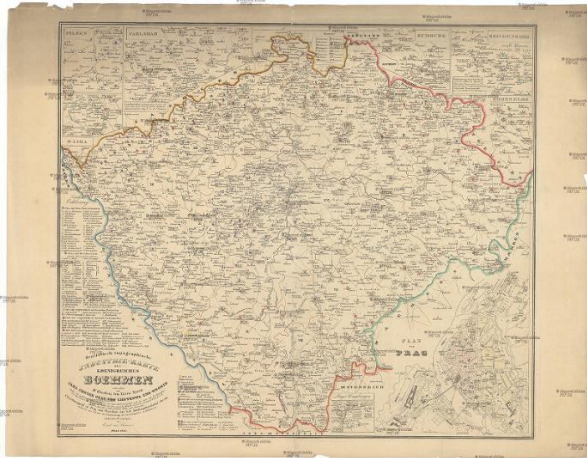


# Staré mapy TEMAP - eLearning

## Modul 3 Georeferencování

Ing. Markéta Potůčková, Ph.D. 2013  
Přírodovědecká fakulta UK v Praze  
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

# Motivace



## Staré mapy

- mnohdy nebyly vyhotoveny v kartografickém zobrazení či je toto zobrazení neznámé
- často vznikaly bez geodetických základů
- obsahují lokální deformace

Pro studium vývoje území, prostorové analýzy v GIS, kartometrické analýzy nebo pouhou vizualizaci nad současným družicovým snímkem je nutno naskenované staré mapy umístit do zvoleného národního či globálního souřadnicového systému.



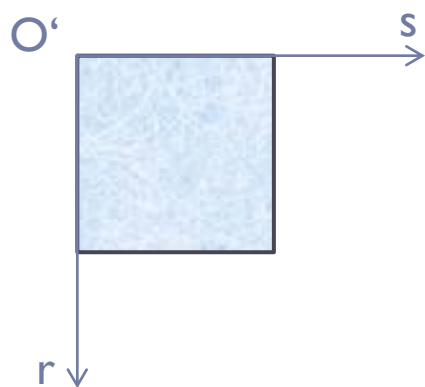
# Co je georeferencování?

Dle terminologického slovníku VÚGTK <http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>

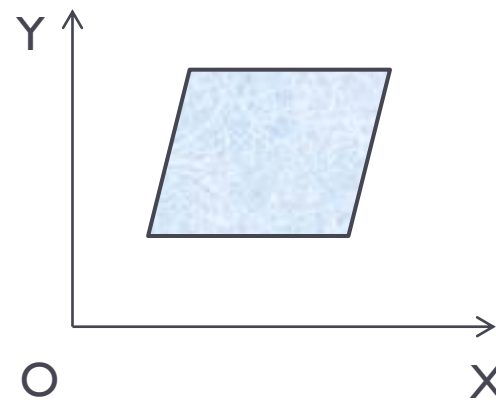
▶ Georeferencování = vyjádření prostorových referencí

▶ proces určení vztahu mezi polohou dat v **přístrojovém souřadnicovém systému** a geografickou, resp. mapovou polohou

= grafický souřadnicový systém naskenované mapy



naskenovaná mapa



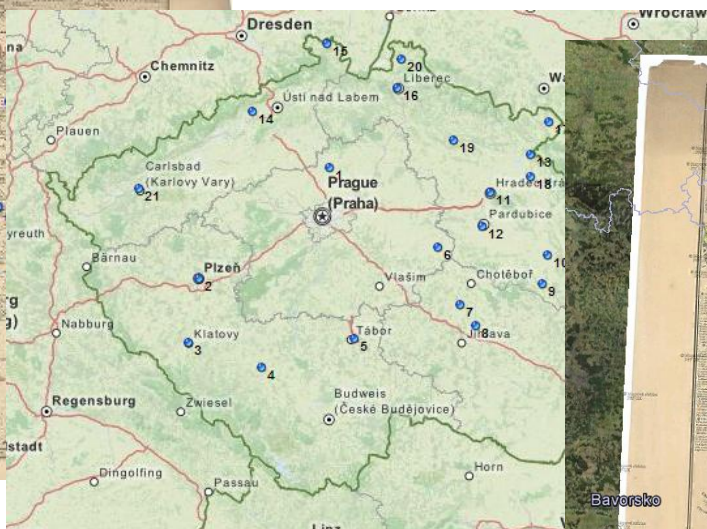
referenční souřadnicový systém

# Georeferencování

- ▶ Umístění naskenované mapy do známého referenčního souřadnicového systému (např. S-JTSK, UTM)
- ▶ Řešení na základě
  - ▶ zobrazovacích rovnic v případě, že je známé kartografické zobrazení naskenované mapy,
  - ▶ Identických bodů (IdB) a vhodné geometrické transformace.



IdB – naskenovaná mapa



IdB – OpenStreetMap



Georeferencovaná mapa (afinní transformace)

# Transformace s využitím zobrazovacích rovnic

---

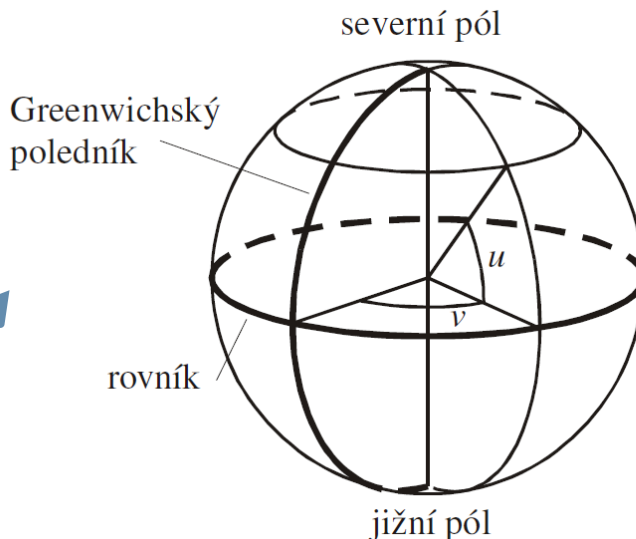
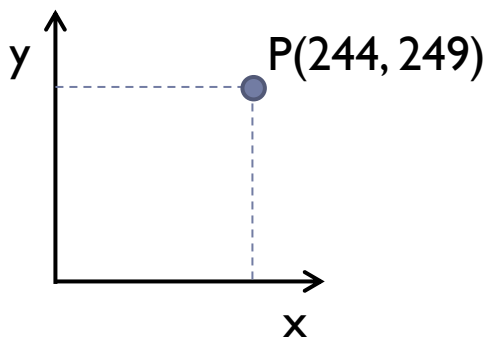
- ▶ Je-li známo kartografické zobrazení naskenované (staré) mapy, pak lze pro vyjádření prostorových referencí k jinému rovinnému referenčnímu souřadnicovému systému využít zobrazovacích rovnic použitých kartografických zobrazení (software Proj4, Madtran, Matkart)
- ▶ Jedná se o nejexaktnější způsob georeferencování
- ▶ V případě neznámého kartografického zobrazení naskenované mapy lze pro jeho odhad využít software DetectProj

# Transformace s využitím zobrazovacích rovnic

Inverzní zobrazovací rovnice

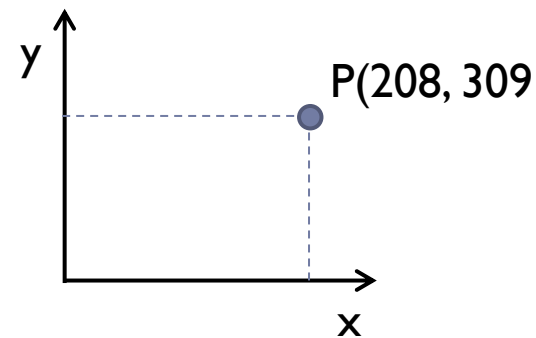


Kartézský souřadnicový systém I (naskenovaná mapa)



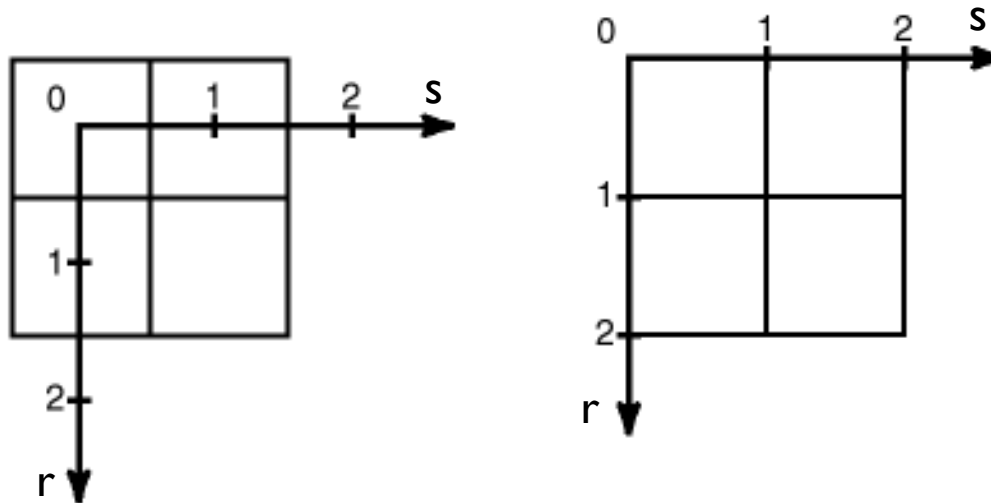
Zobrazovací rovnice

Kartézský souřadnicový systém II (referenční)



# Grafický souřadnicový systém naskenované mapy

- ▶ Souřadnice udávají číslo řádku ( $r$ ) a sloupce ( $s$ ) rastru zobrazujícího danou mapu
- ▶ Počátek souřadnicového systému se nejčastěji volí ve středu levého horního pixelu nebo jeho levém horním rohu



# Identické body

---

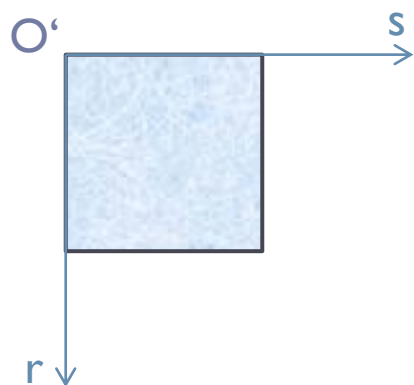
- ▶ Jednoznačně identifikovatelné v referenční mapě i mapě určené ke georeferencování
- ▶ Časově neměnné
- ▶ Rovnoměrně rozložené po skenované mapě
- ▶ Počet závisí na typu zvolené geometrické transformace
- ▶ Způsob určení geografické polohy identických bodů
  - ▶ z již georeferencovaných mapových podkladů či ortofotosnímků,
  - ▶ měřením v terénu např. GNSS (méně časté)
- ▶ Typy objektů reprezentujících identické body závisí na měřítku mapy
  - ▶ významné budovy (kostely, hrady, zámky)
  - ▶ historická jádra měst, křižovatky cest
  - ▶ soutoky řek, významné body pobřežních čar



# Geometrická transformace v rovině

---

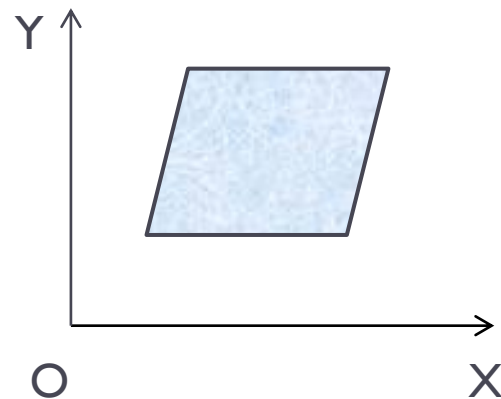
- Určuje vztah mezi souřadnicemi  $r, s$  naskenované mapy a odpovídajícími souřadnicemi  $X, Y$  ve zvoleném referenčním souřadnicovém systému a naopak



$$(X, Y) = f(r, s)$$



$$(r, s) = f^{-1}(X, Y)$$



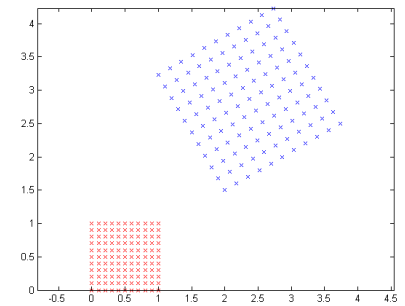
# Geometrická transformace v rovině

---

- ▶ Používané typy transformací pro georeferencování skenovaných map:
- ▶ Globální přístup (jeden transformační klíč pro celou plochu rastru)
  - ▶ Reziduální transformace
    - ▶ Lineární
      - Podobnostní
      - Afinní
    - ▶ Nelineární
      - Polynomická (2. popř. 3. řád)
- ▶ Lokální přístup (transformační klíč se mění v ploše)
  - ▶ Nereziduální transformace
    - ▶ Spline
  - ▶ Rozdělení plochy na trojúhelníky
    - ▶ Afinní transformace

# Podobnostní transformace v rovině

---



- ▶ Zachovává rovnoběžnost liniových prvků a úhly mezi liniovými prvky
- ▶ Umístění naskenované mapy v referenčním souřadnicovém systému  $[O, X, Y]$  řeší pomocí 4 parametrů:
  - ▶ posunutím  $X_t, Y_t$  tj. souřadnicemi počátku grafického systému naskenované mapy v systému  $[O, X, Y]$ ,
  - ▶ rotací  $\alpha$  grafického systému naskenované mapy vzhledem k systému  $[O, X, Y]$ ,
  - ▶ měřítkem  $m$ .
- ▶ Minimální počet identických bodů: 2

# Podobnostní transformace v rovině

---

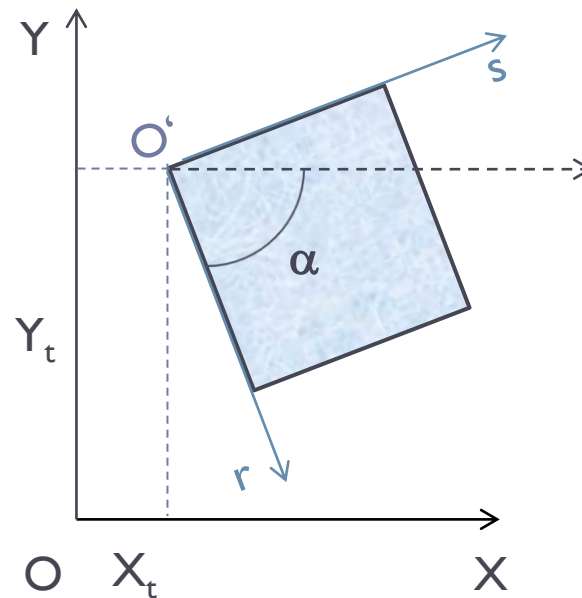
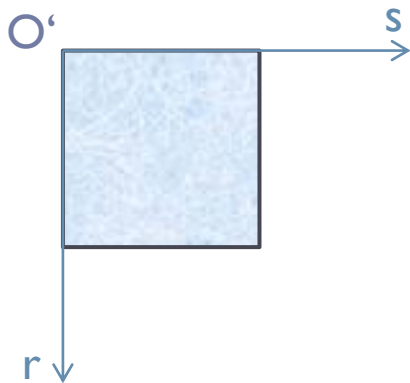
$$X = m \cos(\alpha) r - m \sin(\alpha) s + X_t$$

$$Y = m \sin(\alpha) r + m \cos(\alpha) s + Y_t$$

nebo substituce

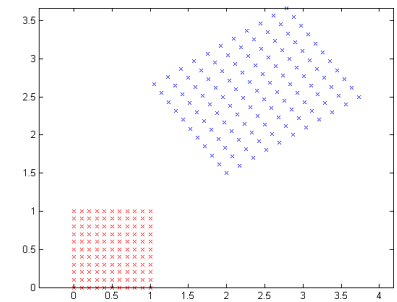
$$X = ar - bs + X_t \quad m = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$Y = br + as + Y_t \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}$$



# Afinní transformace v rovině

---



- ▶ Zachovává rovnoběžnost liniových prvků, nezachovává úhly
- ▶ Umístění naskenované mapy v referenčním souřadnicovém systému  $[O, X, Y]$  řeší pomocí 6 (5) parametrů:
  - ▶ posunutím  $X_t, Y_t$  tj. souřadnicemi počátku grafického systému naskenované mapy v systému  $[O, X, Y]$ ,
  - ▶ rotacemi  $\alpha_r, \alpha_s$  souřadnicových os grafického systému naskenované mapy vzhledem k systému  $[O, X, Y]$ ,
    - ▶ v případě 5 prvkové transformace se jedná pouze o jednu rotaci  $\alpha$
  - ▶ měřítky  $m_r$  a  $m_s$
- ▶ Minimální počet identických bodů: 3

# Afinní transformace v rovině

$$X = m_r \cos(\alpha_r)r - m_s \sin(\alpha_s)s + X_t$$

$$Y = m_r \sin(\alpha_r)r + m_s \cos(\alpha_s)s + Y_t$$

nebo substituce

$$X = ar + bs + X_t$$

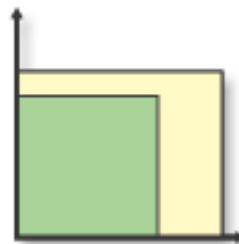
$$Y = cr + ds + Y_t$$

$$m_r = \sqrt{a^2 + c^2}$$

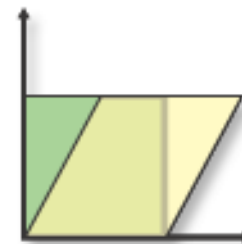
$$m_s = \sqrt{b^2 + d^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_r = \frac{c}{a}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{b}{d}$$



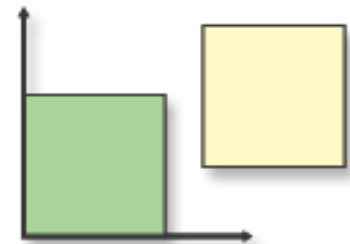
měřítko  $m_r \neq m_s$



zešikmení/rotace  $\alpha_r \neq \alpha_s$



rotace  $\alpha$

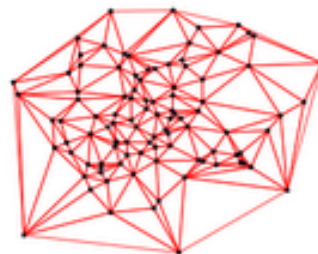


posunutí

# Afinní transformace – po částech

---

- ▶ Sestává ze dvou kroků:
  - ▶ Triangulace množiny identických bodů

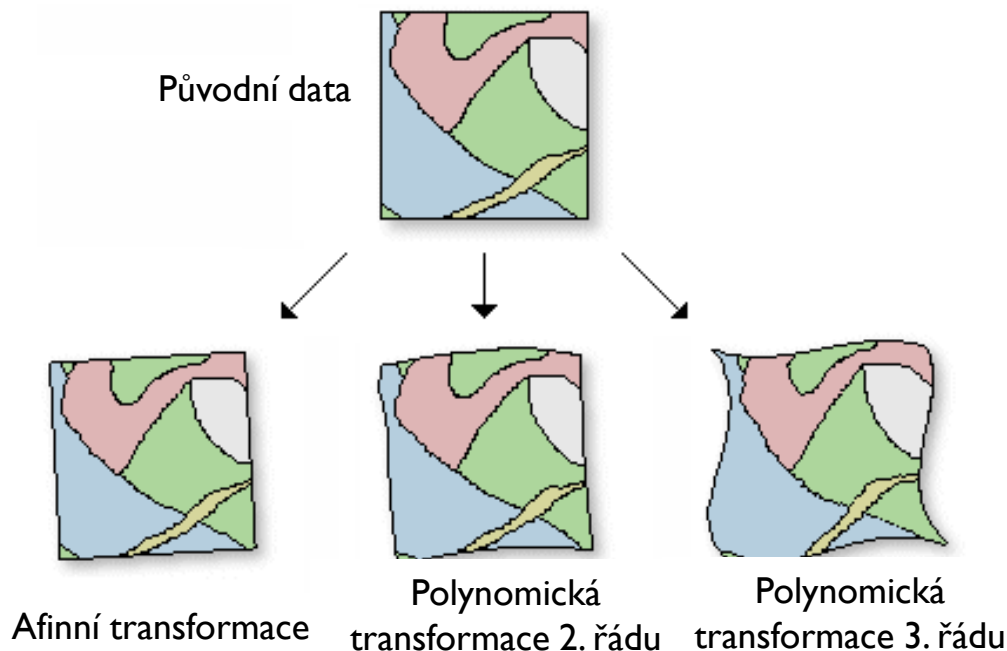


- ▶ Výpočet transformačního klíče pro každý trojúhelník

# Polynomická transformace

---

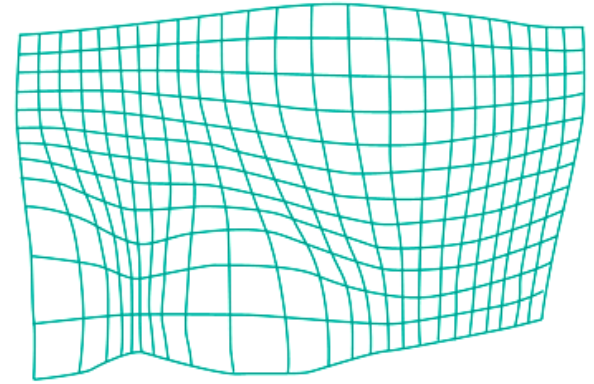
- ▶ Nelineární transformace = nezachovává liniové prvky
- ▶ Jako matematický model využívá polynom  $n$ -tého řádu ( $n \geq 2$ )
- ▶ Může způsobit značné deformace v obraze mimo oblast identických bodů → pro georeferencování mapových podkladů je vhodnější transformace afinní





# Polynomická transformace

---



## Polynomická transformace 2. řádu

- ▶ 12 parametrů
- ▶ Minimální počet identických bodů: 6

$$X = a_5 r^2 + a_4 s^2 + a_3 rs + a_2 r + a_1 s + a_0$$

$$Y = b_5 r^2 + b_4 s^2 + b_3 rs + b_2 r + b_1 s + b_0$$

## Polynomická transformace 3. řádu

- ▶ 20 parametrů
- ▶ Minimální počet identických bodů: 10

$$X = a_9 r^3 + a_8 s^3 + a_7 r^2 s + a_6 r s^2 + a_5 r^2 + a_4 s^2 + a_3 rs + a_2 r + a_1 s + a_0$$

$$Y = b_9 r^3 + b_8 s^3 + b_7 r^2 s + b_6 r s^2 + b_5 r^2 + b_4 s^2 + b_3 rs + b_2 r + b_1 s + b_0$$

# Transformace s nadbytečným počtem identických bodů

---

- ▶ V případě, že počet identických bodů je větší než minimální, řeší se výpočet transformačního klíče metodou vyrovnání – nejčastěji dle metody nejmenších čtverců (MNČ), tj. za splnění podmínky minima  $\mathbf{v}^T \mathbf{p} \mathbf{v}$ , kde
  - ▶  $\mathbf{v}$  – vektor oprav souřadnic na identických bodech
  - ▶  $\mathbf{p}$  – matice vah souřadnic identických bodů
- ▶ Lze využít tzv. robustní metody vyrovnání, které umožňují eliminovat chybně určené identické body (hrubá nepřesnost v zákresu staré mapy, chyba přiřazení bodů naskenované mapy a referenčního podkladu)
  - ▶ např. podobnostní transformace s využitím Huberova nebo Hampelova odhadu v SW MapAnalyst

# Thin plate spline

---

- ▶ Nereziduální transformace, tj. úplné ztotožnění map na identických bodech (nulové odchylky)
- ▶ Nevýhoda: nelineární chování splinové funkce mimo identické body → deformace původní mapy

$$X = a_0 + a_1 r + a_2 s + \sum_{i=1}^N F_i R_i^2 \ln R_i^2$$

$$Y = b_0 + b_1 r + b_2 s + \sum_{i=1}^N G_i R_i^2 \ln R_i^2$$

$$R_i = \sqrt{(r - r_i)^2 + (s - s_i)^2}$$

$$\sum_{i=1}^N F_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N G_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N r_i F_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N r_i G_i = 0$$

- ▶  $N$  ... počet identických bodů  $\sum_{i=1}^N s_i F_i = 0$   $\sum_{i=1}^N s_i G_i = 0$

# Uložení informace o prostorové referenci naskenované mapy

---

- ▶ Export do rastrového formátu, který umožňuje přímé uložení informace o prostorové referenci např. geotiff
- ▶ Pomocí textového souboru označovaného jako „World file“
  - ▶ např. \*.tfw, \*.jgw
  - ▶ Pevná struktura – 6 řádků (s uvedením příkladu konkrétní mapy)
    - ▶ 15.0 (*měřítko X, velikost pixelu v metrech*)
    - ▶ 0.00 (*afinita - měř.Y ve směru X*)
    - ▶ 0.00 (*afinita - měř.X ve směru Y*)
    - ▶ -15.0 (*měřítko Y, záporně*)
    - ▶ 1934001.5 (*X souřadnice levého horního pixelu*)
    - ▶ 187698.5 (*Y souřadnice levého horního pixelu*)
- ▶ kml (Keyhole Markup Language)
  - ▶ aplikace metajazyka XML pro publikaci a distribuci geodat
  - ▶ obsahuje informaci o uložení rastru (souřadnice rohů)
    - ▶ <LatLonAltBox>
    - ▶     <north>42.415241</north>
    - ▶     <south>42.333451</south>
    - ▶     <east>-71.049019</east>
    - ▶     <west>-71.170594</west>
    - ▶ </LatLonAltBox>

# Software pro georeferencování

---

- ▶ **Volně dostupný**
  - ▶ Georeferencer
  - ▶ MapAnalyst
  - ▶ MapRectifier
  - ▶ World Map WARP
  - ▶ Grass
  - ▶ ...
- ▶ **Komerční**
  - ▶ ArcGIS
  - ▶ MicroStation
  - ▶ GeoMedia
  - ▶ PCI Geomatica
  - ▶ ...