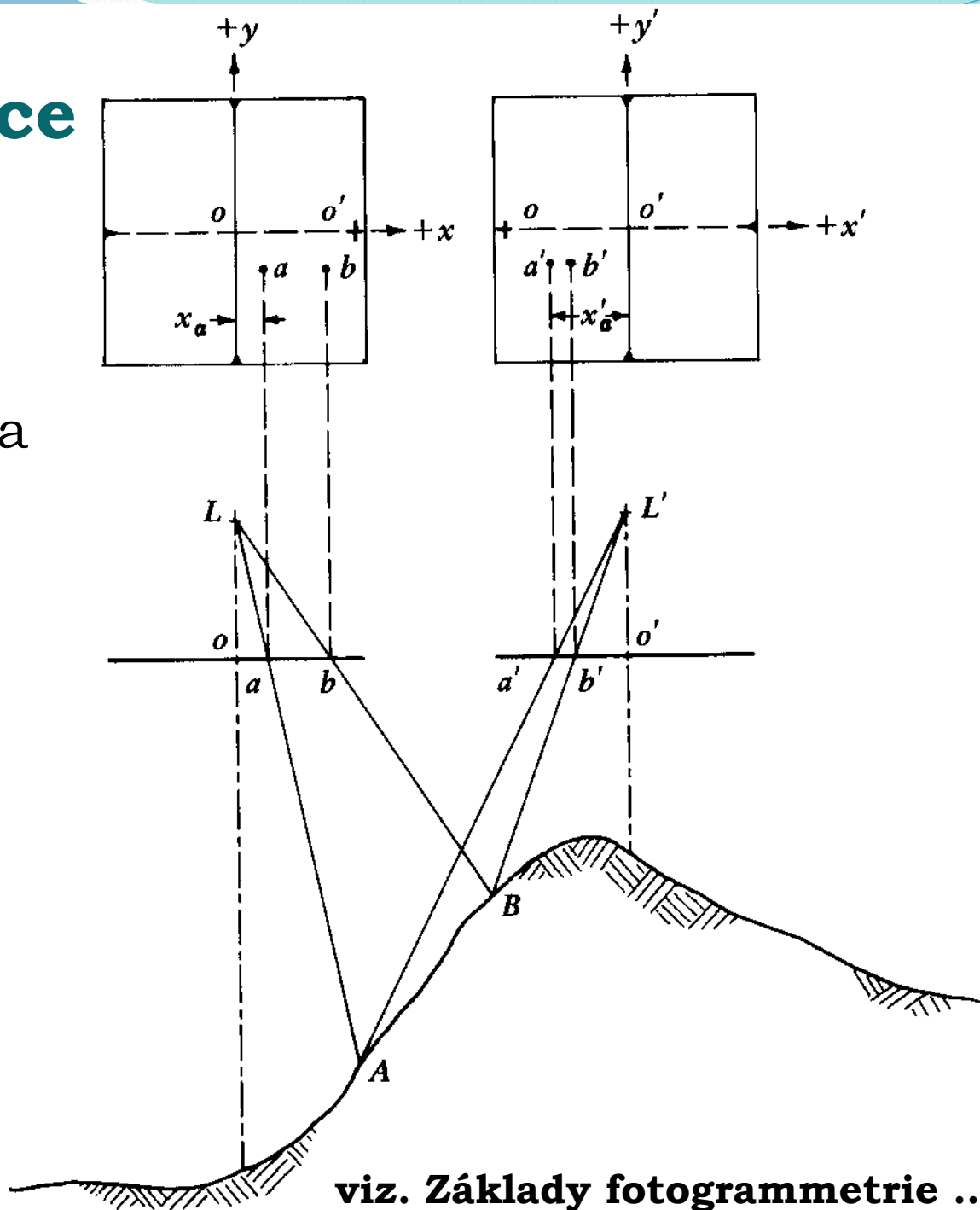


viz. Základy fotogrammetrie ...

Orthorektifikace

Princip snímkové
paralaxy:

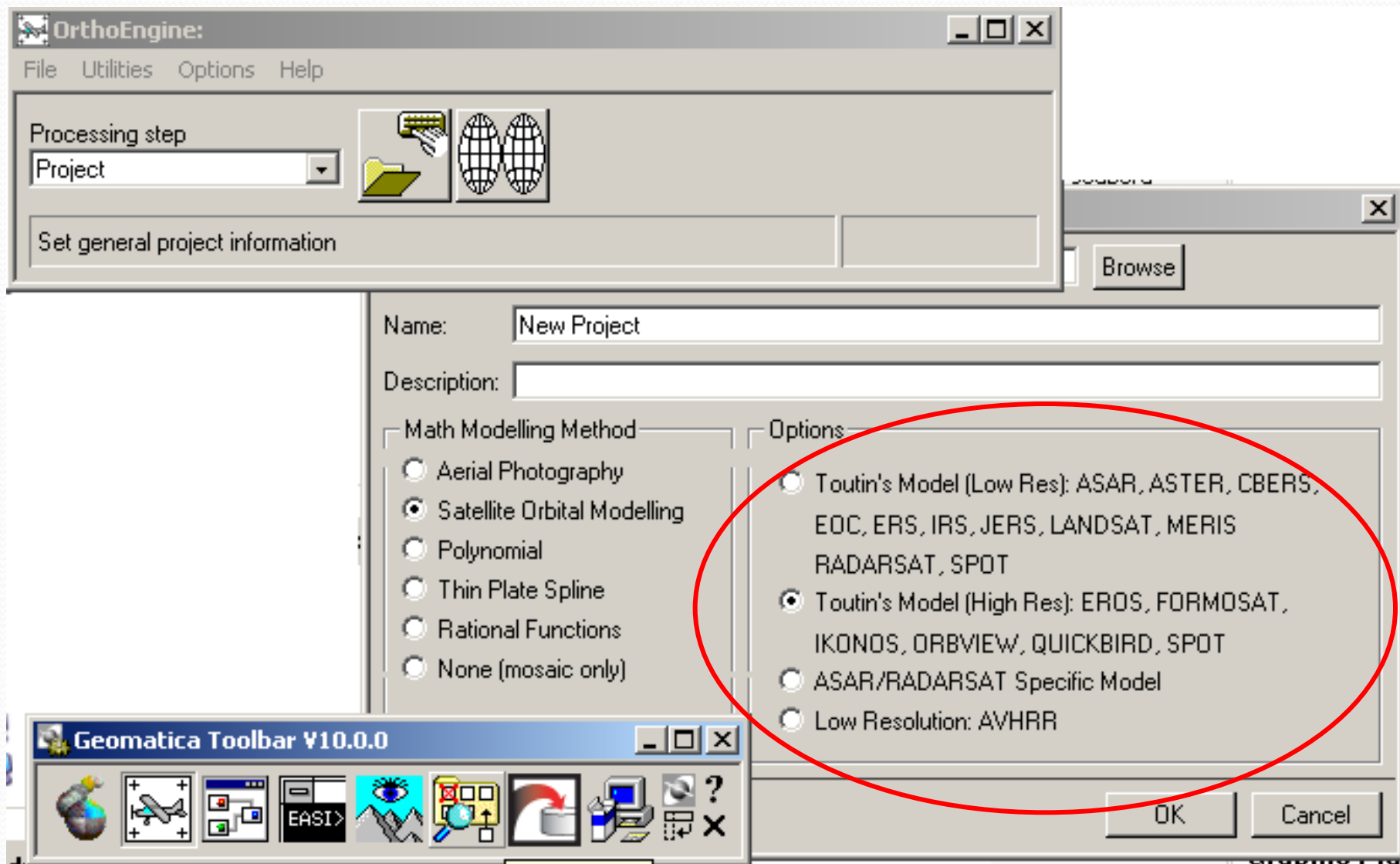
změna v poloze
identického objektu na
stereopáru je nepřímo
úměrná vzdálenosti
objektu od místa
pozorování.



Modelový přístup – fyzikální model

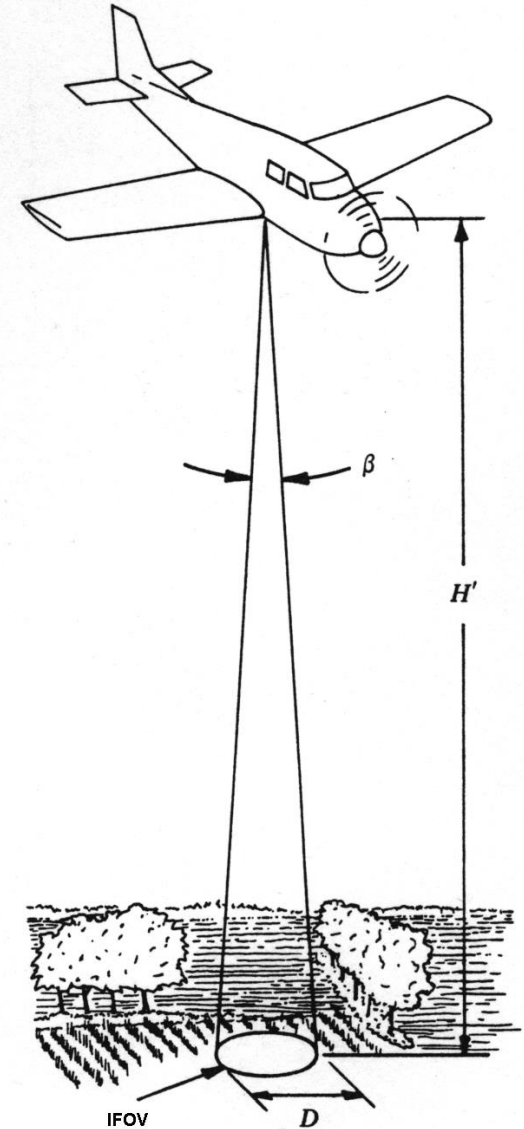
- **Pro systémy jako SPOT, IKONOS apod. se využívá fyzikálních modelů – spočívají v modelování všech zdrojů geometrických nepřesností.**
- **Takový model obsahuje tři součásti:**
 - **Specifický model senzoru**
 - **Model orbity**
 - **Model snímaného území**

Modelový přístup



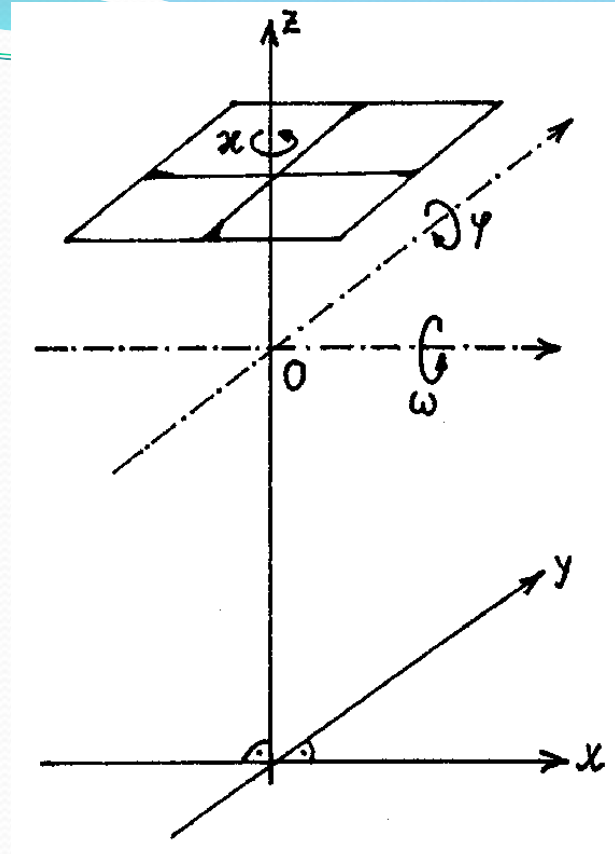
Model senzoru

- Model senzoru vychází ze znalosti jeho mechanických či optických komponent určujících tzv. parametr IFOV (okamžité zorné pole radiometru).
- IFOV definuje velikost pixelu ve výsledném obraze.



IFOV – instantaneous field of view

Model orbity



Poskytuje přesnou prostorovou **polohu** nosiče v době snímání každého pixelu (tři souřadnice x , y , z) a také přesnou **orientaci** ve všech třech prostorových osách (tři úhly rotace ω , φ , κ).

Model snímaného území

Zahrnuje jednak **definování parametrů geoidu** a jednak definování topografie snímaného terénu - tedy digitálního modelu území.

$$x^2 + y^2 + z^2 = R_e^2 \quad \left(\frac{x}{R_e}\right)^2 + \left(\frac{y}{R_e}\right)^2 + \left(\frac{z}{R_p}\right)^2 = 1$$

$$R_p = (1 - 1/f)R_e$$

x, y, z – souřadnice bodu na zemském povrchu

R_e – poloměr země

f = faktor zploštění (298,255)

Model terénu z družicových dat

Možnosti získávání digitálního modelu terénu z družicových obrazových dat:

- **Zpracování stereoskopických dvojic obrazových záznamů (např. SPOT, JERS-1, IRS, QuickBird)**
- **Zpracování stereoskopických dvojic obrazových záznamů poskytovaných i radarovými systémy (RADARSAT)**
- **Zpracování dat z radaru metodami tzv. interferometrie (viz. DPZ)**
- **LIDAR (laser scanning) – spíše letecké snímkování**

Další práce se snímky - mozaikování

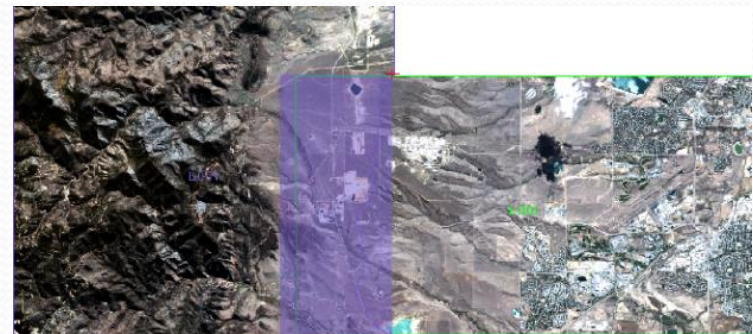
Spojení dvou a více snímků do bezešvé mozaiky

- manuální
- automatické



Základní kroky

1. Definování rozměrů výsledné mozaiky
2. Výběr linie pro spojení obrazů (cutline)
3. Úpravy jasu a kontrastu na styku snímků (color balancing)



Úrovně předzpracování družicových obrazových dat (obecně)

Level 1A(C) – radiometrické úpravy, (geometrická transformace)

Level 2A – radiometrické a 2D geometrická transformace, atmosférická korekce

Ortho – radiometrické a orthorektifikace

- pro každý družicový systém existuje vlastní standard – nutno dohledat u poskytovatele dat
- http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/products-algorithms>

Poznámky ke geometrické korekci obrazů

Mnoho současných družicových systémů poskytuje snímky šikmé (off-nadir) při poměrně malé šířce scény.

Zvyšuje se jejich prostorové rozlišení – některé vlivy na geometrii obrazu již nelze zanedbat.

Než začnete dělat geometrickou transformaci – zjistěte si údaje o proběhlých korekcích, úrovni zpracování dat (RMSE) a porovnejte obraz s přesnějšími podklady (vektor, ortofoto)