

Geofyzikálne aparatury a metodika terénnych meraní

–

časť GRAVIMETRIA

Skriptá a prezentácie:

na web-stránke katedry: www.kaeg.sk

vpravo (učebné texty)

„filozofia“ delenia tém vo výučbe geofyziky:

- prístroje (instruments),**
- zber dát v teréne (data acquisition),**
(kontrola nameraných dát: quality control - QC)
- spracovanie dát (data processing),**
- interpretácia dát (data interpretation)**

(niektoré témy sa samozrejme prelínajú)

obsah bloku prednášok (gravimetria):

- základné pojmy a jednotky,**
- prístroje na meranie tiaž. zrýchlenia**
(prehľad, viac v časti „Geofyzikálne aparatury“),
- príprava terénnych meraní**
(ciachovanie, nastavenie konštánt korekcií),
- plánovanie terénnych meraní,**
- samotné terénne merania,**
- základné spracovanie a QC**
(oprava o chod gravimetra)
- hlavné spracovanie**
(spracovanie do formy Bouguer. anomálií),
- príkladové štúdie (case-studies)**

Čo je náplňou gravimetrie?

**gravimetria sa zaoberá meraním,
spracovaním a interpretáciou tiažového
(gravitačného) zrýchlenia**

*mikrogravimetria je odvetvie gravimetrie,
zamerané na veľmi presné a detailné zisťovanie
anomálnych prejavov tiažového poľa*

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

*používané jednotky v gravimetrii
pre tiažové (gravitačné) zrýchlenie*

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 anglo-saskom „svete“ (starší CGS syst.):

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

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

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

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

$$1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

používané jednotky pre hustotu

system SI: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

používané sú násobky:

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

**(priemerná hustota vrchnej časti zemskej
kôry $\approx 2.67 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)**

význam desatinných miest v priemernej hodnote ,g‘

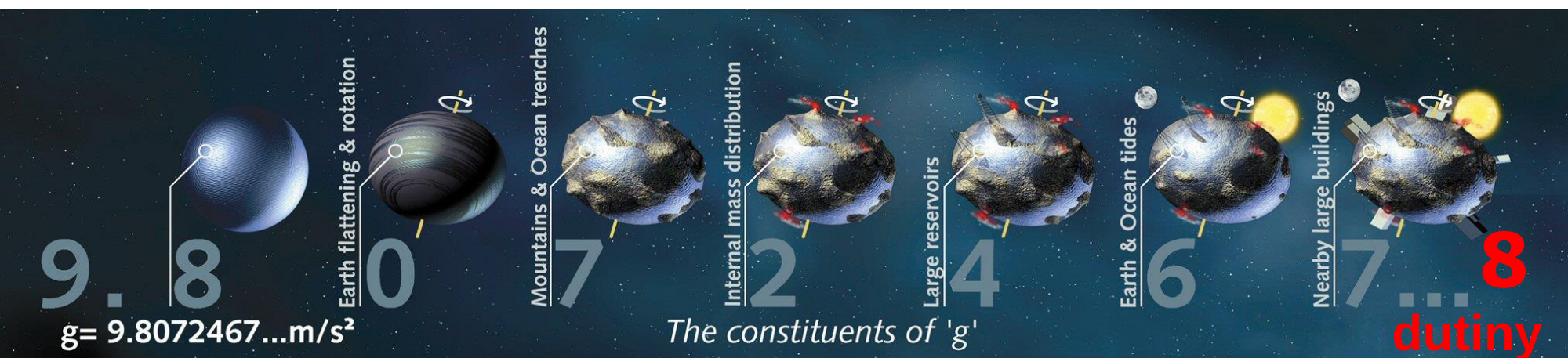
$$g = 9.81345678 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

úroveň mGal

úroveň μGal

vnútorná presnosť súčasných prístrojov:

od 0.01 do 0.005 mGal = 10 do 5 μGal



oblasť
mikrogravimetrie

prístroje na meranie meranie tiažového zrýchlenia

GRAVIMETRE

absolútne

laboratórne

presnosť:

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

dlhý čas merania

(rádovo dni)

merajú absol. hodnotu

princíp: voľný pád

alebo fyz. kyvadlo

relatívne

terénne

presnosť:

$0.005 \text{ mGal} = 5 \mu\text{Gal}$

kratší čas merania

(rádovo minúty)

merajú relat. rozdiel

princíp: systém pružín

(väčšinou kremenných)

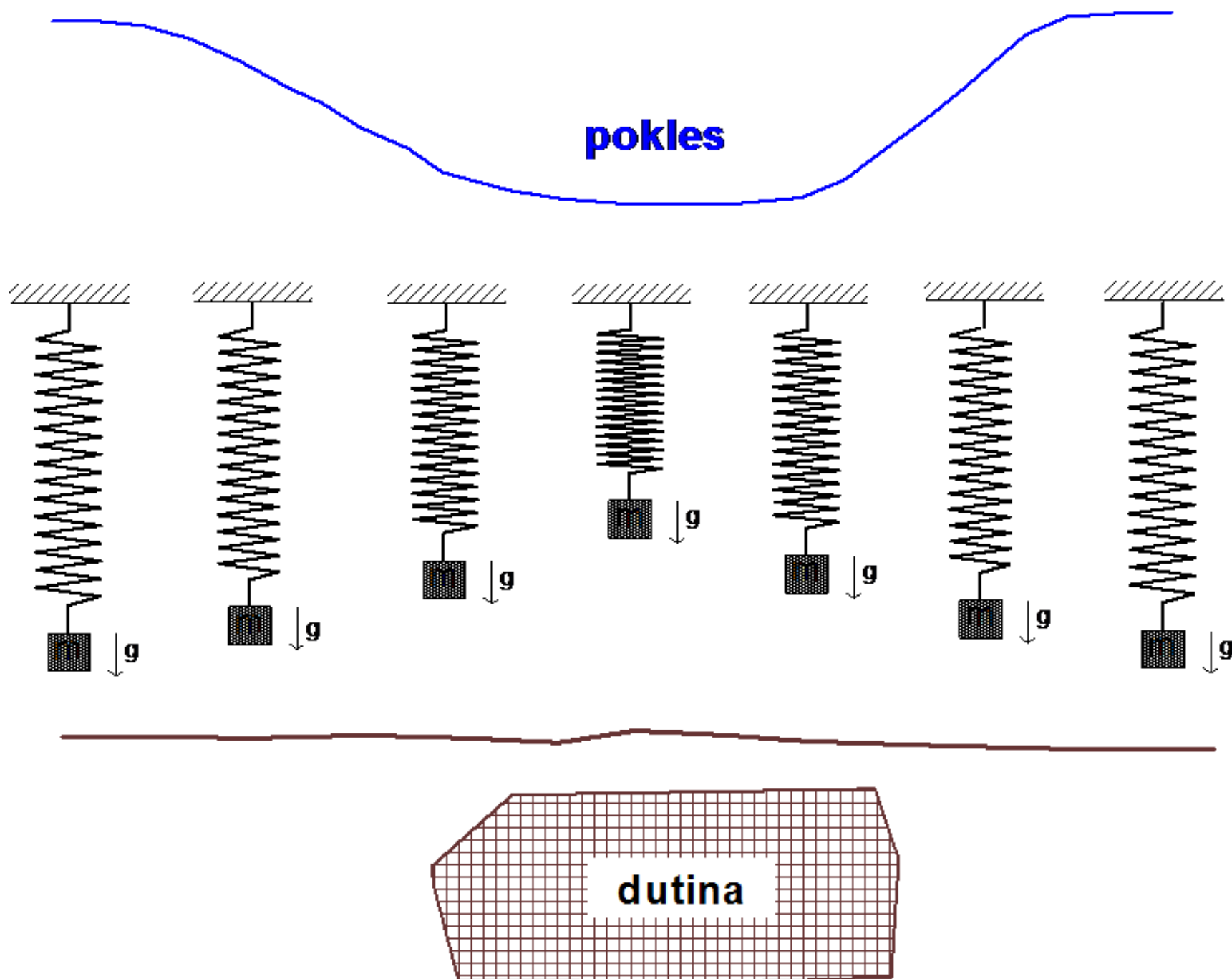


**Micro-g
FG-5**

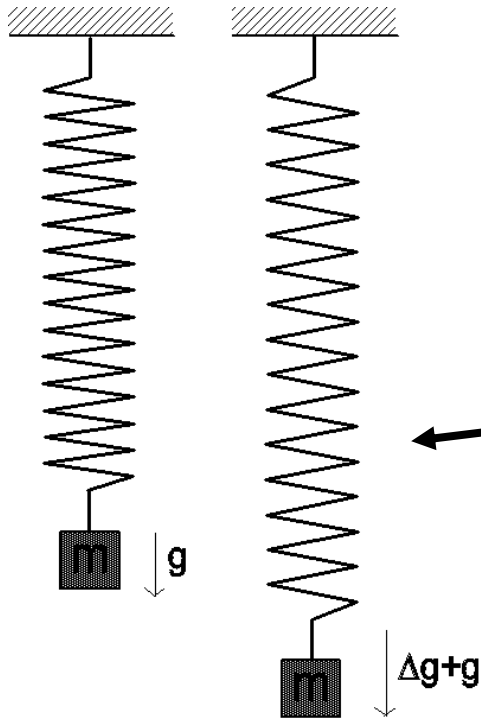


**Scintrex
CG-5**

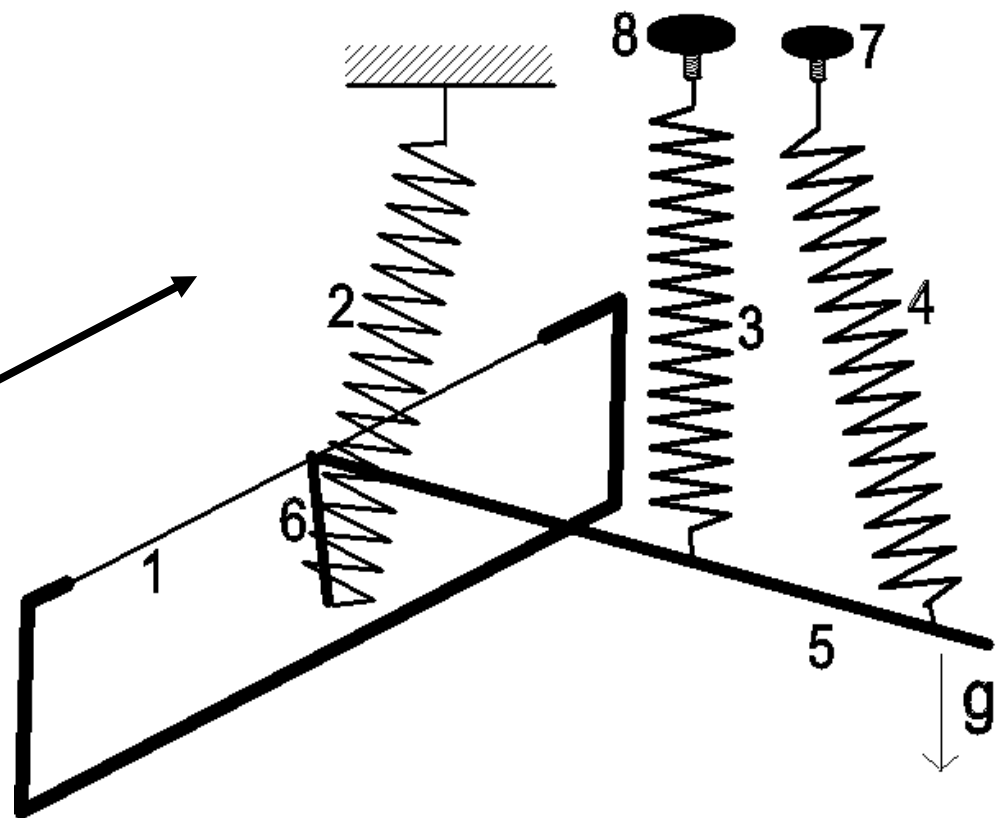
princíp relatívneho merania ťažového zrýchlenia



relatívny kremnný gravimeter



novší systém
(automatické meranie)
meraná veličina: el. napätie



starší systém
(manuálne meranie)
meraná veličina: dieliky

najznámejšie typy relatívnych gravimetrov



- staršie kremenné gravimetre
(Worden, CG-2, Sodin)



- starší typ s kovovými
pružinami
(LaCoste&Romberg,
v skratke LCR)



- moderný typ - autograv
(Scintrex CG-3 a CG-5)

moderný typ LCR -
ZLS Burris



dôležité kroky pred meraním s relatívnymi gravimetrami

- kontrola prístroja
(citlivosť a nulová poloha libiel, driftová konštanta)
 - kontrola a určenie tzv. konštanty prístroja:
(ciachovanie prístroja):
 - určuje sa na tzv. základniciach (miesta so známym rozdielom hodnôt tiaž. zrýchlenia)
- základnice: šírkové a výškové



(napr. budova SvF STU Bratislava,

-2. suterén: 132.53 m.n.m.

22. poschodie: 214.89 m.n.m.

výškový rozdiel: 82.36 m

tiažový rozdiel: 21.902 mGal)

(alebo - plánovaná na východe republiky,

lokalita	nadmorská výška [m]	tiažové zrýchlenie g [mGal]	rozdiel tiažového zrýchlenia [mGal]
Stropkov	198	980 940	-
Bardejov	281	980 921	19
Gánovce	700	980 795	126
Gerlachov	850	980 765	30
Tatranská polianka	1000	980 734	30
Velická dolina	1400	980 653	82
Sliezsky dom	1670	980 595	58

vertikálna ciachovacia základnica

Hochkar (Rakúsko)

hlavné body ciachovacej základnice	φ	λ	nadmorská výška	geológia
1-071-00 Göstling	47° 48.49'	14° 56.16'	529 m	aluviálny štrk
1-101-10 Lassing	47° 44.82'	14° 54.06'	685 m	aluviálny štrk
1-101-20 Aiblboden	47° 44.10'	14° 54.56'	1113 m	vápenec
1-101-30 Hochkar	47° 43.14'	14° 55.04'	1480 m	vápenec, dolomit

rozsah je 200 mGal

Tab. 5.1 Hlavné body gravimetrickej ciachovacej základnice Hochkar (HCL)



Obr. 5.1 Göstling 1-071-00



Obr. 5.2 Lassing 1-101-10

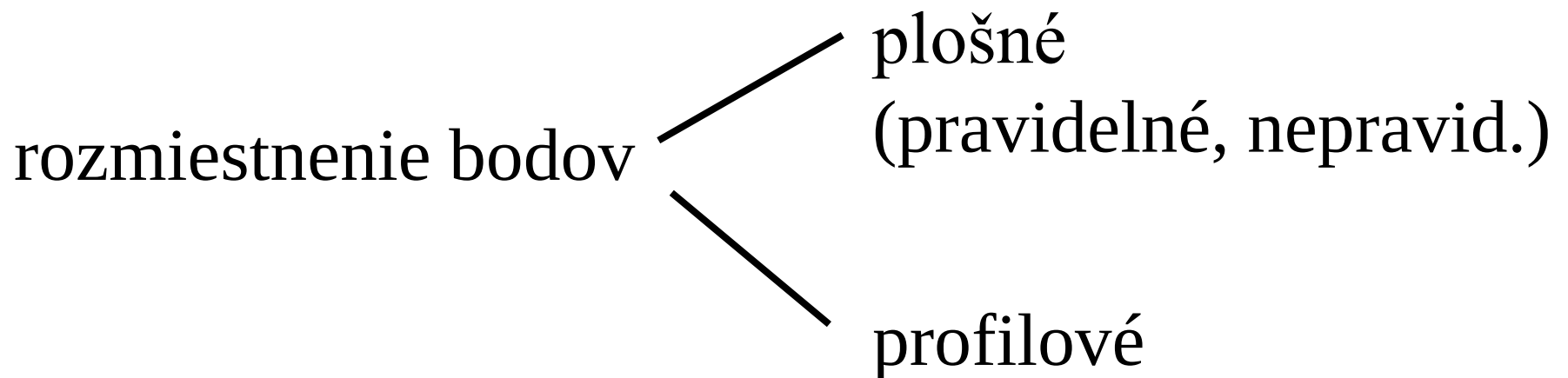


Obr. 5.3 Aiblboden 1-101-20



Obr. 5.4 Hochkar 1-101-30

plánovanie rozmiestnenia bodov



hlavný princíp - krok medzi bodmi musí postihnúť
(ovzorkovať) hľadanú anomáliu,

nepísané pravidlo: 3-5 bodov na anomáliu

(ale zároveň platí – čím hustejšie, tým lepšie...)

umiestnenia bodov v teréne

existujú tri hlavné koncepcie:

- a) najprv sa bod zaznačí v teréne a polohovo/výškovo zameria; a až neskôr sa zmeria gravimetricky,
- b) najprv sa zmeria gravimetricky (a zaznačí) a až neskôr sa zmeria polohovo a výškovo,
- c) obe merania (gravimetria/geodézia) sa uskutočňuje súčasne – vďaka najnovším technológiám (GPS, laserová tychymetria)

d'alšie pravidlá: vyhýbať sa blízkosti stromov, prudkých zrázov, jám, strmých svahov, blízkych múrov, mostov,...

rozmiestnenia bodov

príklady (Militzer und Weber, 1984)

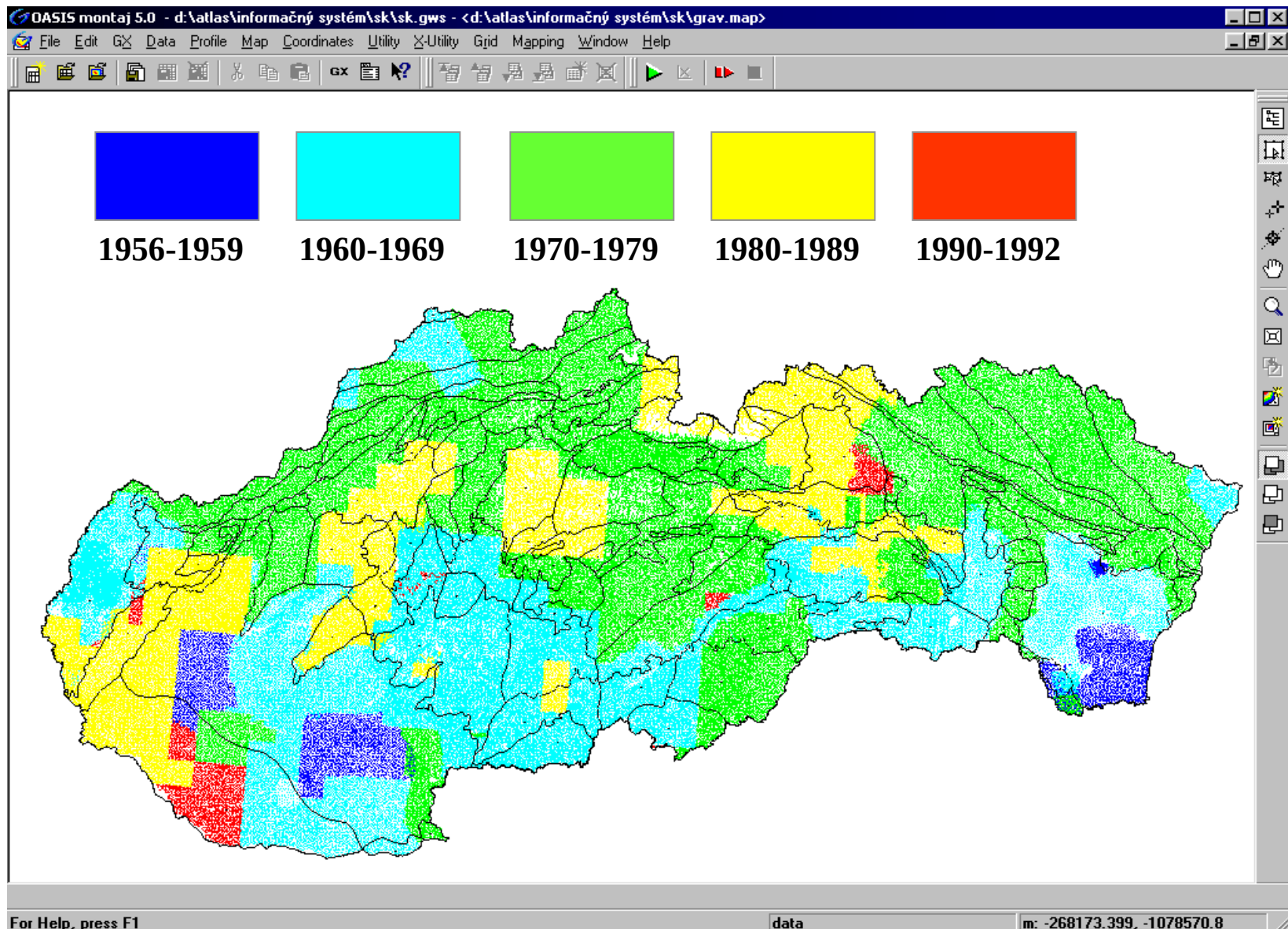
<u>oblasť záujmu</u>	<u>vzdialenosť bodov [m]</u>
regionálny prieskum	1500 – 10 000
štruktúrny prieskum	500
solné štruktúry	250
tektonika	250
uhol'ný prieskum	25 – 100
IGHG, EG	1 – 10
archeológia	0.5 – 1



rozmiestnenia bodov



príklad označenia gravim. bodu v teréne,
(používaný spôsob v bývalom Československu
pri **regionálnom mapovaní v mierke 1:25000**,
celkovo na území SR spolu 212 478 bodov,
t.j. 3-6 bodov/km²)

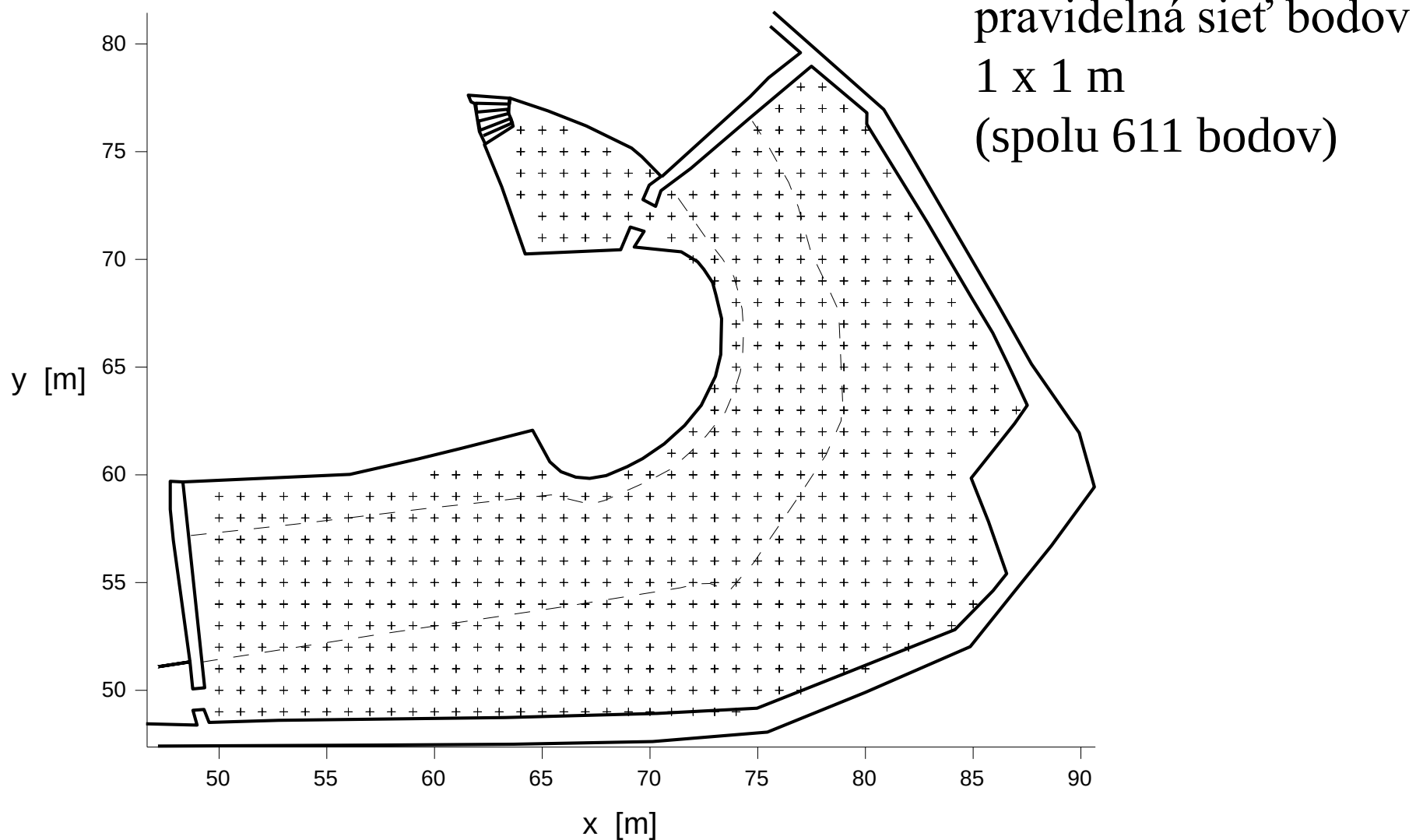


rozmiestnenia bodov – úloha !!!



úloha do budúceho týždňa – pokúste sa v okolí fakulty nájsť podobné označenia bodov gravimetrického mapovania na stĺpoch osvetlenia (môžu byť aj čiastočne zmazané...)

rozmiestnenia bodov



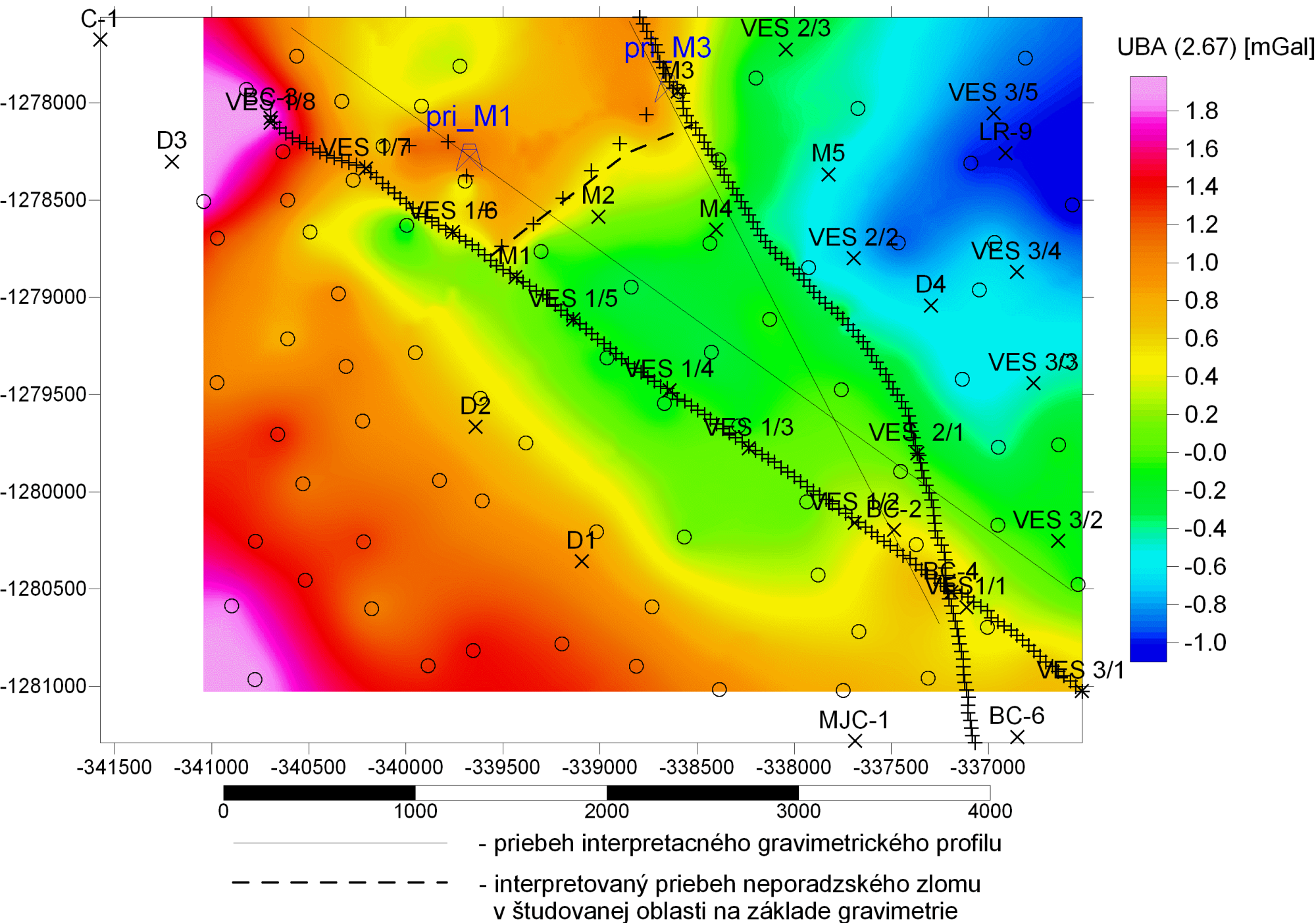
rozmiestnenia bodov



kostol, Moldava nad Bodvou

rozmístnění bodov

- - body gravimetrickej databázy
- ⊕ - nové profilové (a plošné) gravimetrické body
- ✕ - polohy vrtov a VES
- ⚙ - polohy navrhnutých nových vrtov



kombinácia profilových a plošných meraní, okolie Rimavskej Soboty, 2006

dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami

- opakované merania na ZB (základný bod), OB (opakovaný bod) a KB (kontrolný bod)
- opatrnosť pri prenášaní a manipulácii s prístrojom
- sledovanie vnútornej teploty v prístroji
- pri mikrogravimetrii – viacnásobné odčítanie

ZB – slúži na prepojenie meraní s bodom štátnej siete a je základom pre tvorbu chodu prístroja, mal by sa premerať min. 2 krát za deň (lepšie viac)

OB – pomáha pri konštrukcii chodu prístroja

KB – mal by byť premeraný počas rôznych meracích dní alebo s rozdielnymi prístrojmi (počas jedného dňa), slúži na výpočet strednej chyby meraného tiažového zrýchlenia (10-20% bodov)

dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami

- opakované merania na ZB (základný bod), OB (opakovaný bod) a KB (kontrolný bod)
- opatrnosť pri prenášaní a manipulácii s prístrojom
- sledovanie vnútornej teploty v prístroji
- pri mikrogravimetrii – viacnásobné odčítanie

(!) určenie polohy bodov – z mapy alebo GPS
(požadovaná presnosť: ± 5 až 10 m)

pri mikrogravimetrii – pásmom (± 5 cm)

(!) výškové zameranie bodov: nivelácia/GPS+RTK
(požadovaná presnosť: ± 3 cm)

pri mikrogravimetrii – niveláciou (± 5 mm)

pri nivelácii:

2 rôzne prístupy- pred alebo po meraní
s gravimetrom

pri GPS (+RTK služba SKPOS):

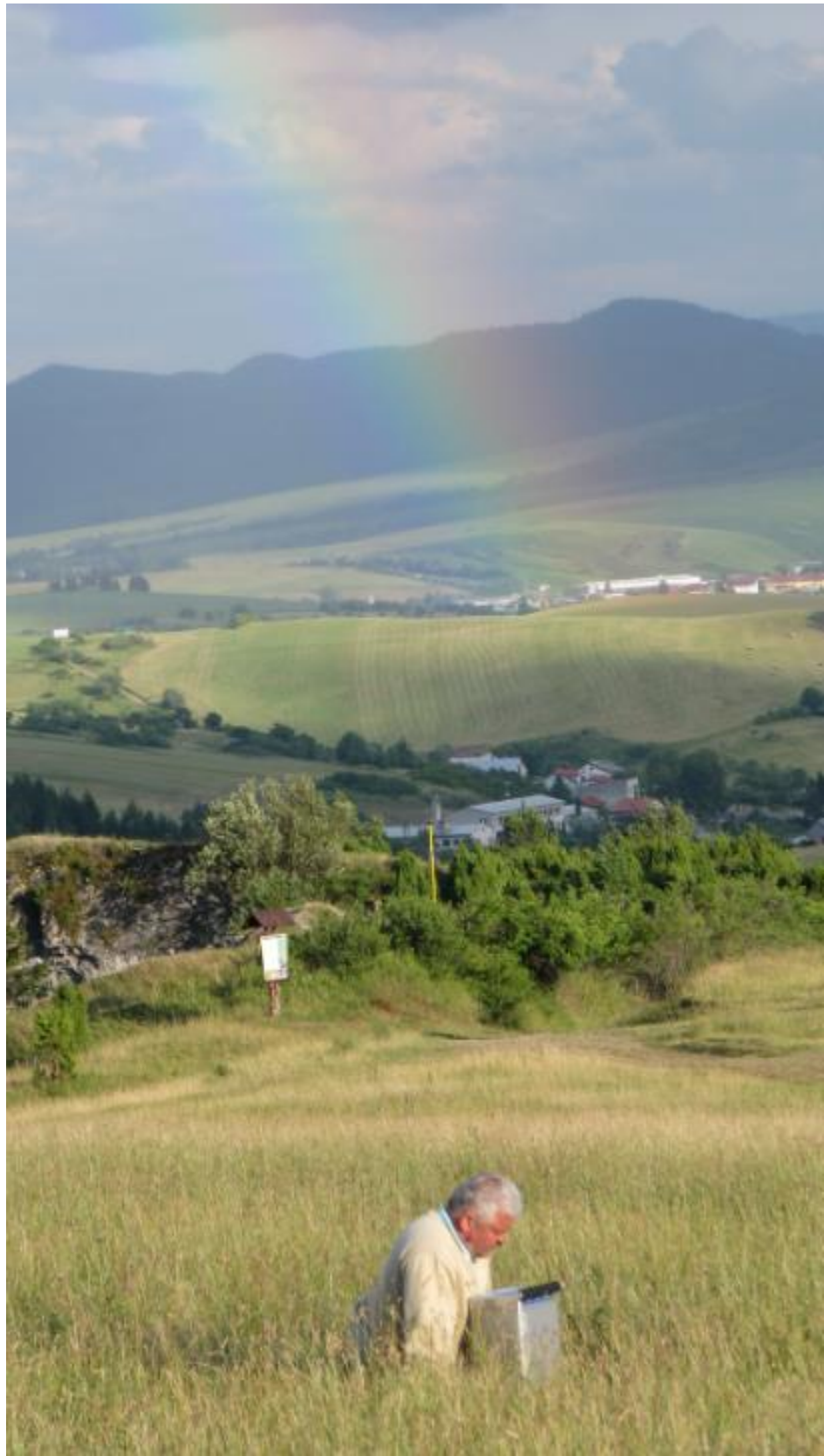
často zároveň počas merania s gravimetrom

dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami

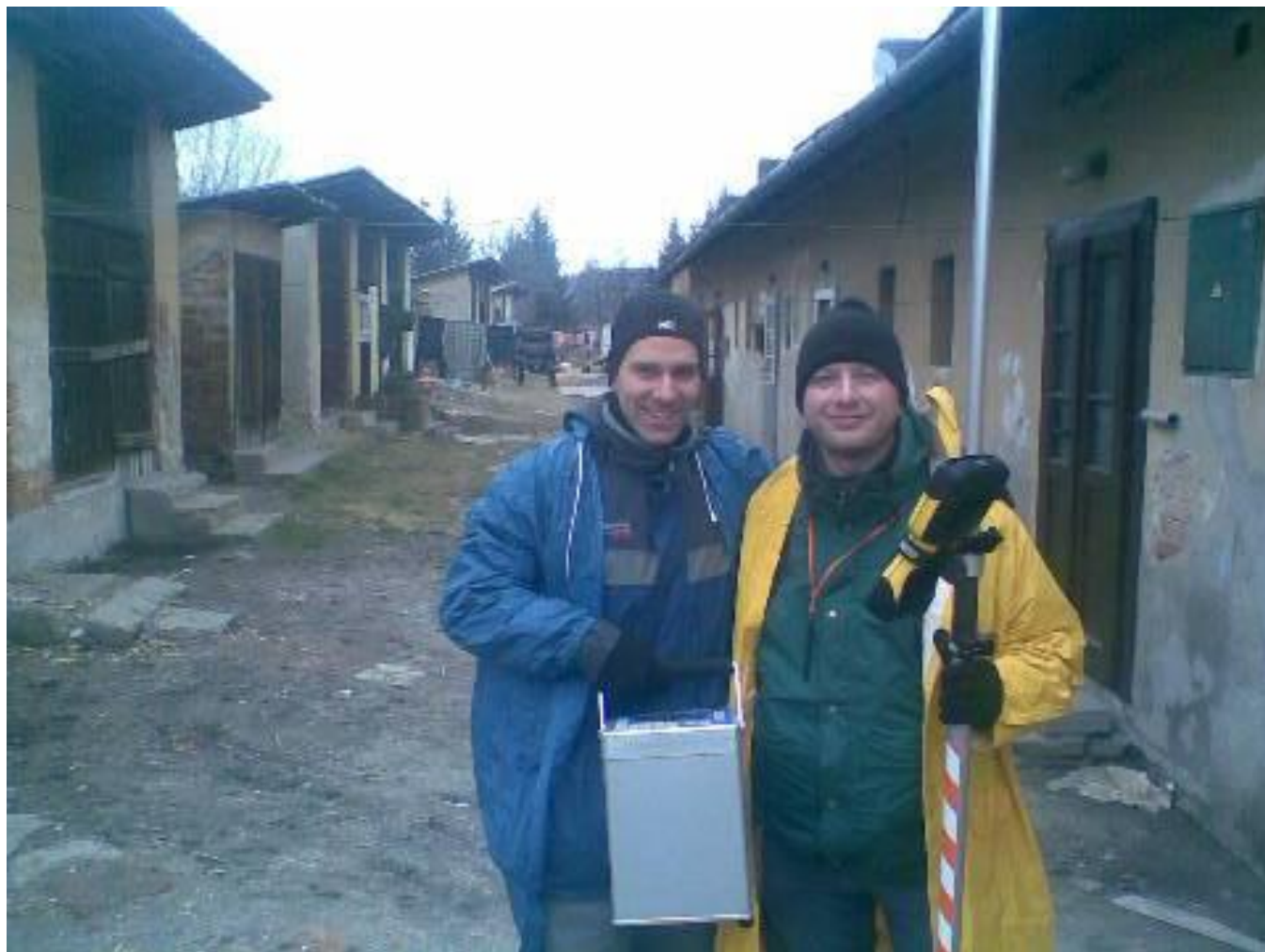
pri GPS:

často zároveň počas merania s gravimetrom









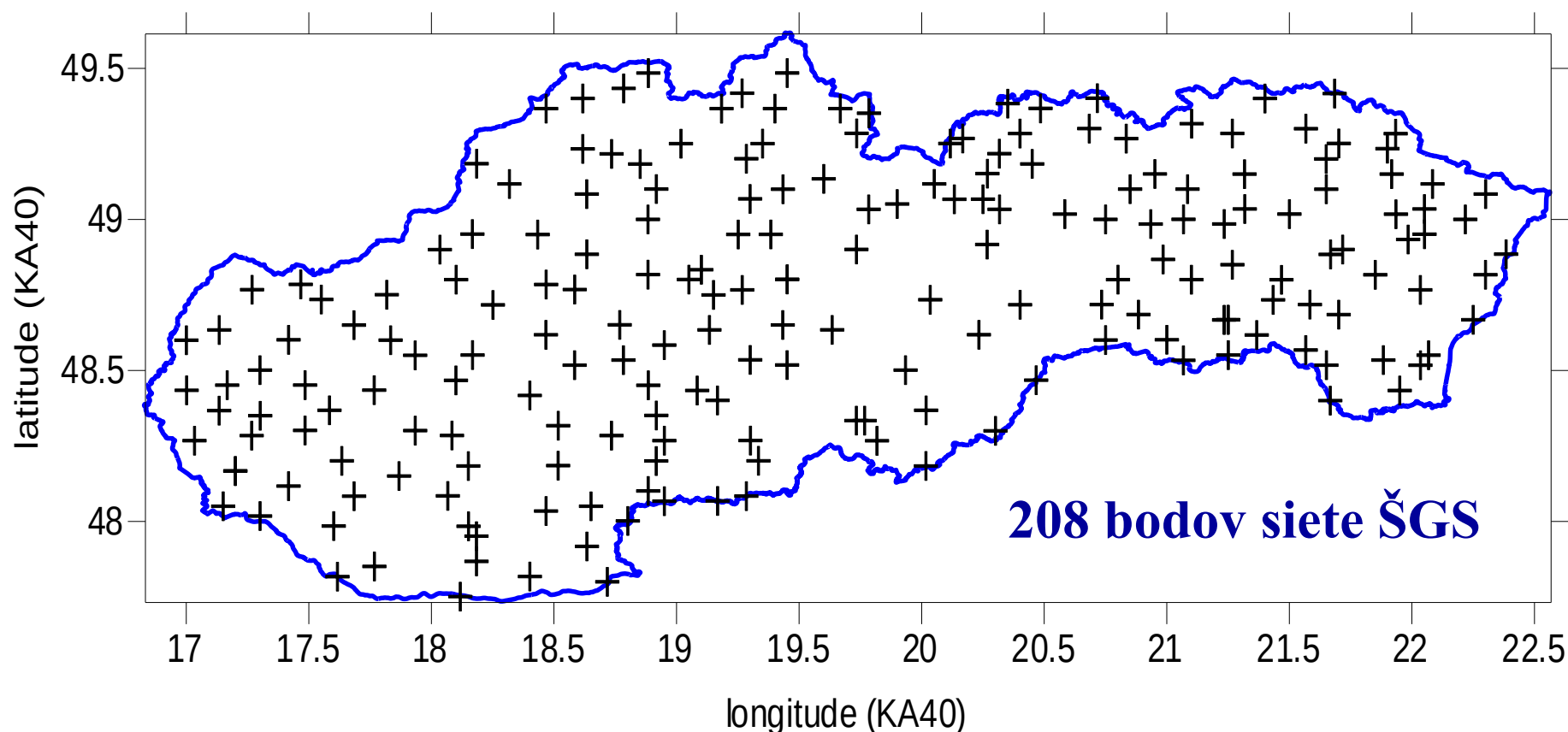




plánovanie polôh meracích bodov (profilov) – Google Earth

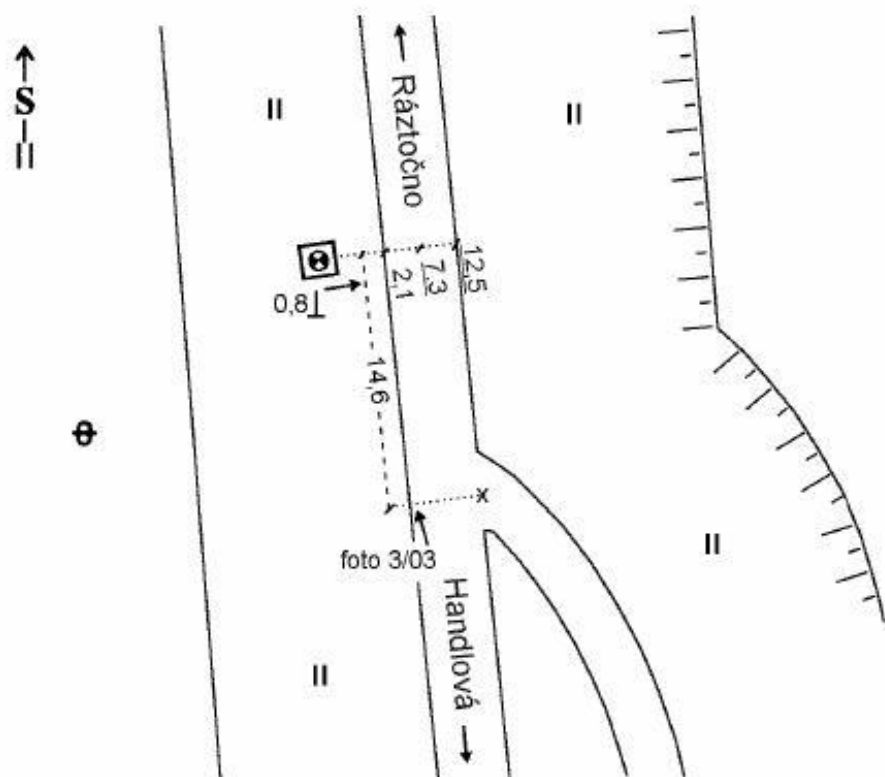
dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami – naviazanie na štátnu sieť

každý ZB (okrem mikrogravimetrie) musí byť hodnotovo napojený na tzv. Štátnu Gravimetrickú Sieť (ŠGS), aby bolo možné prepočítať relatívne hodnoty zmeny tiažového zrýchlenia na absolútne hodnoty



- vychádza z absolútnych meraní na bodoch 0.rádu
- je prepojená na medzinárodné siete (napr. IGSN71)

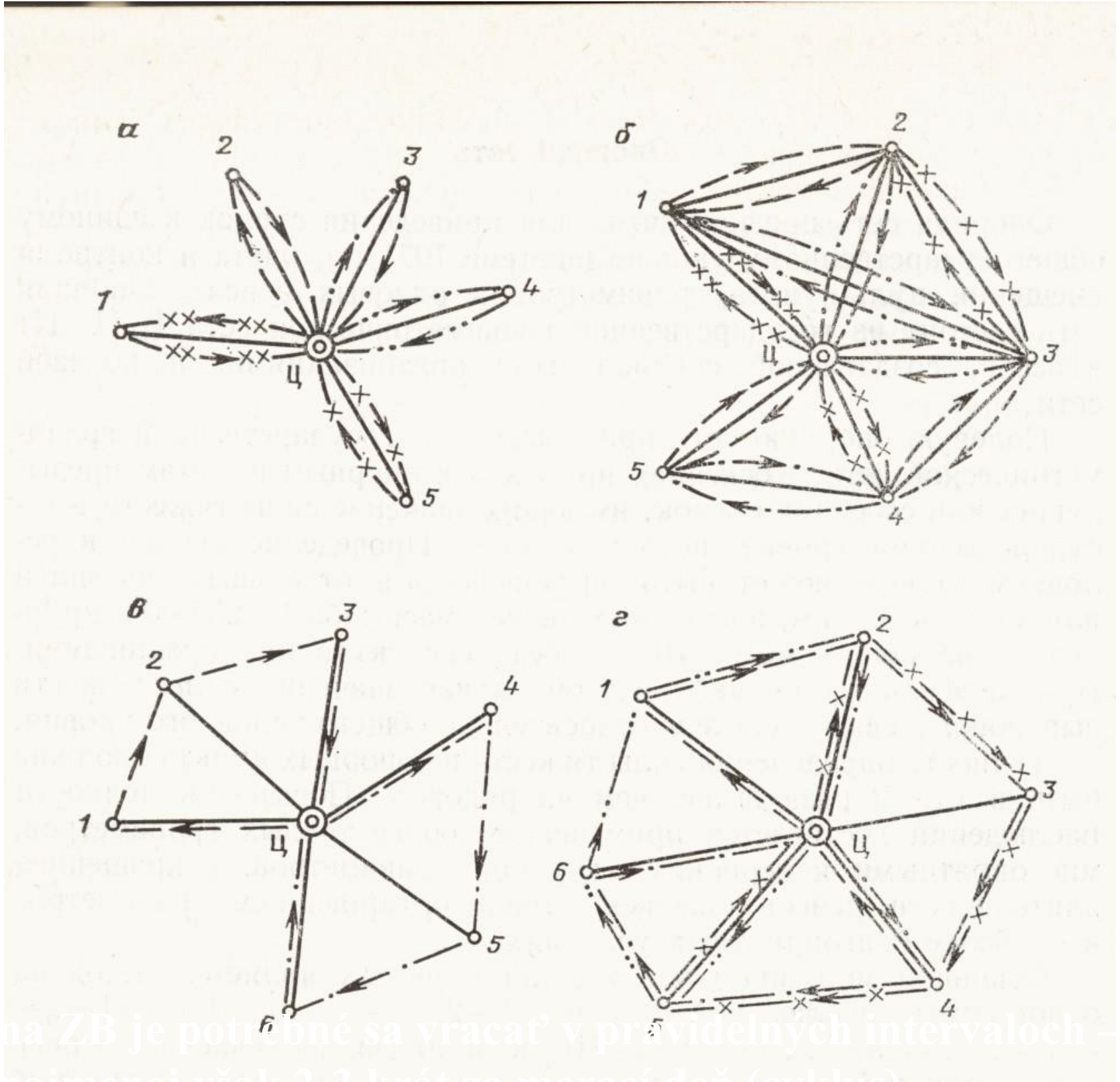
dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami – naviazanie na štátnu sieť



dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami – naviazanie na štátnu sieť



dôležité kroky počas merania s relatívnymi gravimetrami – rytmus merania a návrat na ZB (OB)



dôležité kroky spracovania gravimetrických meraní

- vynásobenie meraných hodnôt (dieliky)
konštantou prístroja (nie je potrebné
vykonávať pri moderných gravimetroch)**
- oprava o chod (drift) prístroja
(prípadne oprava o slapy)**
- prepočet na absolútne hodnoty za pomoci
známych hodnôt zrýchlenia na bodoch
štátnej gravimetrickej siete (ŠGS)
(pri mikrogravimetrii sa často nevykonáva)**
- zavedenie tzv. korekcií = odstránenie
teoretického tiažového poľa – výpočet
hodnôt Úplných Bouguerových Anomálií
(označujeme ÚBA alebo Δg_B)**

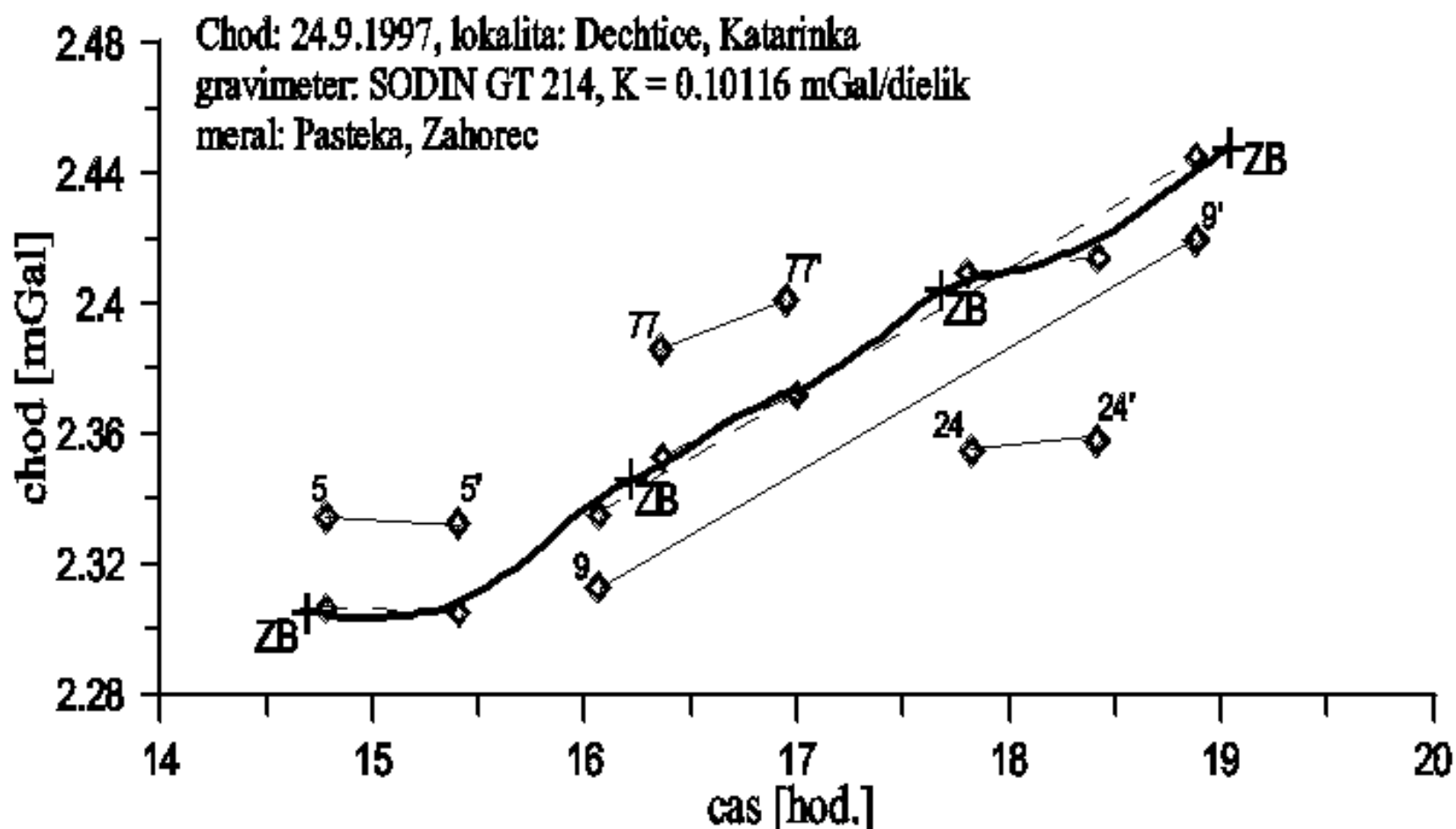
chod prístroja (drift)

tzv. chod prístroja je spôsobený:

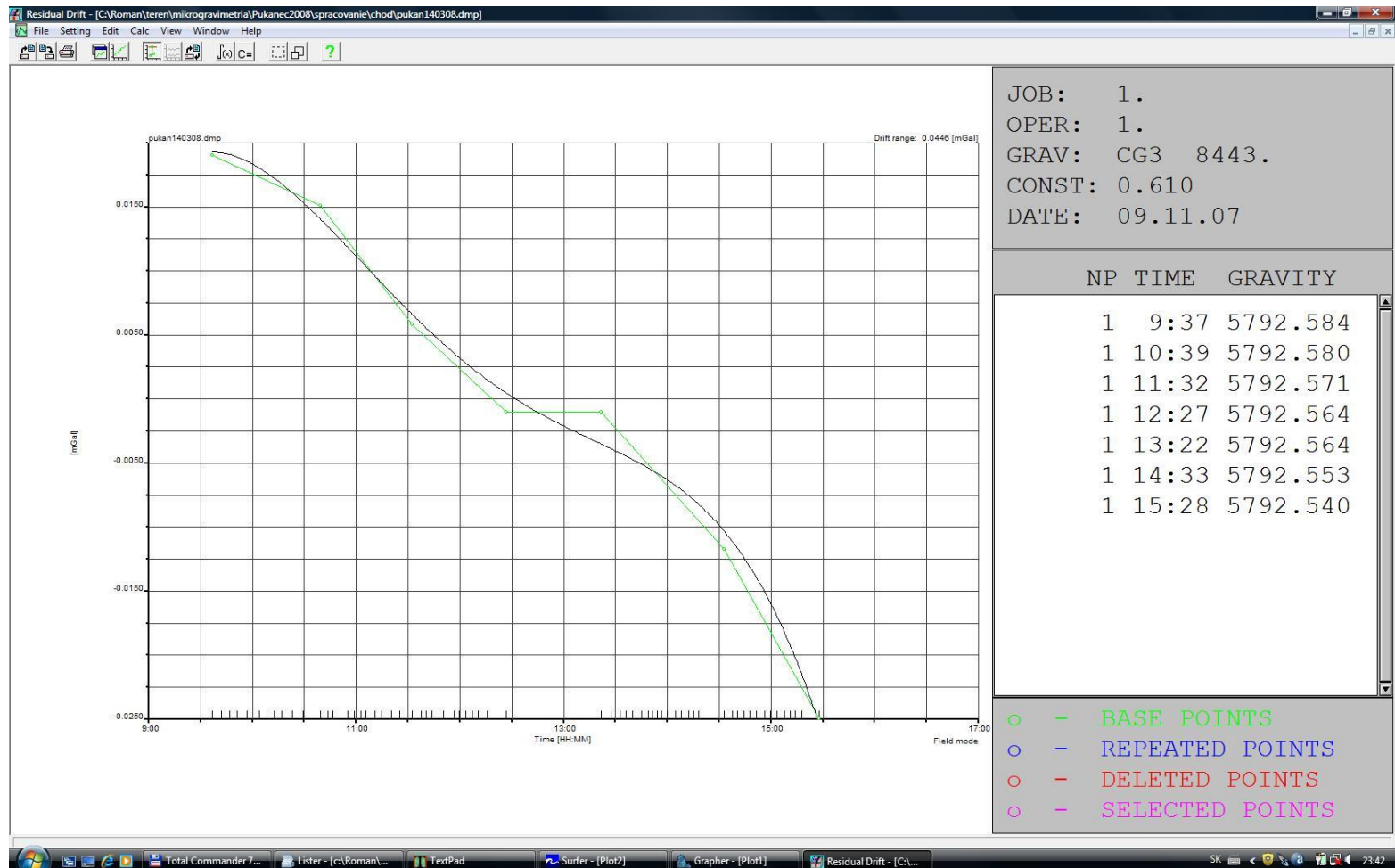
- zmenami teploty a tlaku v meracom systéme
- tiažovými účinkami Mesiaca a Slnka (slapy)
- otrasmi a manipuláciou s prístrojom

všetky merané dáta je potrebné opraviť o chod, t.j. odstrániť jeho pôsobenie

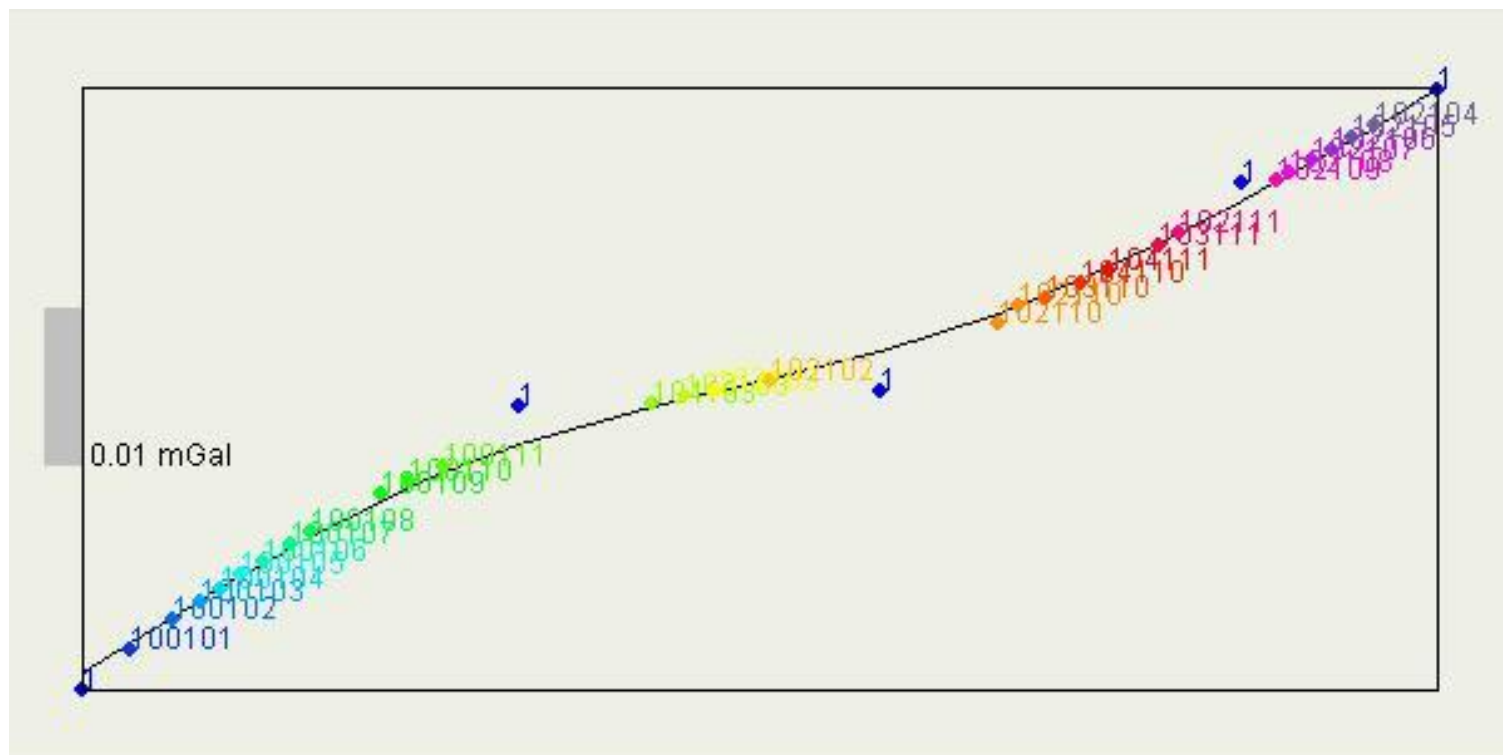
chod sa konštruuje na základe hodnôt zo ZB a OB



chod prístroja (drift)



príklad použitia polynómu 4. stupňa (program Driftex)



príklady použitia splajnových funkcií (program DbGrav)

dôležité kroky spracovania gravimetrických meraní

Stredná chyba meraného tiažového zrýchlenia (m_g):

Je určovaná z meraní na kontrolných bodoch (KB), t.j. bodov meraných počas rozdielnych meračských dní alebo s rozdielnymi prístrojmi:

$$m_g = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [v \cdot v]}{n - p}}$$

kde:

n – počet všetkých meraní na kontrolných bodoch,

p – počet kontrolných bodov

$[v \cdot v]$ – kvadrát odchýlky daného merania na KB

od aritmetického priemeru (z viacerých meraní na KB)

Počet KB by mal tvoriť pri regionálnej gravimetrii 5-10% z celkového počtu všetkých bodov,

pri mikrogravimetrii 10-20 %.

Tieto chyby sú akceptovateľné pri regionálnej gravimetrii okolo

± 30 až $\pm 80 \mu\text{Gal}$,

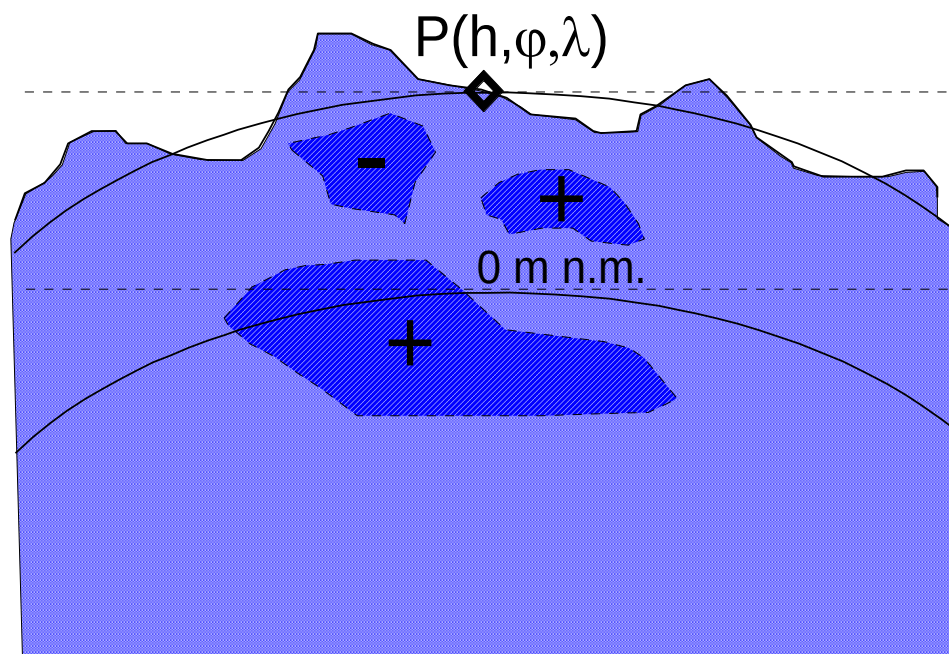
pri mikrogravimetrii pod $\pm 20 \mu\text{Gal}$ (lepšie pod $\pm 10 \mu\text{Gal}$)

*v gravimetrii sa
nevyhodnocuje
priamo zrýchlenie,
ale sa tvoria tzv.*

*ÚPLNÉ
BOUGUEROVE
ANOMÁLIE*

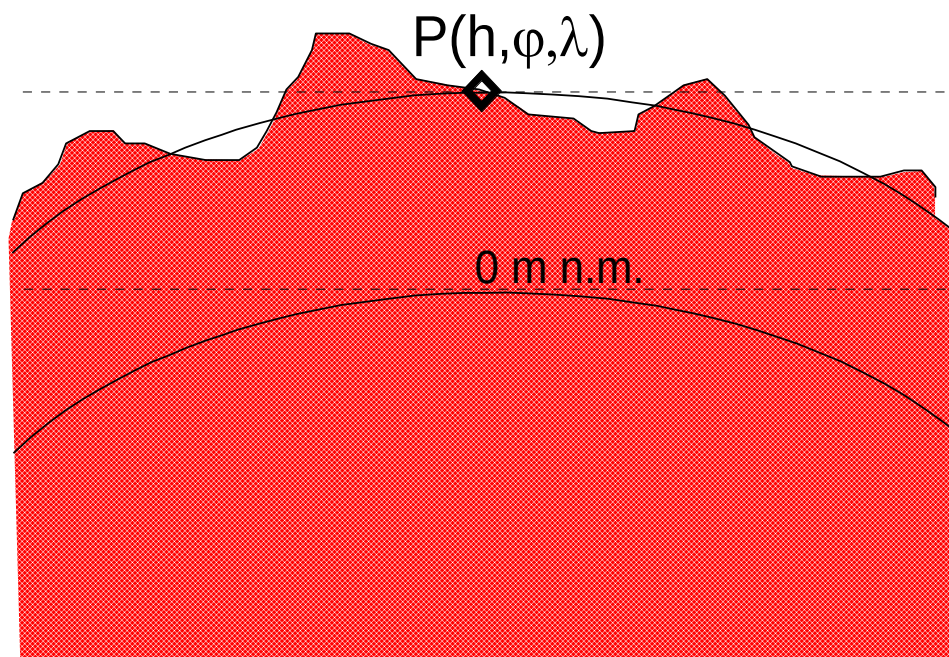
od účinku reálnej Zeme

účínok celej Zeme

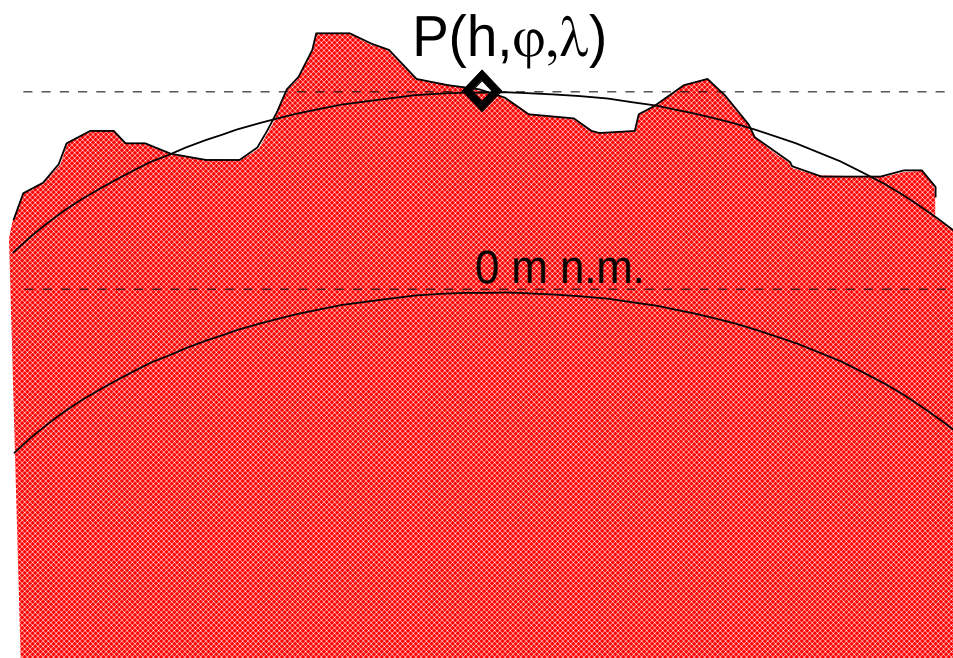


sa odpočíta účinok teoretickej Zeme

*účinok teoretickej homogénnej
Zeme*

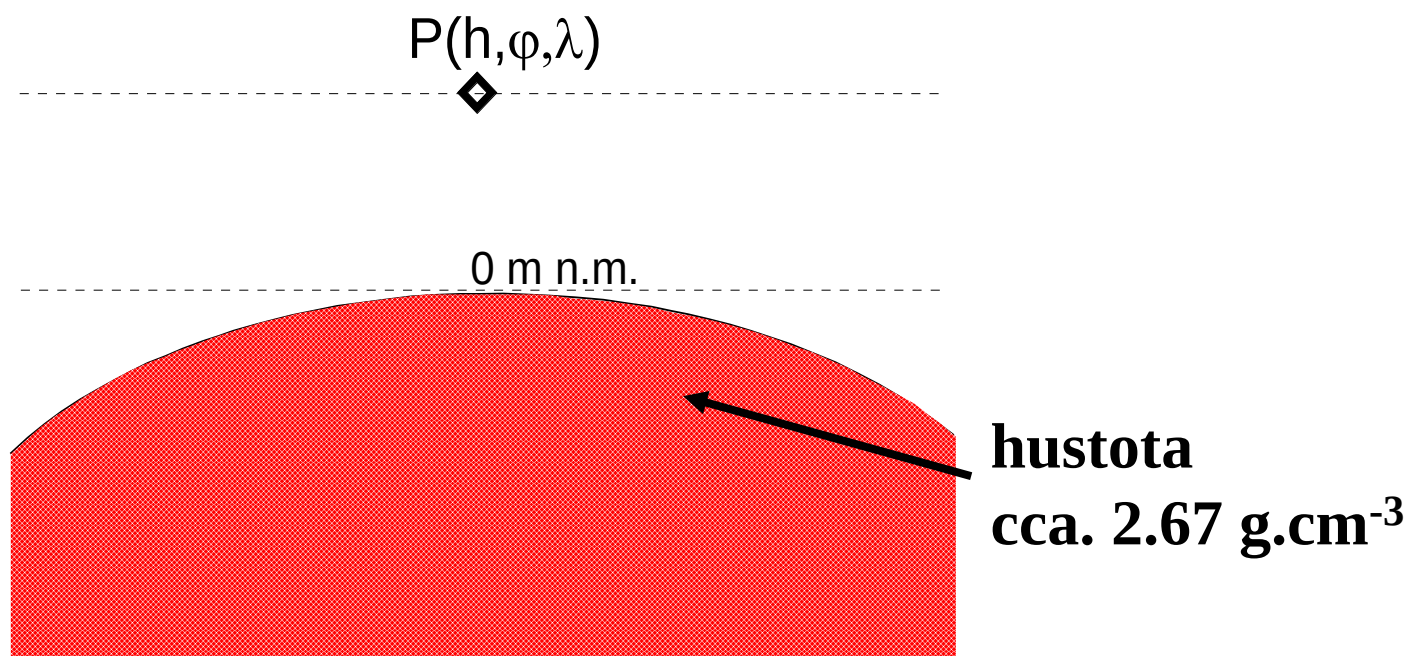


*účinok „normálnej“
(teoretickej, homogénnej) Zeme*



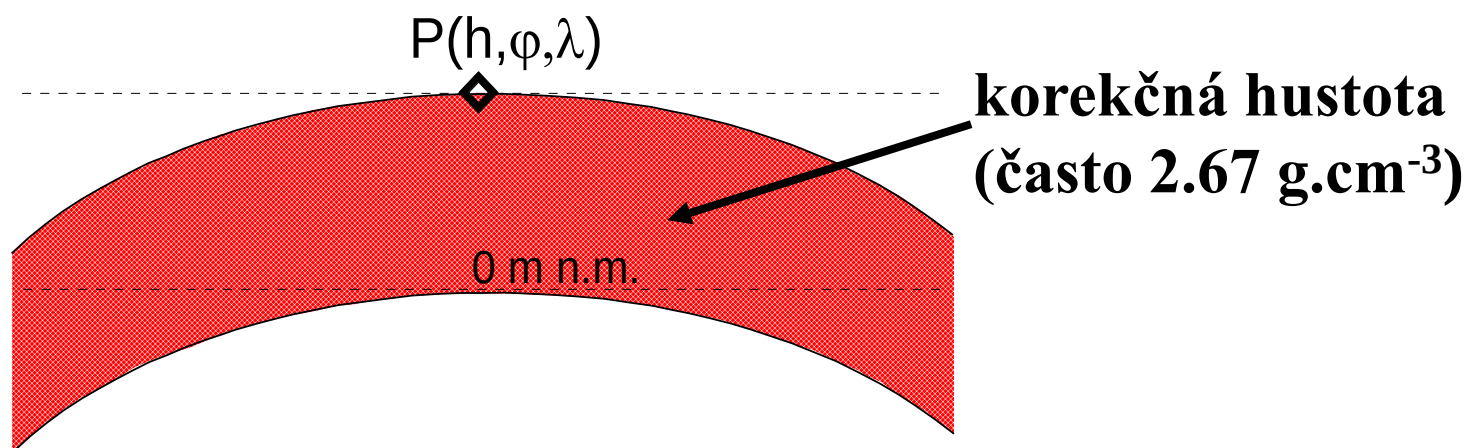
popisujeme ho ako účinok elipsoidu a hmôt
nad elipsoidom (do vzdialenosti 166.7 km od bodu výpočtu)

*účínok „normálnej“
(teoretickej, homogénnej) Zeme*



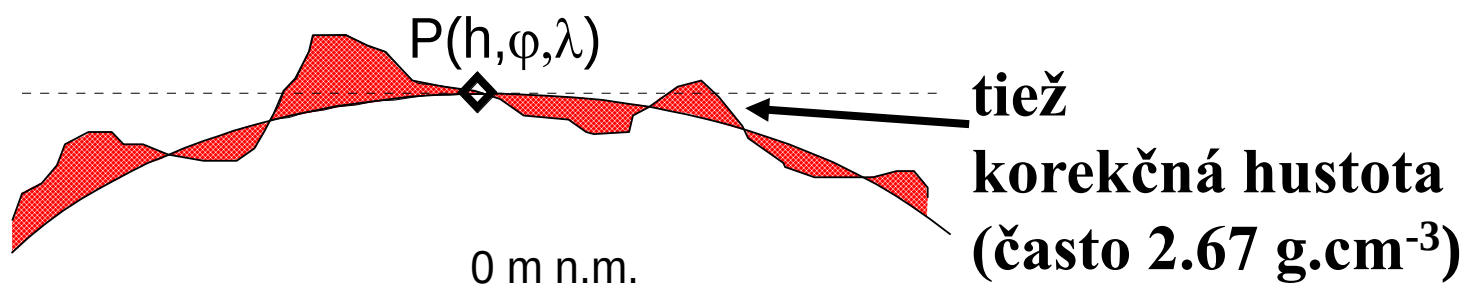
popisujeme ho ako účínok elipsoidu a ...

*účinnok „normálnej“
(teoretickej, homogénnej) Zeme*



... a hmôt nad elipsoidom – pozostávajúcich
zo sférickej dosky a ...

*účinnok „normálnej“
(teoretickej, homogénnej) Zeme*



... a tzv. topo-korekcií

matematická definícia Bouguerovej anomálie

$$\text{UBA} = \Delta g_B = g - (g_n - \text{Faye}) - g_{\text{sf.}} + T$$

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

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

g : merané tiažové zrýchlenie (opravené o chod
a prepočítané na absolútnu hodnotu)

g_n : normálne pole (účink elipsoidu)

$-0.3086h$: Faeyeova korekcia “vo voľnom vzduchu“

g_{sf} : účink sférickej dosky do vzdialenosti 166.7 km
= rovinná doska ($0.0419h\rho$) + B (Bullardov člen)

T : terénne korekcie

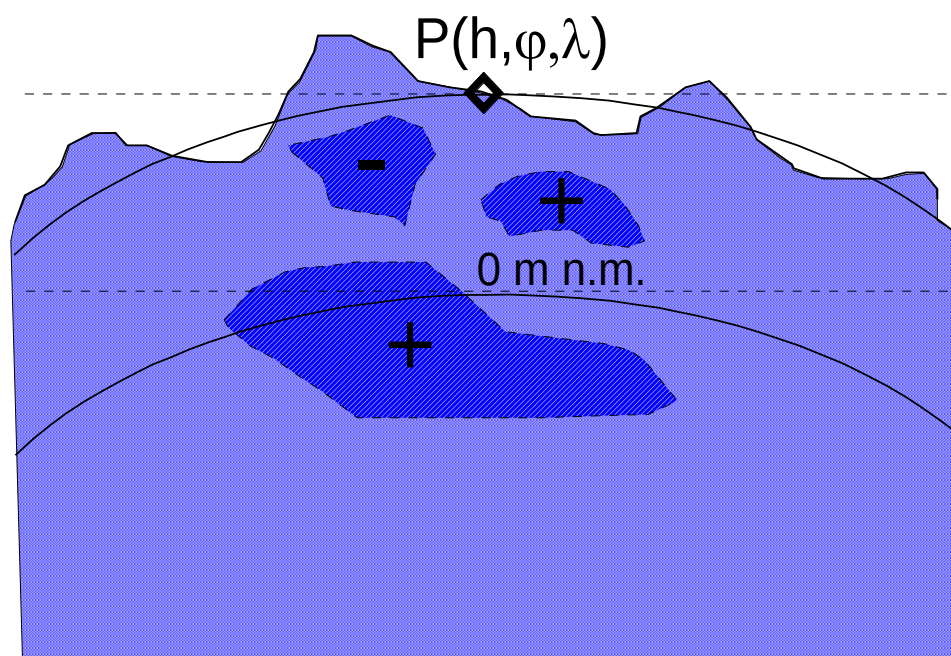
h : nadmorská výška bodu merania

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

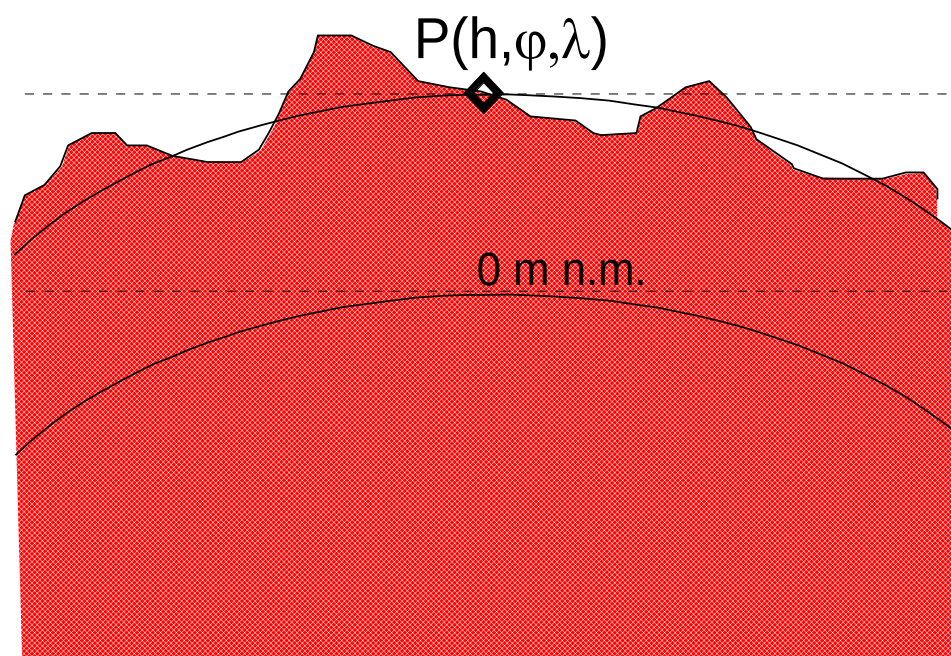
*čo sa prejaví v hodnotách
Bouguerových anomálií?*

**hustotné nehomogenity
voči použitej korekčnej
hustote (2.67 g.cm^{-3})**

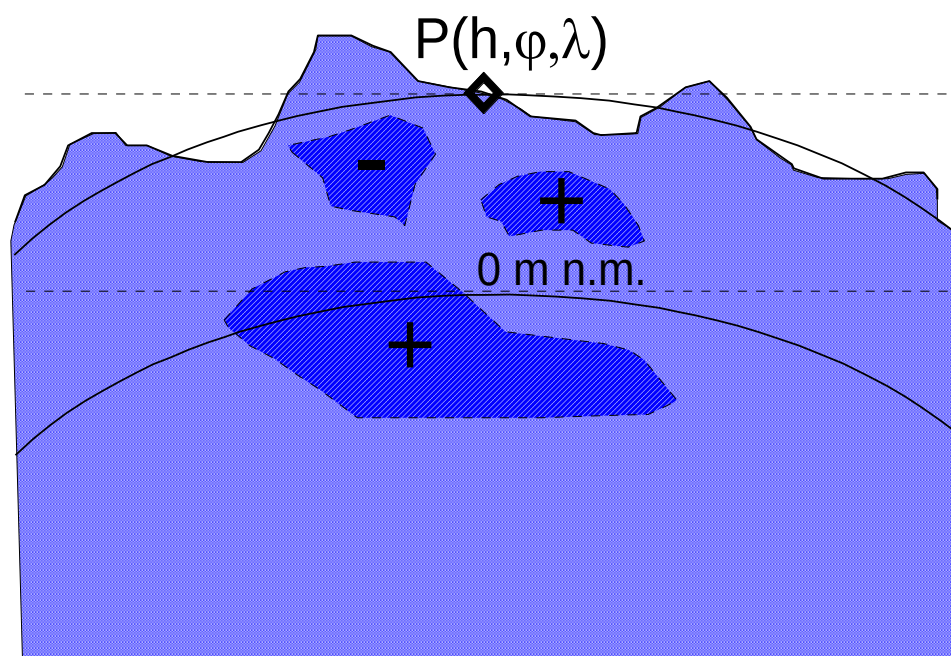
účinok celej Zeme



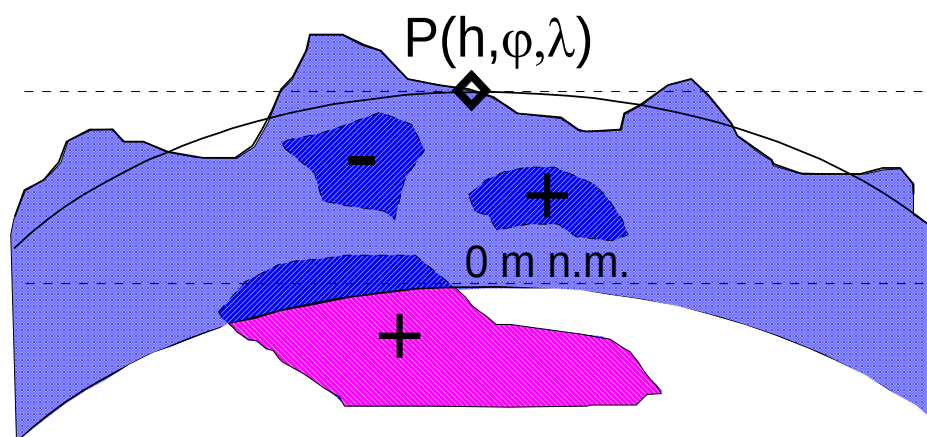
účínok teoretickej homogénnej Zeme



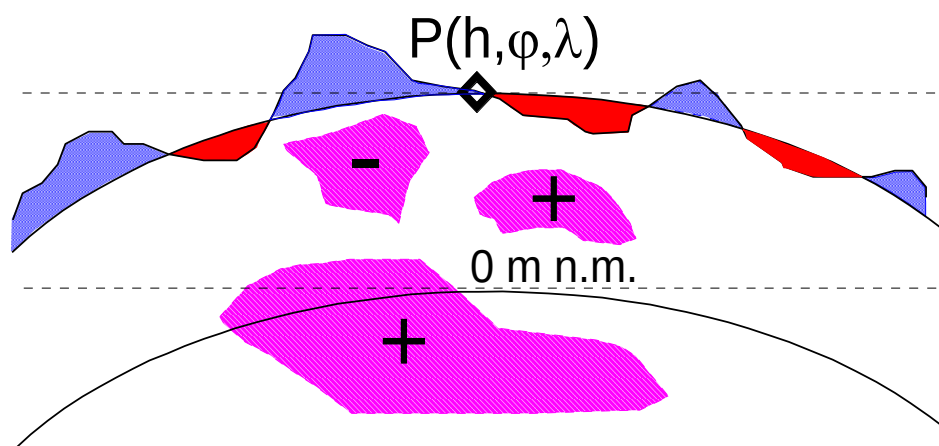
účinok celej Zeme



odstránené normálne pole

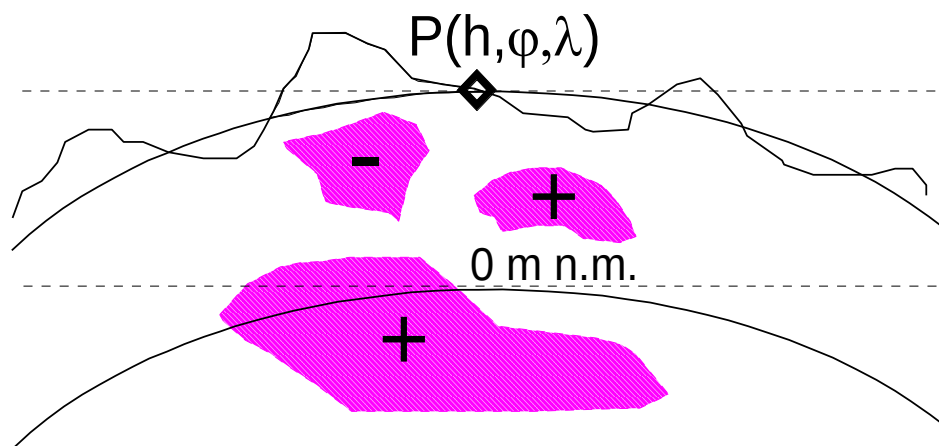


*odstránené normálne pole
a účinok sférickej dosky*



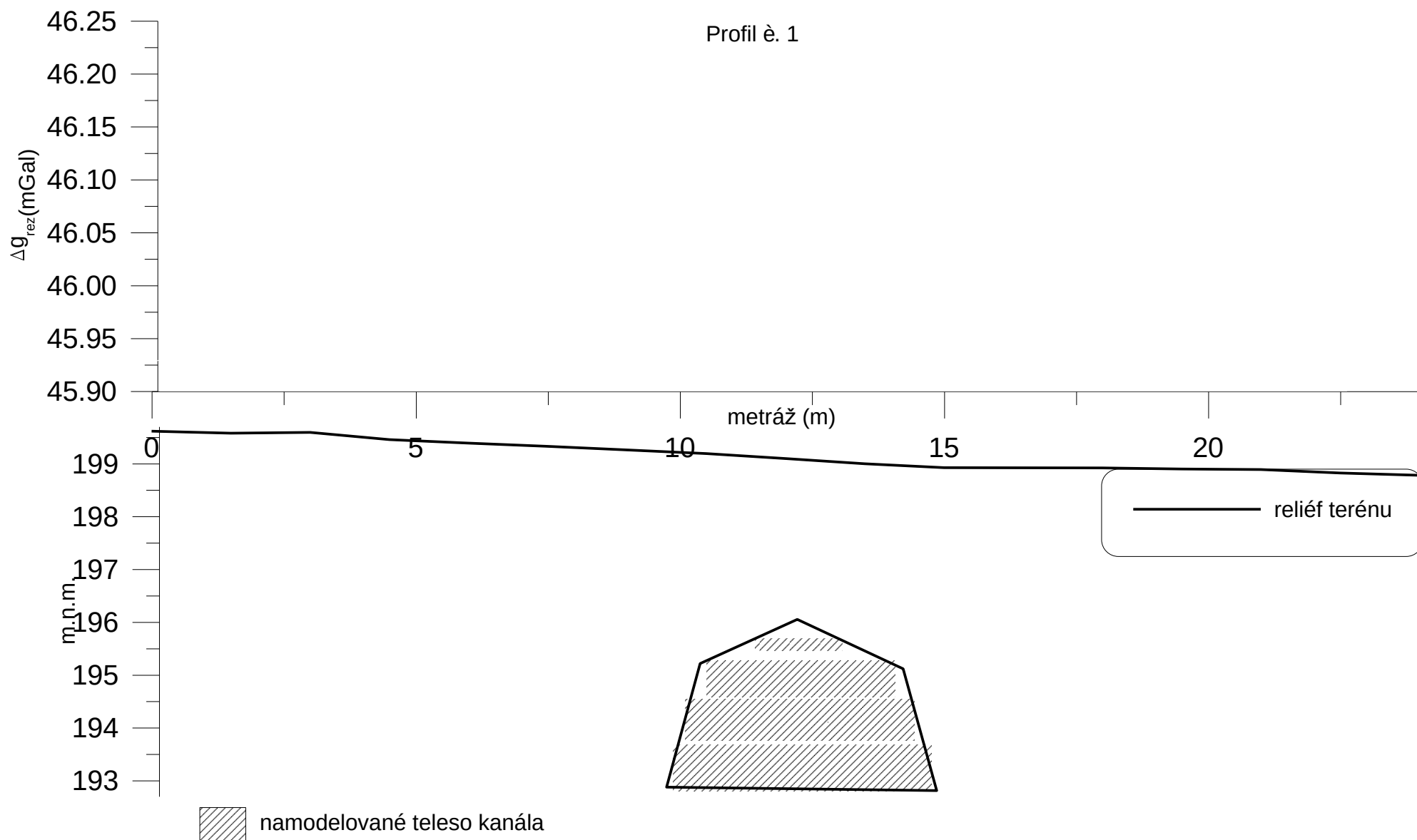
VÝSLEDOK

úplné Bouguerove anomálie
= odstránené normálne pole,
účinkok sférickej dosky a
topografických hmôt



Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača
Profil è. 1

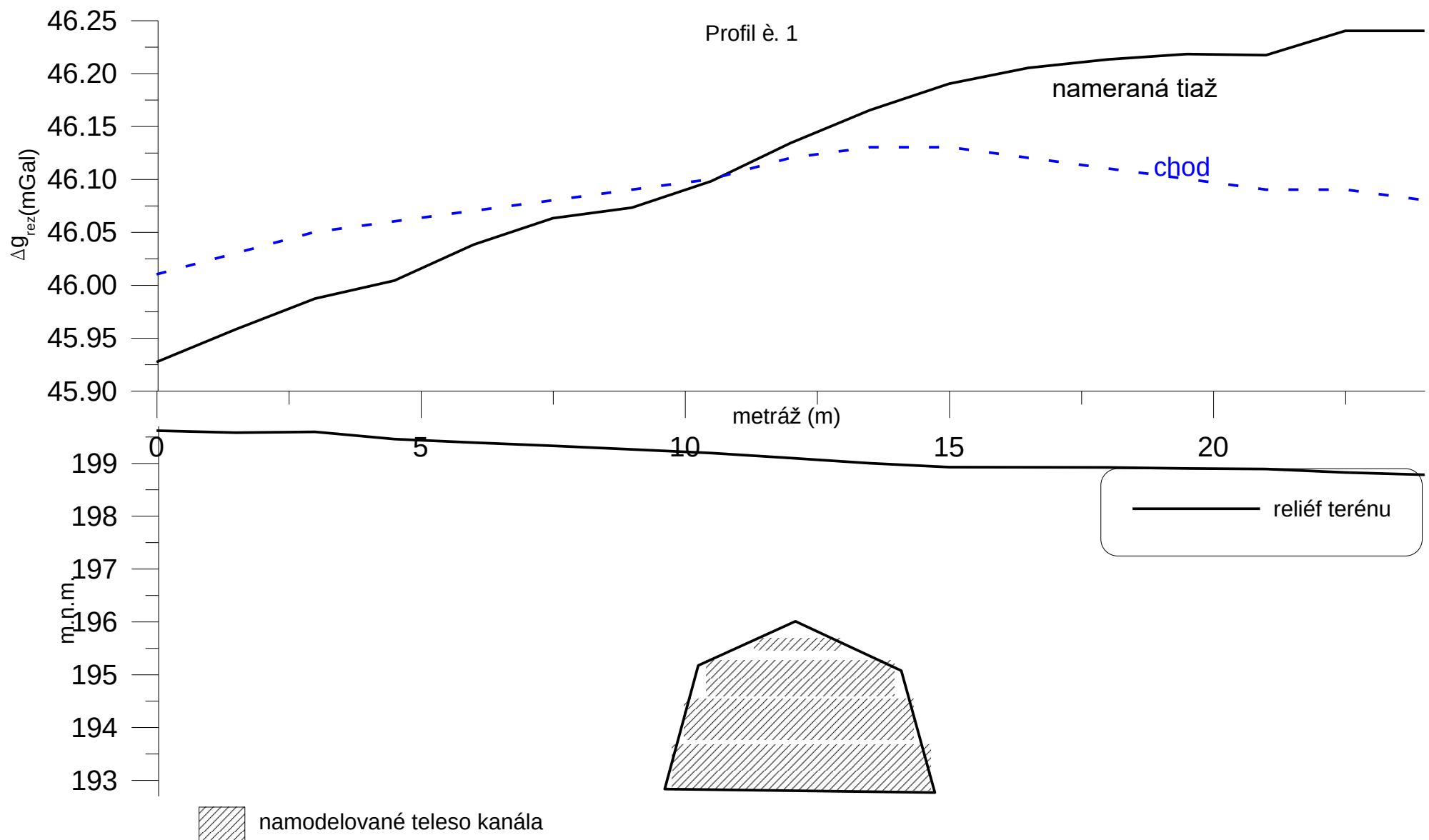
M 1:100



Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

M 1:100

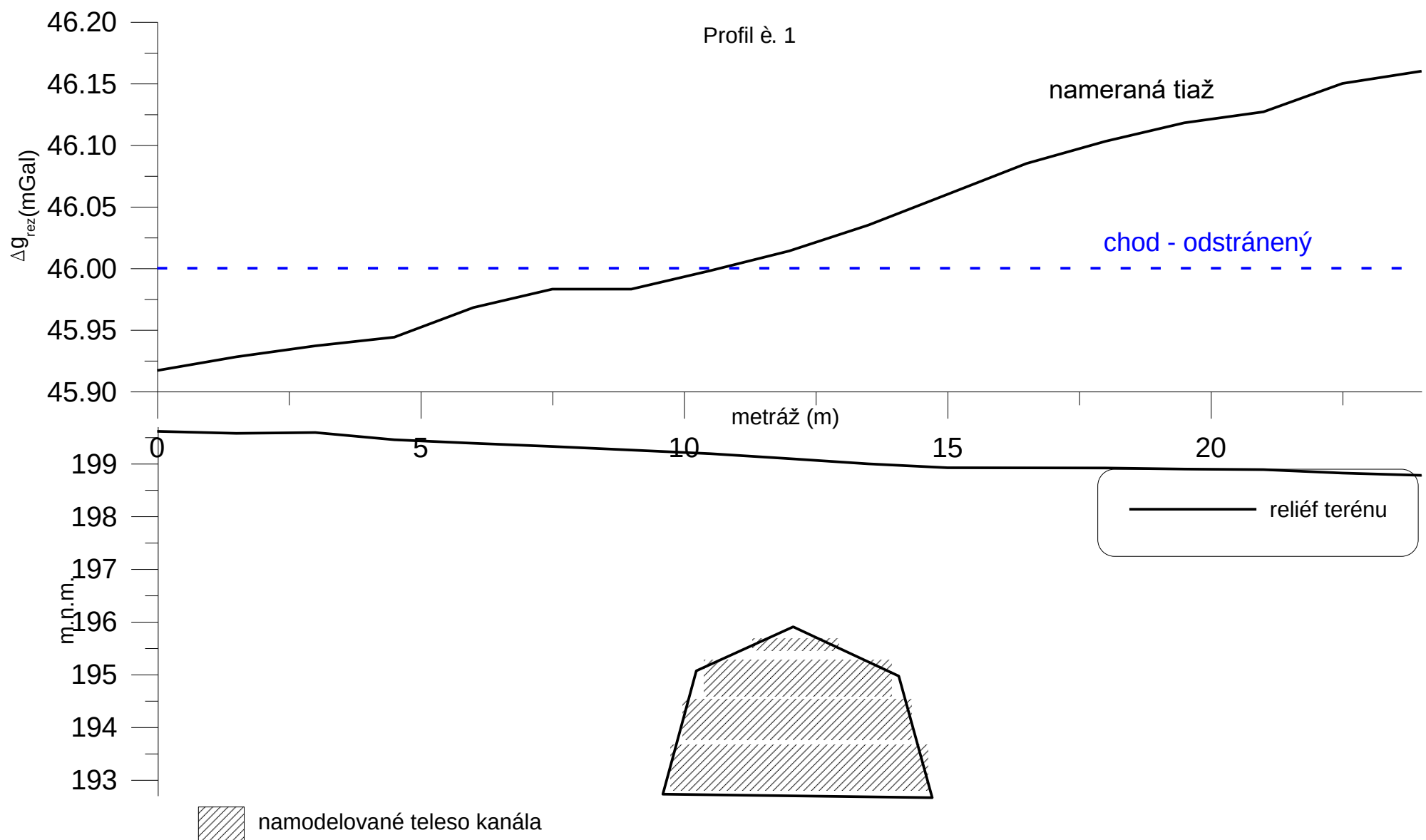
Profil è. 1



Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

M 1:100

Profil è. 1



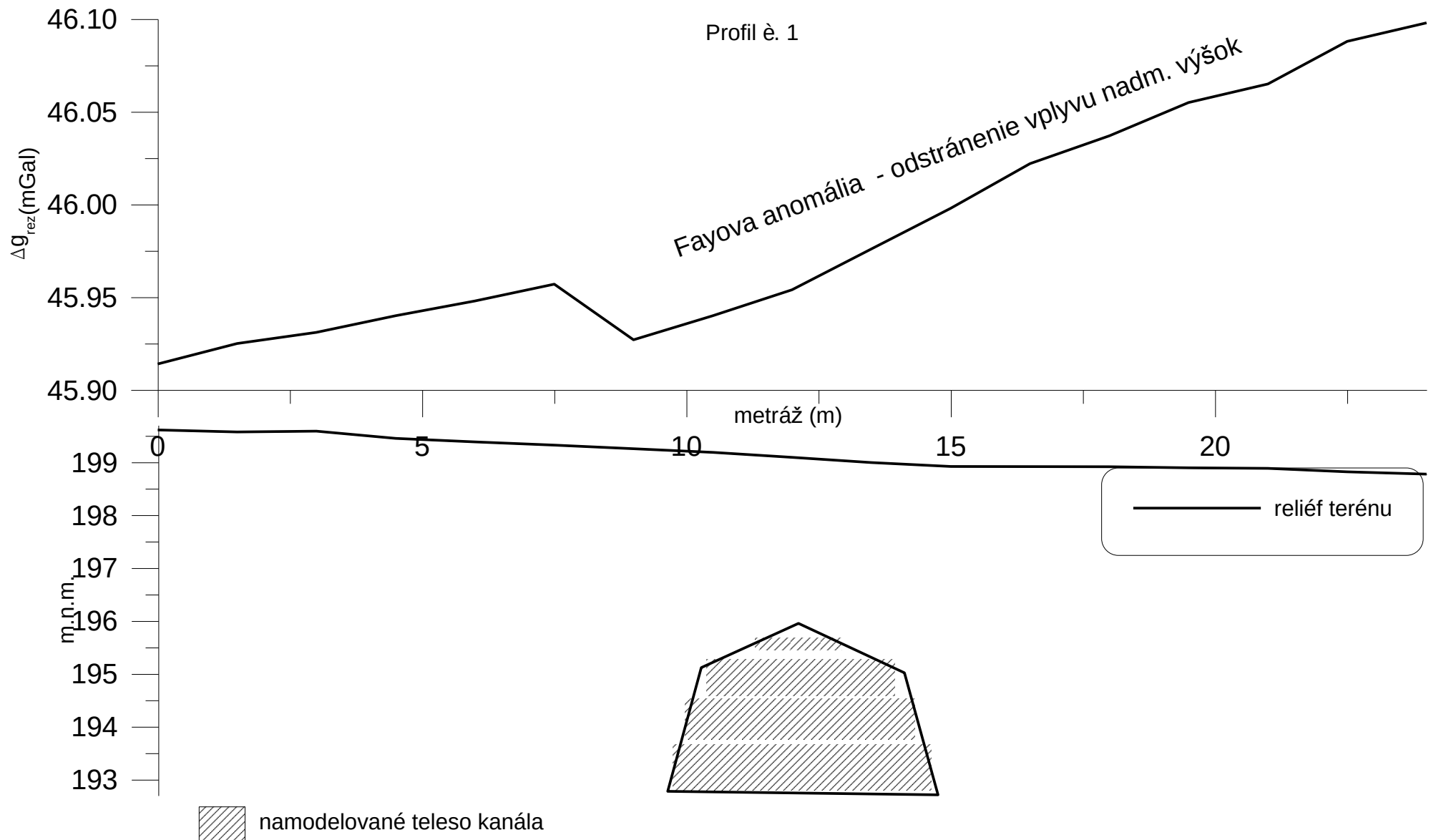
Gagarinova ulica

Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača

M 1:100

Profil è. 1

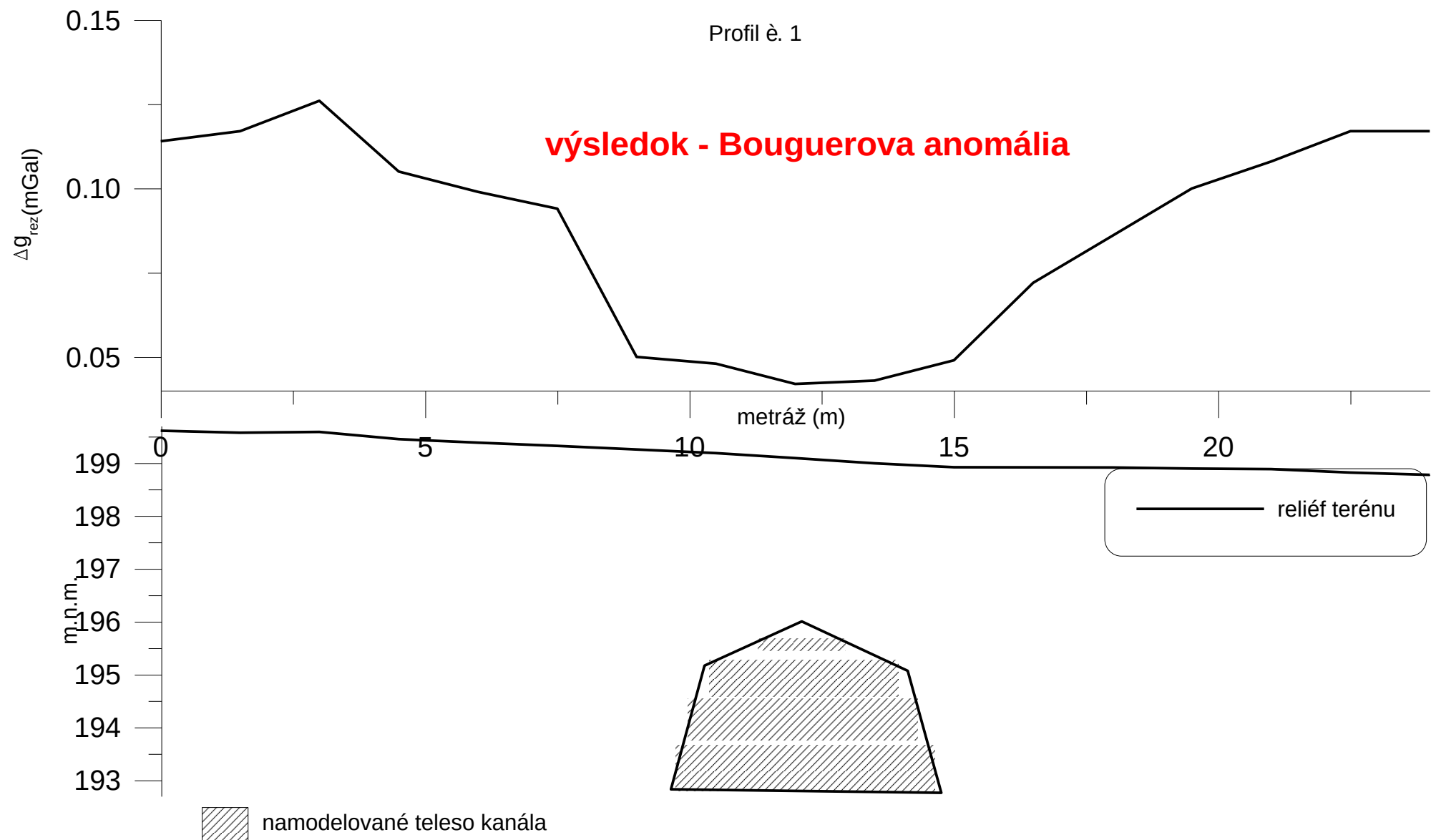
Fayova anomália - odstránenie vplyvu nadm. výšok

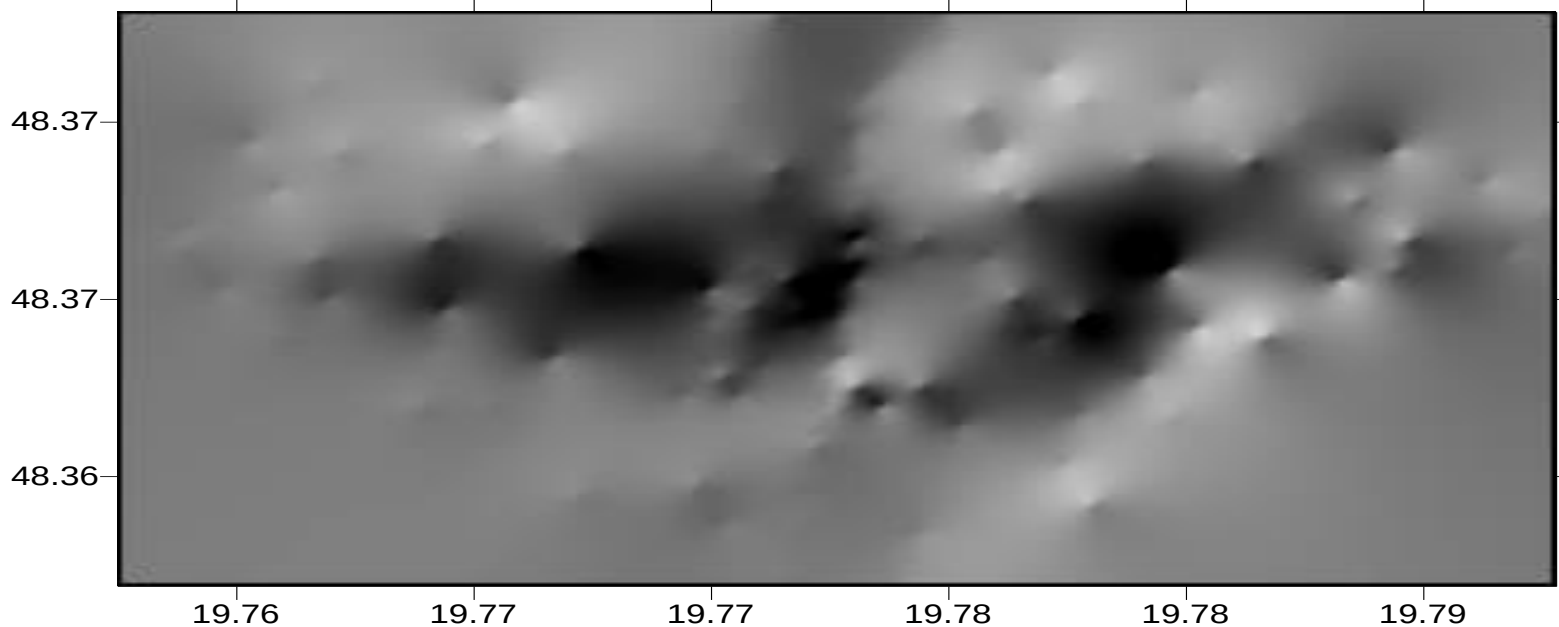
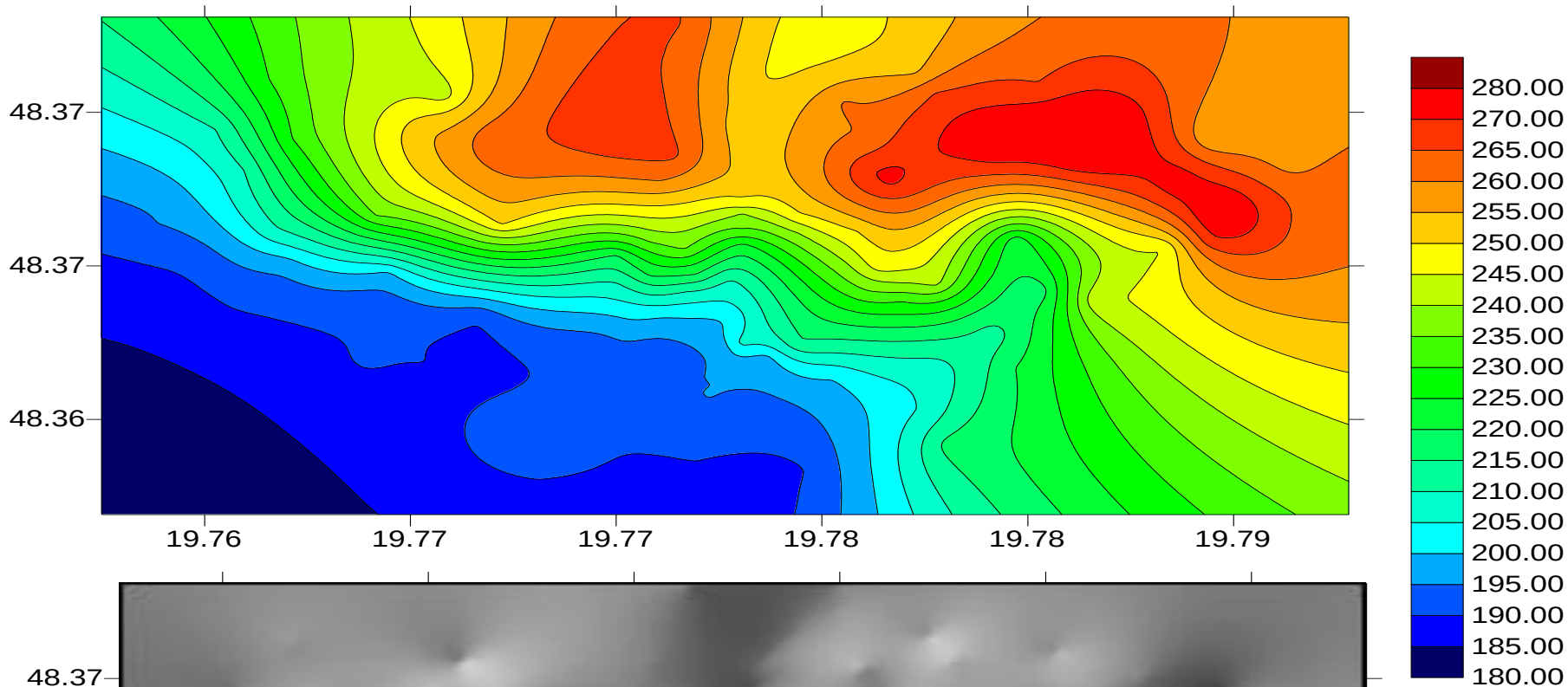


Gagarinova ulica
Modelovanie tiažového účinku kanalizačného zberača
Profil č. 1

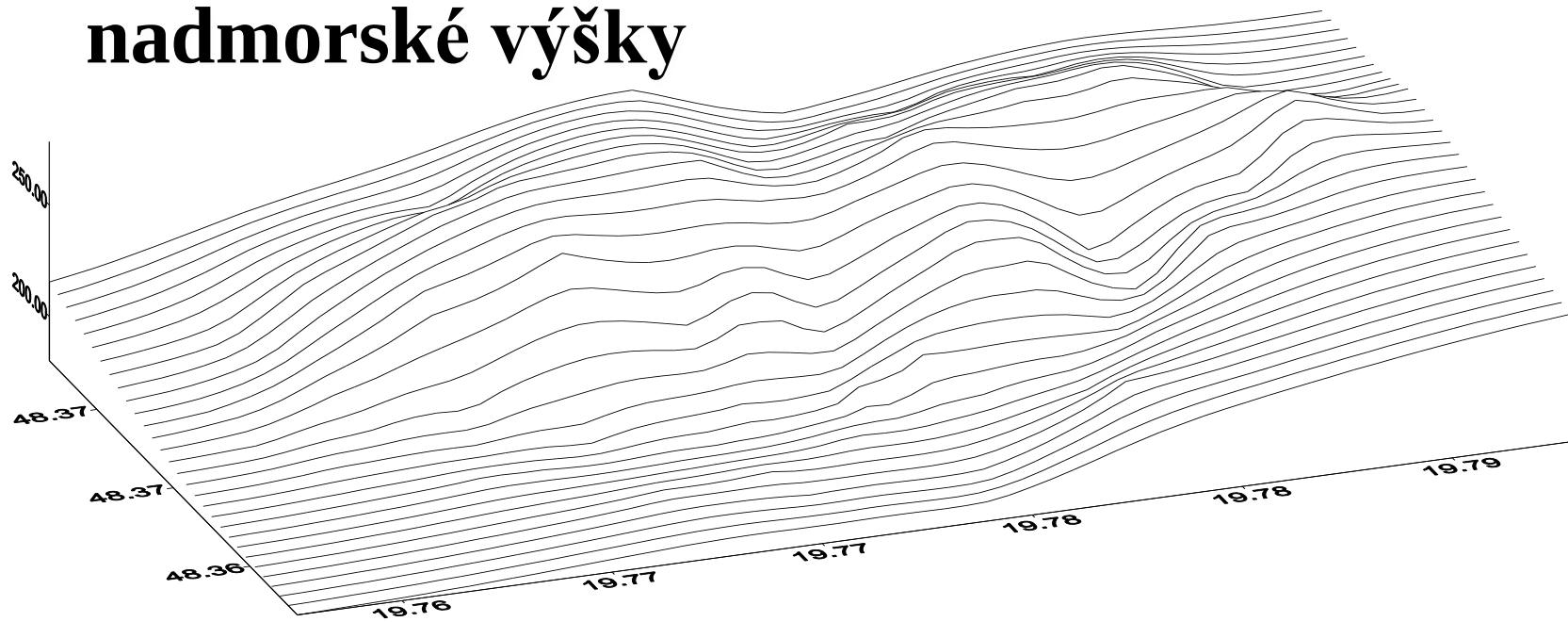
M 1:100

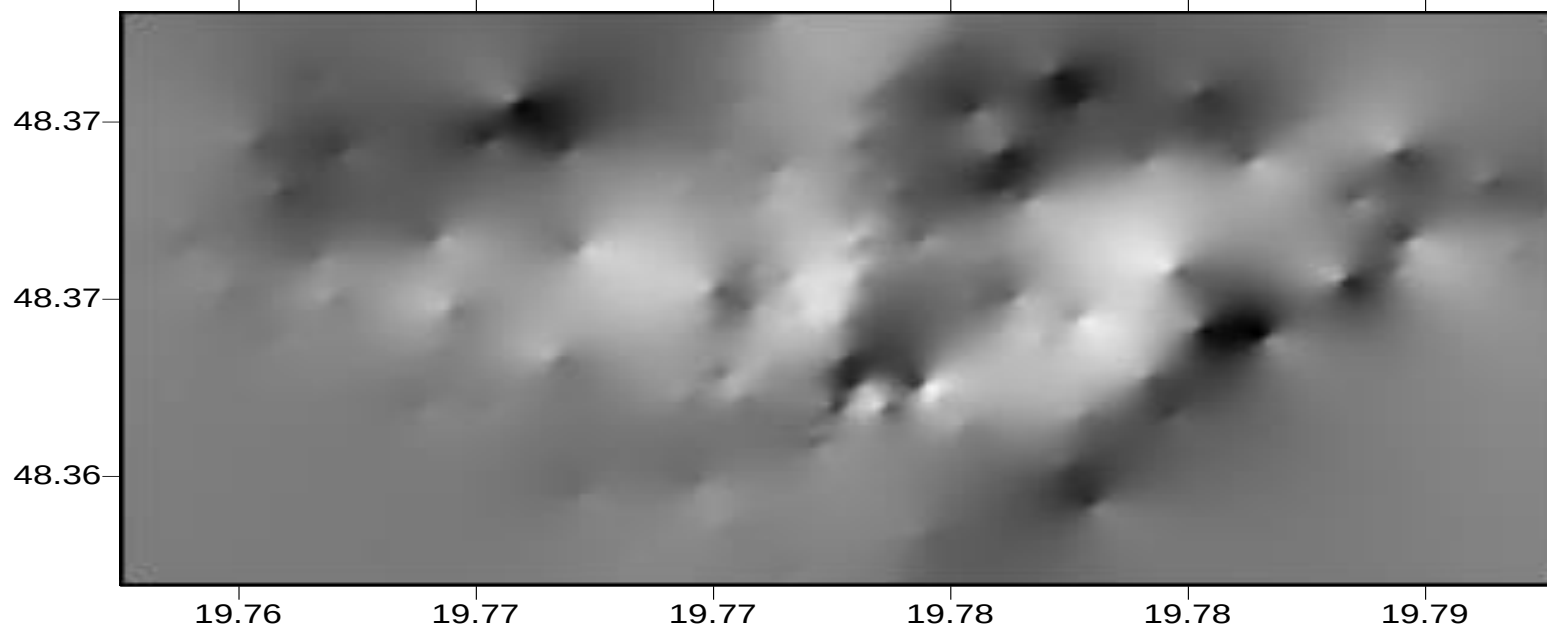
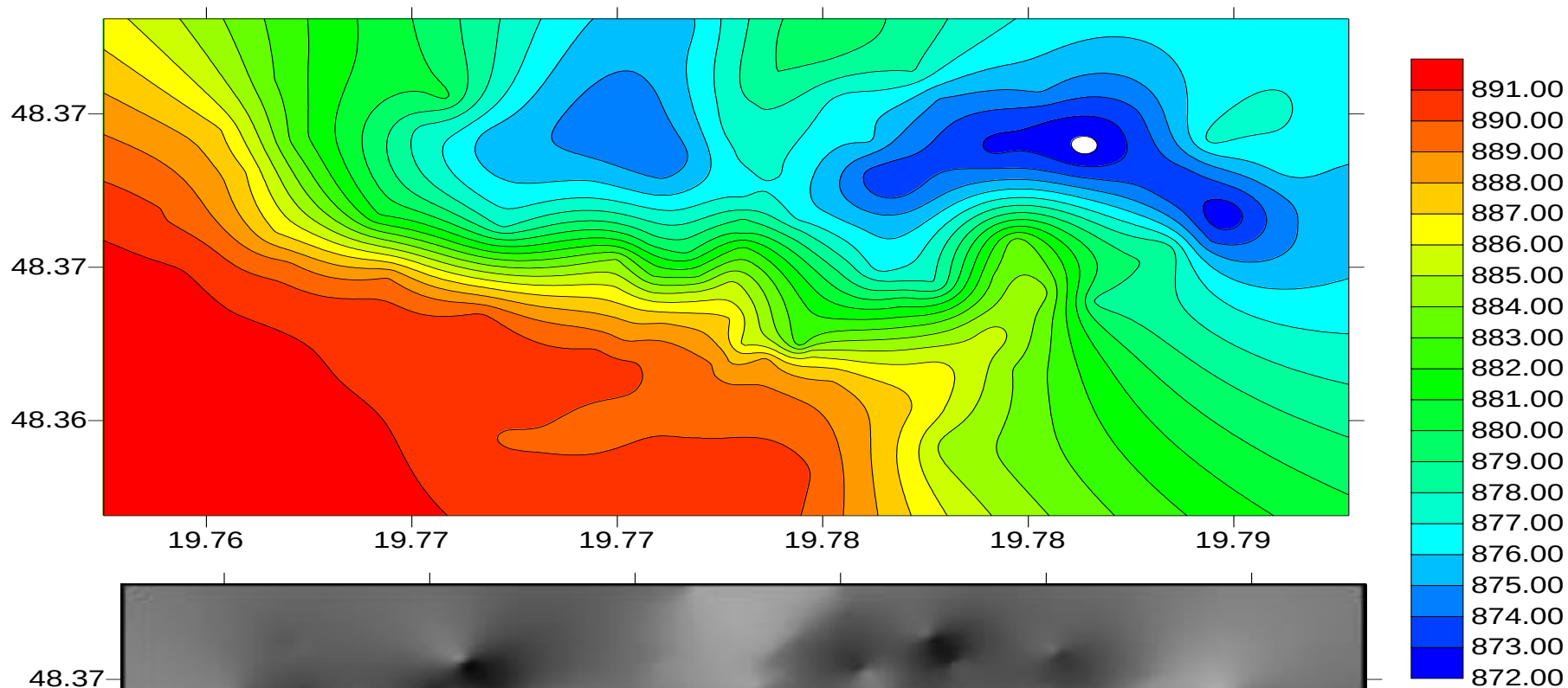
výsledok - Bouguerova anomália



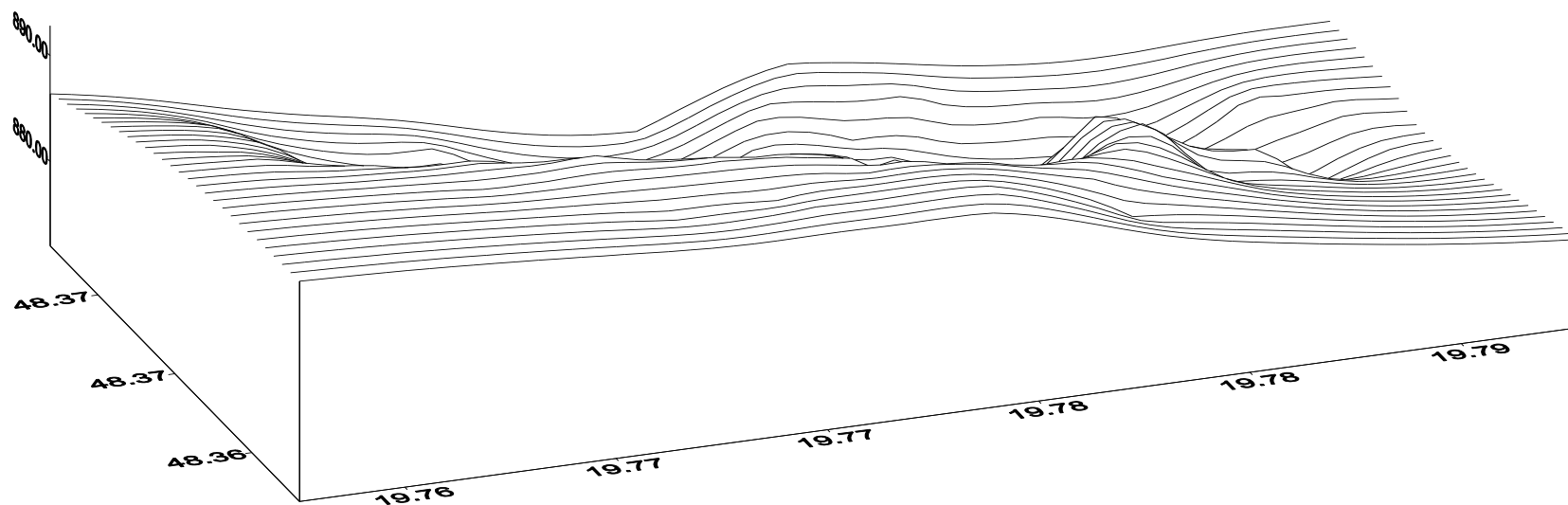


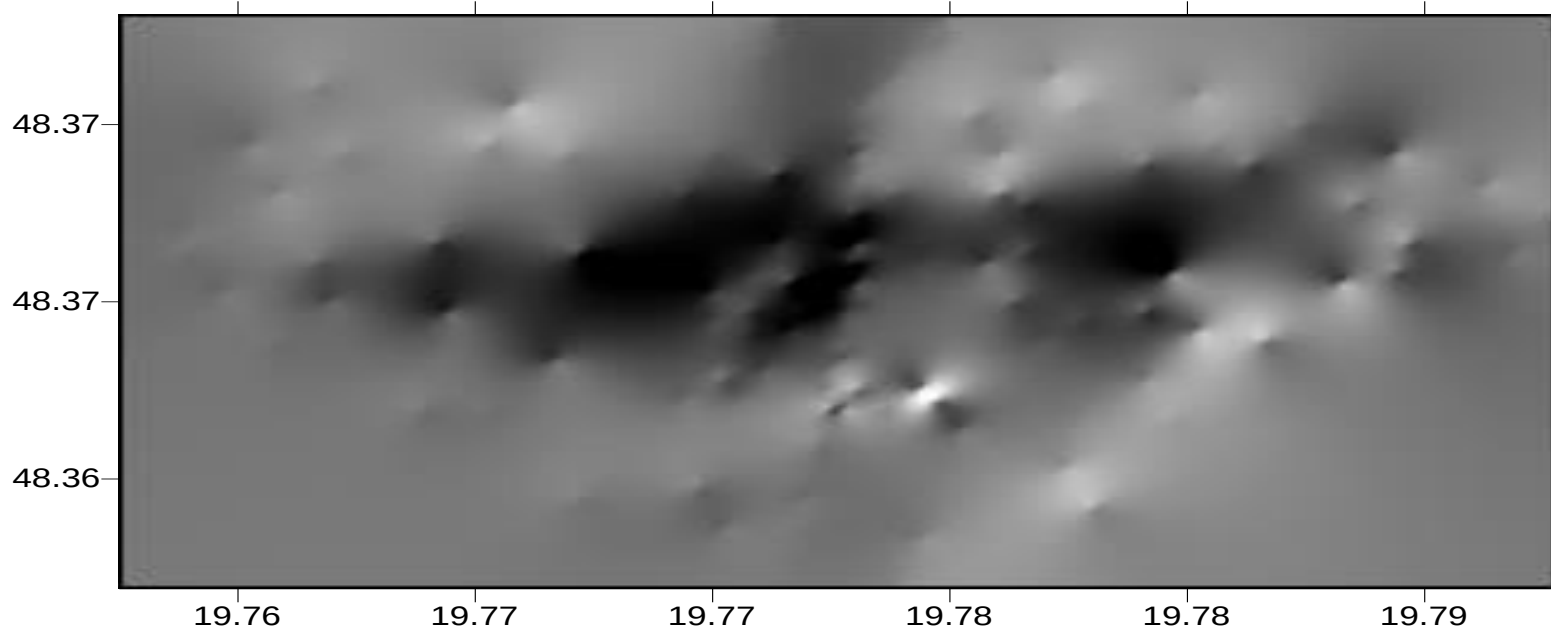
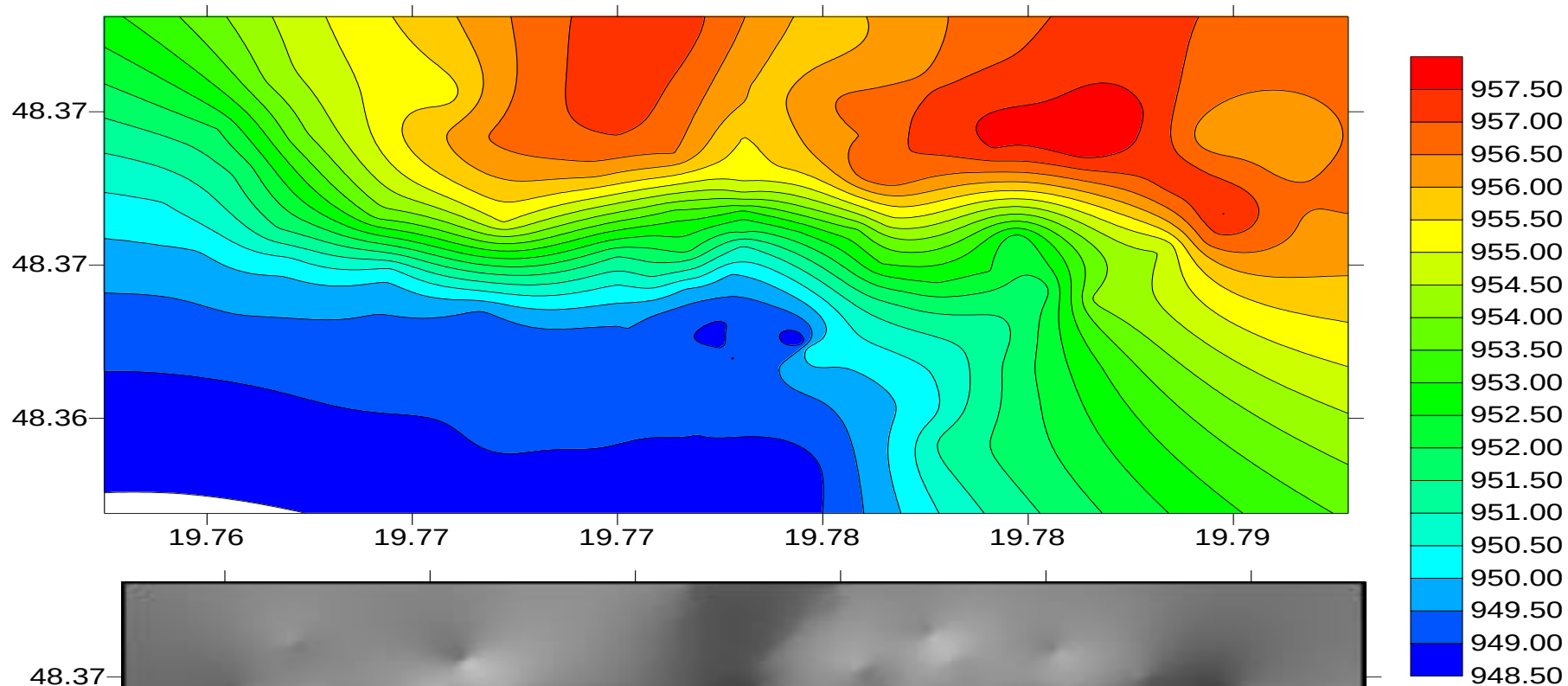
nadmorské výšky



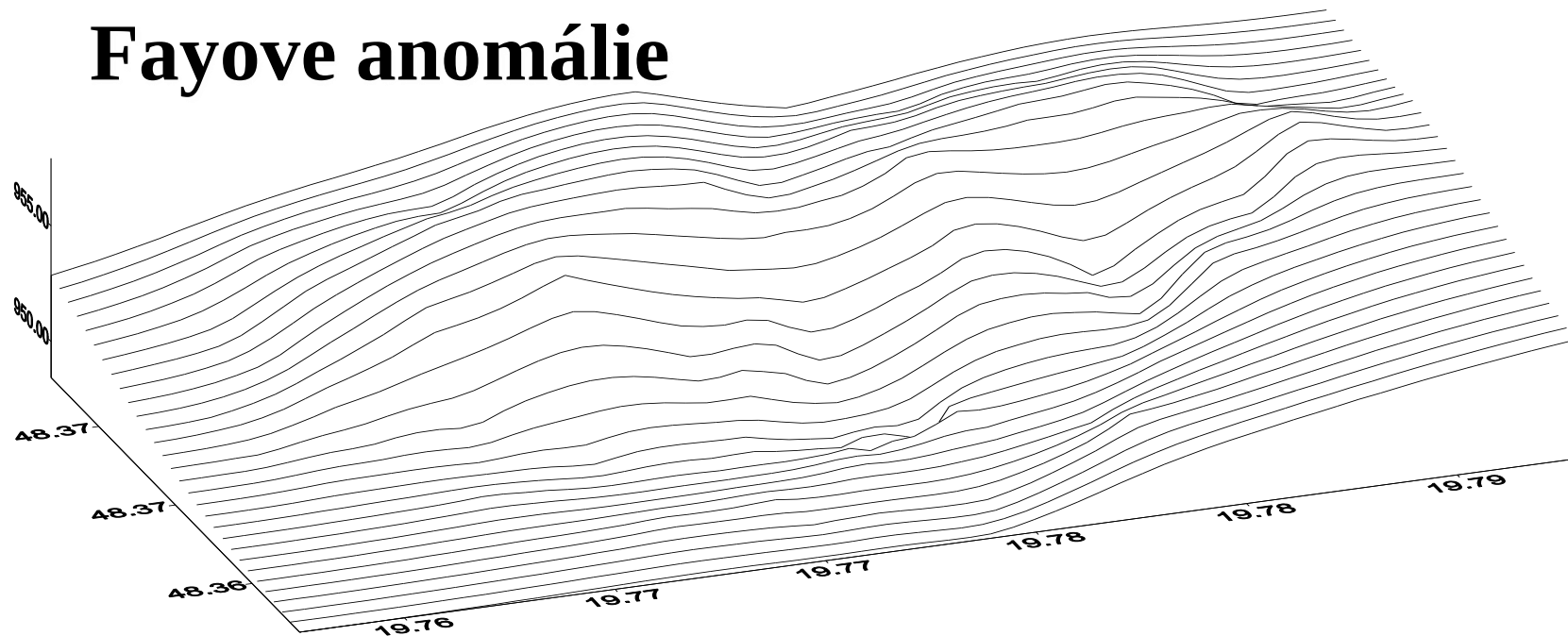


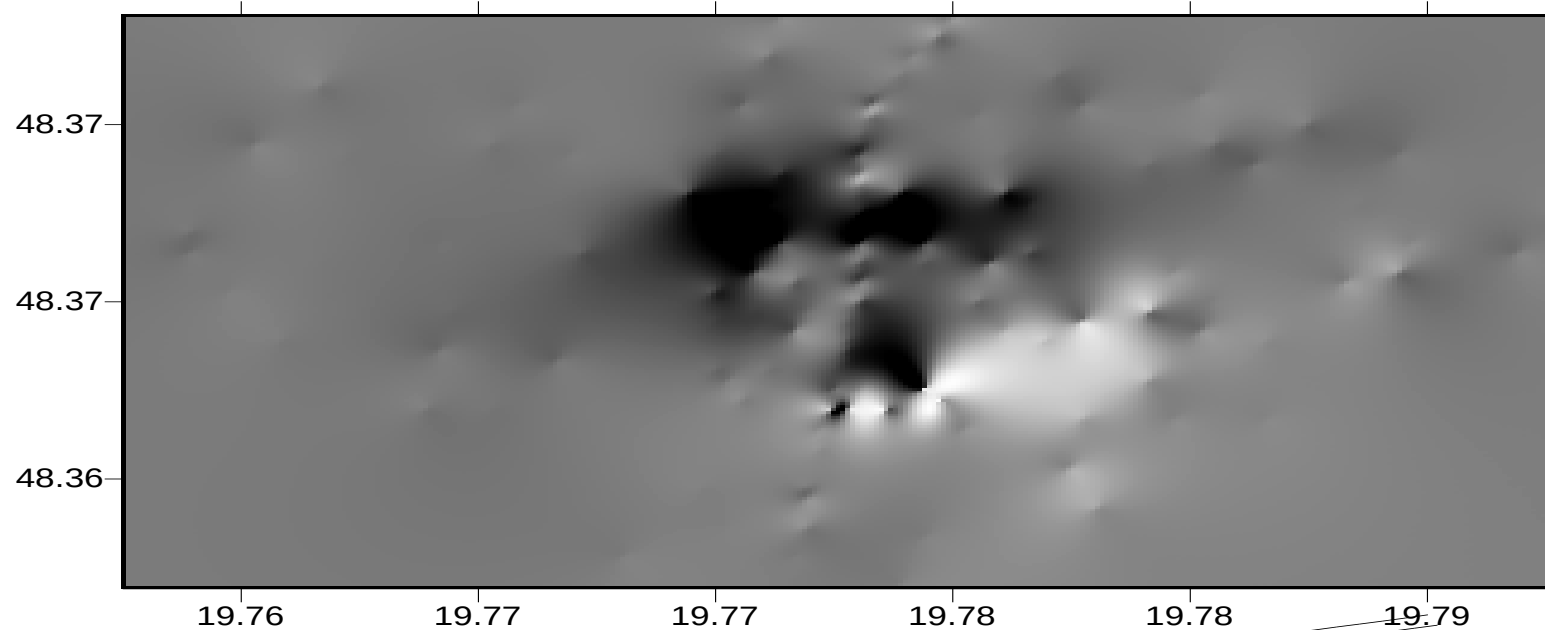
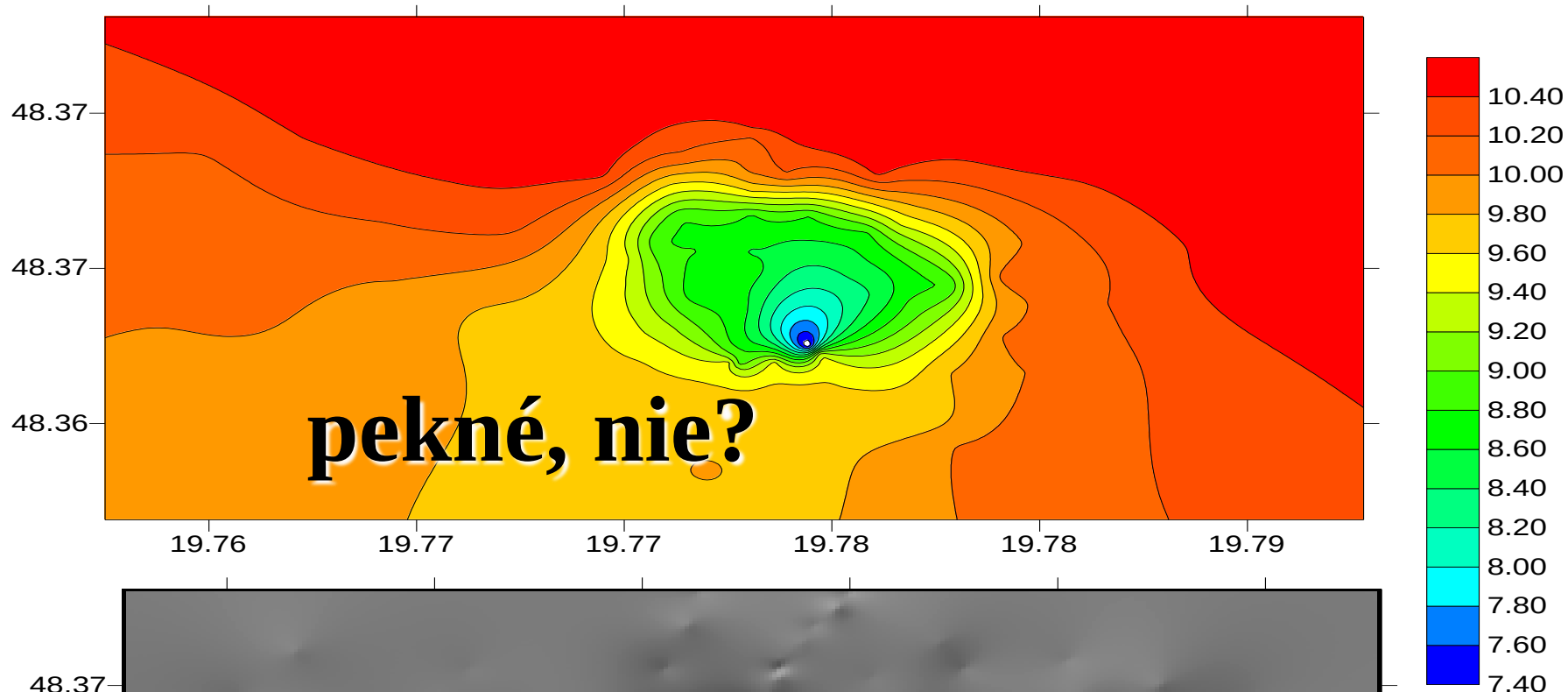
merané g



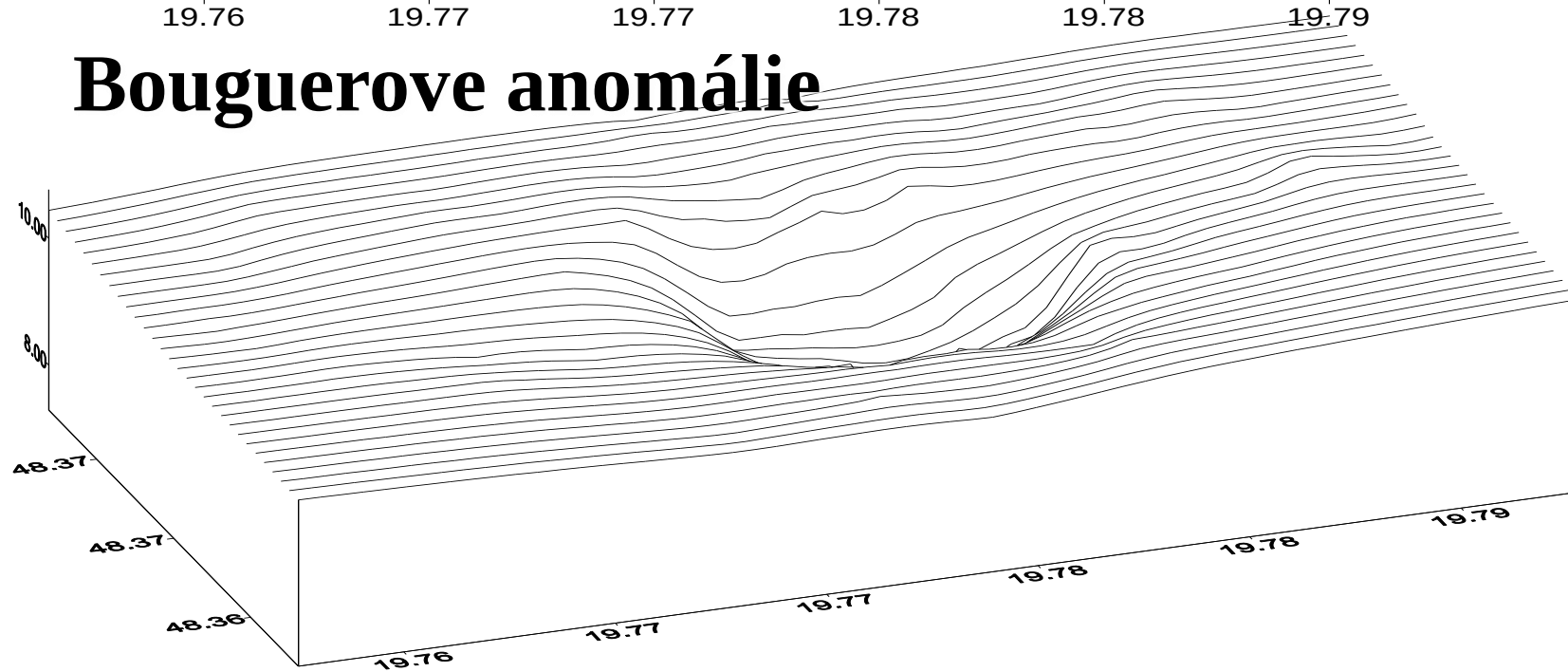


Fayove anomálie

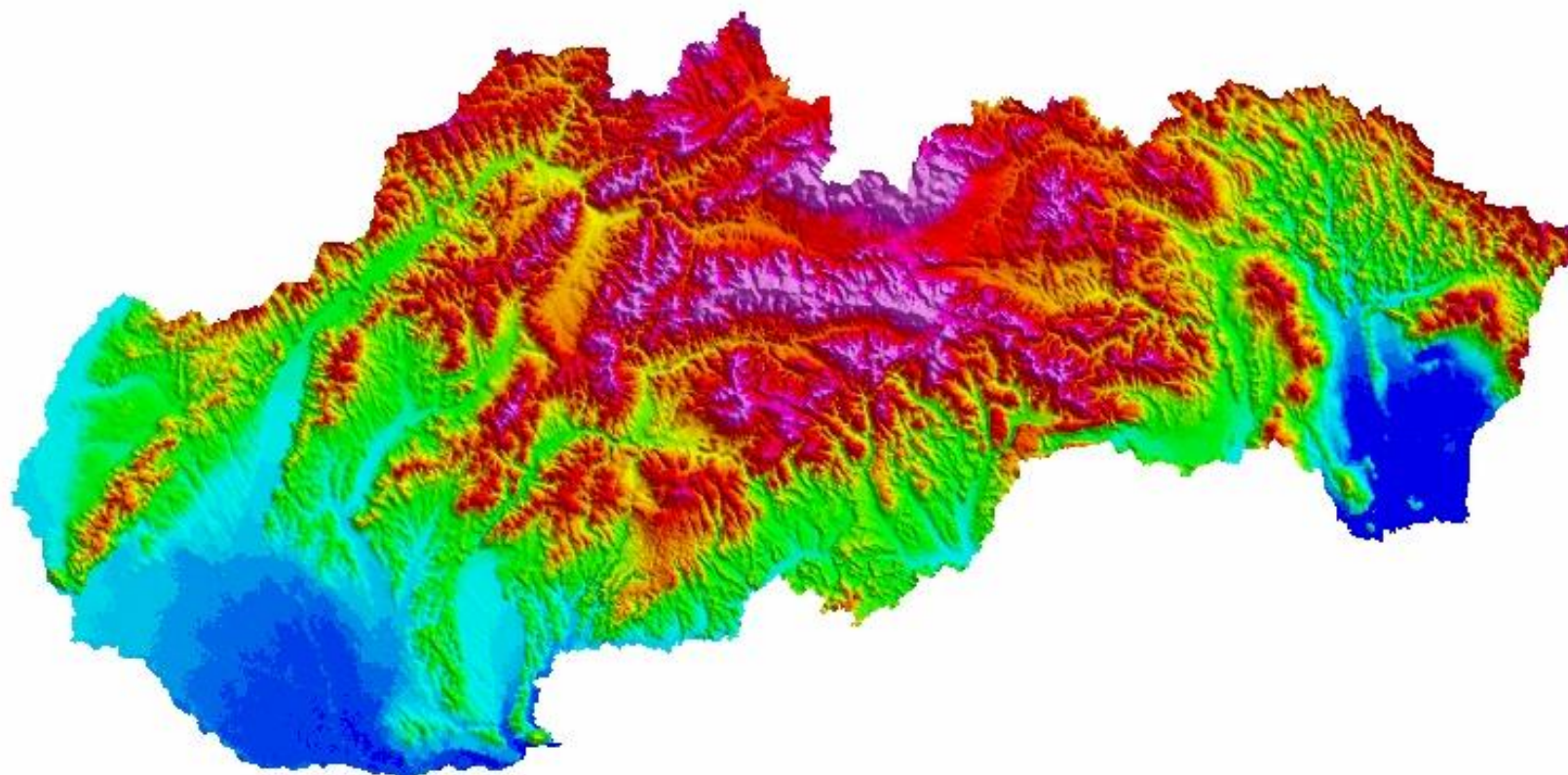




Bouguerove anomálie



digitálny model reliéfu - SR



mapa UBA - SR

