

# **MODELOVANIE DEFORMÁCIE ZEMSKÉHO POVRCHU V OBLASTI VODNEJ ELEKTRÁRNE LIPTOVSKÁ MARA**

**MODELING OF EARTH SURFACE DEFORMATION IN THE  
AREA OF WATER DAM LIPTOVSKÁ MARA**

**Marcel Mojzeš Branislav Hábel**

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta,  
Katedra geodetických základov, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

# Motivácia

- Presnosť GNSS meraní dosahuje 2 mm v určení horizontálnej polohy a 3-5 mm v elipsoidickej výške
- Presnosť určenia absolútnej hodnoty tiažového zrýchlenia 1-2  $\mu\text{Gal}$
- Informácie o nestabilite zemského povrchu významne prispievajú k projektovaniu náročných technických diel z hľadiska ich ochrany a bezpečnosti

# Realizácia projektu ITMS

- Slovenská technická univerzita v Bratislave vybudovala „**Národné centrum diagnostikovania deformácii zemského povrchu na území Slovenska**“
- Referenčná monitorovacia sieť obsahuje 9 permanentných staníc, vybavených prijímačmi družicových signálov GNSS za účelom monitorovania geometrických zmien v polohe.
- Pri každom bode tejto monitorovacej siete je zriadený absolútny gravimetrický bod na monitorovanie vertikálnych zmien zemského povrchu opakovaným meraním tiažového zrýchlenia.

# Gánovce



# Banská Štiavnica



# Lomnický štít

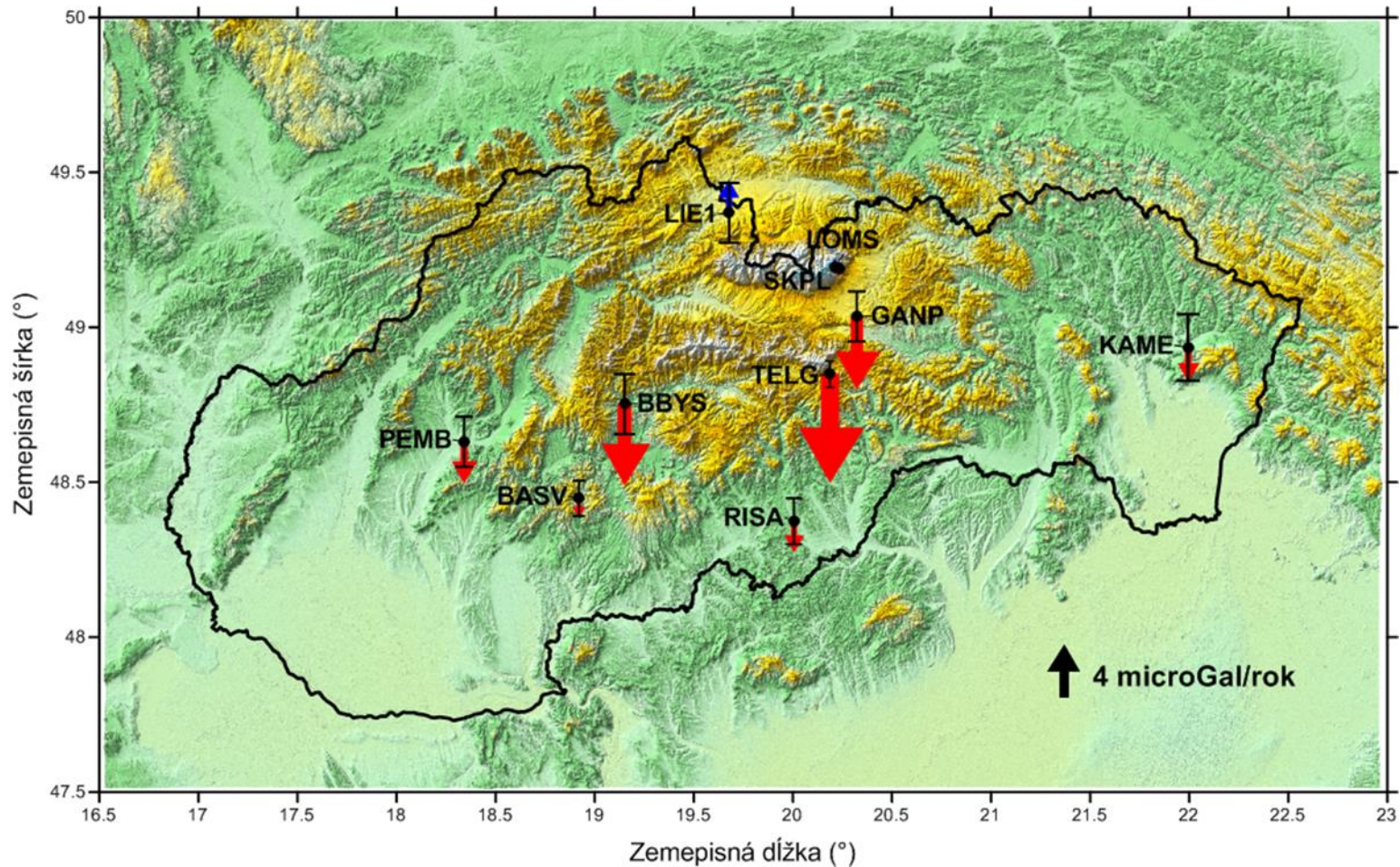




# Absolútny gravimeter FG5-X 247 počas meraní v Banskej Bystrici



# Rýchlosti zmien tiažového zrýchlenia

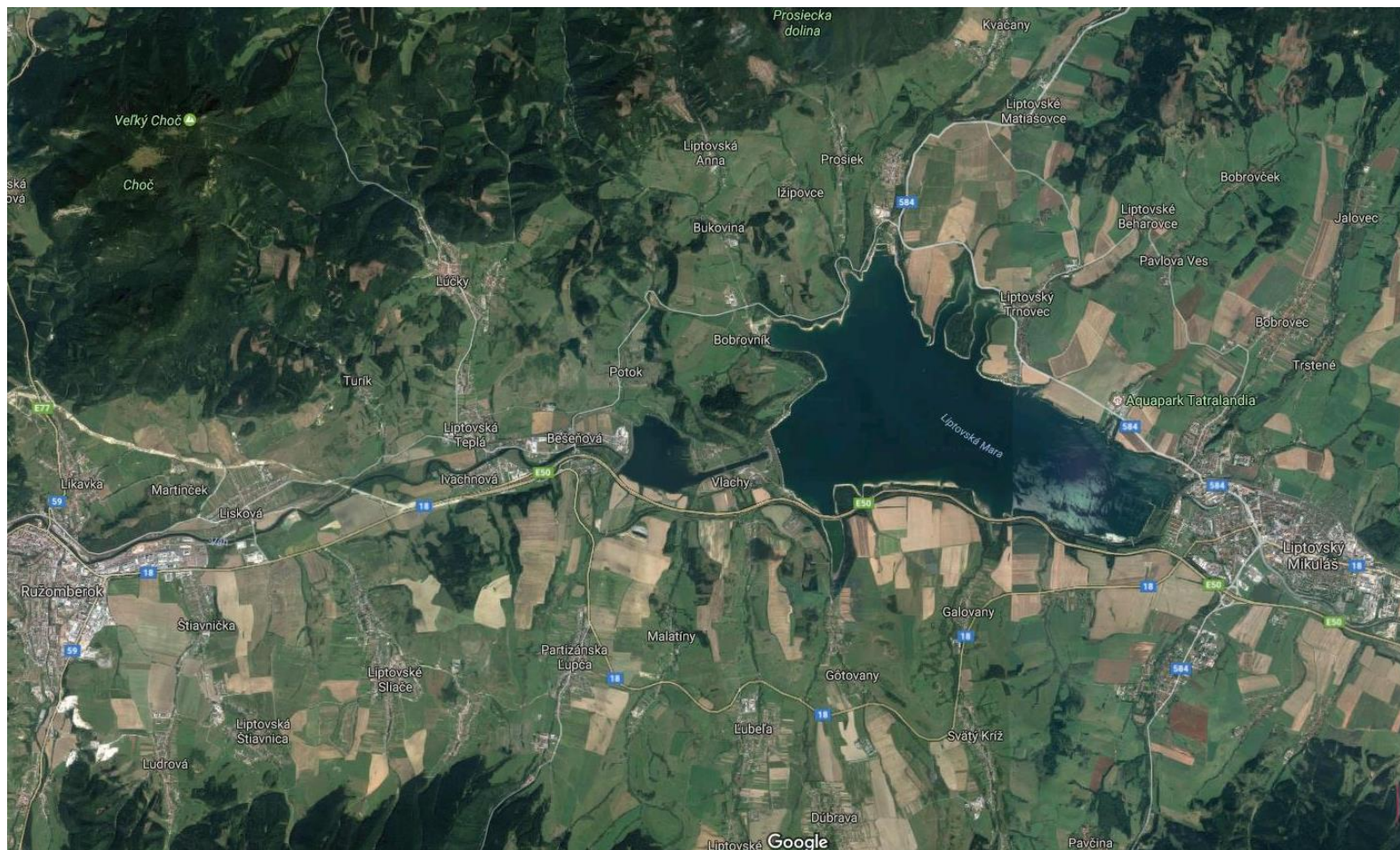




# Modelovanie deformácií zemského povrchu

- **Praktický experiment** sme aplikovali na vodnú nádrž Liptovská Mara (druhá najväčšia vodná nádrž na území SR).
- Pod Liptovskou Marou vo vzdialenosti asi 0.5 km sa nachádza vodná nádrž Bešeňová. Obe vodné nádrže boli vybudované v roku 1977. Priehradový múr na Liptovskej Mare je vytvorený sypanou hrádzou.
- Poloha sypanej hrádze bola kontrolovaná štandardnou triangulačnou metódou. Kontrolné merania realizovali pracovníci Katedry geodézie Žilinskej univerzity v Žiline (doc. Štubňa).
- Výsledky meraní sú publikované v podobe záverečných správ.

# Poloha vodných nádrží Bešeňová a Liptovská Mara prevzatá z Google Maps



# Matematicko-fyzikálny model

$$\mathbf{d}(\mathbf{p}) = -\frac{1}{4\pi} \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda + \mu} \frac{\partial U(\mathbf{p})}{\partial x} + \frac{z}{\mu} \frac{\partial V(\mathbf{p})}{\partial x} \\ \frac{1}{\lambda + \mu} \frac{\partial U(\mathbf{p})}{\partial y} + \frac{z}{\mu} \frac{\partial V(\mathbf{p})}{\partial y} \\ \frac{z}{\mu} \frac{\partial V(\mathbf{p})}{\partial z} - \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda\mu + \mu^2} V(\mathbf{p}) \end{bmatrix}$$

$$U(\mathbf{p}) = \int_{\Omega} p_z(\mathbf{r}) \ln(z + |\mathbf{r} - \mathbf{p}|) d\Omega,$$

$$V(\mathbf{p}) = \int_{\Omega} \frac{p_z(\mathbf{r})}{|\mathbf{r} - \mathbf{p}|} d\Omega, \quad \mathbf{r} = (x', y', 0),$$

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$\lambda, \mu$  sú Lamého konštanty, ktoré spájajú Youngov modul pružnosti  $E$  a Poissonovo pomerné číslo  $\nu$ .

# Výsledné vzťahy pre posuny v smere súradnicových osí

$$dx = -\frac{p_z}{4\pi\mu} \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i) \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} S_{1i} + S_{2i} \right),$$

$$dy = -\frac{p_z}{4\pi\mu} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1}) \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} S_{1i} + S_{2i} \right),$$

$$dz = \frac{p_z}{4\pi\mu} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \left\{ S_{2i} - \frac{\mu}{\lambda + \mu} [S_{3i} - z_i \alpha_i(\mathbf{0})] \right\},$$

Numerické riešenie bolo vykonané v prostredí MATLAB (D'URSO, M. G.; MARMO, F.: *On a generalized Love's problem. Computers&Geosciences 61 (2013) 144-151*, D'URSO, M. G.;RUSSO, P. (2002):*A new algorithm for point-in-polygon test. Survey Review 36, 284-309* ).



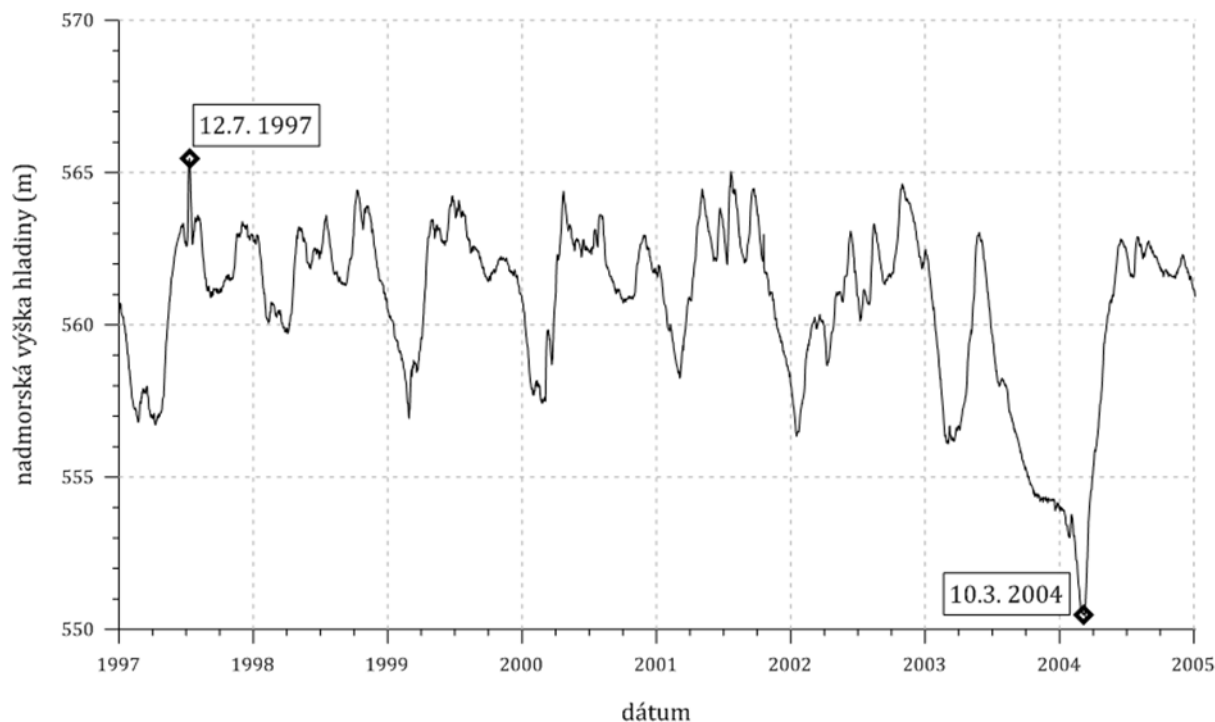
# Použité parametre (1)

- **Youngov modul pružnosti**  
 $E = 0.050 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- **Poissonovo pomerné číslo**  
 $\nu = 0.25$
- **Digitálny model reliéfu DMR 3.5**  
z územia 15 km x 10 km s gridom  
10 m x 10 m poskytol Geodetický  
a kartografický ústav v Bratislave

# Použité parametre (2)

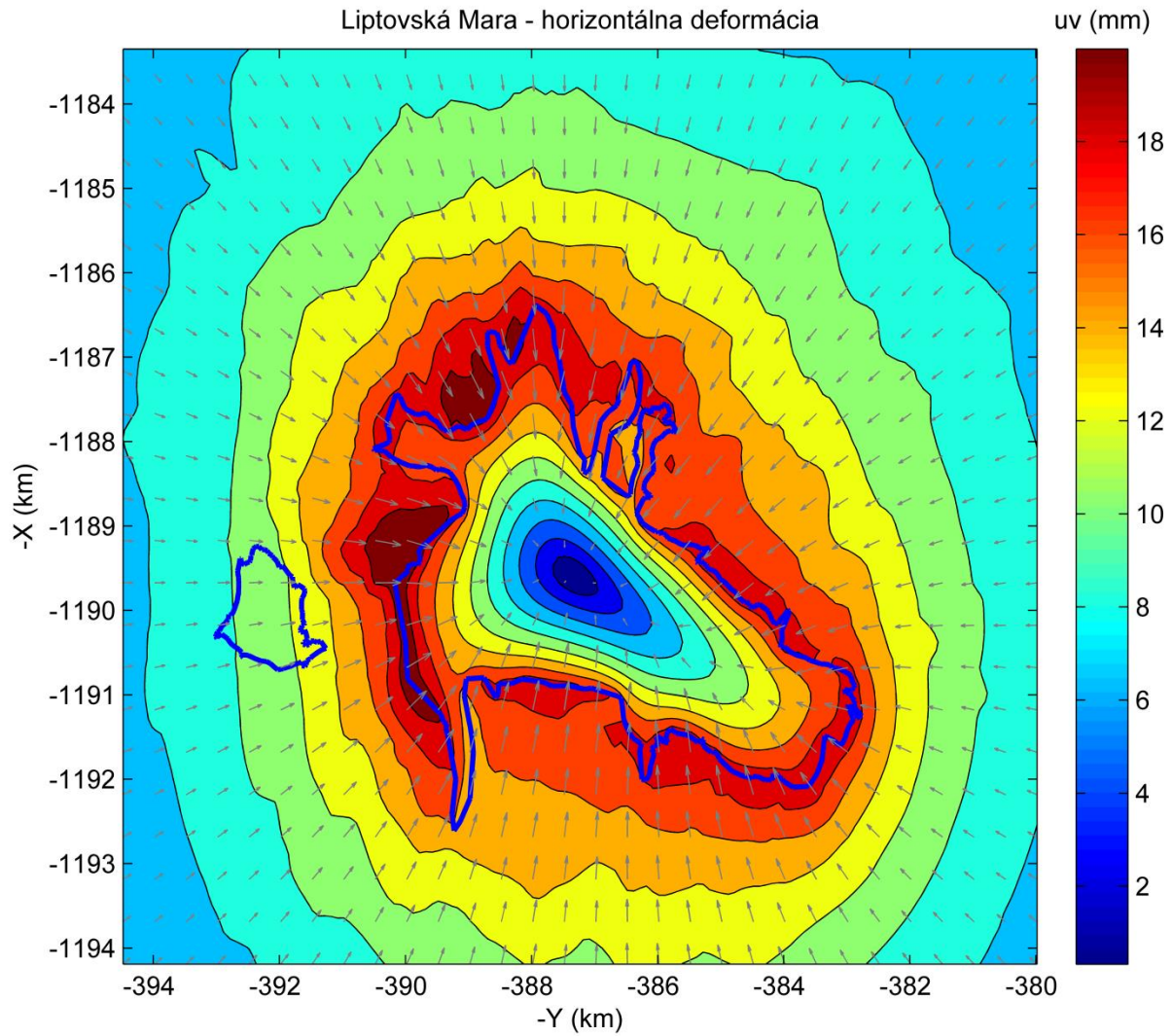
- Hustota vody  $\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$ ,
- Hĺbka vody v Liptovskej Mare  $h = 15.04 \text{ m}$ ,
- Tlak vody v Liptovskej Mare  $p_z = 147\,542.4 \text{ Pa}$ ,
- Hĺbka vody v nádrži Bešeňová  $h = 3.71 \text{ m}$ ,
- Tlak vody v nádrži Bešeňová  $p_z = 36\,395.1 \text{ Pa}$ .

# Variácia vody vo vodnej nádrži Liptovská Mara



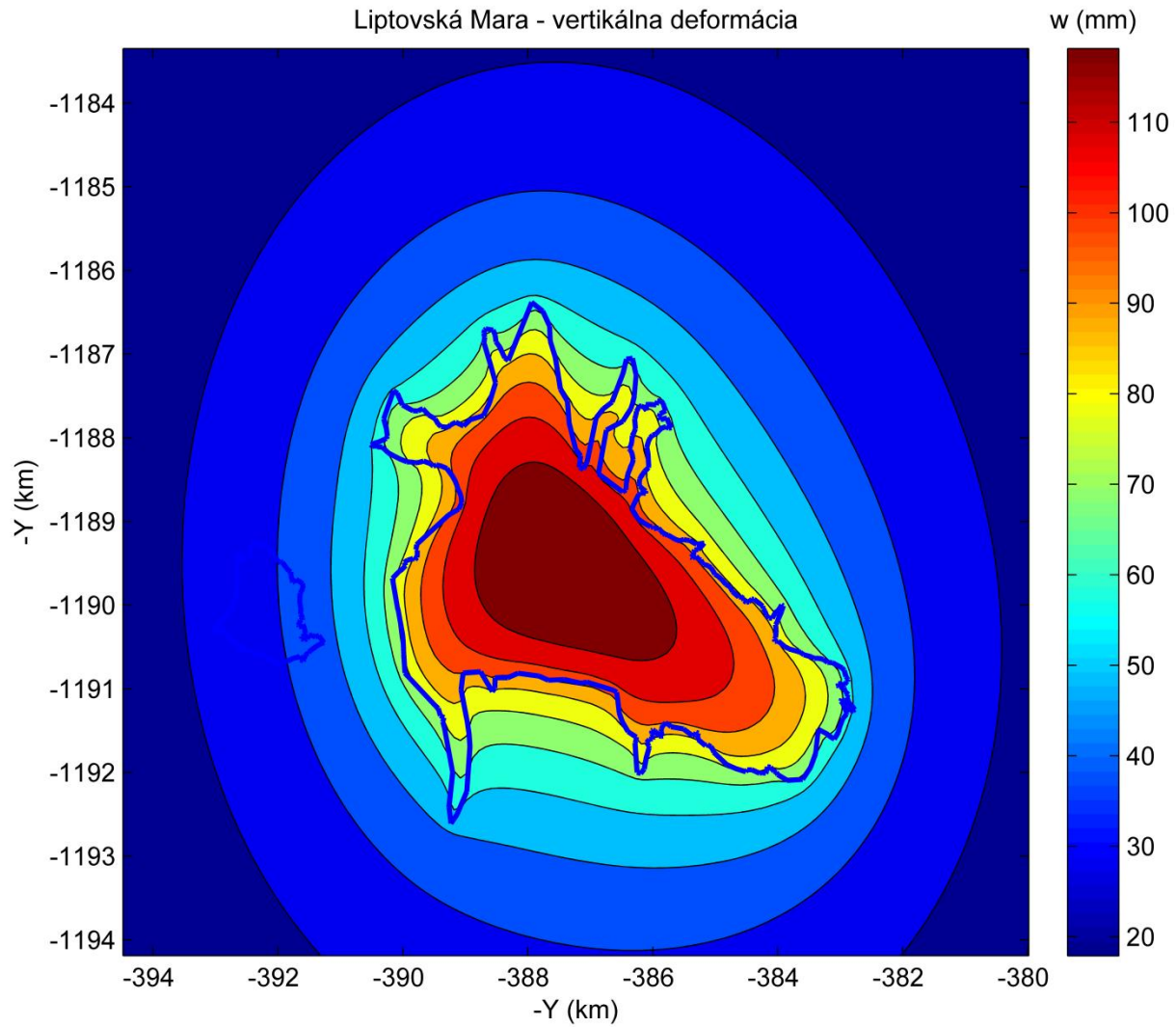
Záznam poskytl Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava

Liptovská Mara - horizontálna deformácia

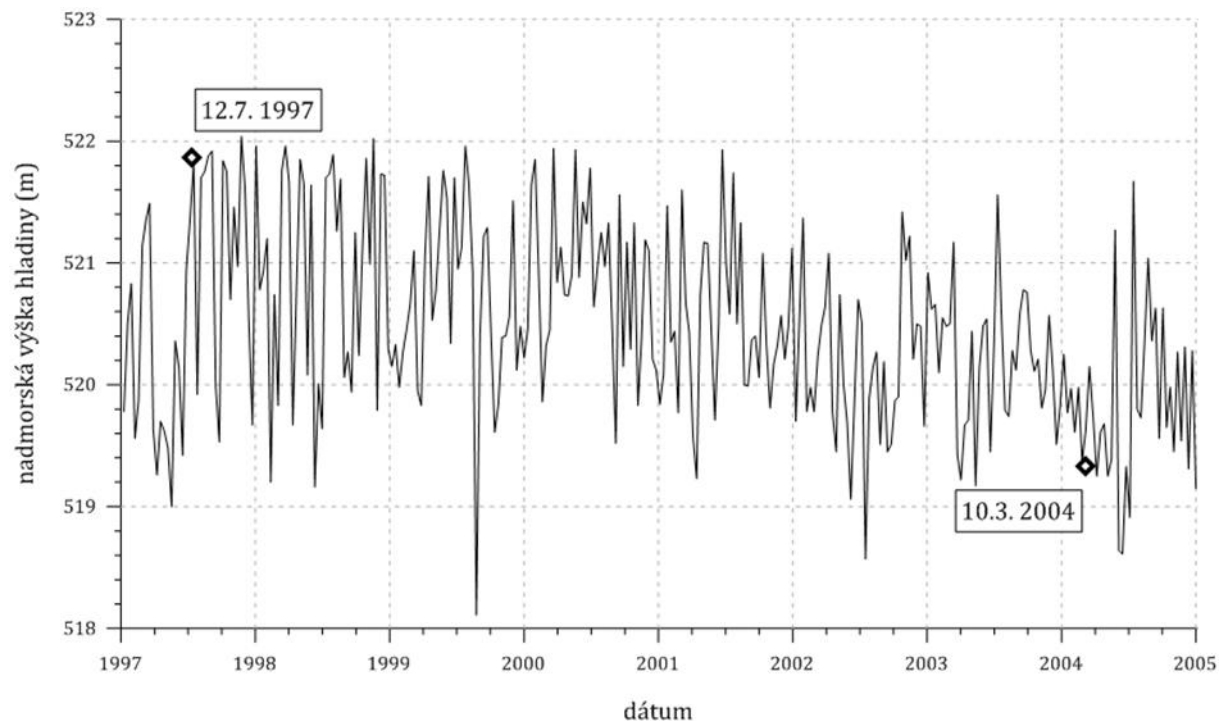




Liptovská Mara - vertikálna deformácia

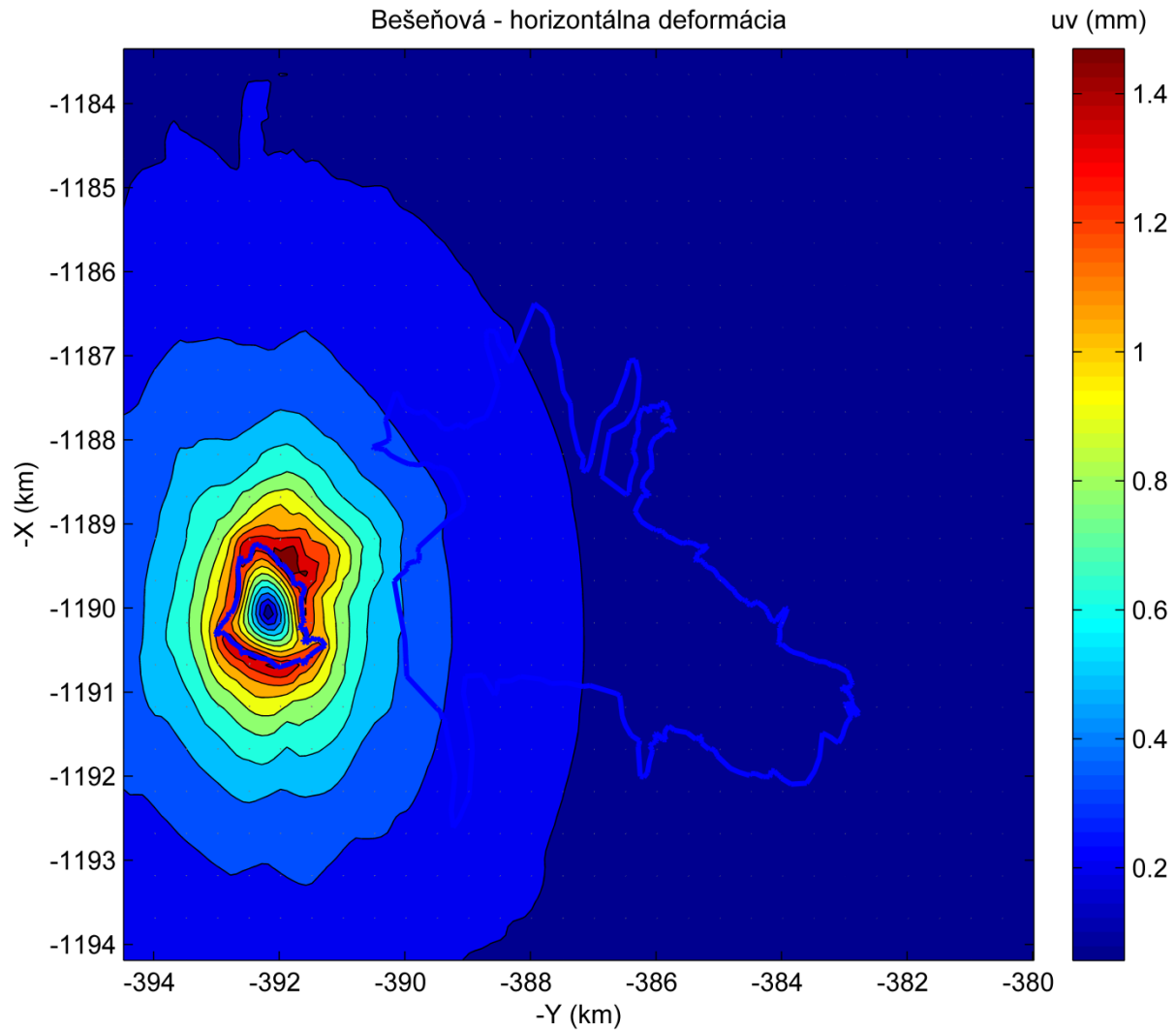


# Variácia vody vo vodnej nádrži Bešeňová

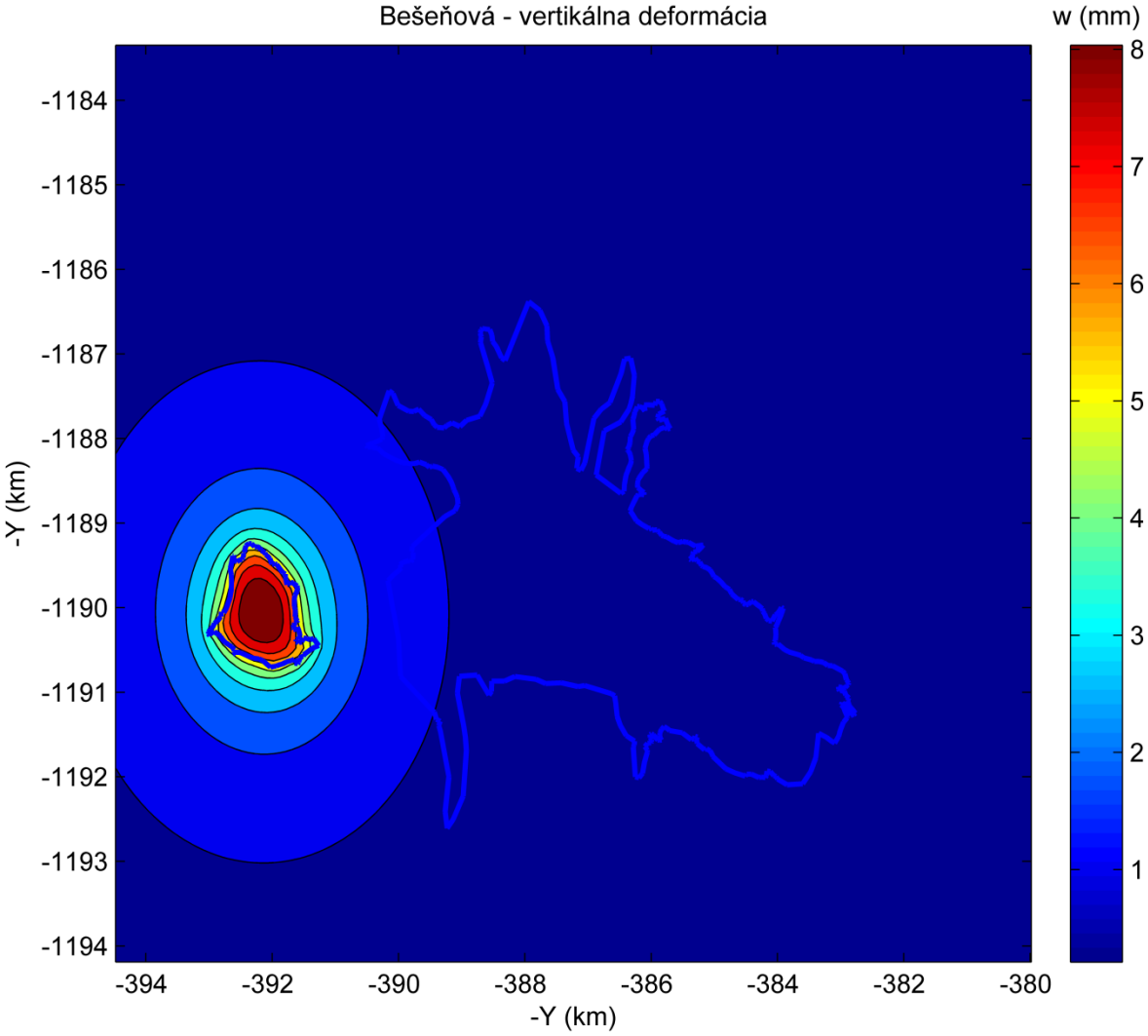


Záznam poskytl Vodohospodárska výstavba š.p. Bratislava

Bešeňová - horizontálna deformácia

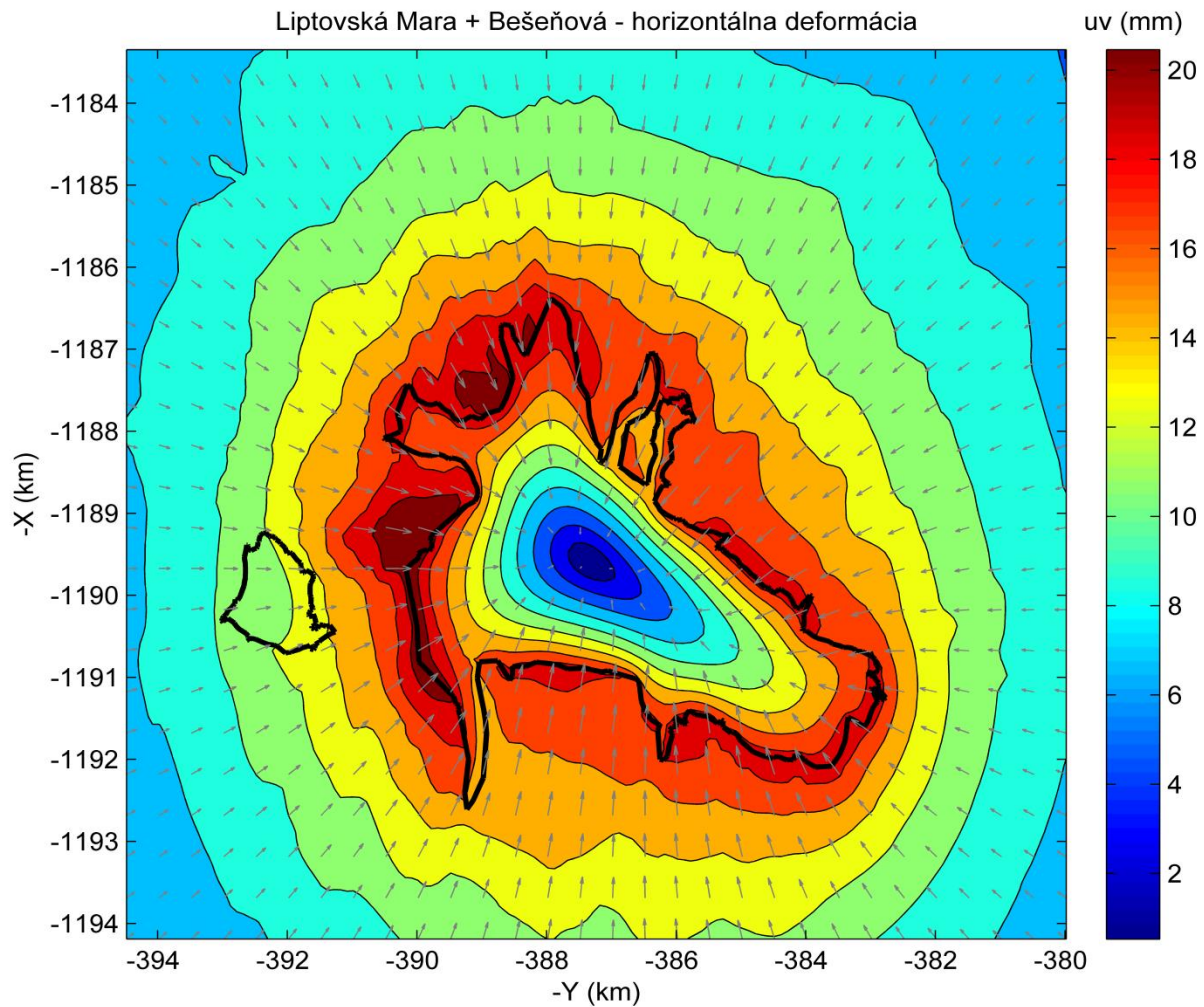


Bešeňová - vertikálna deformácia

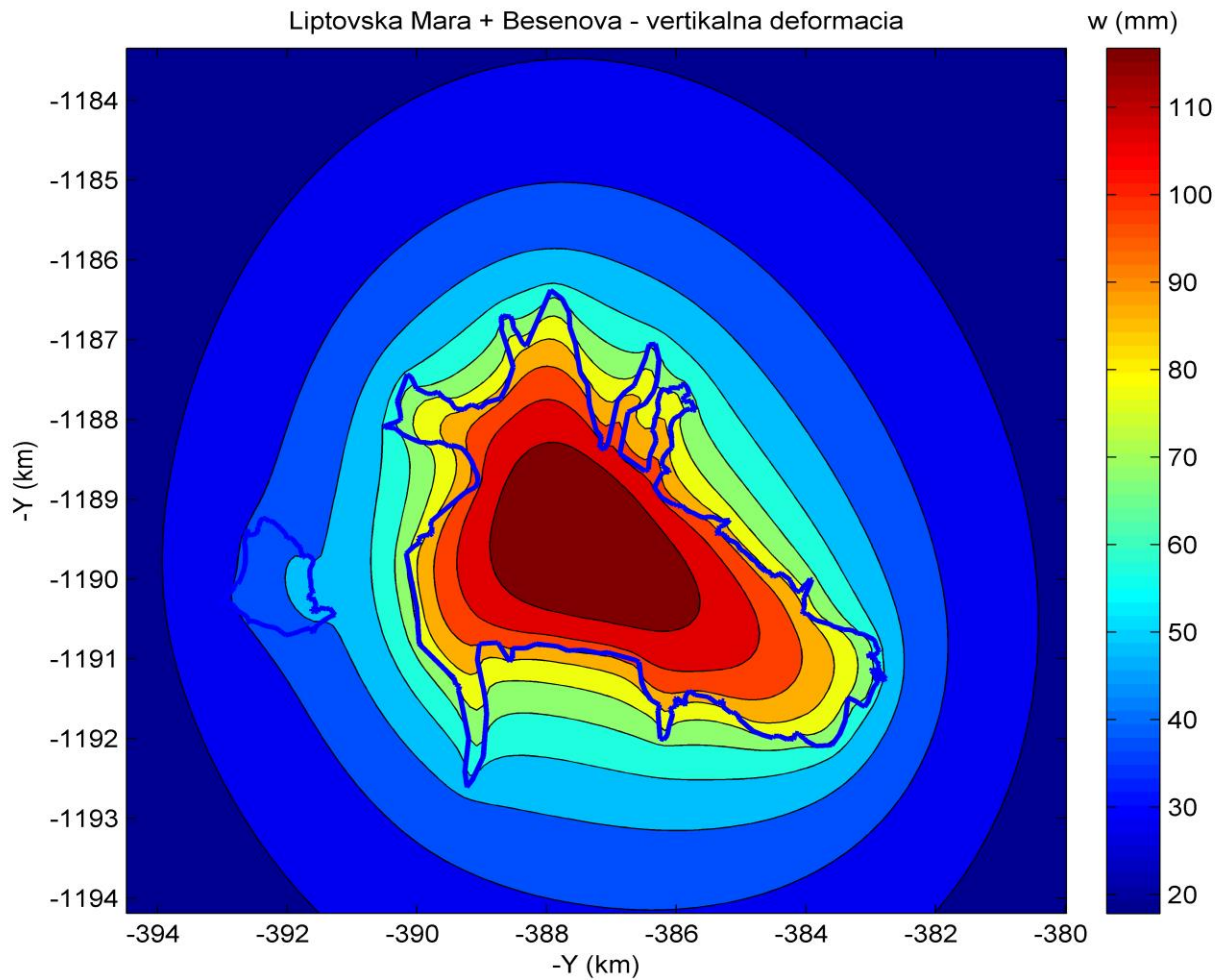




# Integrovaná horizontálna deformácia



# Integrovaná vertikálna deformácia



# Dopravná infraštruktúra v okolí vodných nádrží Liptovská Mara a Bešeňová



# Trhliny vo vrchnej vrstve asfaltu na diaľnici pri vodnej nádrži Liptovská Mara, zdokumentované 1.09.2016 (Mojzeš)





# Záver

- Variácia hmotnosti vody vo vodnej nádrži deformuje zemský povrch nielen pod hladinou vody, ale aj na ploche v jej okolí, ktorá sa prejaví na deformácii okolitej infraštruktúry.
- Je nutné pristúpiť k novej komplexnej forme monitorovania deformácie zemského povrchu v okolí vodných nádrží, ktorá bude rešpektovať súčasné vedecké poznatky.

**ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ!**