

Základy aplikovanej geofyziky



gravimetria

magnetometria

geoelektrika

seizmika

karotáž

rádiometria

seizmológia

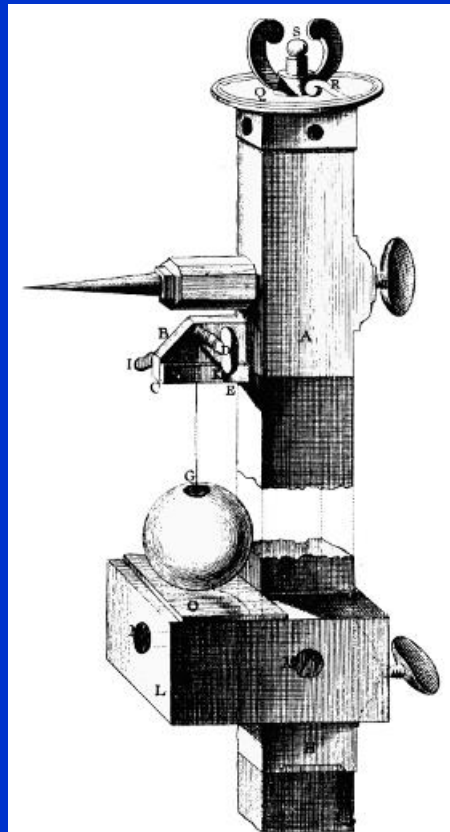
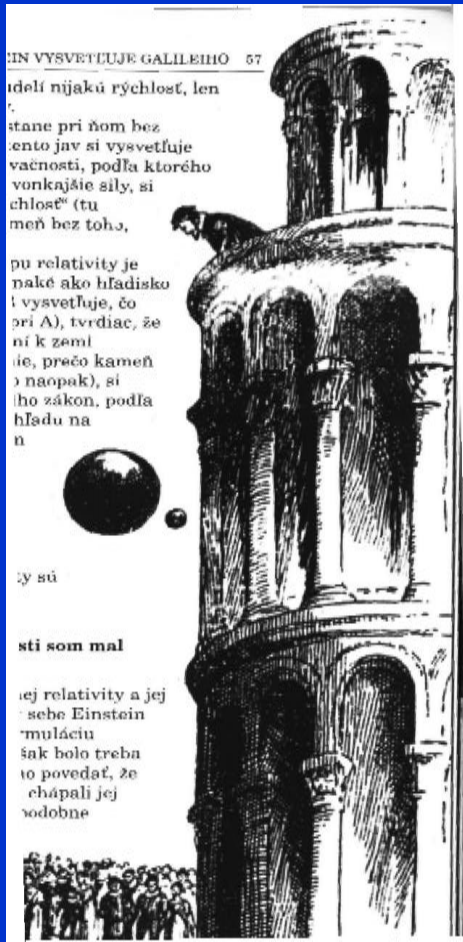
GRAVIMETRIA

Obsah prednášky:

- ujasnene si základných pojmov
- trošku z histórie
- jednotky v gravimetrii
- meranie tiažového zrýchlenia (prístroje)
- hustoty (minerálov a hornín)
- spracovanie meraní (úplné Bouguerove anomálie)
- interpretácia
- príklady využitia gravimetrie

GRAVIMETRIA

Meranie, vyhodnocovanie a interpretácia tiažových meraní
(„gravis“ – ťažký, „metrein“ - merať)

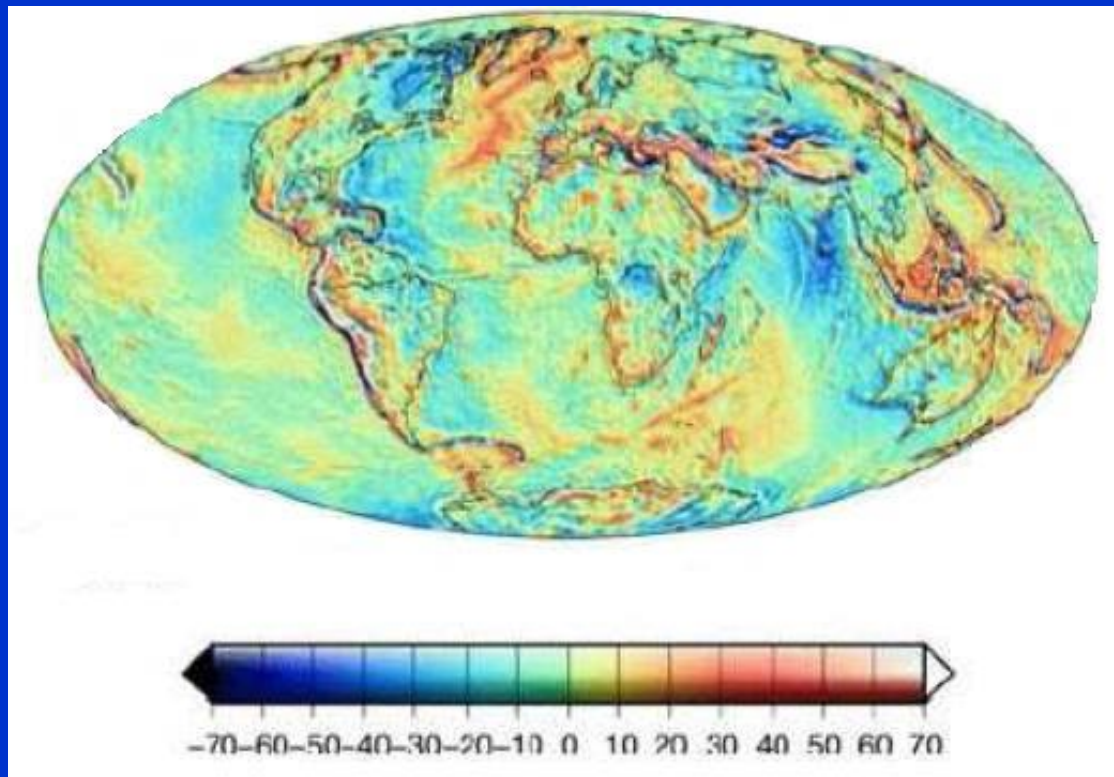


UJASNENIE SI ZÁKLADNÝCH POJMOV

hodnota g (tiažového zrýchlenia) je ... ?

konštantná?

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

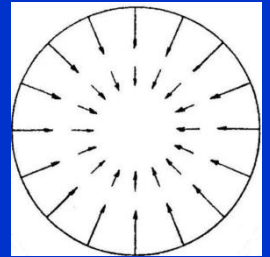


anomálie tiažového poľa Zeme (zo satelitných meraní)

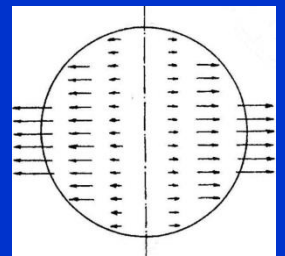
UJASNENIE SI ZÁKLADNÝCH POJMOV

*existuje vlastne rozdiel medzi gravitačným
a tiažovým zrýchlením?
(alebo ide o synonymum?)*

gravitačné - „čistá príťažlivosť“
Zeme

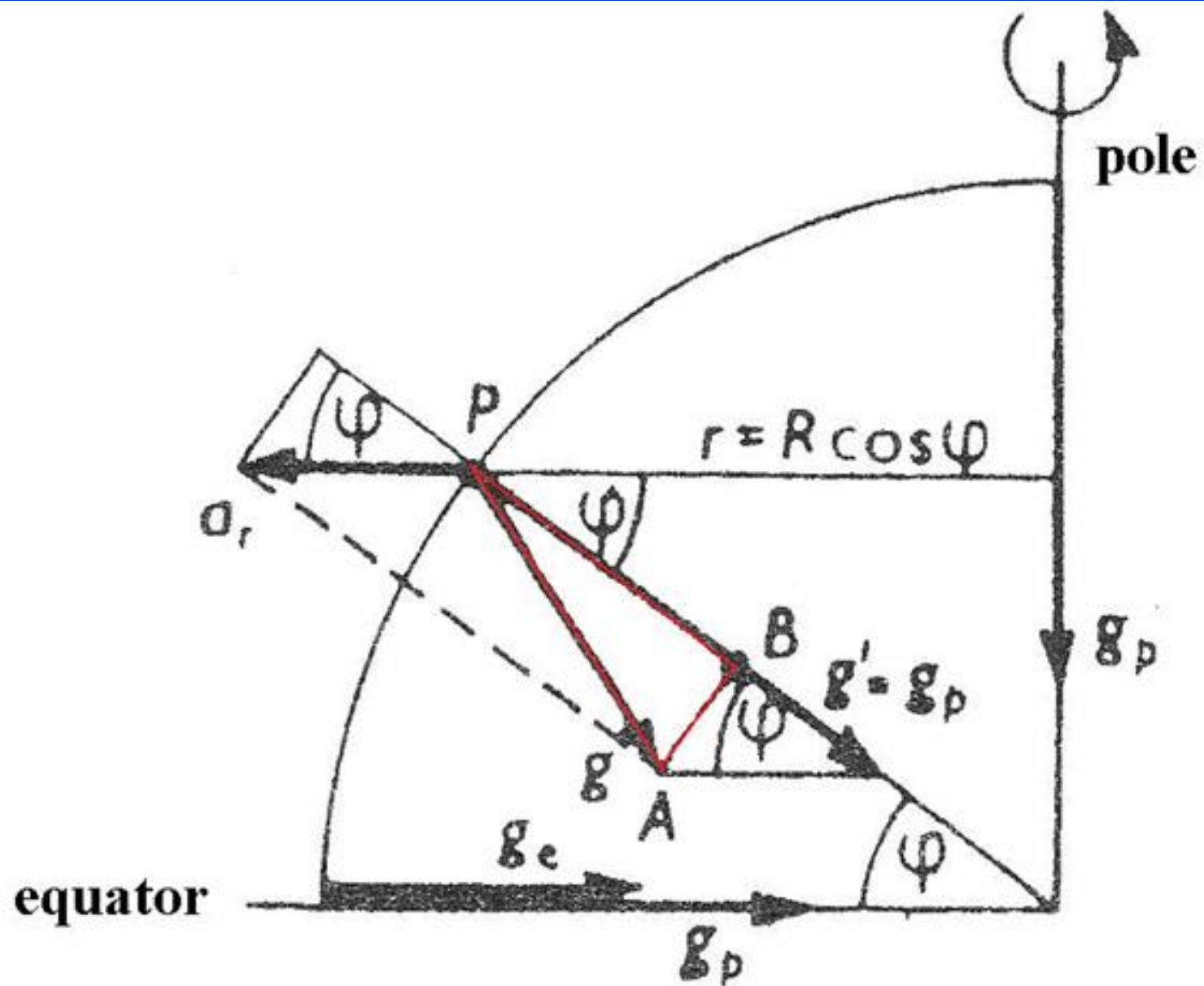


tiažové (merané) – výsledok
vektorového súčtu gravitačného a
odstredivého zrýchlenia Zeme



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 $9.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

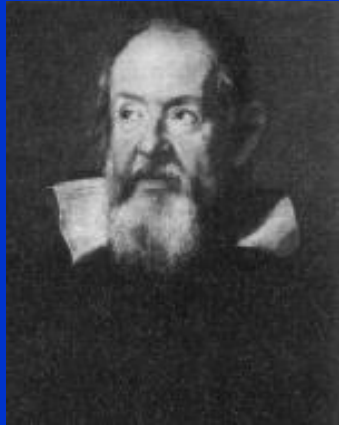
UJASNENIE SI ZÁKLADNÝCH POJMOV



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

GRAVIMETRIA

trošku z histórie ...



Galileo Galilei
(1564 - 1642)



Pierre Simon Laplace
(1749 – 1827)



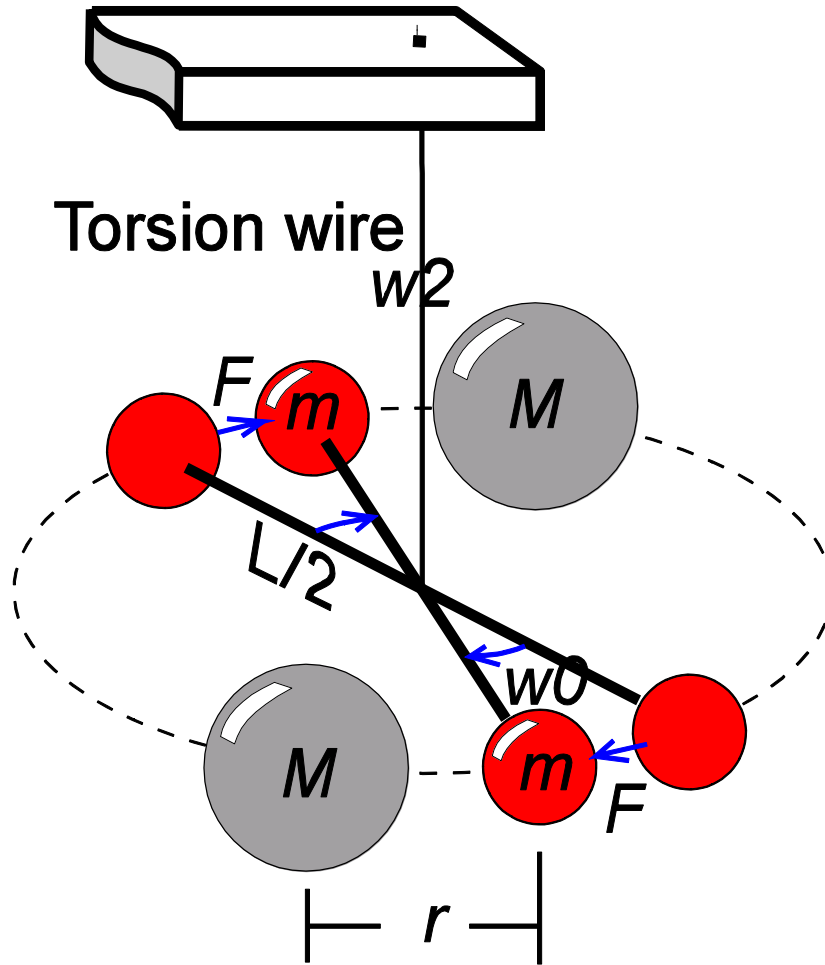
Isaac Newton
(1643 - 1727)



Pierre Bouguer
(1698 – 1758)

GRAVIMETRIA

úplne nové prístroje...



torzné váhy



kyvadlo

Meraná veličina v gravimetrii

Merané g je vektor, avšak pracujeme so skalárom g .

používané jednotky v gravimetrii

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

používané sú násobky:

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

v anglosaskej literatúre:

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

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

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

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

predstava o presnosti dnešných gravimetrických meraní

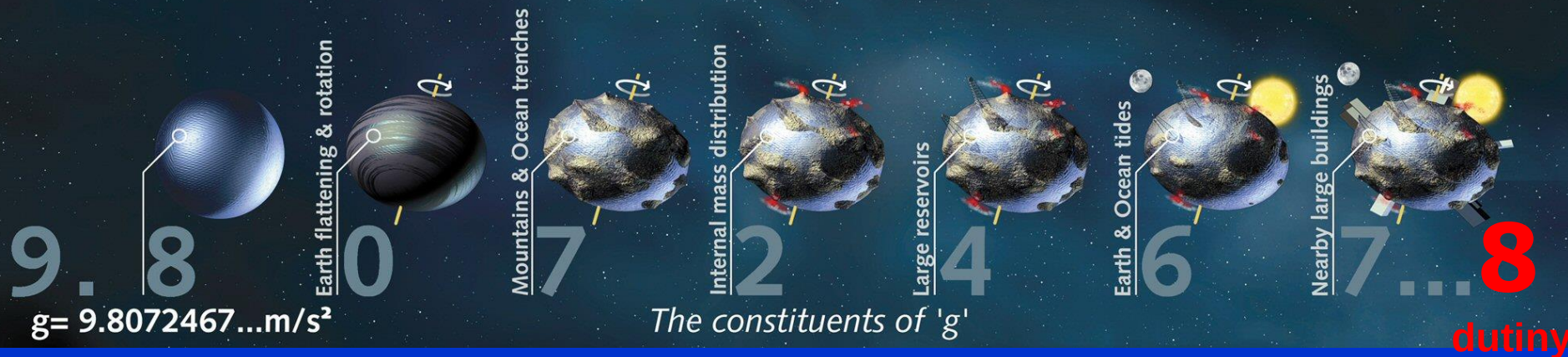
$$g = 9.82345678 \text{ m/s}^2$$

úroveň mGal

úroveň μGal

súčasný prístroje merajú s presnosťou

0.01 do 0.001 mGal = 10 do 1 μGal



dutiny

oblast'
mikrogravimetrie

Meranie a základné spracovanie dát v gravimetrii:

Zahrňa v sebe:

- samotné meranie s prístrojom (gravimeter)
- opravu o chod prístroja
- prepočet na absolútnu hodnotu (pri relat. meraniach)
- výpočet chyby merania
- výpočet tzv. Bouguerových anomálií

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

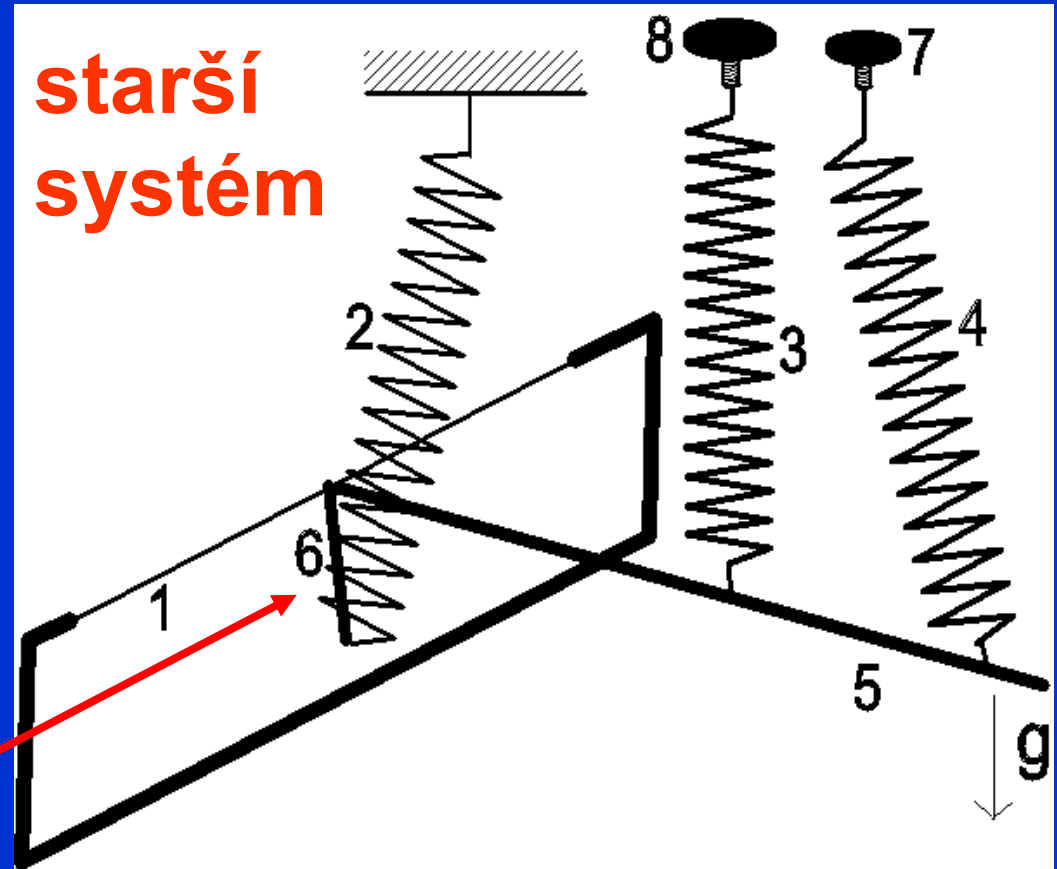
terénne,
nižšia presnosť:
0.01-0.005 mGal,
pružinový systém
rýchlejšie (minúty)



Scintrex CG-5

relatívny (pružinový) gravimeter

meranie –
manuálne

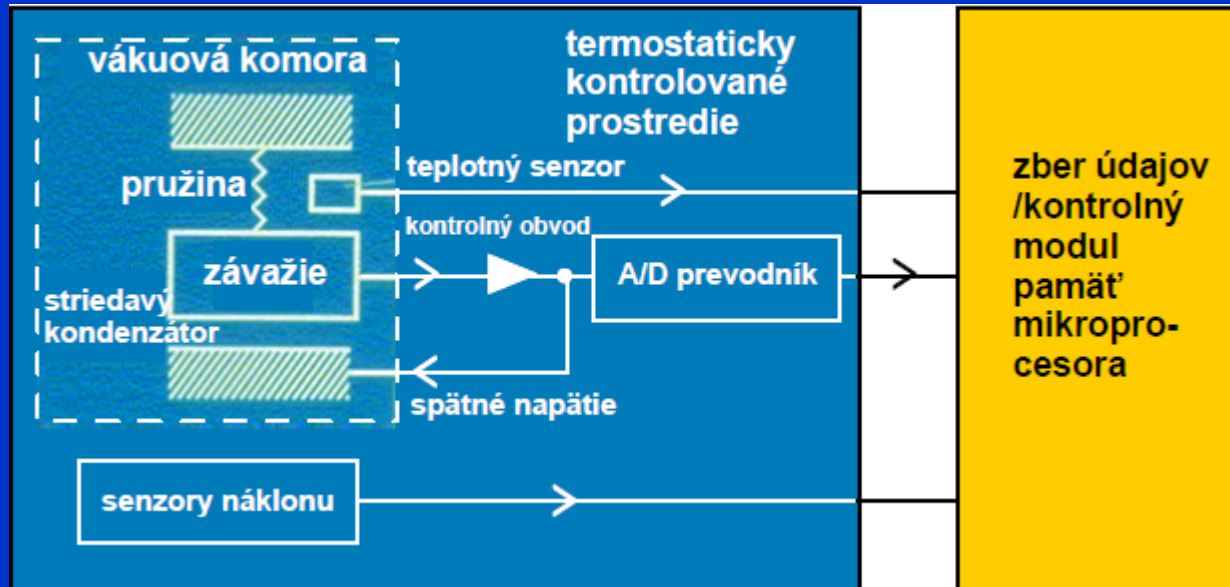
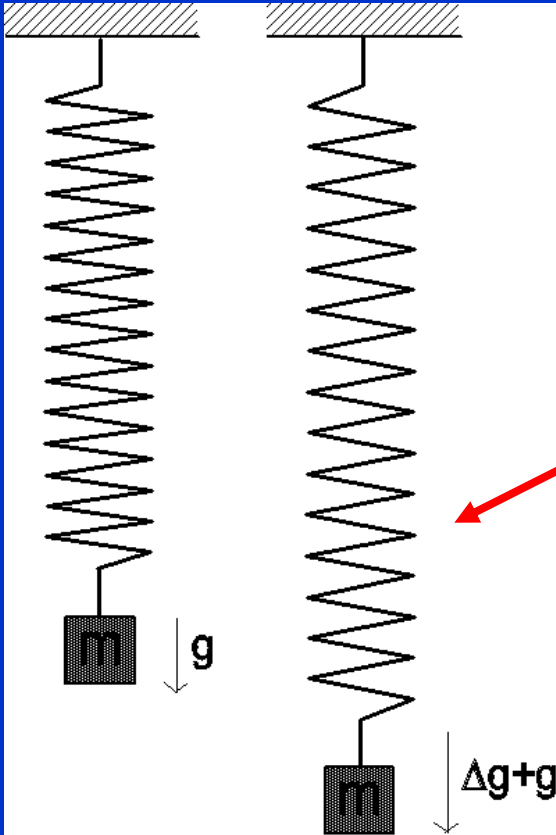


- 1 – torzné vlákno
- 2 – astazujúca (zvýrazňujúca) pružina
- 3 – rozsahová pružina
- 4 – meracia pružina
- 5 - vahadlo

relatívny (pružinový) gravimeter

meranie – automatické (tzv. Autograv systém)

novší systém



relatívny (pružinový) gravimeter

súčasný moderný (state of the art) relatívne gravimetre:



LaCoste and
Romberg
(LC&R),
modely G a D



Scintrex
CG-3 a
CG-3M



Scintrex
CG-5



ZLS-Burris
(skratka pre
Zero Length
Spring)

Staršie typy – meraná veličina je počet otáčok skrútky meracej pružiny (prevod na [mGal] pomocou tzv. konštanty prístroja [mGal]/dielik).

Novšie typy – meraná veličina je elektrické napätie, ktoré je opäť prevedené na [mGal] pomocou vnútornej konštanty prístroja ([mGal]/mV).

relatívny (pružinový) gravimeter

najnovšie relatívne gravimetre:



Scintrex CG-6
(na obr. spolu s CG-5)

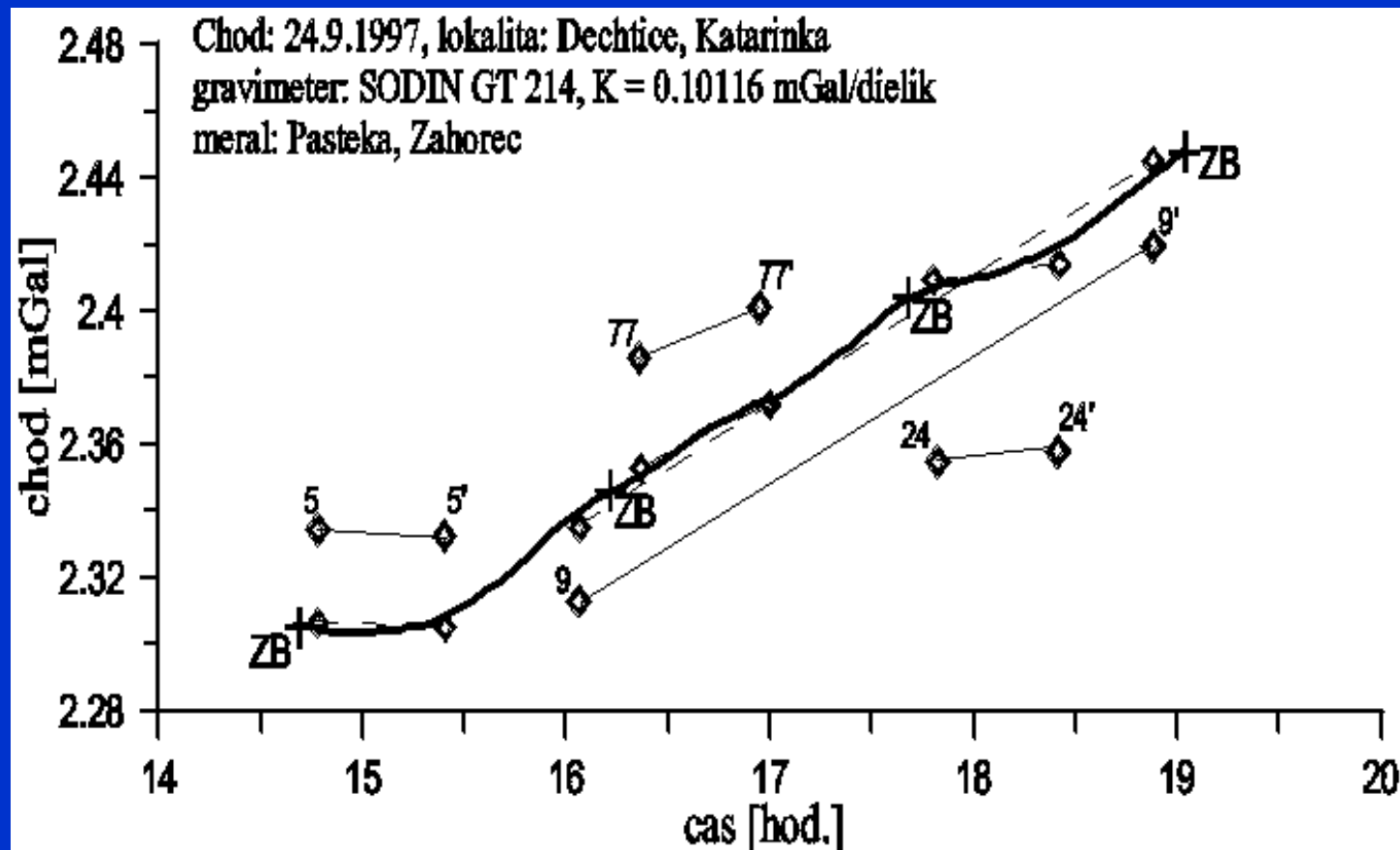


LG-1 GALILEO
(česká firma GF Instruments)

meranie v gravimetrii

musí sa odstraňovať tzv. chod prístroja (drift)

spôsobený: otrasmi, zmenami teploty a tlaku,
slapovými účinkami Slnka a Mesiaca
(moderné gravimetre ich vedia zrátať)



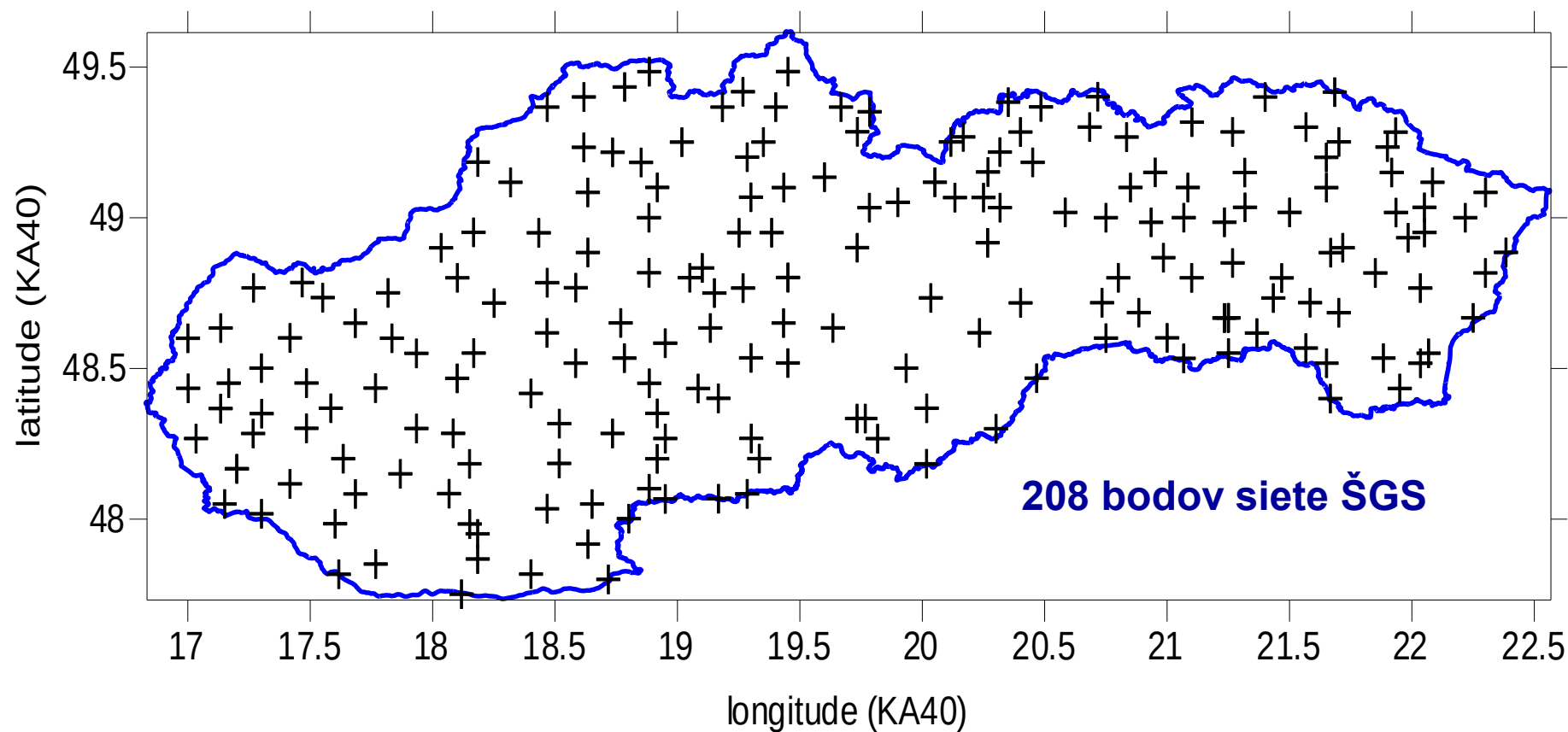
meranie v gravimetrii

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. Štátna Gravimetrická Sieť (ŠGS),
taktiež pod správou GKÚ.

Základný materiálový parameter v gravimetrii
je hustota,

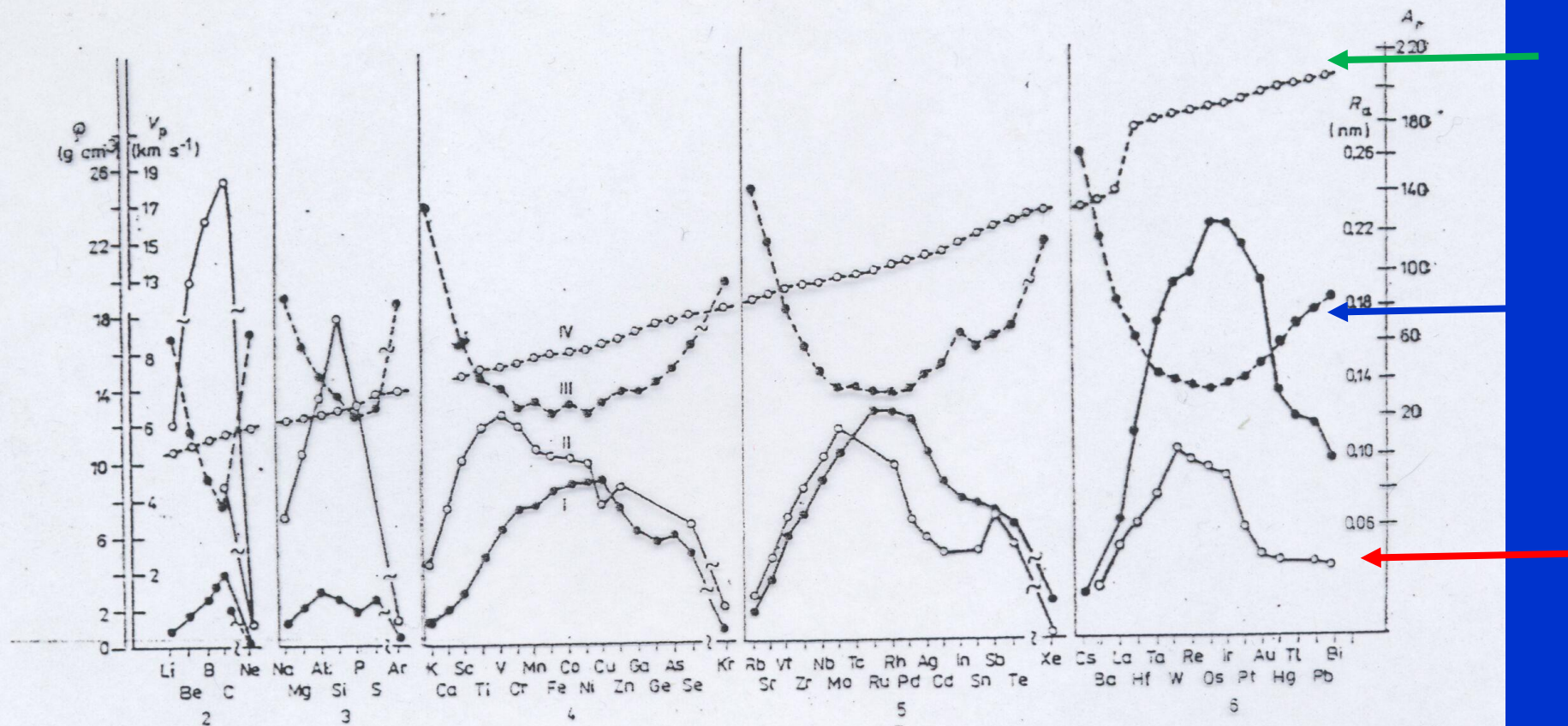
študujeme prejavy hustotných nehomogenít
v nameranom (anomálnom) poli g

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

používané sú násobky:

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

hustoty – vlastnosti, súvislosti



Obr. 2. Závislosť fyzikálnych vlastností chemických prvků na jejich postavení v periodické soustavě

I — hustota, II — rychlost šíření podélných vln, III — atomový poloměr, IV — poměrná atomová hmotnost; 2 až 6 — periody soustavy prvků (Dortman, Magid 1969)

Tieto vlastnosti sa prejavujú najmä pri rudných mineráloch (pri horninotvorných sú to najmä väzby a kryštalizačná sústava)

© TAOSI P.O.BOX 99, 080 01 PREŠOV

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 (hlina) po $3.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (eklogit)
(granit: $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, vápenec: $2.70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, fylit: $2.75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

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

magmatické horniny

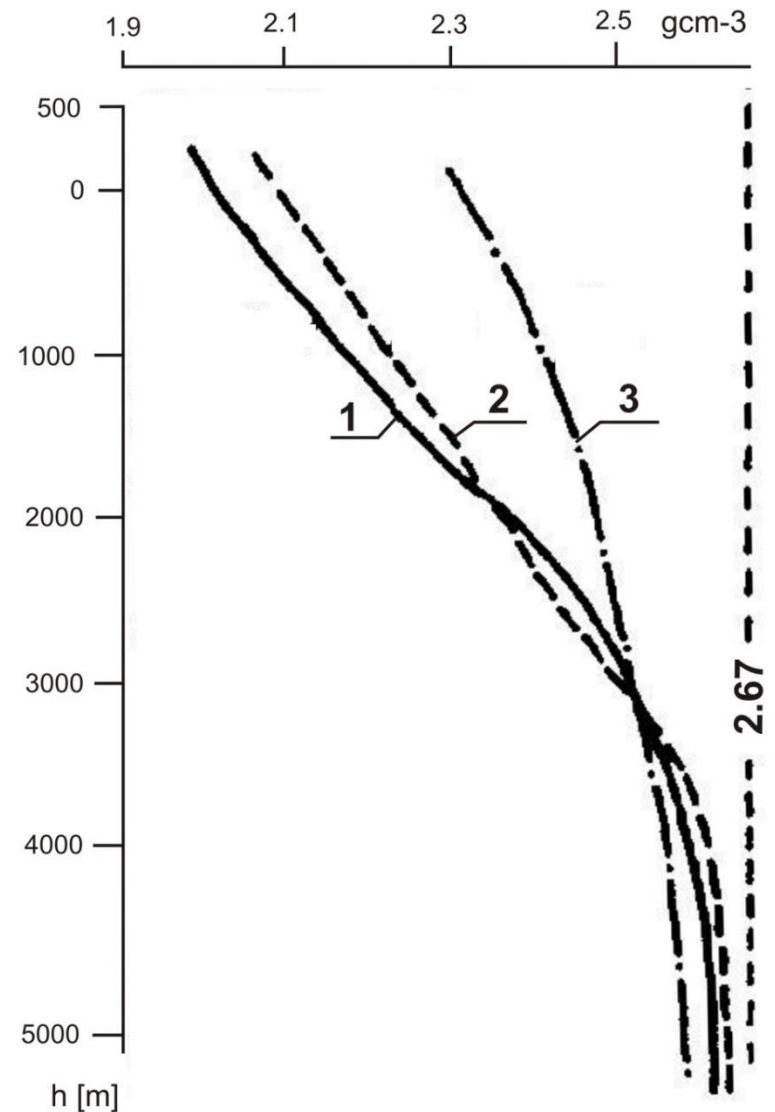
- nárast hustoty s bázicitou, okrem toho efuzívne sú vždy ľahšie ako plutonické

metamorfované horniny

- závisí od typu metamorfózy

sedimentárne horniny

- dôležitý je nárast hustoty s hĺbkou + kompakcia horniny (súvisí s vekom)

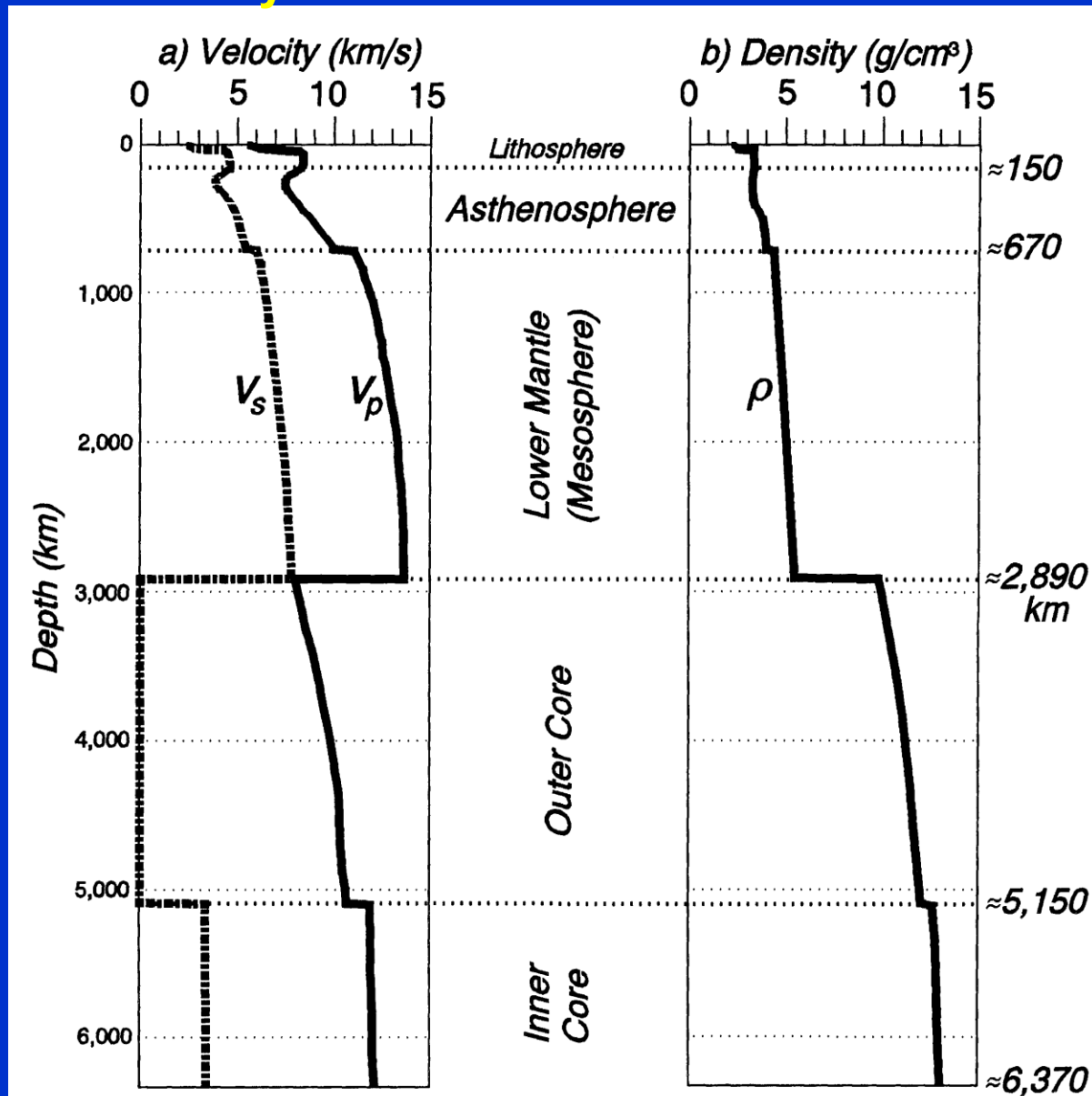


Obr. 3. Závislosť prirodzených hustôt na hĺbke panví. Vysvetlivky: 1 - viedenská panva, 2 - dunajská panva, 3 - Východoslovenská nížina (Šefara et al., 1987).

nepriame metódy určovania hustôt – zo seizmológie

rýchlosť

hustota



kvízové otázky:

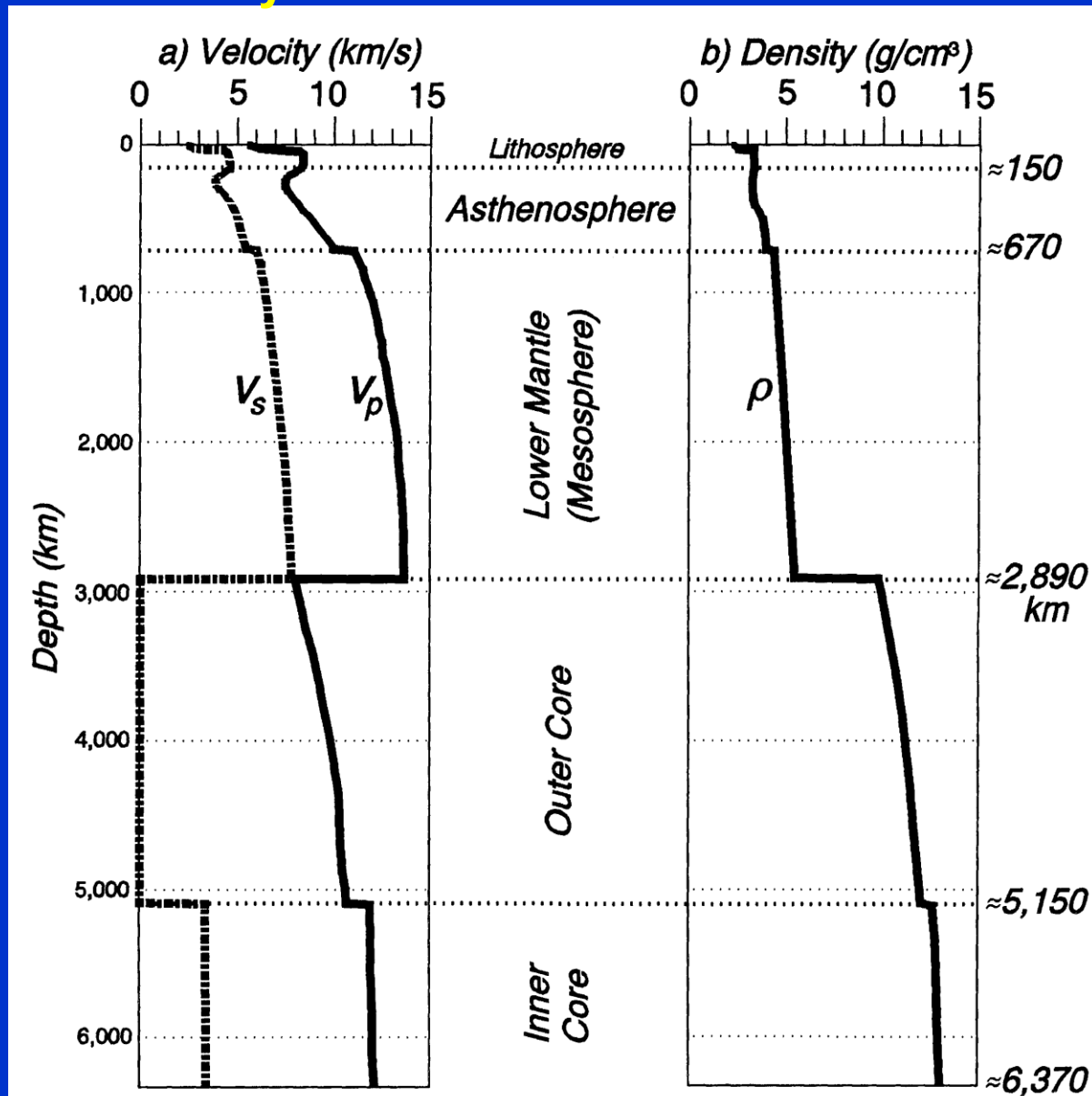
Ako sa volá diskontinuita medzi plášťom a vonkajším jadrom?

A medzi vnútorným a vonkajším jadrom?

nepriame metódy určovania hustôt – zo seizmológie

rýchlosť

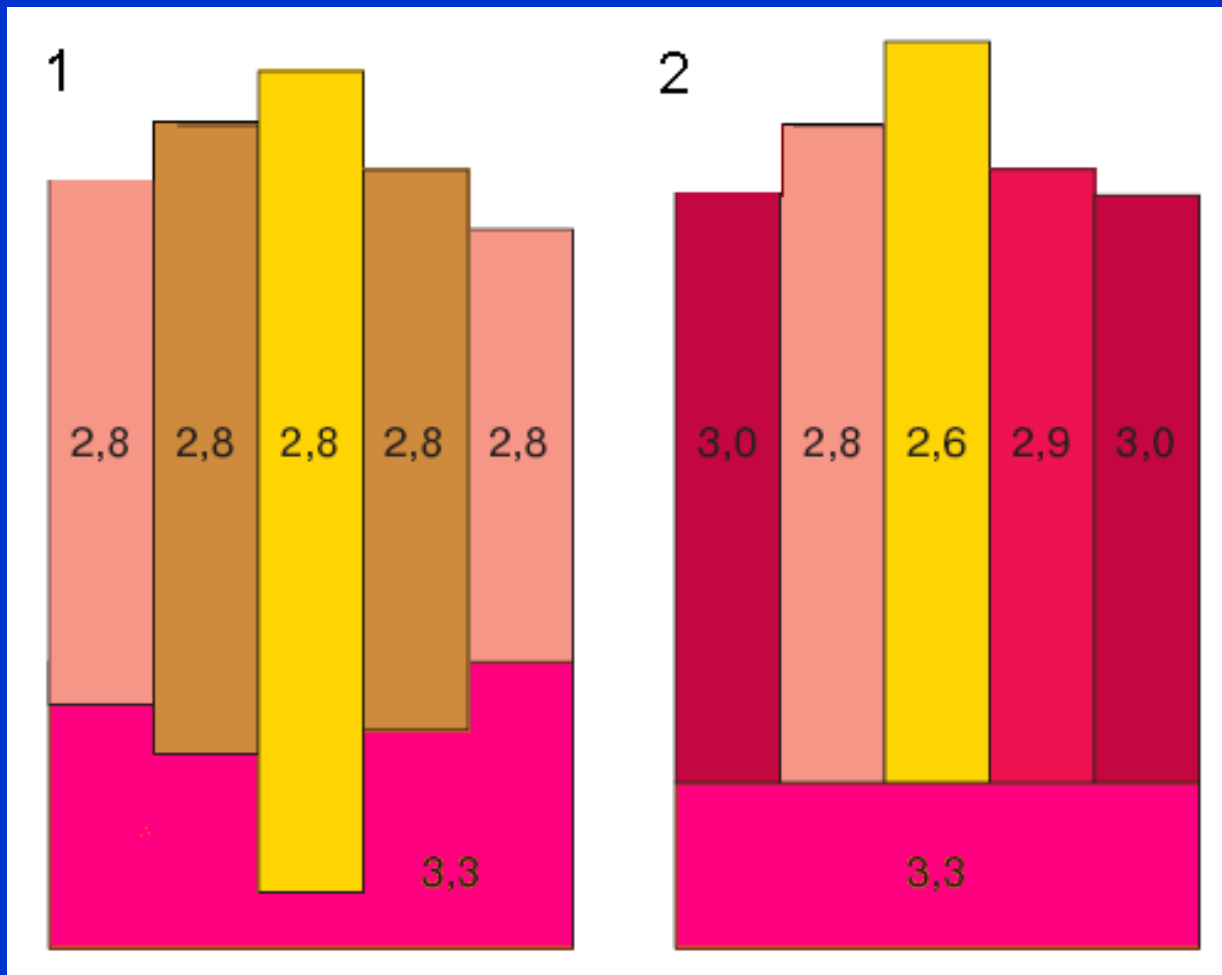
hustota



Ako sa volá
diskontinuita
medzi plášťom
a vonkajším
jadrom?
**Gutenberg-
Wiechert**

A medzi
vnútorným a
vonkajším
jadrom?
**Lehmann-
Bullen**

Izostázia predpokladá kompenzáciu litostatických tlakov od horninových celkov litosféry v určitej hĺbke (astenosféra).



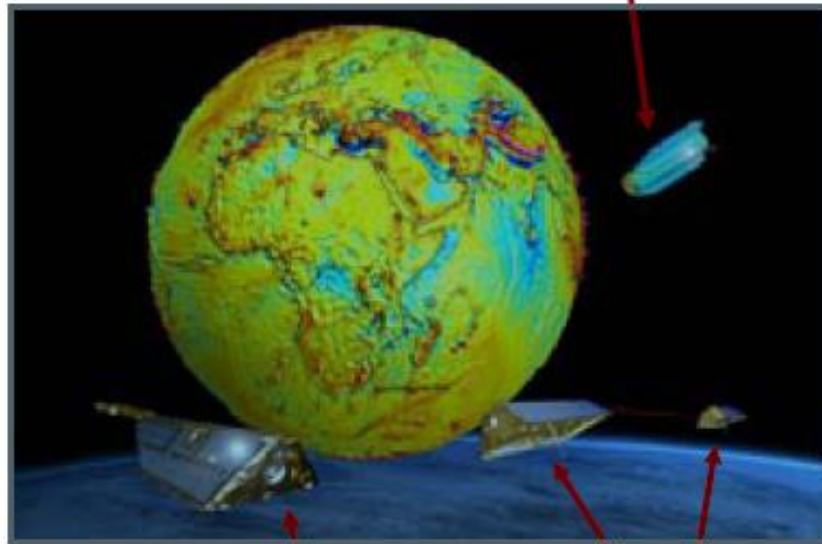
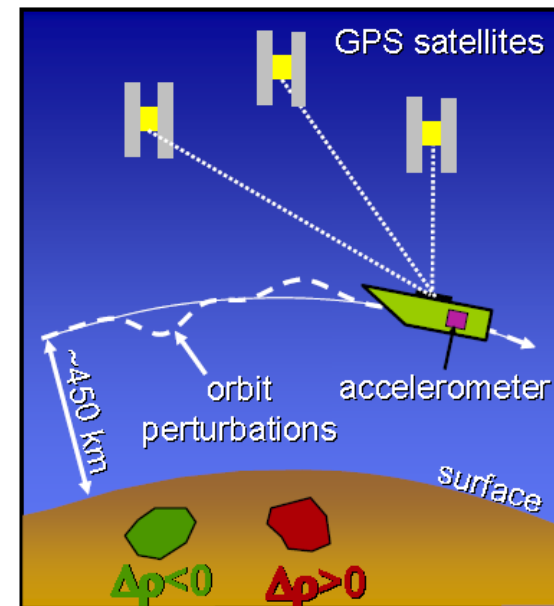
tzv. Airyho model a Prattov model

staršie satelitné systémy:
GRACE a CHAMP

nový systém: GOCE

CHAMP

- Launched 2000.
- Single satellite.
- High-low SST.
- Polar gap $\sim 3^\circ$.
- Instruments:
 - vector and scalar magnetometers,
 - accelerometer,
 - star cameras,
 - GPS.

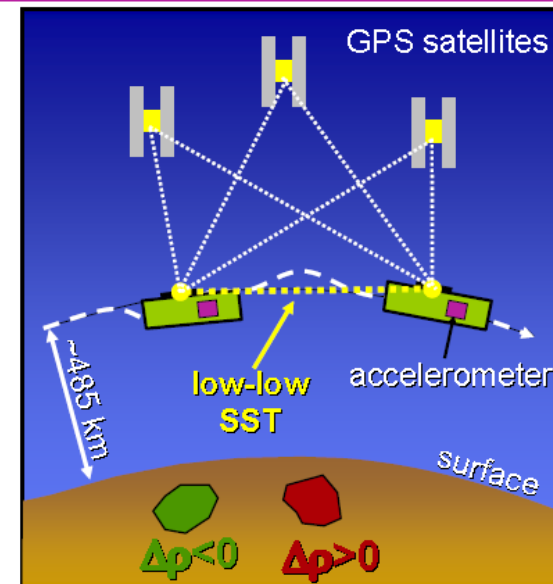


CHAMP

GRACE

GRACE

- Launched 2002.
- Two-satellites.
- High-low-SST & low-low-SST.
- Polar gap $\sim 1^\circ$.
- Time-varying gravity field.
- Instruments:
 - accelerometer,
 - star cameras,
 - GPS.



SST: Satellite-to-Satellite Tracking

nový systém: GOCE

štart: 17. marec 2009

koniec: 11. november 2013

výška preletu nad
povrchom Zeme: 260 km



GOCE re-enters Earth's atmosphere

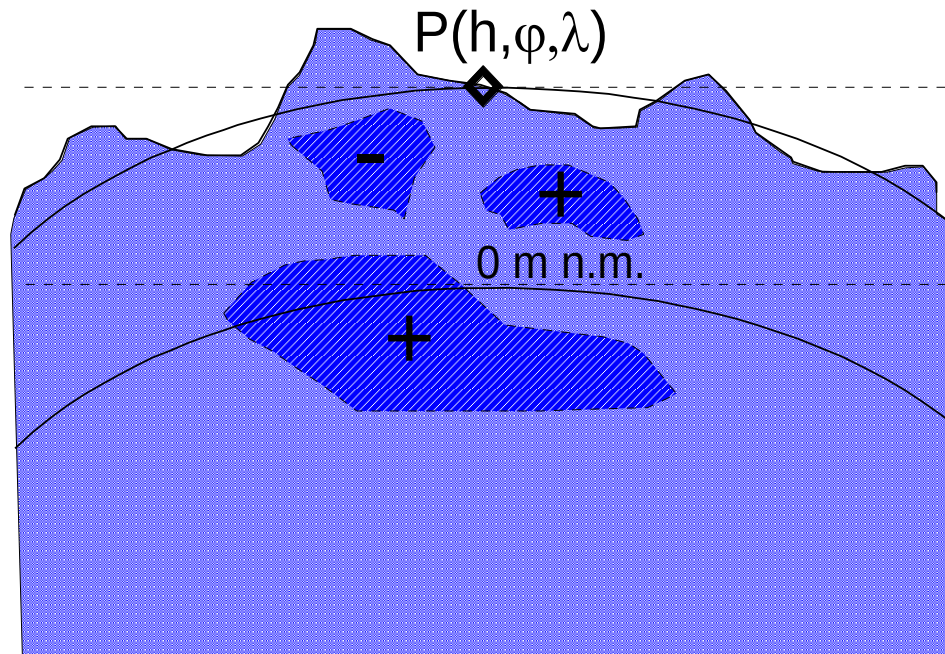
základy gravimetrie – spracovanie údajov

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

**ÚPLNÉ
BOUGUEROVE
ANOMÁLIE (ÚBA)**

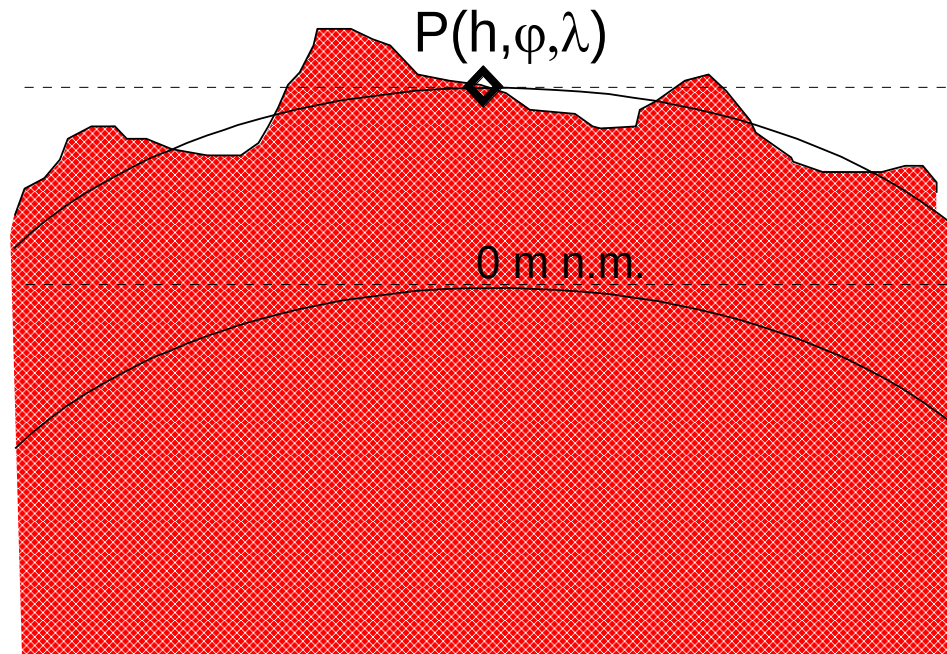
spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

od tiažového účinku celej (reálnej) Zeme...



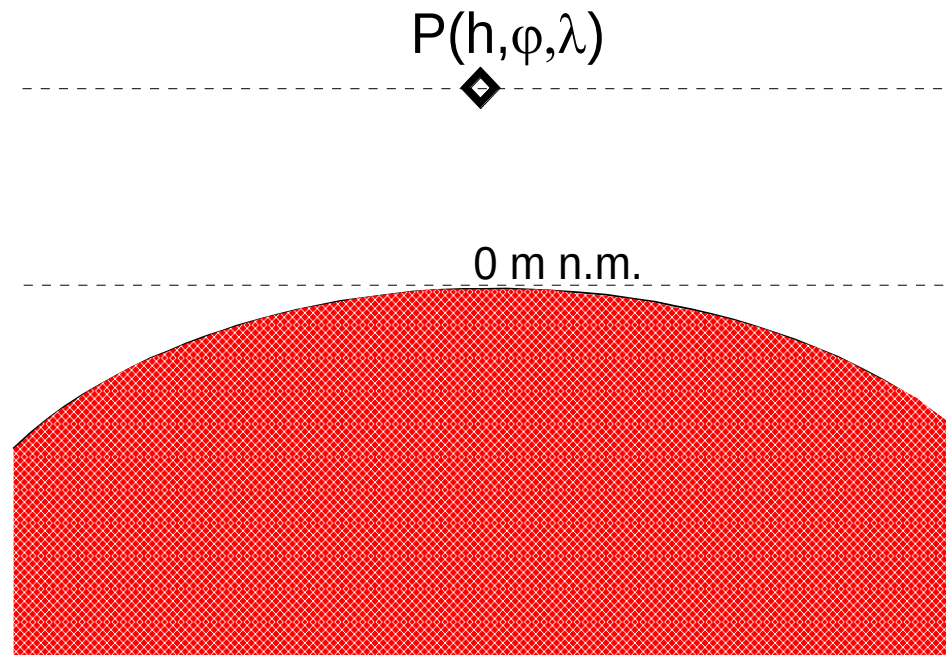
spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

... sa odpočíta tiažový účinok teoretickej Zeme...



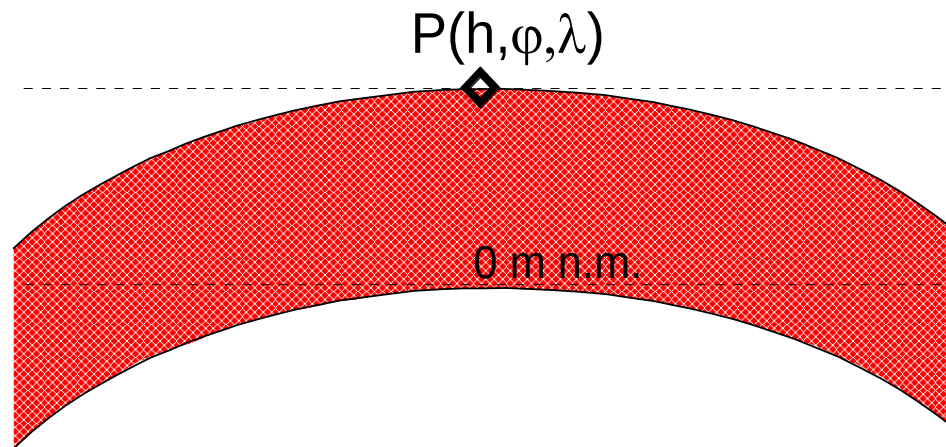
spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

*účinnok teoretickej Zeme sa skladá z účinku
referenčného elipsoidu a ...*



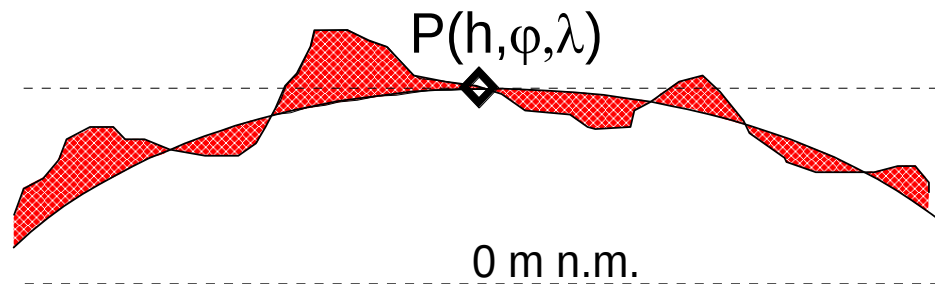
spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

účinnok teoretickej Zeme sa skladá z účinku referenčného elipsoidu a sférickej dosky...



spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

*účinnok teoretickej Zeme sa skladá z účinku
referen. elipsoidu a sférickej dosky a topografie*



spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

$$\Delta g_B = UBA = g - g_n + 0.3086h - 0.0419h\rho - B + T$$

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

g_n – normálne pole (účinkok 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)

$0.0419h\rho$ – Bouguerova korekcia (účinkok rovinatej dosky)

B – Bullardov člen („ohýba“ rovinnú dosku)

T – terénne korekcie (do vzdialenosti 166.7 km od bodu)

spracovanie v gravimetrii (tvorba ÚBA)

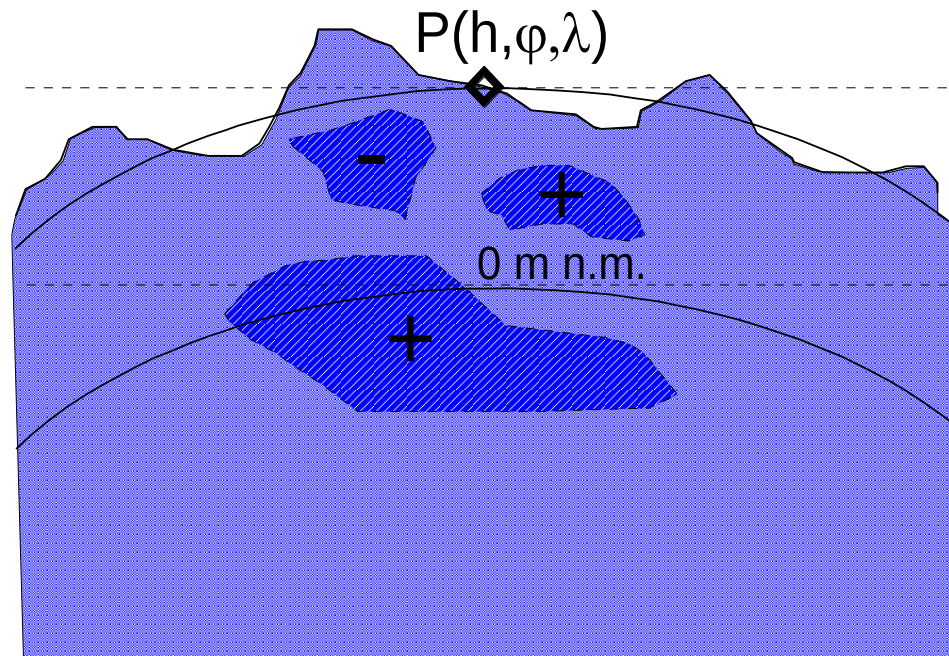
anomália **$NUBA = g - g_n + 0.3086h - 0.0419h\rho$**

sa nazýva ako tzv. neúplná Bouguerova anomália

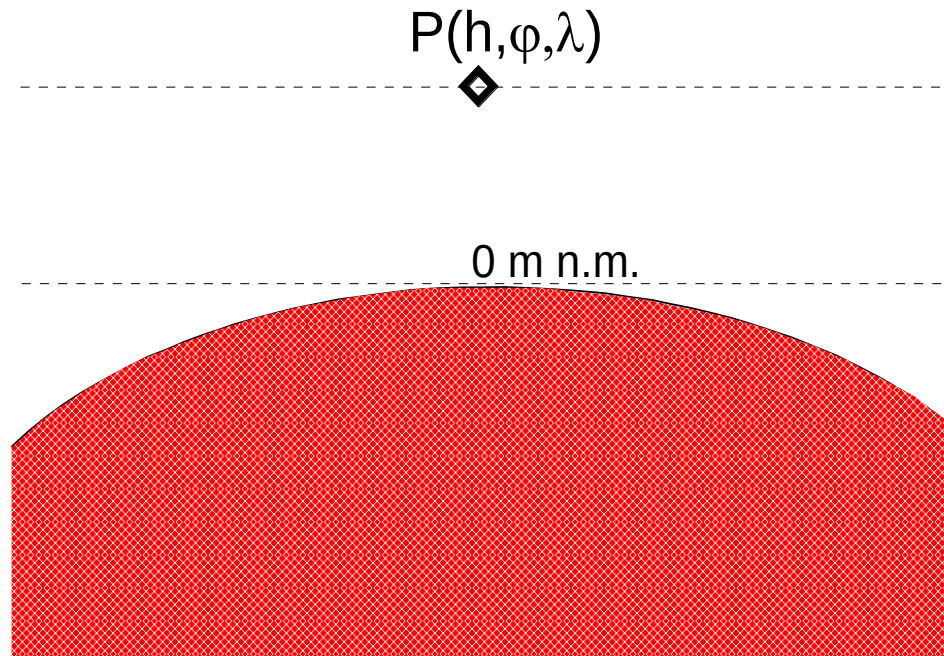
anomália **$\Delta g_{Fay} = g - g_n + 0.3086h$**

sa nazýva ako tzv. Fayeova (odstránený vplyv výšok)

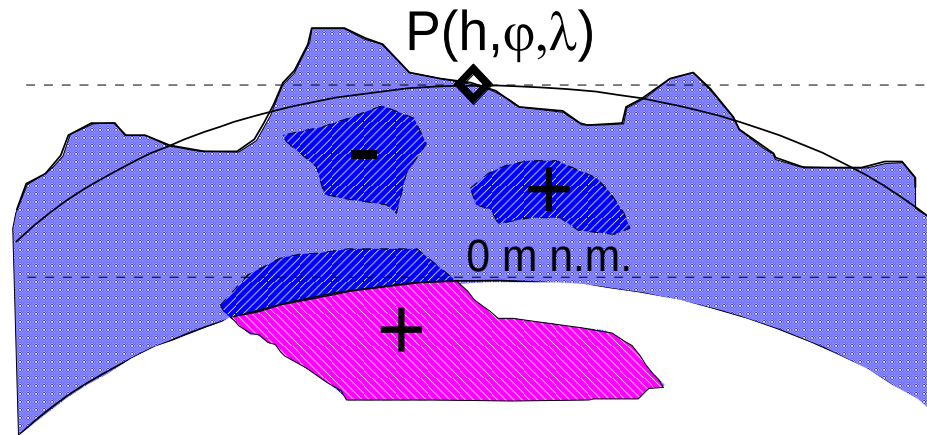
prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



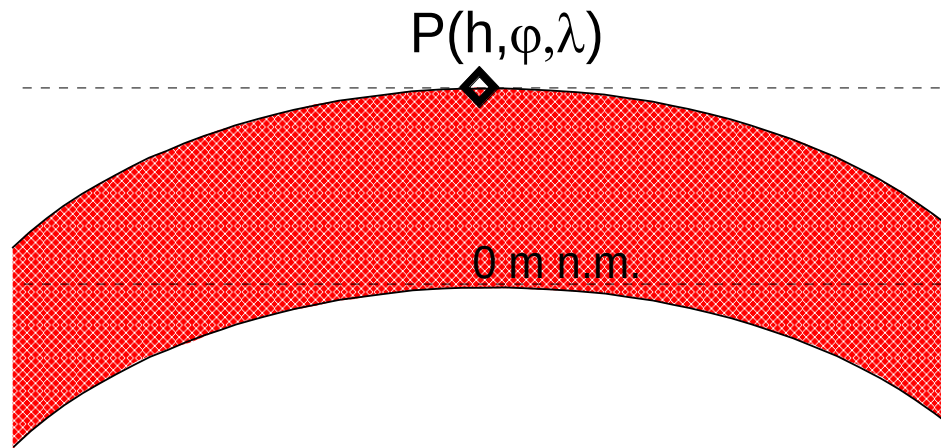
prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



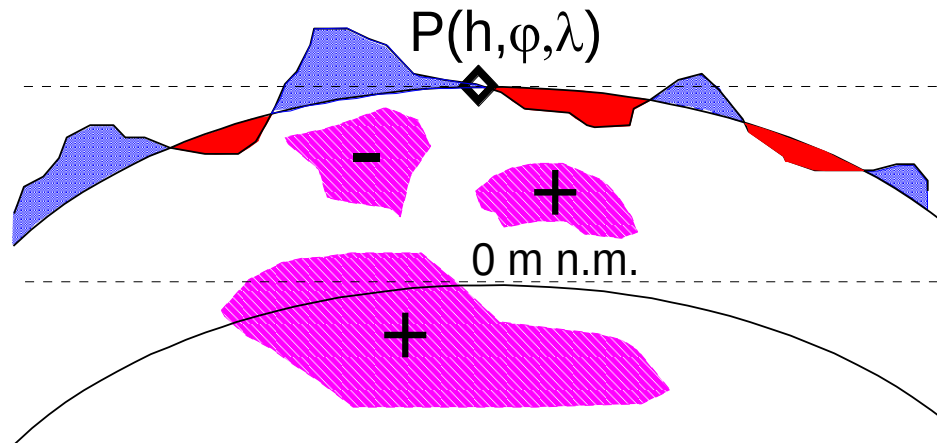
prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



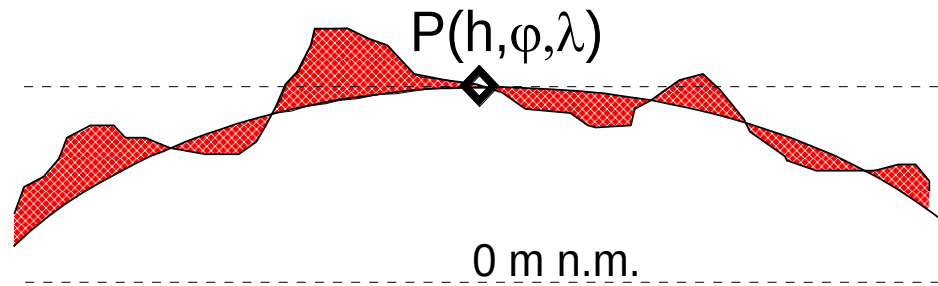
prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



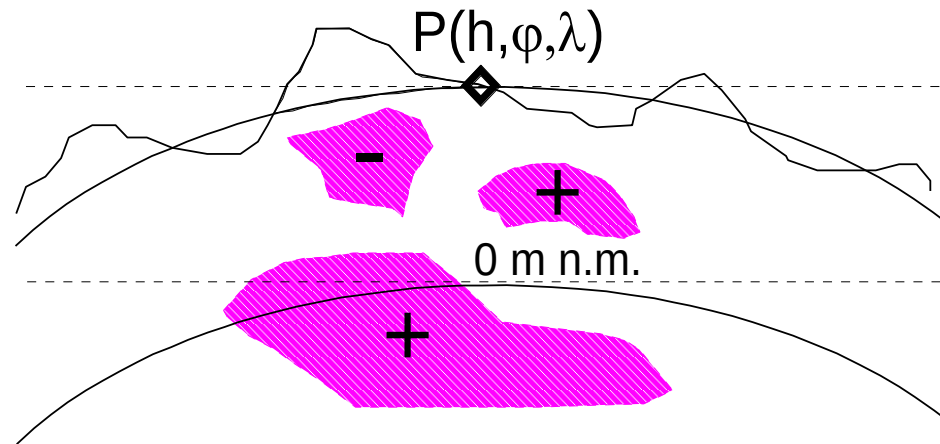
prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



prejav hustotných nehomogenít v poli ÚBA



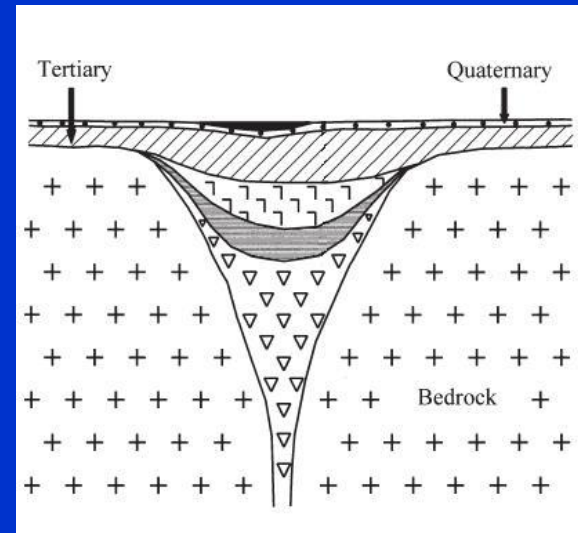
***výsledkom je prejav anomálnych
hustotných nehomogenít
v zemskej kôre (až vo vrchnom plášti)***

Praktické ukážky (výhod) výpočtu ÚBA:

- vymapovanie priebehu kanalizačného zberača, Bratislava, Gagarinova ul.
- vymapovanie rozsahu maarového telesa, Pinciná, Lučenec



súčasný maar, Nemecko



výplň maarového telesa

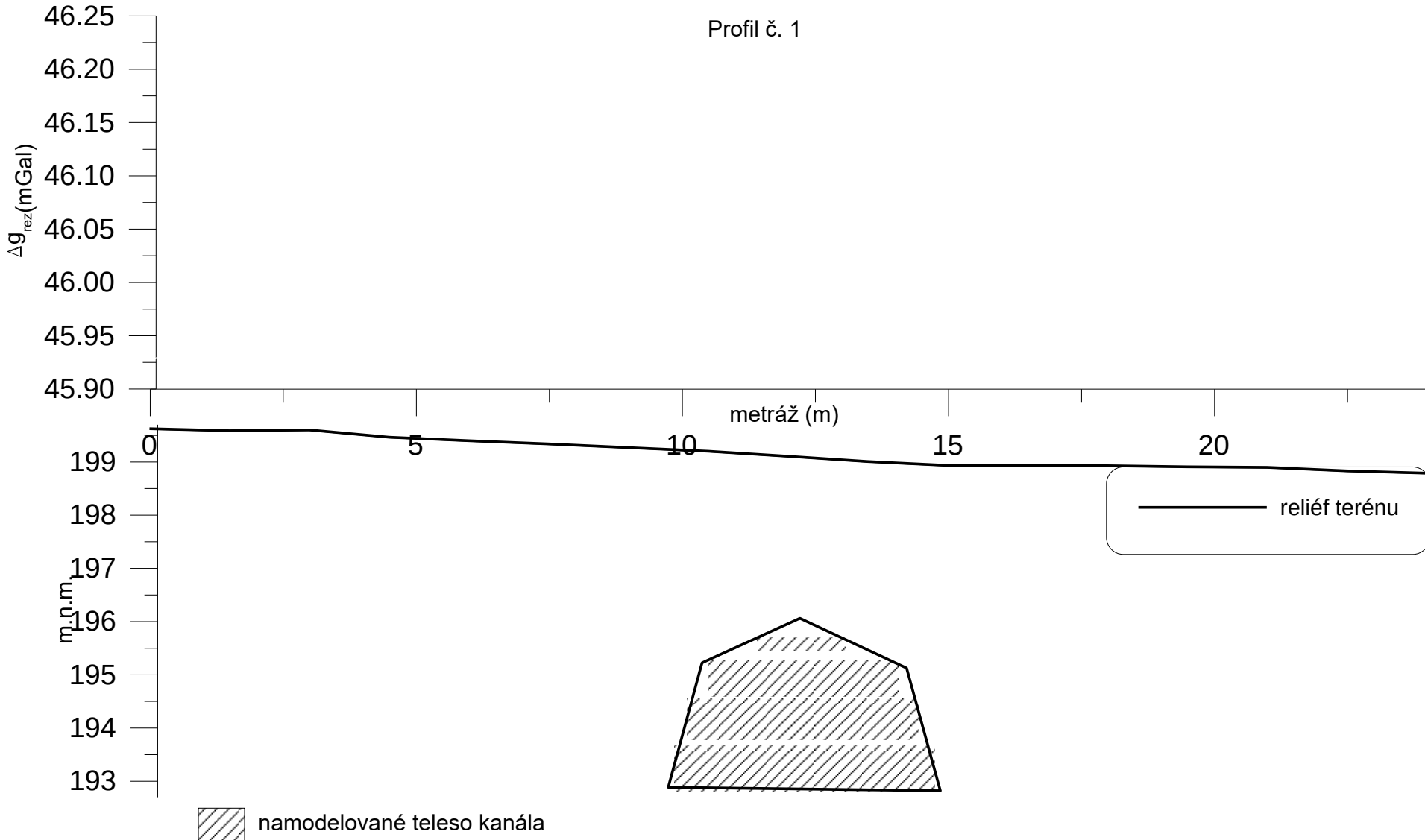
kanalizačný zberač, Gagarinova ul., BA

Gagarinova ulica

Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

M 1:100

Profil č. 1

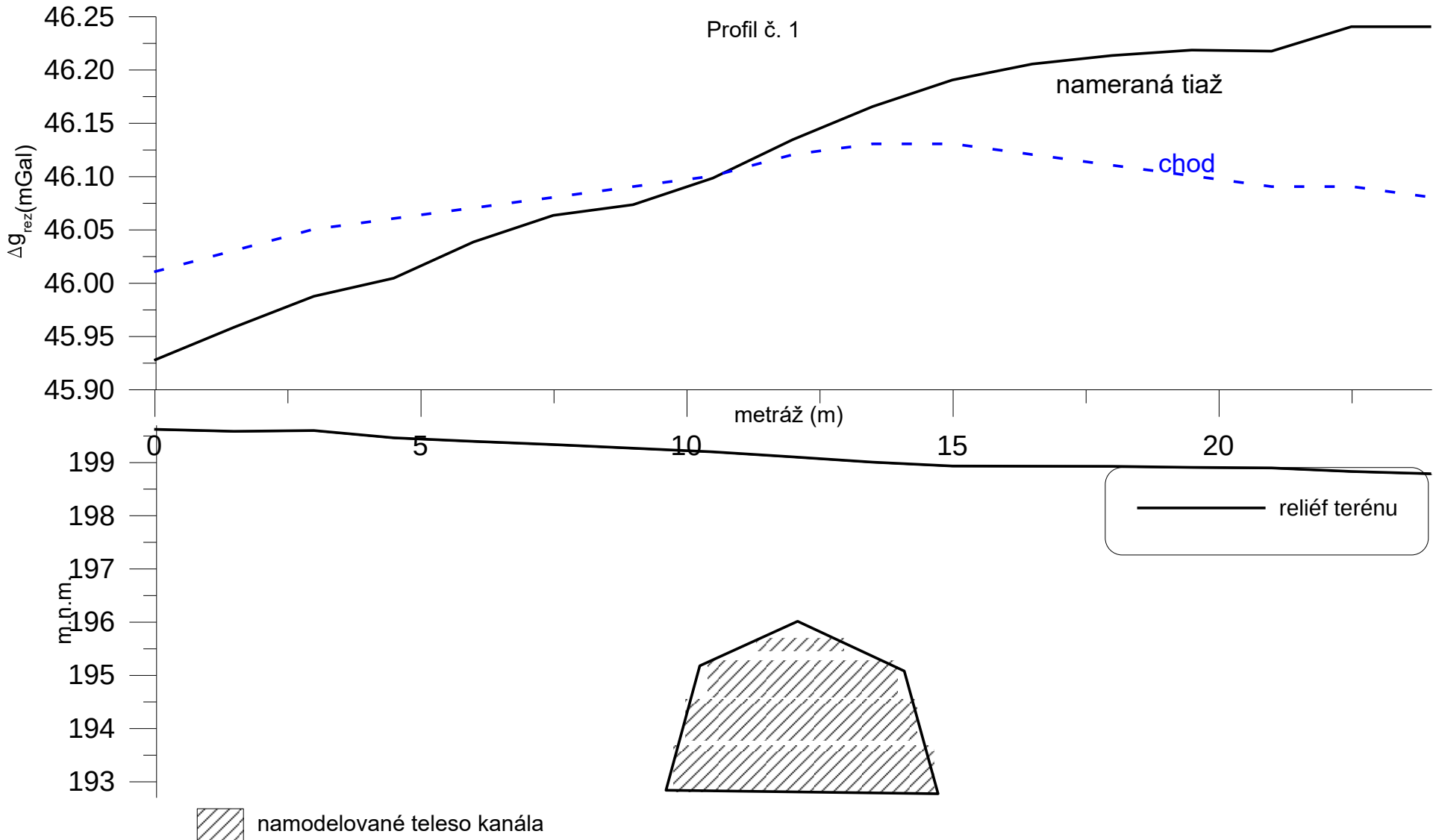


kanalizačný zberač, Gagarinova ul., BA

Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

M 1:100

Profil č. 1

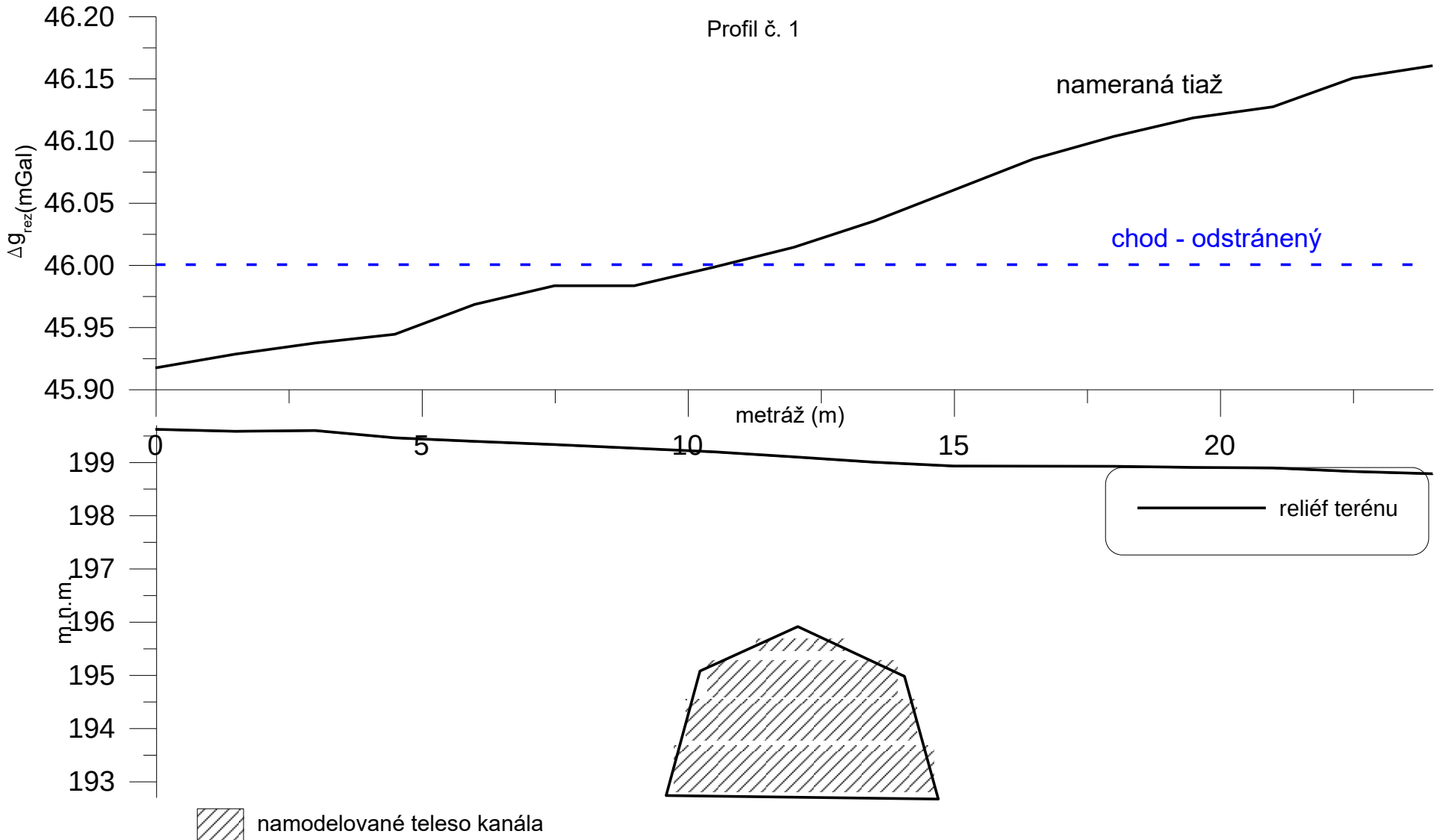


kanalizačný zberač, Gagarinova ul., BA

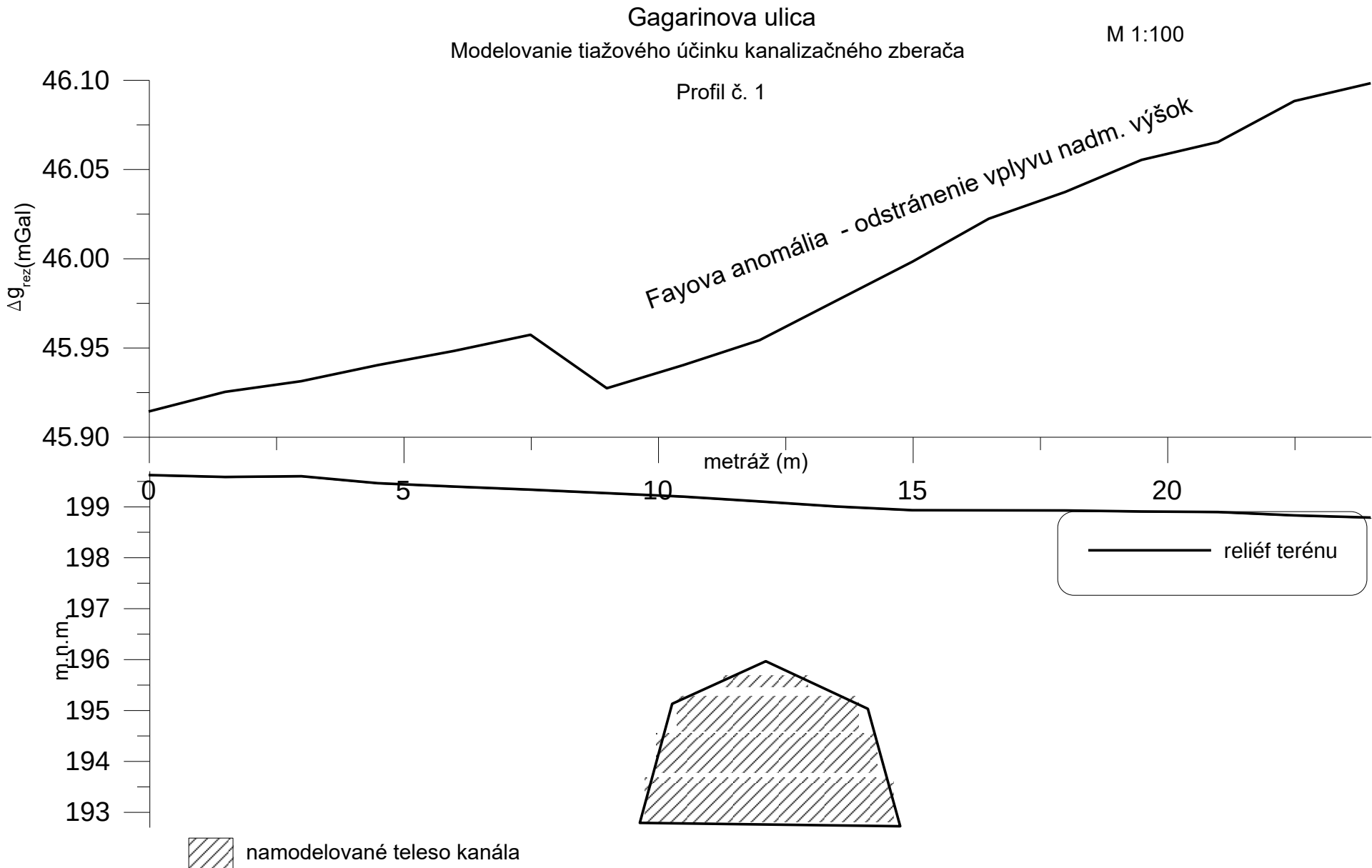
Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

M 1:100

Profil č. 1



kanalizačný zberač, Gagarinova ul., BA

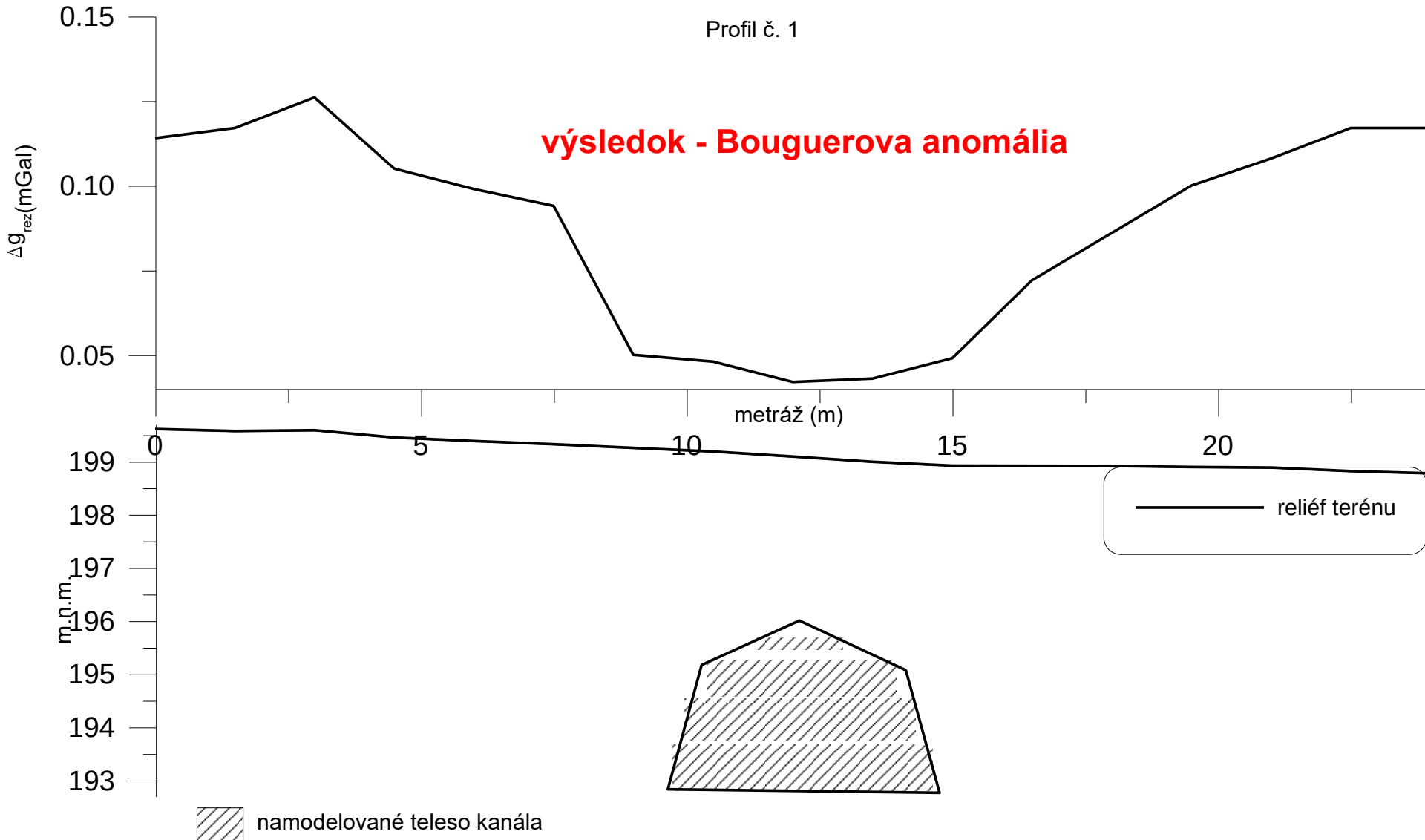


kanalizačný zberač, Gagarinova ul., BA

Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

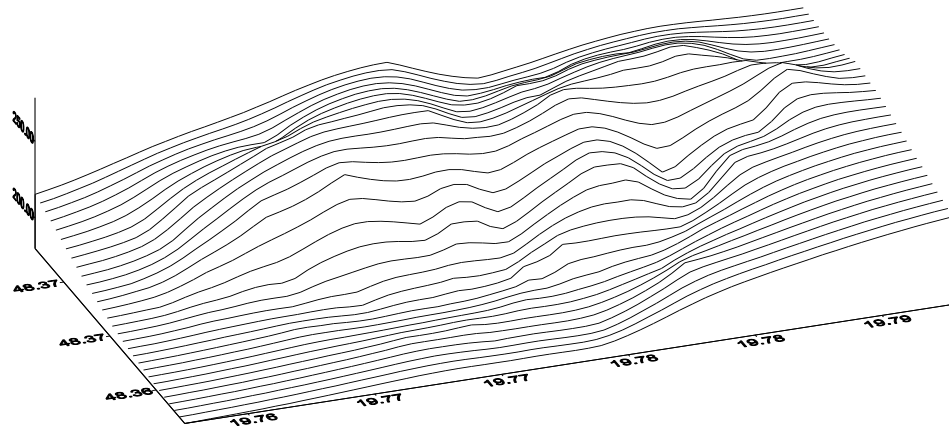
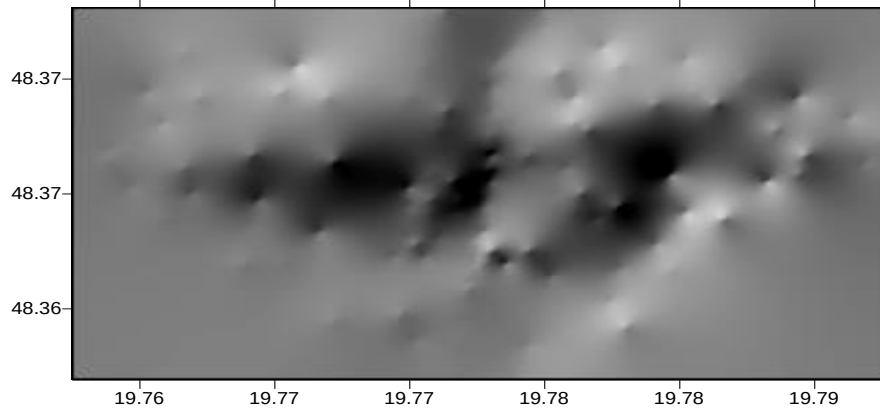
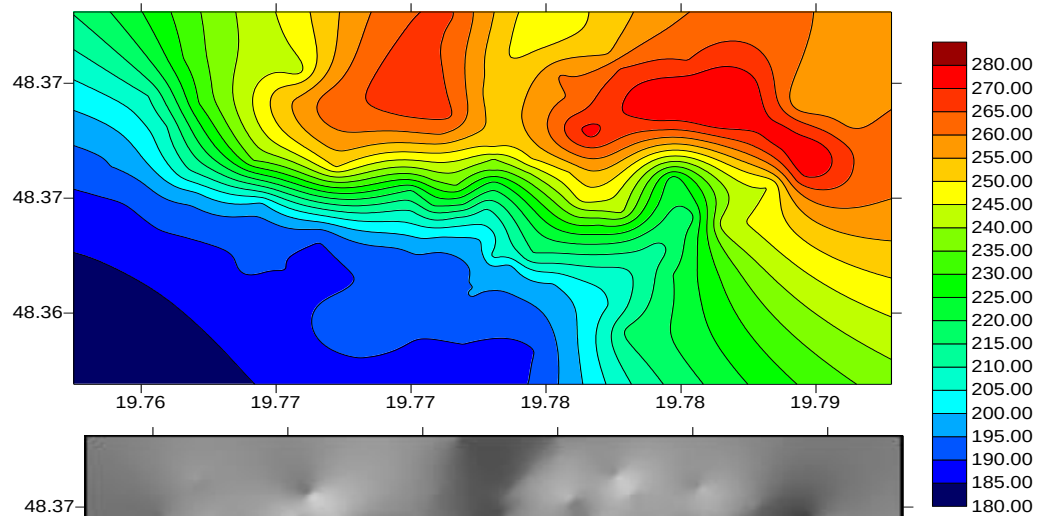
M 1:100

Profil č. 1



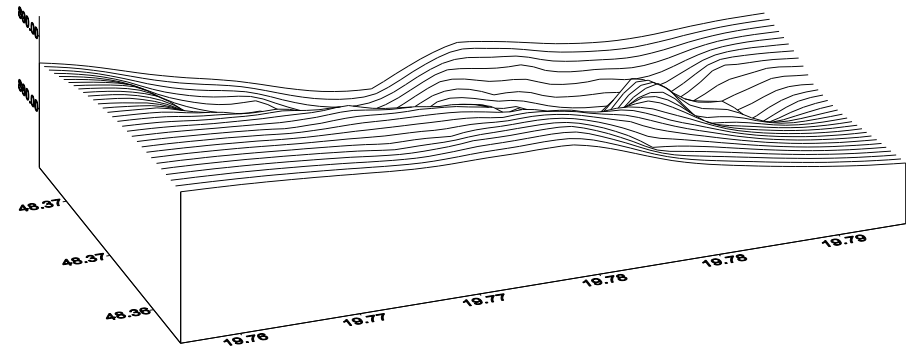
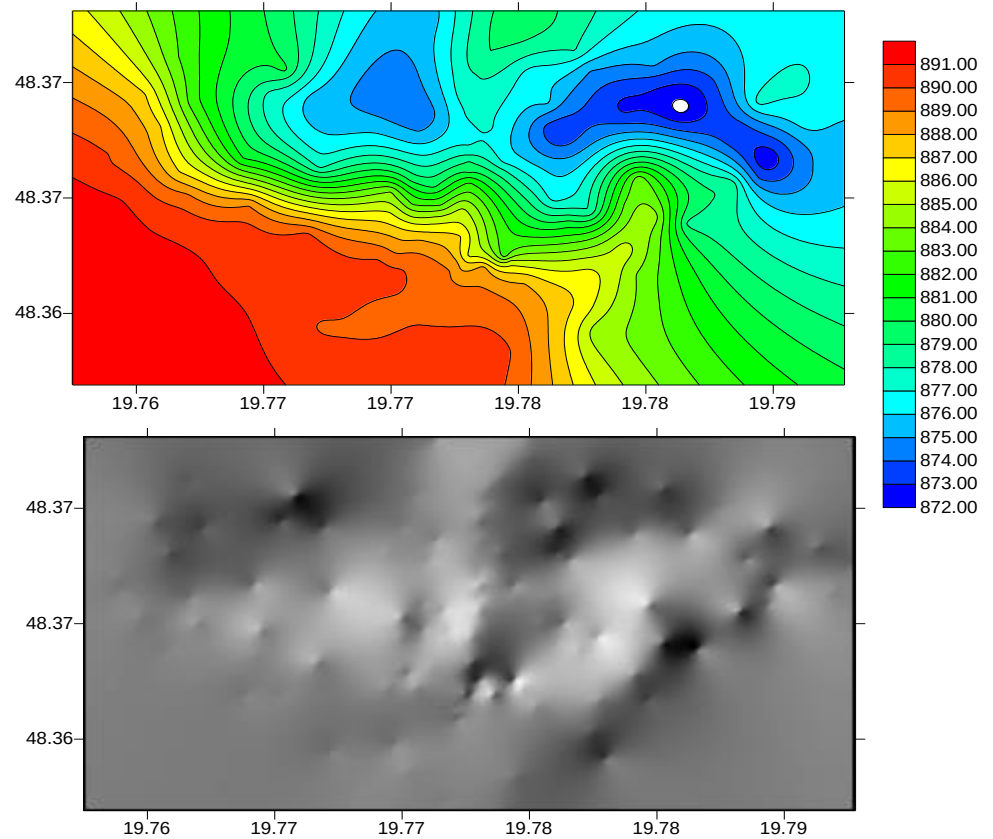
maarová štruktúra, Pinciná pri Lučenci

nadmorské
výšky



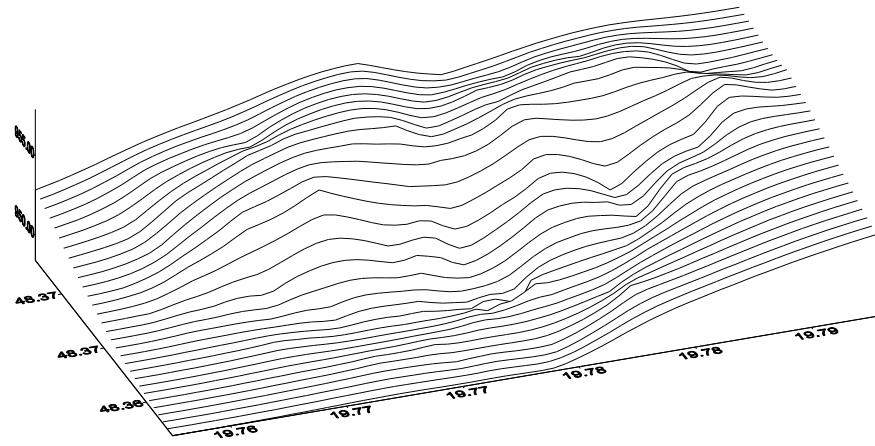
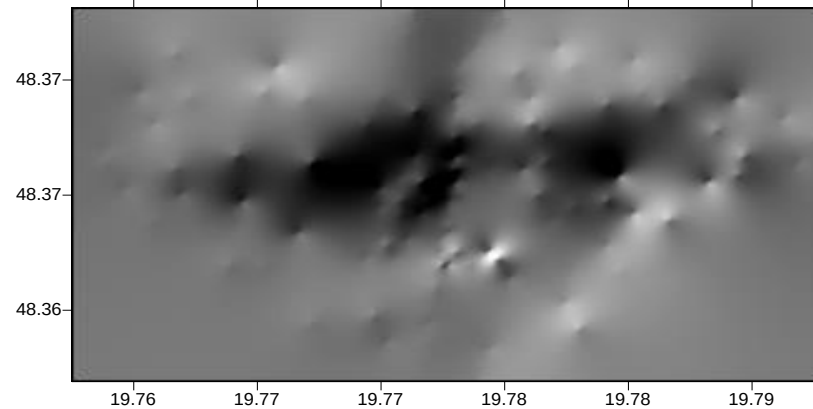
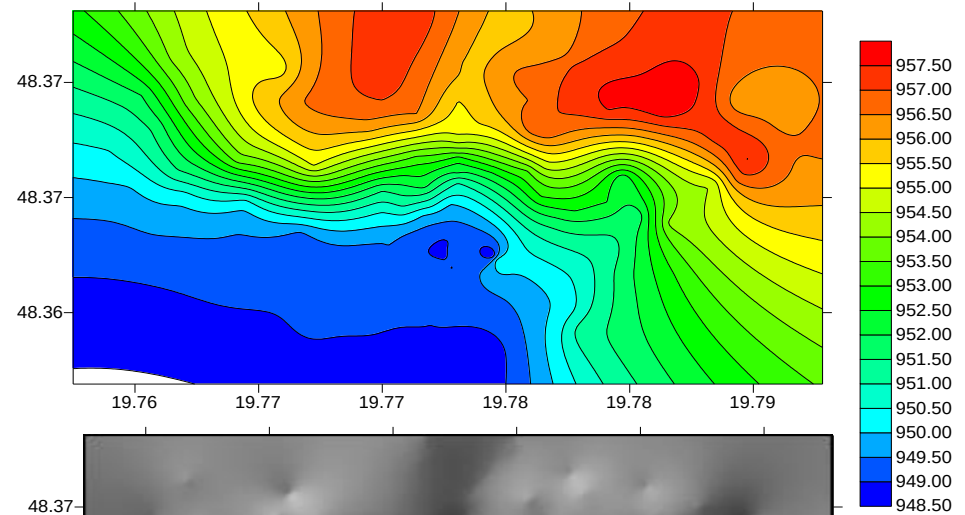
maarová štruktúra, Pinciná pri Lučenci

merané
ťažové
zrýchlenie g



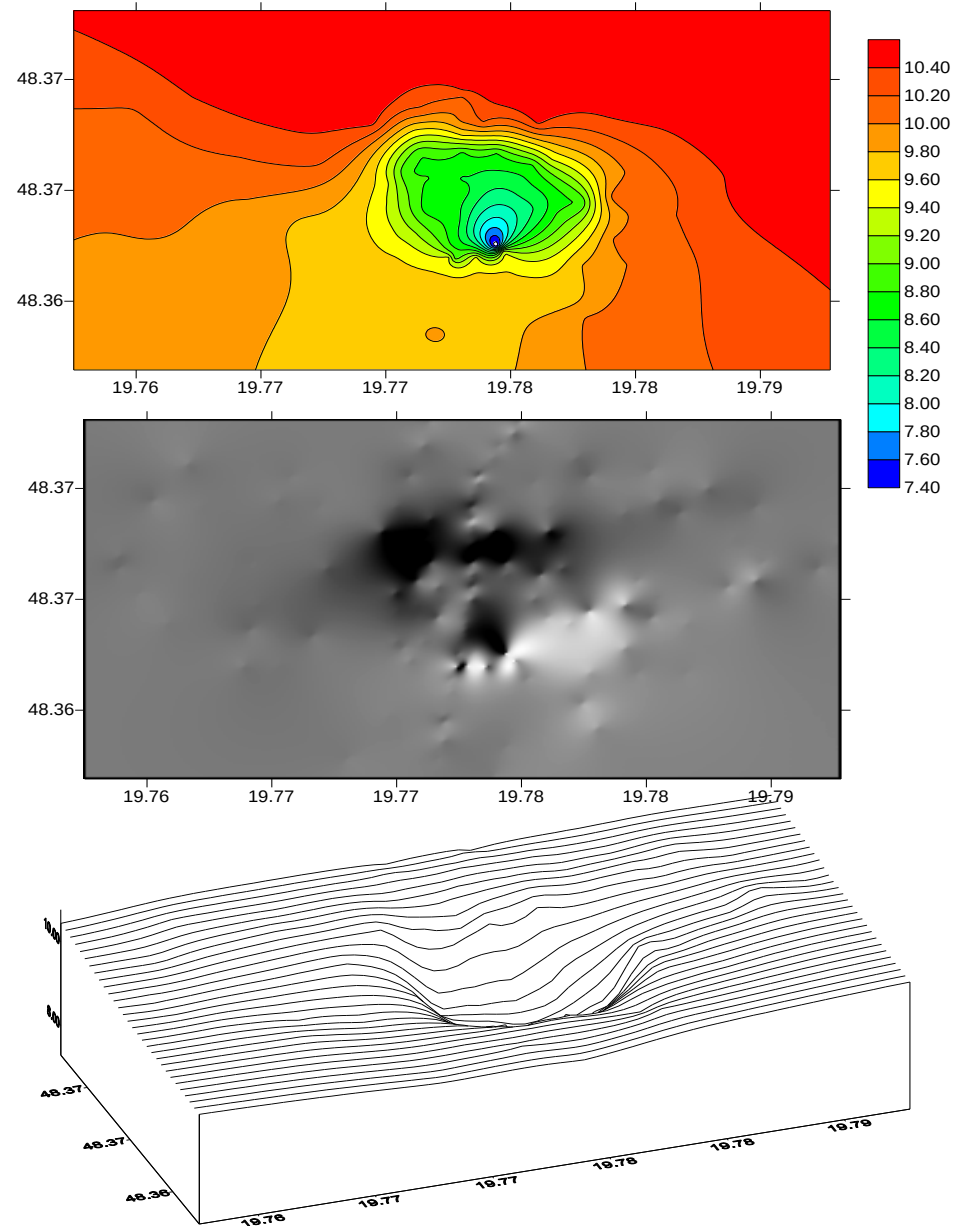
maarová štruktúra, Pinciná pri Lučenci

tzv. Fayeove
anomálie
(odstránený
hlavný vplyv
výšok)

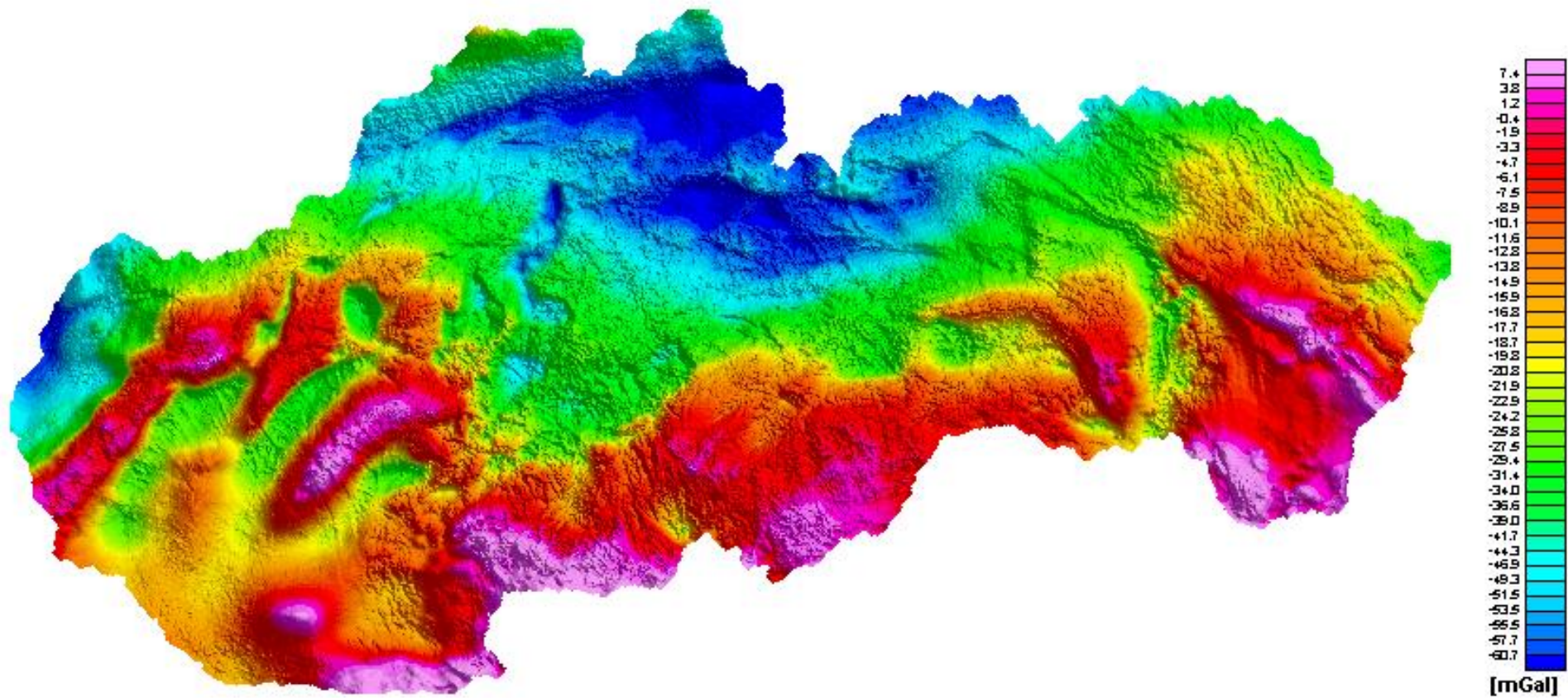


maarová štruktúra, Pinciná pri Lučenci

**Úplné
Bouguerove
Anomálie**
(odstránené
všetky
negeologické
vplyvy)



mapa ÚBA - SR



interpretácia v gravimetrii

INTERPRETÁCIA –

kvalitatívna/kvantitatívna

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

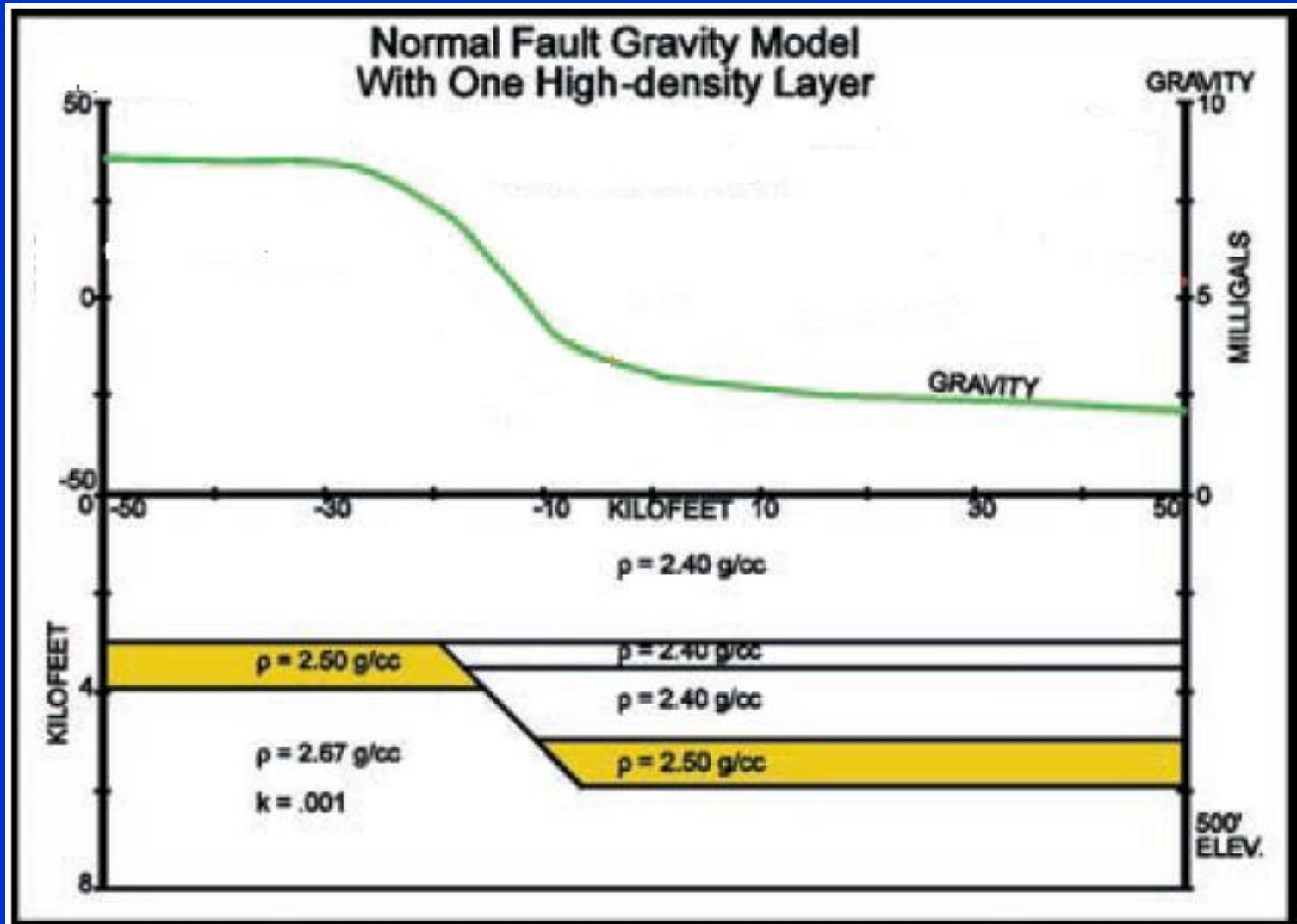
kvantitatívna – určuje hĺbkové, rozmenrové, tvarové a hustotné parametre študovaných geologických objektov

dôležité pojmy:

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

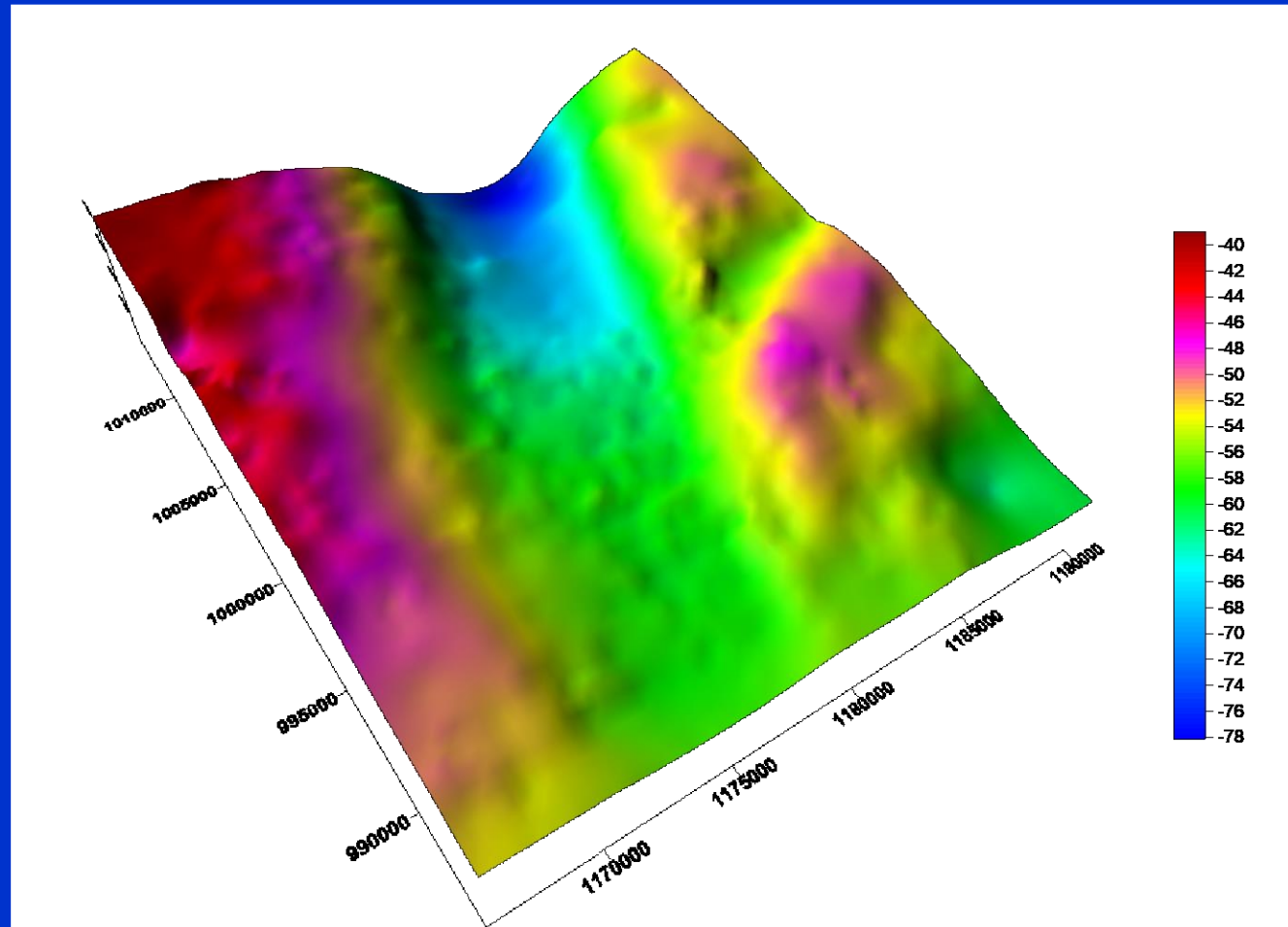
INTERPRETÁCIA – kvalitatívna

priebeh gravitačného účinku (ÚBA)
nad zlomom (poklesom)



INTERPRETÁCIA – kvalitatívna

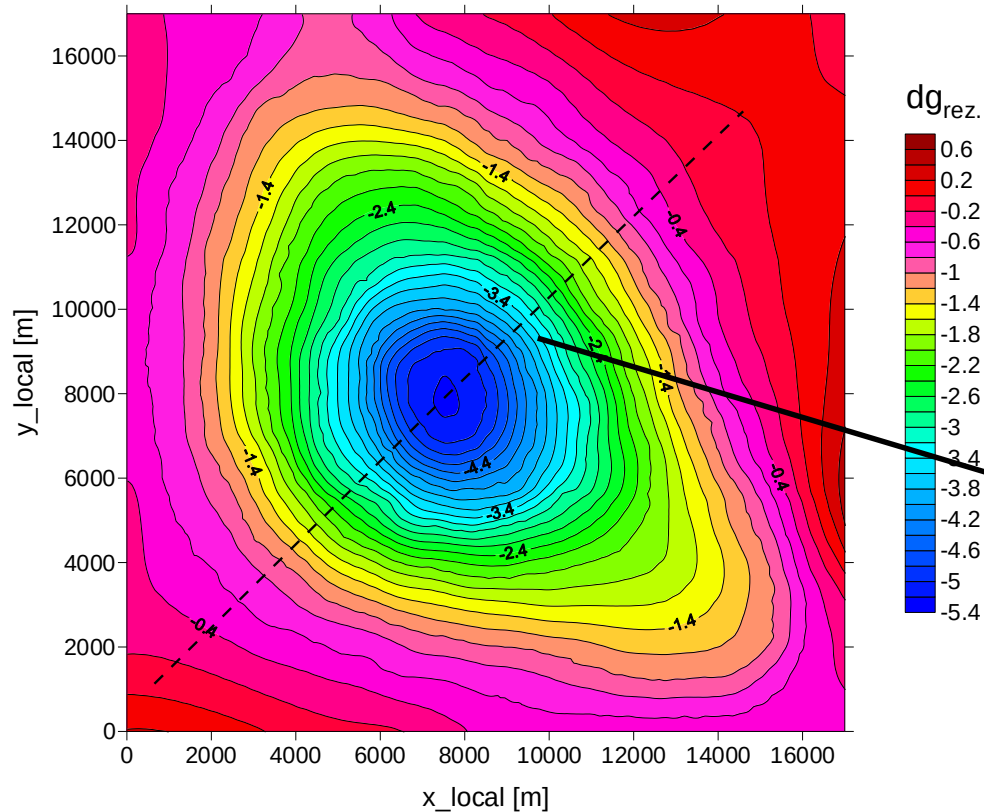
príklad: úplné Bouguerove anomálie z oblasti Mŕtveho mora (sedimenty mora sú ľahšie ako okolie)



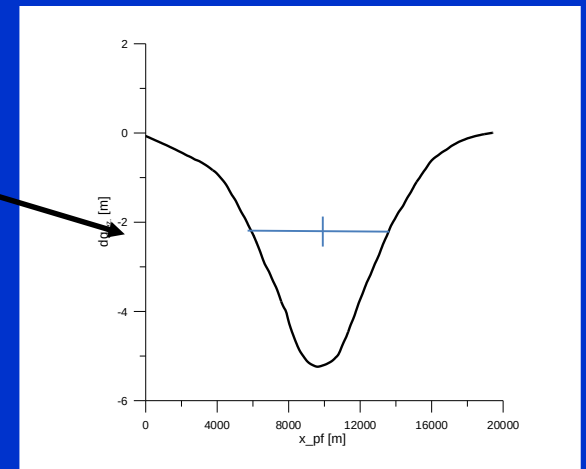
INTERPRETÁCIA – kvantitatívna

tzv. metóda polovičnej šírky

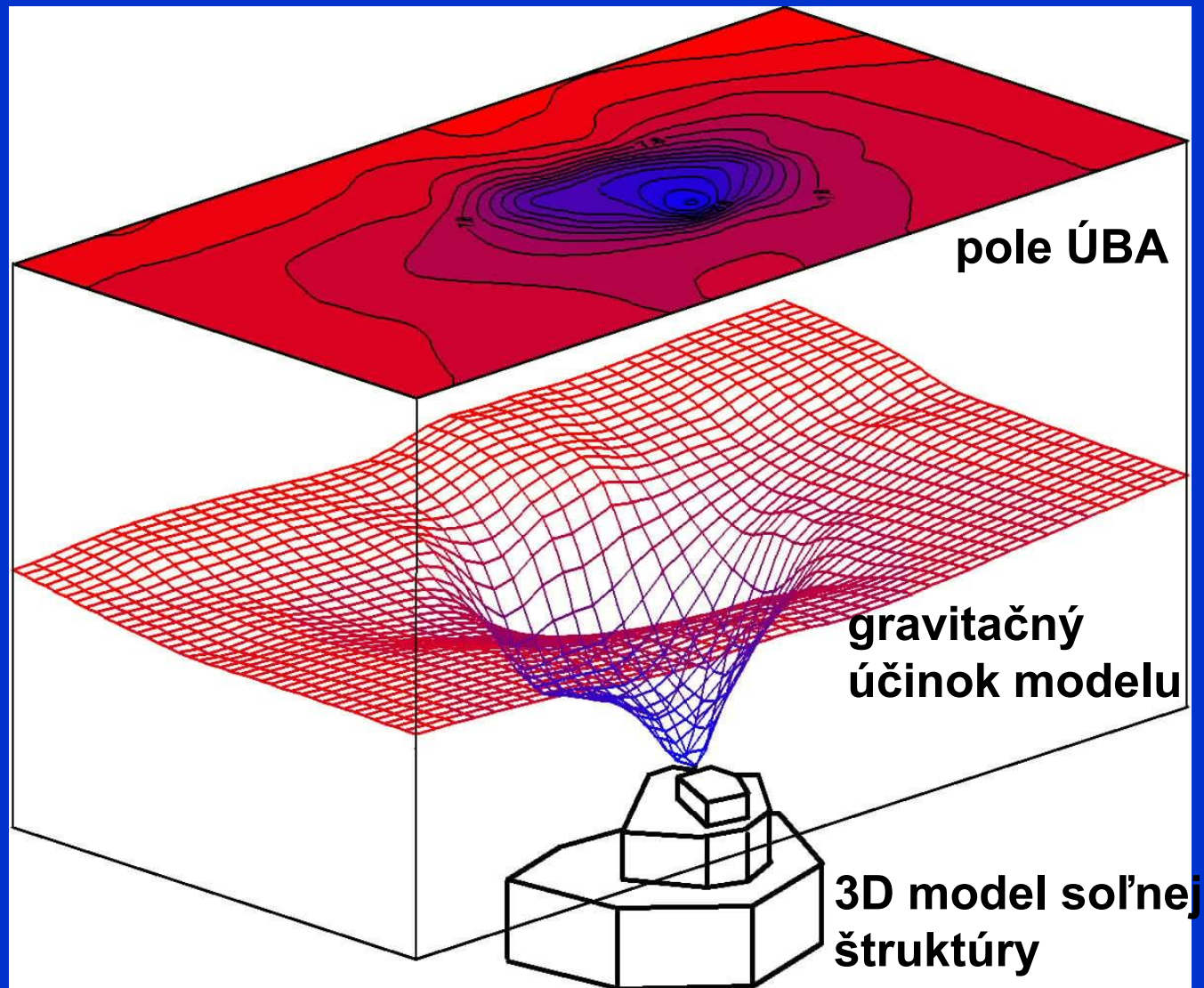
jednoduchý príklad – Bouguerova anomália prejavu soľného diapíru, lokalita Louisiana príbrežná oblasť (Nettleton, 1976)



z polovičnej šírky
„odpichnutej“ anomálie
je možné odhadnúť
vrchný okraj soľného
diapíru



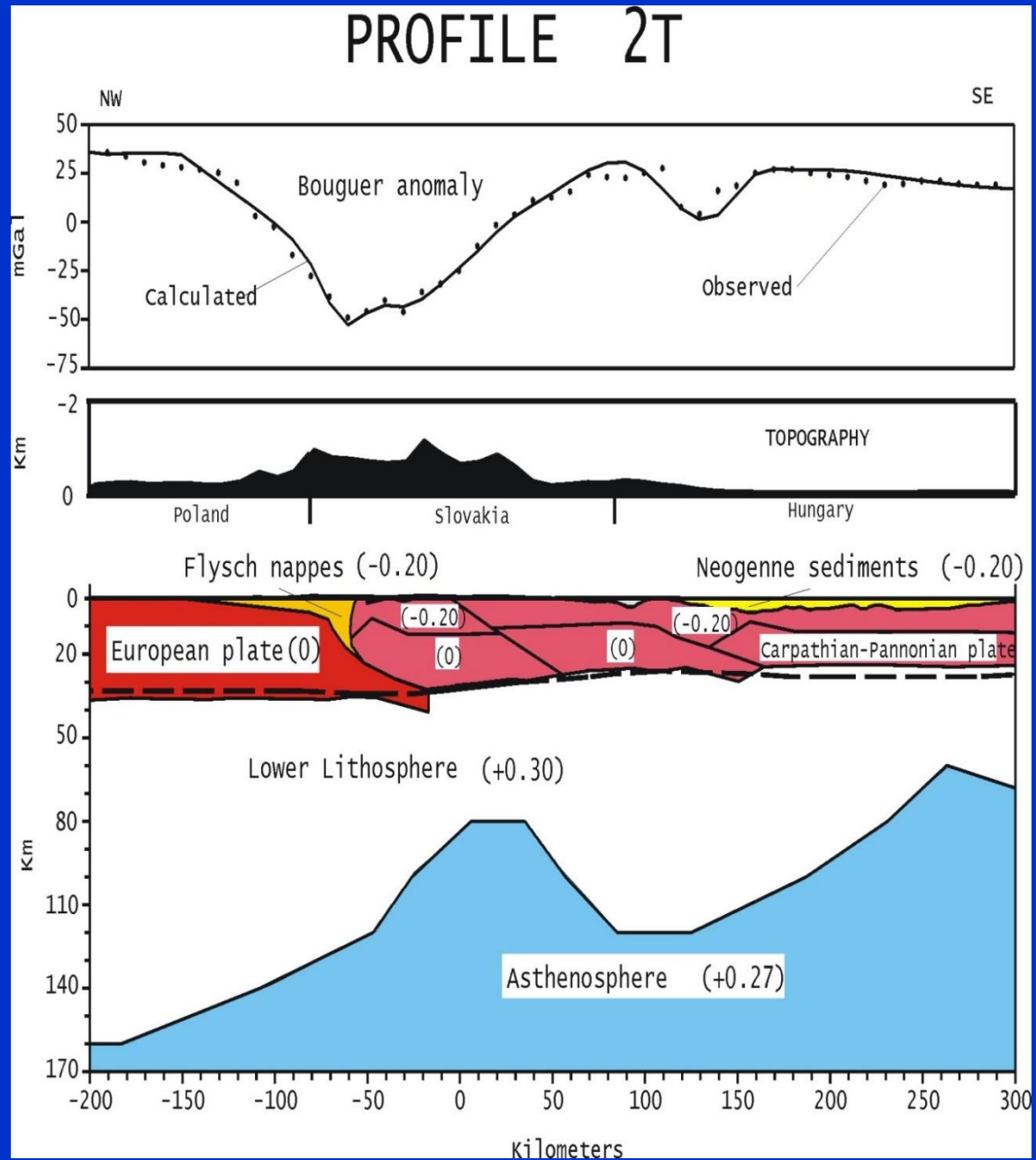
INTERPRETÁCIA – kvantitatívna tzv. hustotné modelovanie



INTERPRETÁCIA – hust. modelovanie

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

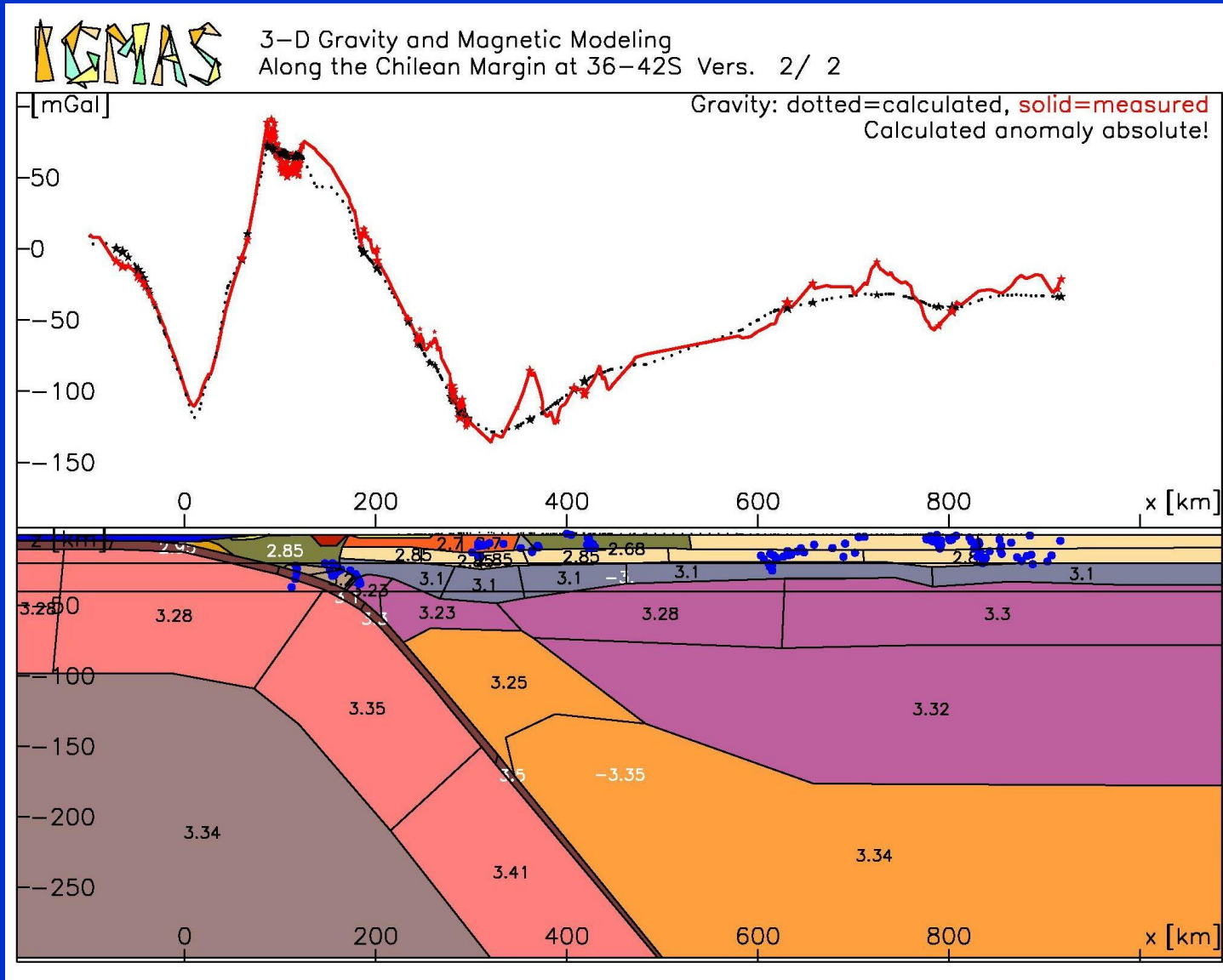
model siaha
až do hĺbky 170 km



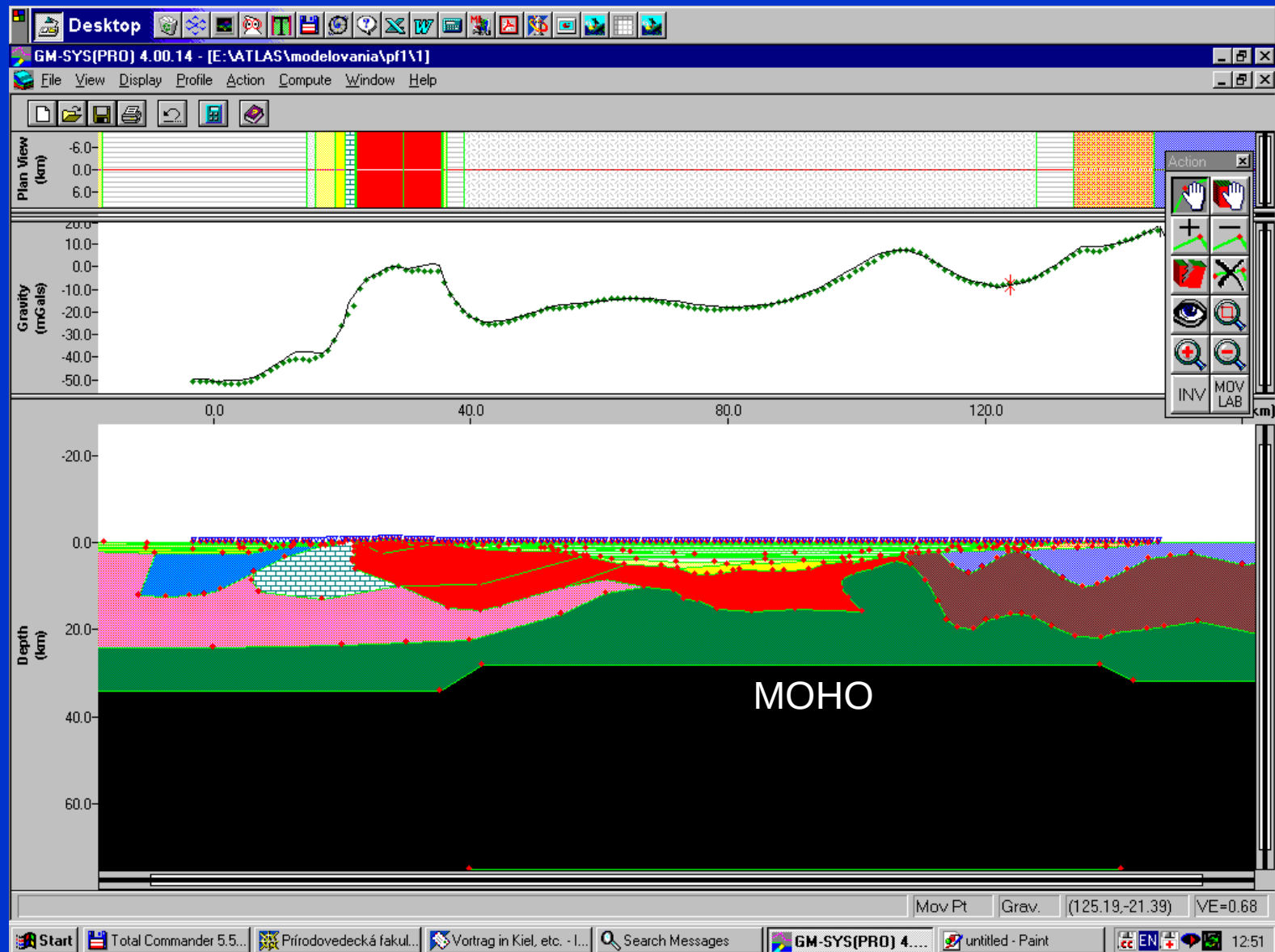
využitie gravimetrie

- v regionálnej a štruktúrnej geológii
- v ložiskovom a ropnom prieskume
- detekcia dutín
(inžiniersky, environmentálny prieskum,
archeológia, ...)
- atď. (hustotné nehomogenity)

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

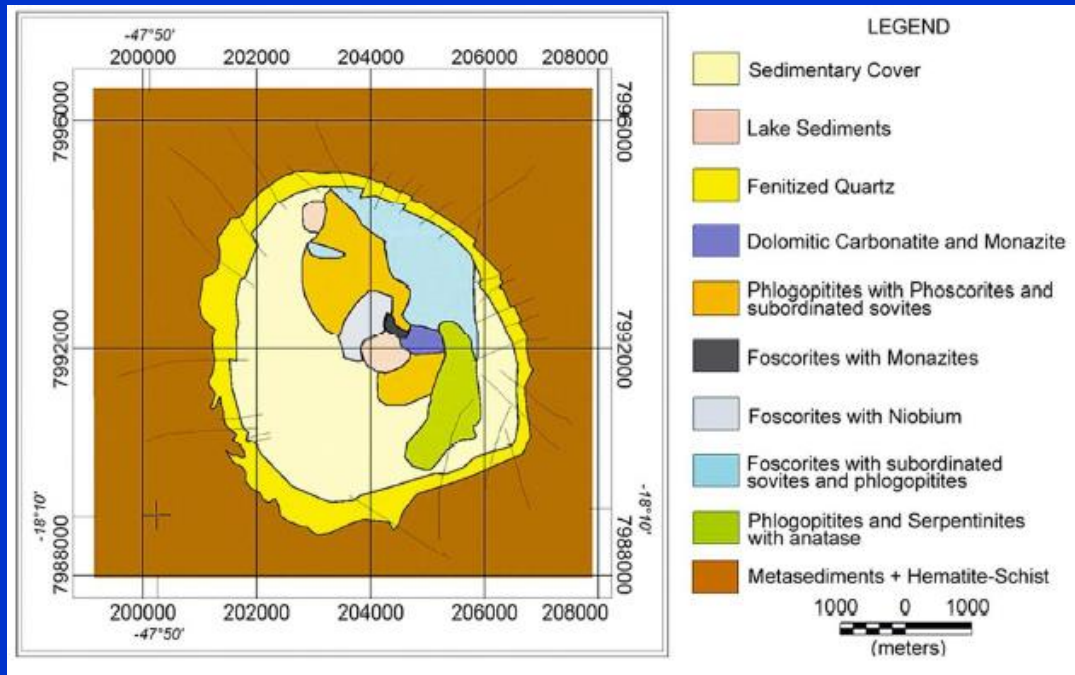


výsledok hustotného modelovania – profil cez Malé Karpaty a Dunajskú panvu, SR (model siaha do 70 km)

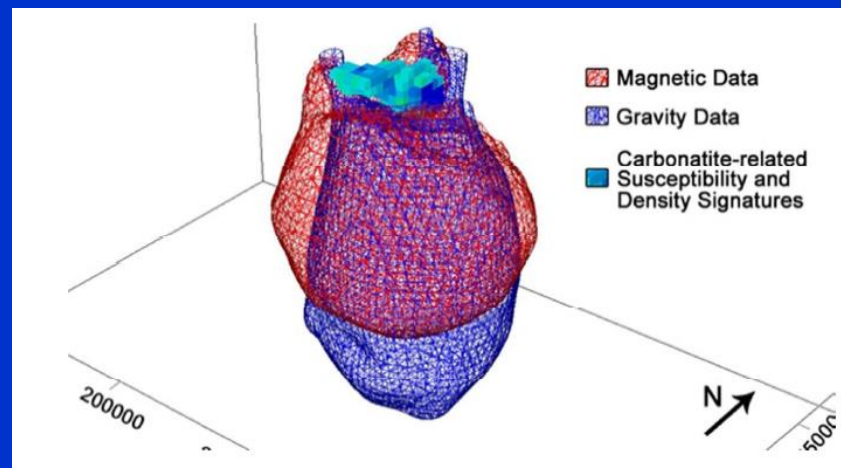
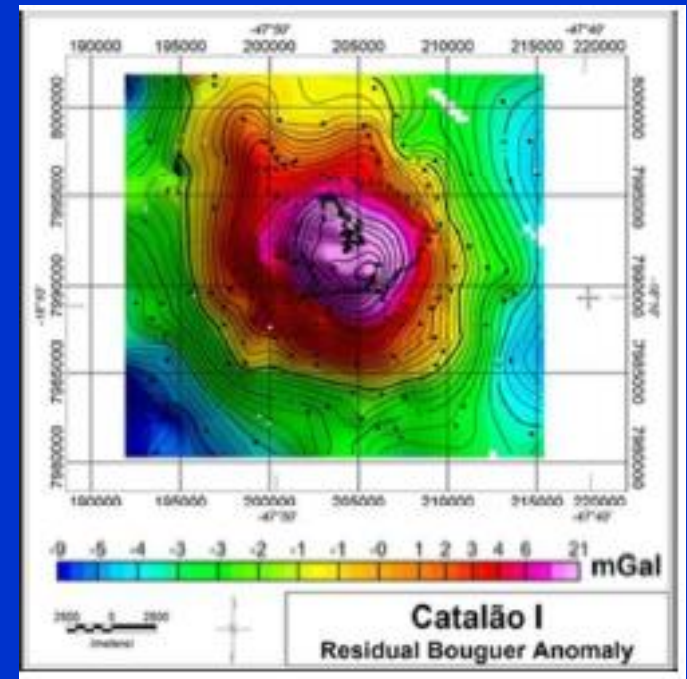


výsledky prieskumu karbonatitého ložiska Catalão, Brazília

geologická mapa štruktúry

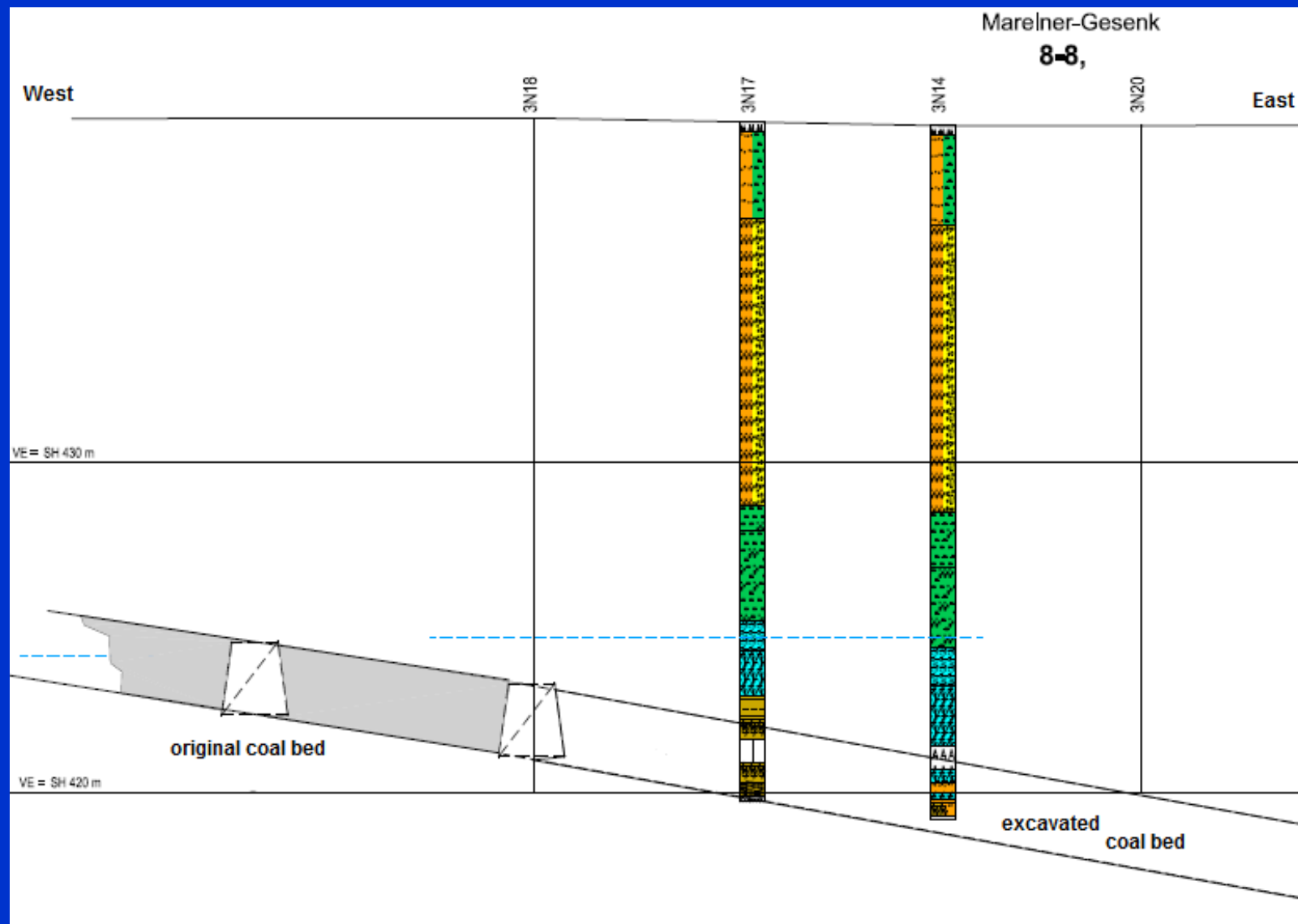


Bouguerove anomálie

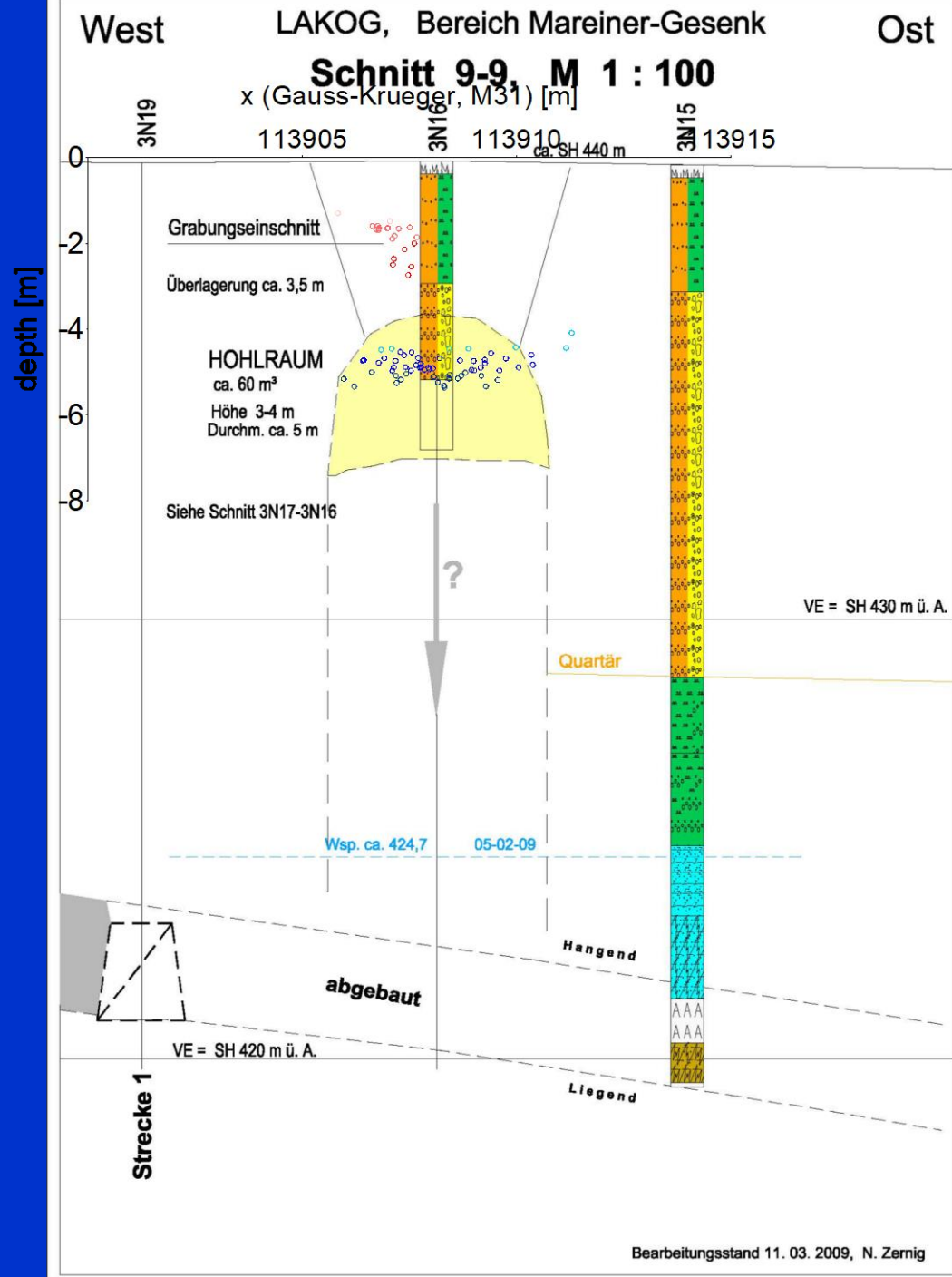


výsledok 3D hustotného a suscept. modelovania

lokalita Wolfsberg, Rakúsko, 2012



priestor bývalej bane na hnedé uhlie (neogénny vek)



lokalita Wolfsberg,
 Rakúsko, 2012

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

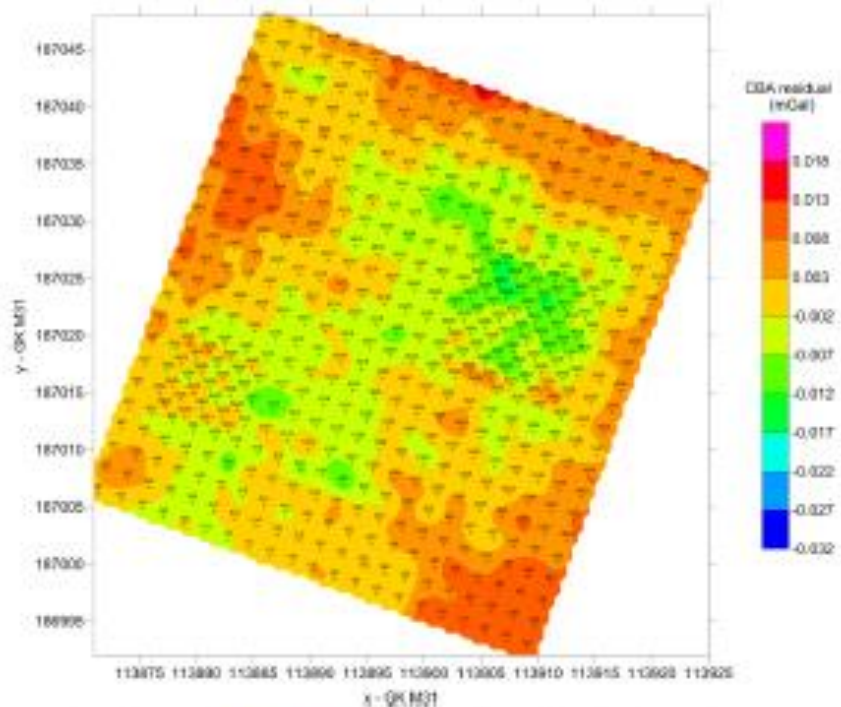
odkopaná dutina

lokalita Wolfsberg,
Rakúsko, 2012



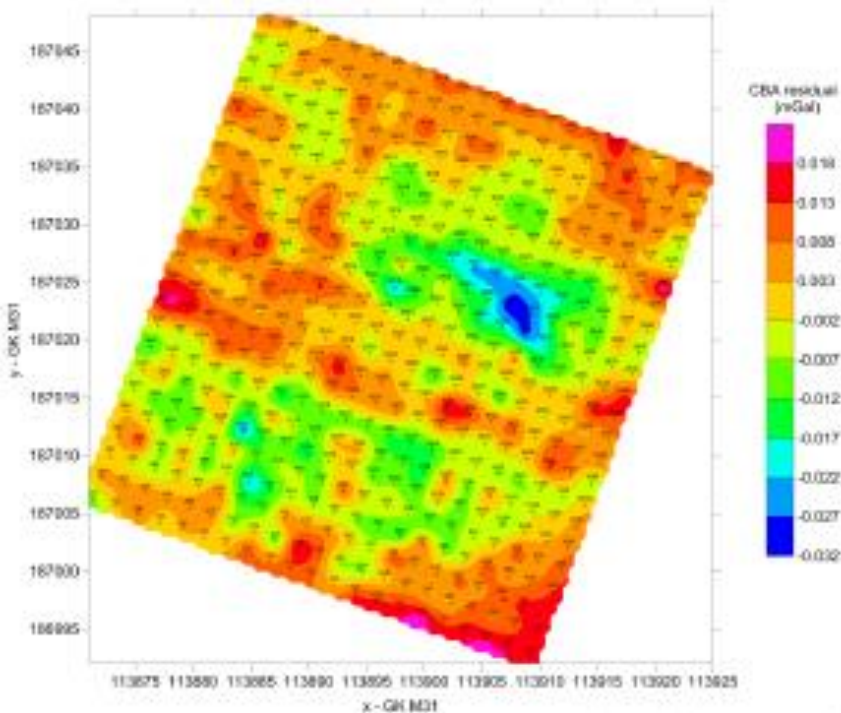
Abb. 4: Freilegung des durch die geophysikalische Untersuchung festgestellten Hohlraumes (ca. 60 m³) mit einer Überlagerung von etwa 3,5 m

2016

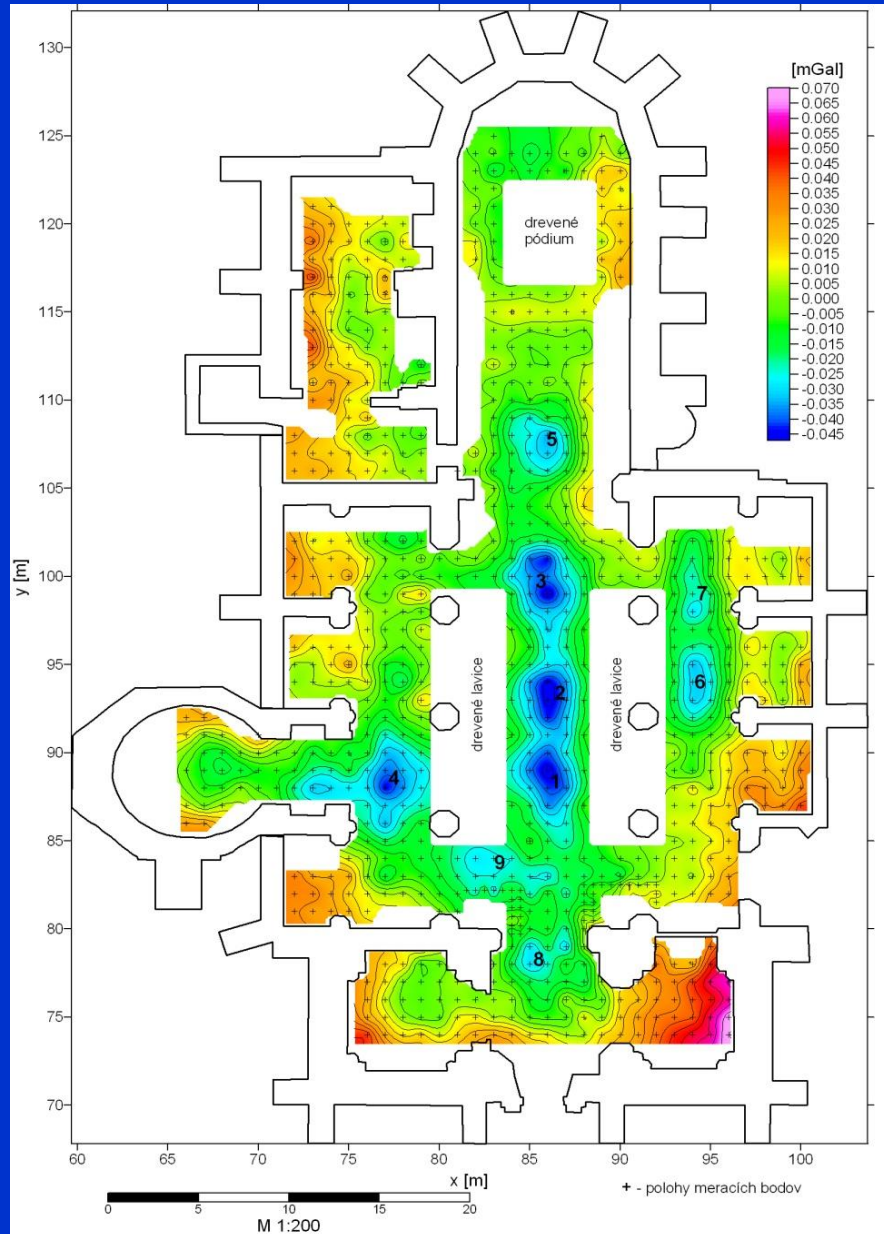


lokalita Wolfsberg,
Rakúsko,
porovnanie rokov
2012 a 2016
(kontrolné merania)

2012



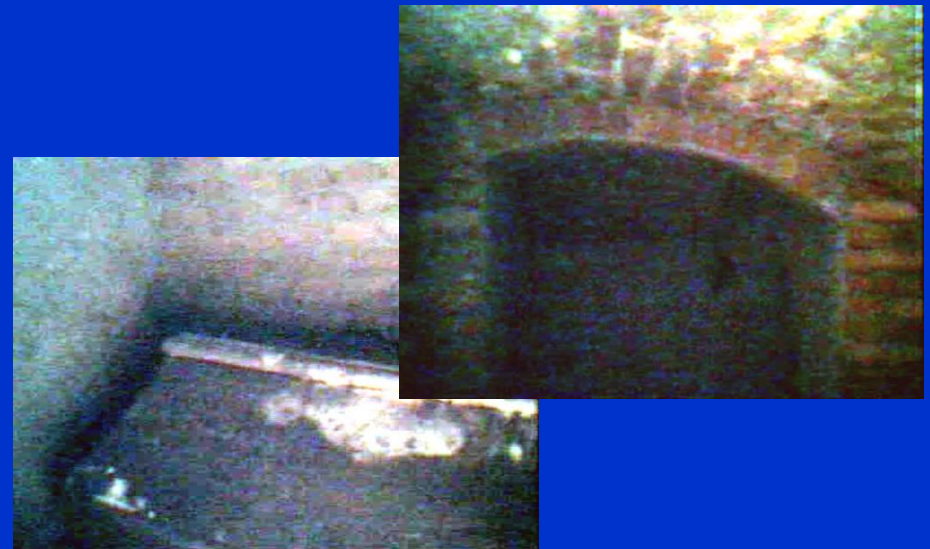
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



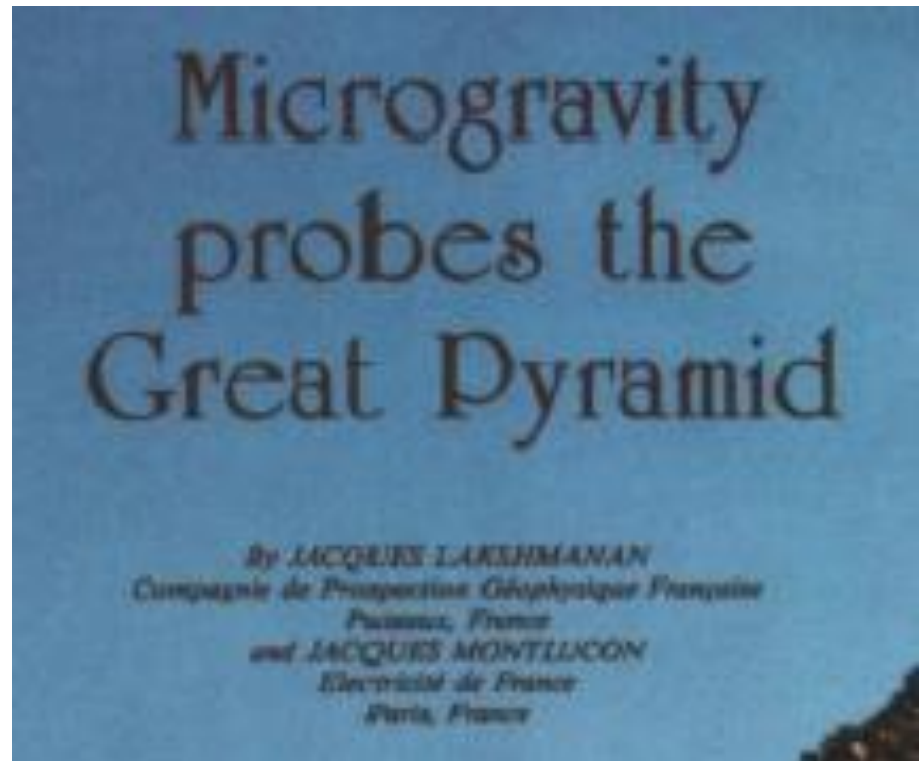
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = $1.80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$



spojenie výsledkov mikrogravimetrie
a metódy georadaru (GPR),
overené videoinšpekciou

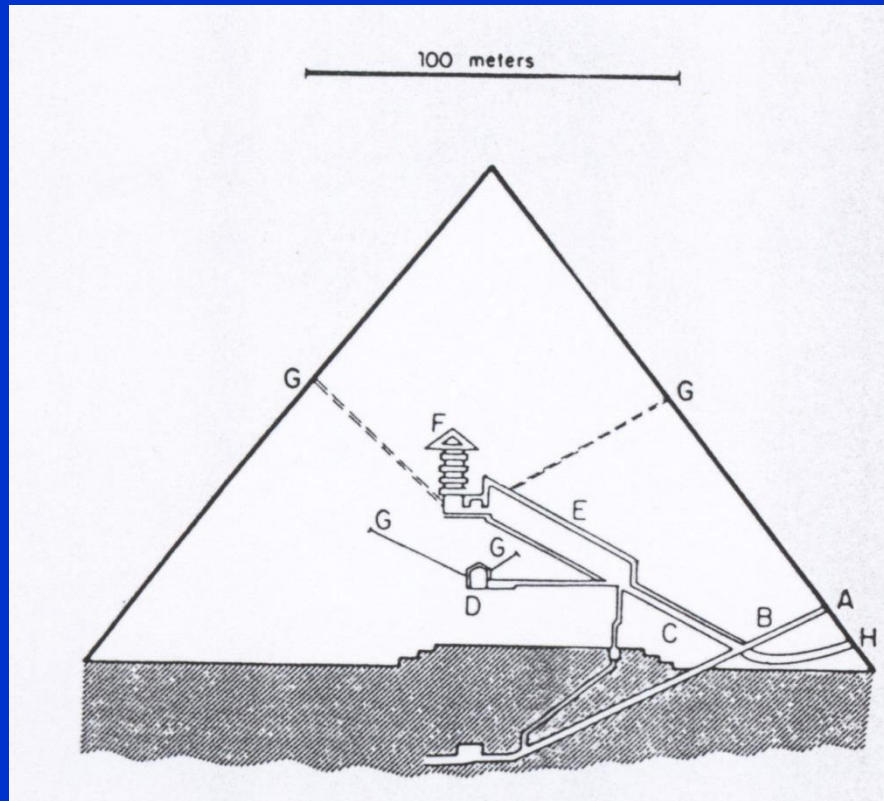


Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogravimetrický projekt

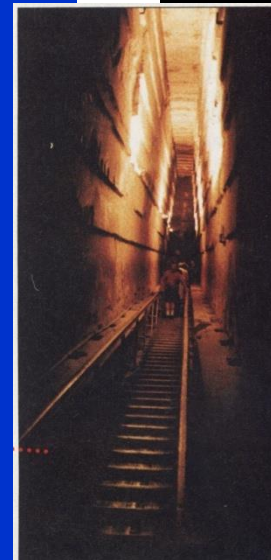
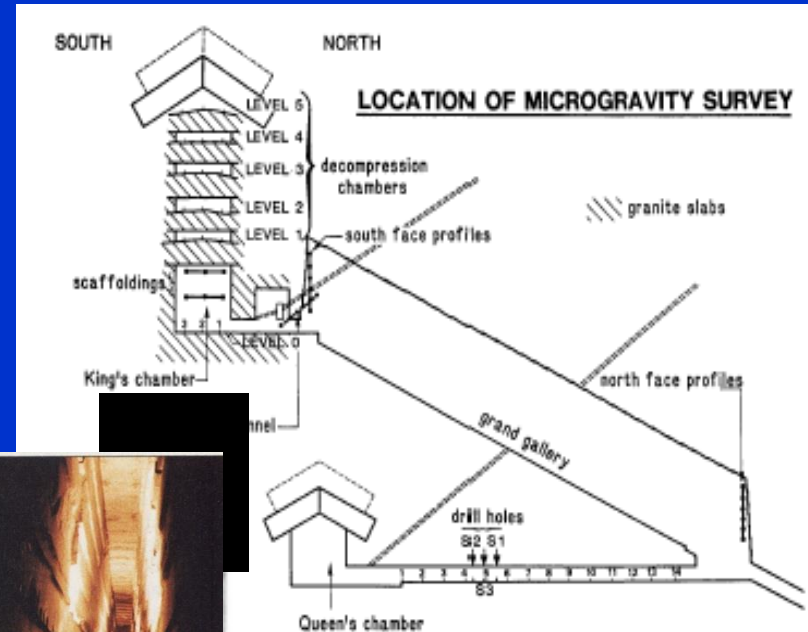


Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

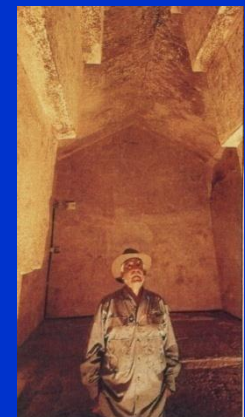
štruktúra pyramídy



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



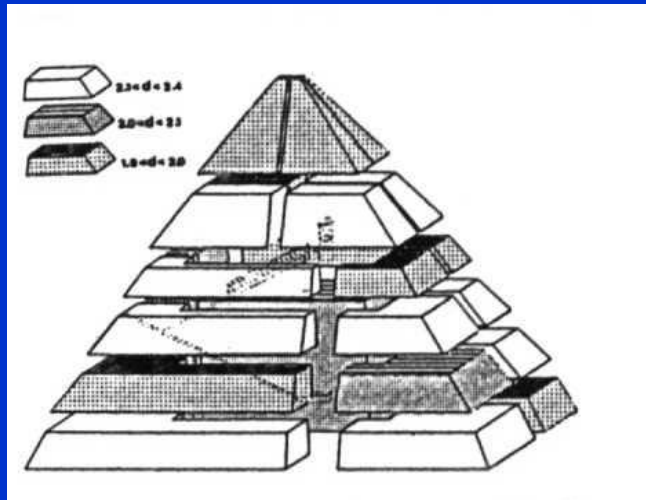
veľká
galéria



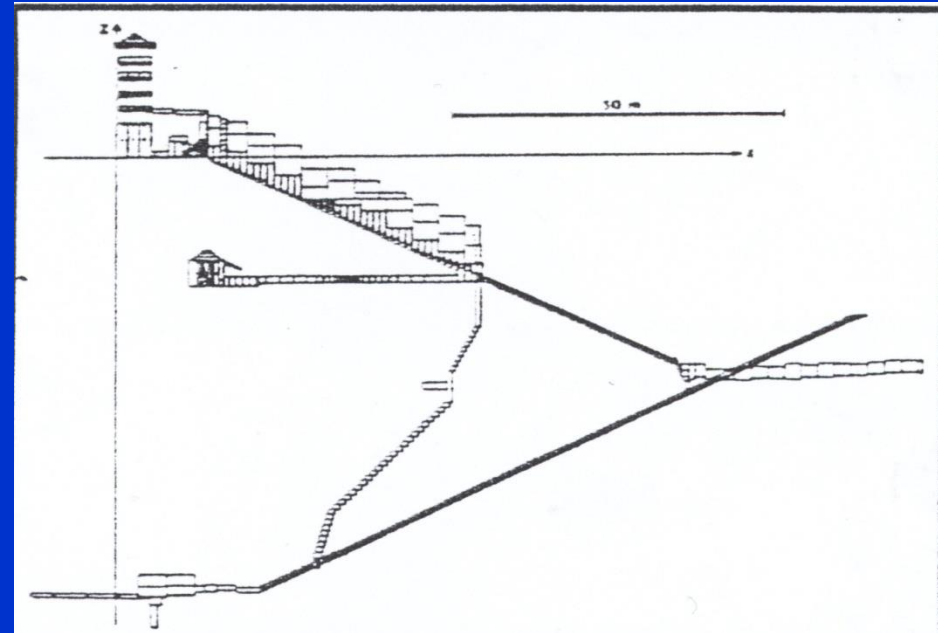
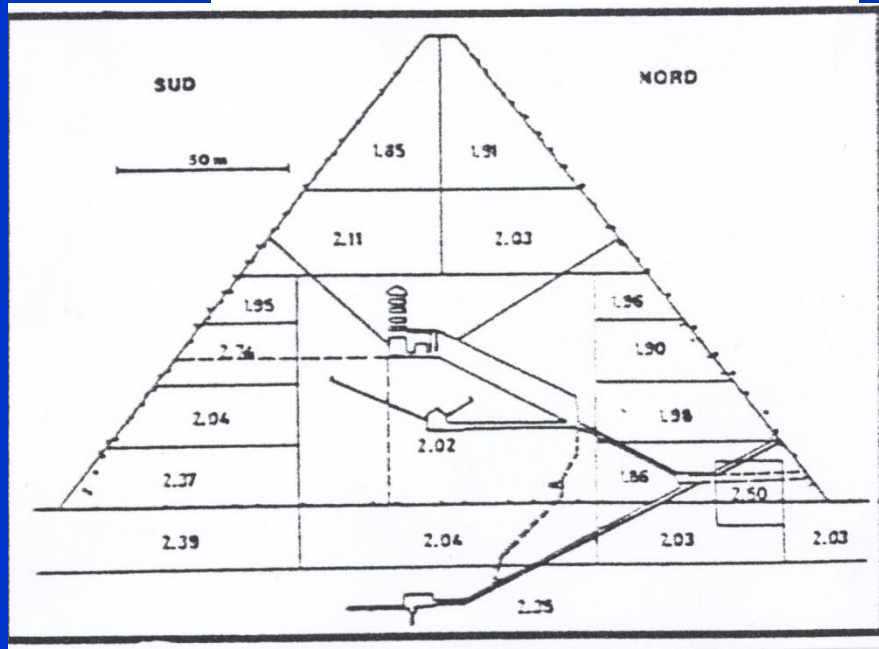
kráľovská
komnata

odhad. chyba: 2 - 10 μ Gal samotné meranie

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt



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



známe dutiny

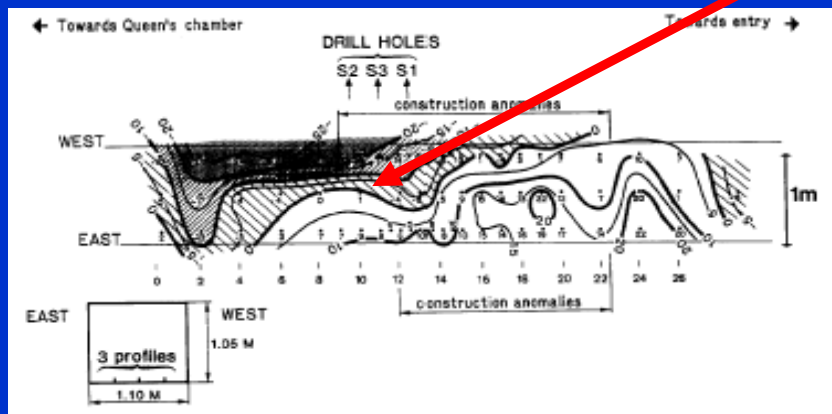
model hustotného „rozvrstvenia“ pyramídy

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

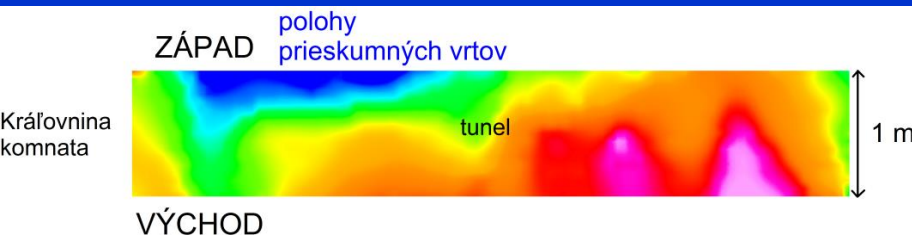
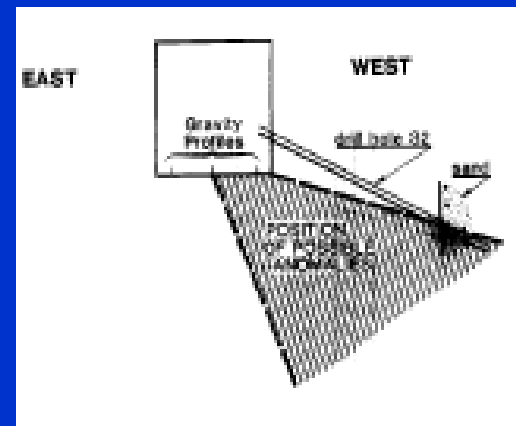
výsledky

hlavný výsledok:

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



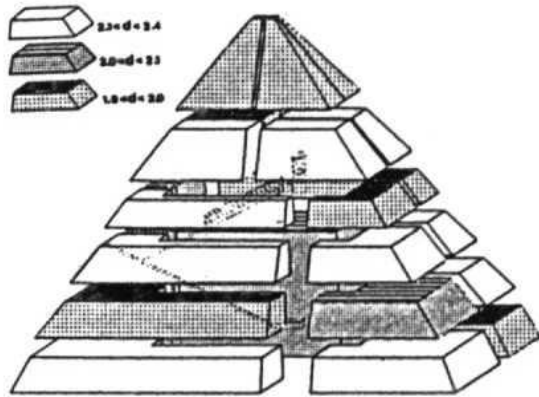
overenie anomálie:



3 vrtý dosiahli po 2.1 m dutinu vyplnenú pieskom, (modelovaný objem dosahuje až 40 m⁻³)

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

výsledky – možná interpretácia



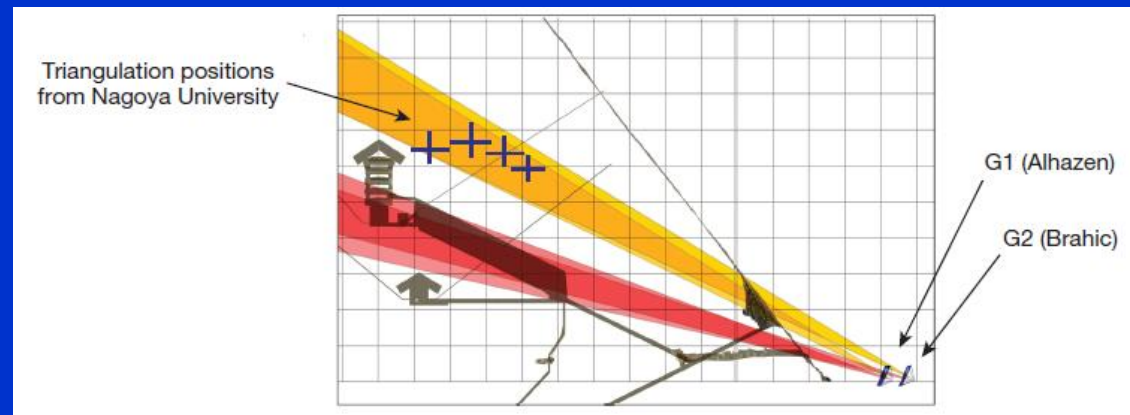
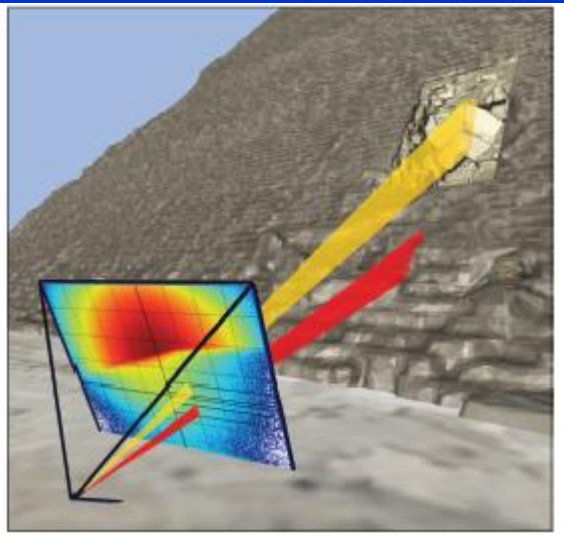
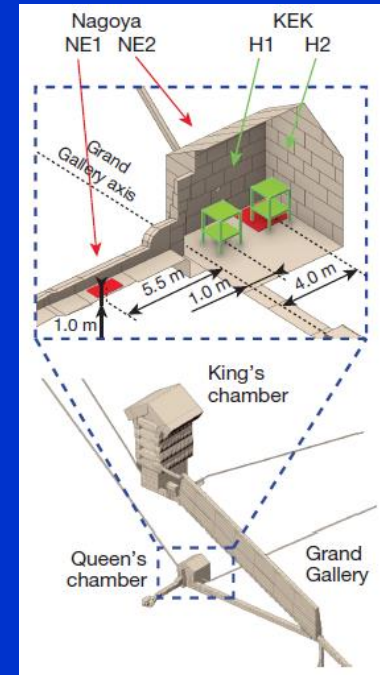
Densities of the large block structure of the Cheops Pyramid.

zvyšok pieskovej rampy

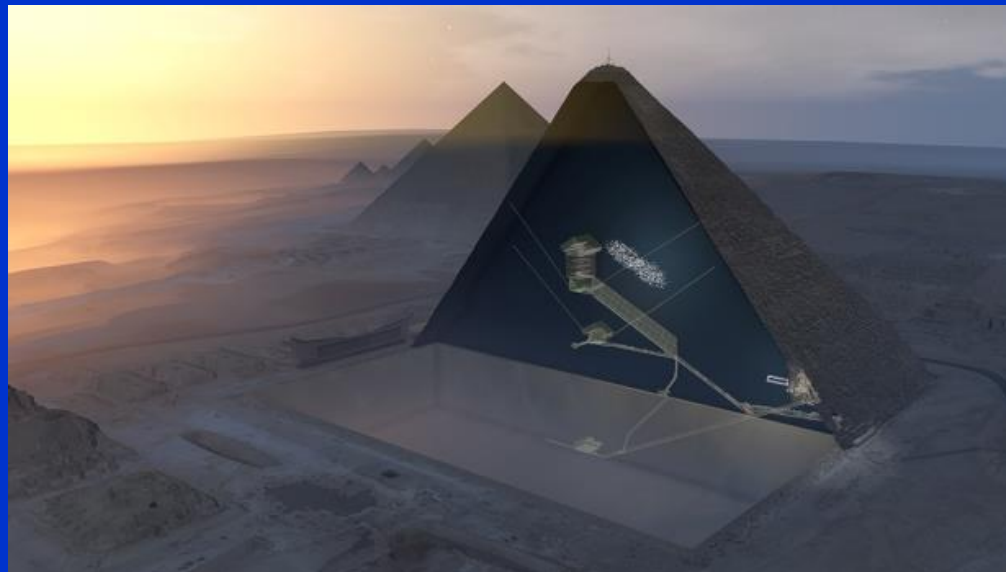
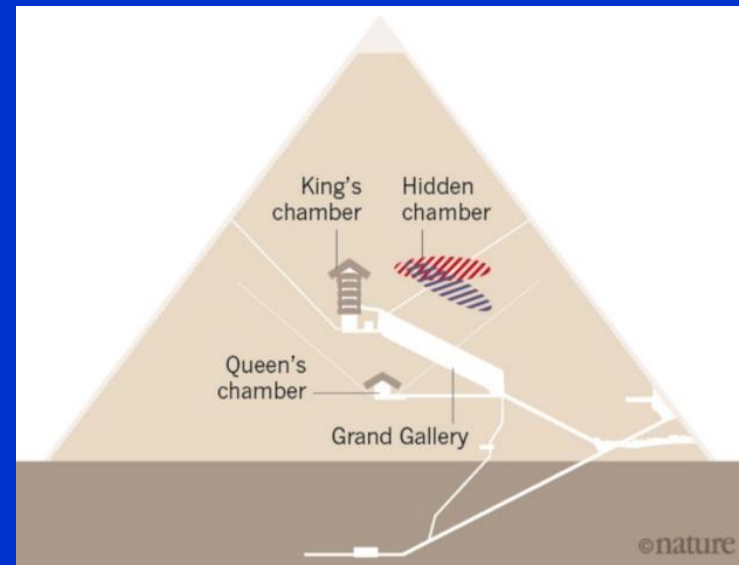
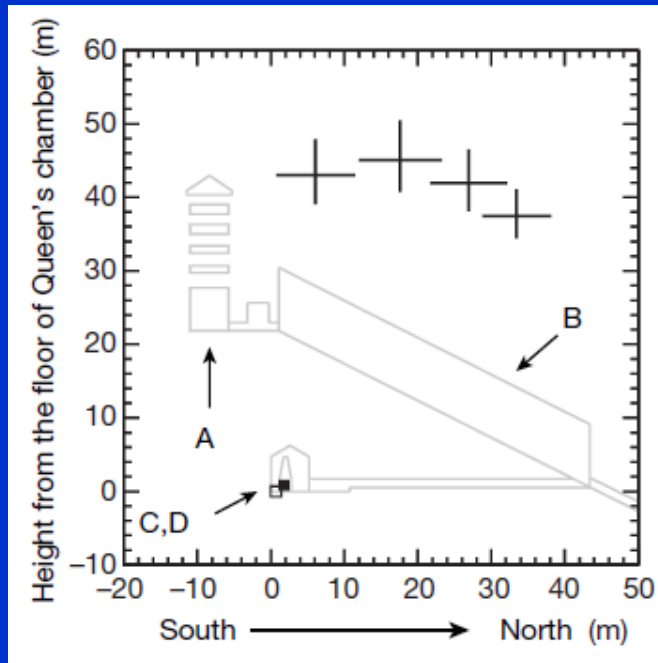
INTERPRETÁCIA PRIEBEHU
VNÚTORNEJ ŠPIRÁLOVEJ
RAMPY V CHUFUOVEJ
PYRAMÍDE



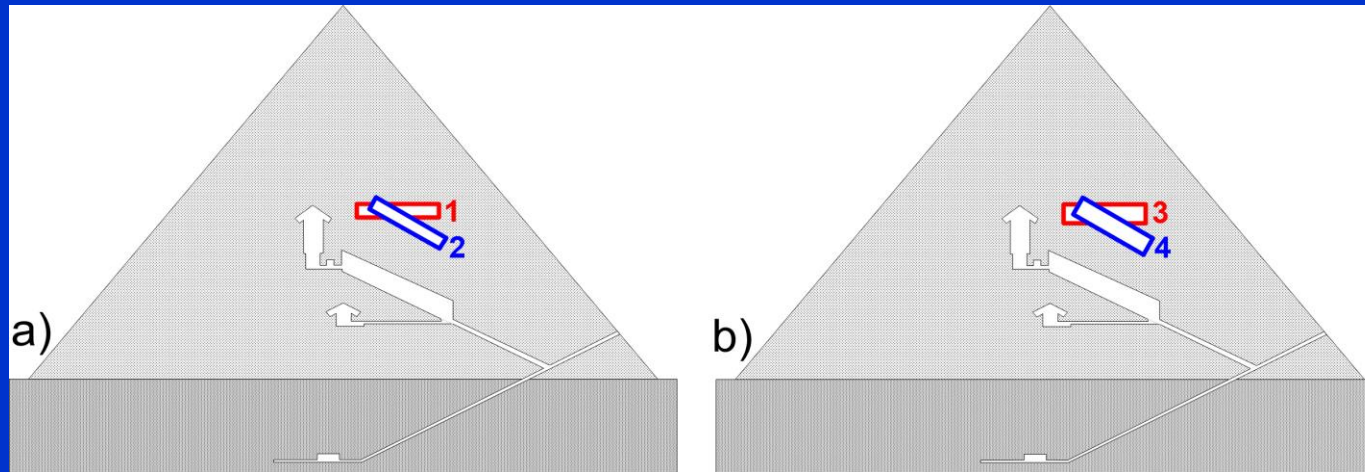
Zaujímavosť – rok 2017: objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



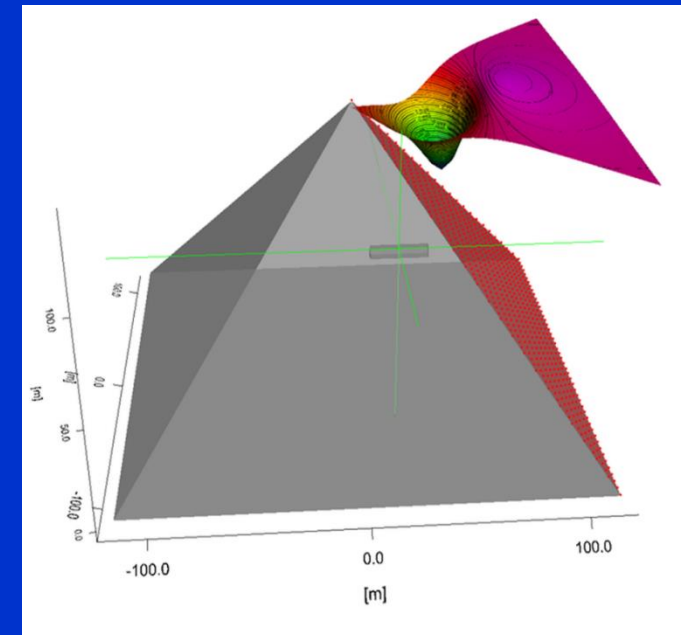
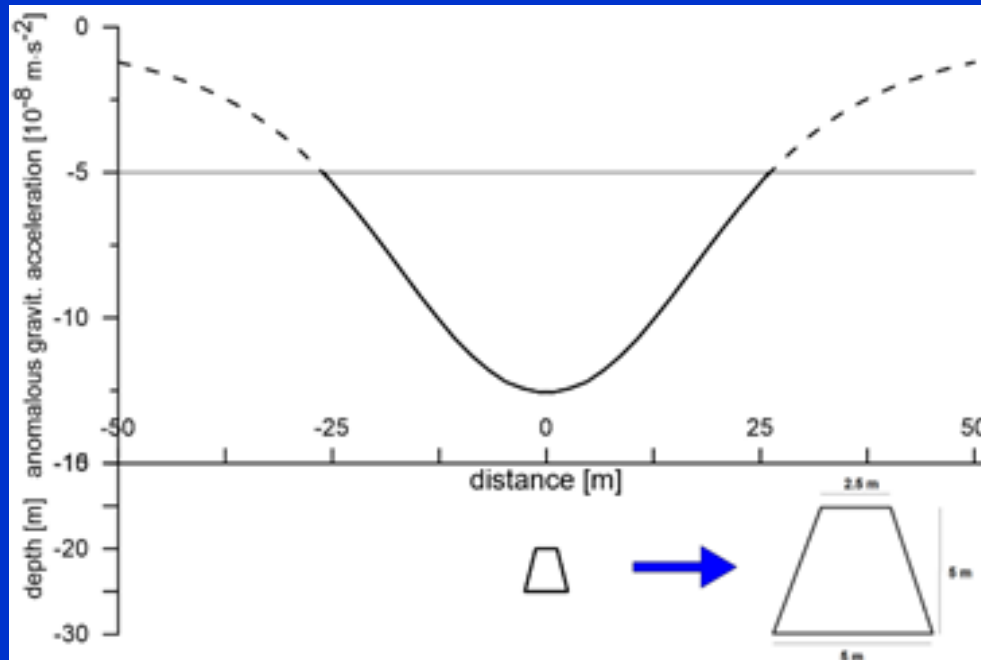
Zaujímavosť – rok 2017: objavenie novej dutiny (tzv. Big Void)
v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



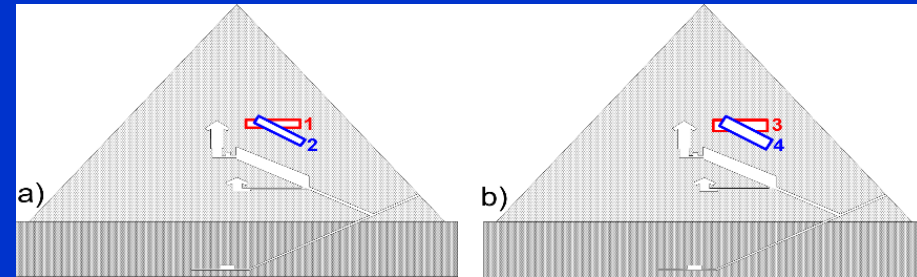
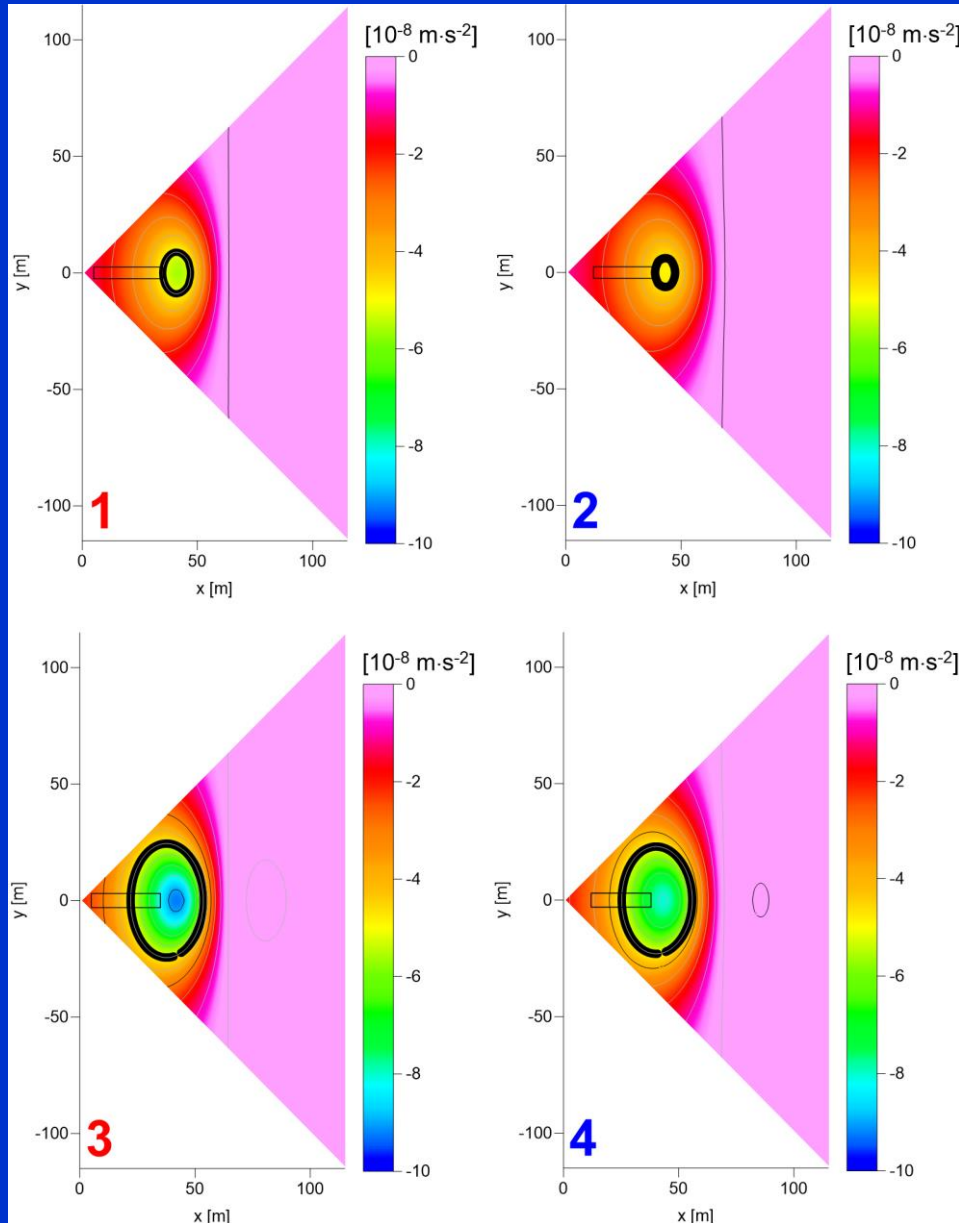
Bolo by možné prítomnosť tejto dutiny overiť presnými gravimetrickými meraniami na povrchu pyramídy?



modelované
4 scenáre
(výška 5 a 7 m)



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



Hrubá izočiará približne vymedzuje plochu, na ktorej by mohla byť daná dutina „merateľná“ pomocou súčasných moderných gravimetrov.