

ZÁKLADY APLIKOVANEJ GRAVIMETRIE



Pašteka Roman a kol.

Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky,

Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

(použité aj materiály Ústavu vied o Zemi SAV a spoločnosti G-trend s.r.o.)

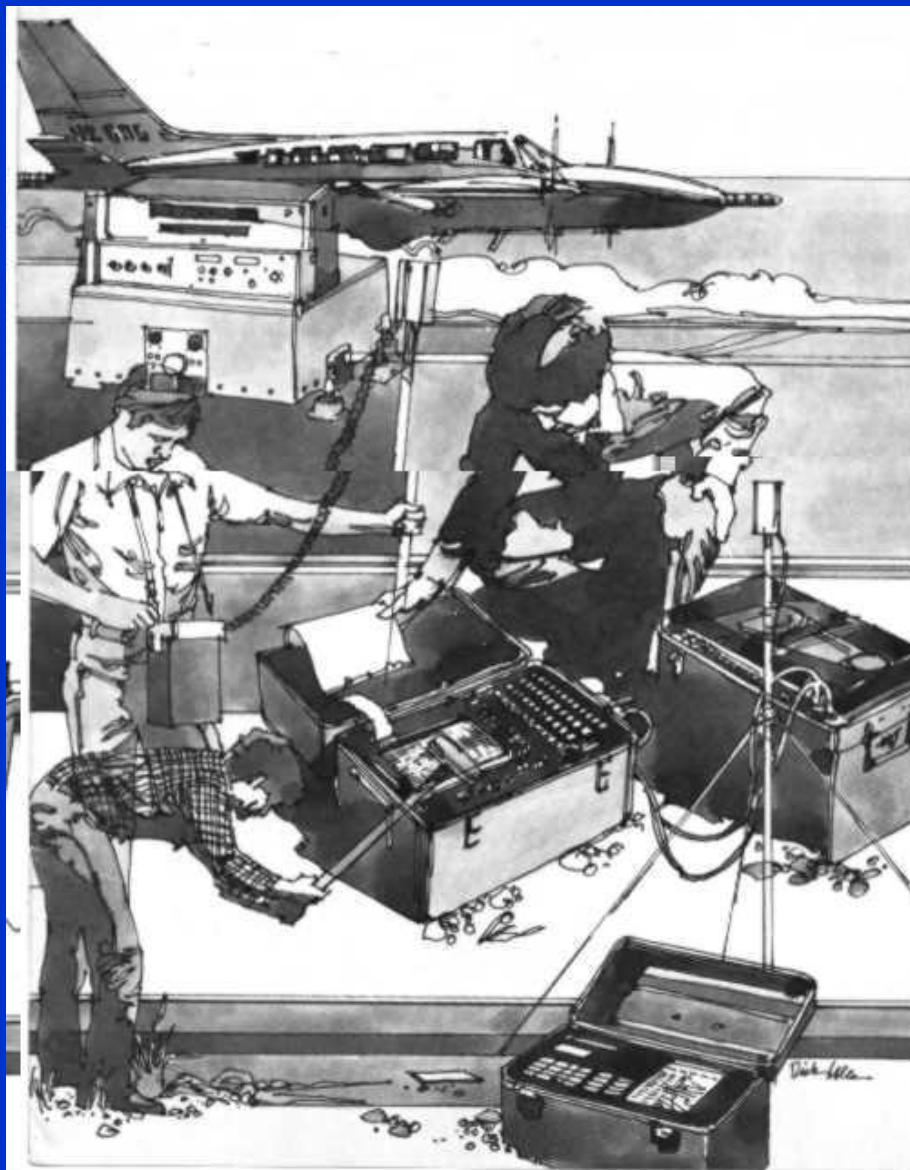
roman.pasteka@uniba.sk

ZÁKLADY APLIKOVANEJ GRAVIMETRIE

Obsah prednášky:

- ujasnene si základných pojmov (tiažové zrýchlenie g)
- fyzikálne jednotky v gravimetrii
- meranie tiažového zrýchlenia (prístroje)
- hustoty (minerálov a hornín)
- spracovanie meraní (úplné Bouguerove anomálie, ÚBA)
- interpretácia
- príklady využitia gravimetrie

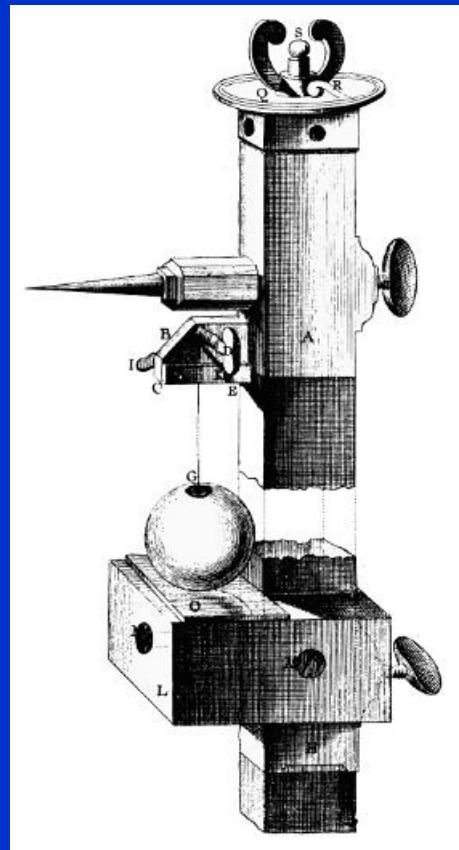
METÓDY APLIKOVANEJ GEOFYZIKY



- **gravimetria**
- **magnetometria**
- **geoelektrika**
- **seizmika**
- **karotáž**
- **rádiometria**
- **seizmológia**

GRAVIMETRIA

Meranie, vyhodnocovanie a interpretácia tiažových meraní („*gravis*“ – tiažký, „*metrein*“ - merat’)

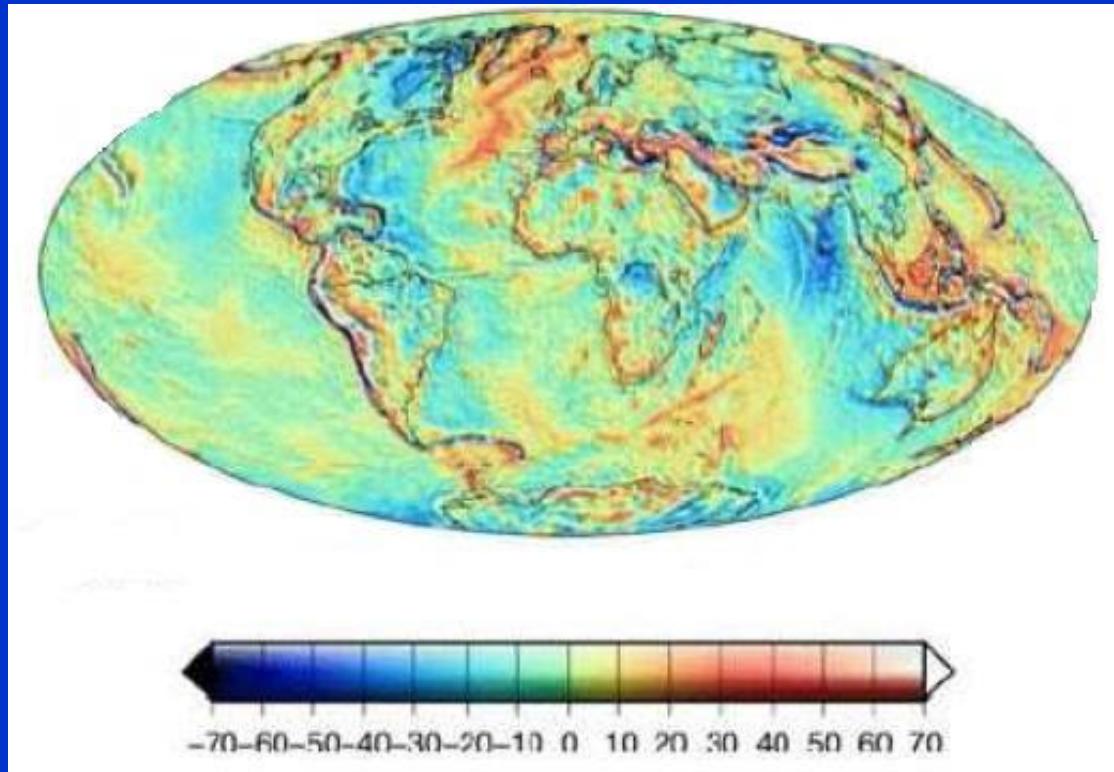


GRAVIMETRIA: fyzikálna geodézia (tiažové pole tvar Zeme) a aplikovaná gravimetria (štúdium hustotných nehomogenít v litosfére)

UJASNENIE SI ZÁKLADNÝCH POJMOV

*hodnota g (tiažového zrýchlenia) je ... ?
konštantná?*

- a) *pre telesá s rozdielnou hmotnosťou v tom istom bode?*
- b) *pre telesá s rovnakou hmotnosťou v rôznych bodoch?*



globálne anomálie tiažového poľa Zeme (zo satelitných meraní)

UJASNENIE SI ZÁKLADNÝCH POJMOV

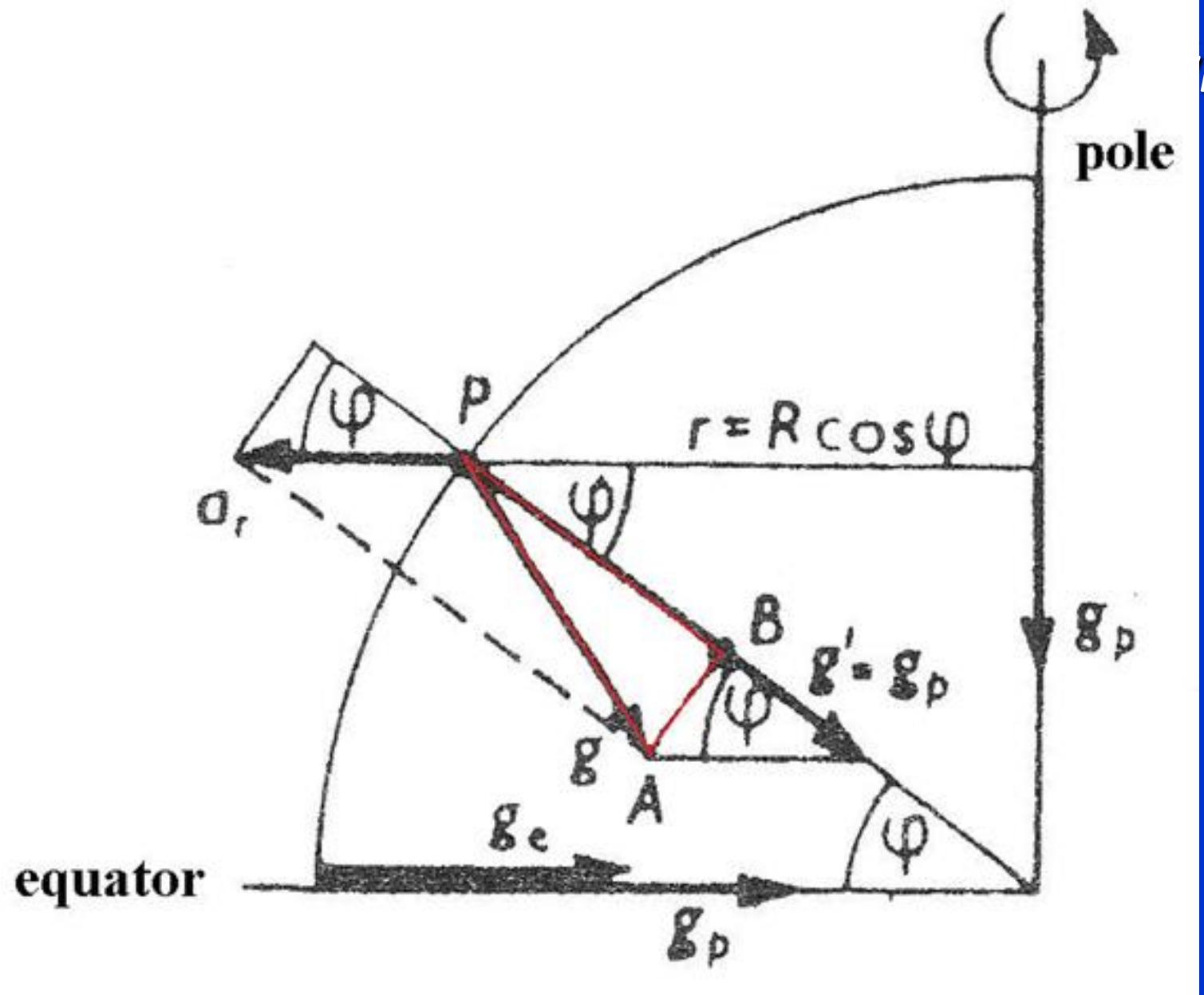
*Existuje vlastne rozdiel medzi gravitačným a tiažovým zrýchlením (alebo ide o synonymum)?
(aj v angličtine: gravitational vs gravity acceleration)*

gravitačné - „čistá príťažlivosť“ Zeme
(v zmysle „Newtonovho gravitačného zákona“)

tiažové (merané) – výsledok vektorového súčtu gravitačného zrýchlenia a odstredivého zrýchlenia Zeme

Pomer odstredivého a gravitačného zrýchlenia Zeme je veľmi malý ≈ 0.005
(na póle je g cca $9.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, na rovníku cca $9.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

UJASNENIE SI ZÁKLADNÝCH POJMOV



equator pole
je

(na póle je g cca $9.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, na rovníku cca $9.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Meraná veličina v gravimetrii

Merané g je vektor, avšak pracujeme so skalárom g .

používané jednotky v gravimetrii

systém SI: jednotka $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

používané sú násobky:

$$1 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2} = 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

systém CGS: jednotka Gal

$$1 \text{ mGal} = 10 \mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$1 \text{ Gal} = 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$1 \mu\text{Gal} = 0.001 \text{ mGal}$$

predstava o presnosti dnešných gravimetrických meraní

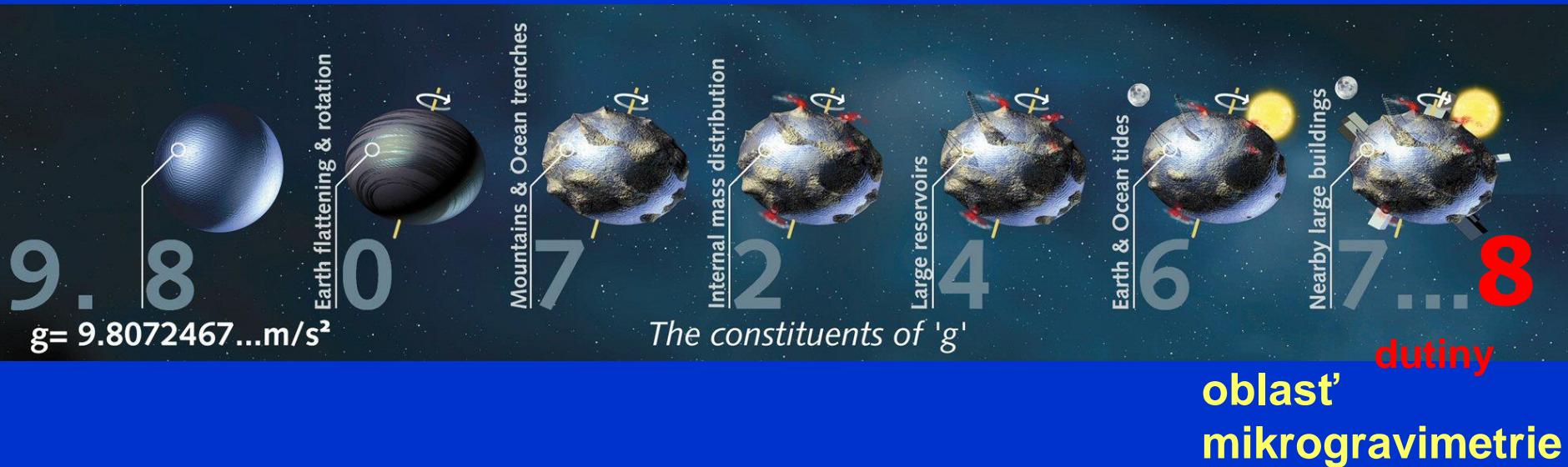
$$g = 9.82345678 \text{ m/s}^2$$

úroveň mGal

úroveň μGal

súčasné prístroje merajú s presnosťou

$$0.01 \text{ do } 0.001 \text{ mGal} = 10 \text{ do } 1 \mu\text{Gal}$$



meranie v gravimetrii

**prístroje na meranie tiažového
zrýchlenia sa nazývajú gravimetre**

absolútne gravimetre

**laboratórne,
vyššia presnosť:
0.001 mGal,
voľný pád,
pomalšie (hodiny)**

Micro-g FG-5



relatívne gravimetre

**terénné,
nižšia presnosť:
0.01-0.005 mGal,
pružinový systém
rýchlejšie (minúty)**

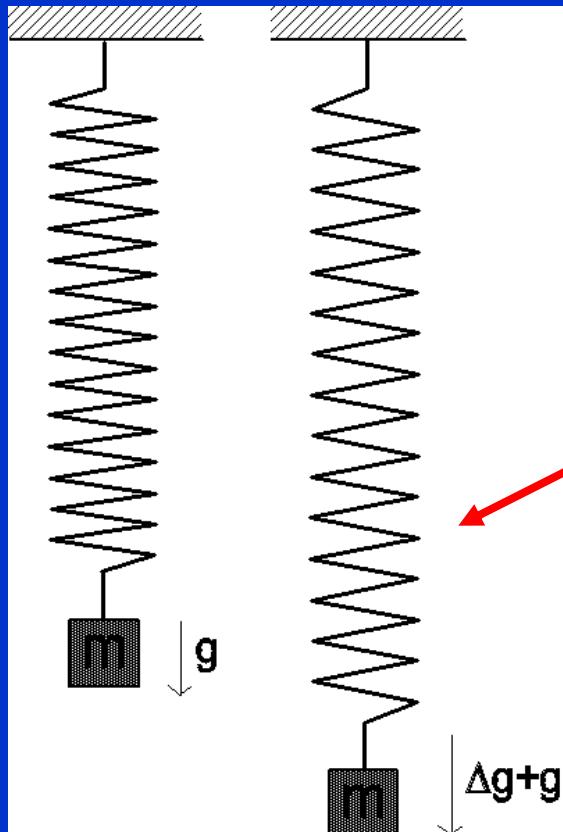


Scintrex CG-5

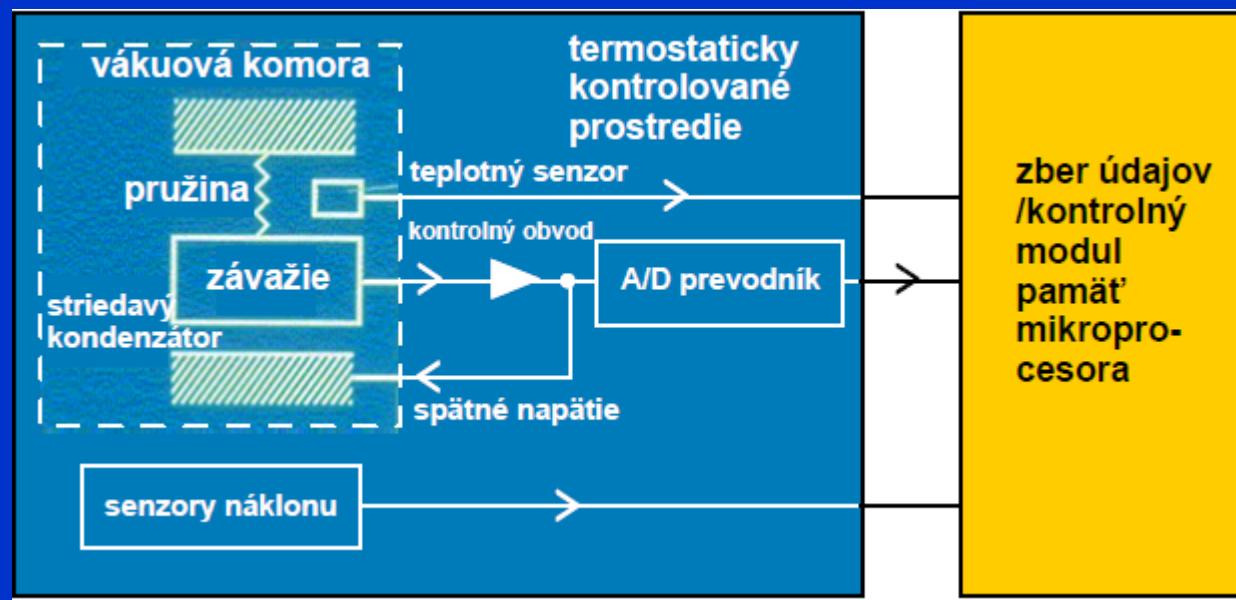
relatívny (pružinový) gravimeterr

meranie – automatické (tzv. Autograv systém)

lineárny systém



CG-6

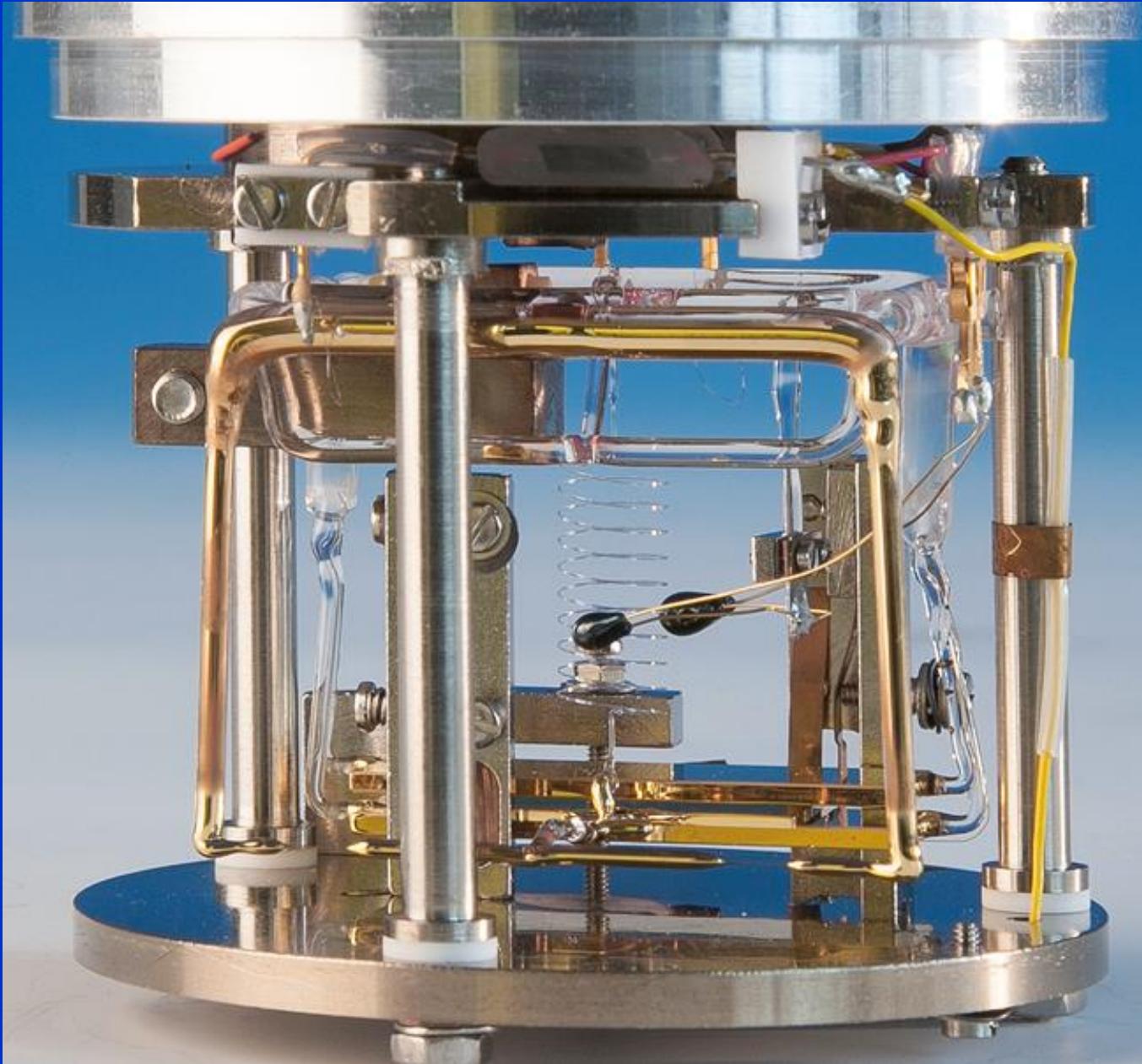


relatívny (pružinový) gravimeter



SCINTREX
Autograv
CG-3M Automated Gravity Meter

relatívny (pružinový) gravimeter



ZÁKLADY APLIKOVANEJ GRAVIMETRIE

Obsah prednášky:

- ujasnenie si základných pojmov (tiažové zrýchlenie g)
- fyzikálne jednotky v gravimetrii
- meranie tiažového zrýchlenia (prístroje)
- hustoty (minerálov a hornín)
- spracovanie meraní (úplné Bouguerove anomálie, ÚBA)
- interpretácia
- príklady využitia gravimetrie

Základný materiálový parameter v gravimetrii

- hustota,

študujeme prejavy hustotných nehomogenít litosféry v nameranom (anomálnom) poli g

jednotky (systém SI): $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

používané sú násobky:

$$1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 1 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3} = \\ = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Rozpätie hustôt minerálov:

od 0.98 (ľad) po $22.59 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (čisté Osmium)

(príklad: olovo: $11.34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, zlato: $19.32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)



Rozpätie hustôt hornín:

od $1.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (hlina) po $3.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (eklogit)

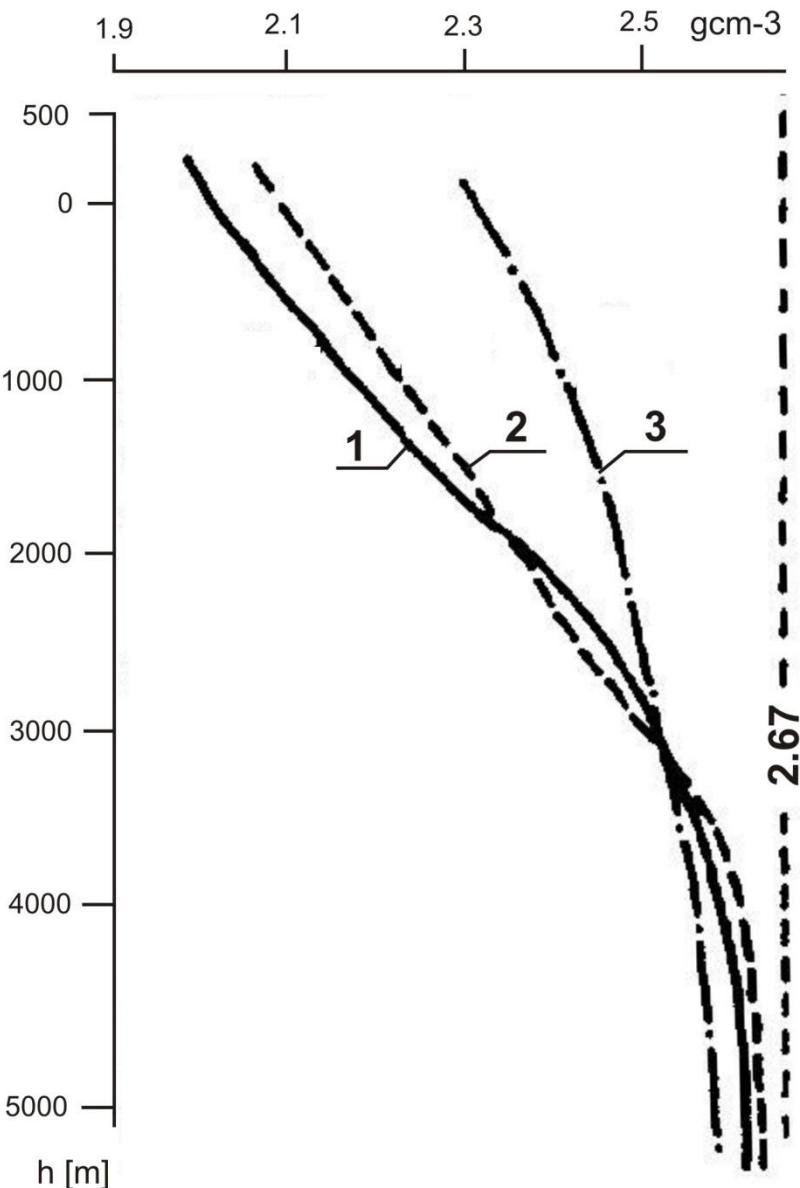
(granit: $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, vápenec: $2.70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, fyllit: $2.75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

Priemerná hustota vrchnej časti zemskej kôry na základe gravimetrie je na platformách približne $2.67 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Často pracujeme s diferenčnými hustotami (rozdielmi).

sedimentárne horniny

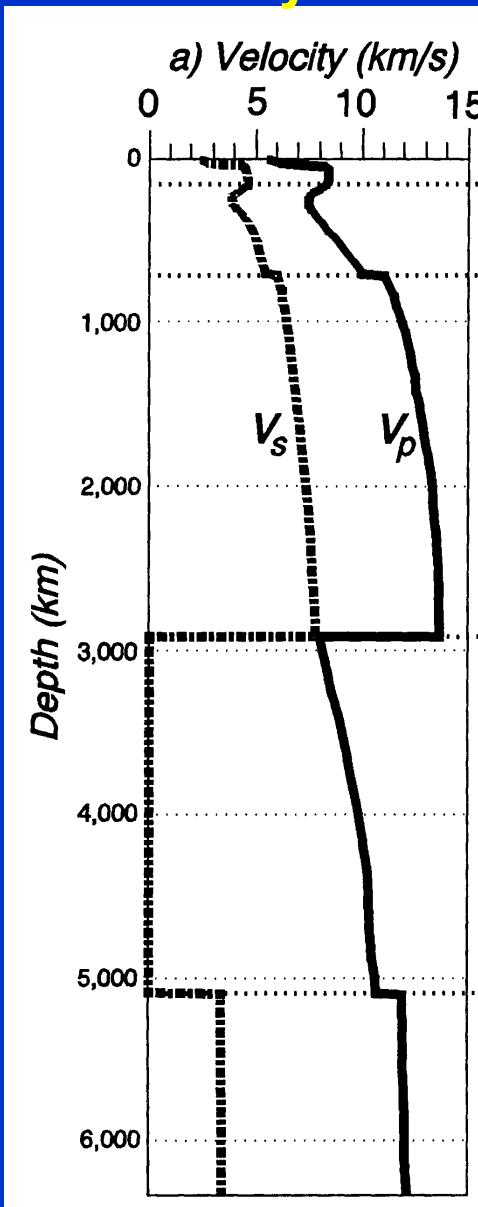
- dôležitý je
nárast hustoty
s hĺbkou
(kompakcia horniny
ale narastá aj s jej
vekom)



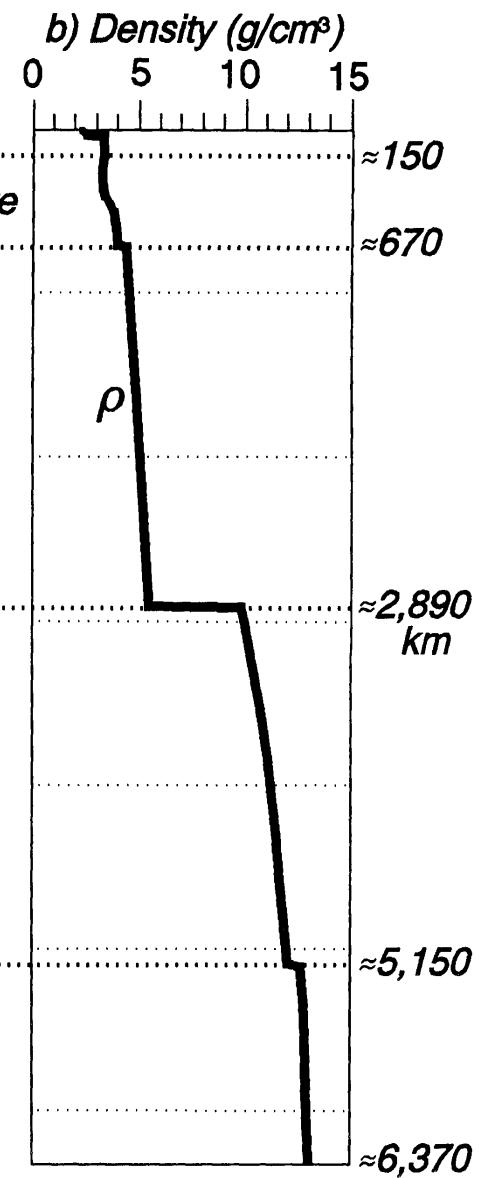
Obr. 3. Závislosť prirodzených hustôt na hĺbke panví. Vysvetlivky: 1 - viedenská panva, 2 - dunajská panva, 3 - Východoslovenská nížina (Šefara et al., 1987).

nepriame metódy určovania hustôt – zo seismológie

rýchlosť



hustota



Lithosphere
Asthenosphere
Lower Mantle (Mesosphere)
Outer Core
Inner Core

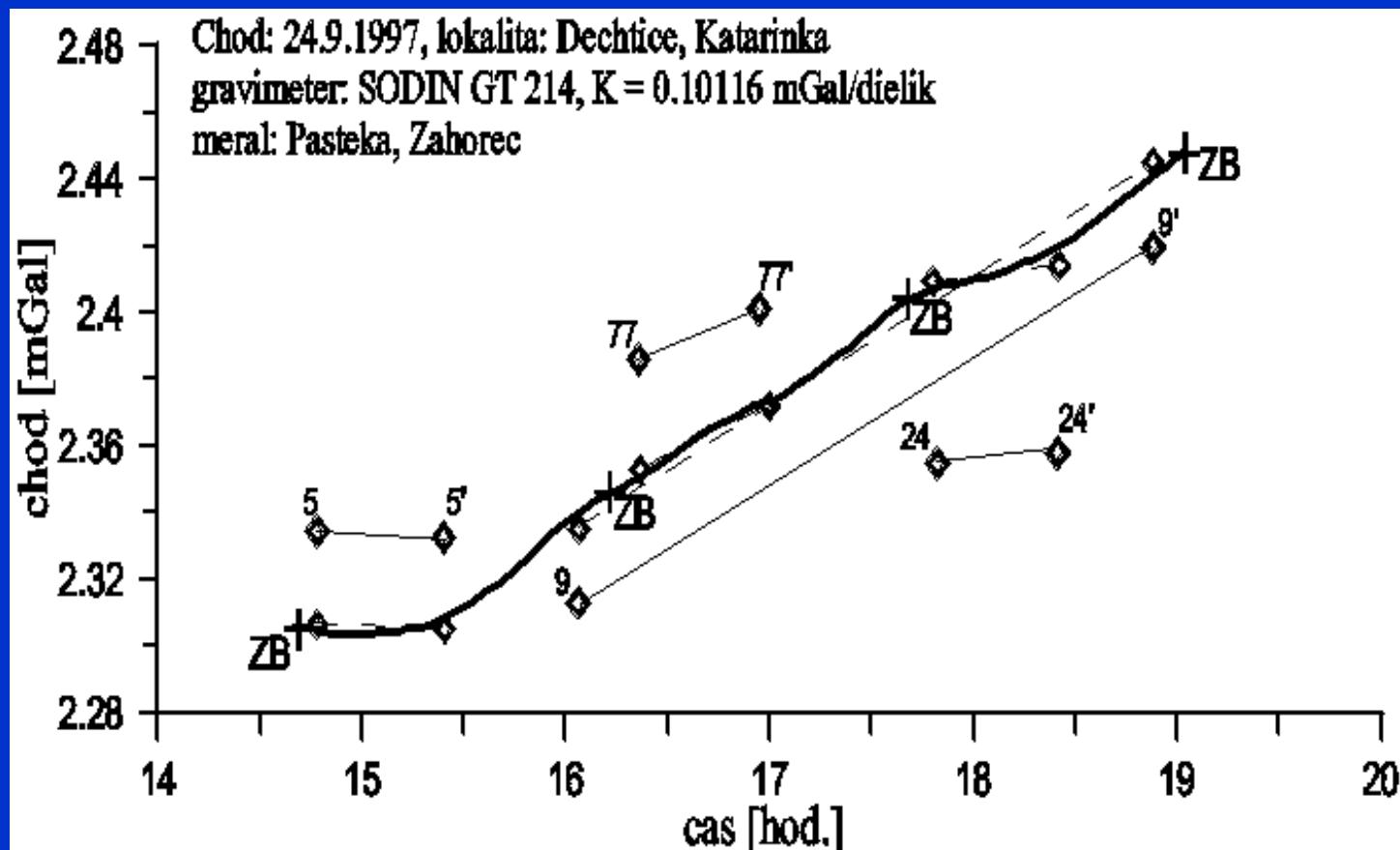
Meranie a základné spracovanie dát v gravimetrii:

- samotné meranie s prístrojom v teréne
(potrebné je veľmi presné urovnanie prístroja)
- prevod na jednotky zrýchlenia (mGal) (pri moderných netreba)
- presné geodetické zameranie polôh bodov (najmä výšok)
- oprava o chod prístroja
- prepočet na absolútну hodnotu (pri relat. meraniach)
s využitím známych hodnôt (gravimetrickej siete)
- výpočet chyby merania z kontrolných bodov (QC)
- výpočet tzv. Bouguerových anomálií
(zahŕňa v sebe aj výpočet tzv. terénnych korekcií)

meranie v gravimetrii

musí sa odstraňovať tzv. chod prístroja (drift)

spôsobený: otraski, zmenami teploty a tlaku,
slapovými účinkami Slnka a Mesiaca
(moderné gravimetre vedia slapy zrátat' a odstrániť')



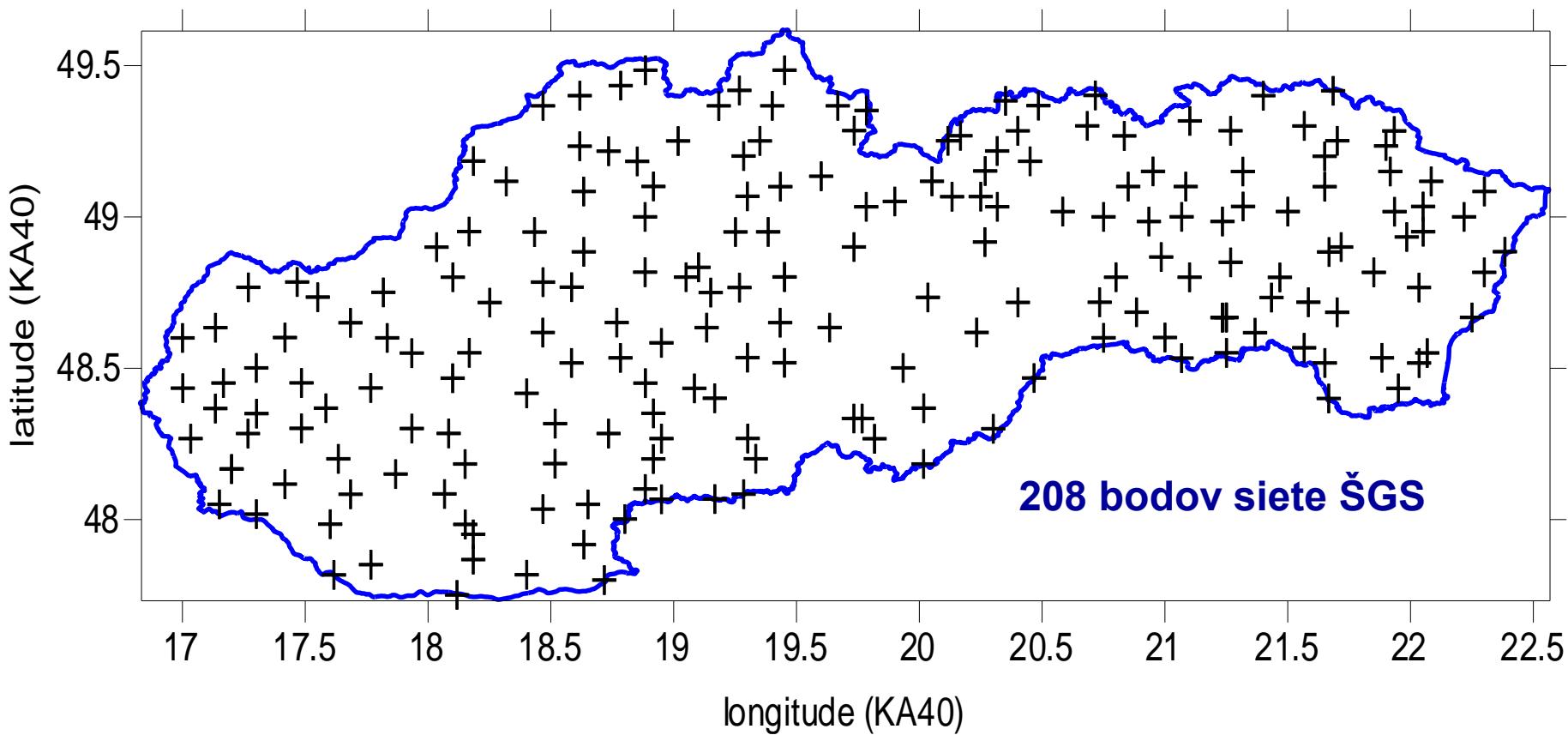
meranie v gravimetrii

výsledkom meraní a opravy o chod je hodnota
relatívneho tiažového zrýchlenia Δg , ktoré sa
prepočítava na jeho absolútnu hodnotu g,
K tomu je potrebné takúto hodnotu g poznať aspoň v jednom
bode (meranie s absol. grav. alebo sa využijú body štátnej siete)



Body Štátnej Polohovej Siete (ŠPS) u nás spravuje
Geodetický a Kartografický Ústav Bratislava (GKÚ).

meranie v gravimetrii



Starší systém – tzv. Štátnej Gravimetrickej Sieti (ŠGS),
taktiež pod správou GKÚ. Napojené na absolútne merania g.

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

*v aplikovanej gravimetrii (na geologické účely)
sa však nevyhodnocuje priamo zrýchlenie g ,
ale sa počítajú tzv.*

ÚPLNÉ BOUGUEROVE ANOMÁLIE (ÚBA)

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

Hlavná idea pri výpočte ÚBA spočíva v tom, že od nameraných hodnôt tiažového zrýchlenia g odpočítame teoretické hodnoty g_t , vypočítané pre approximáciu celého zemského telesa (aj s uvážením jeho reliéfu):

$$\text{UBA} = g - g_t$$

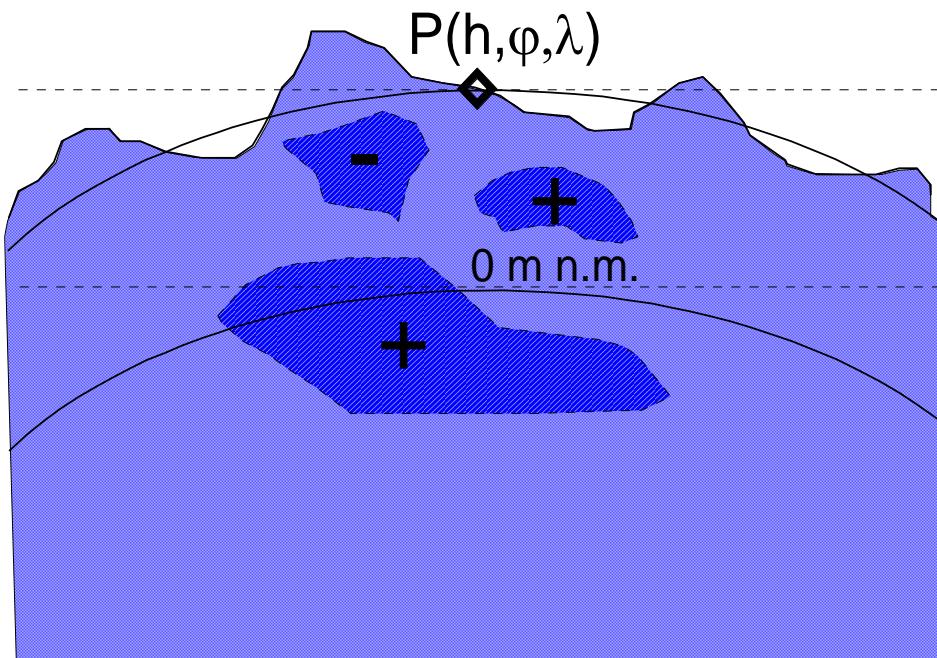
Meno nesie po fenomenálnom francúzskom polyhistorovi *Pierovi Bouguerovi*, ktorý sa ako prvý vôbec pokúšal o predikciu hodnôt meraného g (počas expedície do Južnej Ameriky v 18. stor.).

Meno navrhol známy nemecký geodet F.R. Helmert.



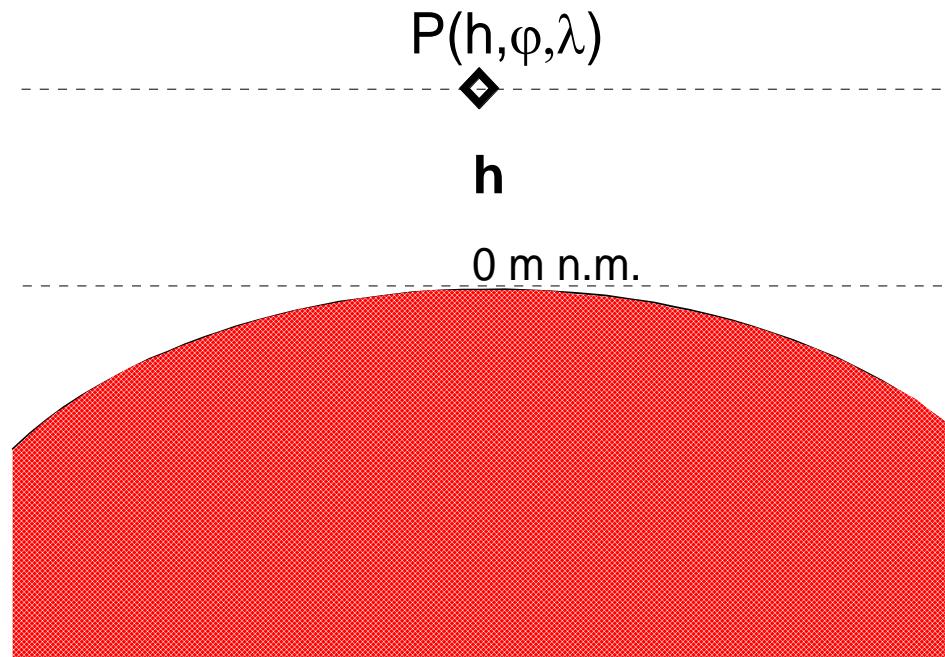
Pierre Bouguer
(1698 – 1758)

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)



od účinku reálnej Zeme odpočítame...

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

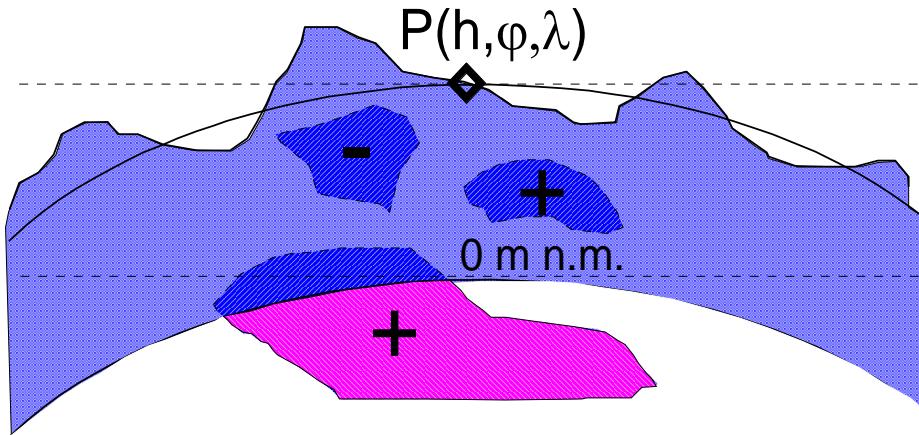


... účinok elipsoidu v bode P

(hodnotu “presunieme z elipsoidu” pomocou prepočtu $-0.3086h$)

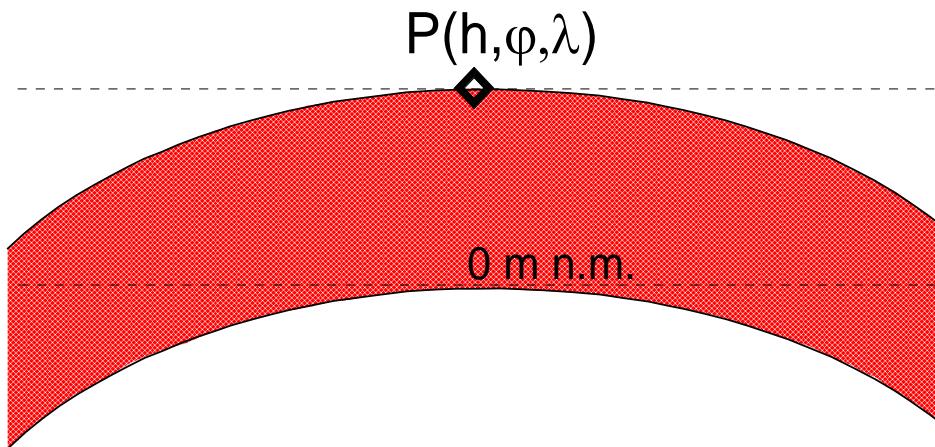
(hustota vrchnej vrstvy elipsoidu sa predpokladá okolo $2.70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



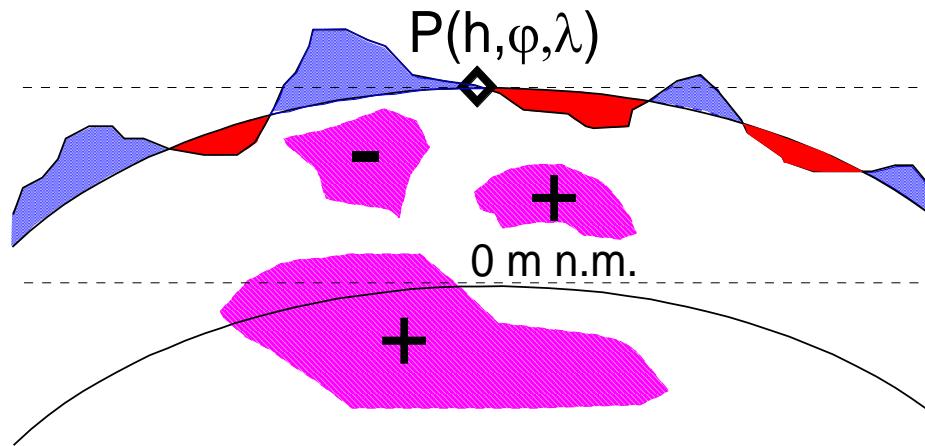
prejavia sa hustotné nehomogenity
v rámci priestoru elipsoidu

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)



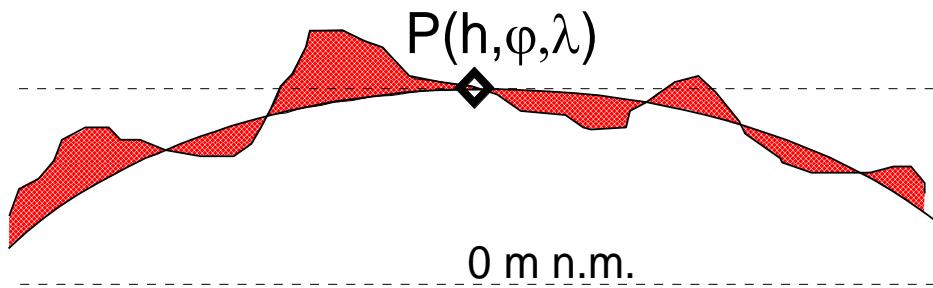
... ďalej odpočítame účinok sférickej vrstvy v bode P
(skladá sa z účinku rovinnej dosky a tzv. Bullardovho člena)
(hustota tejto dosky sa už nastavuje - väčšinou na $2.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



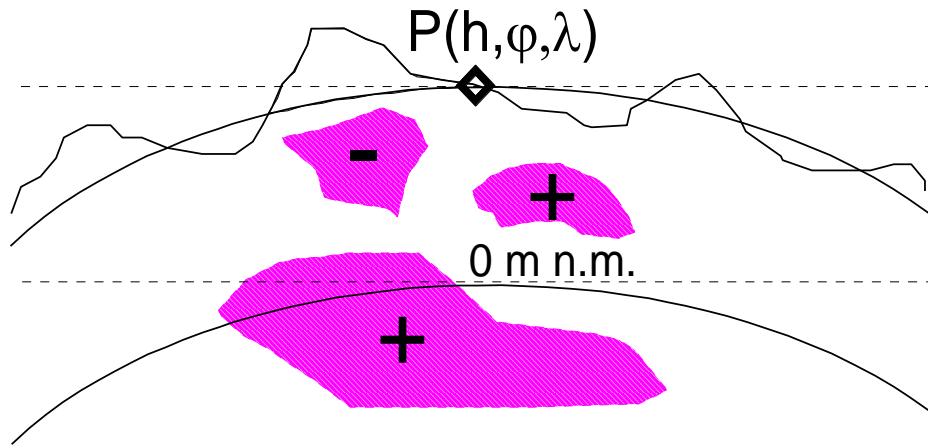
prejavia sa ďalšie hustotné nehomogenity
v rámci priestoru medzi elipsoidom a
povrchom gule prechádzajúcej bodom P

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)



...ešte treba odstrániť účinok topografických hmôr v bode P
tzv. terénne korekcie (ošetrenie účinkov kopcov a dolín)
(hustota je rovnaká ako pre dosku, často $2.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



*výsledkom je prejav anomálnych
hustotných nehomogenít
v litosférе*

prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA

Dôležité je si uvedomiť, že:

- 1. Anomálne objekty sa prejavujú voči použitej korekčnej hustote (referenčné teleso),**
- 2. Zároveň sa prejavujú ako kontrast voči okolitým štruktúram (uvedený kontrast označujeme ako diferenčnú hustotu)**

napr. dutina sa prejaví diferenčnou hustotou $-2.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
voči okolitým horninám kvartérneho veku
(so skutočnou prirodzenou hustotou $2.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

vzťah pre výpočet ÚBA:

$$\text{UBA} = g - g_n + 0.3086h - 0.0419hp - B + T$$

g – meraná tiaž (opravená o chod a prepočítaná na absolútnu hodnotu)

g_n – normálne pole (účinok elipsoidu)

h – nadmorská výška bodu merania

ρ – tzv. korekčná (redukčná) hustota (často 2.67 g.cm^{-3})

$0.3086h$ – korekcia “vo voľnom vzduchu” (tzv. Fayeova)

$0.0419hp$ – Bouguerova korekcia (účinok rovinnej dosky)

B – Bullardov člen („ohýba“ rovinnú dosku)

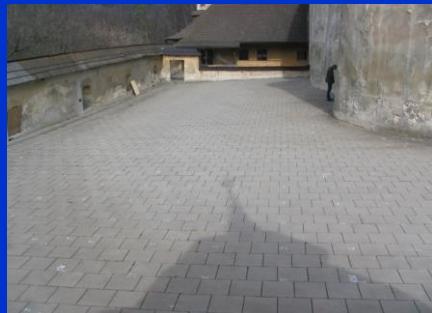
T – terénne korekcie (do vzdial. 166.7 km od bodu)

Poznámky ku čiastkovým krokom výpočtu UBA:

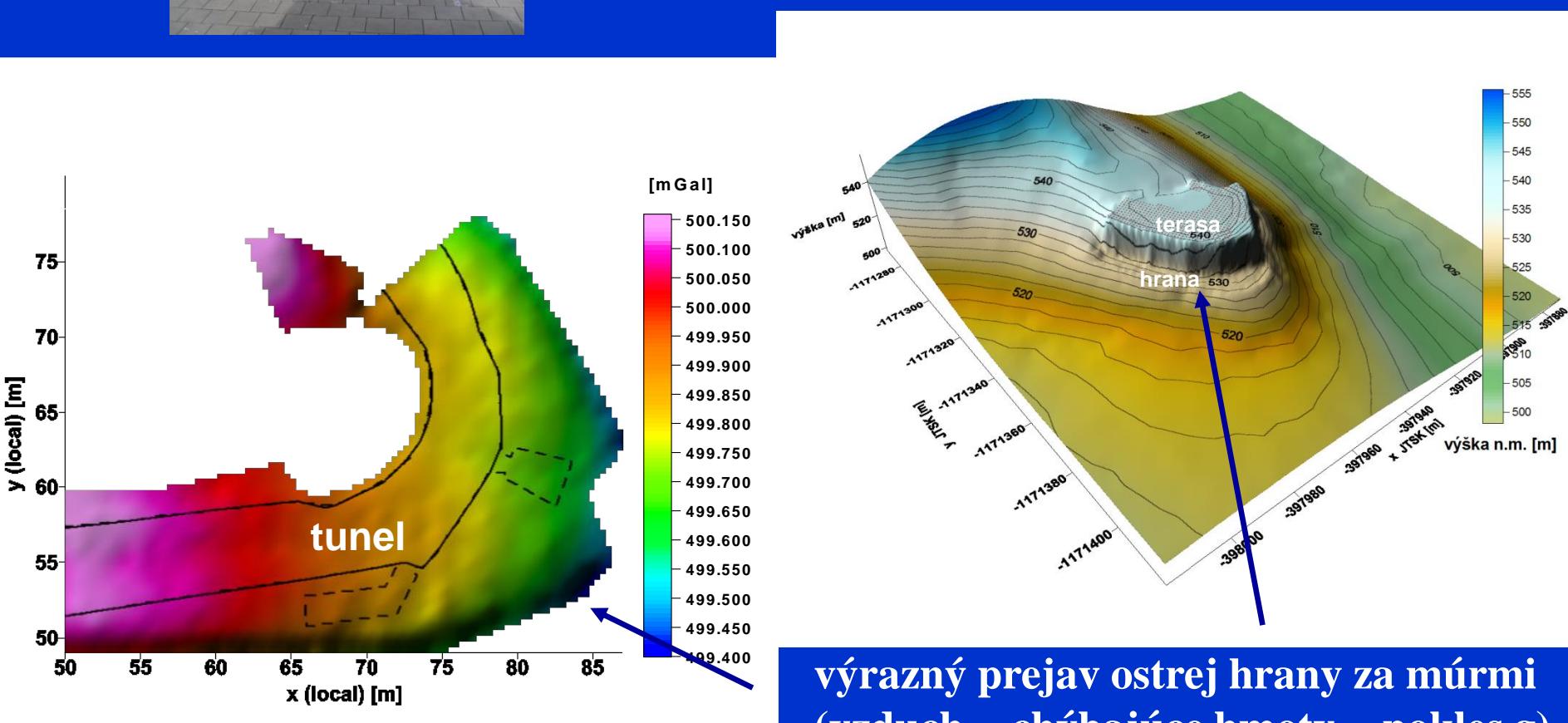
teréne korekcie (T):

- kopce a aj doliny sa vyplnia hmotami s korekčnou hustotou a ich účinok sa pripočíta,
- ich hodnota je väčšinou kladná (iba pri prejave „zanorených“ kopcov v dôsledku zakrivenia Zeme sa môže zmeniť ich znamienko na záporné),
- oblasť výpočtu sa delí na zóny (T_1 , T_2 a T_3) až do vzdialenosťi 166.7 km od bodu výpočtu,
- hmoty sú approximované elementárnymi geom. útvarmi (segmenty valca, hranoly, polyédre, atď.),
- u nás používaný nový program (Toposk).

Poznámky ku čiastkovým krokom výpočtu UBA: príklad: Oravský zámok



Velká
terasa



výrazný prejav ostrej hrany za múrmi
(vzduch = chýbajúce hmoty = pokles g)

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

Iné typy gravimetrických anomálií:

anomália **NUBA = $g - g_n + 0.3086h - 0.0419hp$**
sa nazýva ako tzv. neúplná Bouguerova anomália

anomália **$\Delta g_{Fay} = g - g_n + 0.3086h$**
sa nazýva ako tzv. Fayeova (odstránený vplyv výšok)

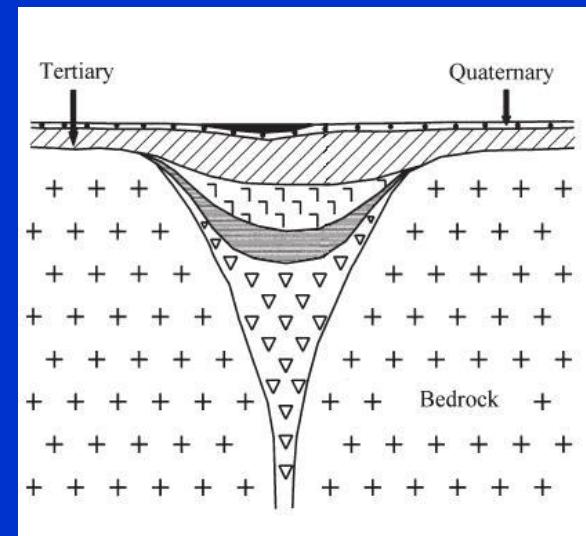
V aplikovanej gravimetrii sa používajú menej.

Príklad významu zavádzania korekcií v rámci výpočtu ÚBA:

- vymapovanie rozsahu maarového telesa,
lokalita Pinciná pri Lučenci



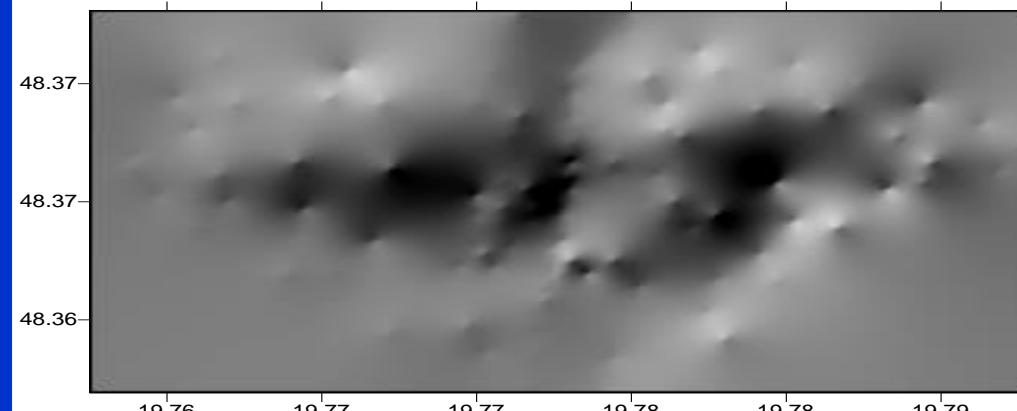
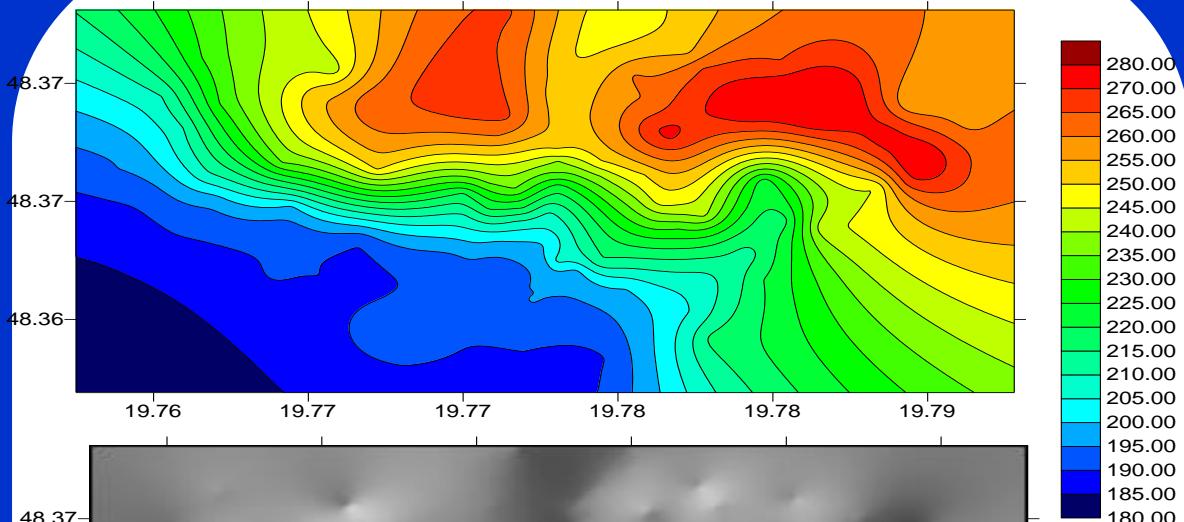
príklad súčasného maaru,
Nemecko



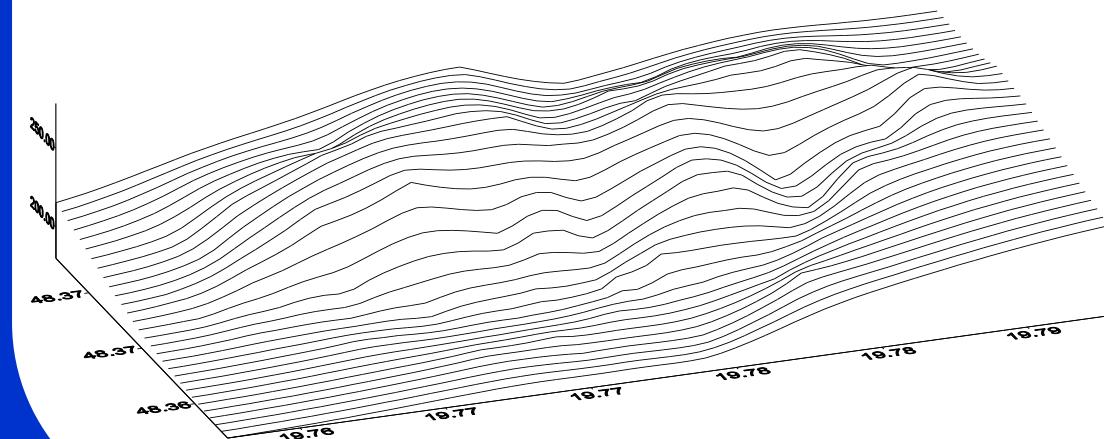
idealizovaná schéma výplne
maarového telesa

Pozn.: Výplň maarových telies je budovaná tzv. horninami
vulkanicko-timnického typu (bentonity, diatomity, alginity, ...)

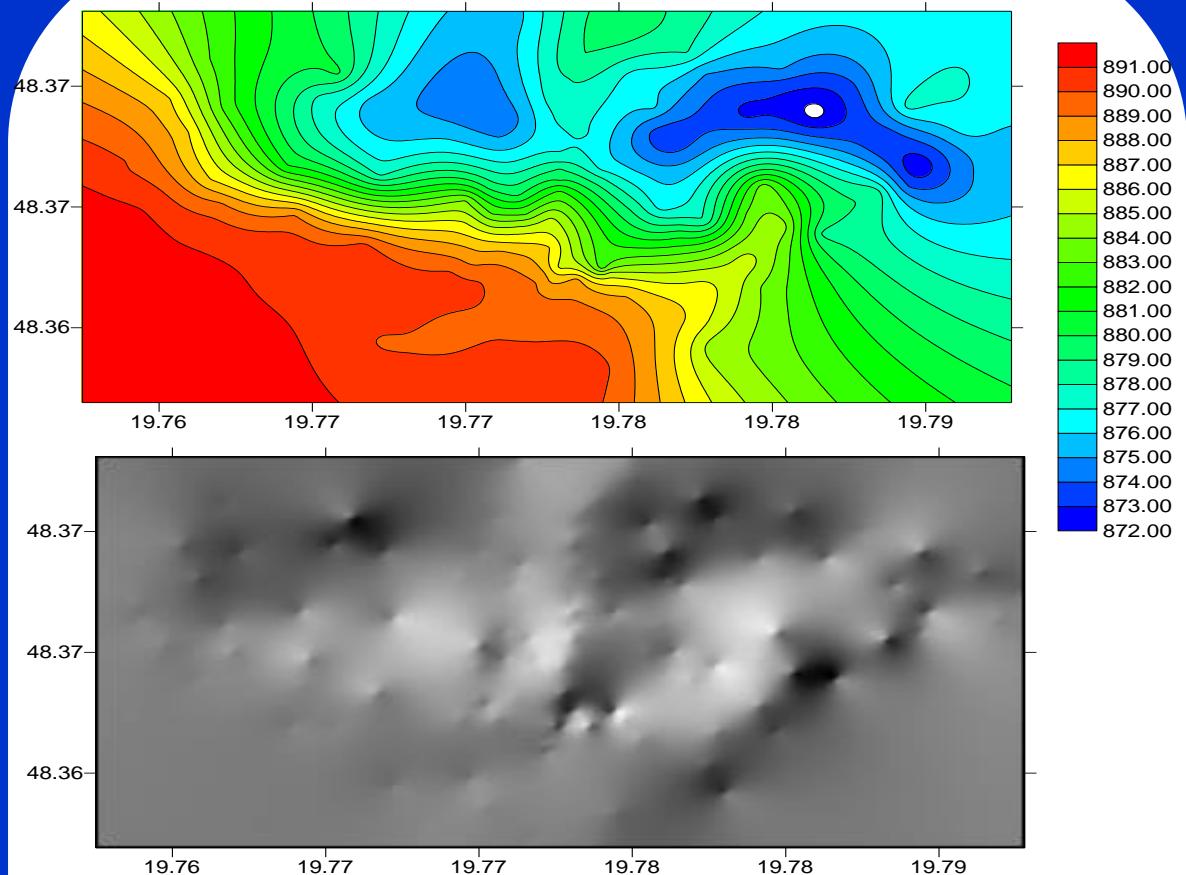
tvorba ÚBA – plošné merania v oblasti maarového telesa, Pinciná pri Lučenci



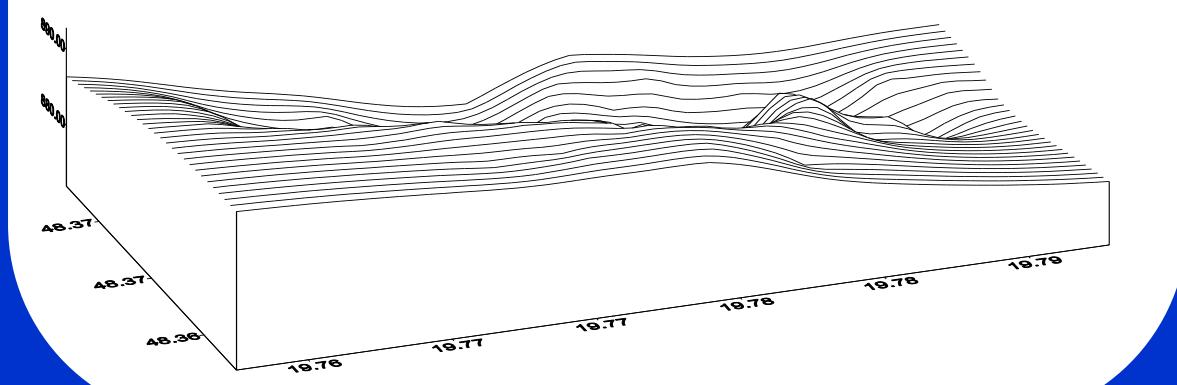
nadmorské výšky



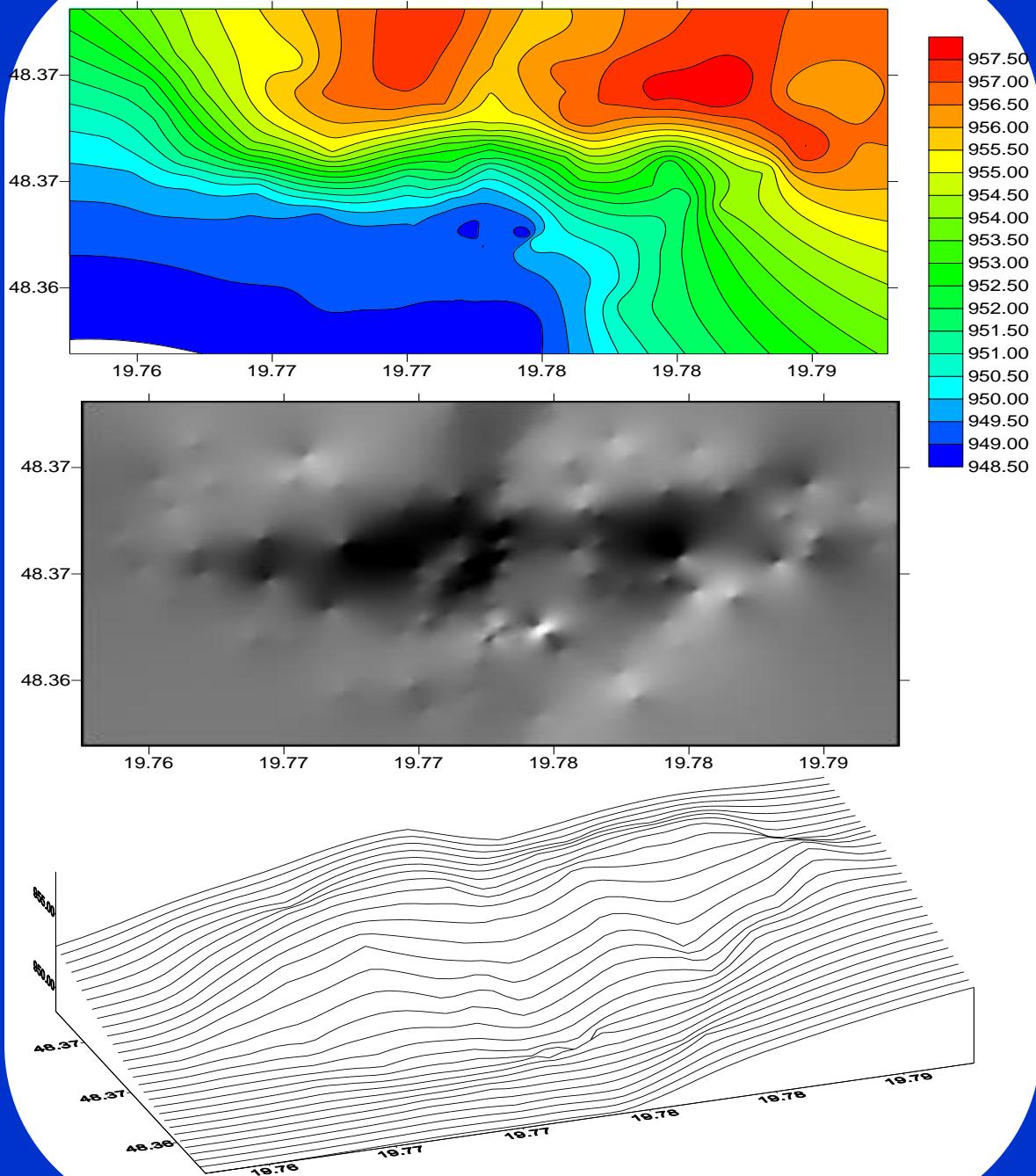
tvorba ÚBA – plošné merania v oblasti maarového telesa, Pinciná pri Lučenci



**namerané tiažové
zrýchlenie**

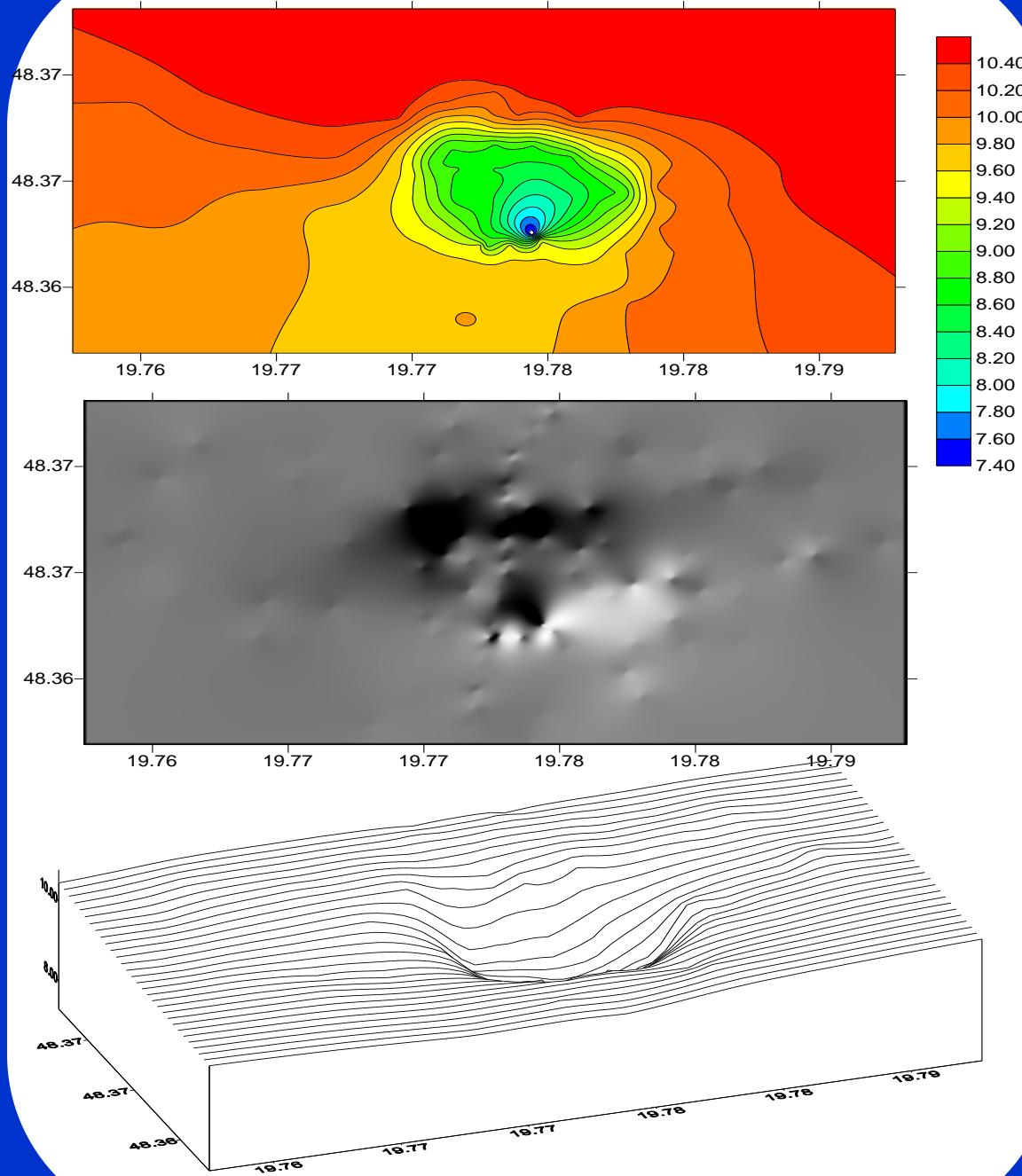


tvorba ÚBA – plošné merania v oblasti maarového telesa, Pinciná pri Lučenci



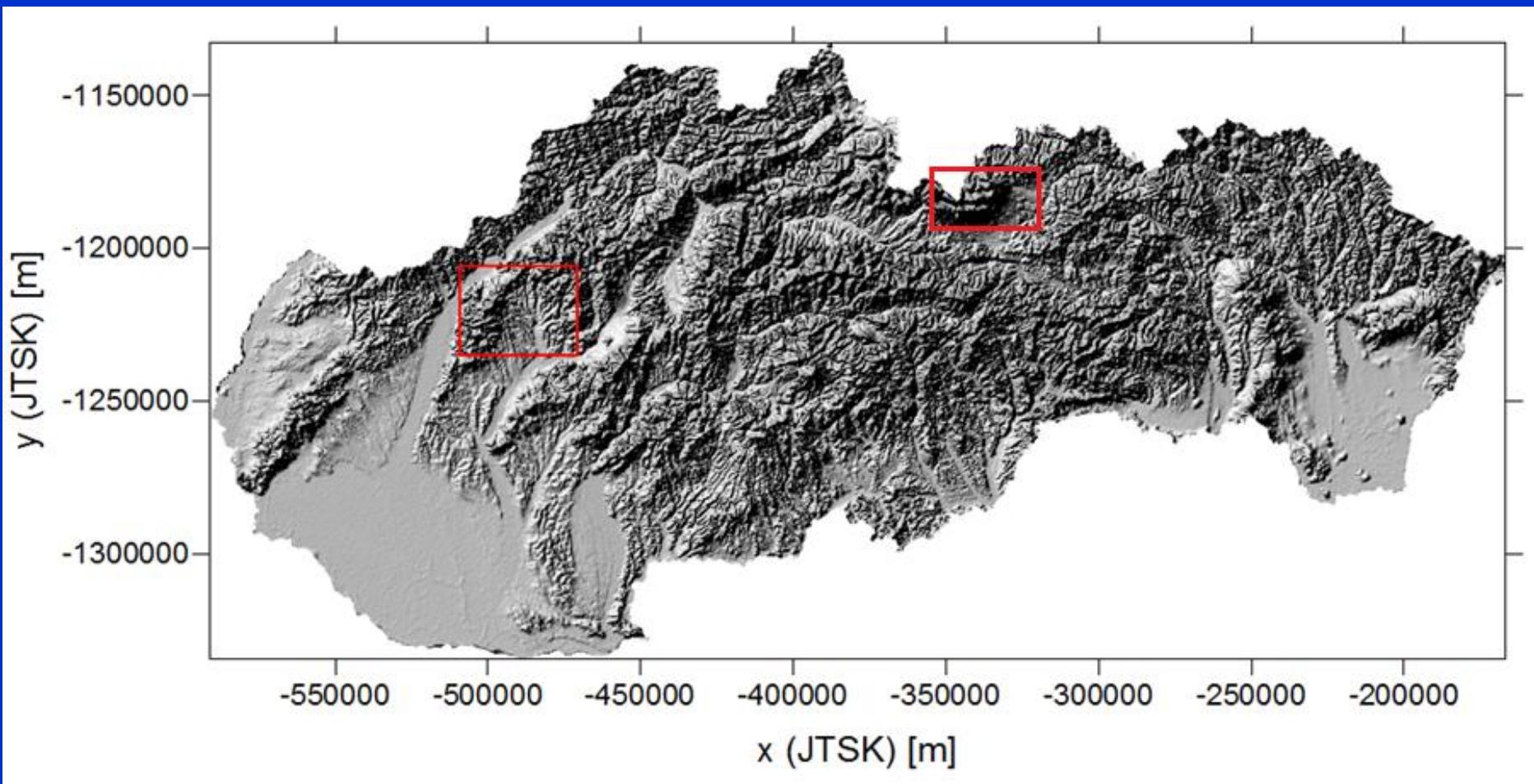
Fayeova anomália:
 $\Delta g_F = g - g_n + 0.3086h$
(odstránený vplyv
výšok)

tvorba ÚBA – plošné merania v oblasti maarového telesa, Pinciná pri Lučenci



Úplná Bouguerova
anomália:
$$\text{UBA} = g - g_n + 0.3086h - 0.0419ph - B + T$$

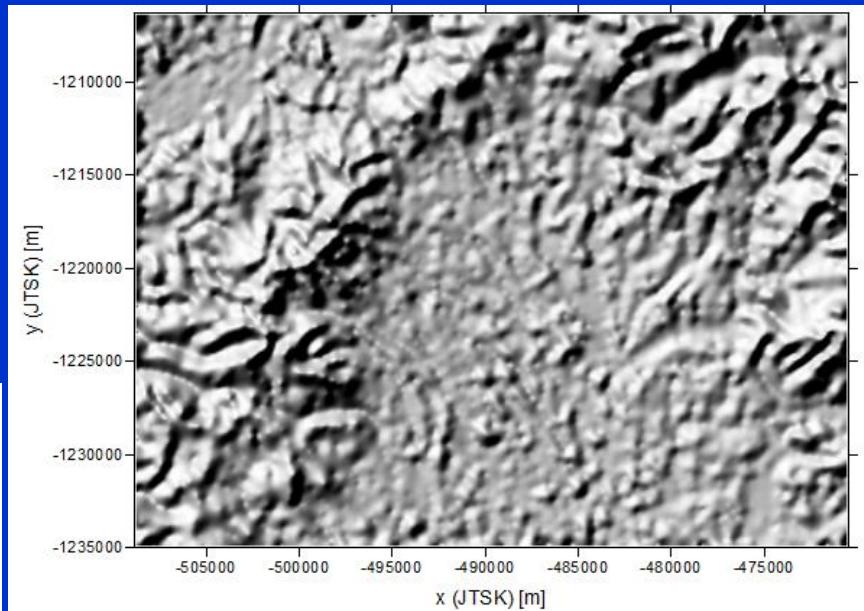
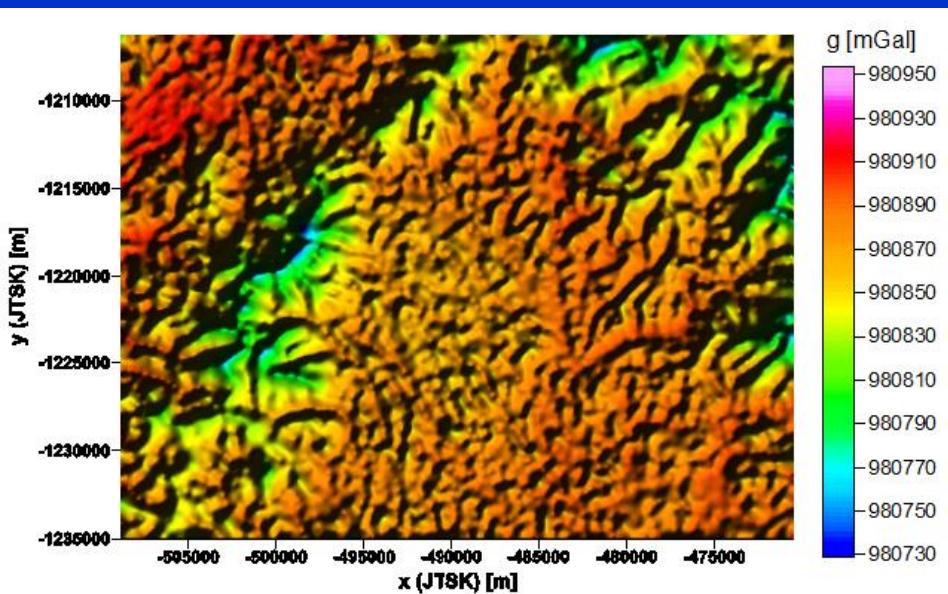
príklady v rámci územia SR:



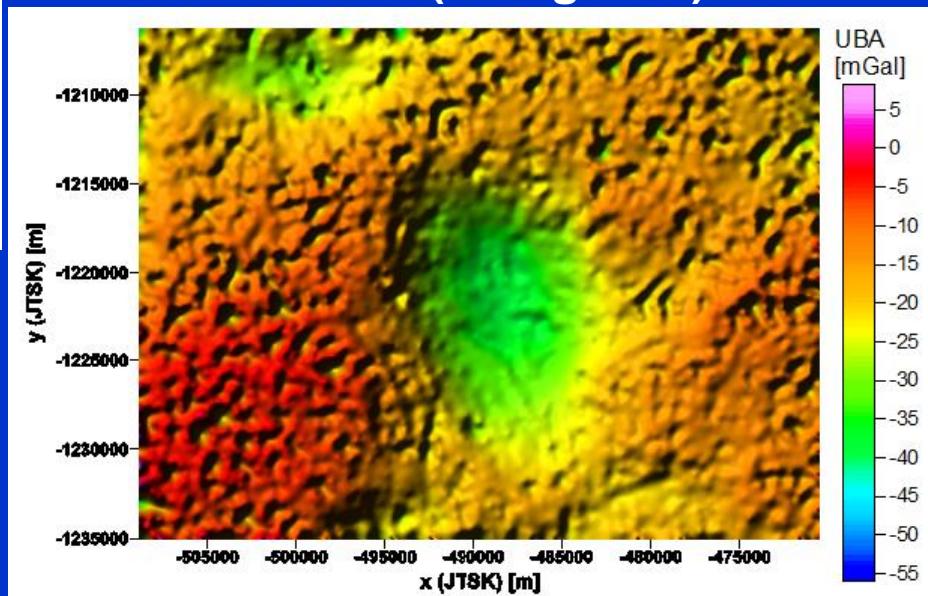
príklad: Bánovská kotlina

nadm. výšky

merané g



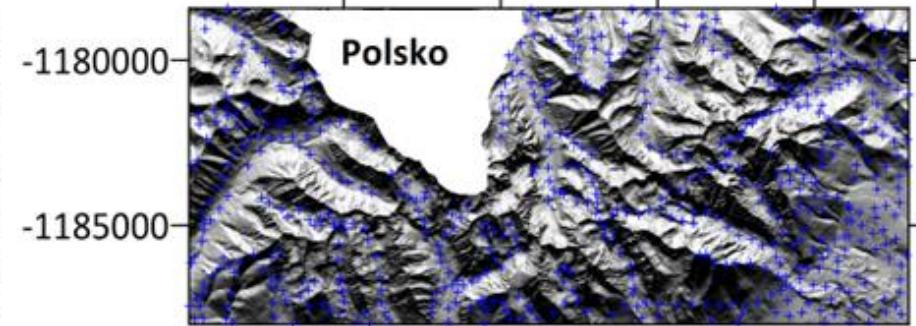
ÚBA (2.67 g.cm^{-3})



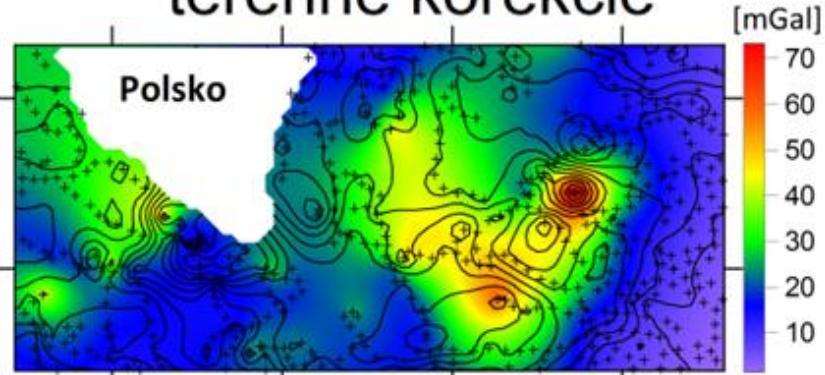
extrémny príklad – Vysoké Tatry

(terénne korekcie tu hrajú signifikantnú úlohu a zabraňujú vznik falošných anomálií)

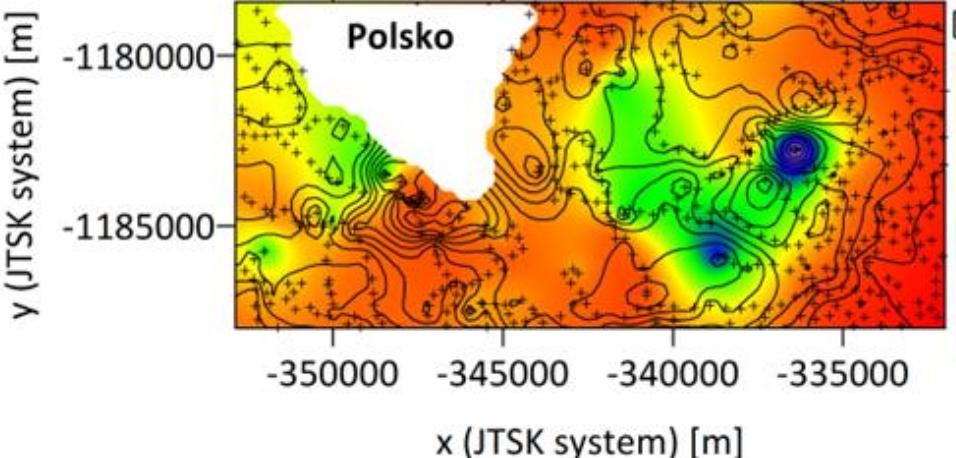
reliéf



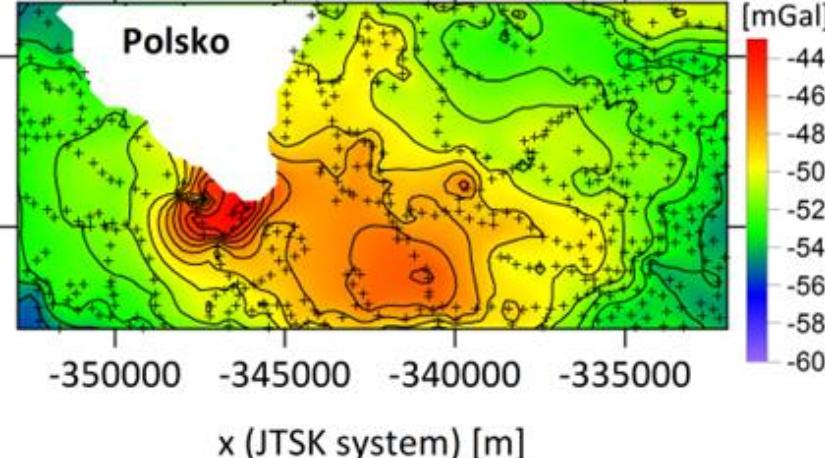
terénne korekcie



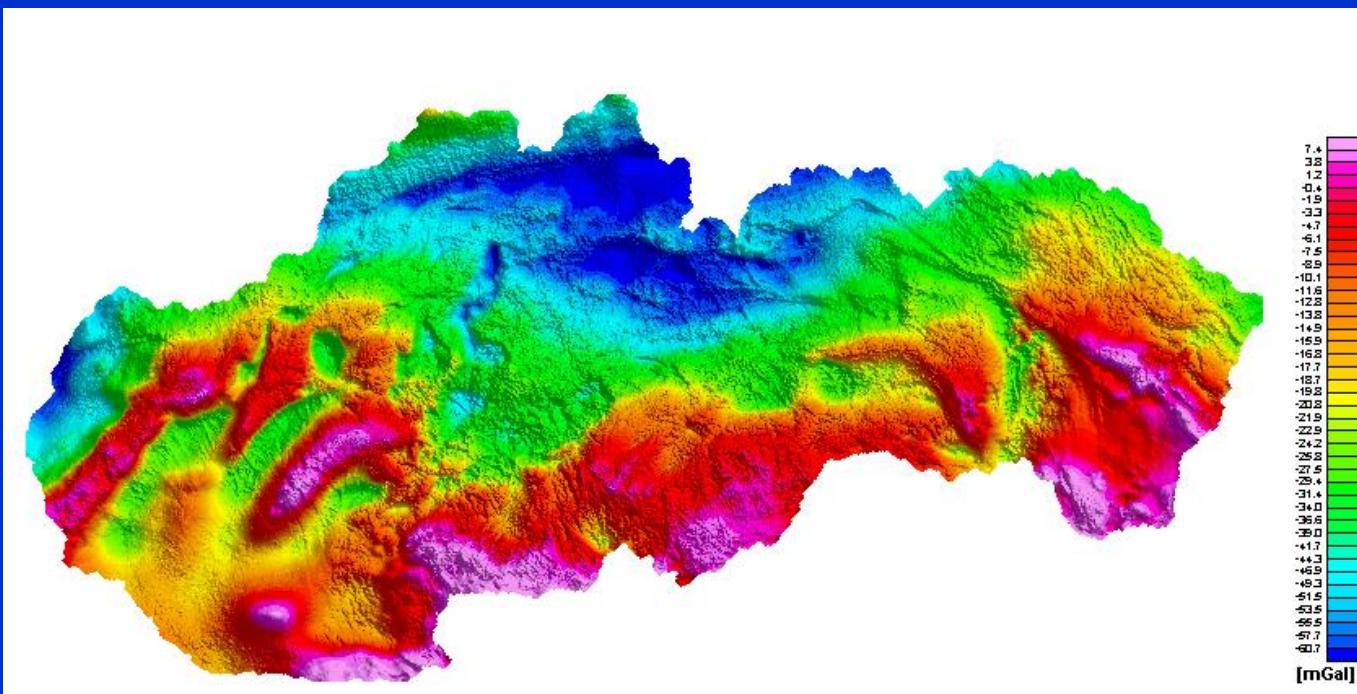
neúplné Bouguerove anomálie



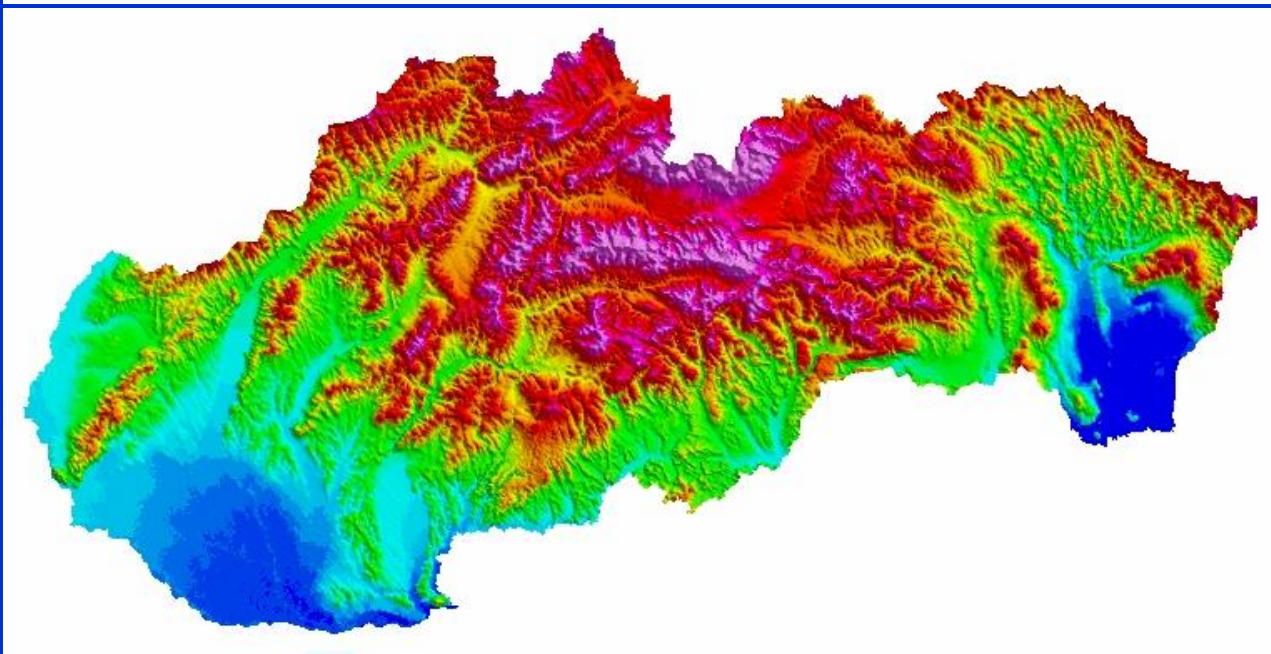
úplné Bouguerove anomálie



územie Slovenska

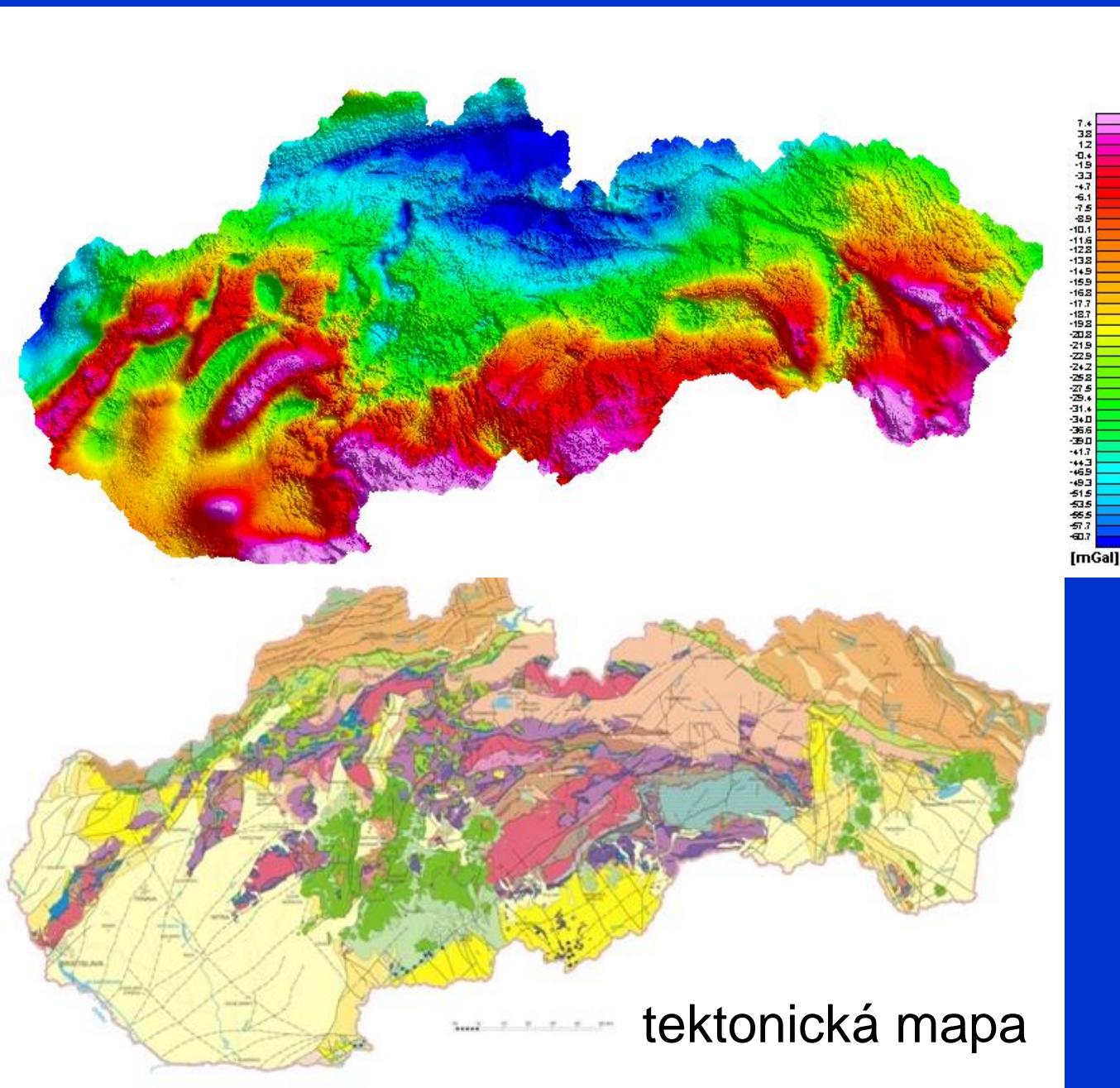


ÚBA

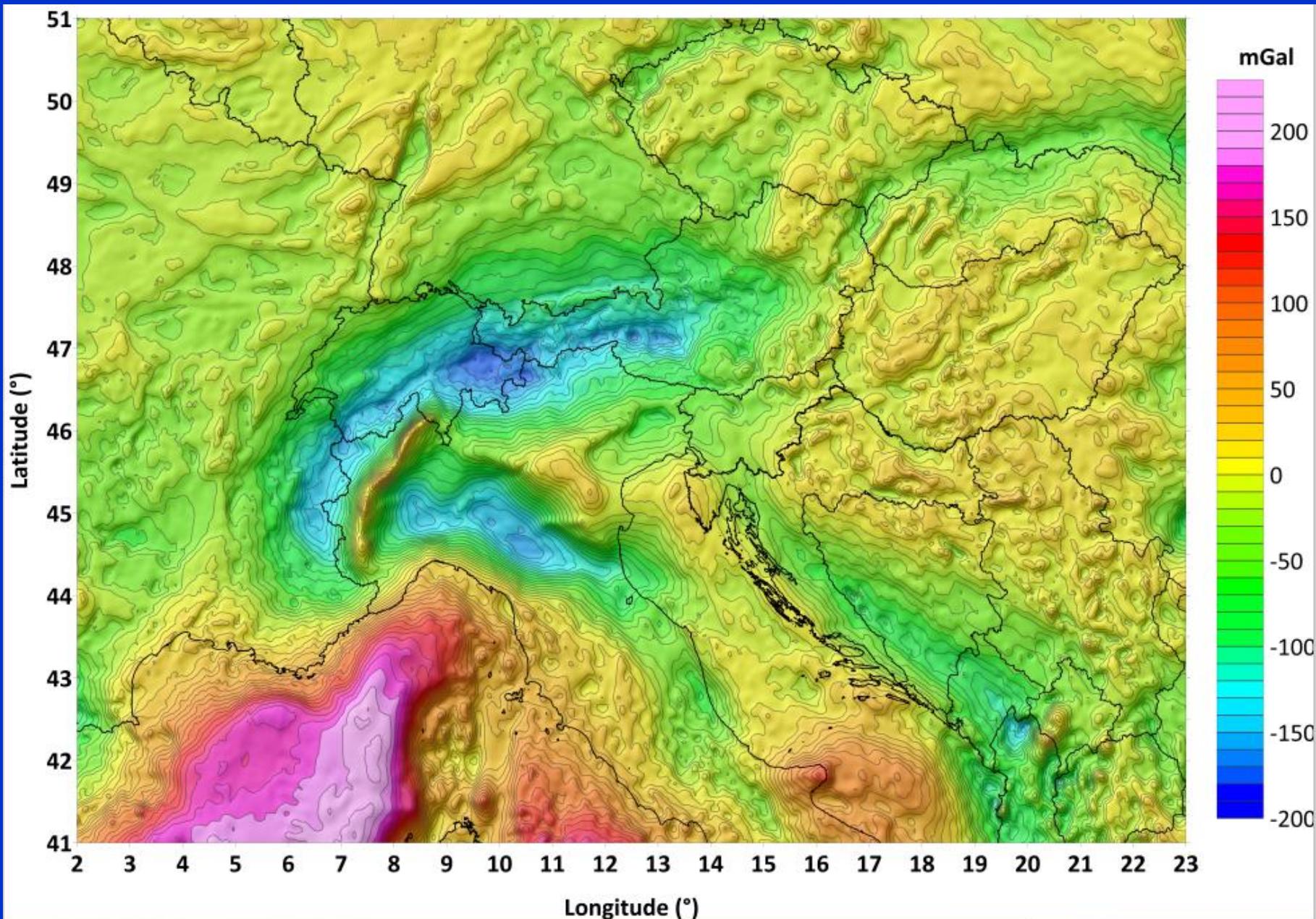


reliéf

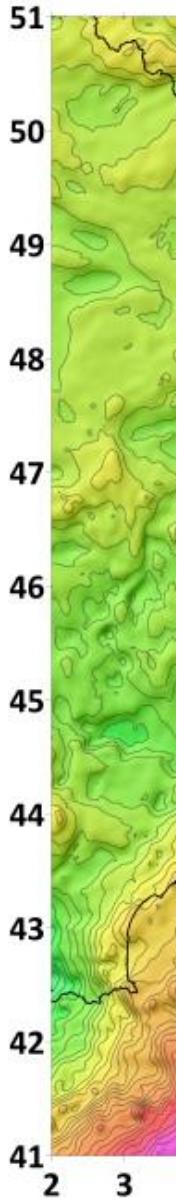
ÚBA – územie Slovenska



ÚBA – stredná a časť západnej Európy (projekt AlpArray)



ÚBA – stredná a časť západnej Európy (projekt AlpArray)



Earth Syst. Sci. Data, 13, 2165–2209, 2021
<https://doi.org/10.5194/essd-13-2165-2021>
© Author(s) 2021. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Open Access
Earth System
Science
Data

The first pan-Alpine surface-gravity database, a modern compilation that crosses frontiers

Pavol Zahorec¹, Juraj Papčo², Roman Pašteka³, Miroslav Bielik^{1,3}, Sylvain Bonvalot^{4,5},
Carla Braitenberg⁶, Jörg Ebbing⁷, Gerald Gabriel^{8,9}, Andrej Gosar^{10,11}, Adam Grand³,
Hans-Jürgen Götze⁷, György Hetényi¹², Nils Holzrichter⁷, Edi Kissling¹³, Urs Marti¹⁴,
Bruno Meurers¹⁵, Jan Mrlník¹⁶, Ema Nogová^{1,3}, Alberto Pastorutti⁶, Corinne Salaun¹⁷,
Matteo Scarpioni¹², Josef Sebera⁷, Lucia Seoane^{4,5}, Peter Skiba⁸, Eszter Szűcs¹⁸, and Matej Varga¹⁹

¹Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, Slovakia

²Department of Theoretical Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering,
Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovakia

³Department of Engineering Geology, Hydrogeology and Applied Geophysics, Faculty of Natural Sciences,
Comenius University in Bratislava, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 48 Bratislava, Slovakia

⁴Bureau Gravimétrique International, Toulouse, France, GET, University of Toulouse, France

⁵CNRS, IRD, UT3, CNES, Toulouse, France

⁶Department of Mathematics and Geosciences, University of Trieste, Via Edoardo Weiss 1, 34128 Trieste, Italy

⁷Institute of Geosciences, Christian Albrechts University Kiel, Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel, Germany

⁸Leibniz Institute for Applied Geophysics, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany

⁹Institute of Geology, Leibniz University Hannover, Callinstraße 30, 30167 Hannover, Germany

¹⁰Slovenian Environmental Agency, Seismology and Geology Office, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenia

¹¹Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana,

Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

¹²Institute of Earth Sciences, University of Lausanne, UNIL-Mouline Géopolis, 1015 Lausanne, Switzerland

¹³Department of Earth Sciences, Federal Institute of Technology (ETH),

Sonneggstrasse 5, 8092 Zürich, Switzerland

¹⁴Federal Office of Topography swisstopo, Wabern, Switzerland

¹⁵Department of Meteorology and Geophysics, University of Vienna, 1090 Vienna,

Althanstraße 14, UZA 2, Austria

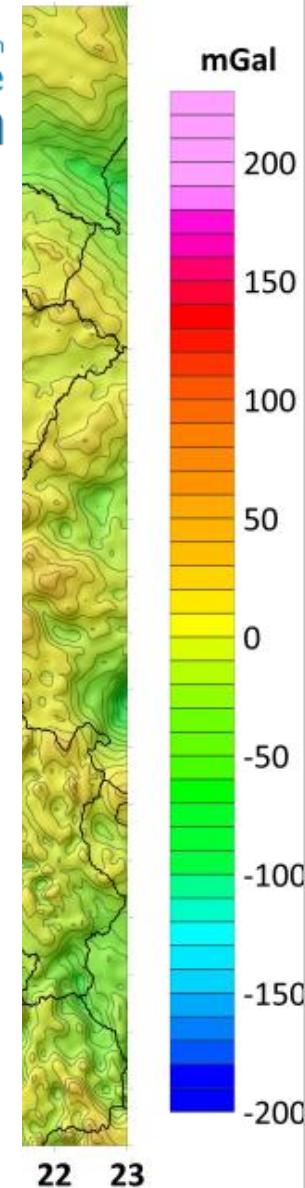
¹⁶Institute of Geophysics, Czech Academy of Sciences, Boční II/1401, 141 31 Prague, Czech Republic

¹⁷Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 13 rue du Chatellier 29200 Brest, France

¹⁸Institute of Earth Physics and Space Science (ELKH EPSS),

Csatkai street 6-8, 9400 Sopron, Hungary

¹⁹Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, Federal Institute of Technology (ETH),
Stefano-Francini-Platz 5, 8093 Zürich, Switzerland



interpretácia v gravimetrii

INTERPRETÁCIA –

kvalitatívna/kvantitatívna

kvalitatívna – opisuje kvalitatívne pole ÚBA (znížené hodnoty = znížené hustoty objektov alebo vplyv geometrie telies, zvýšené... naopak)

kvantitatívna – určuje hĺbkové, rozmenrové, tvarové a hustotné parametre študovaných geologických objektov

dôležité pojmy:

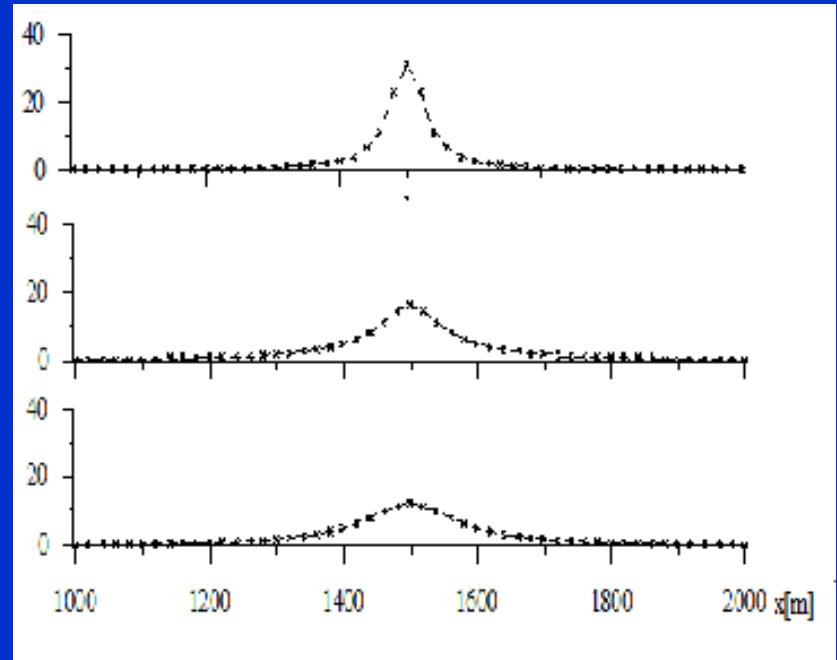
- a) *priama úloha* – pri zadaných parametroch telies vypočítať ich gravitačný účinok (tzv. modelovanie)
- b) *obrátená úloha* – opačná úloha (náročnejšia)

interpretácia v gravimetrii

Anomálie od hustotných nehomogenít majú vždy “monopólový” charakter.

Tvar anomálie a jej amplitúda závisí od viacerých faktorov:

- tvar telesa,
- hĺbka uloženia telesa,
- hustotný kontrast.

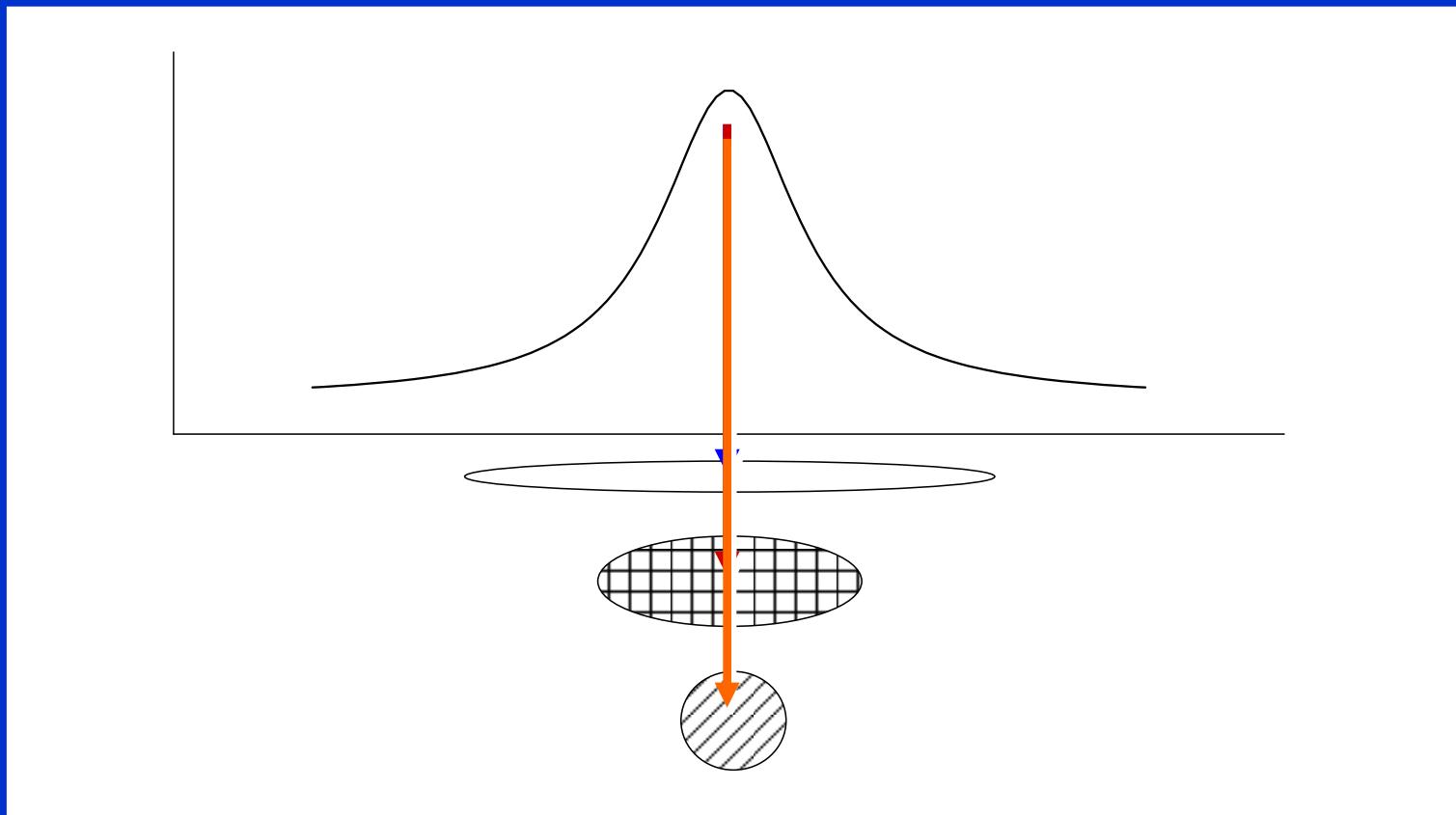


Čím hlbšie sa nachádza teleso, tým je:

- nižšia amplitúda,
- väčšia vlnová dĺžka anomálie.

interpretácia v gravimetrii

nejednoznačnosť (mnohoznačnosť) obrátenej úlohy

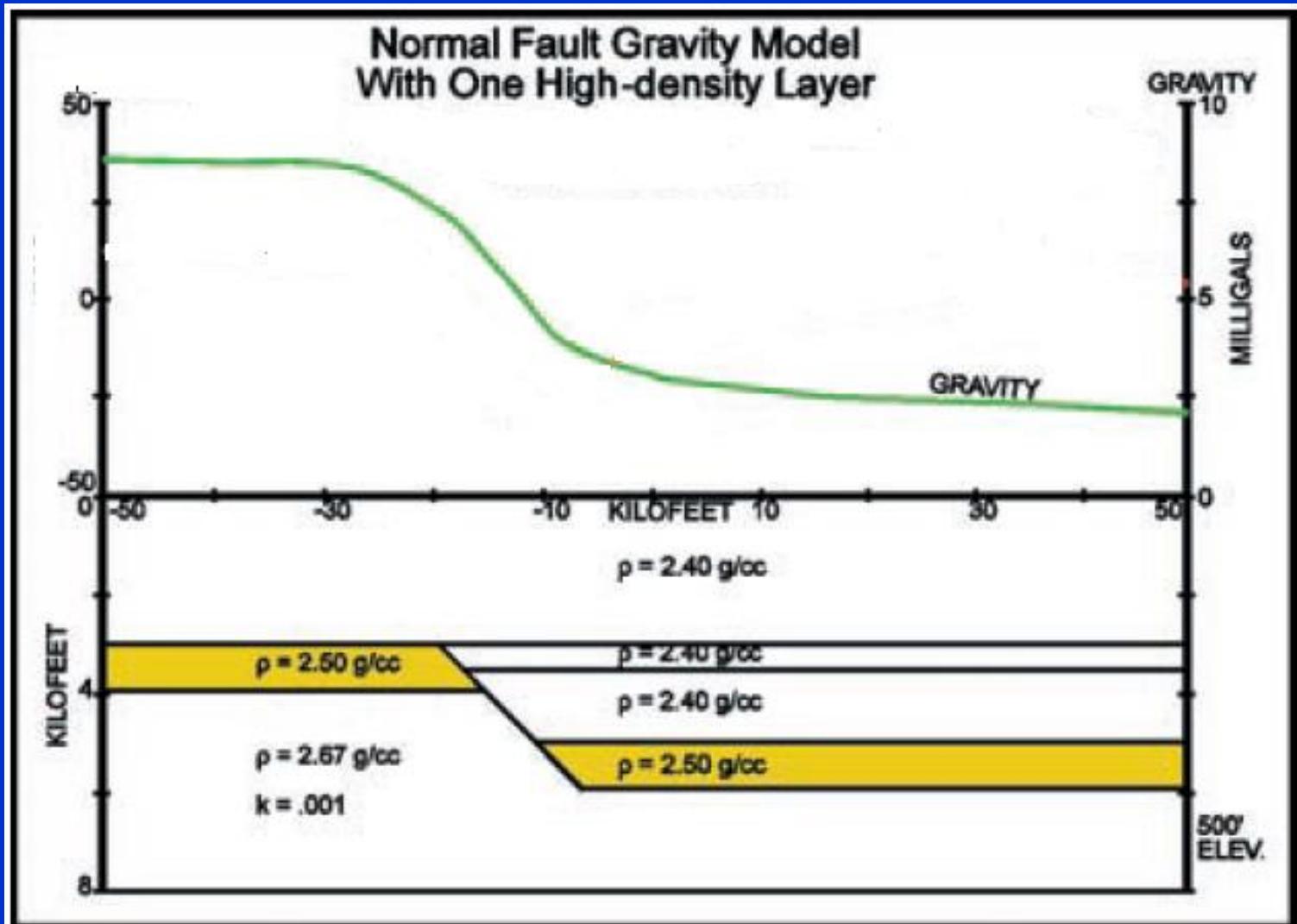


riešenie: doplňujúce informácie a údaje (geol./matfyz.)

Okrem toho je obrátená úloha aj nestabilná (malé odchýlky na vstupe do úlohy spôsobujú veľké zmeny v jej výstupe)

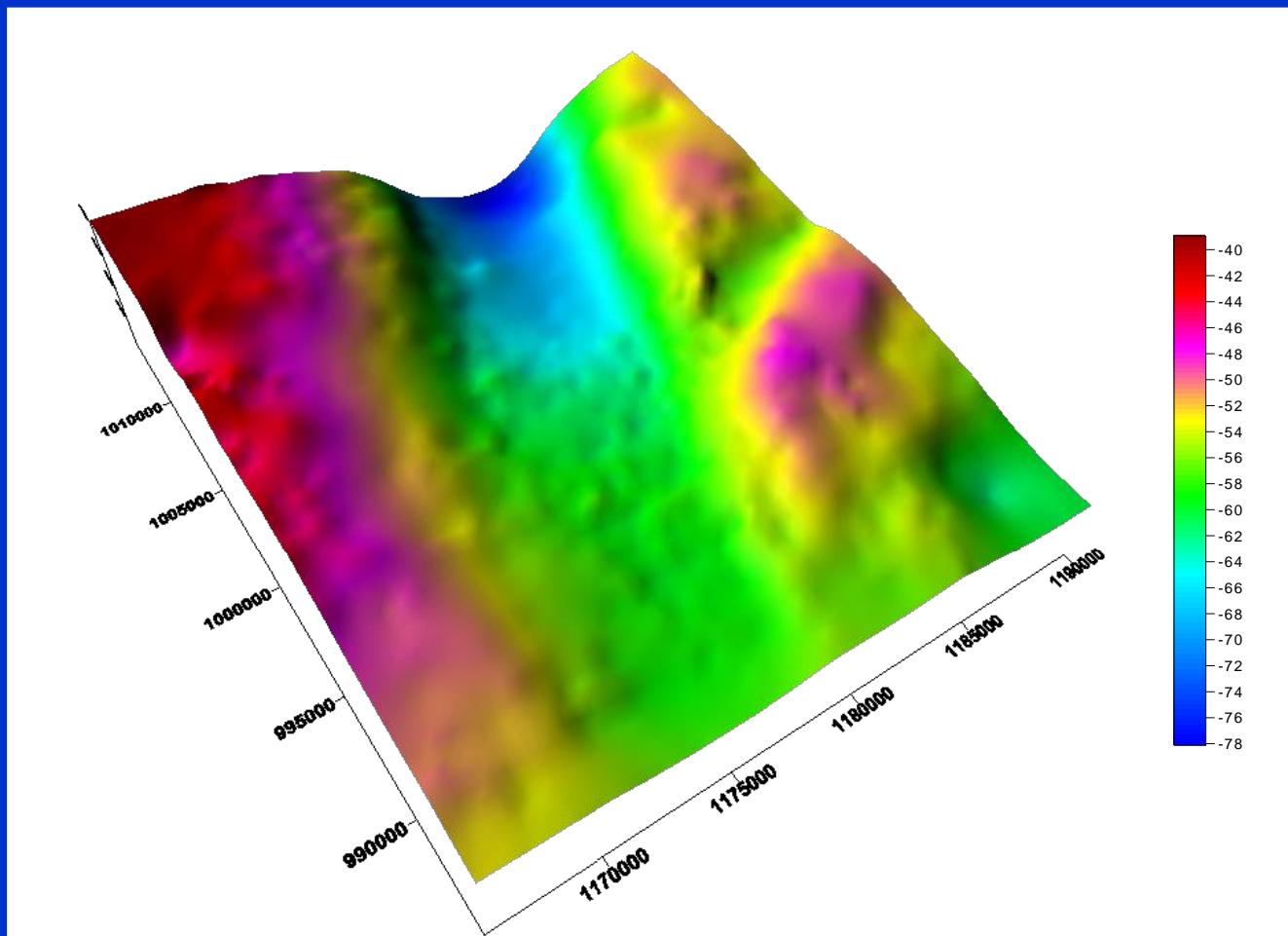
INTERPRETÁCIA – kvalitatívna

priebeh gravitačného účinku (ÚBA)
nad zlomom (poklesom)



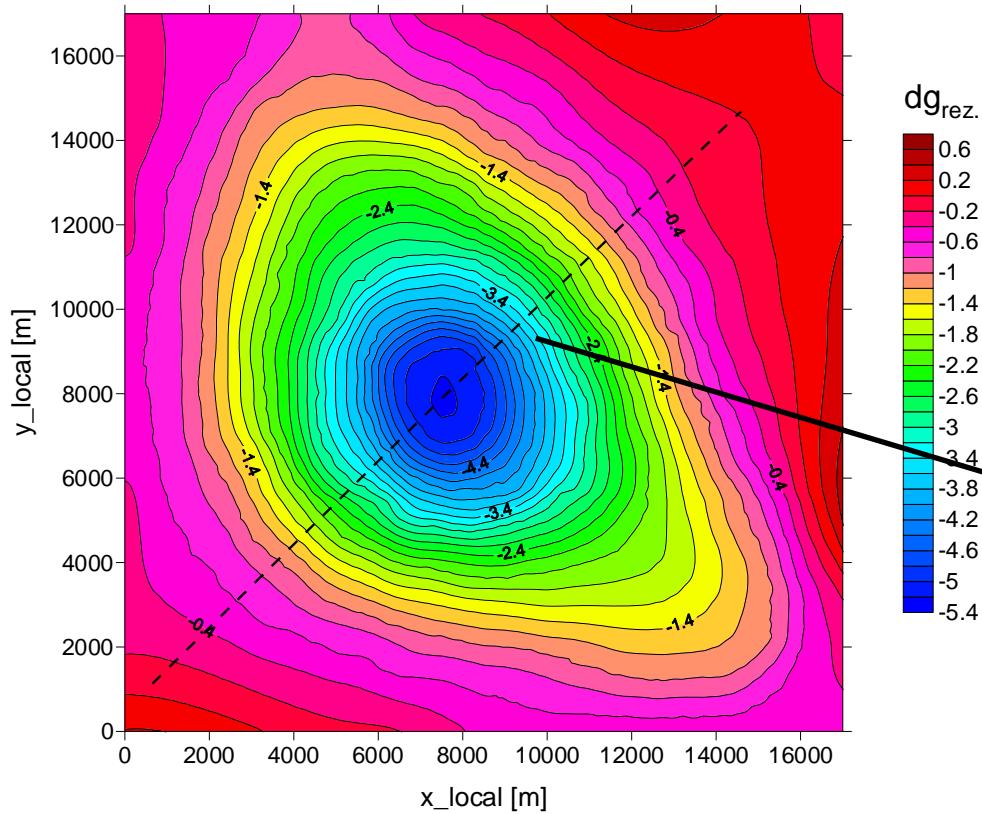
INTERPRETÁCIA – kvalitatívna

príklad: úplné Bouguerove anomálie z oblasti Mŕtveho mora (sedimenty mora sú ľahšie ako okolie)

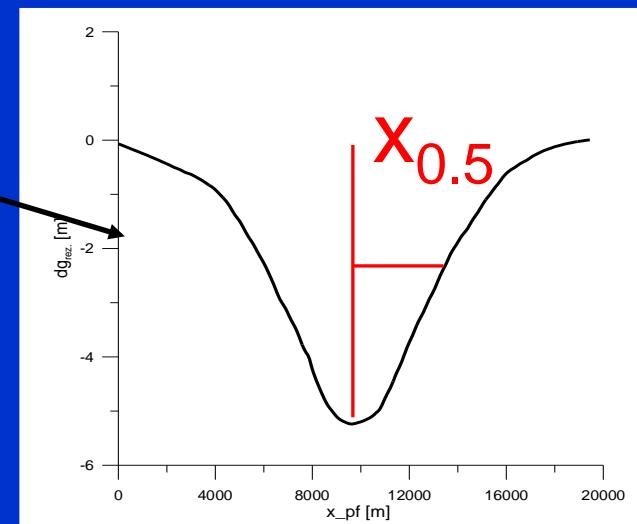


INTERPRETÁCIA – metódy polovičnej šírky

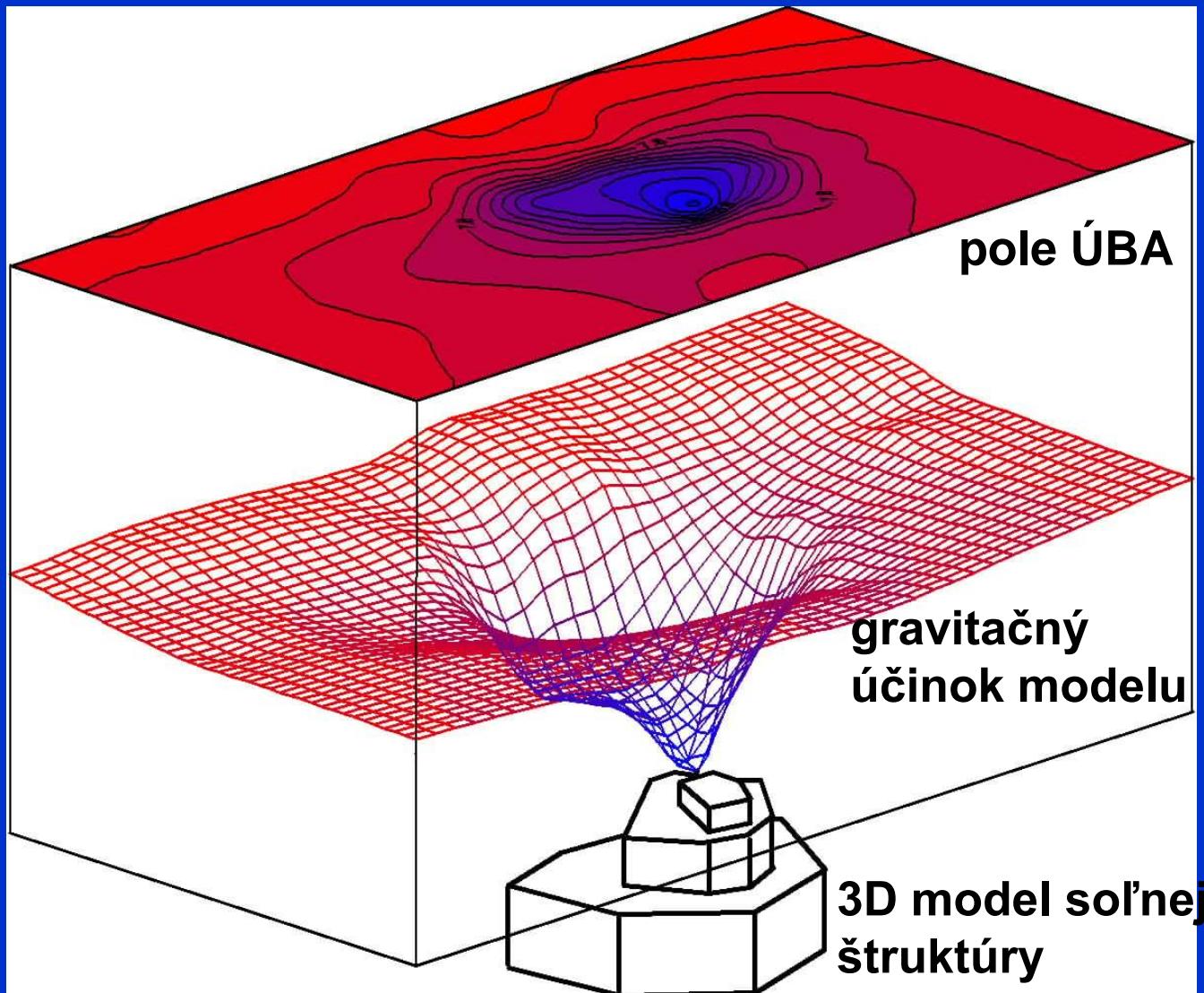
jednoduchý príklad – Bouguerova anomália prejavu soľného diapíru, lokalita Louisiana príbrežná oblast' (Nettleton, 1976)



**z polovičnej šírky
„odpichnutej“ anomálie
je možné odhadnúť
vrchný okraj soľného
diapíru (pri predpoklade
napr. prítomnosti gule)**



INTERPRETÁCIA – modelovanie



využitie gravimetrie

- pri riešení hlbinnej stavby litosféry
- v regionálnej a štruktúrnej geológii
- v ložiskovom a ropnom prieskume
- detekcia dutín
(inžiniersky, geotechnický, environmentálny prieskum, archeológia, ...)
- všade tam, kde ide o detekciu a interpretáciu hustotných nehomogenít

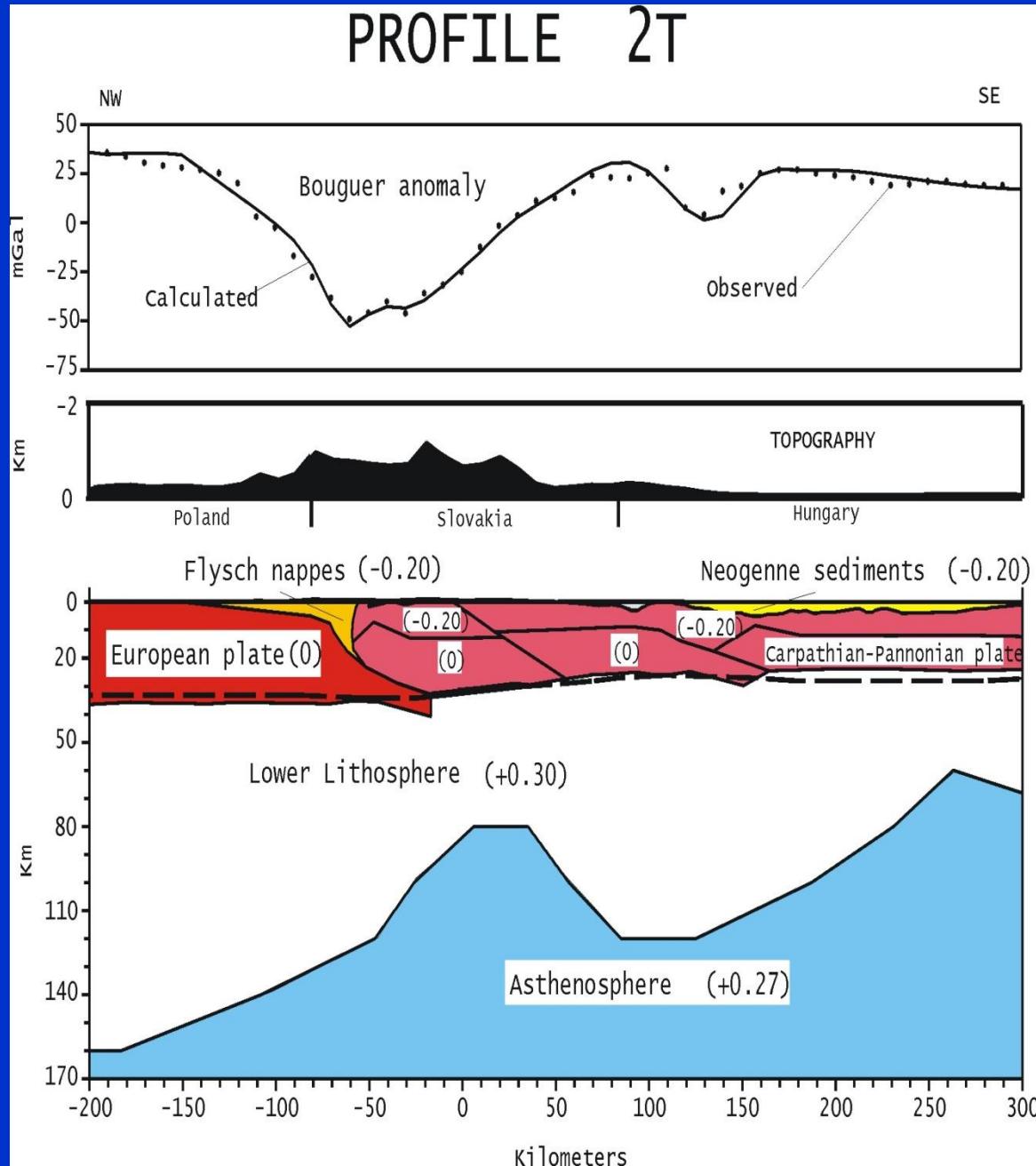
aplikácie gravimetrie

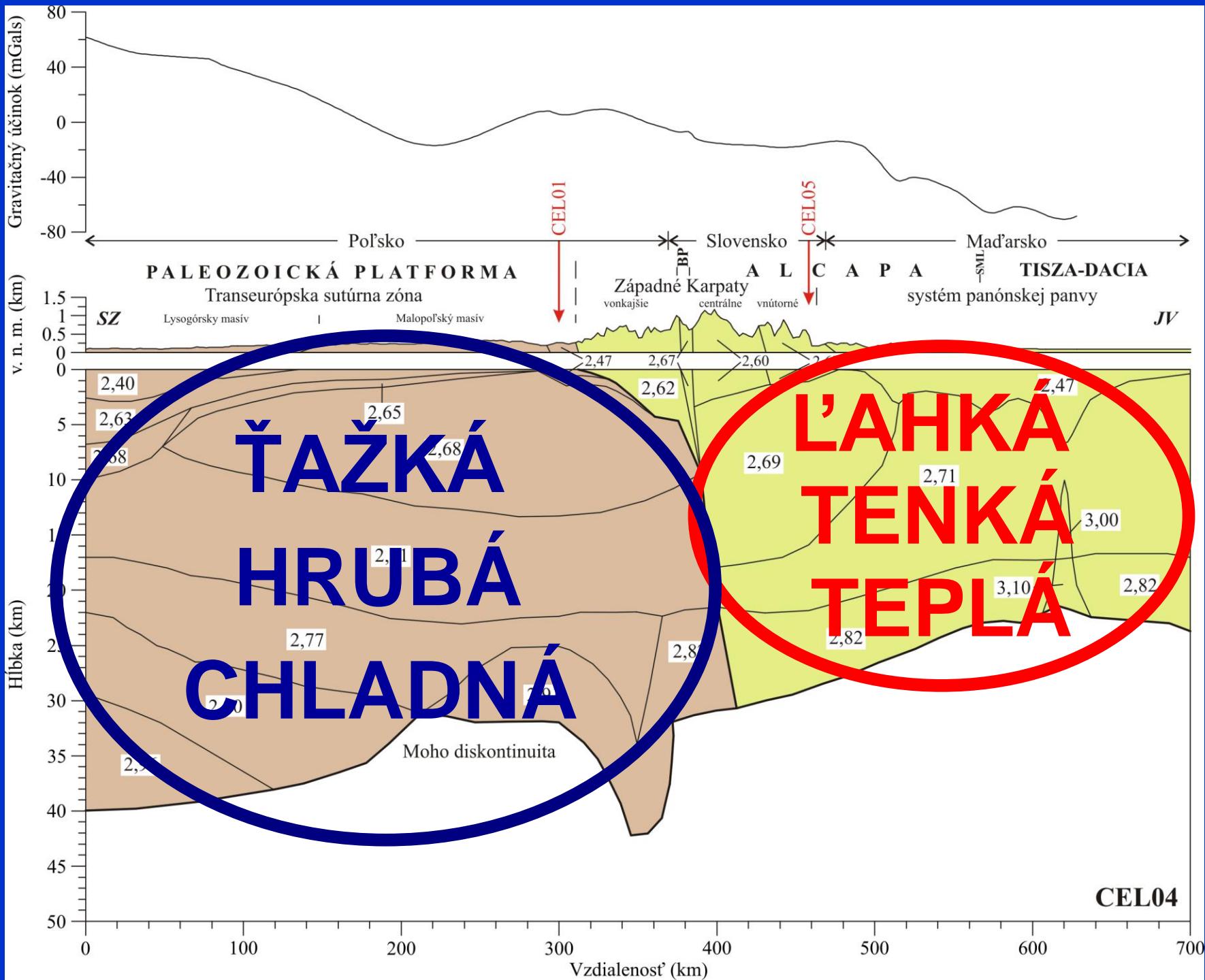
niekoľko príkladov

výsledok
hustotného
modelovania –
profil z Európskej
platformy
cez Západné
Karpaty do
Panónskej oblasti,

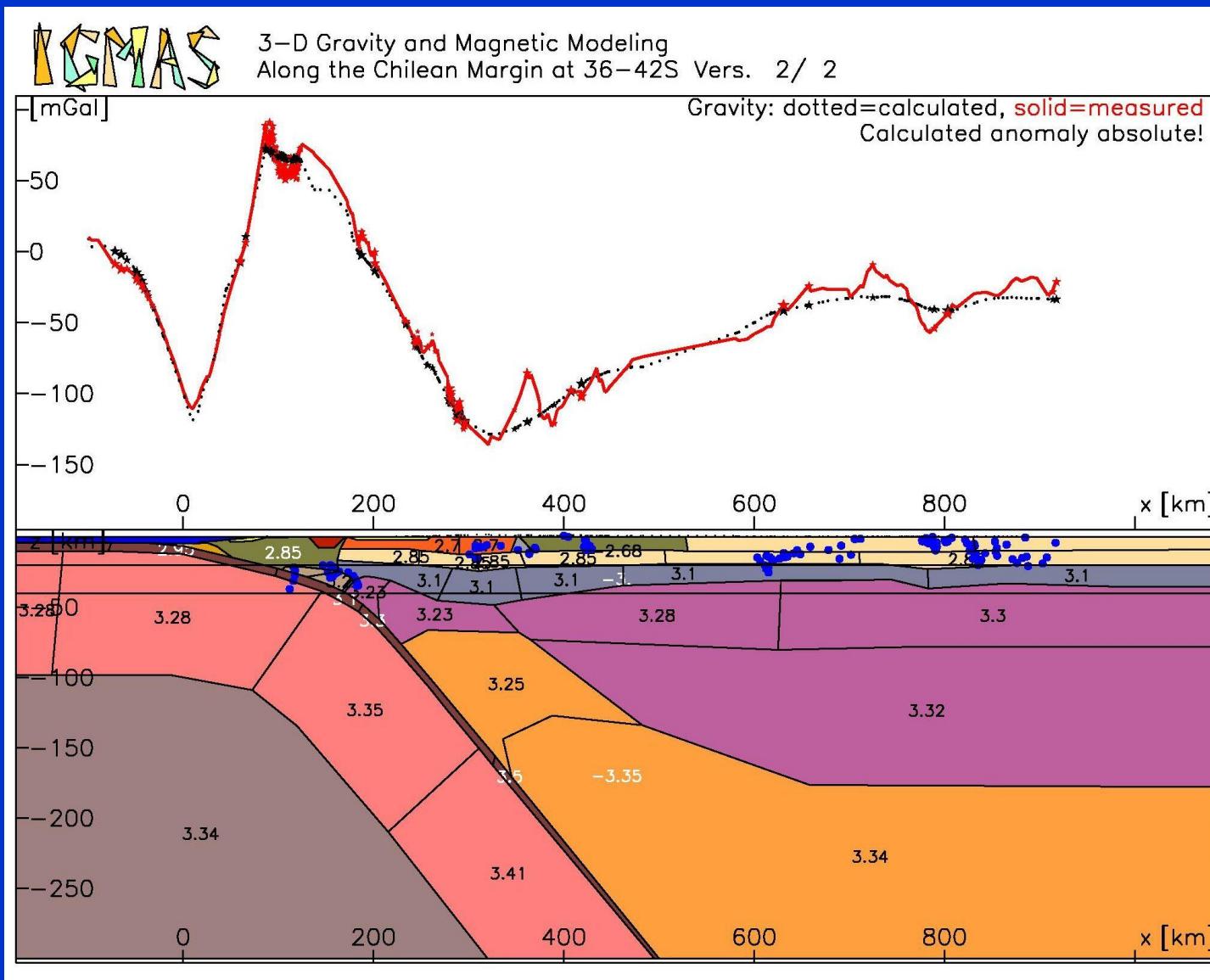
Model siahá
až do hĺbky
okolo 170 km.

hlbinná stavba





hlbinná stavba

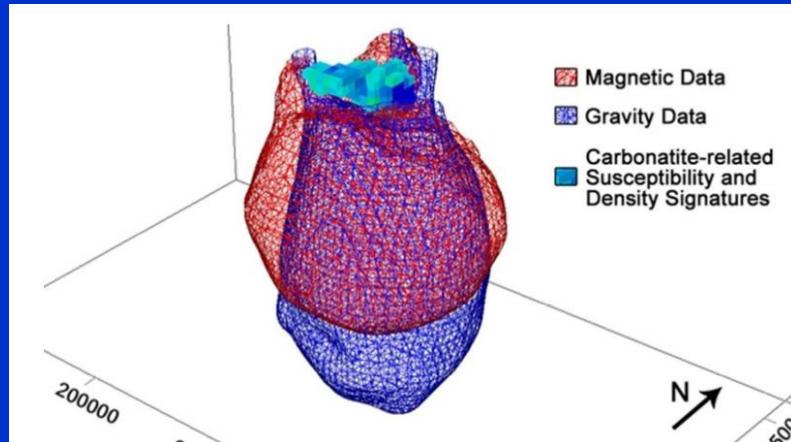
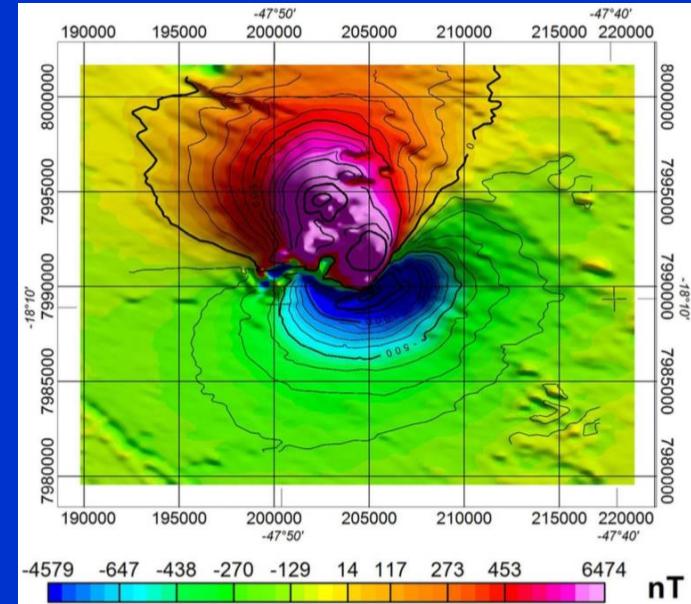
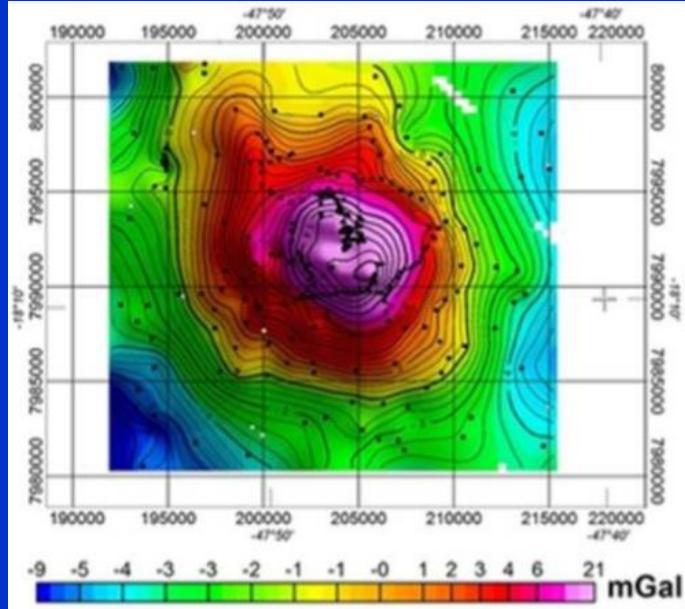


výsledok hustotného modelovania – profil zo subdukcie oceanickej platne Nasca pod juhoamerický kontinent (model siaha až do 250 km)

mapa ÚBA

ložisková geológia

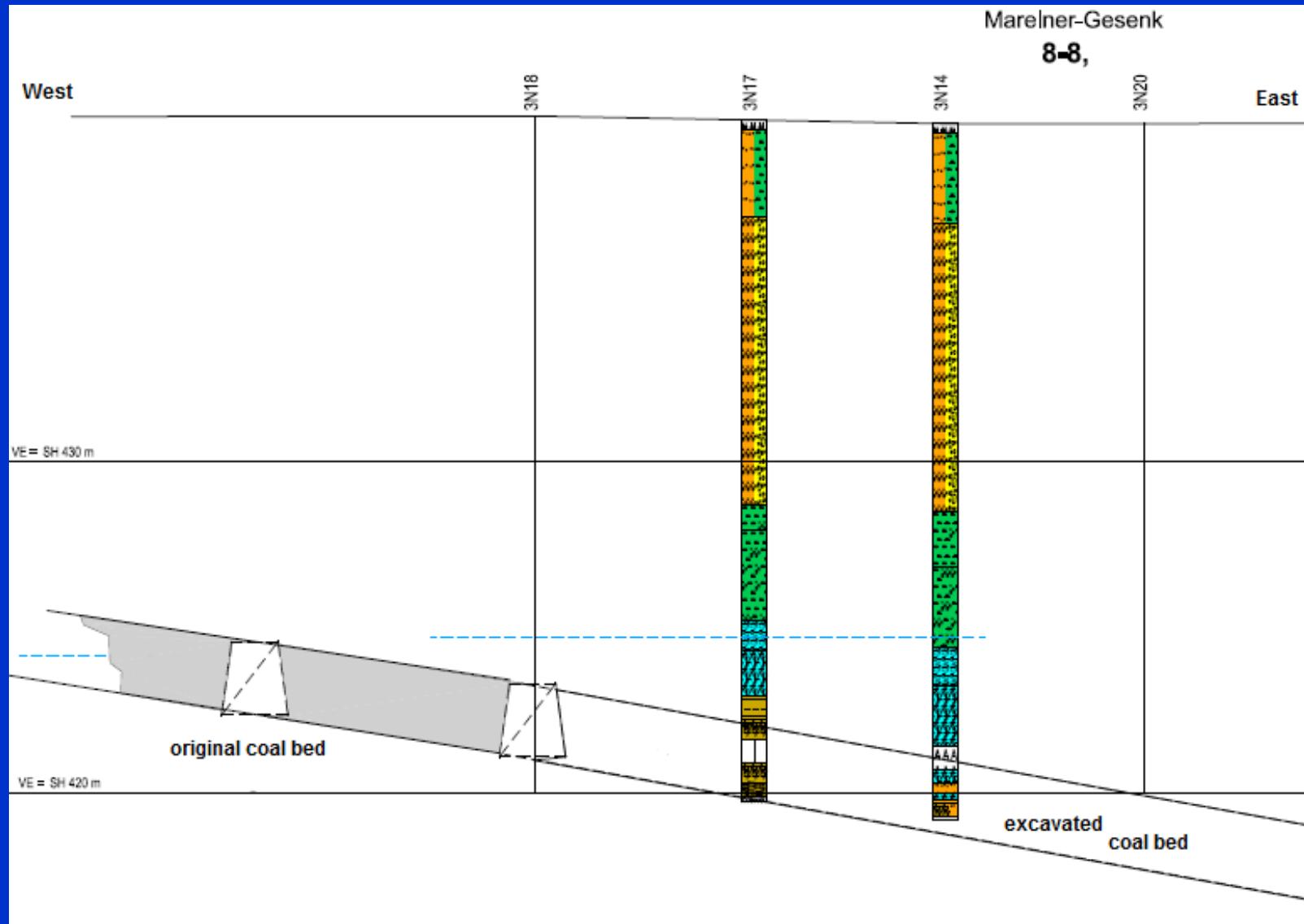
mapa ΔT



Výsledné modely
ložiska podľa
gravimetrie a
magnetometrie.

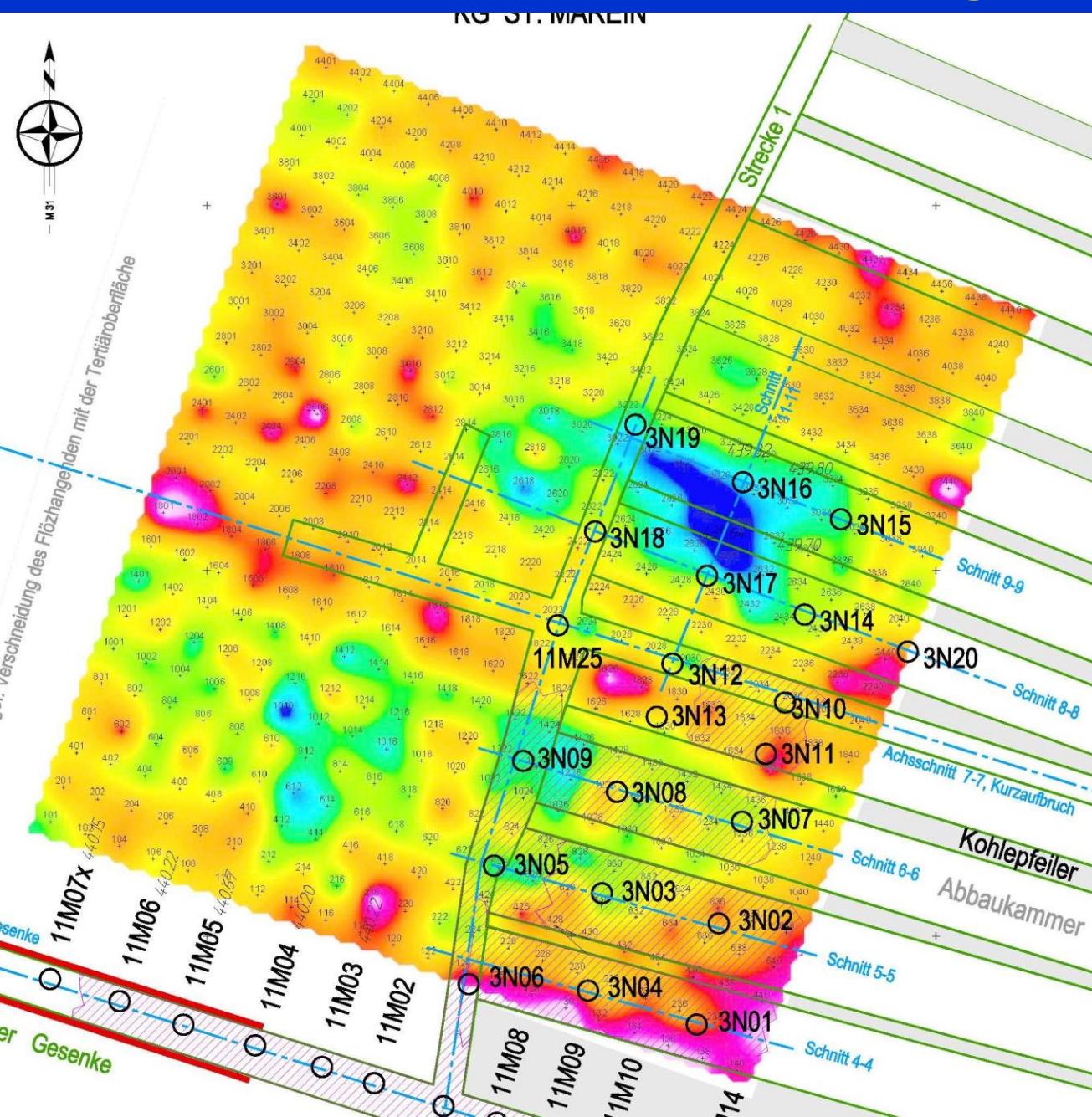
Prieskum karbonatitového ložiska Catalao v Brazílii
(Mantovani et al., 2014).

detekcia dutín - lokalita Wolfsberg, Rakúsko, 2012



priestor bývalej bane na hnedé uhlie (neogénny vek)

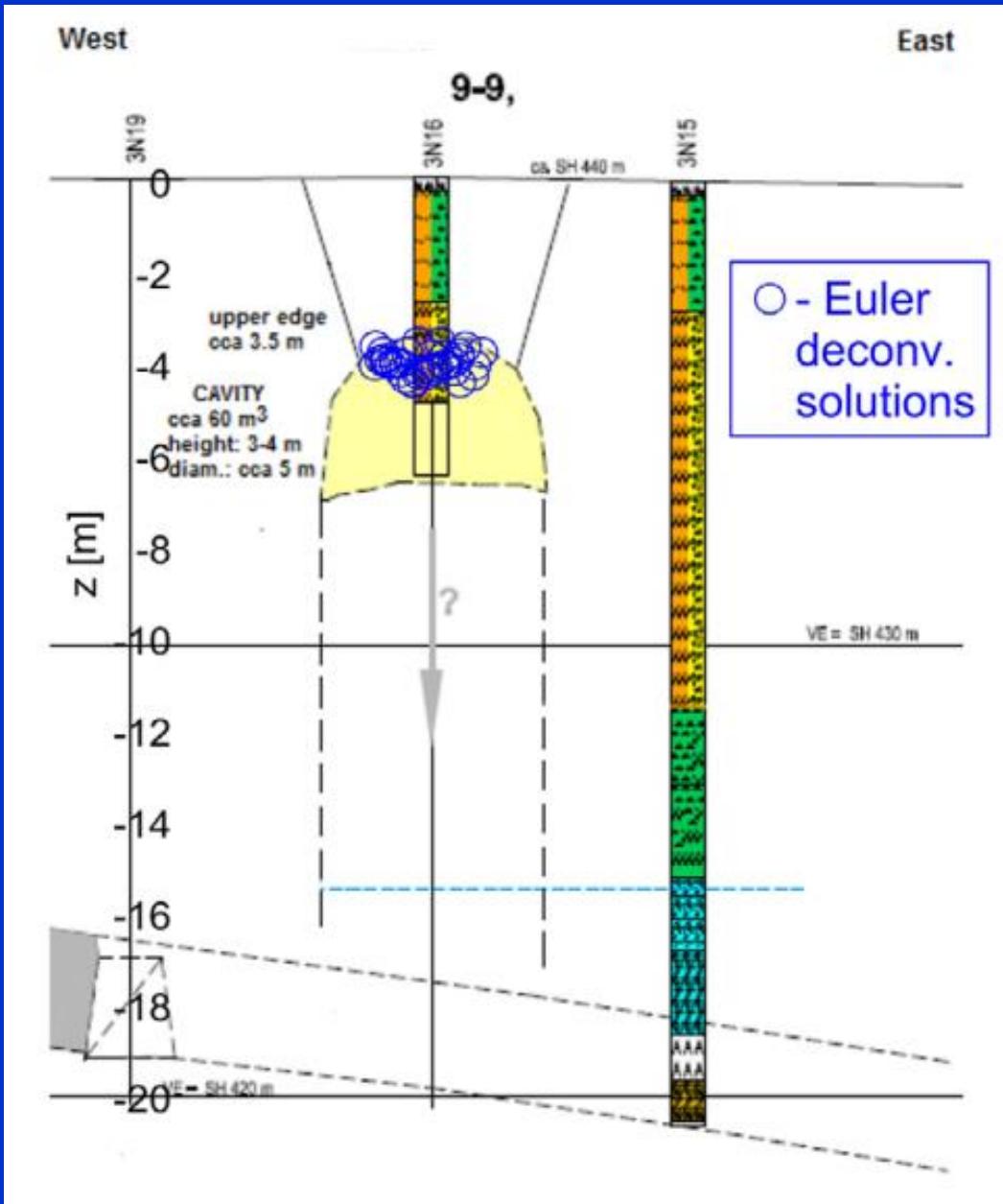
detekcia dutín - lokalita Wolfsberg, Rakúsko, 2012



výsledná mapa
úplných
Bouguerových
anomálií
(krok: 2 x 2 m)

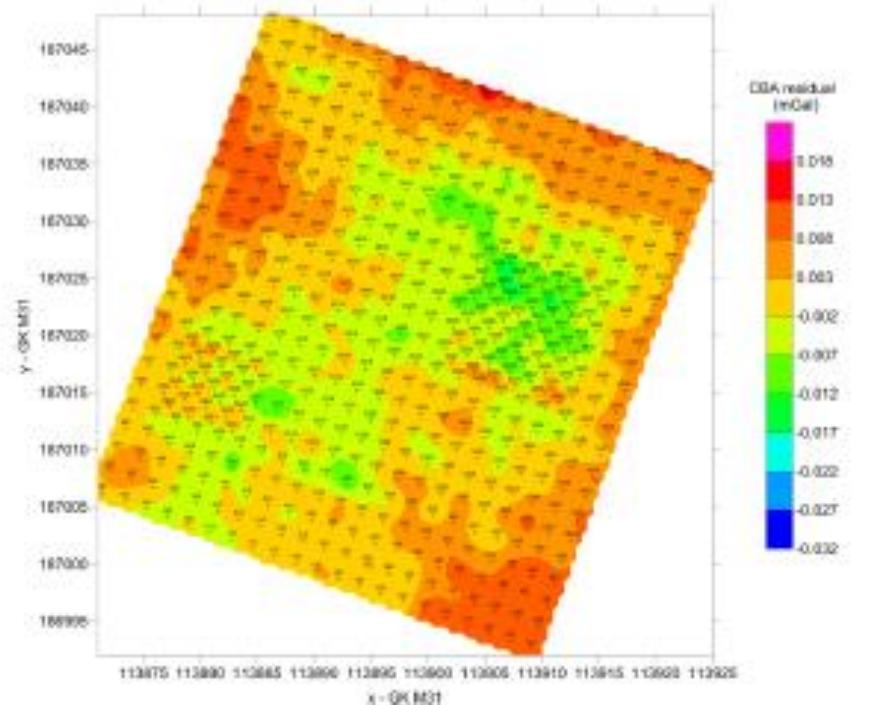
lokalita Wolfsberg, Rakúsko, 2012

výsledky vrtného
prieskumu
(spolu s našimi
hlíbkovými odhadmi –
tzv. metóda Eulerovej
dekonvolúcie)

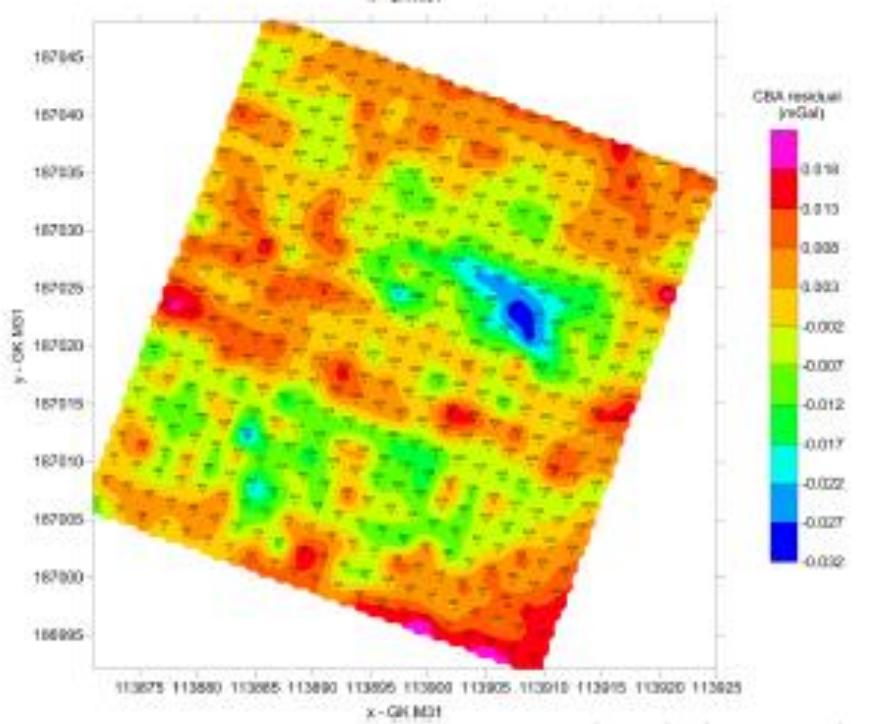


lokalita Wolfsberg,
Rakúsko,
porovnanie rokov
2012 a 2016
(kontrolné merania)

2016



2012





ELSEVIER

JOURNAL OF
**APPLIED
GEOPHYSICS**

Journal of Applied Geophysics 46 (2001) 249–262

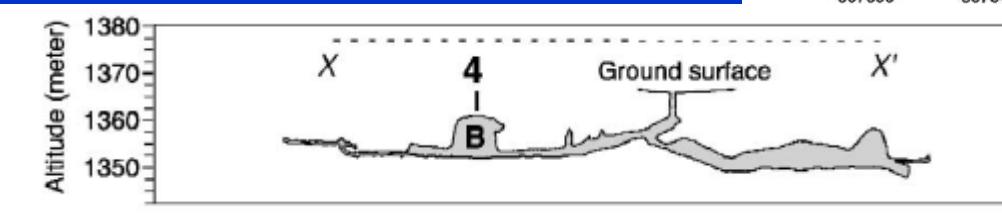
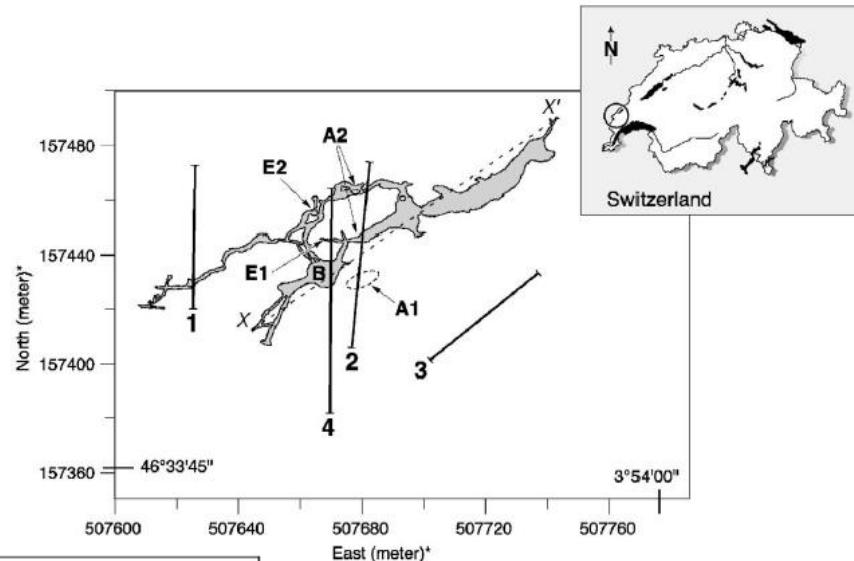
www.elsevier.nl/locate/jappgeo

Integration of ground-penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves

Milan Beres*, Marc Luetscher, Raymond Olivier

Institut de Géophysique, Collège Propédeutique, Université de Lausanne, CP, CH-1015 Lausanne, Switzerland

Received 1



prieskum krasových útvarov

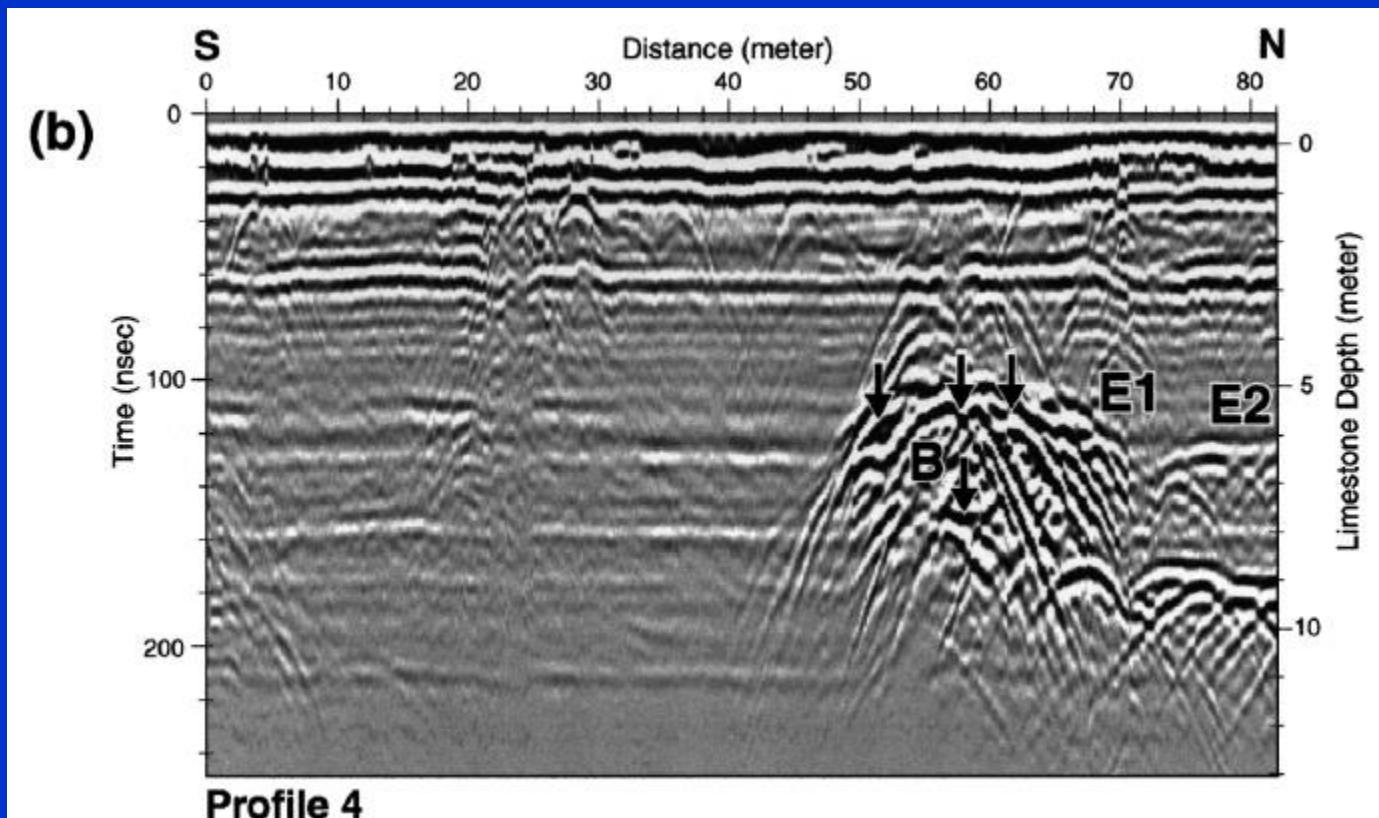
Integration of ground-penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves

Milan Beres *, Marc Luetscher, Raymond Olivier

Institut de Géophysique, Collège Propédeutique, Université de Lausanne, CP, CH-1015 Lausanne, Switzerland

Received 14 March 2000; accepted 12 February 2001

radargram – nemigrovaný rez



prieskum krasových útvarov

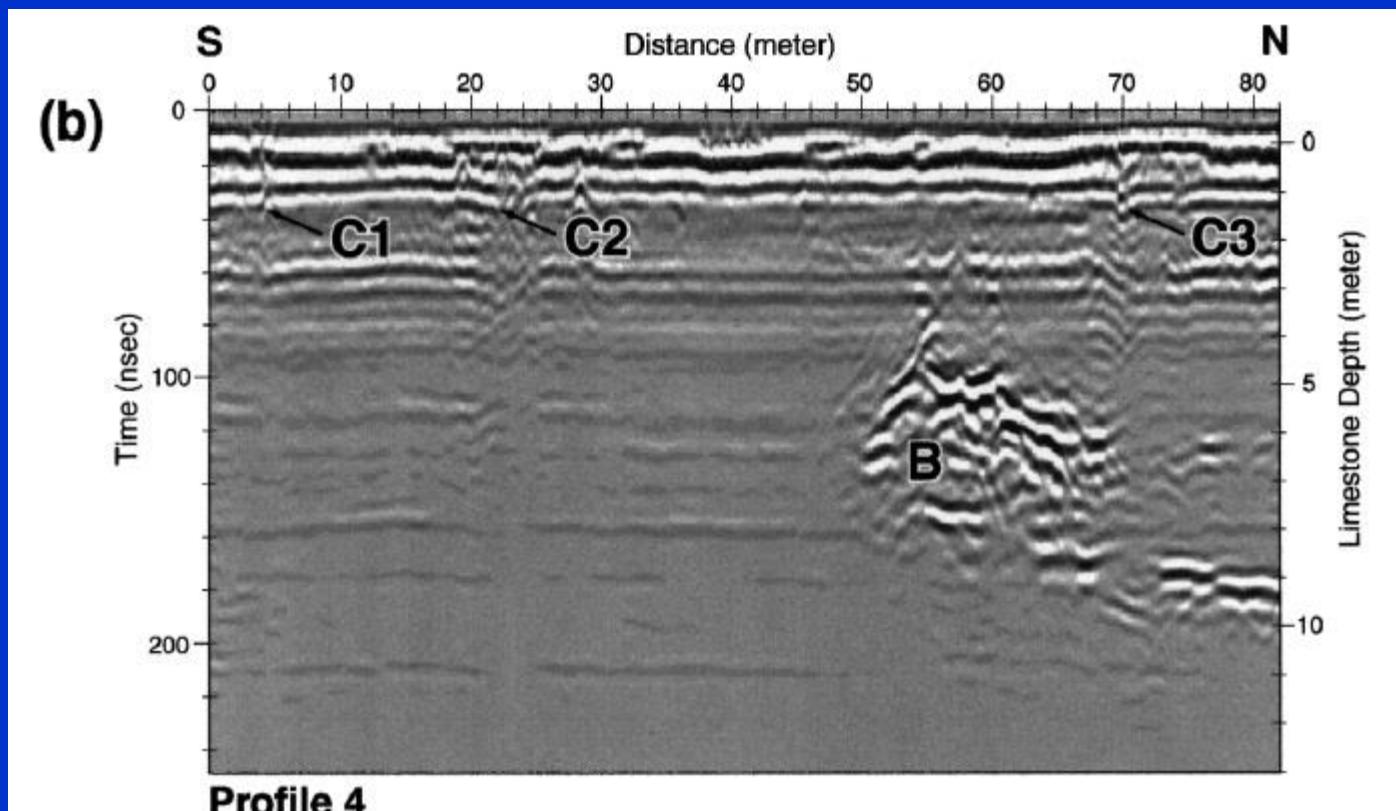
Integration of ground-penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves

Milan Beres *, Marc Luetscher, Raymond Olivier

Institut de Géophysique, Collège Propédeutique, Université de Lausanne, CP, CH-1015 Lausanne, Switzerland

Received 14 March 2000; accepted 12 February 2001

radargram – migrovaný rez



prieskum krasových útvarov

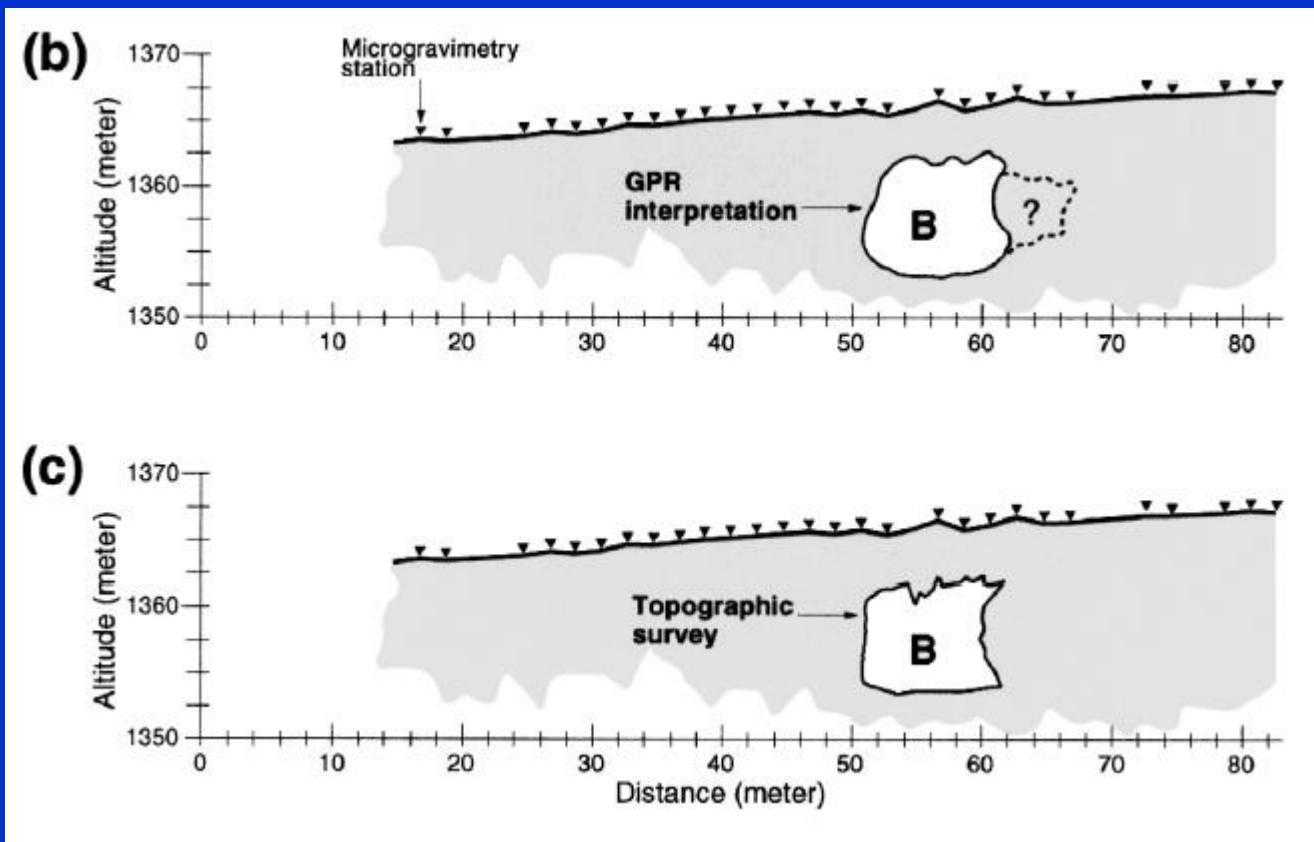
Integration of ground-penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves

Milan Beres *, Marc Luetscher, Raymond Olivier

Institut de Géophysique, Collège Propédeutique, Université de Lausanne, CP, CH-1015 Lausanne, Switzerland

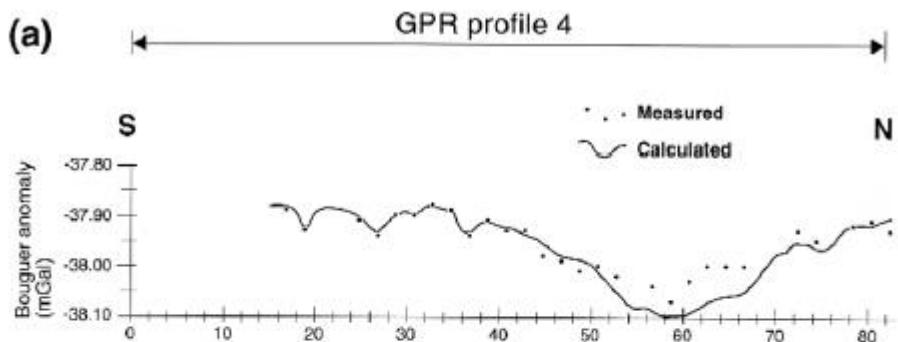
Received 14 March 2000; accepted 12 February 2001

interpretácia – GPR vs. speleolog. prieskum

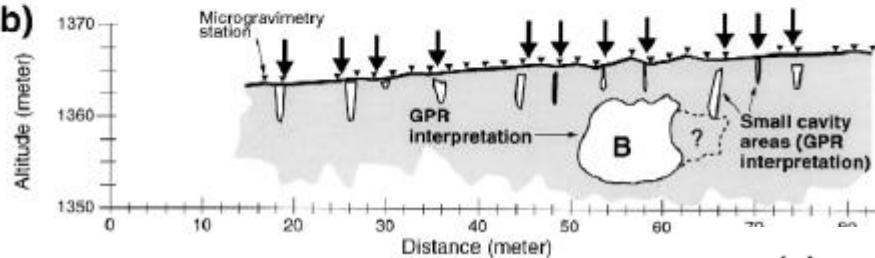


prieskum krasových útvarov

(a)

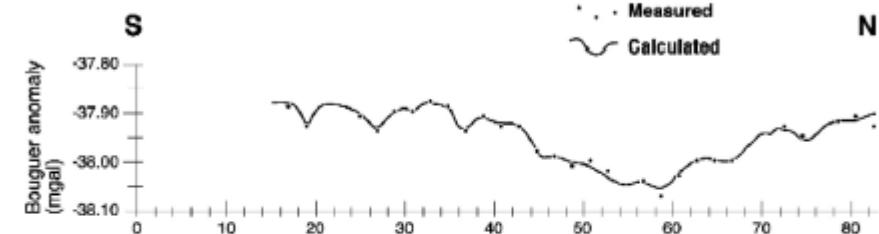


(b)

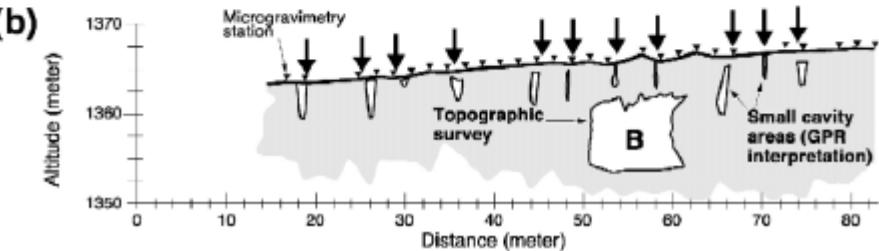


interpretácia – modelovanie mikrograv. anomálie

(a)



(b)

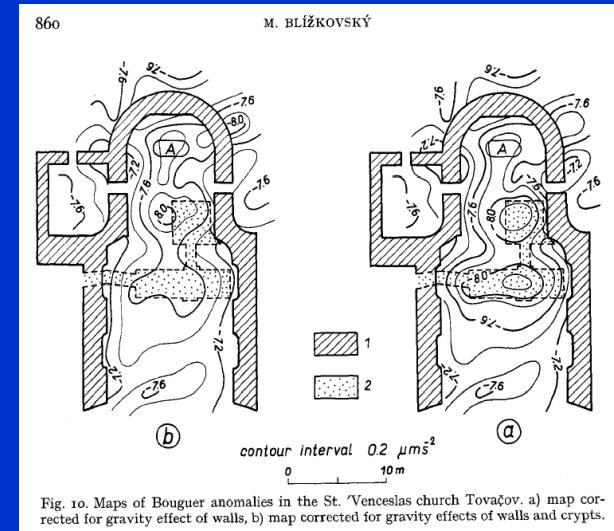
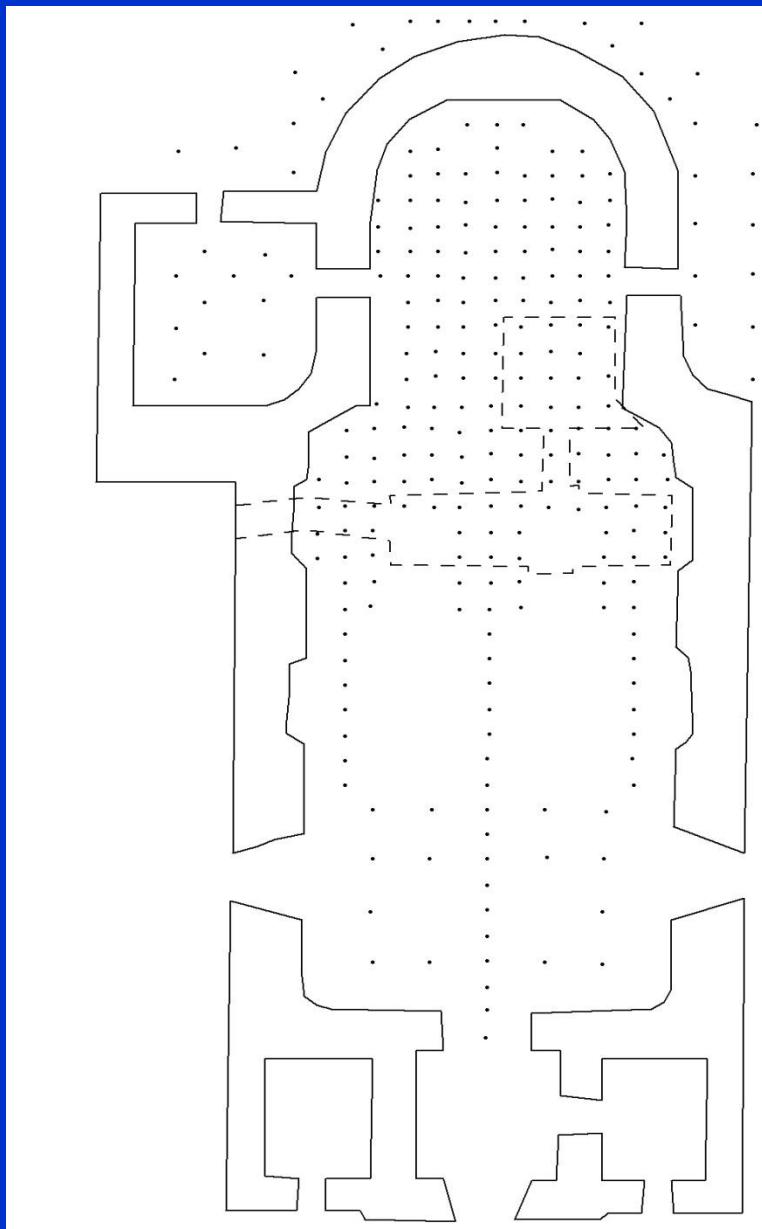


prítomnosť susednej kaverny
nebola potvrdená

využitie gravimetrie

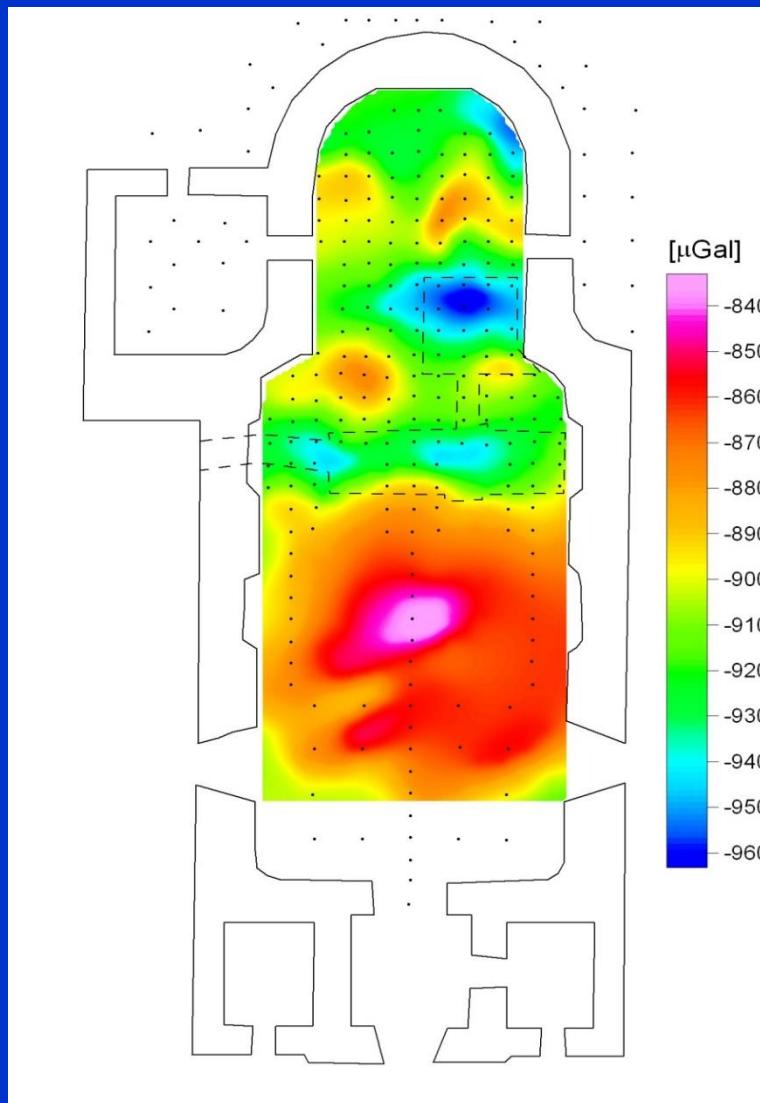
- pri riešení hlbnej stavby litosféry
- v regionálnej a štruktúrnej geológii
- v ložiskovom a ropnom prieskume
- detekcia dutín
(inžiniersky, geotechnický, environmentálny prieskum, archeológia, ...)
- všade tam, kde ide o detekciu a interpretáciu hustotných nehomogenít

výsledky mikrogravimetrického prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove (Bližkovský 1976, 1979)

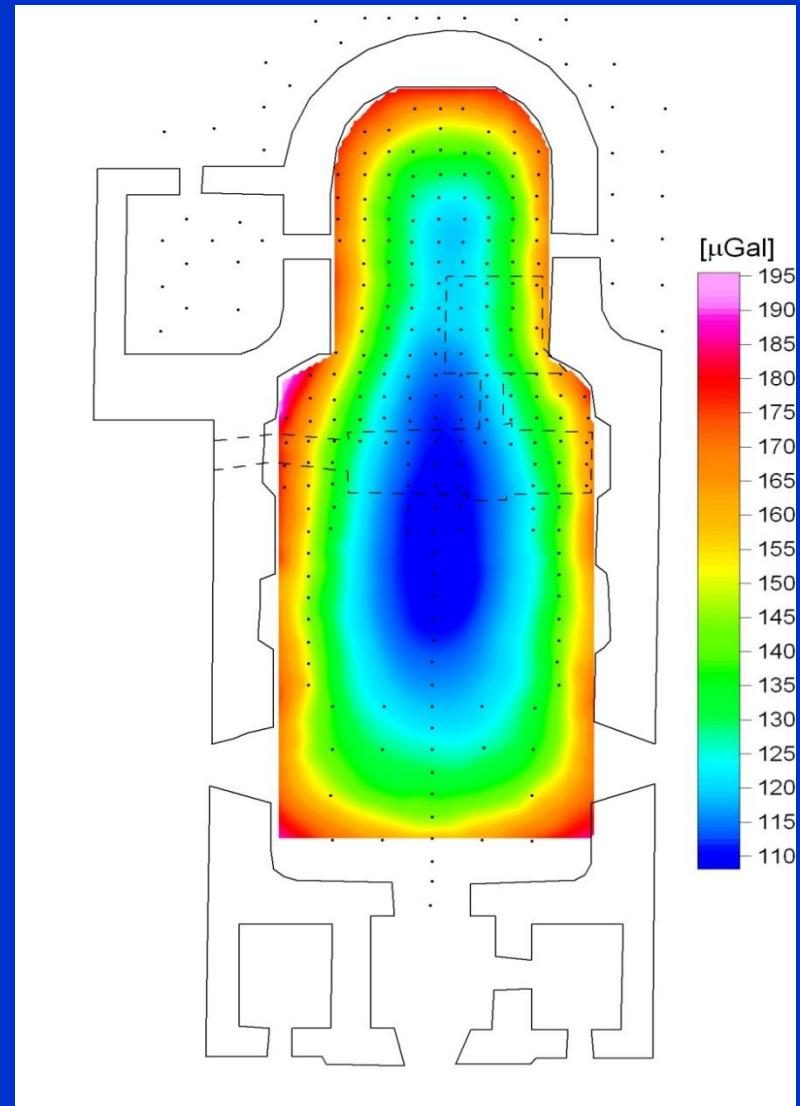


- mikrogravimetria v sieti 1×1 m a 2×2 m, spolu 262 bodov
- stredná kvadratická chyba meraného tiažového zrýchlenia = 0.011 mGal
- interpretované anomálie s amplitúdou 0.06 mGal = $60 \mu\text{Gal}$

výsledky mikrogravimetrického prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove (Bližkovský 1976, 1979)

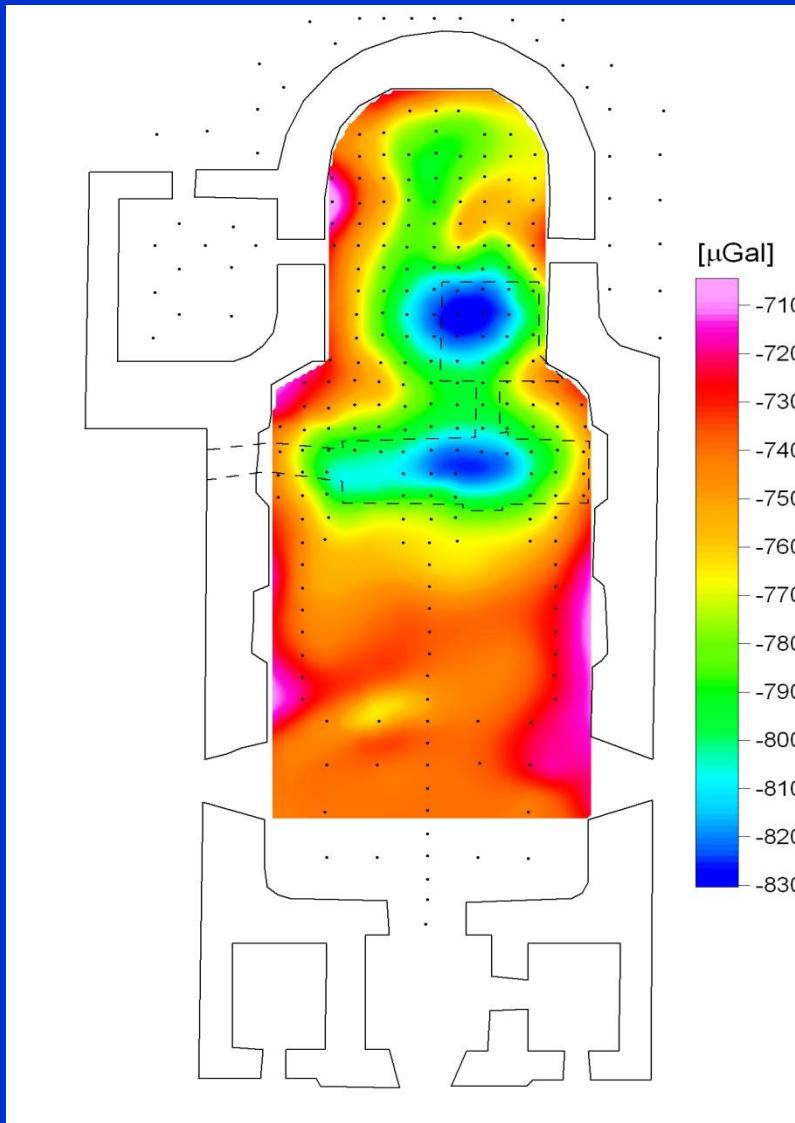


neúplné Bouguerove anomálie
(bez topokorekcií a opráv na účinky múrov)

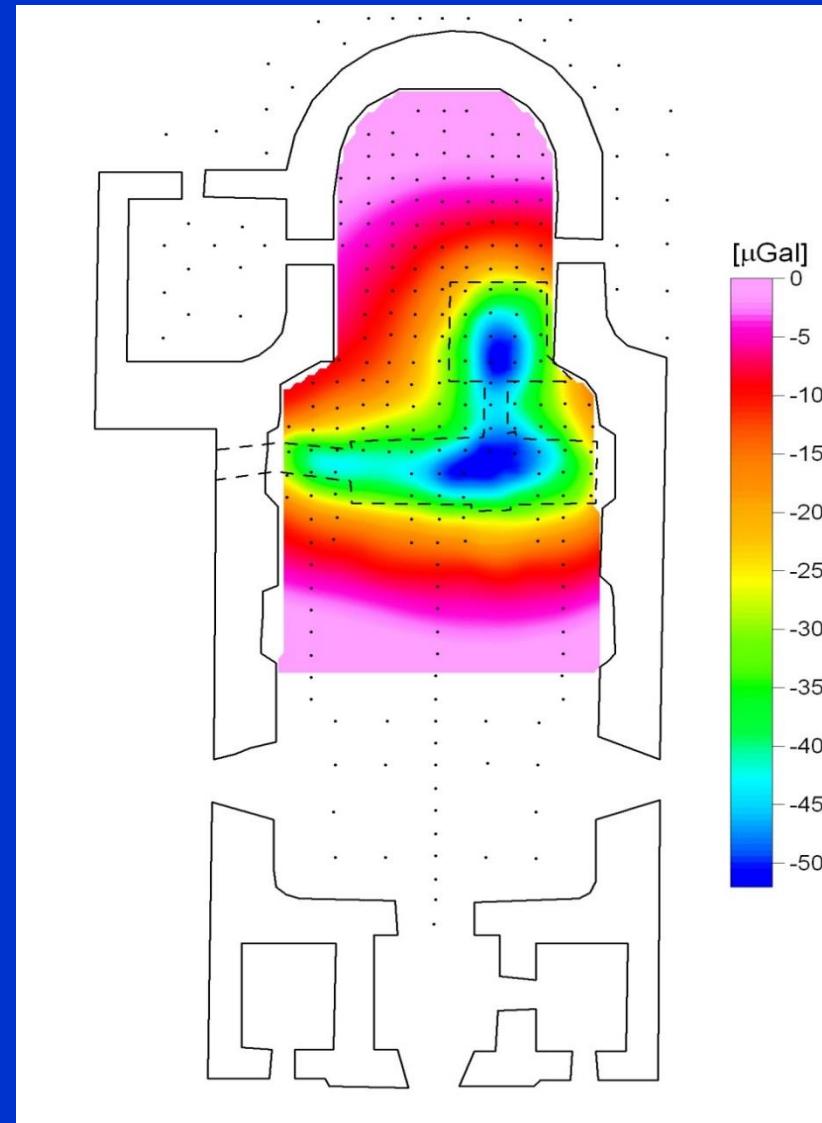


korekcie gravitačného
účinku múrov

výsledky mikrogravimetrického prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove
(Bližkovský 1976, 1979)

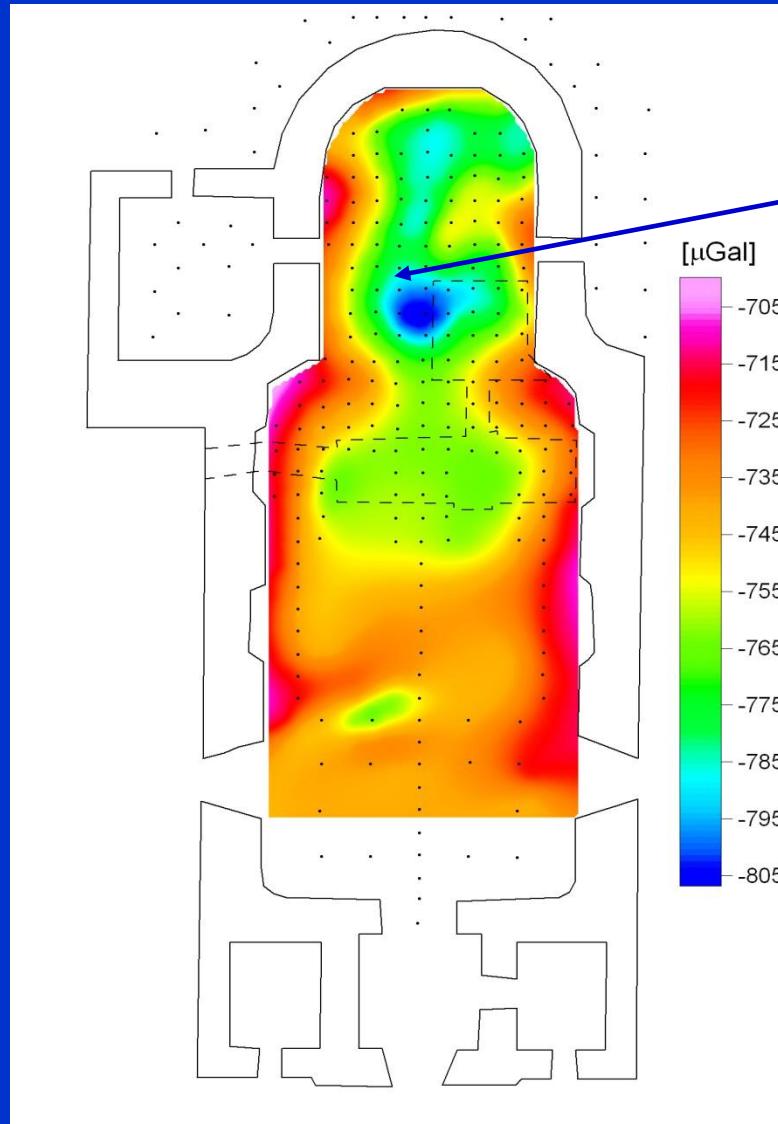


úplné Bouguerove anomálie
(s opravami na účinky múrov)



gravitačný účinok známych krýpt

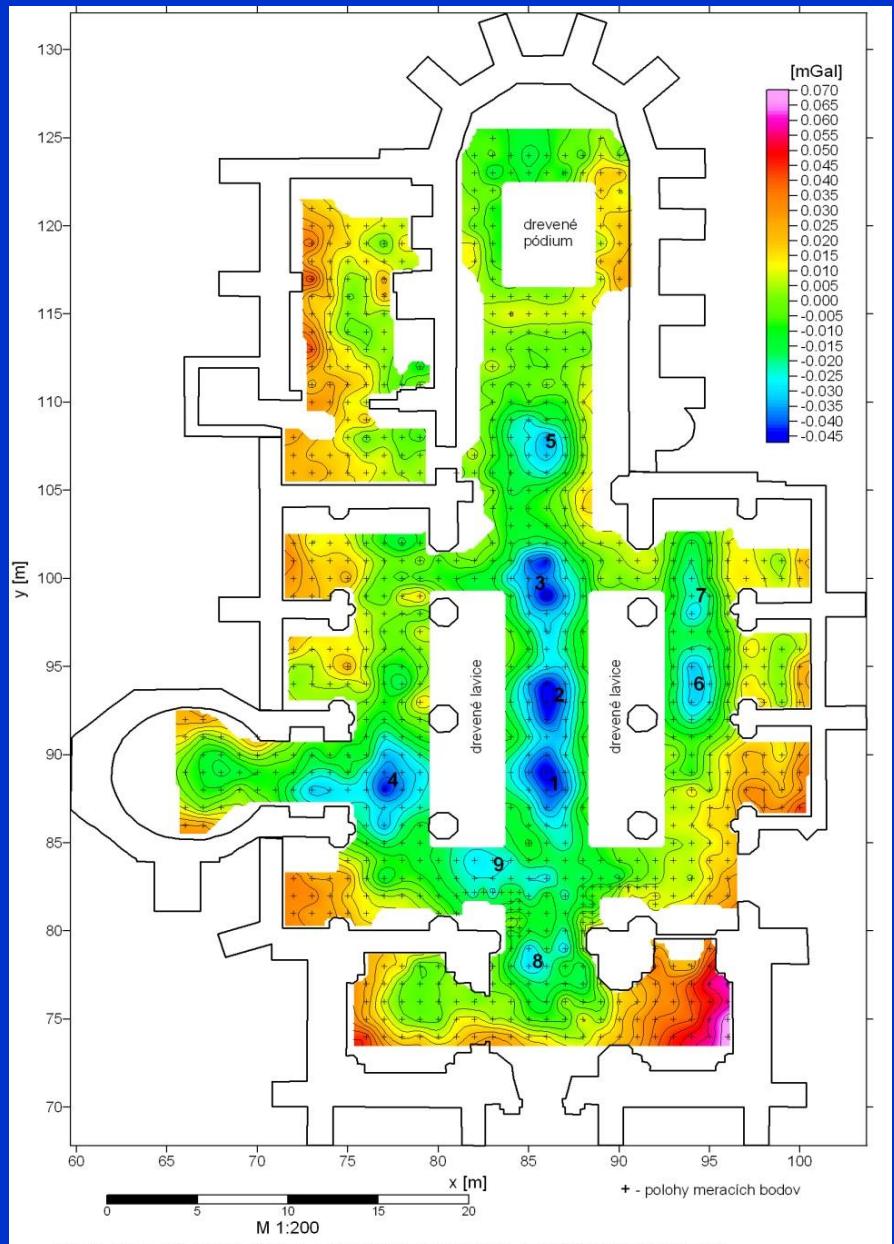
výsledky mikrogravimetrického prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove (Bližkovský 1976, 1979)



v priestore výslednej negatívnej anomálie boli nájdené nové, dovtedy neznáme priestory

výsledok: tzv. úplné odkryté (stripped) Bouguerove anomálie
(s odstránením účinkov známych dutín)

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



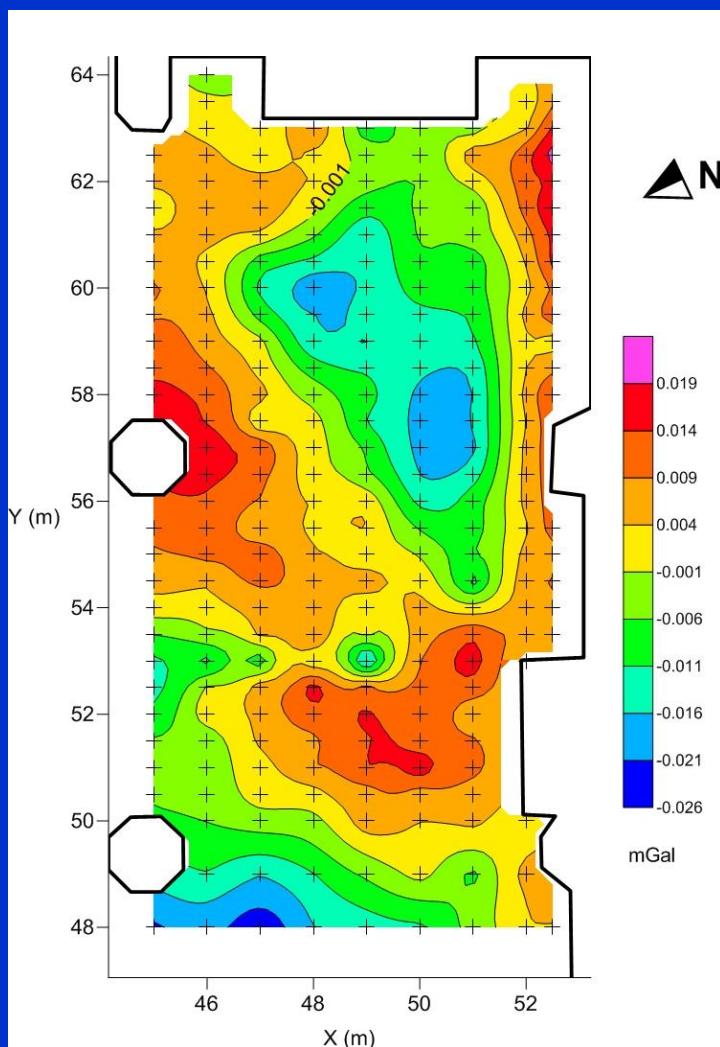
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomalií v priestore kostola
(so zavedením opráv o gravitačný účinok murov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}



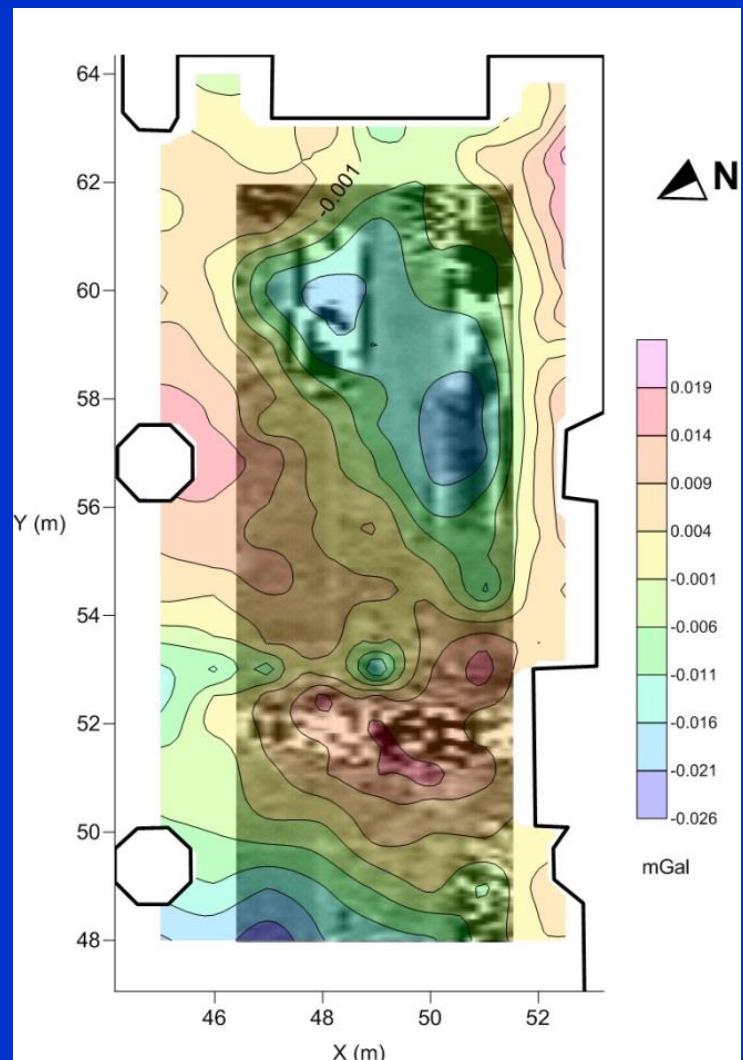
**spojenie výsledkov mikrogravimetrie
a metódy georadaru (GPR),
overené videoinšpekciovou**



výsledky geofyzikálneho prieskumu kostola sv. Juraja v Juri

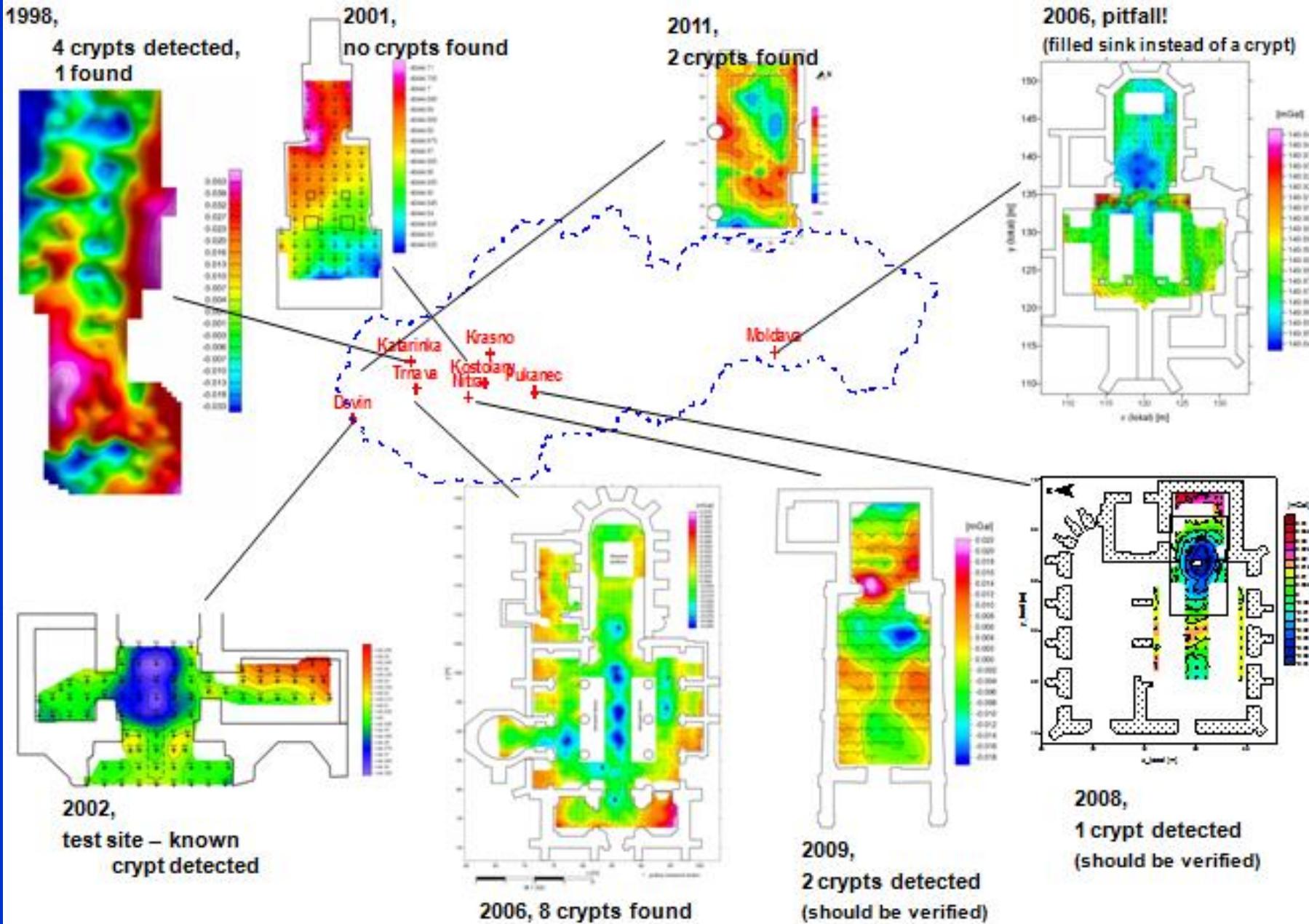


mikrogravimetria

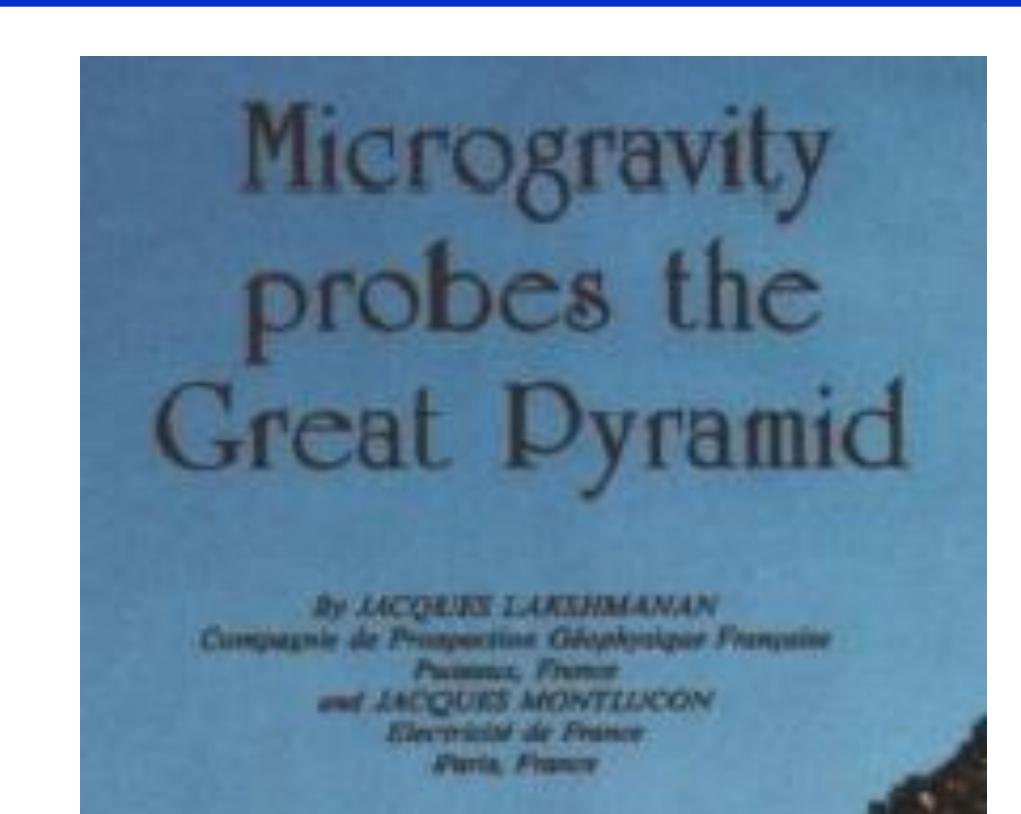


mikrograv. + GPR (0.6 m)

príkladové štúdie (mikrogravimetria) SR

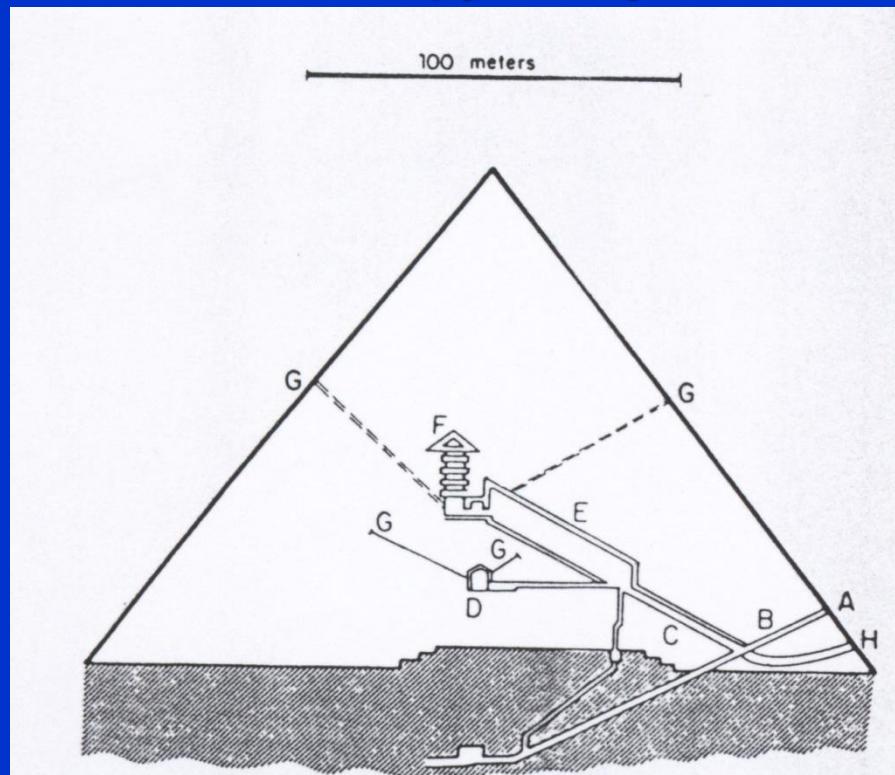


Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogravimetrický projekt



Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

štruktúra pyramídy

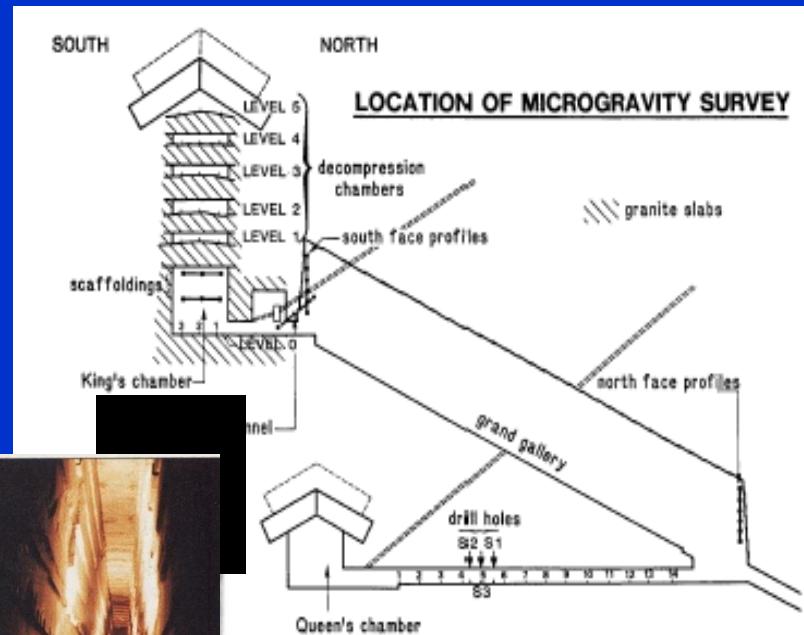


A. NORTHERN ENTRY
B. DESCENDING CORRIDOR
C. RISING CORRIDOR
D. QUEEN'S CHAMBER
E. LARGE GALLERY

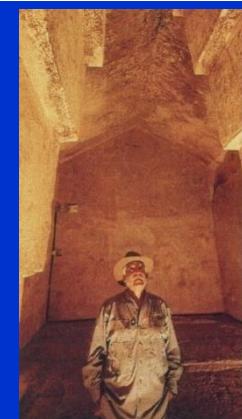


samotné meranie

merané priestory



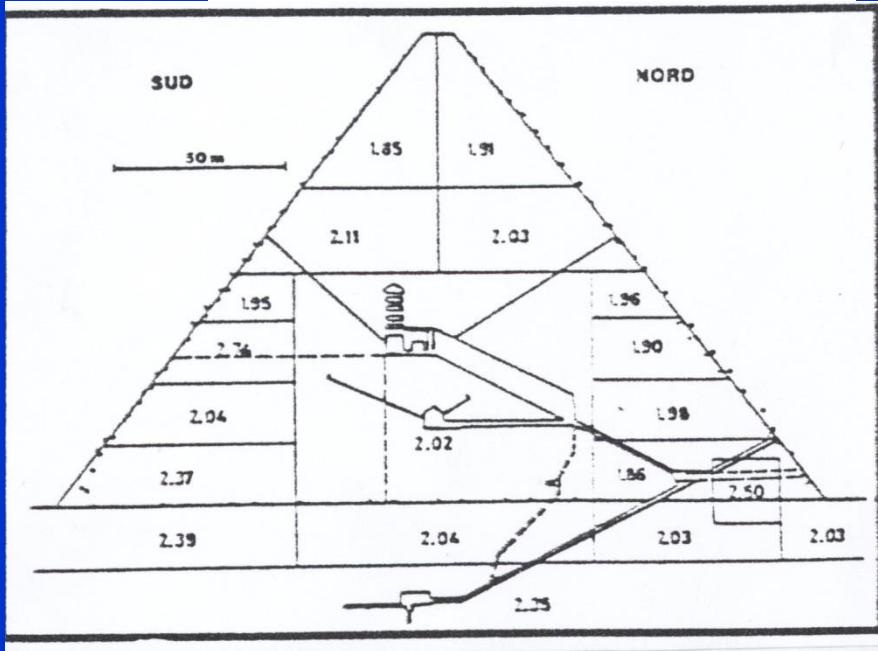
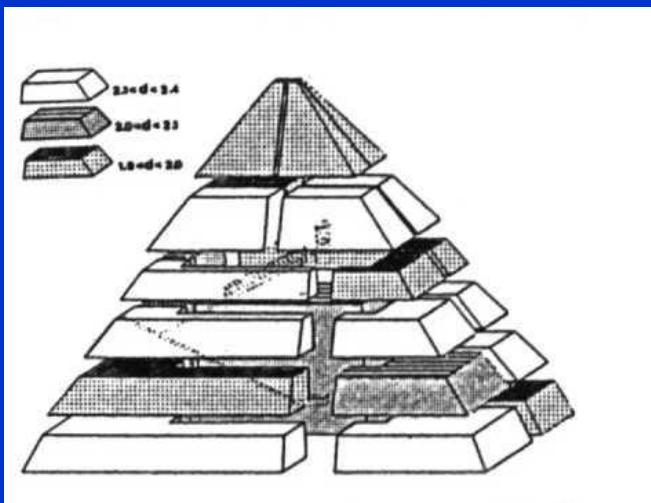
veľká
galéria



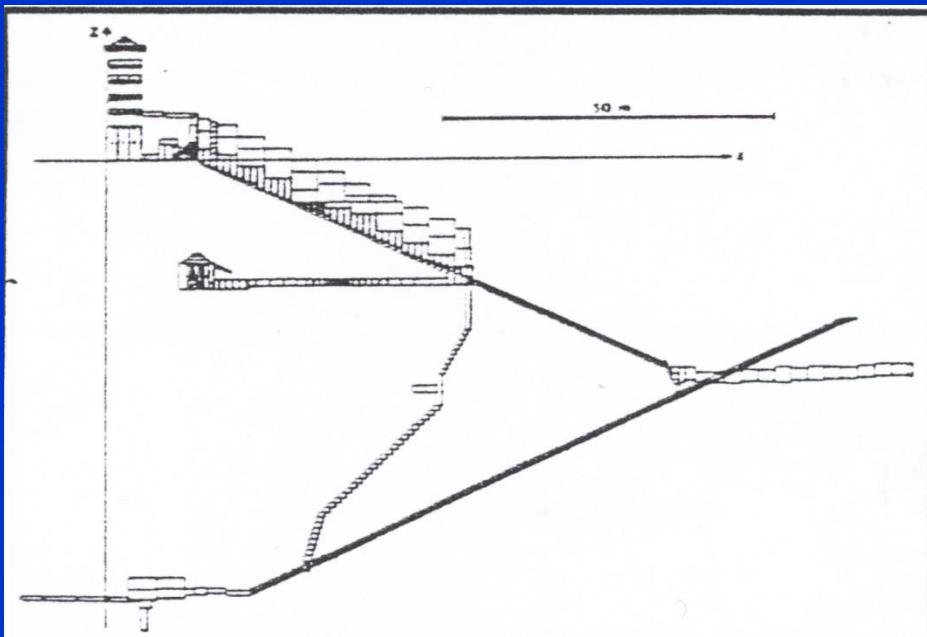
kráľovská
komnata

odhad. chyba: 2 - 10 μ Gal

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt



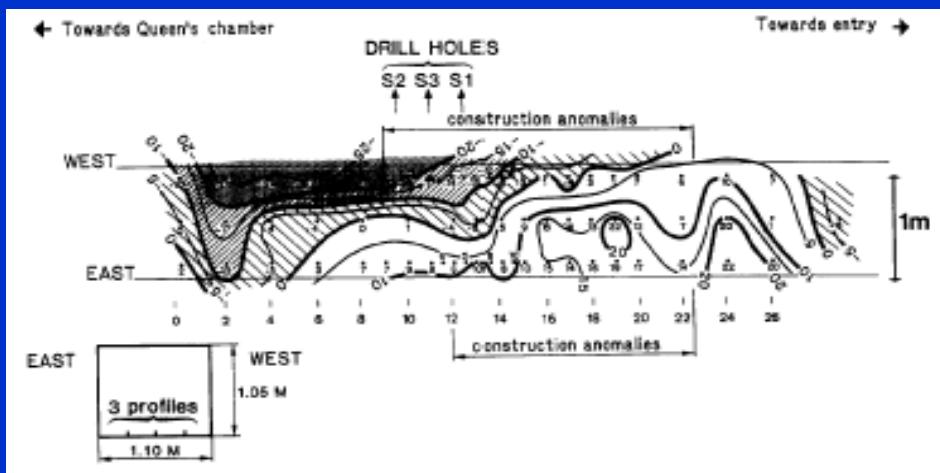
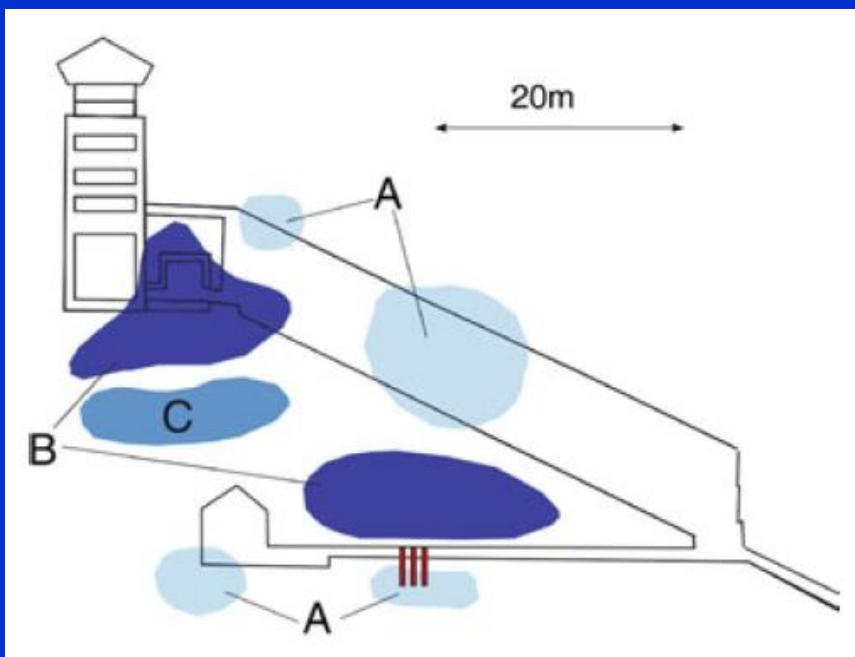
**tvorba Bouguerovej anomálie
- odstránenie gravitačných
účinkov známych štruktúr**



známe dutiny

model hustotného „rozvrstvenia“ pyramídy

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt výsledky



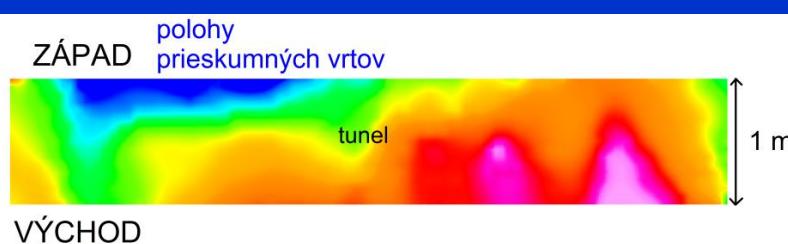
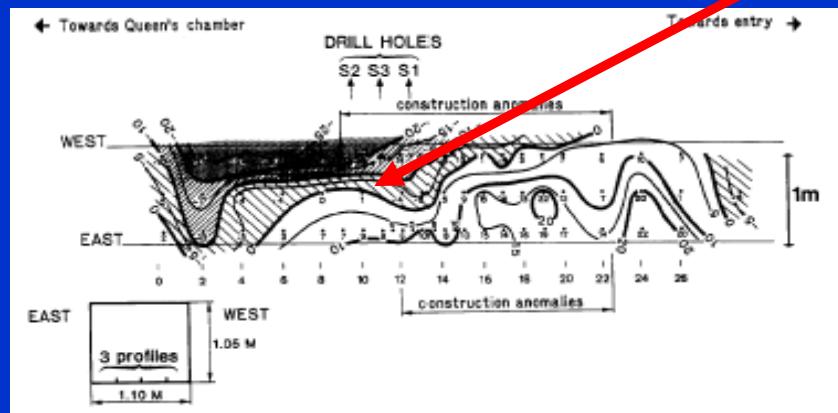
hustotné nehomogenity
na základe mikrogravimetrie
z roku 1988
(svetlejšie - dutiny)

dôležitý výsledok – mapa ÚBA
z prístupovej chodby
do “královninej” pohrebnej
miestnosti

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt výsledky

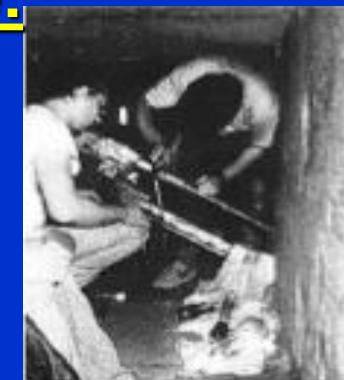
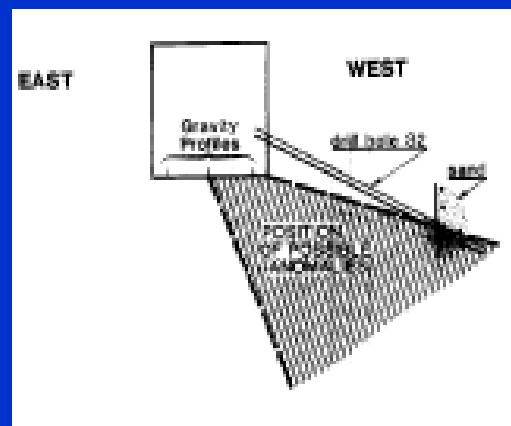
hlavný výsledok z roku 1988:

zistenie dominantnej negatívnej anomálie v západnej časti prístupovej chodby do „královninej“ pohrebnej miestnosti



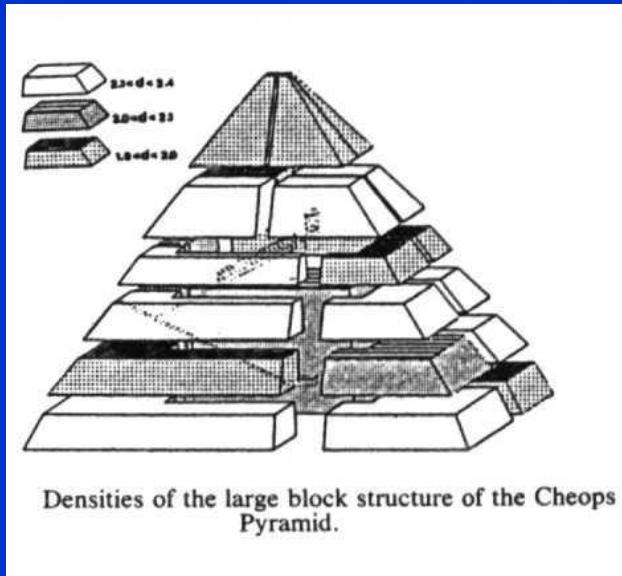
Královnina komnata

overenie anomálie:



3 vrty dosiahli po 2.1 m dutinu vyplnenú pieskom,
(modelovaný objem dosahuje až 40 m^{-3})

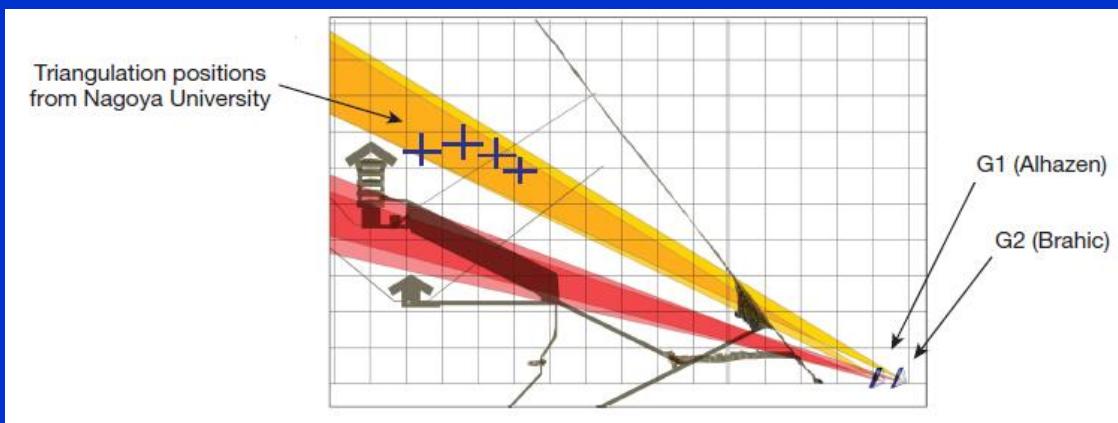
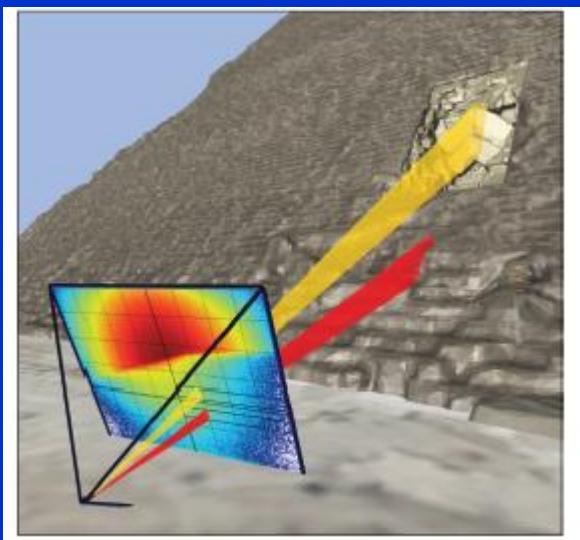
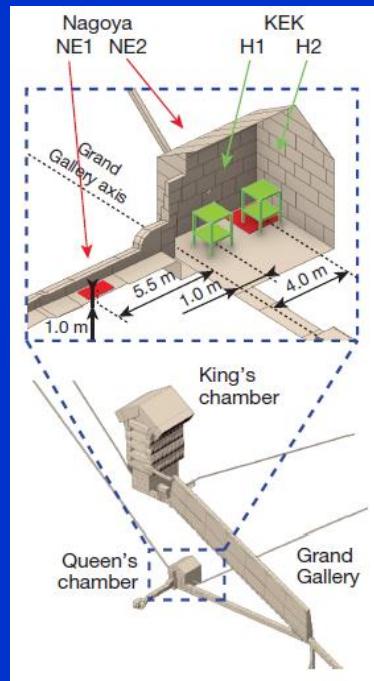
Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt výsledky – možná interpretácia



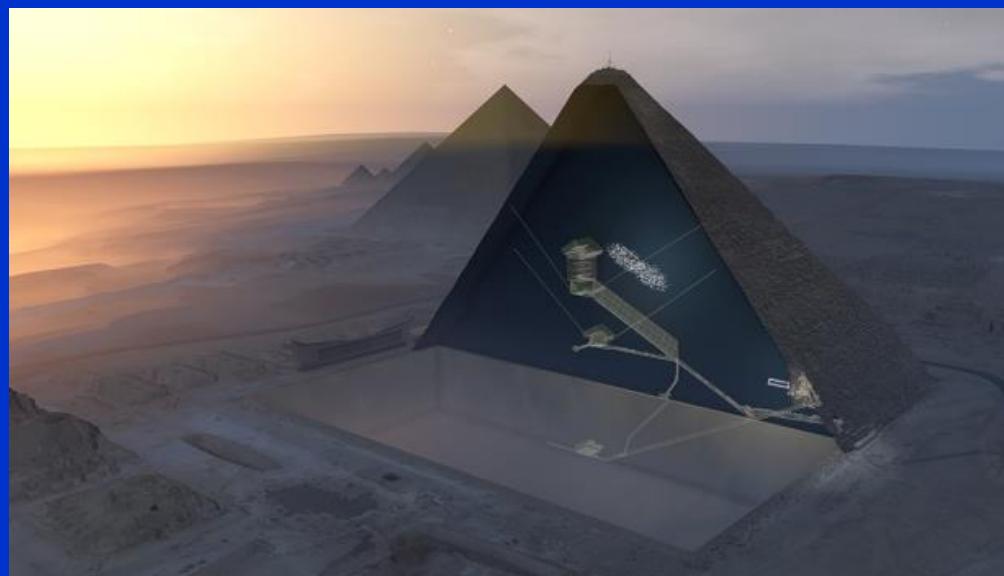
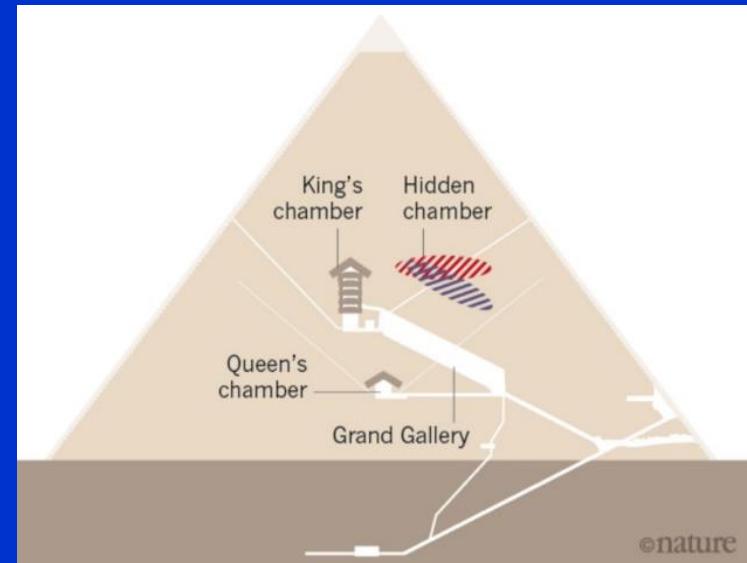
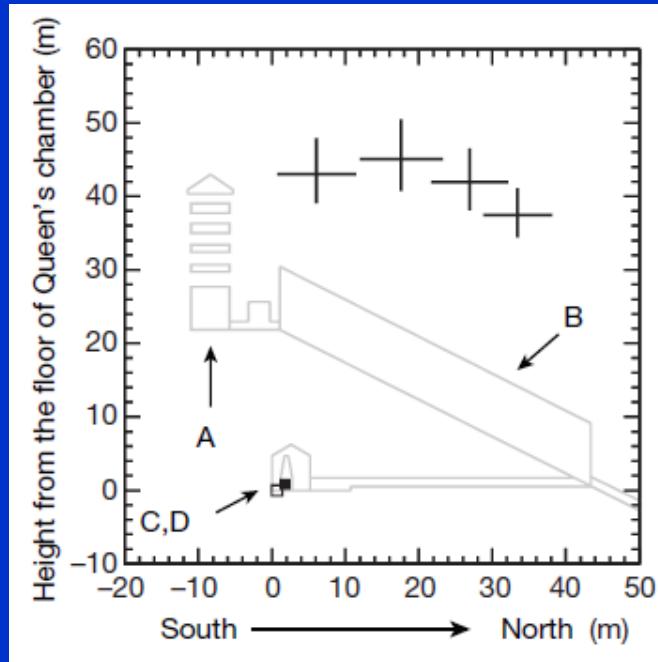
zvyšok pieskovej rampy



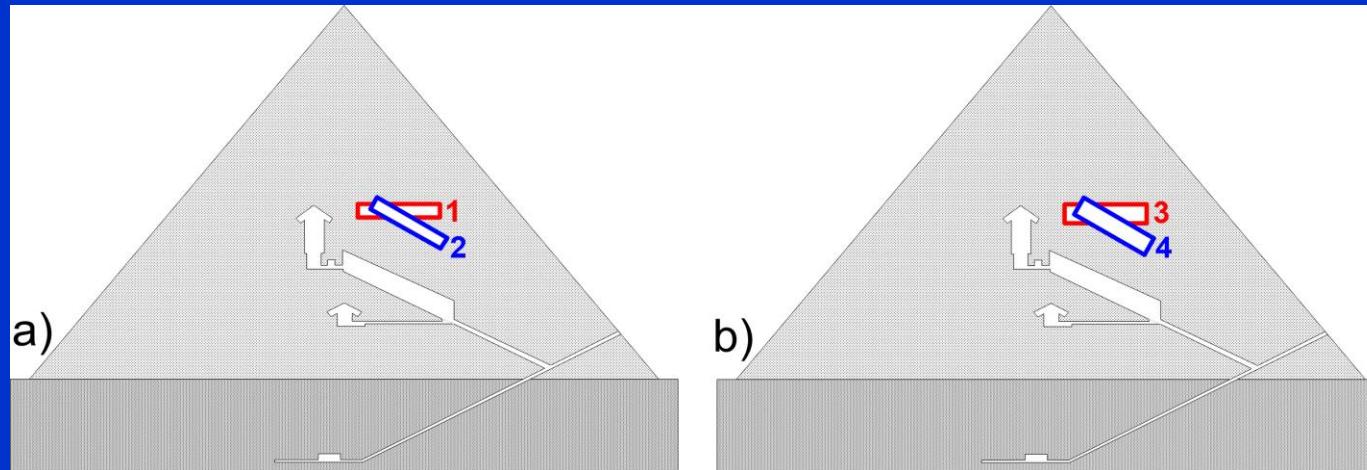
Zaujímavosť – rok 2017: objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



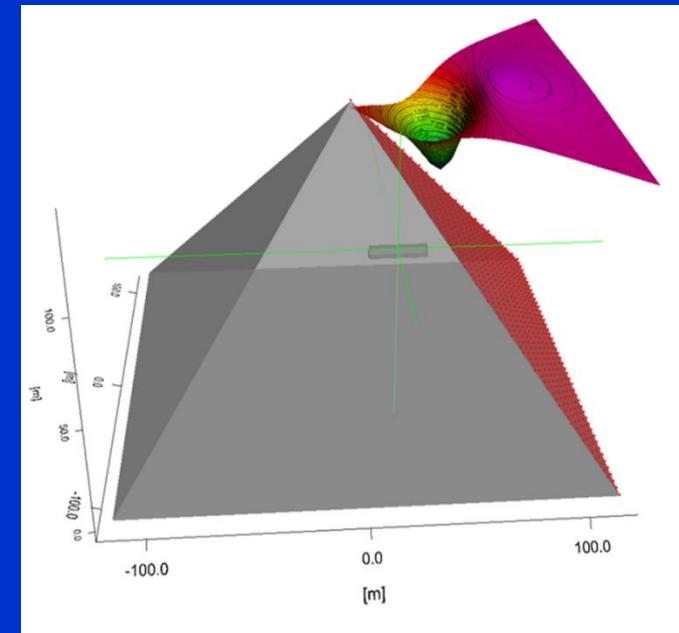
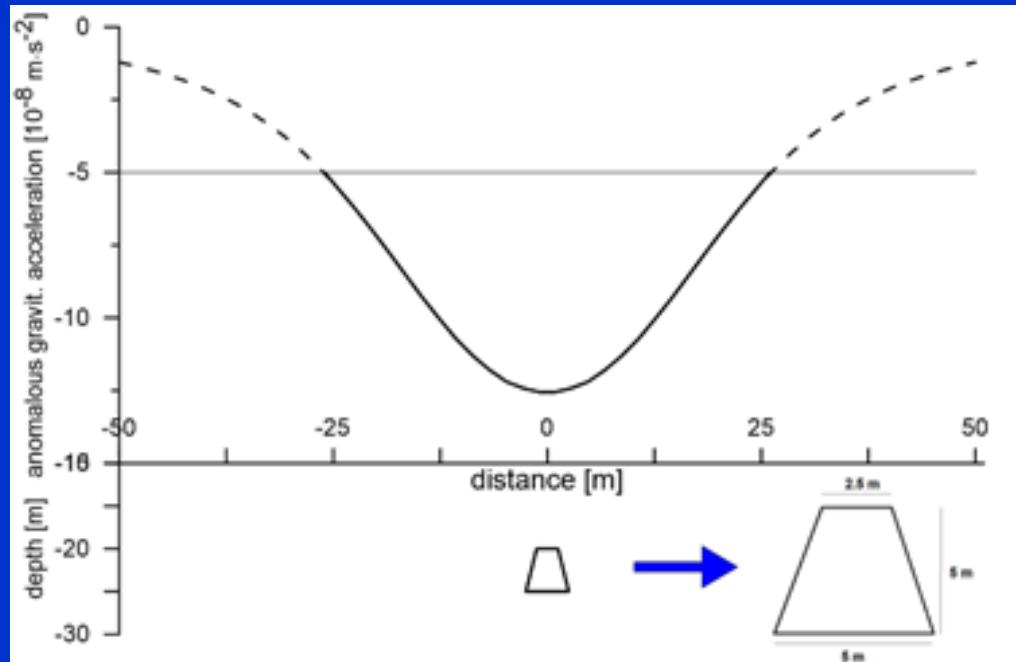
Zaujímavosť – rok 2017: objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



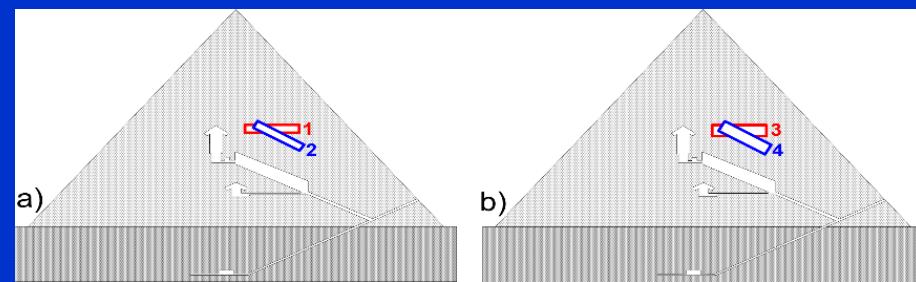
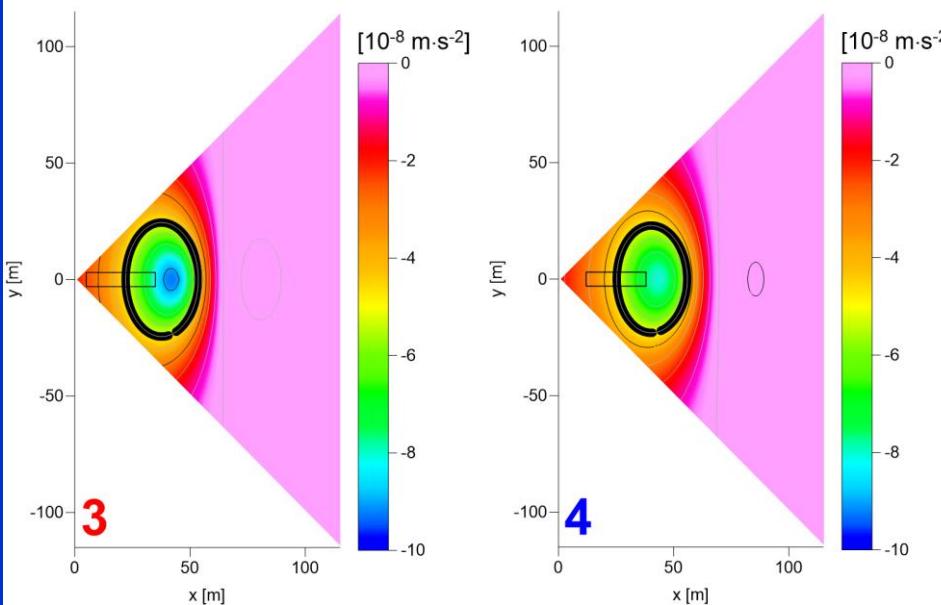
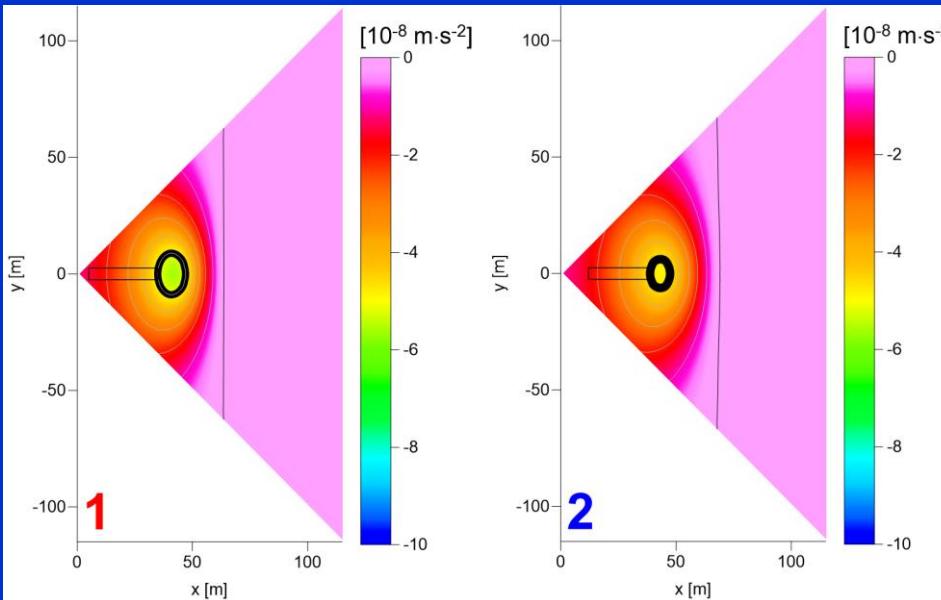
Bolo by možné prítomnosť tejto dutiny overiť presnými gravimetrickými meraniami na povrchu pyramídy?



modelované
4 scenáre
(výška 5 a 7 m)



Bolo by možné prítomnosť tejto dutiny overiť presnými gravimetrickými meraniami na povrchu pyramídy? – asi áno...



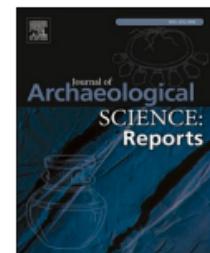
Hrubá izočiara približne vymedzuje plochu, v rámci ktorej by mohla byť daná dutina „merateľná“ pomocou súčasných moderných gravimetrov.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Journal of Archaeological Science: Reports

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jasrep



The discovery of the “muons-chamber” in the Great pyramid; could high-precision microgravimetry also map the chamber?



R. Paštka^{a,*}, P. Zahorec^b, J. Papčo^c, J. Mrlina^d, H.-J. Götze^e, S. Schmidt^e

^a Department of Engineering Geology, Hydrogeology and Applied Geophysics, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Ilkovičova 6, 842 48 Bratislava, Slovak Republic

^b Division of Geophysics, Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, Slovak Republic

^c Department of Theoretical Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

^d Institute of Geophysics of the Czech Academy of Sciences, Boční II/1401, 141 31 Prague 4, Czech Republic

^e Department of Geophysics, Institute for Geosciences, Christian-Albrechts University, Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Pyramid chamber
3D gravity model
Microgravity measurement
Muon scanning
Big Void
Archaeogeophysics

ABSTRACT

In this study we have investigated the question as to whether highly accurate microgravimetric measurements on the side of a pyramid could also map the recently discovered “muon chamber” in the Great Pyramid of Giza in Egypt. Exploiting the technical capabilities of modern gravimeters, we performed three-dimensional model calculations with realistic model parameters obtained from published literature. Under ideal experimental conditions researchers are able to measure relatively small gravity effects around $-1 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-2}$. However, to transfer the model scenario to investigating the real-world pyramid chamber we need to know what the chamber may contain – such knowledge can help in estimating a more realistic result.

aplikovaná gravimetria - zhrnutie

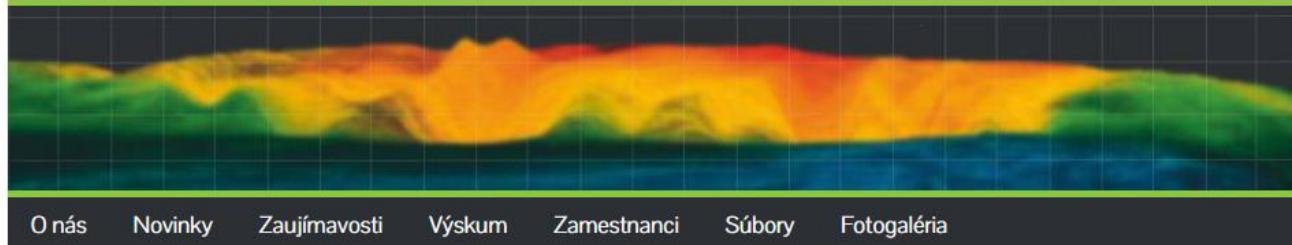
- meraná veličina: tiažové zrýchlenie g [mGal]
- prístroje: gravimetre (relatívne)
- neinterpretujeme priamo hodnoty g , ale počítame tzv. Úplnú Bouguerovu Anomáliu (ÚBA)
- interpretácia (kvalitatívna, kvantitatívna), nie vždy jednoznačná – treba dpolňujúce informácie (geol./matfyz.)
- možnosti použitia: všade tam, kde ide o detekciu a interpretáciu hustotných nehomogenít

ZÁKLADY APLIKOVANEJ GRAVIMETRIE

www.kaeg.sk

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave

Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky
Oddelenie aplikovanej geofyziky



O nás Novinky Zaujímavosti Výskum Zamestnanci Súbory Fotogaléria

Návod na štúdium: Ako sa stať aplikovaným geofyzikom

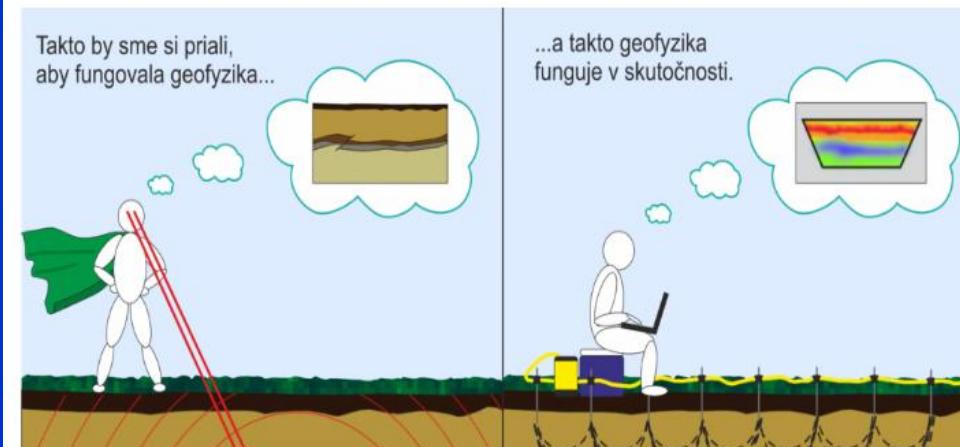
Napsal Kaeg-Doktorand, 12. septembra 2023 v Štúdium

Milí študenti,

ak máte pocit, že je pre vás nová akreditácia chaotická – netrápte sa. Pripravili sme pre vás návod, ako a čo treba robiť počas bakalárskeho štúdia, ak sa chcete stať aplikovanými geofyzikmi:

[ako_byt_geofyzikom](#)

[Stiahnut](#)



Slovenčina

Angličtina

Hľadať

zadajte výraz...

Rýchla navigácia

Fotogaléria

Novinky

O nás

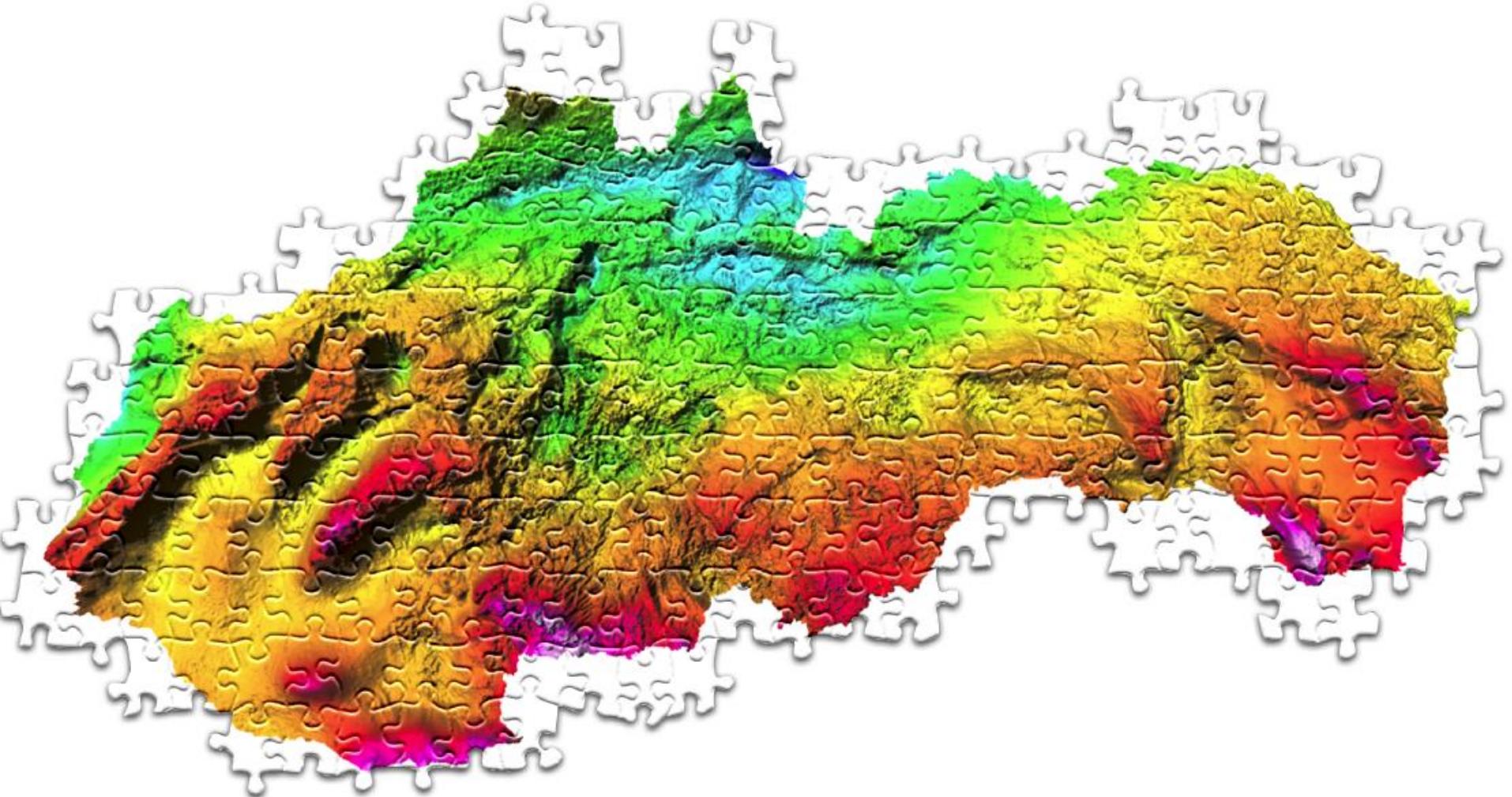
Súbory

- Iné
- Učebné texty

Výskum

◦ Projekty APVV

▪ Project APVV-



Ďakujem za pozornosť!