

interpretačné metódy v gravimetrii

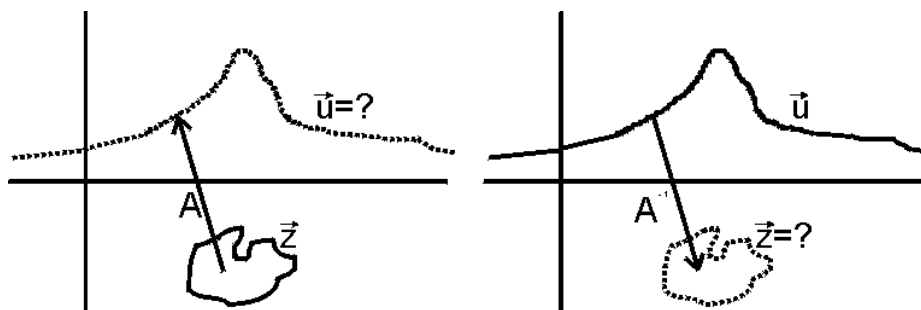
≈ riešenie obrátenej úlohy

priama úloha

vektor modelových parametrov $\mathbf{z} \rightarrow$ dátový vektor $\mathbf{u}$

$\mathbf{u} = A(\mathbf{z})$, kde $A()$ – tzv. operátor priamej úlohy

(riešenie je jednoduchšie: úloha je jednoznačná a stabilná)



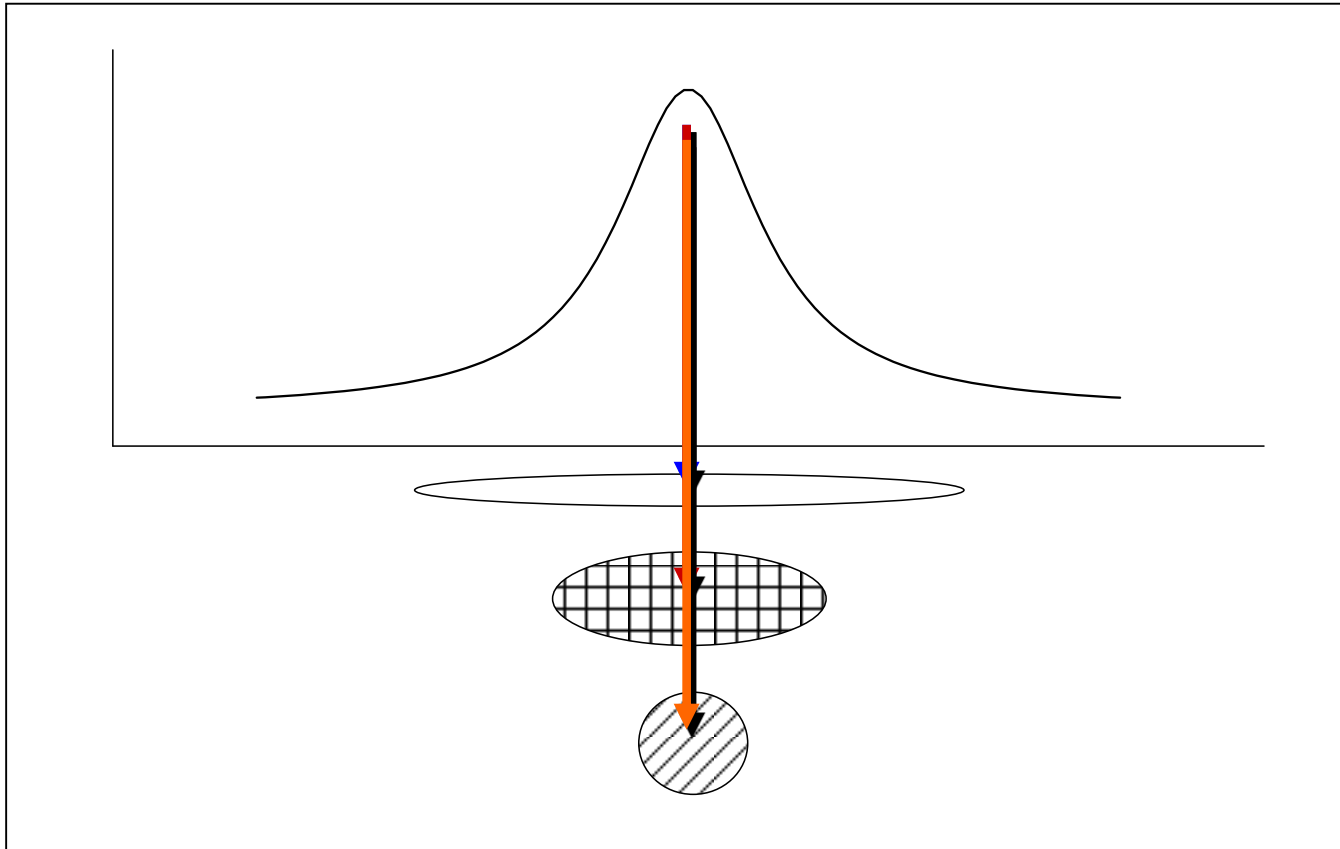
obrátená úloha:

dátový vektor $\mathbf{u} \rightarrow$ vektor modelových parametrov $\mathbf{z}$

$\mathbf{z} = A^{-1}(\mathbf{u})$, kde $A^{-1}(\mathbf{u})$ – operátor obrátenej úlohy

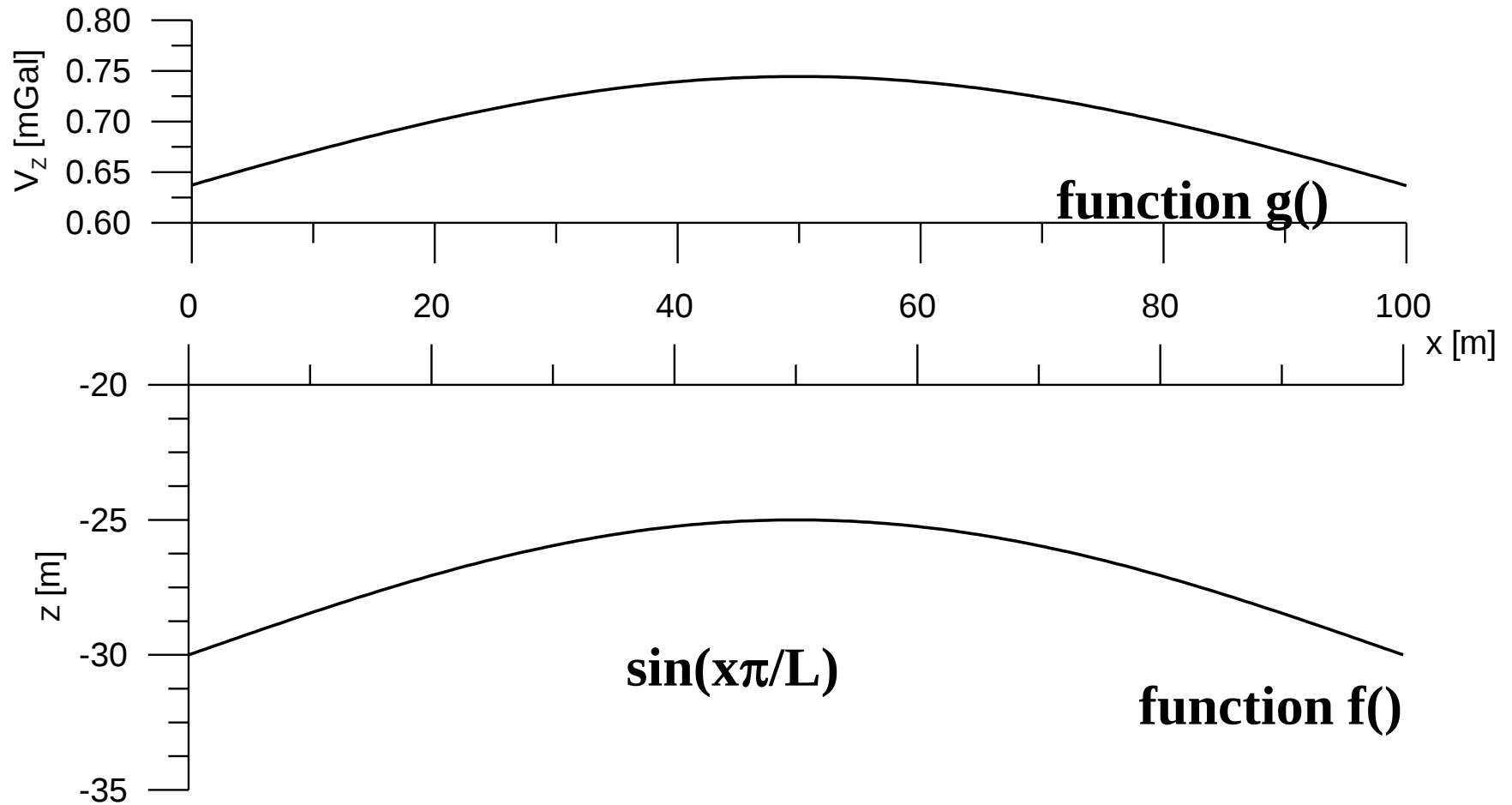
(riešenie je značne zložitejšie: úloha je nejednoznačná a nestabilná)

nejednoznačnost (mnohoznačnost) obrátenej úlohy



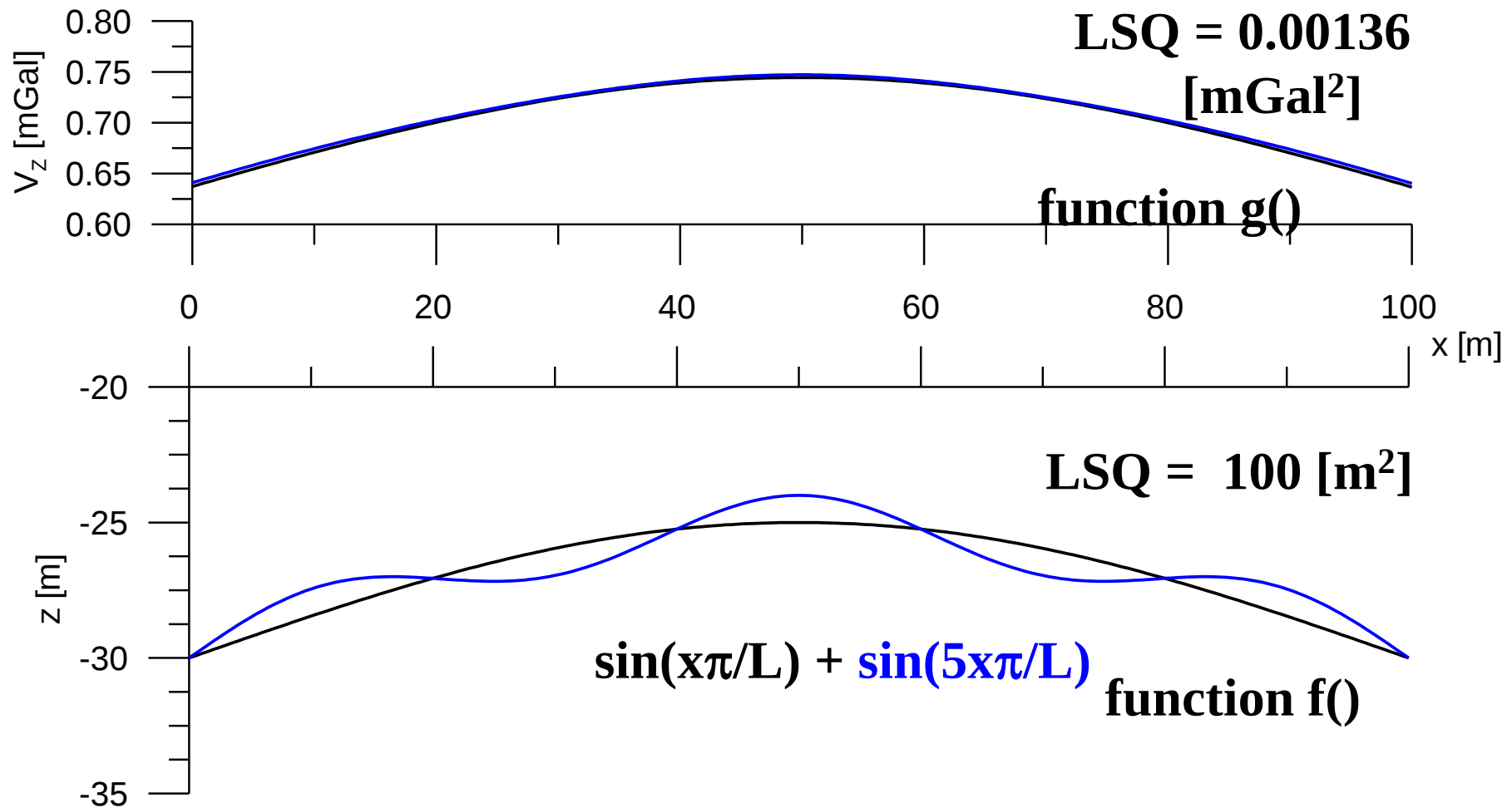
**nejednoznačnost (viacznačnost, mnohoznačnost) obrátenej úlohy
(učebnice: Nettleton 1976; Sharma, 1986)**

modelová ukážka nestability obrátenej úlohy

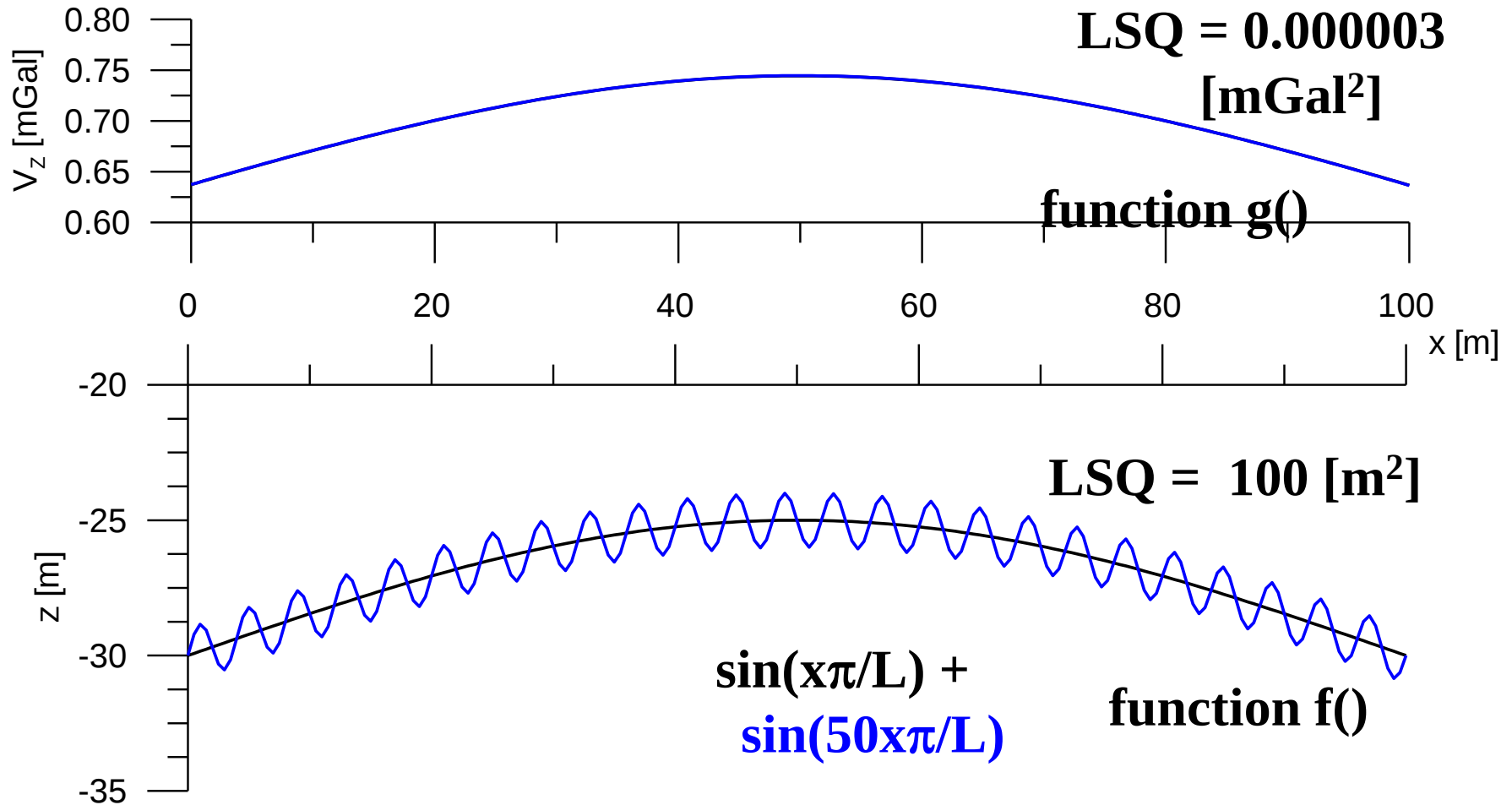


čierna – základný tvar „podložia“, modrá – deformovaná (s pridaním sínusovej funkcie)

modelová ukážka nestability obrátenej úlohy



modelová ukážka nestability obrátenej úlohy



čierna – základný tvar „podložia“, modrá – deformovaná (s pridaním sínusovej funkcie)

interpretačné metódy v gravimetrii

≈ riešenie obrátenej úlohy

Hadamard (1923*) – definoval tzv. korektne zadanú úlohu (well-posed problem) matem. fyziky

1. riešenie musí existovať

2. riešenie musí byť jednoznačné

3. riešenie musí byť stabilné

**ak úloha nesplňuje niektorú z týchto podmienok,
tak je tzv. nekorektne zadaná (ill-posed problem)**

“Hadamard veril, že nekorektne zadané úlohy sú umelé a neprirodzené (nepopisujú fyzikálne systémy v prírode)”

* Hadamard, J. 1923: Lectures on Cauchy's problem in linear partial differential equations. Yale University Press, New Haven.

riešenie obrátenej úlohy

priama úloha – predstavuje ju integrálny operátor:

$$\begin{aligned} V_z(x, y, z) &= \kappa \iiint_V \rho(\xi, \eta, \zeta) \frac{\zeta - z}{\left[(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2 \right]^{3/2}} dV = \\ &= \kappa \iiint_V \rho(\xi, \eta, \zeta) \psi[(\xi - x), (\eta - y), (\zeta - z)] dV \end{aligned}$$

κ -grav. konštanta
 dV -objem. element

$V_z(x, y, z)$ – gravitačné zrýchlenie v bode výpočtu

(ξ, η, ζ) – súradnice elementur zdrojového telesa,

(x, y, z) – súradnice výpočtového bodu,

$\rho(\)$ – funkcia hustoty (fyzikálneho parametru)

$\psi(\)$ – tzv. Greenova funkcia (prenosová, jadrová funkcia)

riešenie obrátenej úlohy

integrálny operátor - gravimetria:

$$V_z = \kappa \iiint_V \rho(\xi, \eta, \zeta) \psi[(\xi - x), (\eta - y), (\zeta - z)] dV$$

2 dôležité pohľady na tento matematický formalizmus:



priama úloha predstavuje
konvolučný integrál
(riešenie je jednoznačné
a stabilné)

obrátená úloha predstavuje
integrálnu rovnicu (tzv. Fredholmova
integrálna rovnica prvého stupňa)
(riešenie môže byť viacznačné
a nestabilné)

$$V_z = \kappa \iiint_V \rho(\xi, \eta, \zeta) \psi[(\xi - x), (\eta - y), (\zeta - z)] dV$$

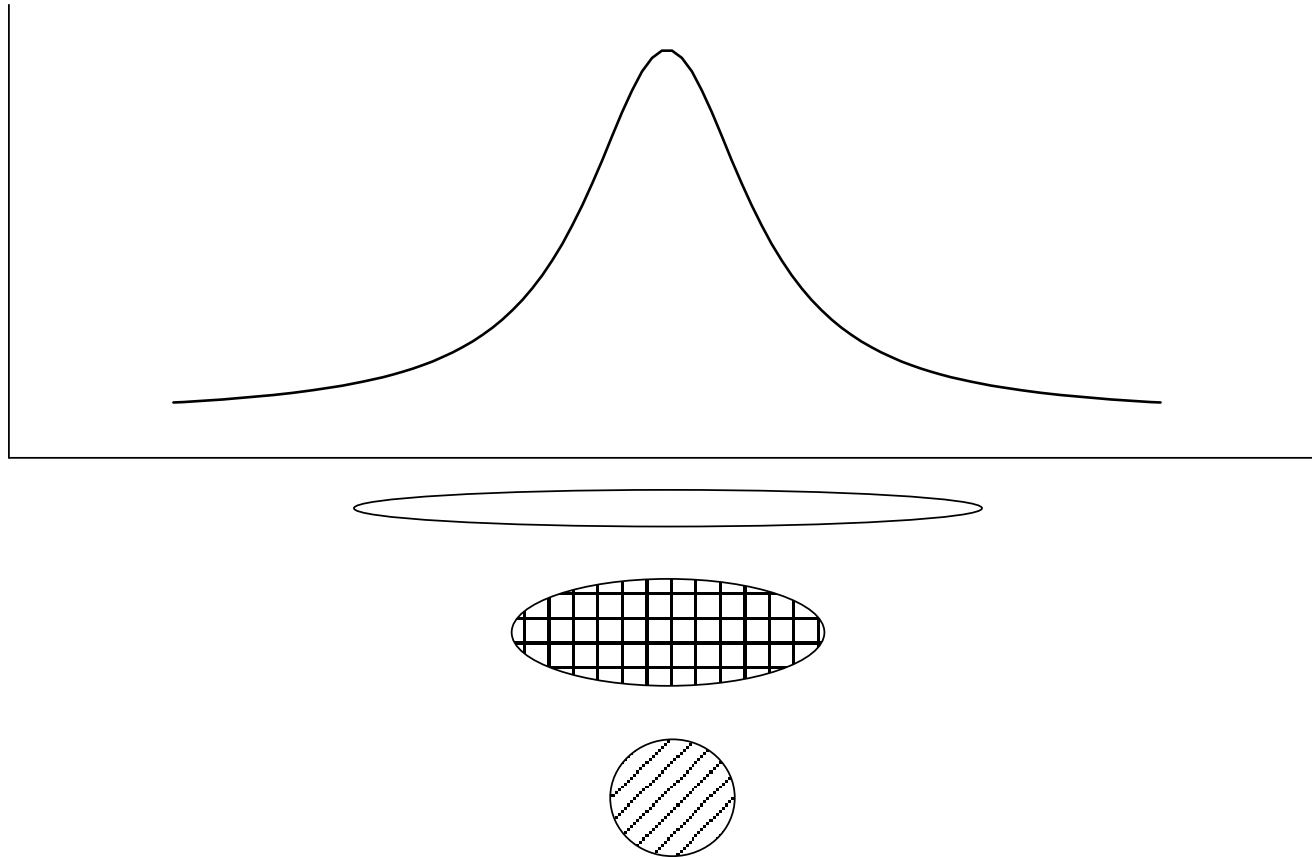
$$V_z = \kappa \iiint_V \rho(\xi, \eta, \zeta) \psi[(\xi - x), (\eta - y), (\zeta - z)] dV$$

červená – neznáme (hľadáme riešenie)

žiaľ, táto vlastnosť spôsobuje, že obrátená úloha je nejednoznačná a nestabilná

nejednoznačnost' (mnohoznačnost') obrátenej úlohy

$$V_z = \kappa \iiint_V \rho(\xi, \eta, \zeta) \psi[(\xi - x), (\eta - y), (\zeta - z)] dV$$



**nejednoznačnost' (viacznačnost', mnohoznačnost') obrátenej úlohy
(učebnice: Nettleton 1976; Sharma, 1986)**

interpretačné metódy v gravimetrii – – riešenie obrátenej úlohy

Hlavné delenie interpretačných metód v gravimetrii:

tzv. nepriame metódy

(so zapojením apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- modelovanie
- tvorba odkrytých máp (stripped maps)
- metóda riešenia hustotného rozhrania

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (poľa)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. nepriame metódy

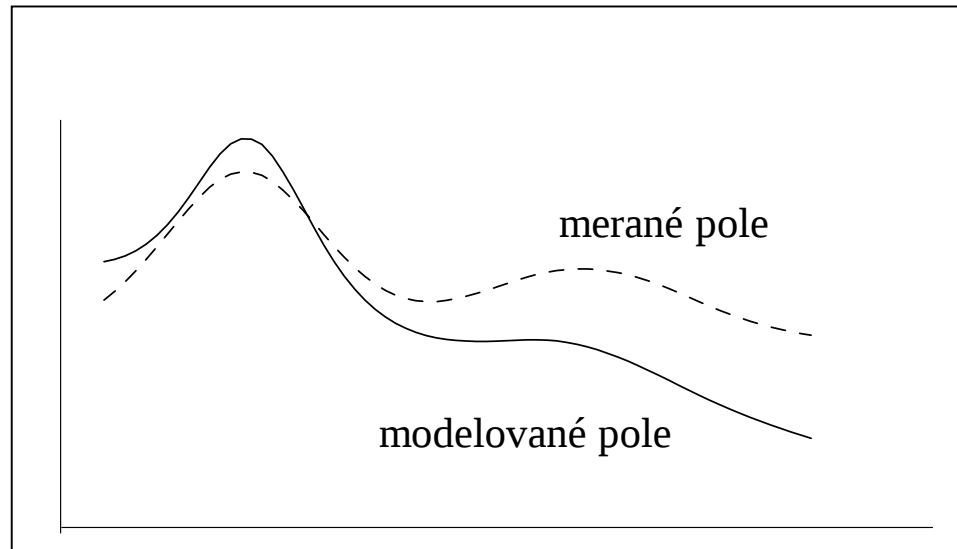
(so zapojením apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- modelovanie

- tvorba odkrytých máp (stripped maps)
- metóda riešenia hustotného rozhrania

interpretácia v gravimetrii, *nepriame metódy - modelovanie*

základná úloha pri modelovaní je dosiahnutie čo najtesnejšej zhody medzi modelovaným/teoretickým a nameraným poľom (Bougerove anomálie, reziduálne anomálie)

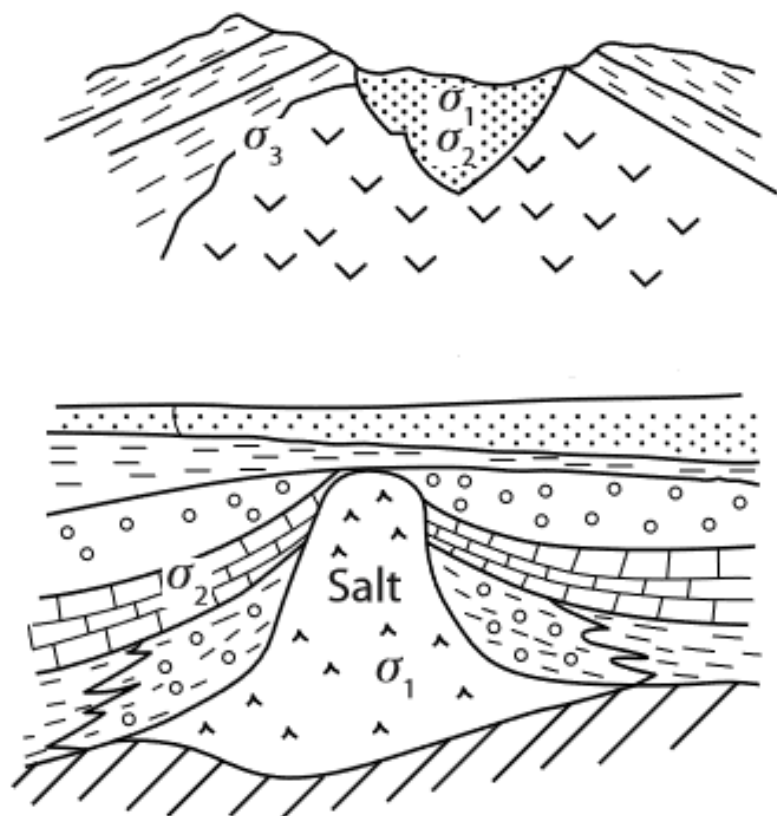


- dosiahnutie zhody medzi poľami sa často slengovo nazýva ako tzv. „fitting“ (z anglickej terminológie)
- zhoda sa nemusí vyšetrovať iba na profiloch, ale môže to byť aj na gridoch (plochách)

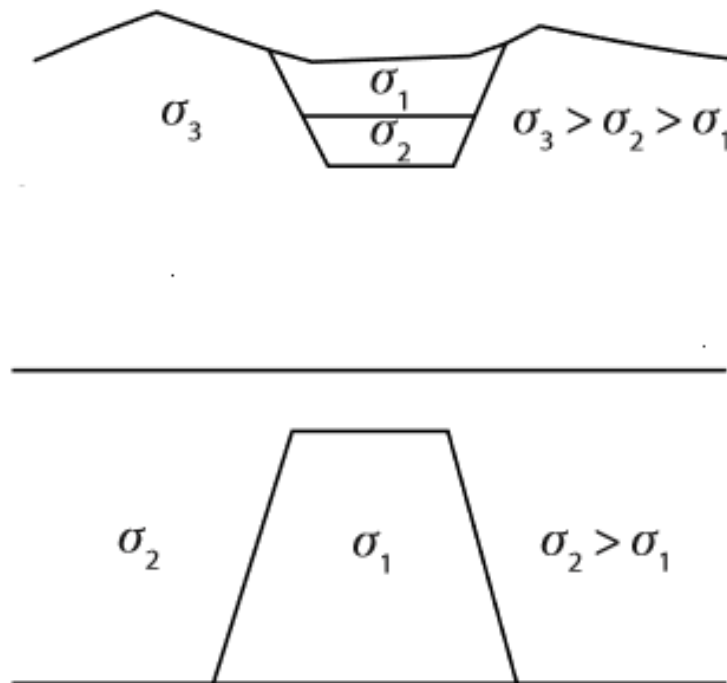
interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

druhá základná úloha pri modelovaní je dosiahnutie čo najrozumnejšieho riešenia – modelu, ktorý má geologické pozadie

Conceptual models

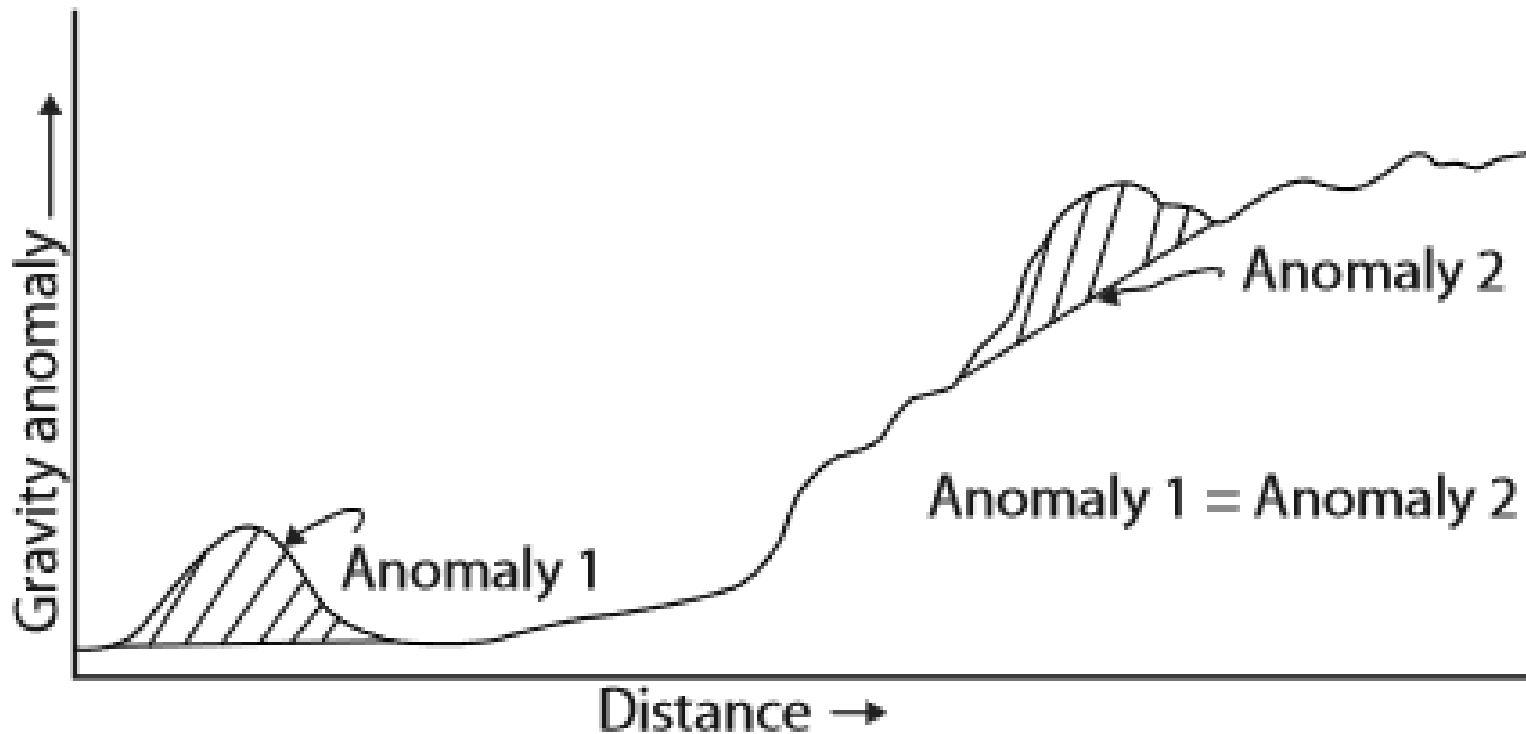


Mathematical models



interpretácia v gravimetrii, *nepriame metódy - modelovanie*

základná úloha pri modelovaní je dosiahnutie čo najtesnejšej zhody medzi modelovaným/teoretickým a nameraným poľom (Bougerove anomálie, reziduálne anomálie)

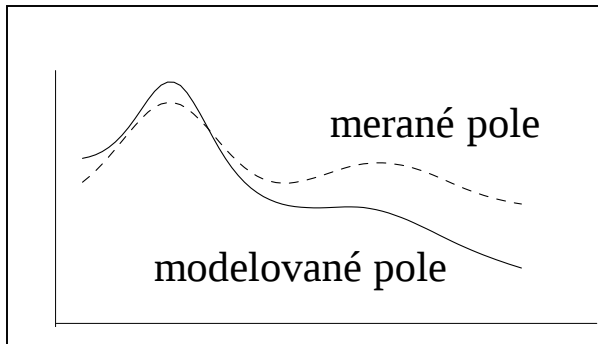


- separácia anomálií nie je triviálna záležitosť (bude prednášané neskôr)

interpretácia v gravimetrii, *nepriame metódy - modelovanie*

Spôsoby modelovania a rozdelenie metód modelovania je možné kategorizovať rôznymi spôsobmi. Uvedieme si viaceré.

Z hľadiska výpočtového:



Samotné čo najtesnejšie „napasovanie“ (fitting) sa väčšinou realizuje dvoma základnými postupmi:

1. manuálnym (interaktívnym) spôsobom užívateľ mení hustotné parametre, geometriu a hĺbku telies a pozoruje zmeny na modelovanej krivke/poli,
2. automatickým (iteratívnym) spôsobom zmena parametrov telesa je realizovaná matematickým algoritmom, ktorý sa snaží nájsť minimum „funkcie“, popisujúcej tesnosť dvoch polí (napr. suma štvorcov odchýliek)
známe sú: metóda najväčšieho spádu,
konjugovaných gradientov,
Marquardtov algoritmus

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

Spôsoby modelovania a rozdelenie metód modelovania je možné kategorizovať rôznymi spôsobmi. Uvedieme si viaceré.
Z hľadiska geometrického:

hlavné koncepcie:

2D, $2^{1/2}$ D (2.5D), $2^{3/4}$ D (2.75D), 3D

hlavné problémy sú: spôsob zadávania dát (veľký rozdiel medzi 2D a 3D)
a rýchlosť výpočtu (najmä pri 3D)

použité element. telesá:

v minulosti – hranoly, stupne, dosky, tyče, gule, ...

2D polyg. (horiz.) hranol (*Talwani*)

2D šikmý stupeň (*Bulach*)

dnes najmä 2.5D polygonálny (horizont.) hranol (*Talwani*)

najmodernejšie – 3D polyéder (*Pohánka, Götze-Lahmayer*)

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

Spôsoby modelovania a rozdelenie metód modelovania je možné kategorizovať rôznymi spôsobmi. Uvedieme si viaceré.

Z hľadiska zadávania hustôt:

hlavné koncepcie:

1. Zadávať sa priamo reálne (prirodzené) hustoty (napr. $2.64 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) a algoritmus si ich automaticky prepočíta na diferenčné hustoty voči určitému referenčnému (hustotnému) modelu zeme (napr. v prvej vrstve do hĺbky niekoľko km sa uvažuje hustota hornín $2.67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
2. Priamo sa zadávajú diferenčné hustoty telies voči svojmu okoliu (napr. $0.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ pri kontraste karbonátov voči sedimentom)

kontrolná otázka: Ako budeme zadávať hustoty v prípade dutín?

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

hlavné koncepcie:

2D, 2^{1/2}D (2.5D), 2^{3/4}D (2.75D), 3D

hlavné problémy sú: spôsob zadávania dát (veľký rozdiel medzi 2D a 3D)
a rýchlosť výpočtu (najmä pri 3D)

profesionálne softvéry:

GM-SYS (2.75D), GM-SYS 3D (*NAD, USA*)

Potent (2.5D, 2.75D, 3D) (*PC Potentials, Australia*)

Fugro (2.5D, 2.75D, 3D) (*Fugro LCT, Huston, USA*)

IGMAS a IGMAS+ (3D) (*FU Berlin, CAU Kiel, Nemecko*)

iné softvéry:

Mod3D (3D) (*UK BA, UNI Tübingen, Nemecko*)

GMT-AUTO (*skupina z Kieva*)

...

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

profesionálne softvéry (naša výuka):

GM-SYS (2.75D) – predmet „Modelovanie“ (ZS, 2.r.)

Potent (2.5D, 2.75D, 3D) – v rámci tohto predmetu

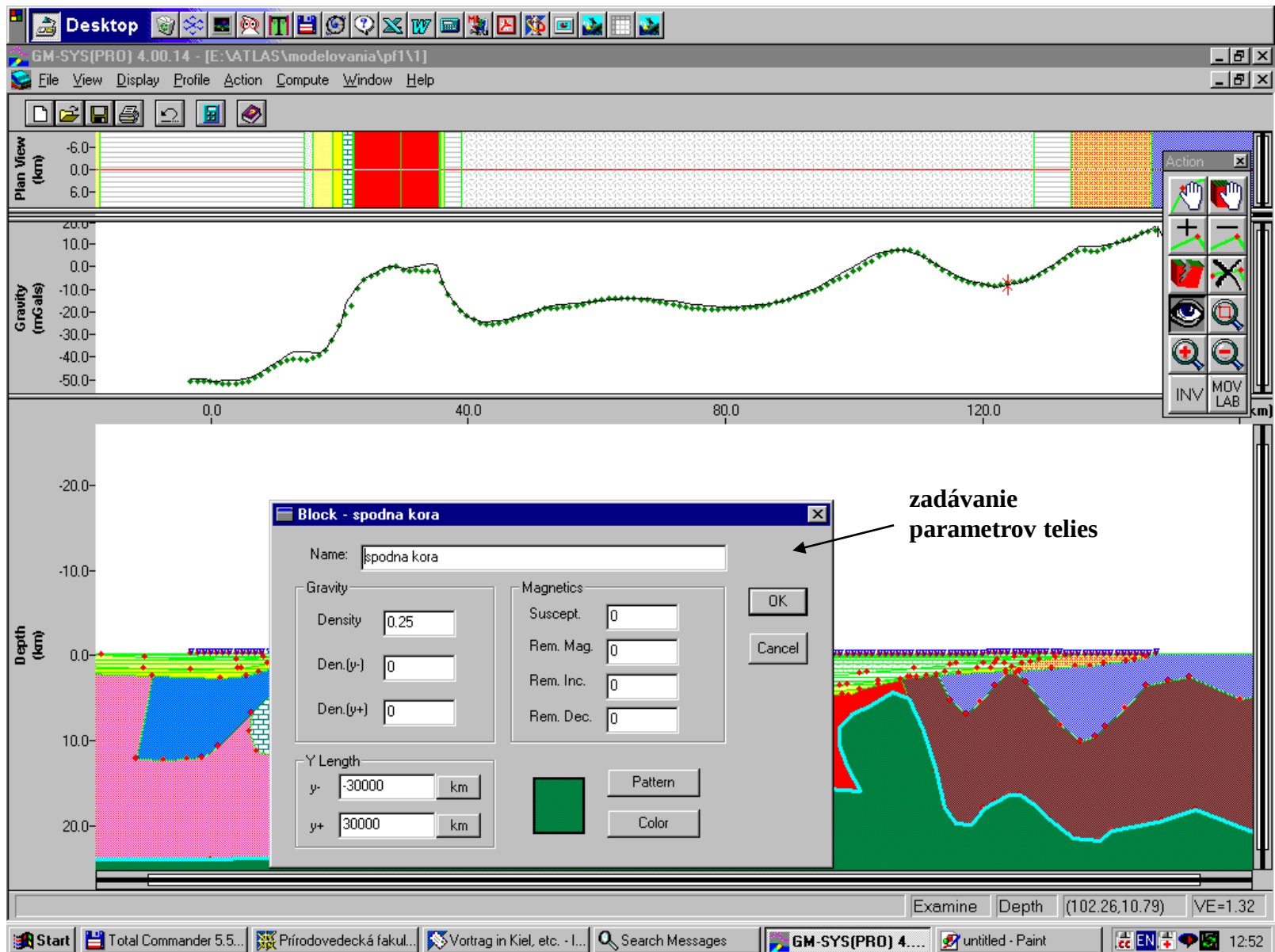
IGMAS a IGMAS+ (3D) – pobyty v Kieli (+SAV)

iné softvéry:

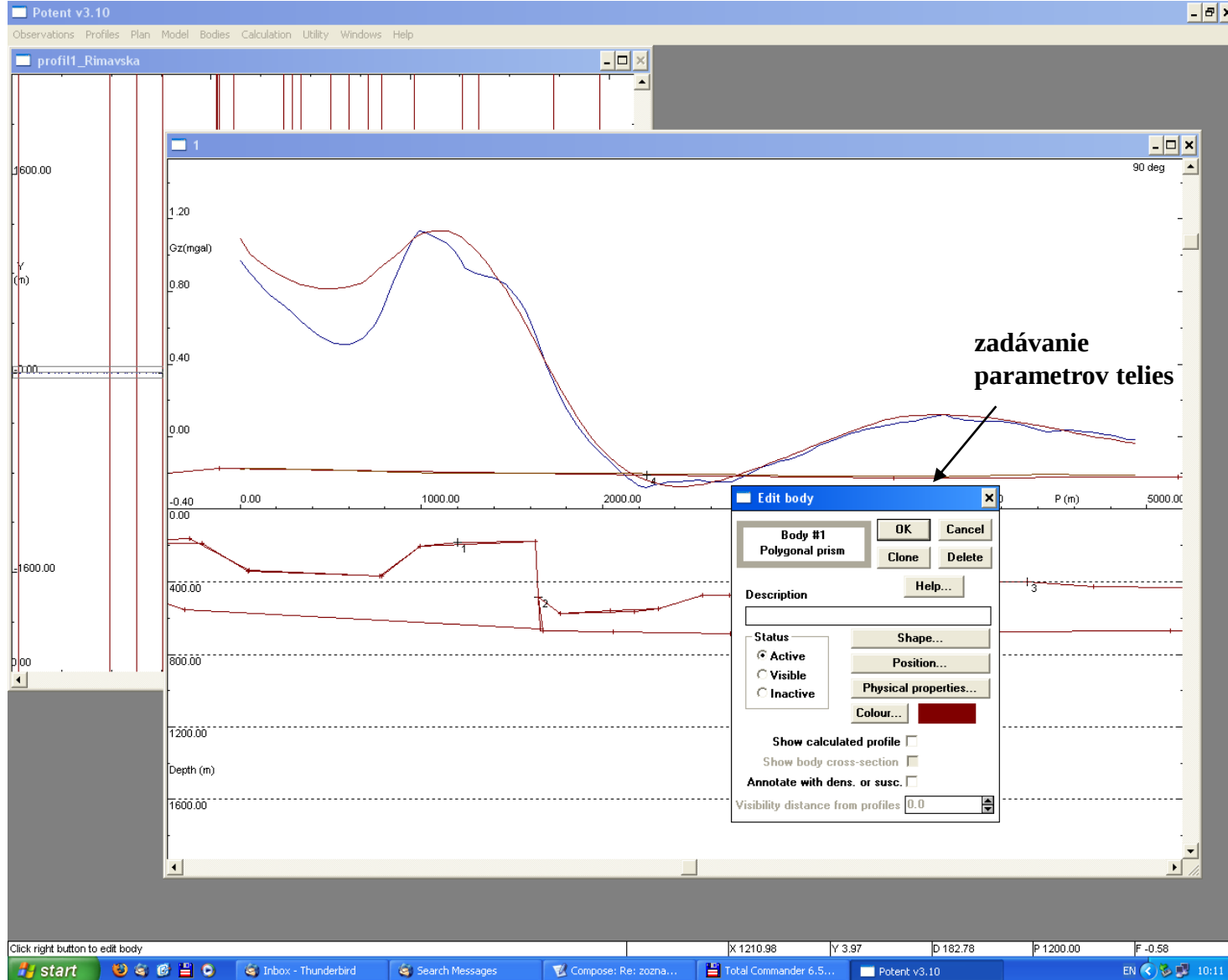
Mod3D (3D) – predmet „Modelovanie“ (ZS, 2.r.)

GMT-AUTO – školenie od našich doktorandov alebo
pobyt v Kieve

GM-SYS (2.75D) – predmet „Modelovanie“ (ZS, 2 r.)



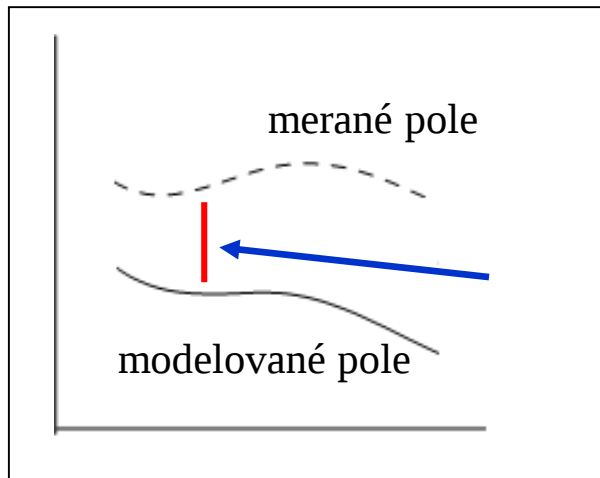
Potent (2.5D, 2.75D, 3D) – v rámci tohto predmetu



interpretácia v gravimetrii, *nepriame metódy - modelovanie*

Spôsoby modelovania a rozdelenie metód modelovania je možné kategorizovať rôznymi spôsobmi. Uvedieme si viaceré.

Problém posunu medzi poliami:



skoro vždy existuje určitý
hladinový posun medzi týmito
dvoma poliami, spôsobený (?)

prejavom hlbších nehomogenít
a zanedbaním niektorých efektov
v ÚBA (napr. vplyv vzdial. terénu)

aké najhlbšie hustotné nehomogenity sa môžu prejavovať
v mapách Bouguerových anomálií
reginálnych mierok(?):

a) kôrové ?

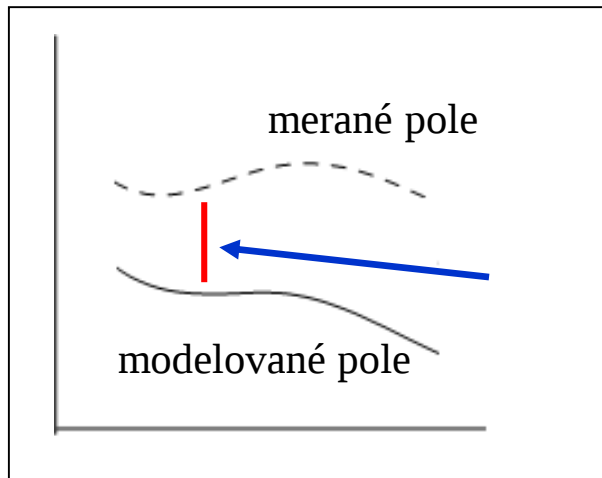
b) plášťové ?

c) z jadra ?

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

Spôsoby modelovania a rozdelenie metód modelovania je možné kategorizovať rôznymi spôsobmi. Uvedieme si viaceré.

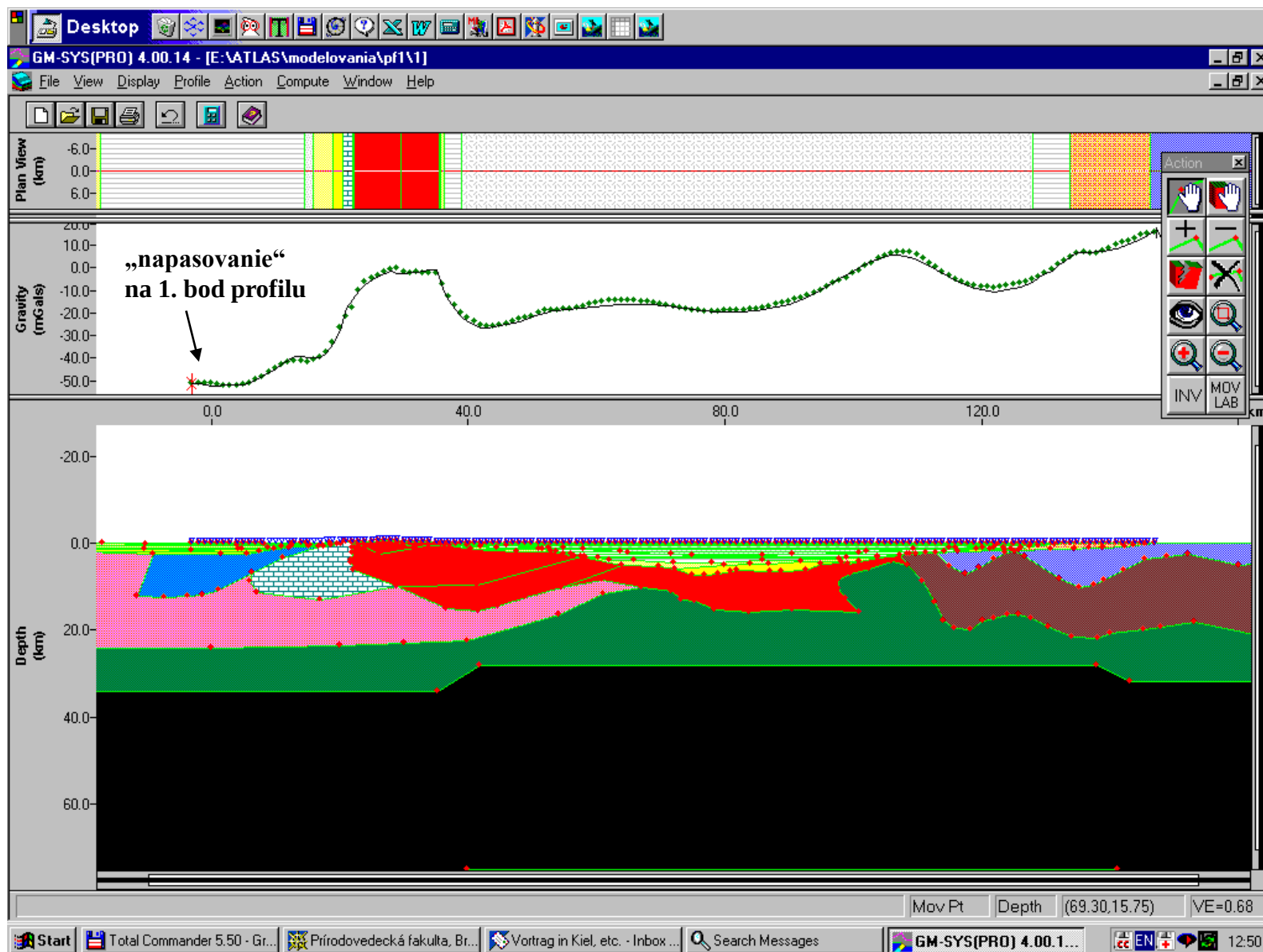
Problém posunu medzi poliami:



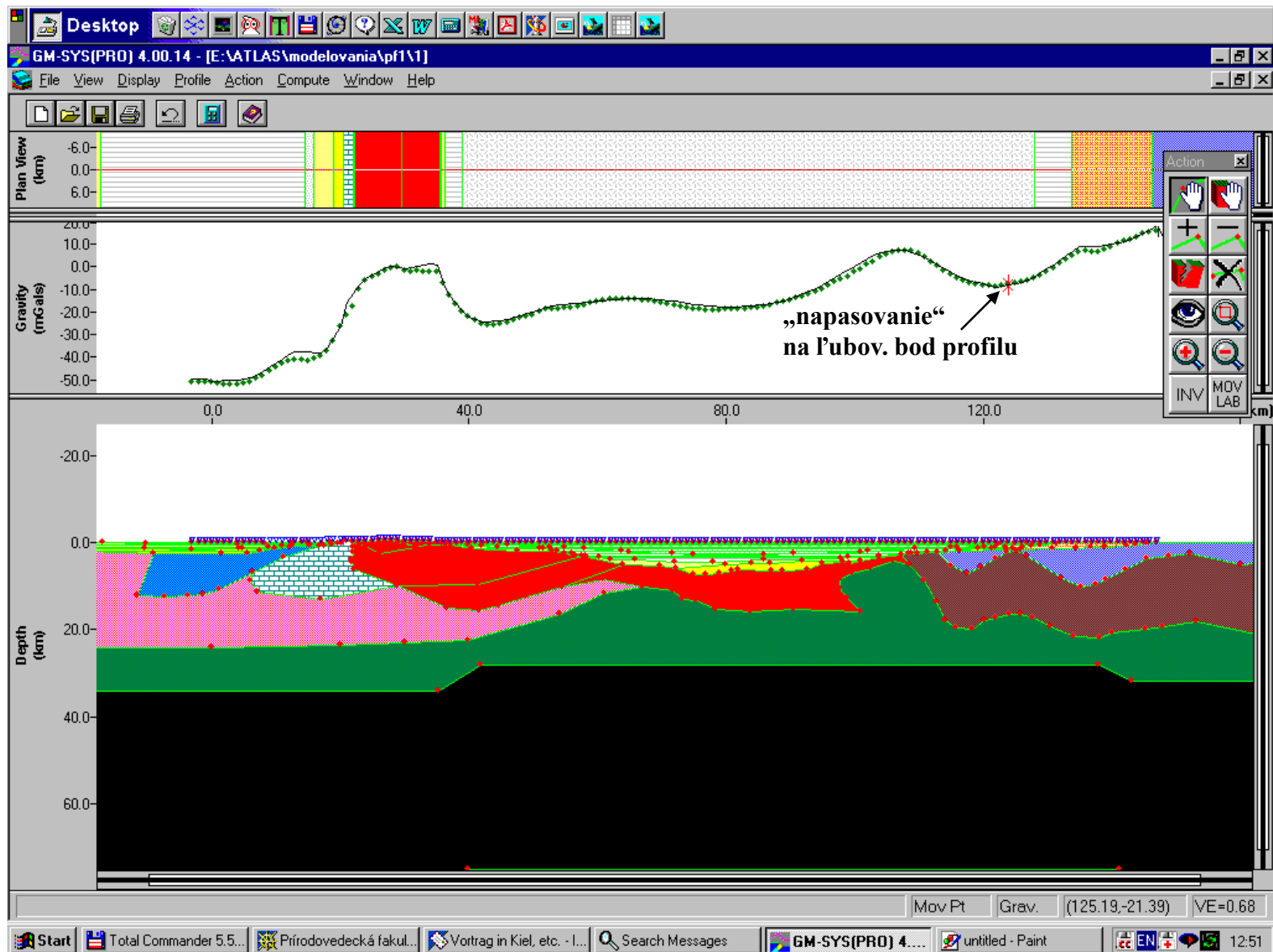
štandardné riešenia na ošetrenie
hladinového posunu medzi modelovanou
a nameranou krivkou (poľom?)

1. umelé doplnenie hlbších nehomogenít (veľký hranol, doska), ktoré posunú krivku (pole) nahor/nadol (*napr. Potent*)
2. napasovanie kriviek na určitý spoločný bod (určený interpretátorom) (*napr. GM-SYS*)
3. štatisticky – odpočítaním mediánu od oboch kriviek (polí) (*napr. Mod3D*)

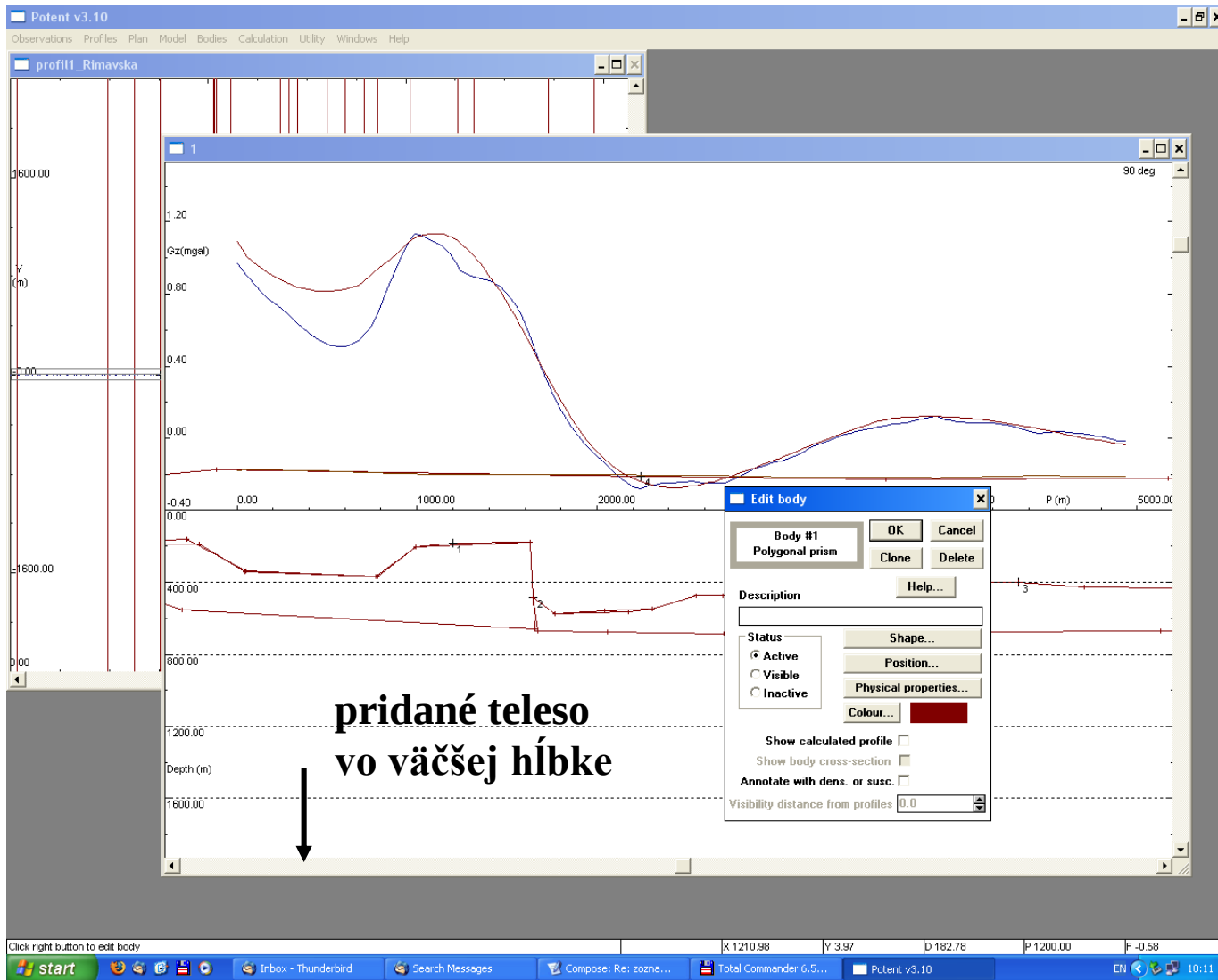
ošetrenie posunu polí v rámci programu GM-SYS



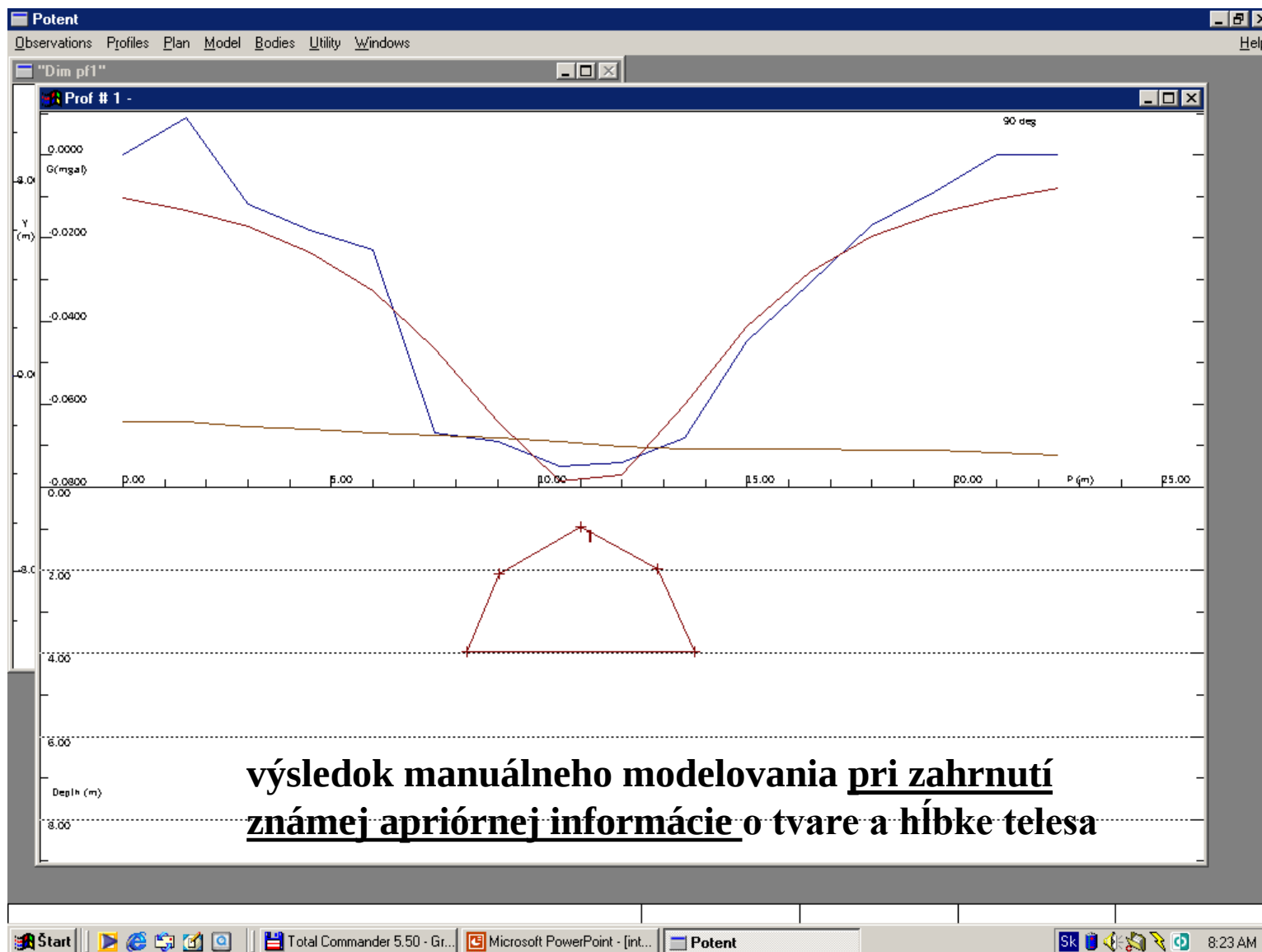
ošetrenie posunu polí v rámci programu GM-SYS



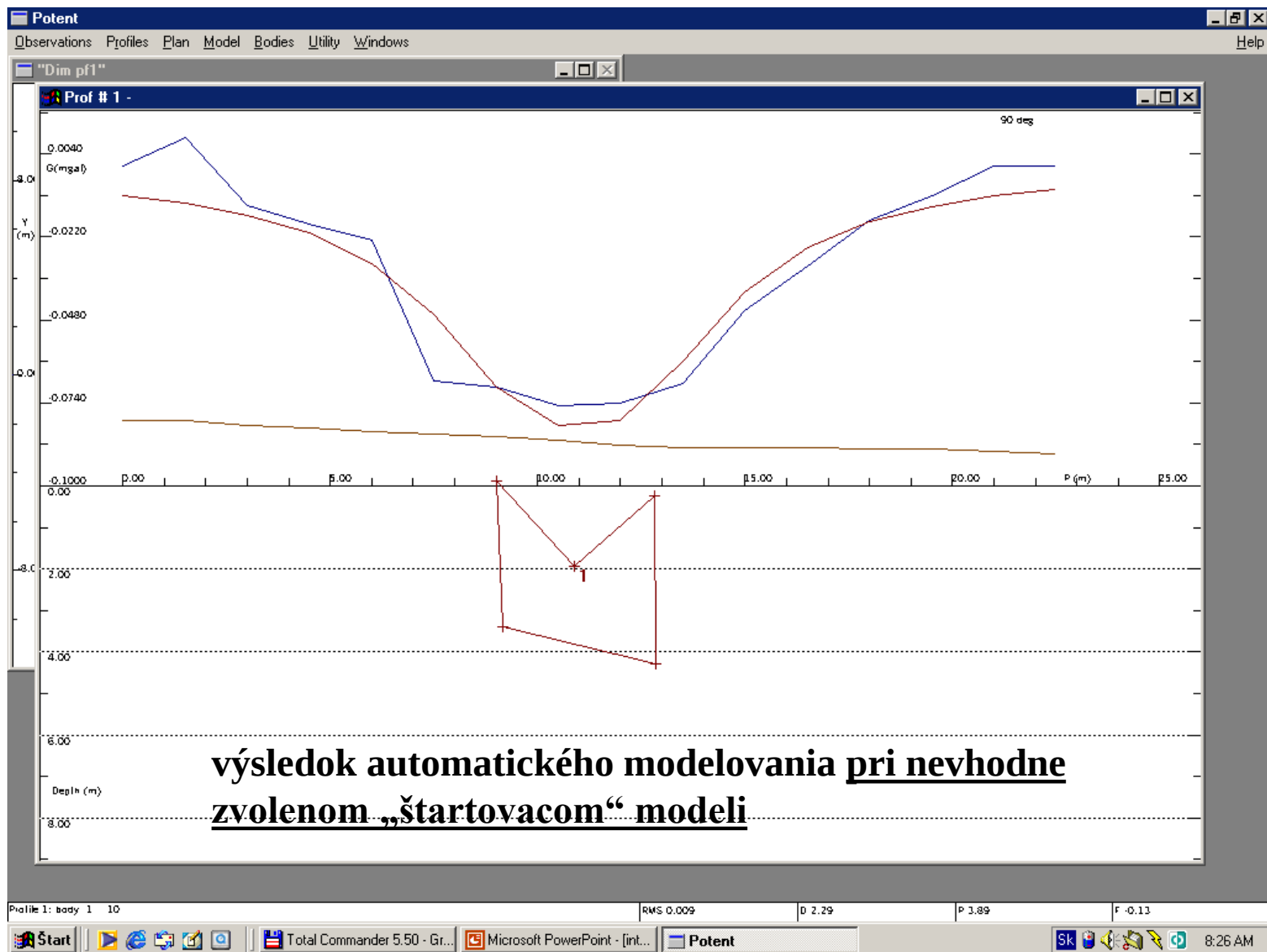
ošetrenie posunu polí v rámci programu Potent



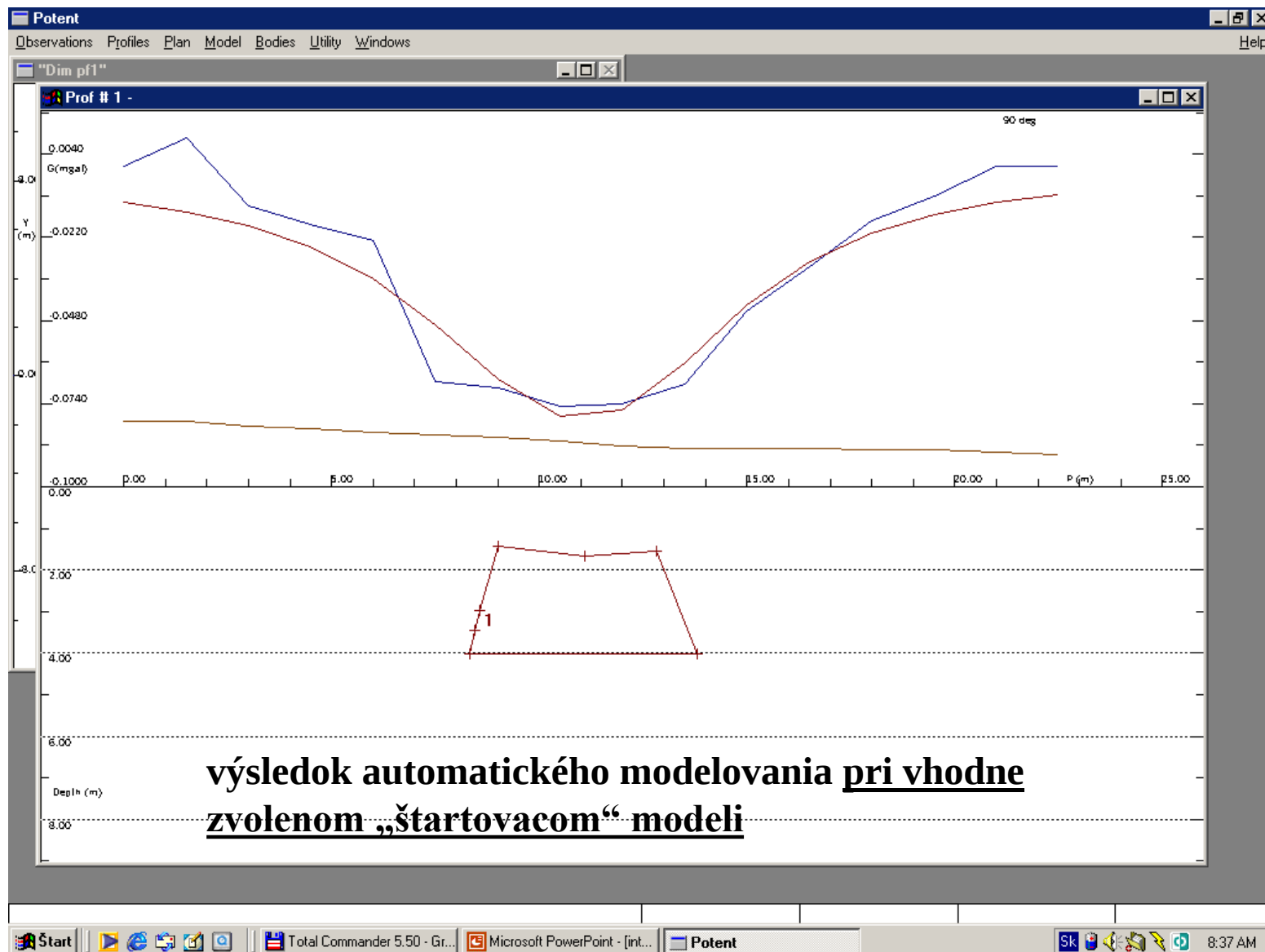
manuálne vs. automatické modelovanie (program Potent)



manuálne vs. automatické modelovanie (program Potent)



manuálne vs. automatické modelovanie (program Potent)

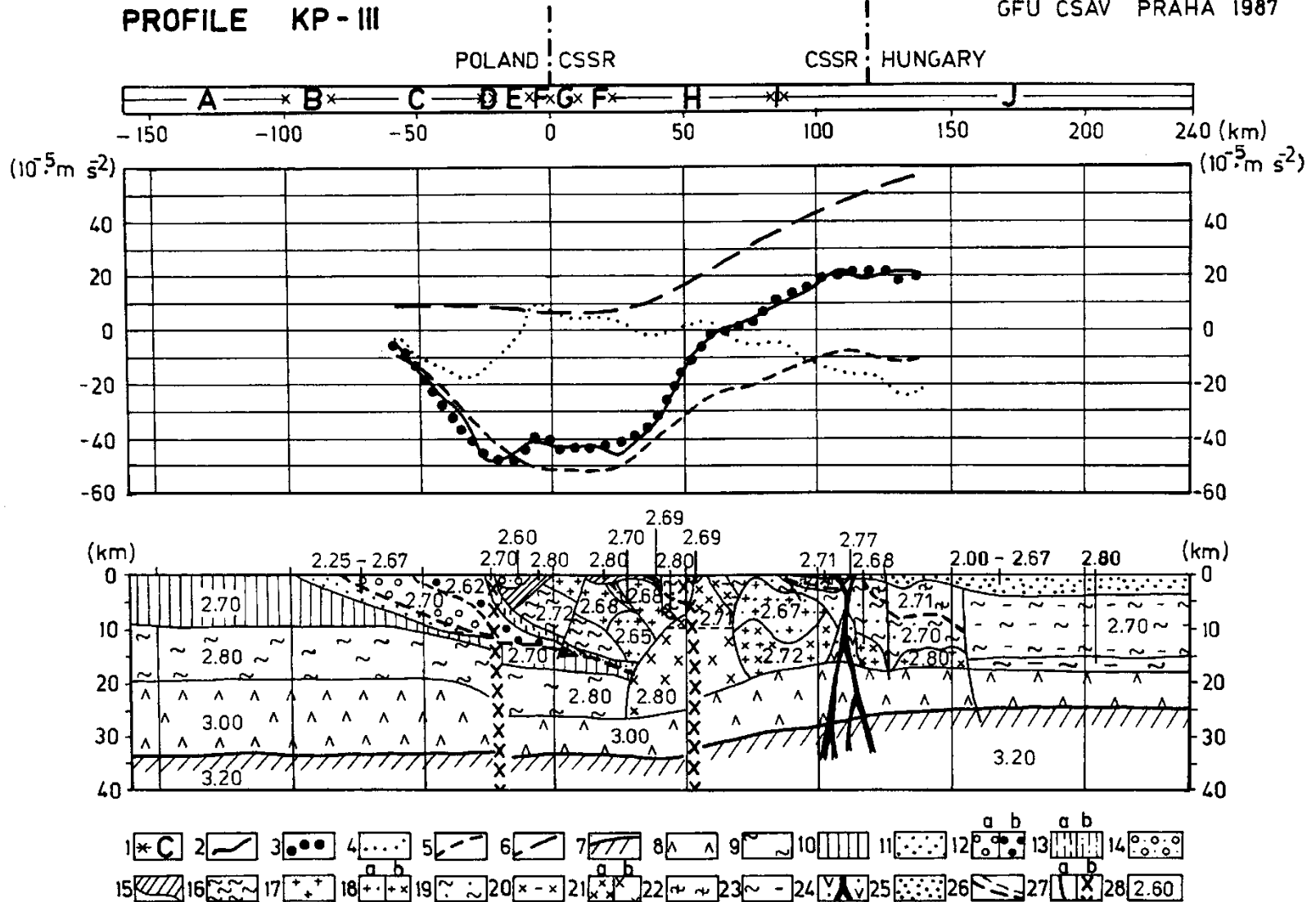


DENSITY MODEL

GFÚ CGV SAV BRATISLAVA 1987

GFÚ ČSAV PRAHA 1987

PROFILE KP - III

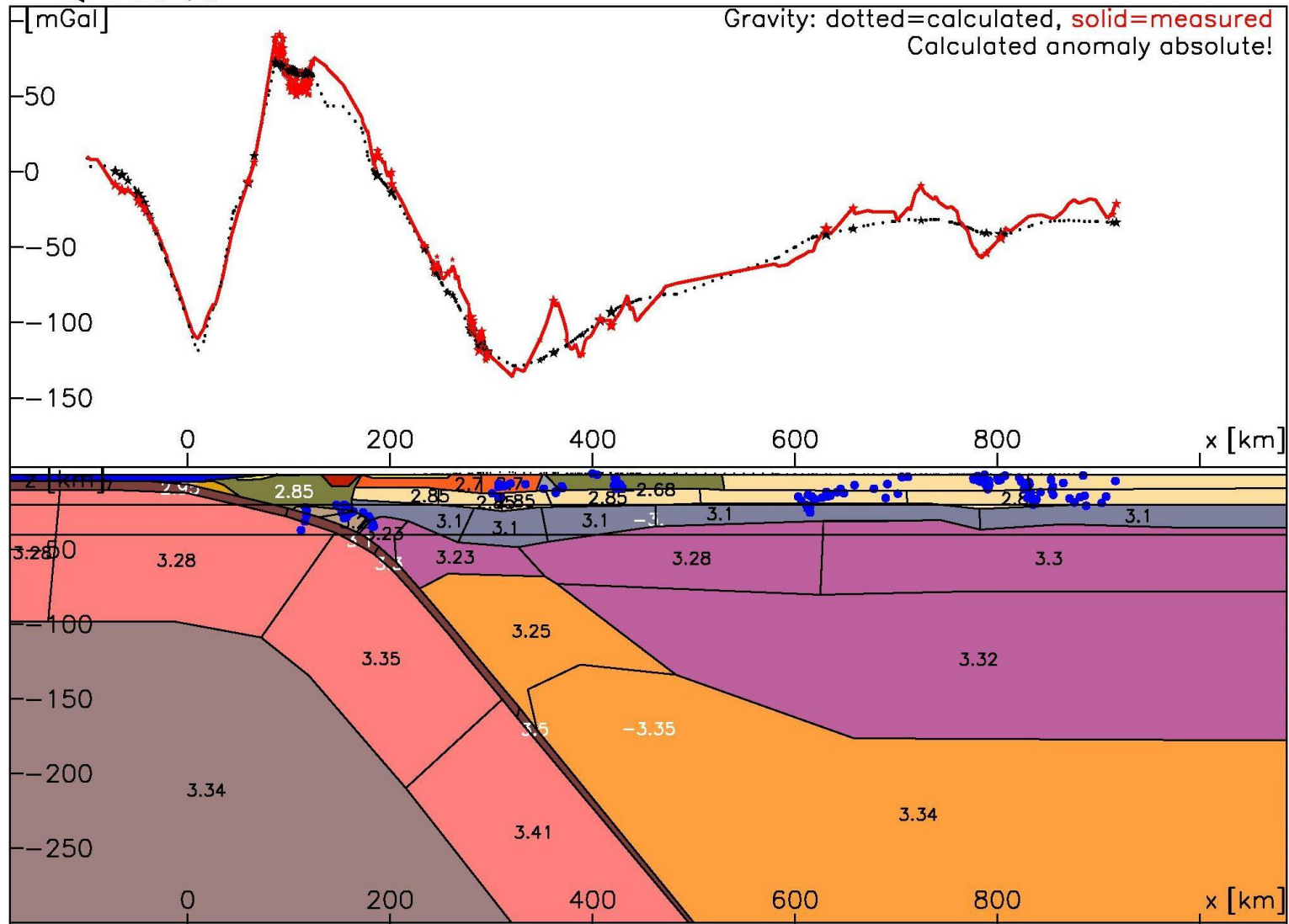


výsledok manuálneho modelovania litosférických štruktúr

výsledok manuálneho modelovania litosférických štruktúr (program IGMAS)



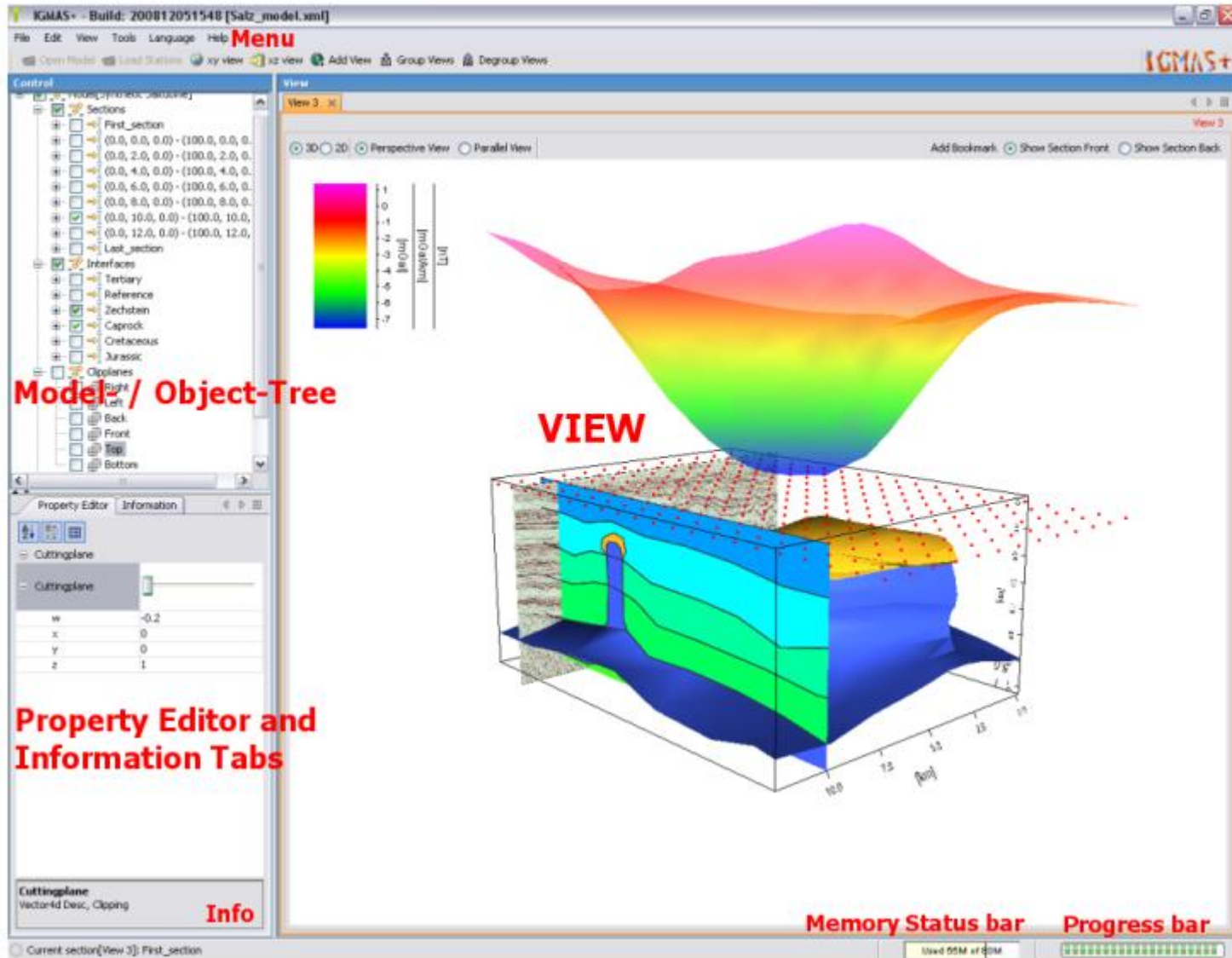
3-D Gravity and Magnetic Modeling
Along the Chilean Margin at 36–42S Vers. 2/ 2



interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

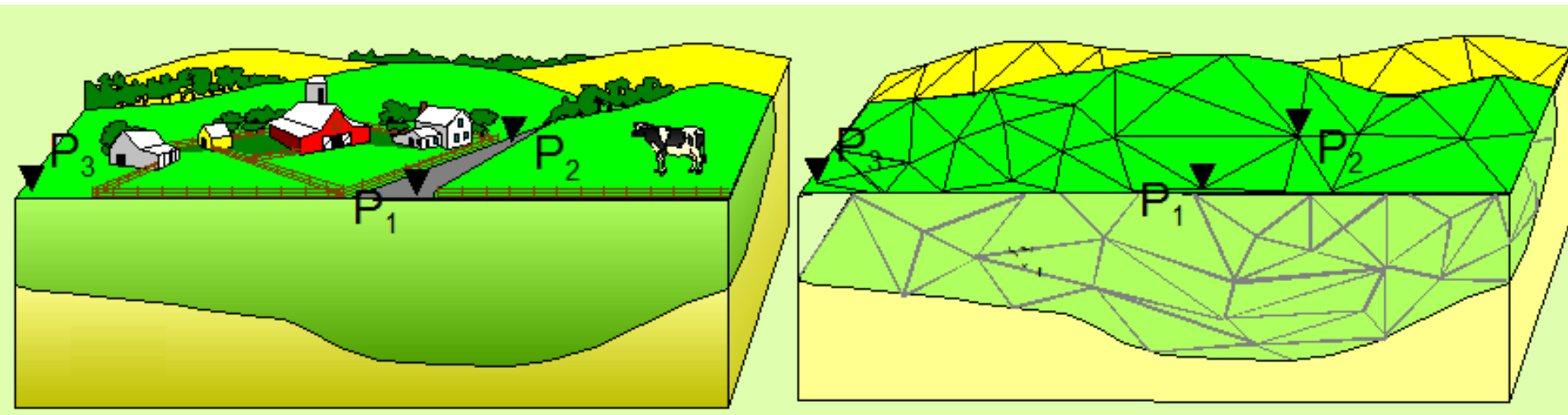
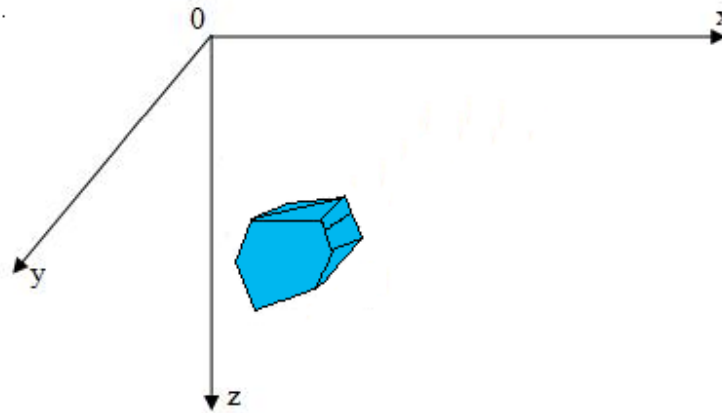
IGMAS+

The Igmas+ Layout



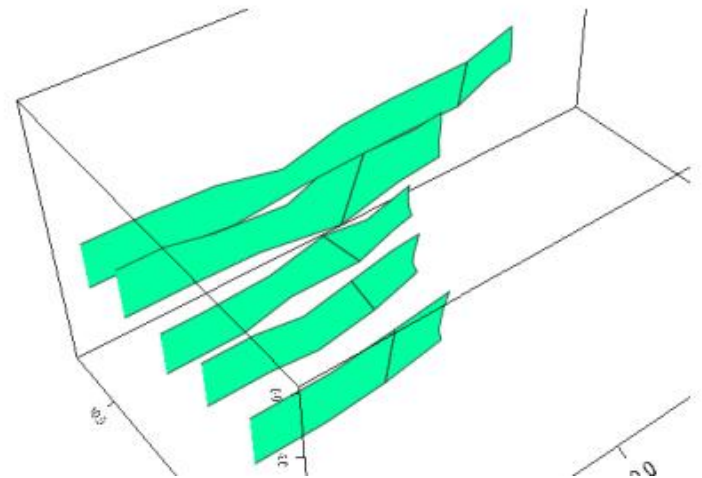
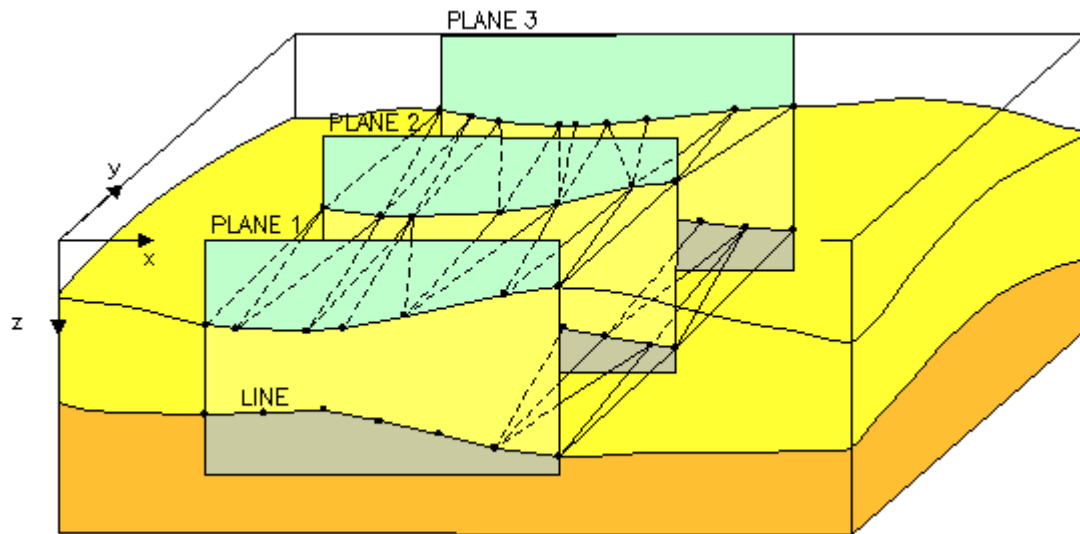
manuálne modelovanie litosférických štruktúr (program IGMAS)

program využíva koncept 3D polyédrov (Götze, Lahmayer, 1988)



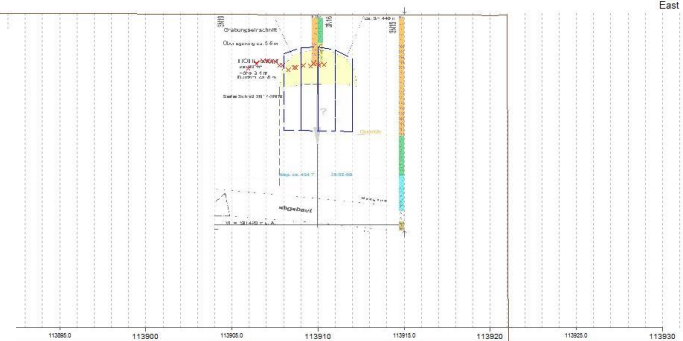
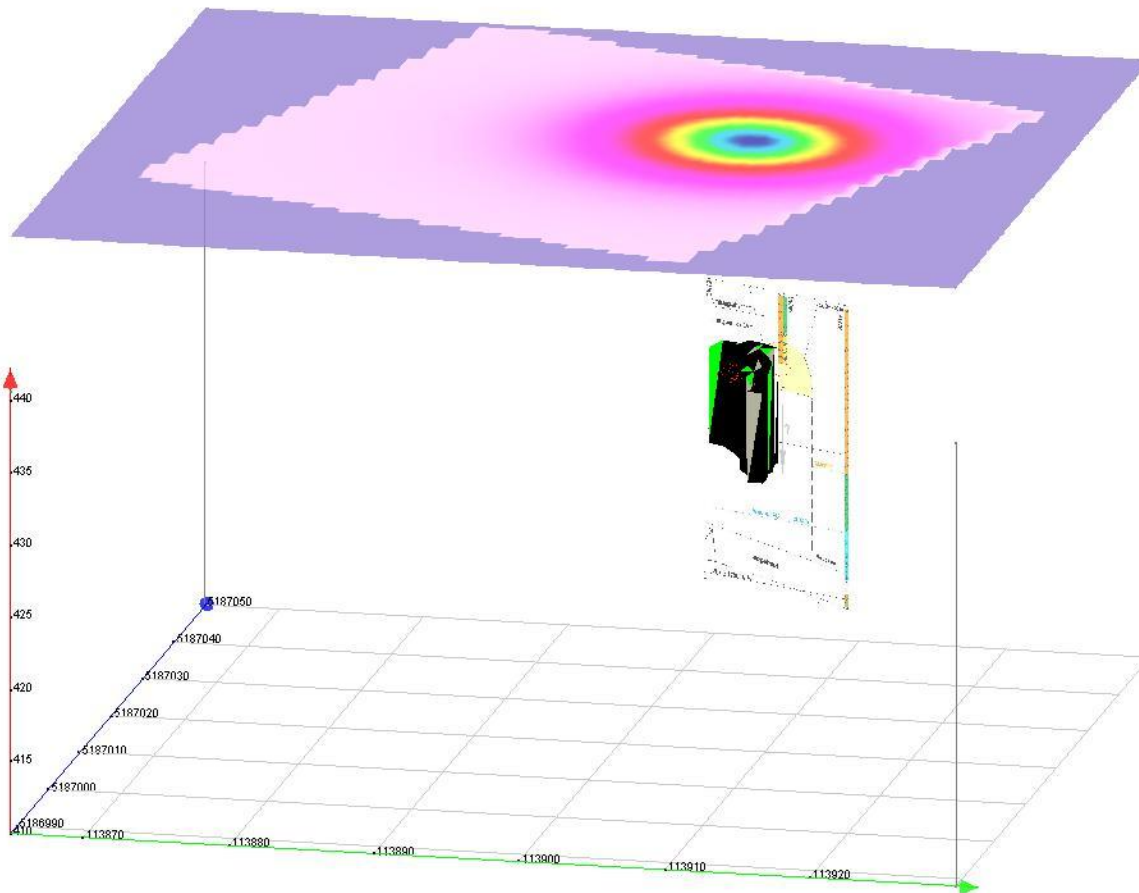
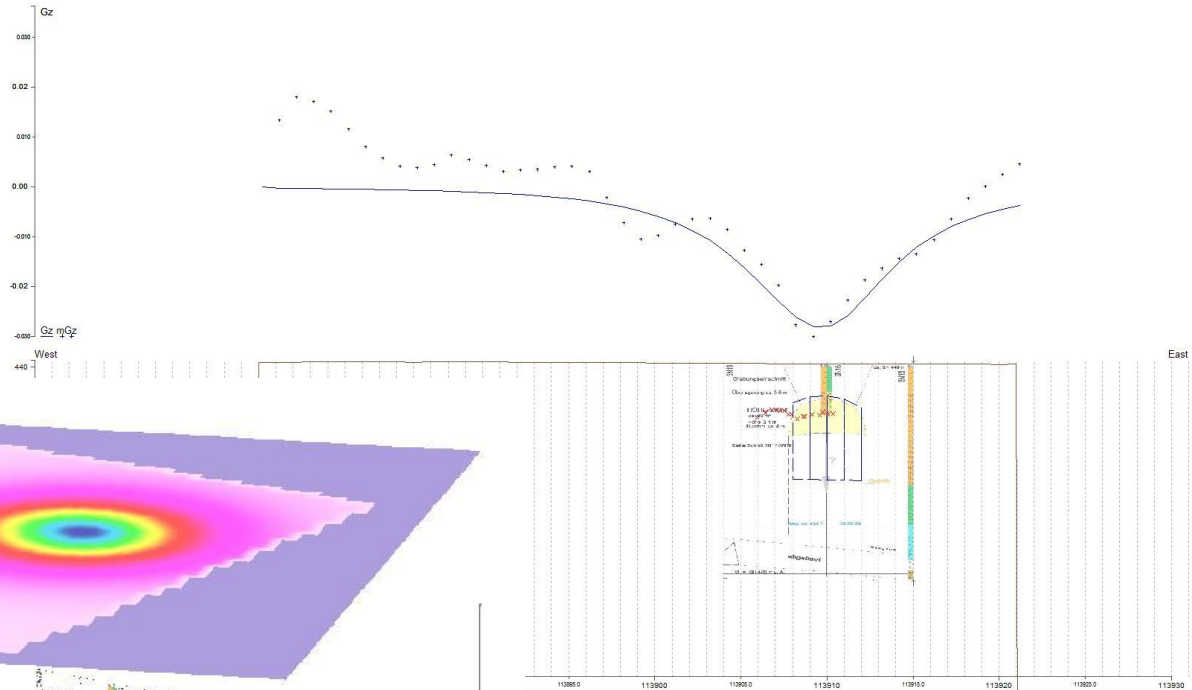
manuálne modelovanie litosférických štruktúr (program IGMAS)

tvary telies sa však zadávajú na profiloch
(vo vertik. rezoch), tieto sa potom medzi
sebou navzájom spájajú (pomocou triangulácie)



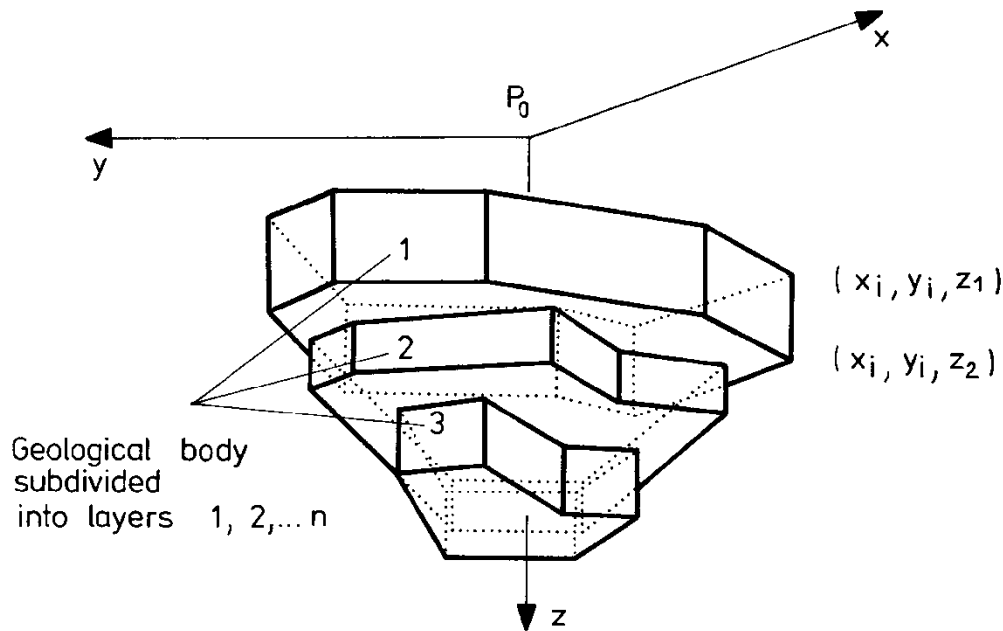
Mod3D (autor: Igor Cerovský, PhD.)

taktiež koncept
polyédrov – a zadávania
tvarov telies
cez profily



interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - modelovanie

starší prístup ku 3D modelovaniu:



Characteristics of elementary layers:

Layer no.	Depth interval [m]	Density
1	$z_1 - z_2$	ρ_1
2	$z_2 - z_3$	ρ_2
...	...	...

2.5D vertik. hranoly
(vzťah na výpočet účinku:
Smíšek, Plančár, Kršák, 1970)

upravený Talwaniho postup,
vhodný na modelovanie
účinkov výplní sediment.
panví

interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. nepriame metódy

(so zapojením apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- modelovanie
- tvorba odkrytých máp (stripped maps)
- metóda riešenia hustotného rozhrania

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy – odkrývanie (stripping)

základná úloha pri odkrývaní je namodelovať [známe](#) hustotné nehomogenity a ich účinok odstrániť z polí ÚBA alebo reziduálnych anomálií,

[výstupom je pole, ktoré je lepšie geologicky interpretovateľné](#)

apriórne údaje, využívané pri odkrývaní: vrty, výsledky karotáže, seizmika, ostatné geofyzikálne a geologické metódy

najčastejšie modelované útvary: kvartér, neogén

(v mikrogravimetrii – známe dutiny)

ale môžu to byť aj hlbšie nehomogenity (napr. priebeh MOHO)

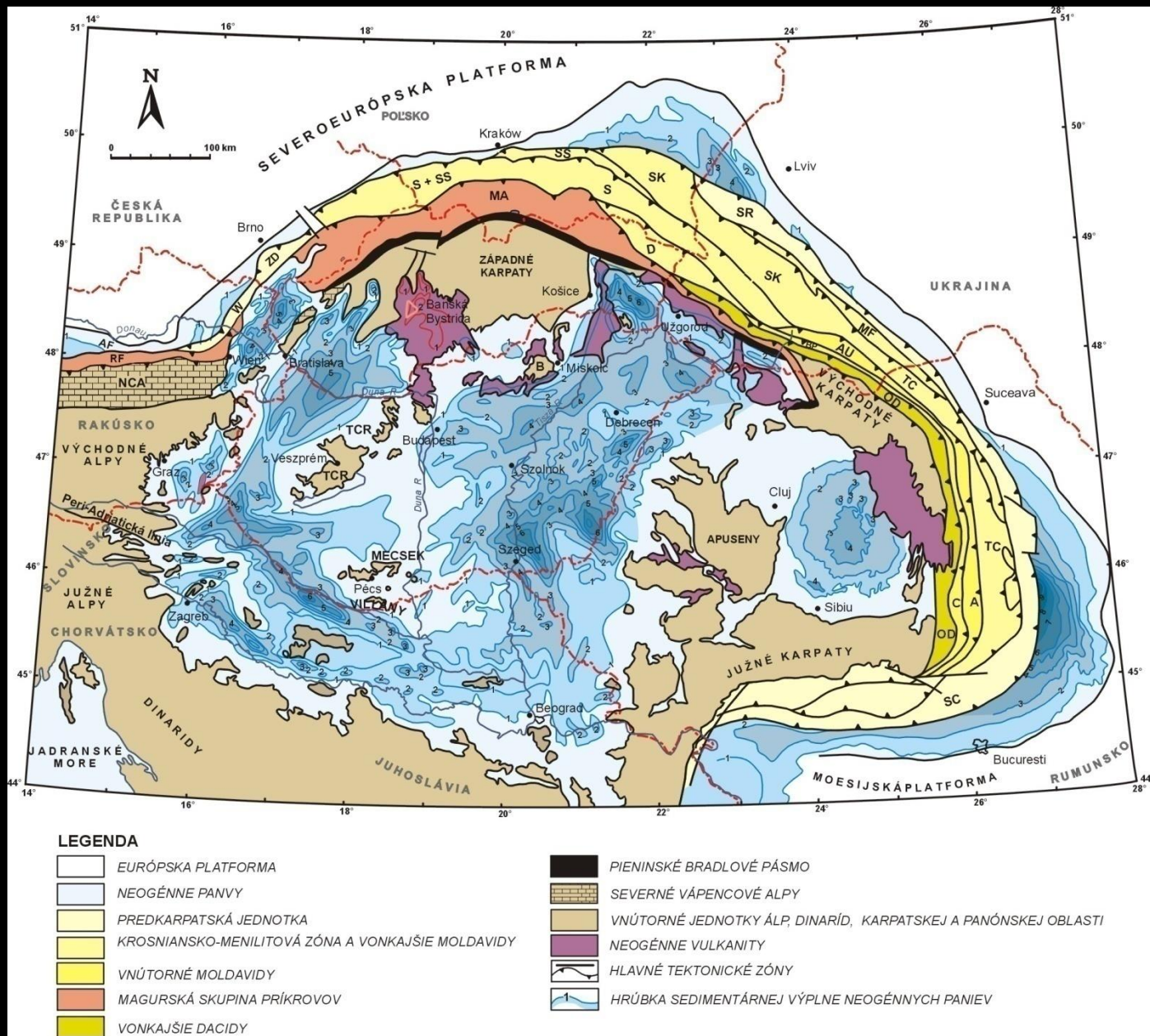
interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - odkrývanie

základná úloha pri odkrývaní je namodelovať [známe](#) hustotné nehomogenity
a ich účinok odstrániť z polí ÚBA alebo reziduálnych anomálií,

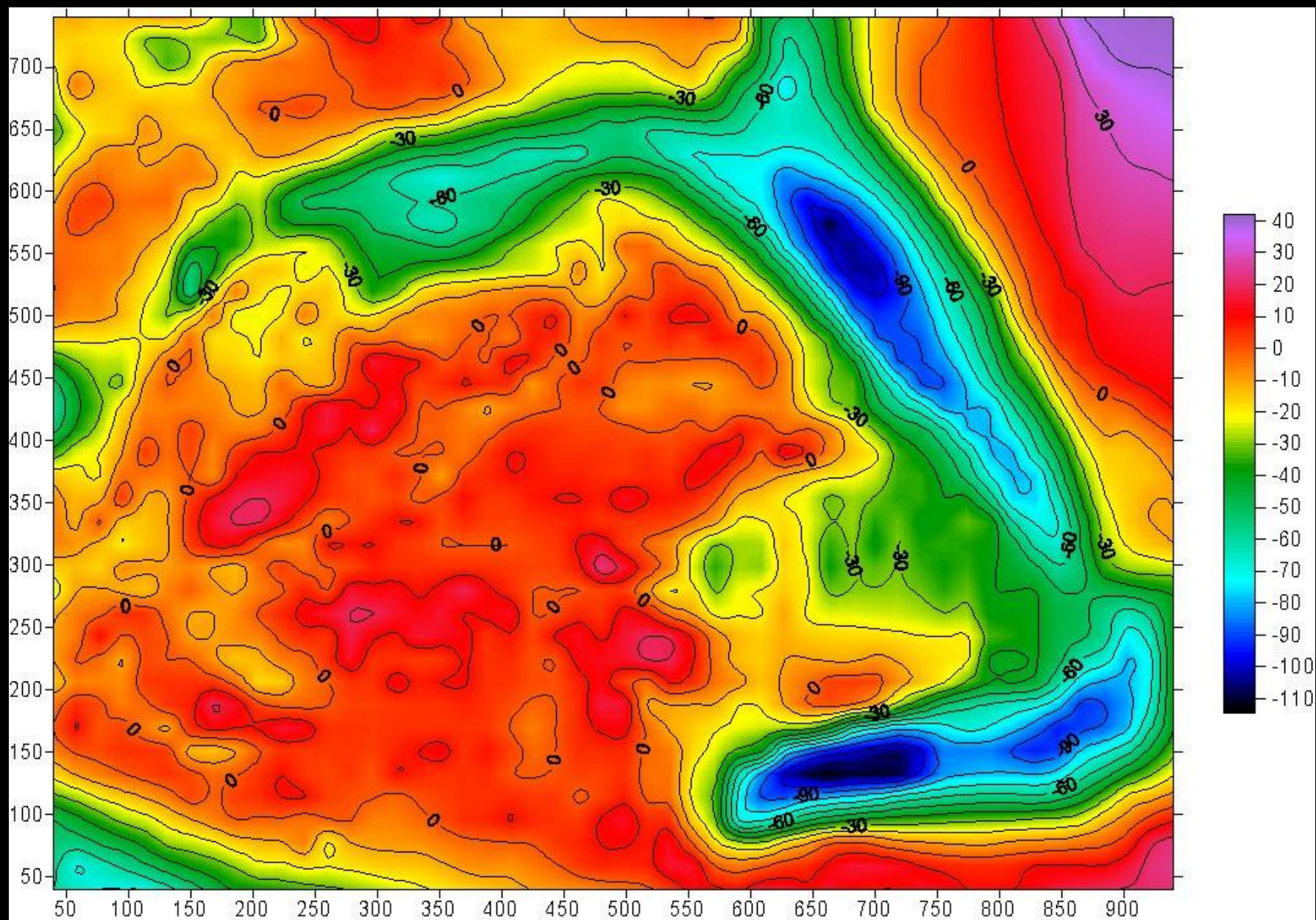
modelovanie – pomocou proximácie jednoduchých telies,
ako 3D pravouhlé hranoly, 2.5D horiz. alebo vert. hranoly, 3D polyédre,
atď.

týmto spôsobom boli odkryté u nás účinky veľkých neogénnych panví
(Podunajská, Východoslovenská, Popradská/Liptovská, Turčianska),...

dá sa povedať, že česko-slovenská škola sa v prípade aplikácií
metódy odkrývania dostala veľmi ďaleko

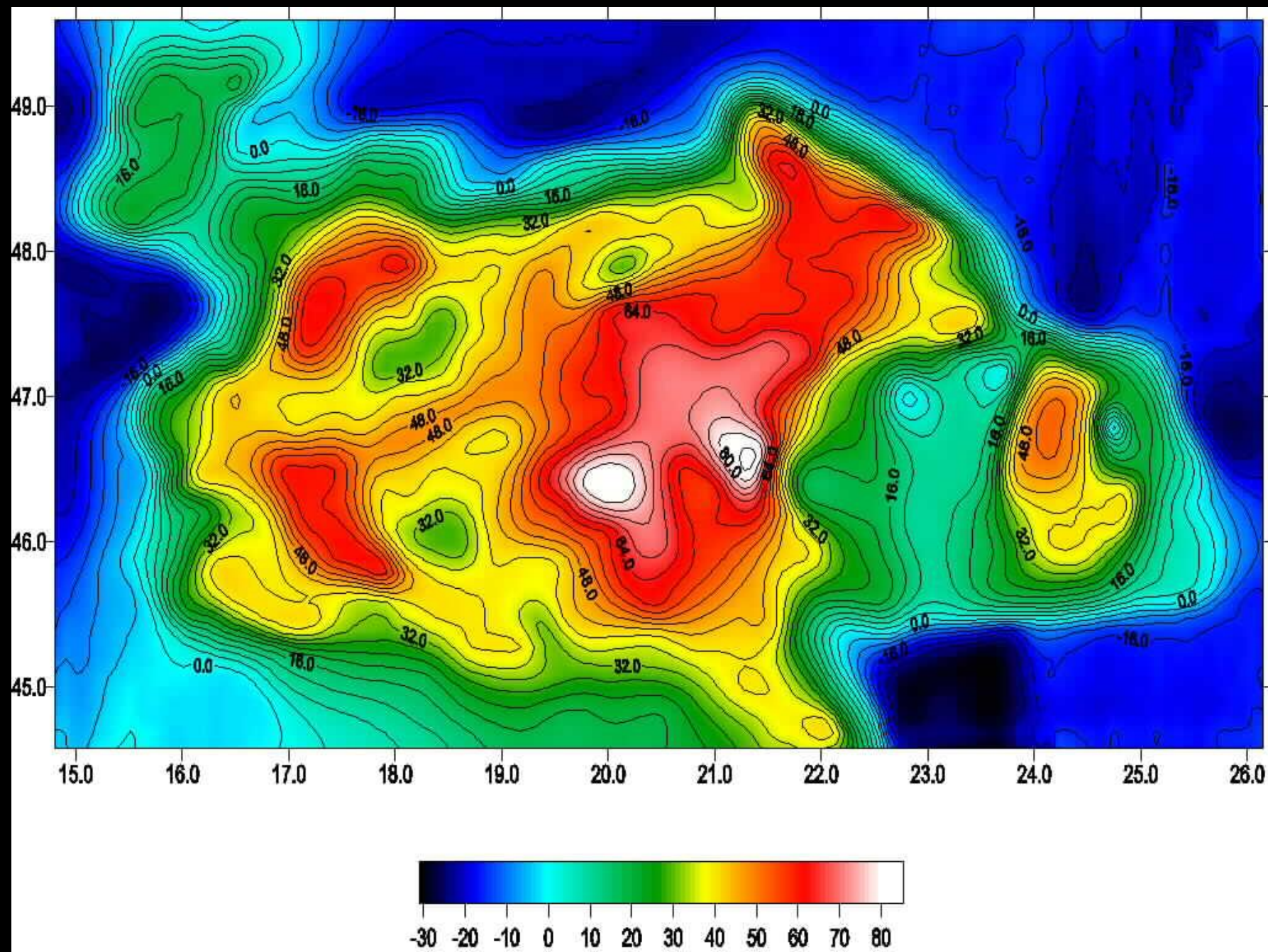


odkrytie účinku vonkajších Karpát v karpatsko-balkánskej oblasti (Bielik, 2005)



ÚBA v karpatsko-balkánskej oblasti

výsledok - odkrytá mapa v karpatsko-balkánskej oblasti



d'alší pokus - odkrytá mapa v karpatsko-balkánskej oblasti na základe
výsledkov projektu CELEBRATION (3D modelovanie. Tašárová et al.. 2009.
Tectonophysics)

vstupné dáta
(hĺbky rozhraní)

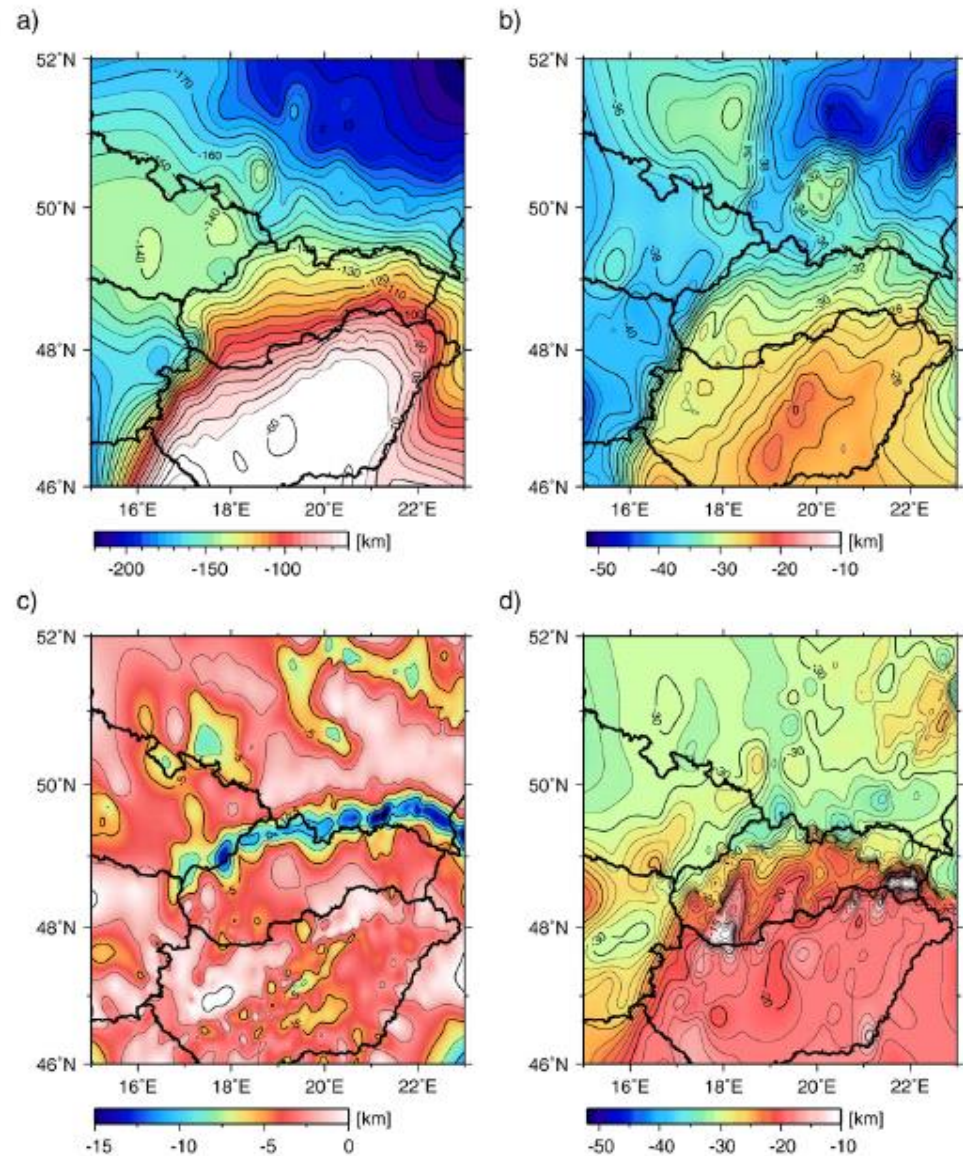


Fig. 7. Maps showing depth to the major density boundaries derived from the 3-D modelling: a) lithosphere-asthenosphere boundary (LAB), b) crust/mantle boundary (Moho), c) bottom of the sedimentary basins, and d) top of the lower crust.

d'alší pokus - odkrytá mapa v karpatsko-balkánskej oblasti na základe výsledkov projektu CELEBRATION (3D modelovanie, Tašárová et al., 2009, Tectonophysics)

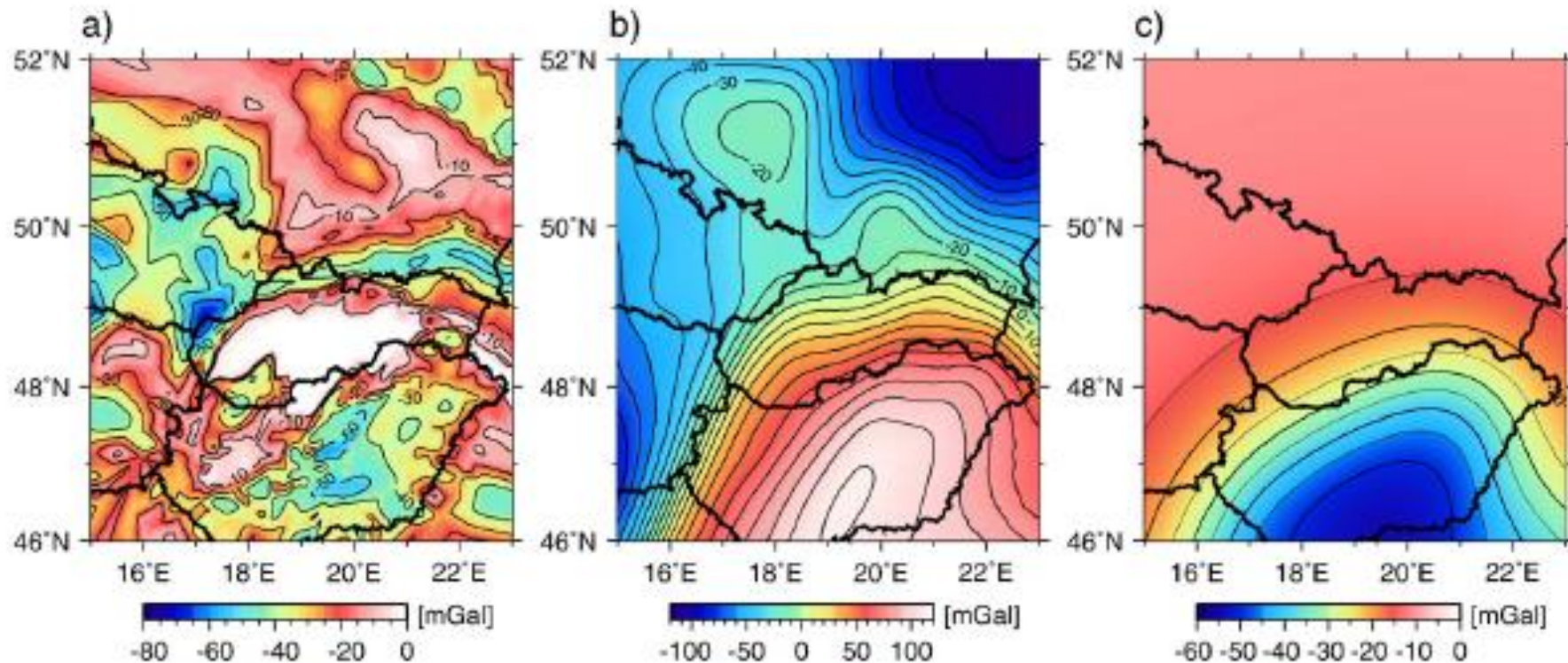
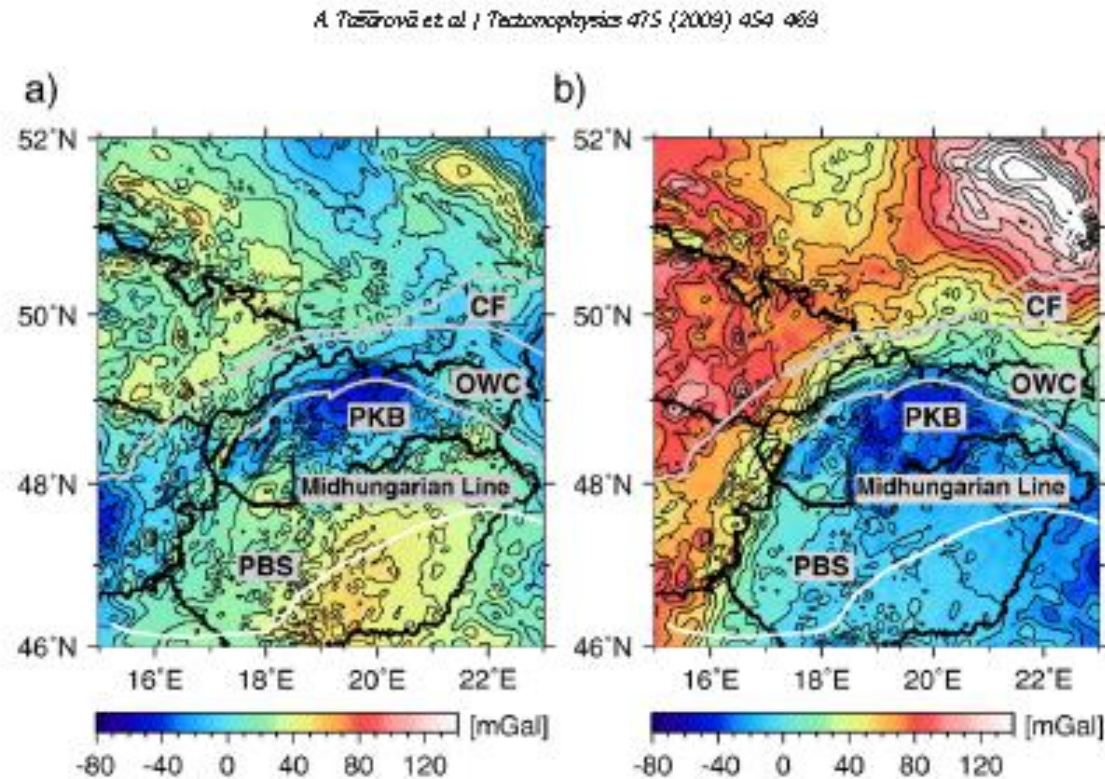


Fig. 8. Gravity effects calculated from the gravity model for a) sediments, b) Moho, c) LAB

vypočítané účinky najdôležitejších rozhraní

d'alší pokus - odkrytá mapa v karpatsko-balkánskej oblasti na základe výsledkov projektu CELEBRATION (3D modelovanie, Tašárová et al., 2009, Tectonophysics)



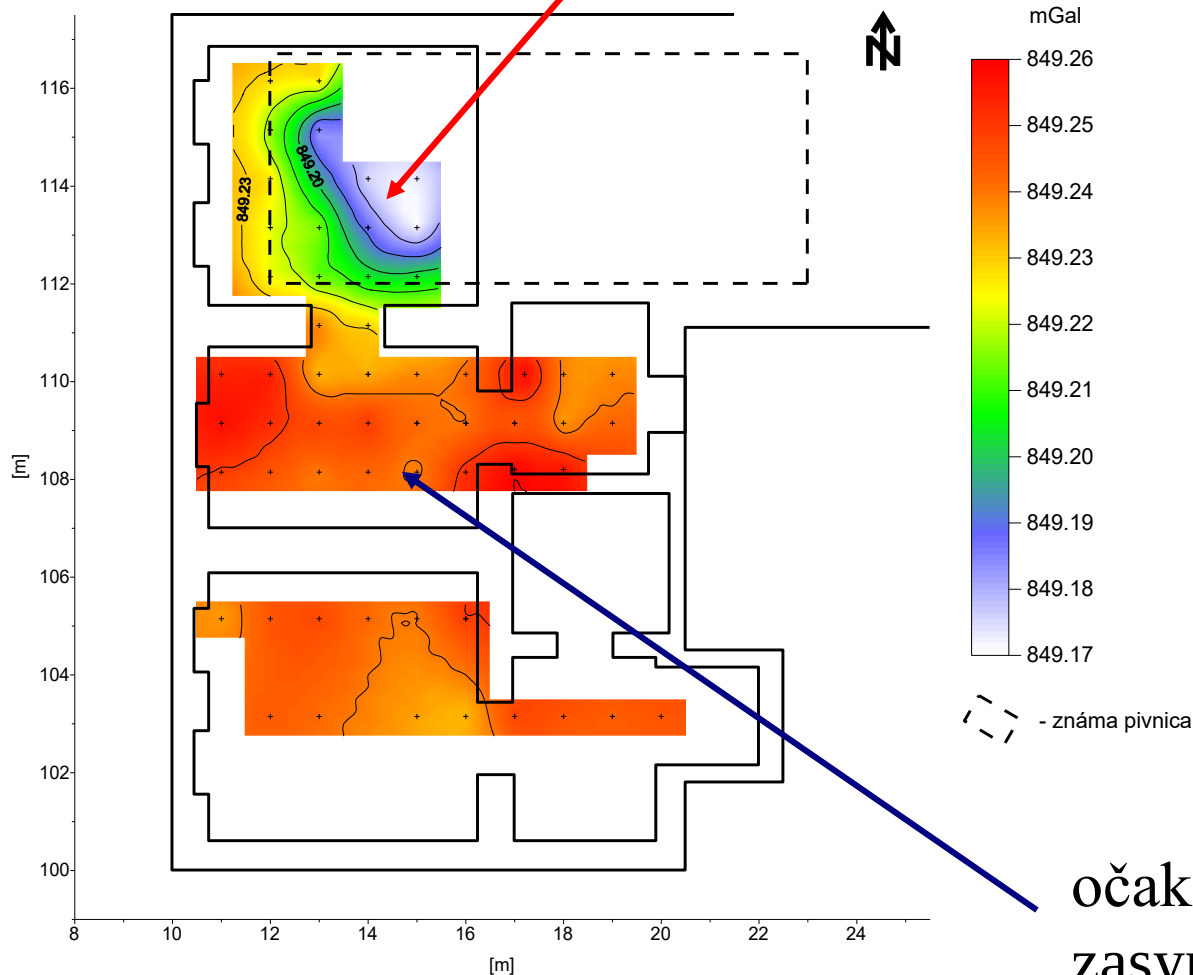
residual gravity anomalies calculated from gravity stripping: a) sediment stripped map and b) complete stripped map (for explanation see text). The thick grey lines mark geological units of the Western Carpathian-Pannonian Basin region. Also, the Midhungarian Line (white) from Fig. 2 shows the border between the ALCA and Tisza-Dacia vs. Acronyms as in Fig. 1

výstup – kombinácia reziduálnych a odkrytých máp
(odkrývanie aj hlbokých partií)

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - odкрývanie

ÚBA z mikrogravimetrických meraní vo Sv. Jure

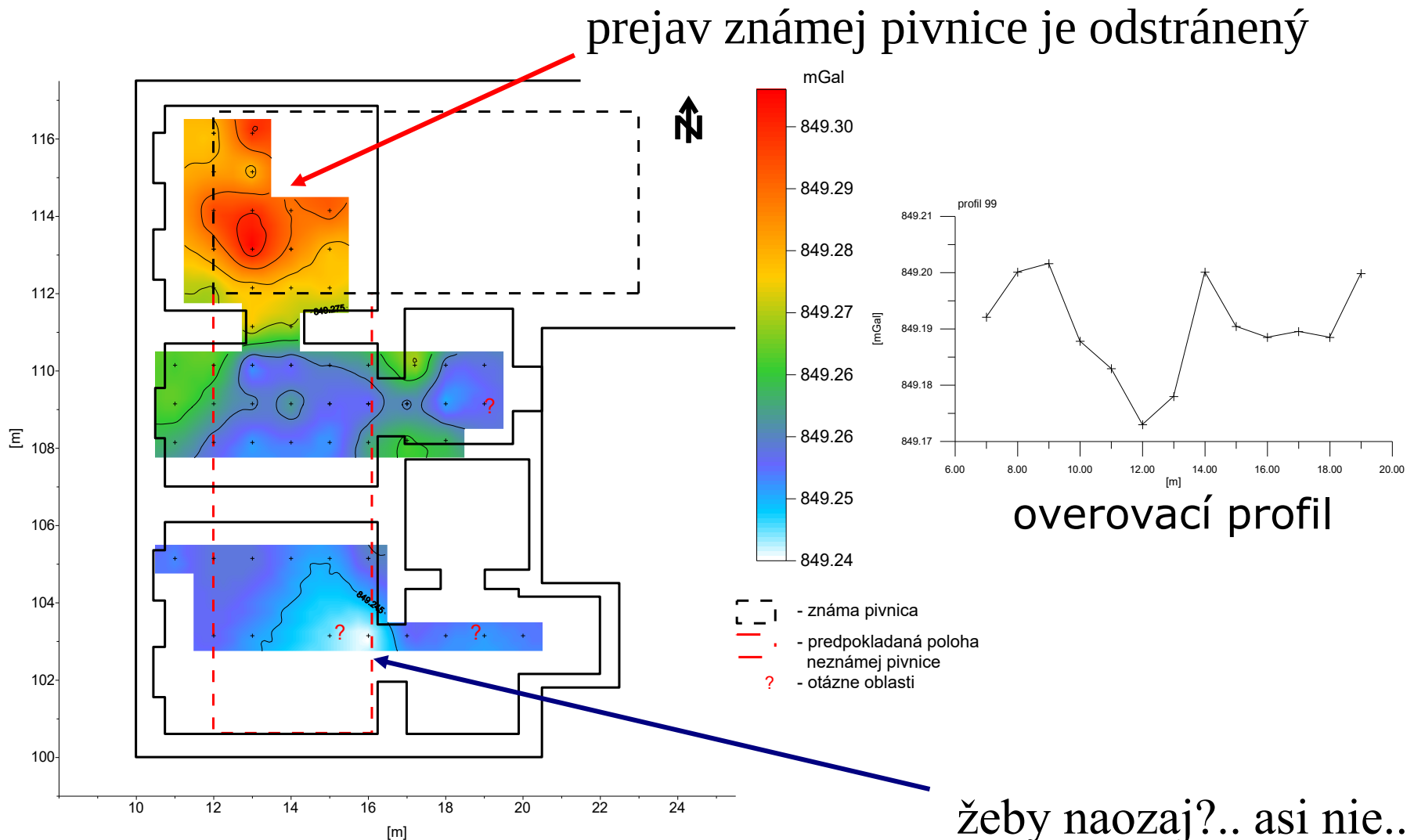
prejav známej pivnice (hmmm, vínnej)



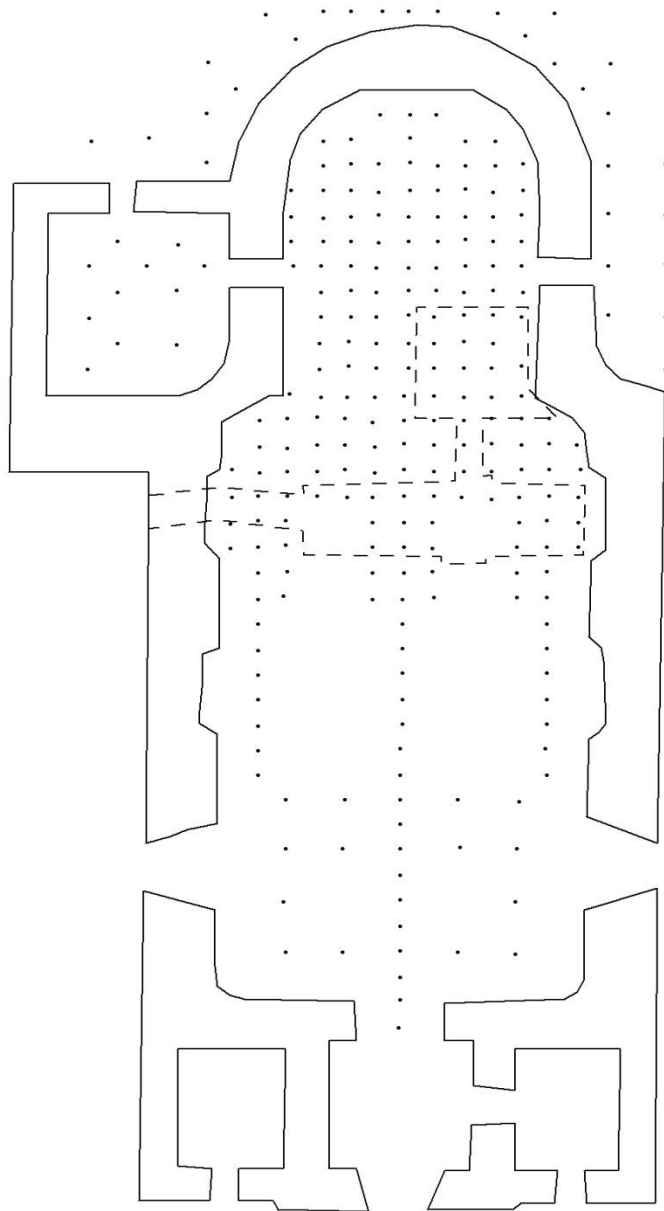
očakávaná prítomnosť
zasypanej pivnice
(hmmm, tiež)

interpretácia v gravimetrii, nepriame metódy - odkrývanie

ÚBA z mikrogravimetrických meraní vo Sv. Jure



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



860

M. BLÍŽKOVSKÝ

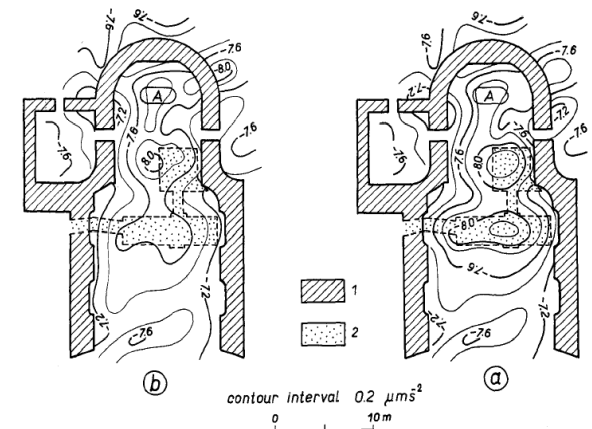
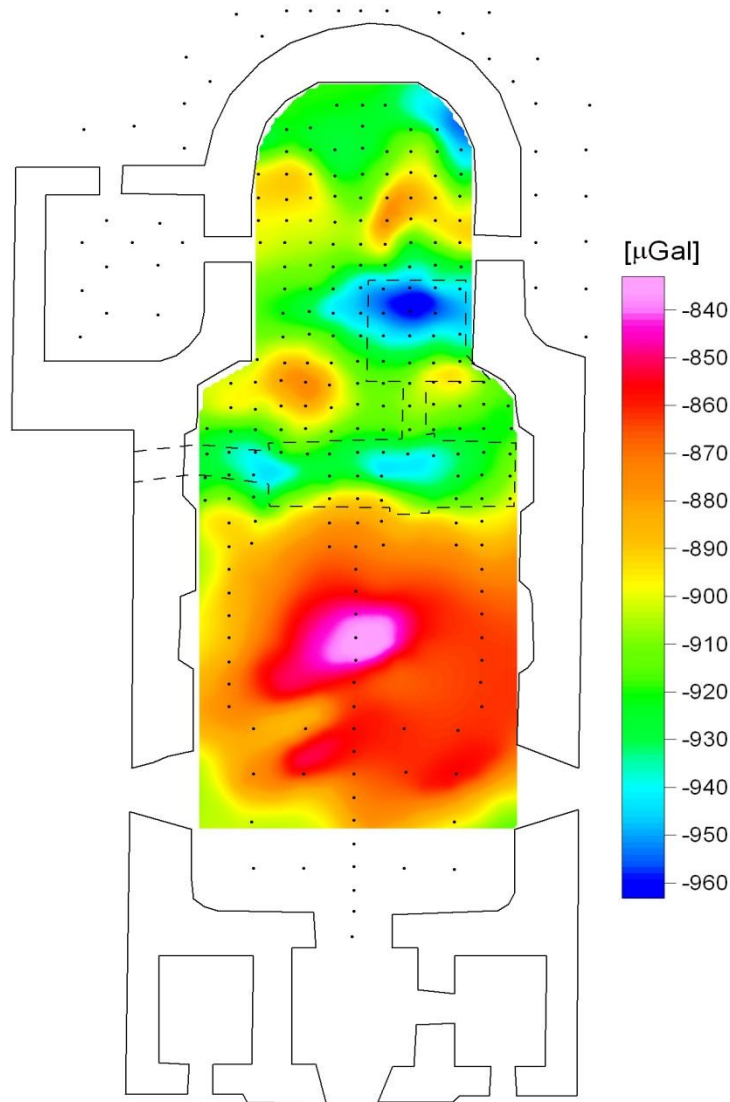


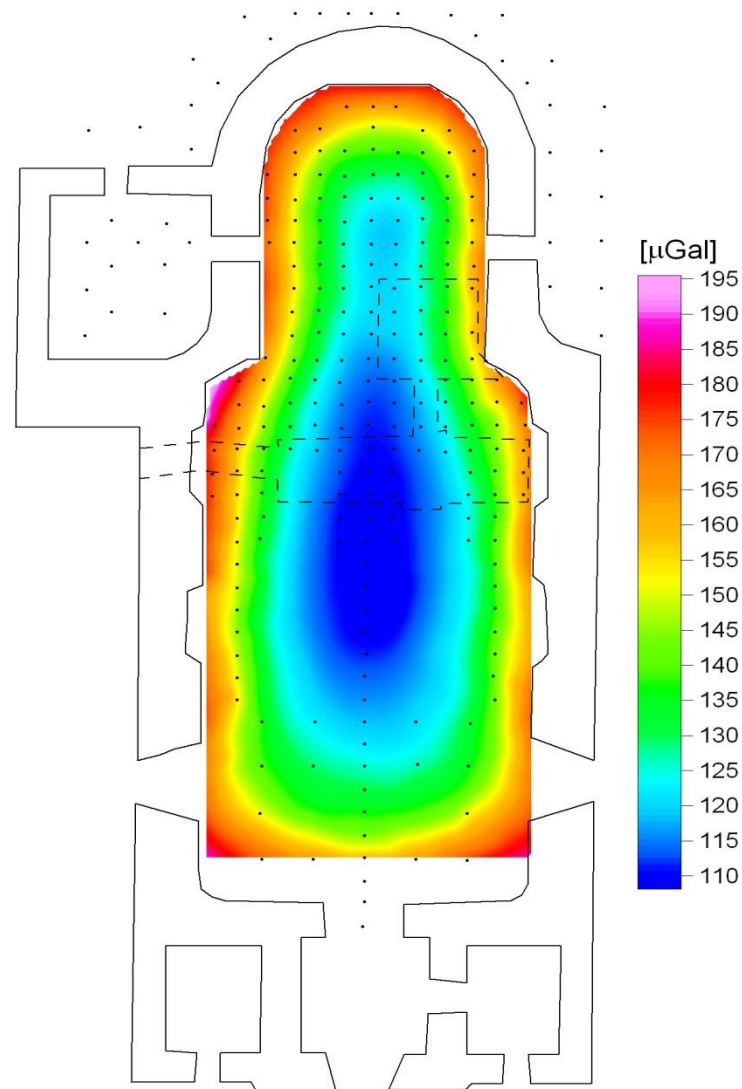
Fig. 10. Maps of Bouguer anomalies in the St. Venceslas church Tovačov. a) map corrected for gravity effect of walls, b) map corrected for gravity effects of walls and crypts.

- mikrogravimetria v sieti 1 x 1 m
a 2 x 2 m, spolu 262 bodov
- stredná kvadratická chyba meraného
ťažového zrýchlenia = 0.011 mGal
- interpretované anomálie s
amplitúdou 0.06 mGal = 60 μ Gal

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

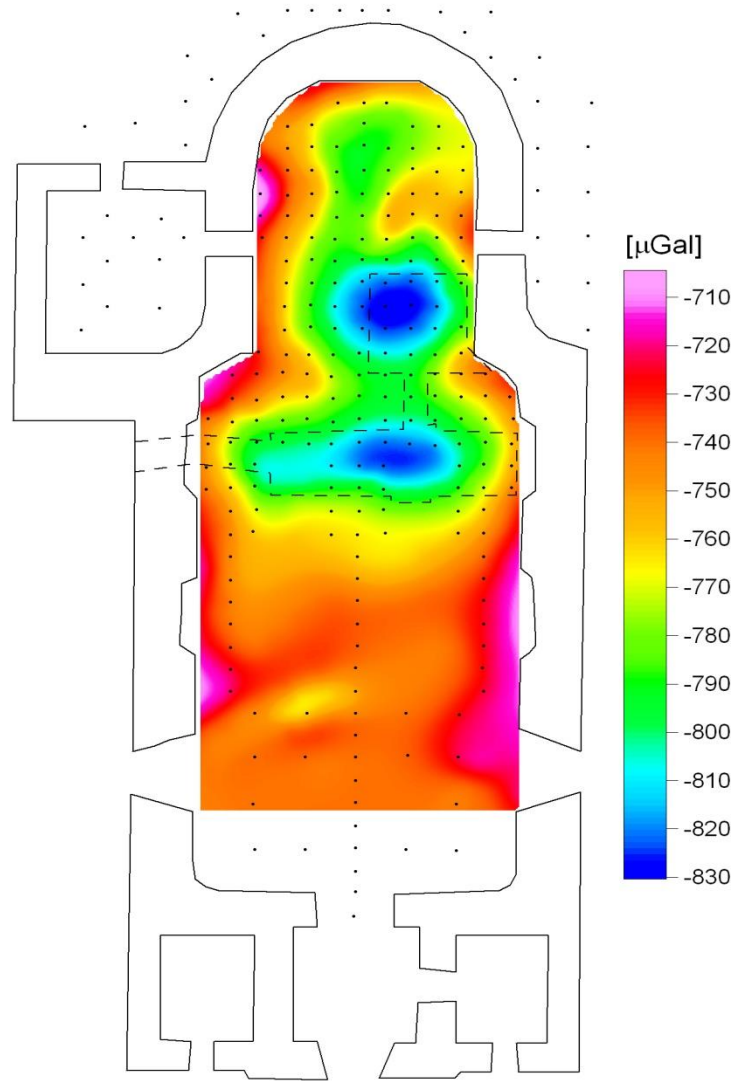


neúplná Bouguerova anomália
(bez topokorekcií a opráv na účinky múrov)

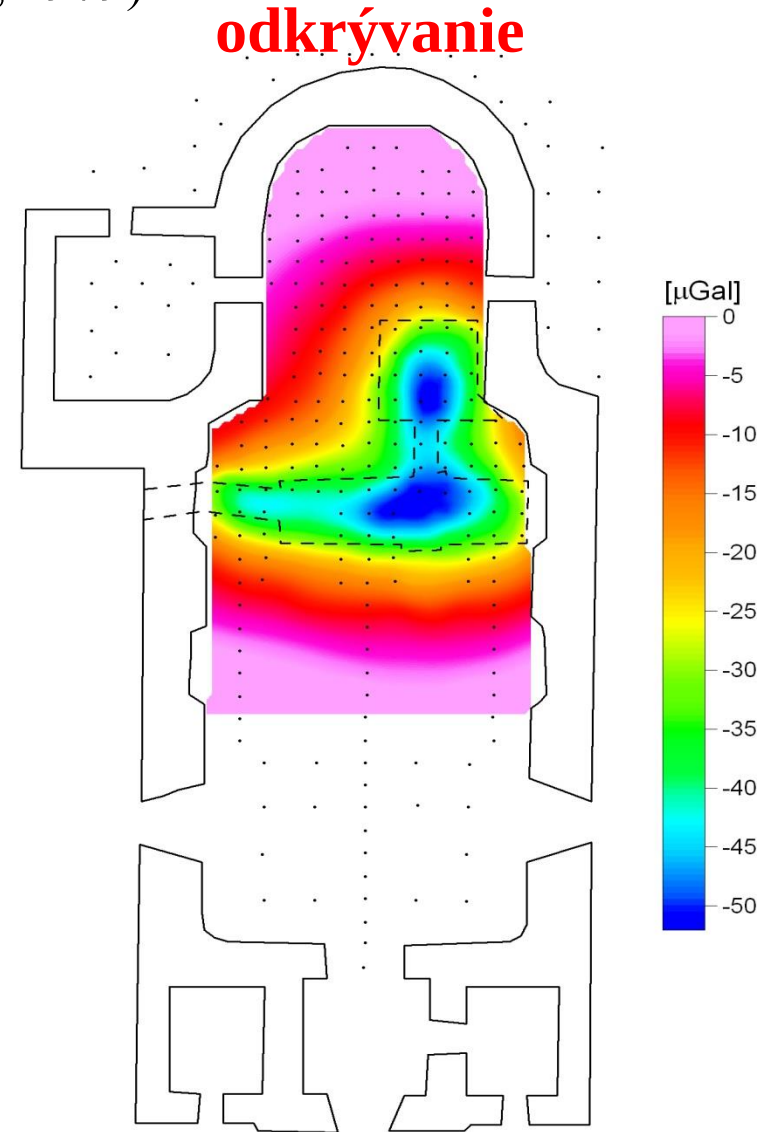


gravitačný účinok múrov

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

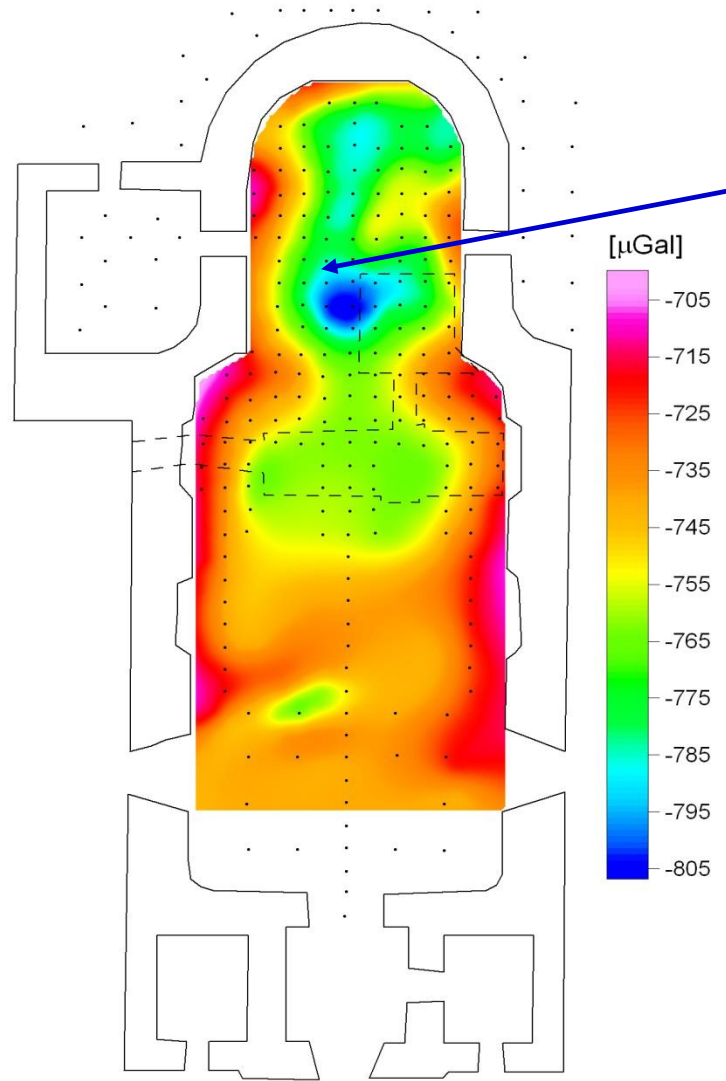


úplná Bouguerova anomália
(s opravami na účinky múrov)



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: úplná odkrytá (stripped) Bouguerova anomália
(s odstránením účinkov známych dutín)

interpretáčné metódy v gravimetrii

tzv. nepriame metódy

(so zapojením apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- modelovanie
- tvorba odkrytých máp (stripped maps)
- metóda riešenia hustotného rozhrania

interpretácia v gravimetri - priame metódy

metódy riešenia priebehu hustotného rozhrania

hustotné rozhranie: prechod medzi dvoma prostrediami
(horizontálne, vertikálne, šikmé, nepravidelné)

vertikálne (sub-vertikálne) rozhrania sú detekované veľmi dobre
(najmä ich plošná poloha a horné ohraničenie) aj bez potreby
doplňujúcej apriórnej informácie

horizontálne (sub-horizontálne) rozhrania sú detekované iba
za určitých podmienok:

1. v poli ÚBA sa odráža dominantným spôsobom prejav iba jedného rozhrania (regionálne zložky sú kvázi konštantné alebo odstránené)
 2. je dostupná apriórna informácia o hĺbke rozhrania a hustotnom kontraste na ňom minimálne v jednom bode (vrt, VES)
- (je zaujímavé, že v oboch prípadoch často postačuje jednoduchá aproximácia Bouguerovou doskou)

interpretácia v gravimetri – (polo)priame metódy

metódy riešenia priebehu hustotného rozhrania

riešenia pre horizontálne (sub-horizontálne) rozhranie:

linearizácia – aproximácia Bouguerovou doskou (po častiach)

nelineárny prístup – Backus and Gilbert (1970), Parker (1974)

regularizácia – Mudrecova a Filatov (1975) (ruská škola)

interpretácia v gravimetri – (polo)priame metódy

metódy riešenia priebehu hustotného rozhrania

riešenia pre horizontálne (sub-horizontálne) rozhranie:

linearizácia – aproximácia Bouguerovou doskou (po častiach)

Dobeš a Válek (1959) a Dobeš (1968) (skriptá, str. 174 - 182)

Quereshi and Mula (1971), Geophysical Prospecting

a iní ...

interpretácia v gravimetri – (polo)priame metódy

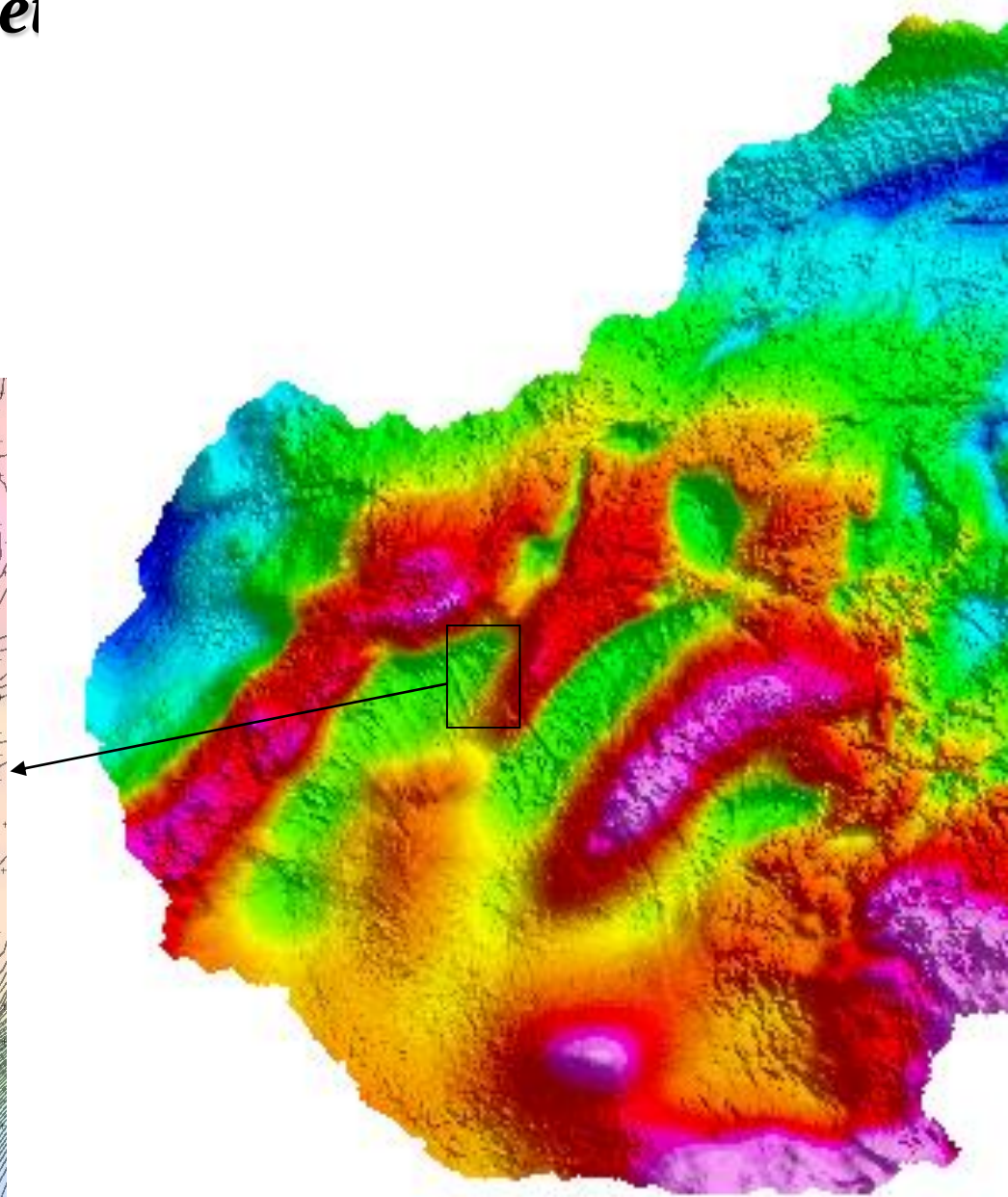
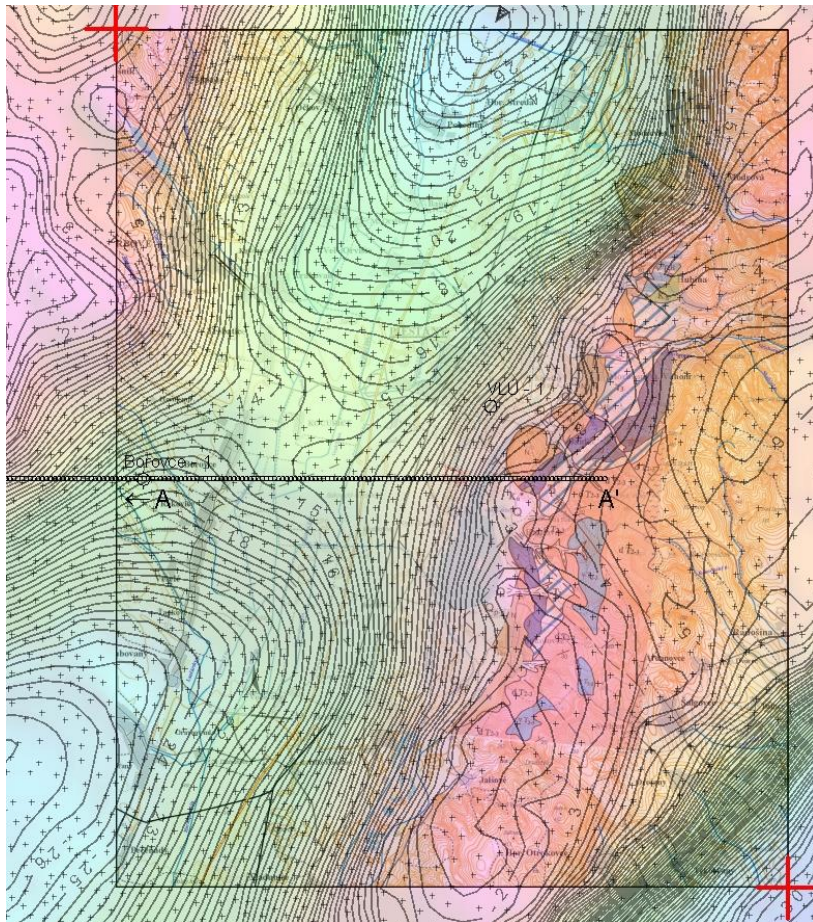
subhorizontálne hustotné rozhranie (Quereshi and Mula, 1971)

1. odstránenie regionálneho poľa (prejavu hlbších štruktúr) -
aproximácia metódou LSQ (polynóm 1. alebo 2. stupňa)
(určenie poľa Δg_{rez}) – veľmi dôležitý krok
 2. odhad hustotného kontrastu $\Delta \rho$ (vrt, petrofyzika, hypotéza?)
 3. definícia štartovacieho modelu, ktorý musí byť minimálne
v jednom bode opretý o vrt alebo výstup štruktúry na povrch
 4. výpočet rozdielu interpretovanej a modelovanej krivky
($\Delta g = \Delta g_{\text{rez}} - \Delta g_{\text{mod}}$)
 5. z rozdielov Δg sa určia opravy reliéfu modelu Δh na základe
aproximácie Bouguer. doskou $\Delta h = \Delta g / 2\pi\kappa\Delta\rho$
 6. štartovací model sa opraví o získané hodnoty Δh
 7. body č.4, 5 a 6 sa aplikujú opakovane niekoľko krát (napr. 10-20)
- (zaujímavé je, že metóda konverguje rýchlejšie pri použití $\Delta h = \Delta g / \pi\kappa\Delta\rho$)

interpretácia v gravimetrii

subhoriz. rozhranie

príklad – štúdia Piešťany

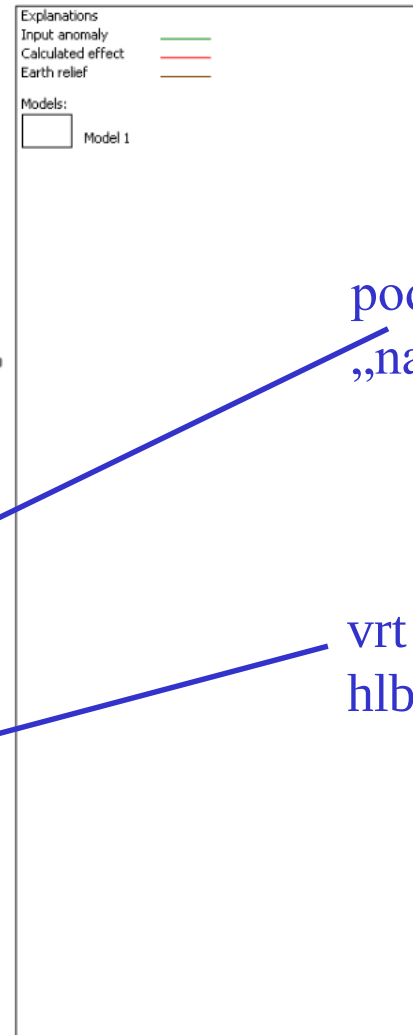
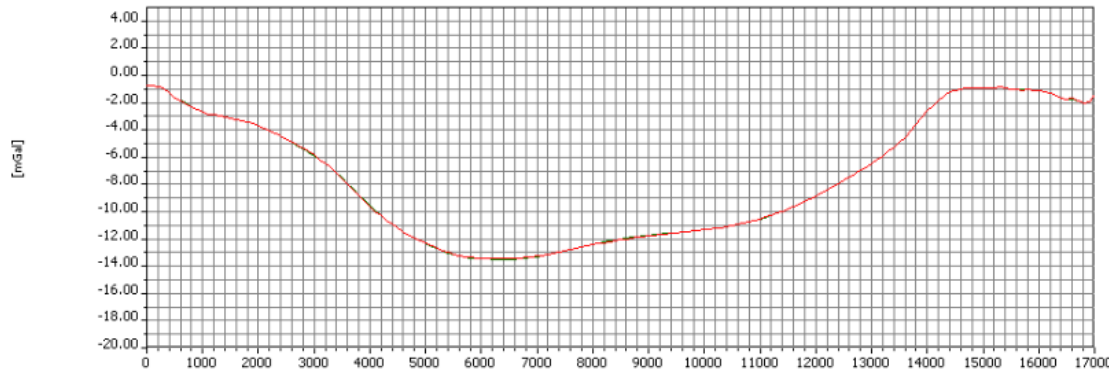


interpretácia v gravimetri – (polo)priame metódy

subhorizontálne hustotné rozhranie (Quereshi and Mula, 1971)

príklad – štúdia Piešťany

profilAA_1



podložie
„na povrchu“

vrt Borovce 1.
hĺbka: 1455 m

interpretácia v gravimetri - priame metódy

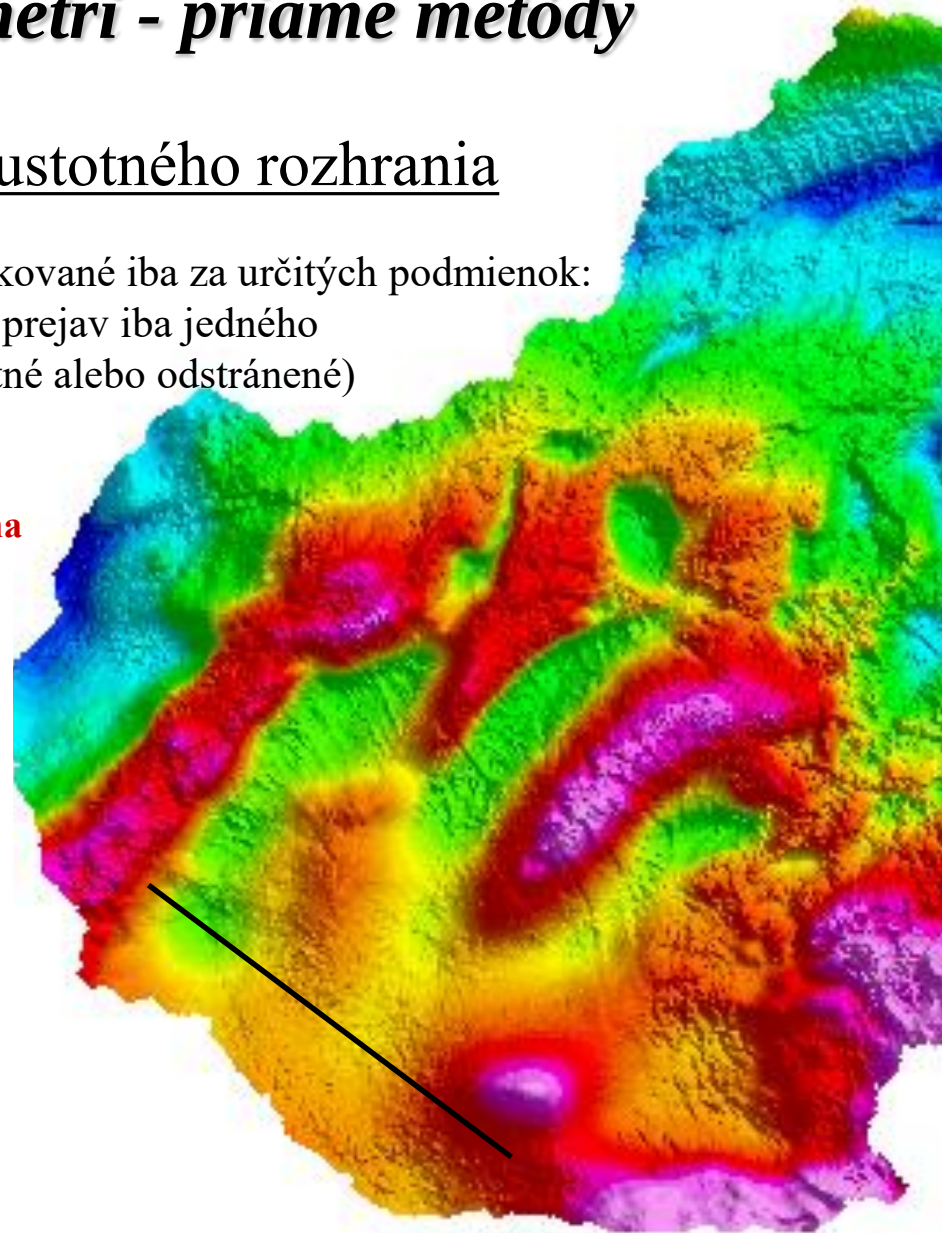
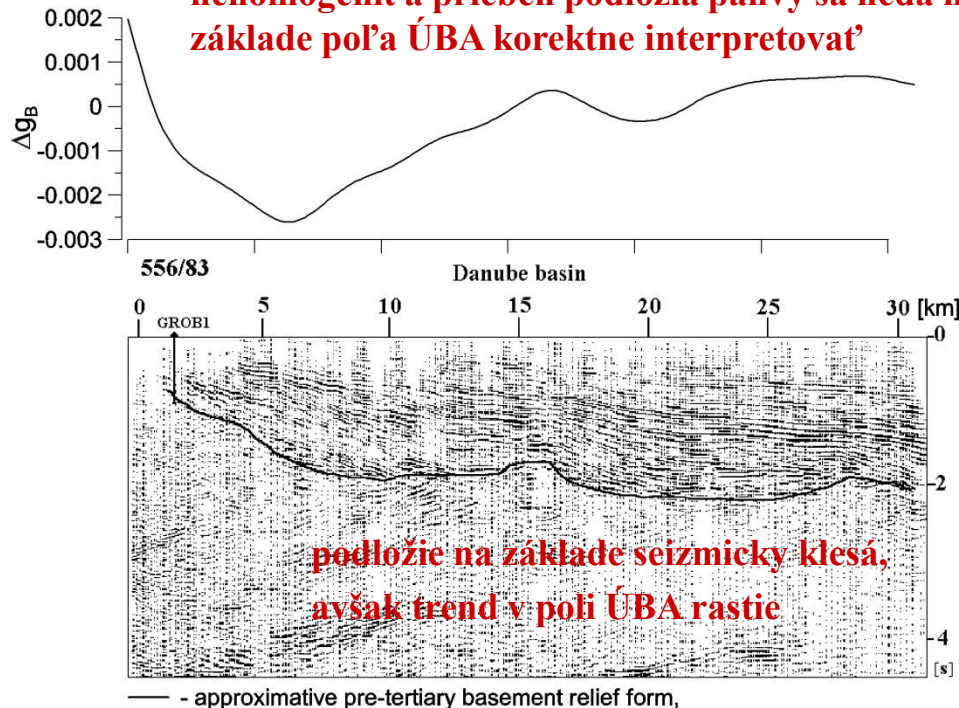
pozn.: metódy riešenia priebehu hustotného rozhrania

horizontálne (sub-horizontálne) rozhrania sú detekované iba za určitých podmienok:

1. v poli ÚBA sa odráža dominantným spôsobom prejav iba jedného rozhrania (regionálne zložky sú kvázi konštantné alebo odstránené)

.....

pri tomto profile sa manifestuje prejav hlbších nehomogenít a priebeh podložia panvy sa nedá na základe poľa ÚBA korektne interpretovať



interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

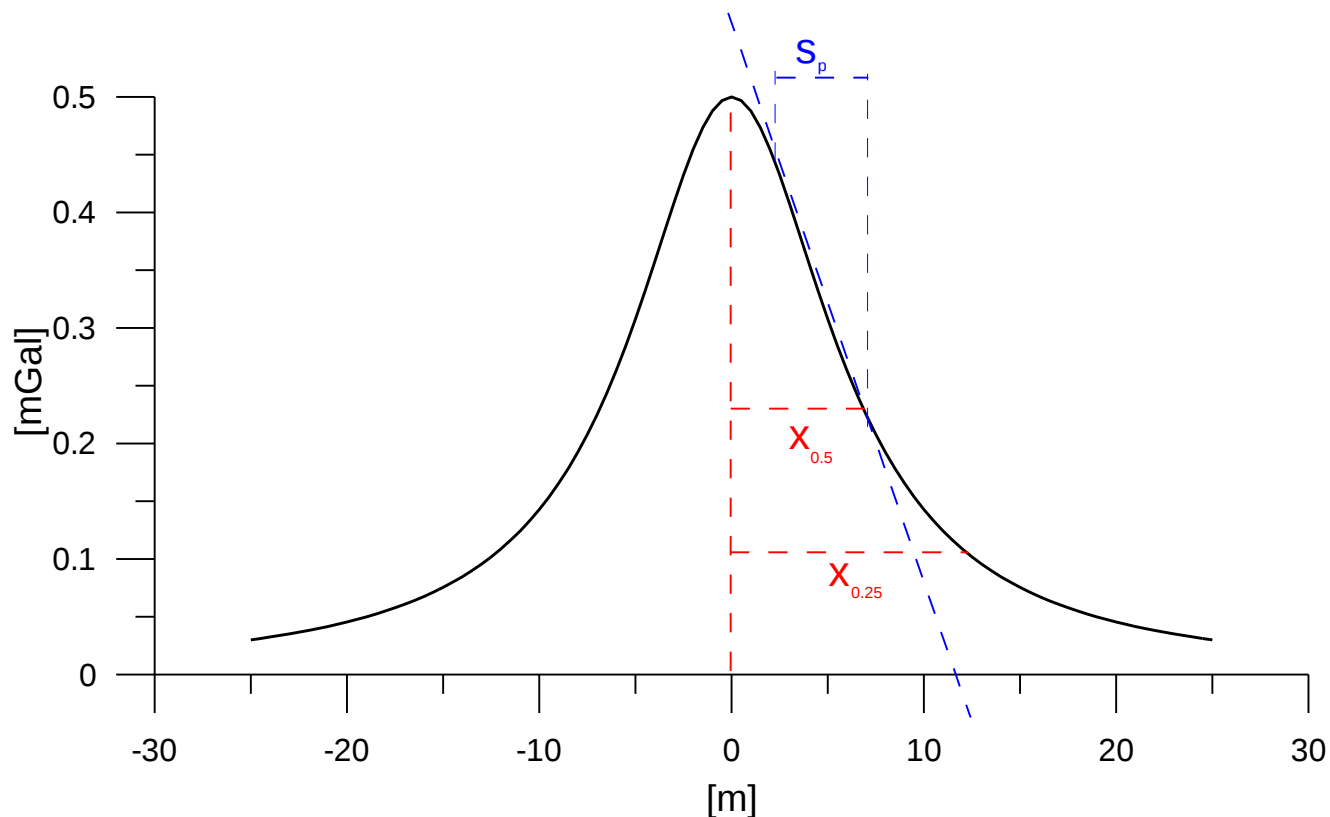
- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (poľa)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretácia v gravimetrii

- priame metódy

metódy charakteristických bodov –

- využívajú z celej anomálnej krivky (2D, profily) iba niektoré charakt. body



interpretácia v gravimetrii, priame metódy – metódy charakter. bodov

metóda polovičnej šírky anomálie

príklad: 2D horizont. valec

$$V_z(x) = 2\kappa\rho\pi R^2 \frac{h}{x^2 + h^2}$$

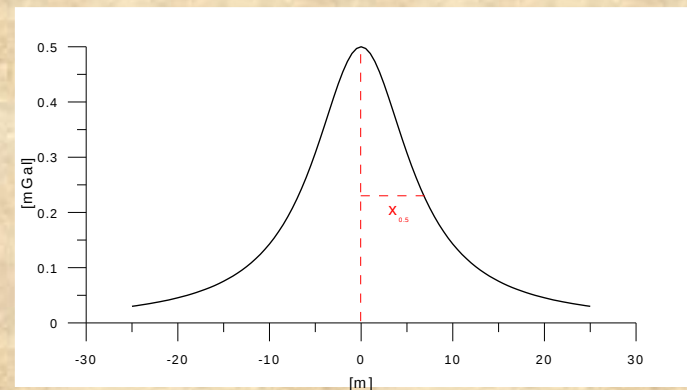
využijeme tzv. polovičnú šírku anomálie
(width at half the amplitude, Halbwertsbreite)

$$V_z(x_{0.5}) = 0.5V_z(0)$$

$$2\kappa\rho\pi R^2 \frac{h}{x_{0.5}^2 + h^2} = \frac{1}{2} \left[2\kappa\rho\pi R^2 \frac{h}{h^2} \right]$$

$$\frac{h}{x_{0.5}^2 + h^2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{h} \right]$$

$$2h^2 = x_{0.5}^2 + h^2 \Rightarrow h = x_{0.5}$$



interpretácia v gravimetrii, priame metódy – metódy charakter. bodov

metóda polovičnej šírky anomálie

metódy využívajúce $x_{0.5}$ a priame úlohy pre jednoduché telesá:

predpoklad gule: $h = 1.306 x_{0.5}$

predpoklad kruh. 2D valca: $h = x_{0.5}$

predpoklad vert. tyče: $h = x_{0.5}/1.732$

metódy využívajúce rôzne iné parametre krivky:

Petersovo pravidlo: $h = (5/8) s_p$

a mnohé iné (napr. skriptá, str. 151 - 160)

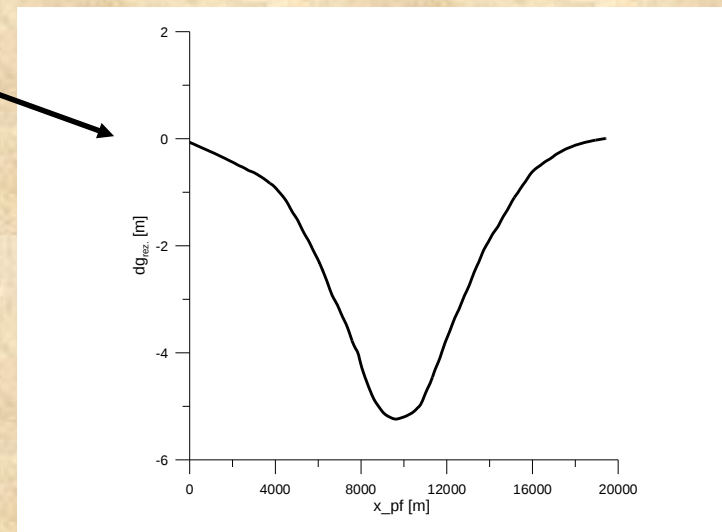
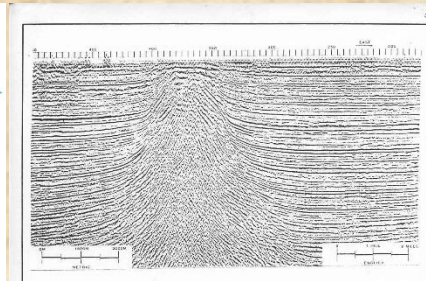
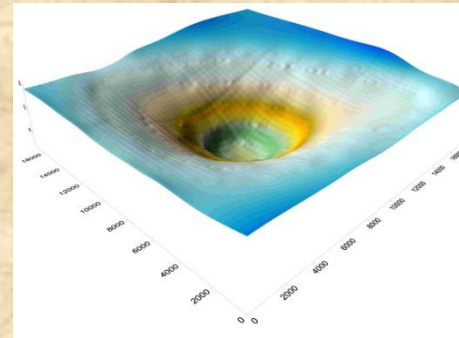
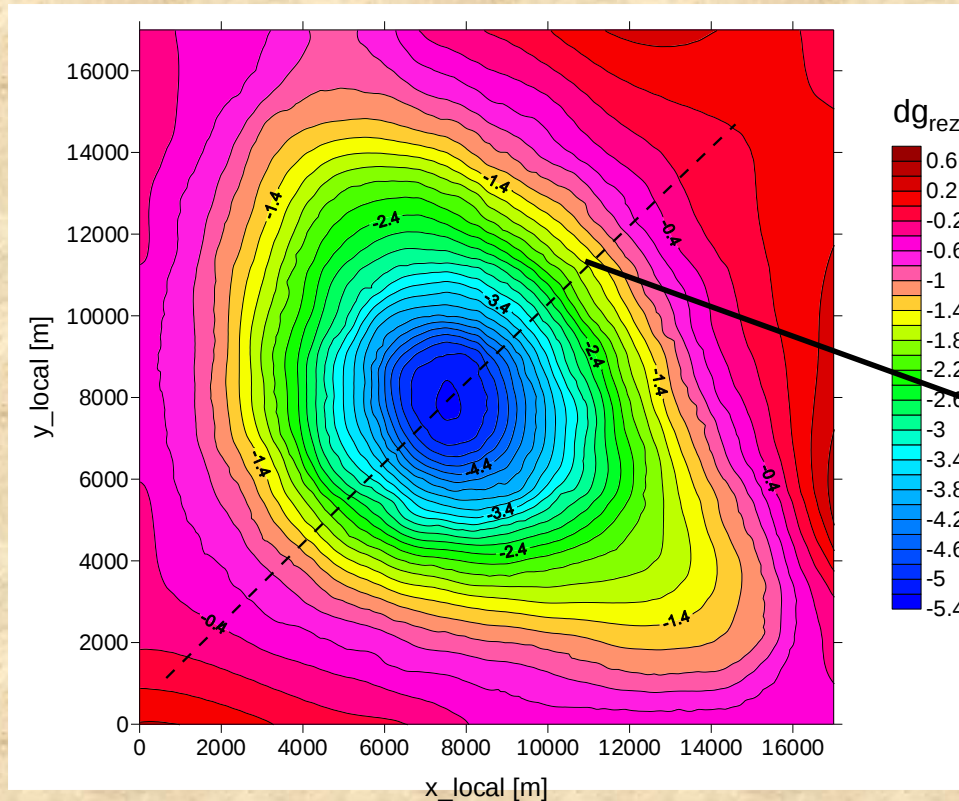
interpretácia v gravimetrii

- priame metódy

metódy charakteristických bodov –

- využívajú z celej anomálnej krivky (2D, profily) iba niektoré charakt. body

jednoduchý príklad – reziduálna anomália prejavu solného diapíra,
lokalita Louisiana, USA (príbrežná oblasť) (Nettleton, 1976)



interpretácia v gravimetrii

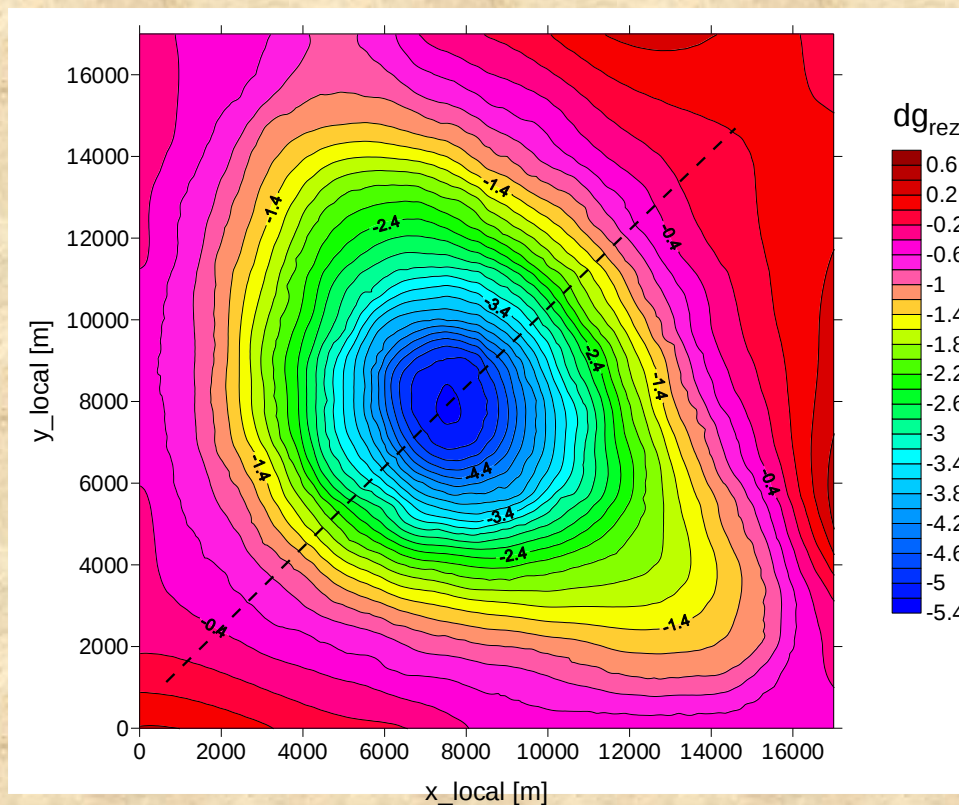
- priame metódy

metódy charakteristických bodov –

jednoduchý príklad – reziduálna anomália prejavu solného diapíra,
lokalita Lousiana, USA (príbrežná oblasť)

$$x_{0.5} = 3288.3 \text{ m}$$

$$s_p \approx 3300 \text{ m}$$



interpretácia v gravimetrii

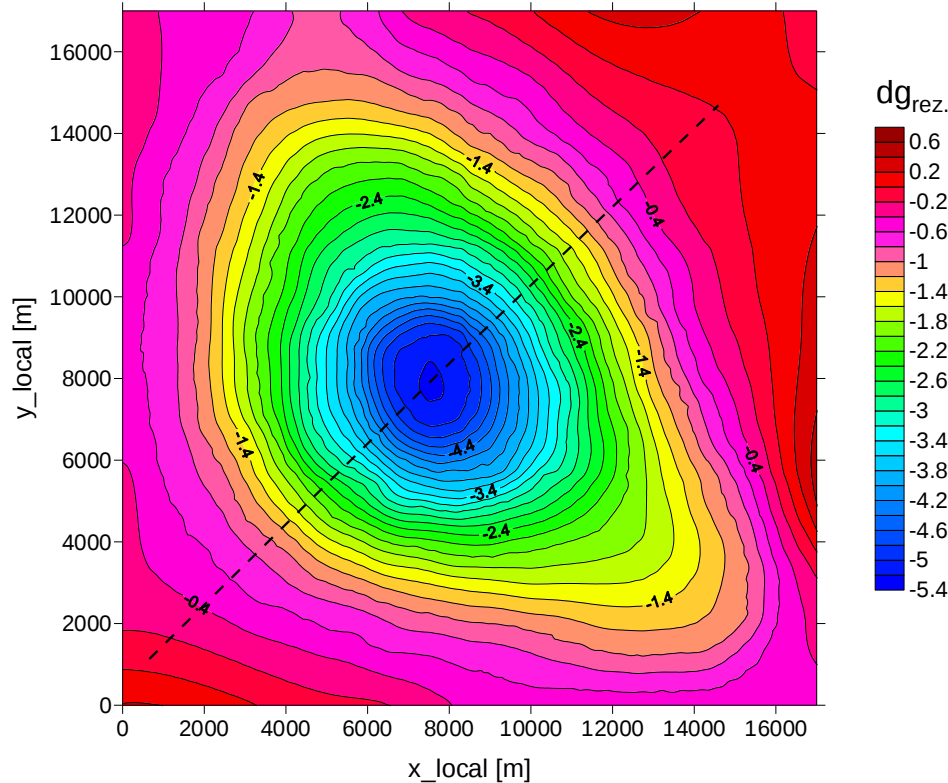
- priame metódy

metódy charakteristických bodov –

jednoduchý príklad – reziduálna anomália prejavu solného diapíra,
lokalita Louisiana, USA (príbrežná oblasť)

$$x_{0.5} = 3288.3 \text{ m}$$

$$s_p \approx 3300 \text{ m}$$



pri predpoklade gule:

$$h = 1.306x_{0.5} = 4303.1 \text{ m}$$

pri predpoklade vert. tyče:

$$h = x_{0.5}/1.732 = 1898.6 \text{ m}$$

Petersovo pravidlo:

$$h = (5/8)s_p = 2062.5 \text{ m}$$

atď.

výsledky vrtov (Nettleton, 1976)
 $\approx 1.3 \text{ km}$

interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (poľa)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky

veľmi známa je tzv. Linsserova metóda

(skriptá, str. 237 - 244)

- veľmi populárna v 1970 – 1980 rokoch
- vyhľadáva prítomnosť vertikálneho stupňa v predpokladanej hĺbke
- Prof. Šefara rozšíril možnosti tejto metódy (niekedy je aj nazývaná ako

Linsser-Šefarova metóda)



výstup je zobrazovaný
vo forme krátkej úsečky
v smere hrany okraja
stupňa s krátkou kolmou
úsečkou v smere jeho sklonu;
ich veľkosť je úmerná tzv.
koincidencii – „miere napa-
sovania modelovej odozvy
stupňa na interpret. pole

interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (poľa)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky

veľká skupina je tvorená tzv. spektrálnymi metódami

(skriptá, str. 170 - 172)

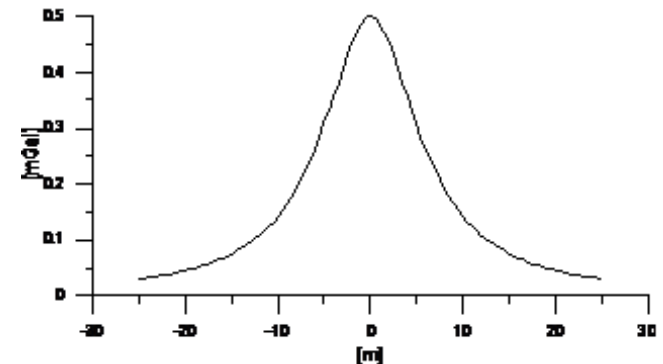
- založená na výpočte Fourierovho spektra z interpretovaných dát a analýze sklonu častí spektra, ktoré zodpovedajú priemerným hĺbkovým úrovniam jednotlivých zdrojov (Spector and Grant, 1970)

napr. pre 2D horiz. valec v gravimetrii platí:

$$V_z(x, z) = 2f\lambda \frac{h - z}{x^2 + (h - z)^2}$$

a jeho Fourierovo spektrum:

$$F\{V_z(x, z)\} = S_{V_z}(u) = \int_{-\infty}^{\infty} V_z(x, z) e^{-iux} dx = 2f\lambda \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h - z}{x^2 + (h - z)^2} e^{-iux} dx =$$



interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky

spektrálne metódy

a jeho Fourierovo spektrum:

$$\begin{aligned} F\{V_z(x, z)\} = S_{V_z}(u) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_z(x, z) e^{-iux} dx = 2f\lambda \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h-z}{x^2 + (h-z)^2} e^{-iux} dx = \\ &= 2f\lambda \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h-z}{x^2 + (h-z)^2} \cos ux \, dx - i2f\lambda \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h-z}{x^2 + (h-z)^2} \sin ux \, dx = \end{aligned}$$

prvý integrál je riešený v skriptách Matem. základy teórie geof. metód I. (integrováním v komplexnej oblasti), druhý je nulový kvôli integrácii nepárnej funkcie na symetrickom intervale

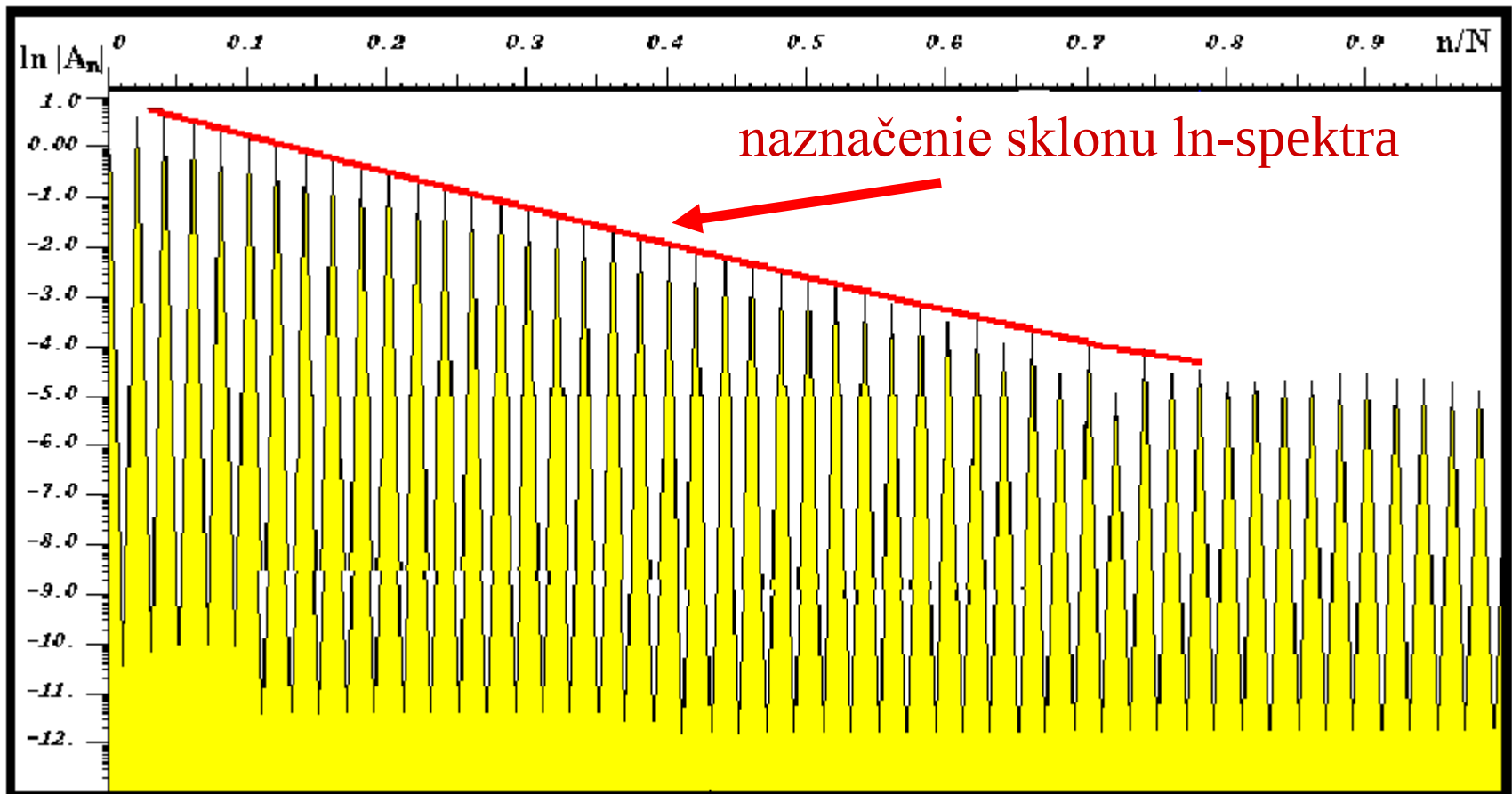
$$= 2f\lambda \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h-z}{x^2 + (h-z)^2} \cos ux \, dx = 4f\lambda (h-z) \int_0^{\infty} \frac{\cos ux}{x^2 + (h-z)^2} dx = 2f\lambda \pi e^{-|u|(h-z)}$$

Výsledkom je exponenciálna funkcia, ktorej exponent nesie info o hĺbke stredu valca.
Ak spočítame z daného spektra prirodzený logaritmus, dostaneme danú hĺbku –
V logaritmickom spektre bude hĺbka úmerná sklonu spektra.

interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky

spektrálne metódy

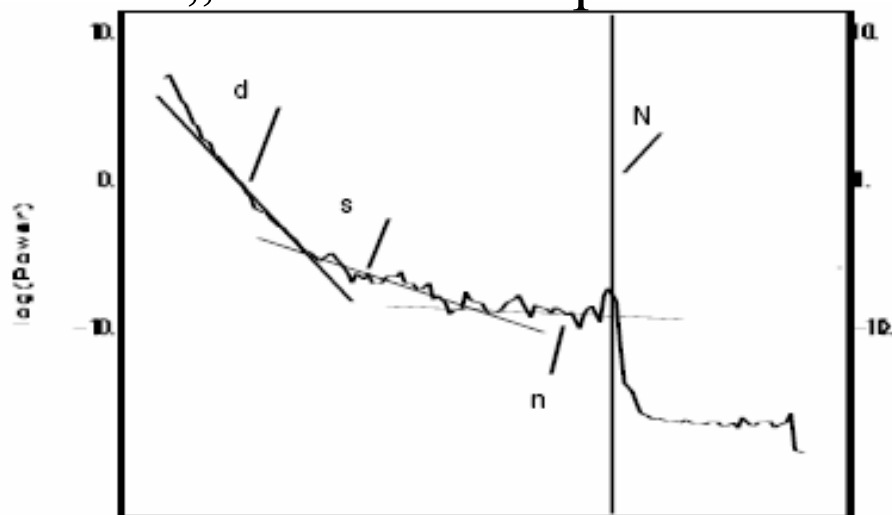


interpretácia v gravimetrii - priame metódy

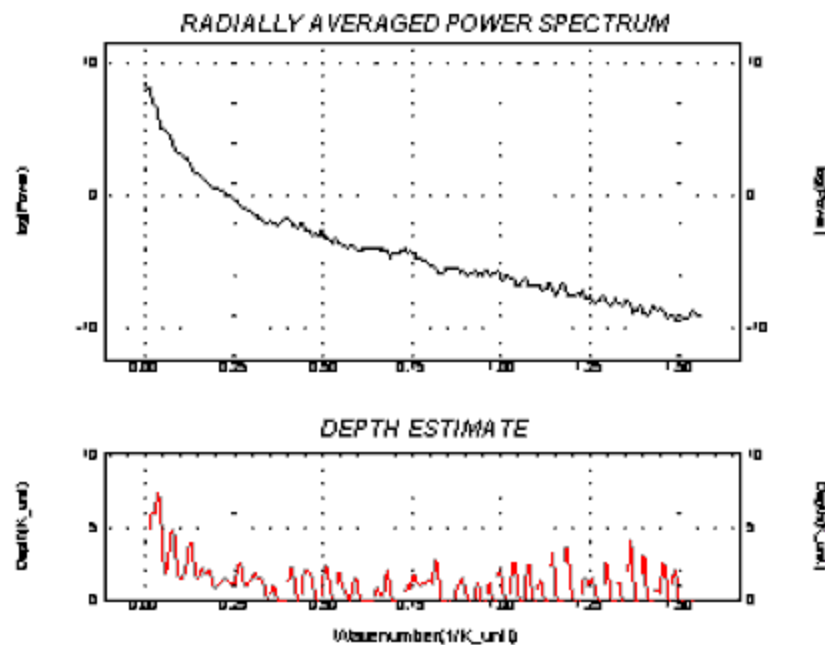
metódy využívajúce celú alebo časť krivky – spektrálne metódy

niekoľko zdrojov na rôznych hĺbkových úrovniach

„učebnicové“ spektrum

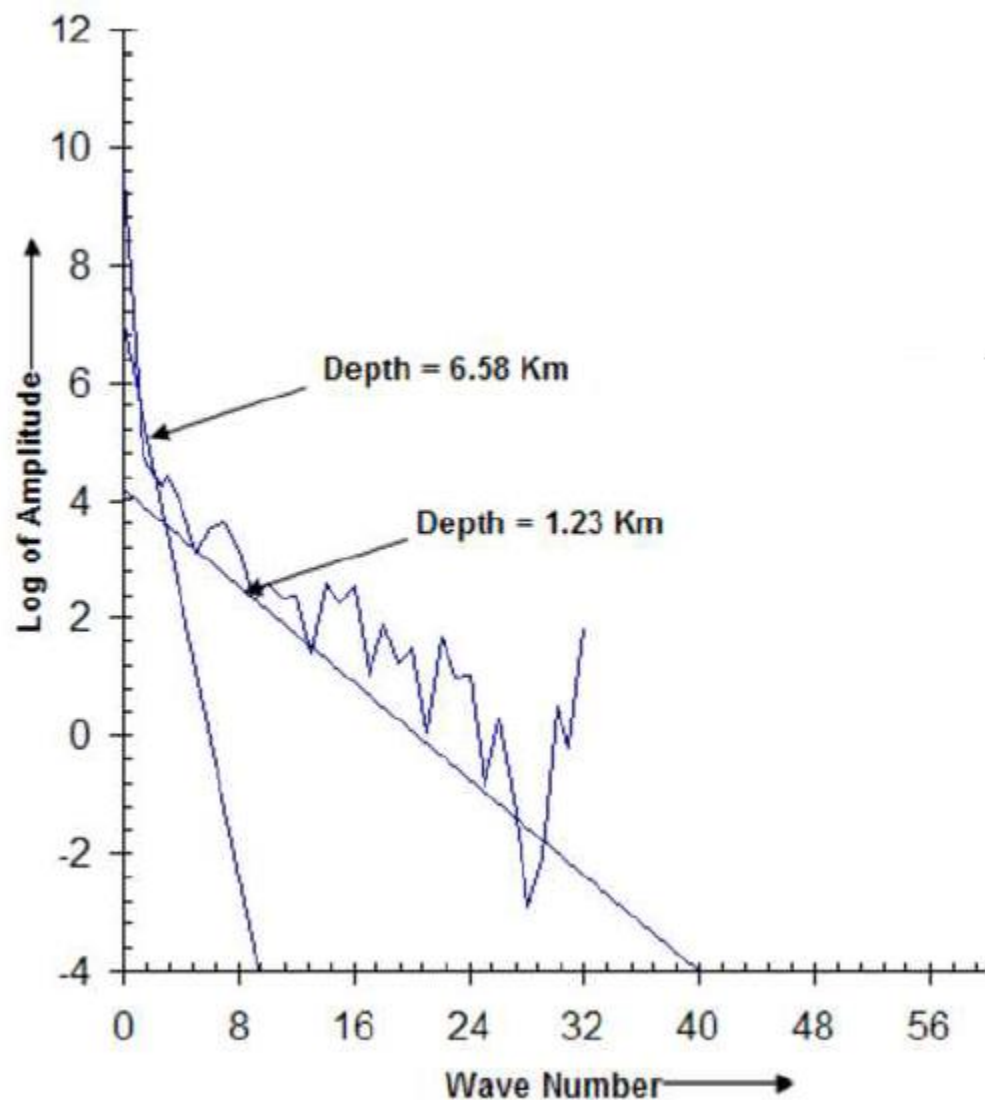


reálne spektrum



interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky – spektrálne metódy



interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (poľa)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie** (vychádzajú z inverzie systému rovníc, ktoré popisujú priamu úlohu)

Priama úloha – predstavuje ju integrálny operátor:

$$\begin{aligned} V_z(x, y, z) &= \kappa \iiint_{\tau} \rho(\xi, \eta, \zeta) \frac{\zeta - z}{\left[(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2 \right]^{3/2}} d\tau = \\ &= \kappa \iiint_{\tau} \rho(\xi, \eta, \zeta) \psi[(\xi - x), (\eta - y), (\zeta - z)] d\tau \end{aligned}$$

Pri aproximácii objemového integrálu sumou účinkov malých elementárnych hranolov získame:

$$g_i \approx \kappa \sum_{j=1}^M \rho_j \psi_{ij} \Delta\tau$$

kde $i = 1 \dots N$ (počet bodov poľa),
 $j = 1 \dots M$ (počet element. hranolov),
 $\Delta\tau = \Delta x \Delta y \Delta z$ (objem element. hranola).

ρ_j - hustota hranola s indexom j (**hľadaný parameter inverzie**)

ψ_{ij} - prenosová funkcia, popisujúca účinok hranola s indexom j na bod s číslom i (môže byť účinok 3D ale aj 2D hranola, gule,...)

interpretácia v gravimetrii - priame metódy

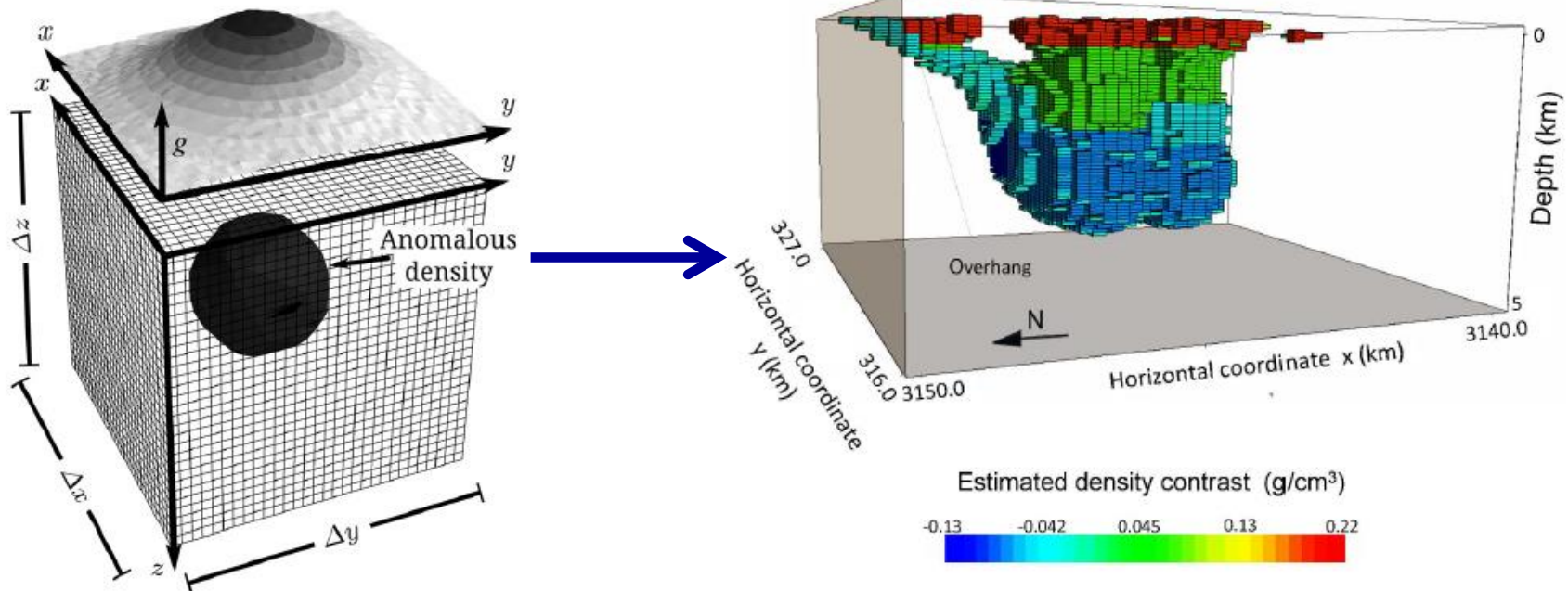
metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie**

Získaný vzťah:
$$g_i \approx \kappa \sum_{j=1}^M \rho_j \psi_{ij} \Delta\tau \quad \begin{array}{l} i = 1 \dots N \text{ (počet bodov poľa),} \\ j = 1 \dots M \text{ (počet element. hranolov),} \end{array}$$

je možné napísať pre všetky i do formy N rovníc o M neznámych a riešiť (vtedy ale musí platiť $N \geq M$); v maticovom zápise: $\mathbf{g} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$.

Alebo ho v zmysle metódy LSQ preformulovať na systém M normálnych rovníc o M neznámych (v maticovom zápise: $\|\mathbf{g} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}\| = \min.$).

Výsledkom sú riešenia pre ρ_j (pre všetky hranoly).



interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie**

Poznámka ku používanému matematickému zápisu:

Hlavný vzťah je možné písať v maticovom zápise $\mathbf{g} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$, t.j. $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{g}$ alebo po jednotlivých členoch:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M1} & a_{M2} & \dots & a_{MN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_M \end{pmatrix}$$

kde $\mathbf{A}$ je tzv. matica systému (M-riadkov $\times$ N-stĺpcov) ,

$\mathbf{x}$ je vektor hľadaných neznámych – jednotĺpcová matica (N-riadkov $\times$ 1-stĺpec)

a $\mathbf{g}$ tzv. pravá strana systému - jednotĺpcová matica (M-riadkov $\times$ 1-stĺpec).

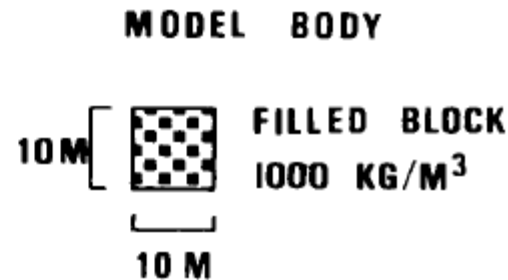
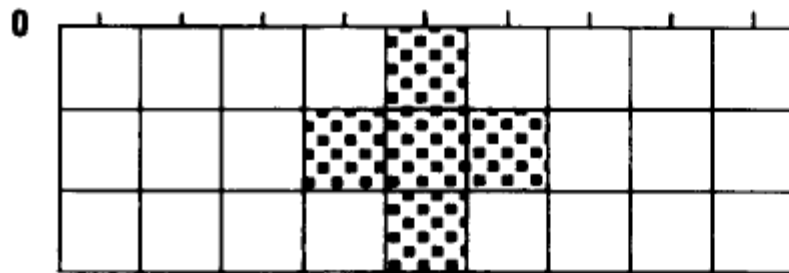
(je dobré si toto uvedomiť aj vzhľadom ku programovaniu v Matlabe).

Pozn.: Tieto výpočty sú veľmi náročné na pamäť počítača a výpočtový čas.

interpretácia v gravimetrii - priame metódy

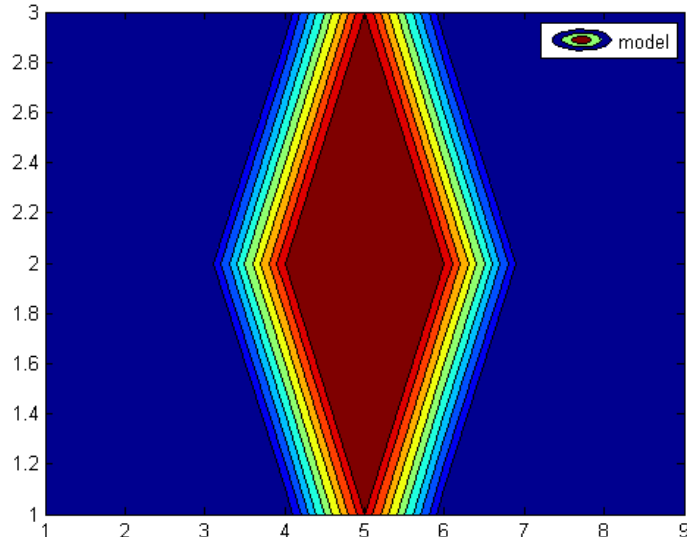
metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie**

Avšak – zlá správa (ale očakávaná...), takéto jednoduché riešenie systému lineárnych rovníc nevedie ku skutočnému riešeniu problému, výsledky sú väčšinou veľmi plytké (hneď pod povrchom).

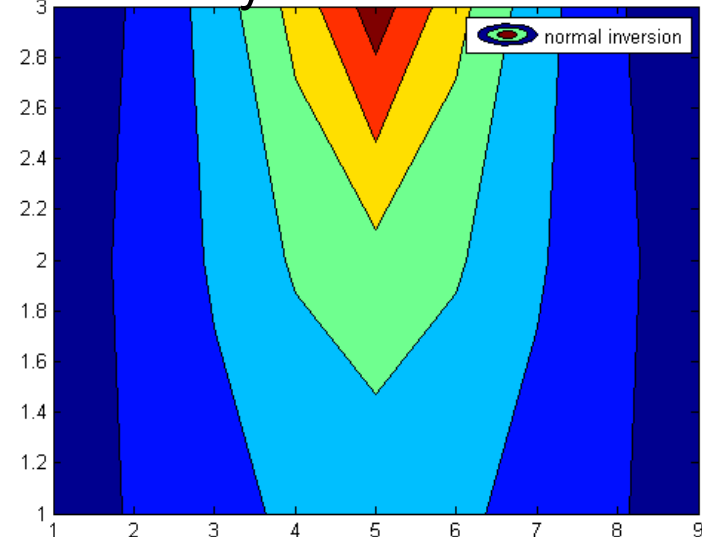


model
z článku
Last and Kubik
(1983)

zobrazenie modelu v Matlabe



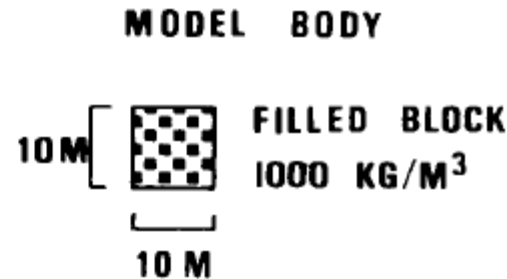
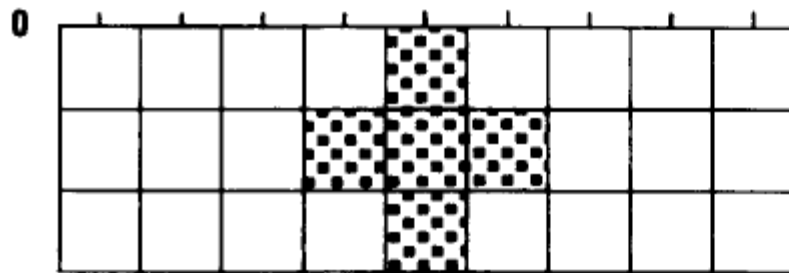
riešenie systému rovníc v Matlabe



interpretácia v gravimetrii - priame metódy

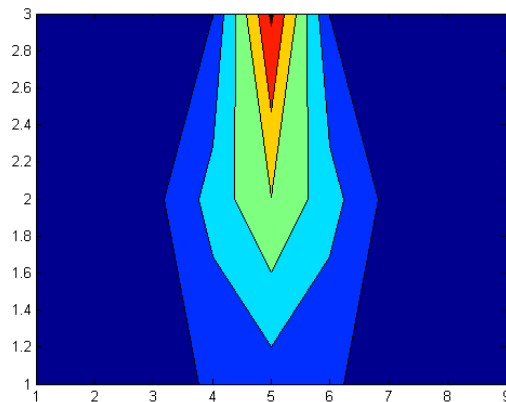
metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie**

Okrem zlej aj dobrá správa - zapojením doplňujúcich matematických podmienok (tzv. hĺbková váhová funkcia plus kompaktnosť riešenia) je možné získať podstatne lepšie riešenia – bližšie ku reálnemu.

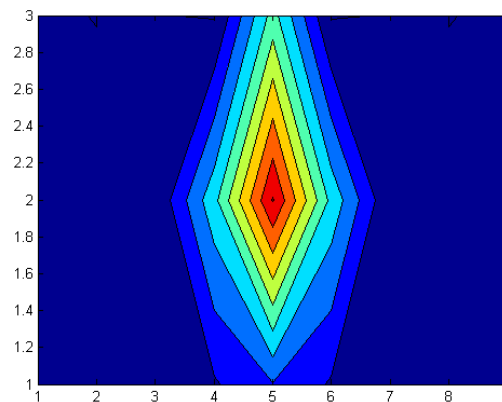


model
z článku
Last and Kubik
(1983)

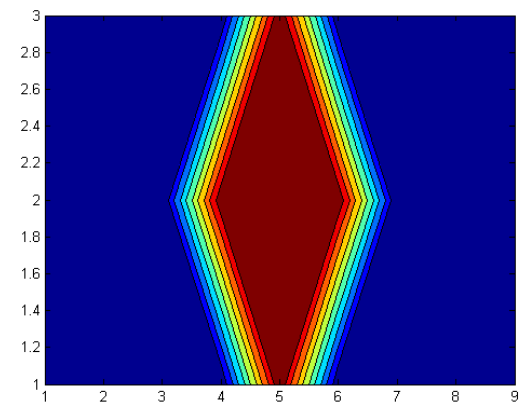
riešenie podľa Last and
Kubik (1983), 2. iterácia



riešenie podľa Last and
Kubik (1983), 4. iterácia



riešenie podľa Last and
Kubik (1983), 10. iterácia



interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie**

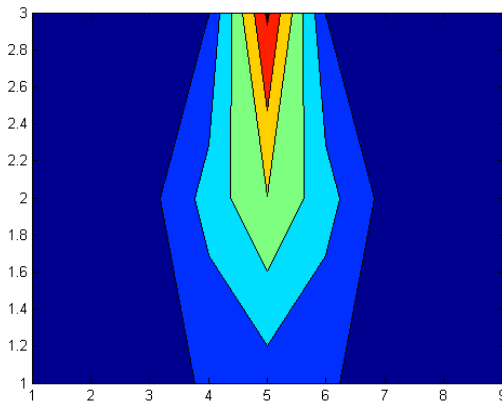
prídavná podmienka od Last and Kubik:

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sigma^2 / (\sigma^2 + \varepsilon) = \begin{cases} 0 & \text{for } \sigma = 0 \text{ (model element outside the correct solution)} \\ 1 & \text{for } \sigma \neq 0 \text{ (model element inside the correct solution)} \end{cases}$$

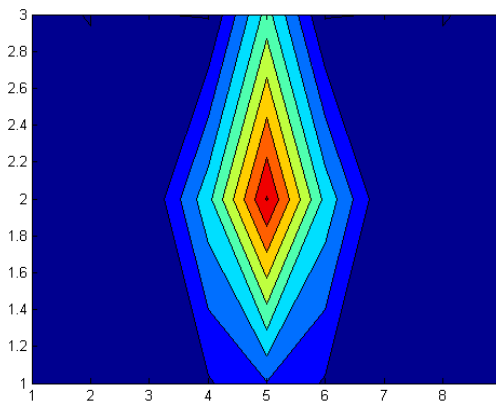
where ε is a small number, e.g. 10^{-6} .

Je možné ju formulovať v maticovom tvare a jej pôsobenie zabezpečuje zvýšenie „kompaktnosti“ výsledného riešenia.

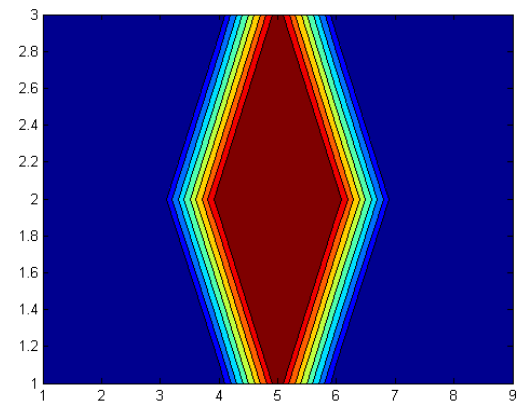
riešenie podľa Last and Kubik (1983), 2. iterácia



riešenie podľa Last and Kubik (1983), 4. iterácia



riešenie podľa Last and Kubik (1983), 10. iterácia



interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. inverzie

Od 90ich rokov 20. storočia bolo publikovaných **niekoľko rôznych metód riešenia tejto úlohy – líšia sa v zadaní a v použití numerických metód.**

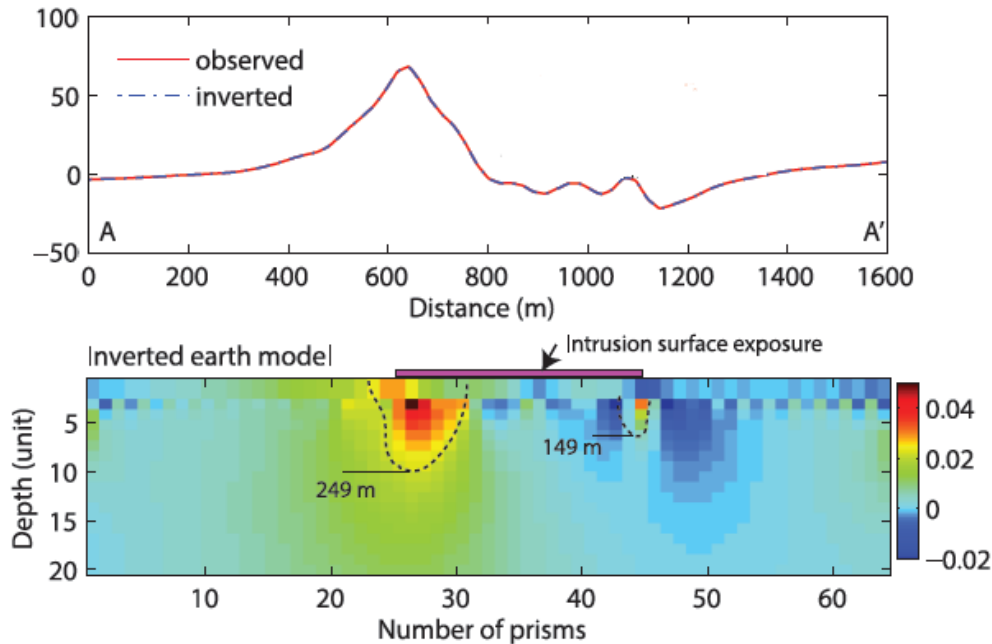
Najznámejšie pracoviská:

- Colorado School of Mines (CSM), Colorado, USA
(Yaoguo Li, Richard Krahenbuhl)
- University of British Columbia (UBC), Vancouver, Canada
(Douglas Oldenburg)
- University of Utah (U of U), Salt Lake City, USA
(Michail Zhdanov)
- Observatório Nacional, Geophysics Department, Rio de Janeiro, Brazil
(Valeria Barbosa, Joao Silva)
- Università di Napoli 'Federico II', Napoli, Italy
(Maurizio Fedi, Valeria Paoletti)

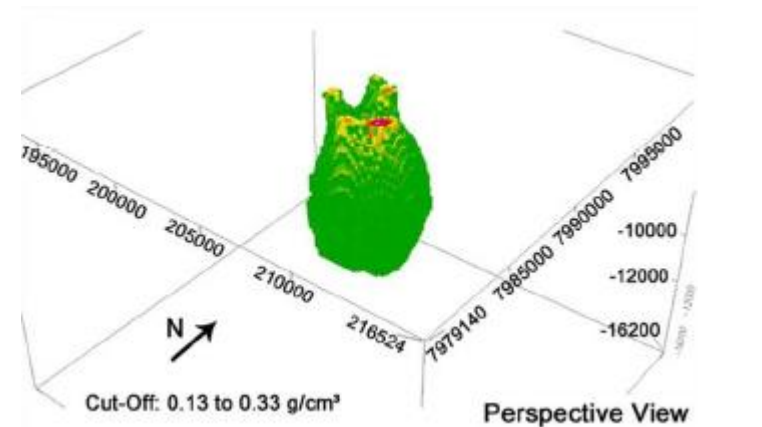
interpretácia v gravimetrii - priame metódy

metódy využívajúce celú alebo časť krivky – tzv. **inverzie**

Typické výsledky z metód inverzie:



zobrazenie v reze cez telesá



interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (pol'a)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia

Transformované polia (v gravimetrii, aj magnetometrii):

- separácia reziduálnych (lokálnych) a regionálnych anomálií,
- výpočet vyšších derivácií,
- prepočet poľa na inú výškovú úroveň (nahor, nadol)
- ďalšie špeciálne transformácie...

interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia
(vyššie derivácie, prepočet nadol/nahor, atď.)

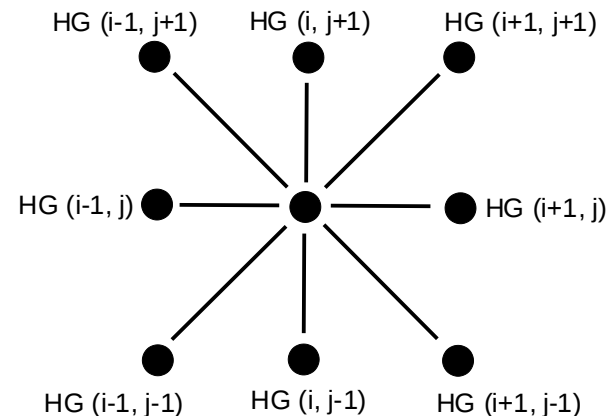
tzv. Blakelyho metóda lineárnych prvkov

1. spočítajú sa horizontálne gradienty $\partial\Delta g_B/\partial x$ a $\partial\Delta g_B/\partial y$
2. vypočíta sa totálny horizontálny gradient:

$$HG = \sqrt{(\partial\Delta g_B/\partial x)^2 + (\partial\Delta g_B/\partial y)^2}$$

3. zistia sa polohy lokálnych maxím HG v okne 3 x 3 body podľa schémy:

overujú sa podmienky v N-S, E-W a diagonálnom smere (či je stredná hodnota väčšia, ako krajné) a pre každú polohu okna sa registruje počet splnených podmienok; vynášajú sa iba tie body, ktoré splňujú 3 a 4 tieto podmienky





***interpretácia
v gravimetrii
- priame metódy***

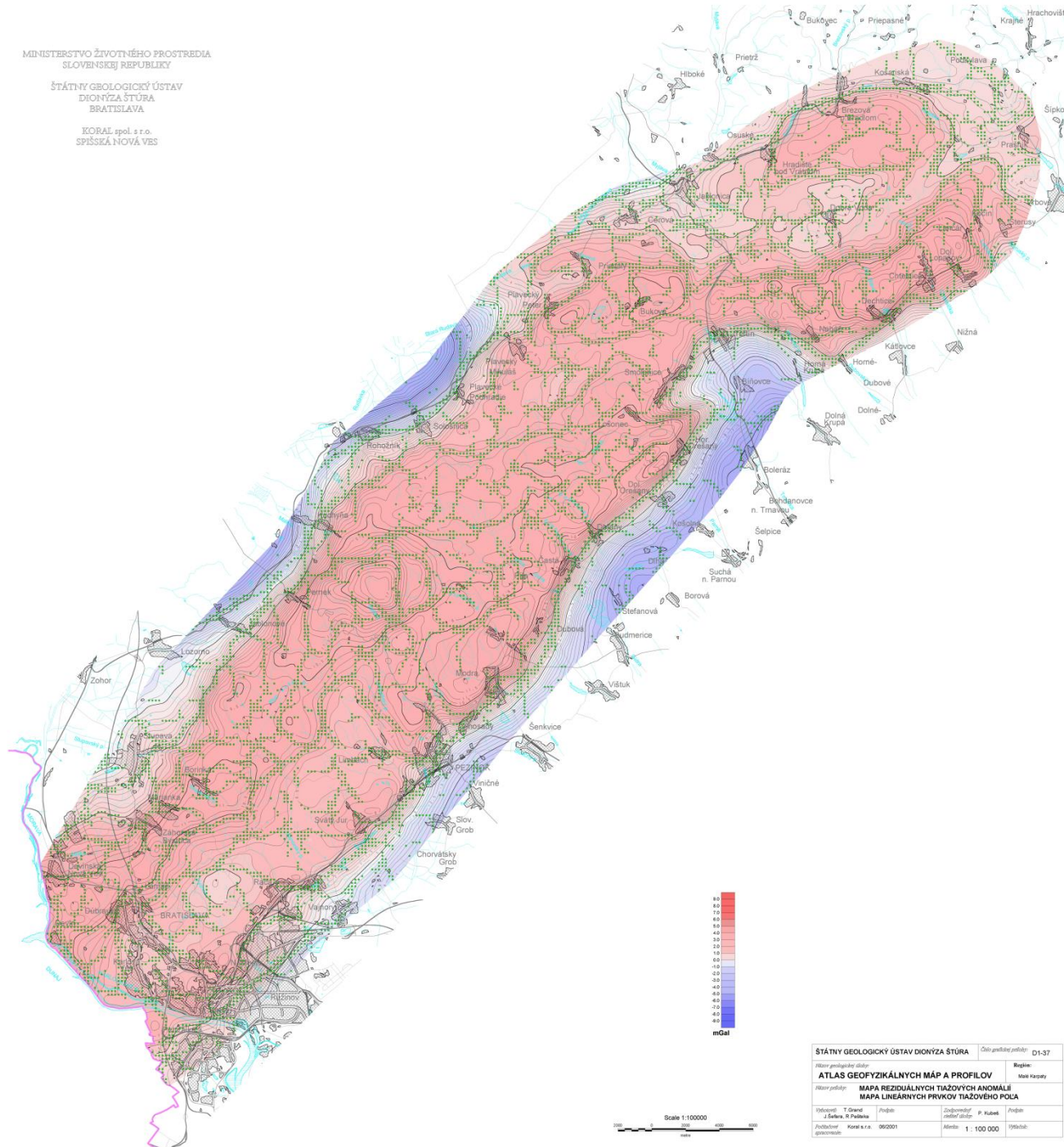
**oblast' Malých
Karpát,
ÚBA 2.67 g.cm⁻³**

metódy využívajúce
transformované polia
Blakelyho metóda
lineárnych prvkov

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV
DIONÝZA ŠTÚRA
BRATISLAVA

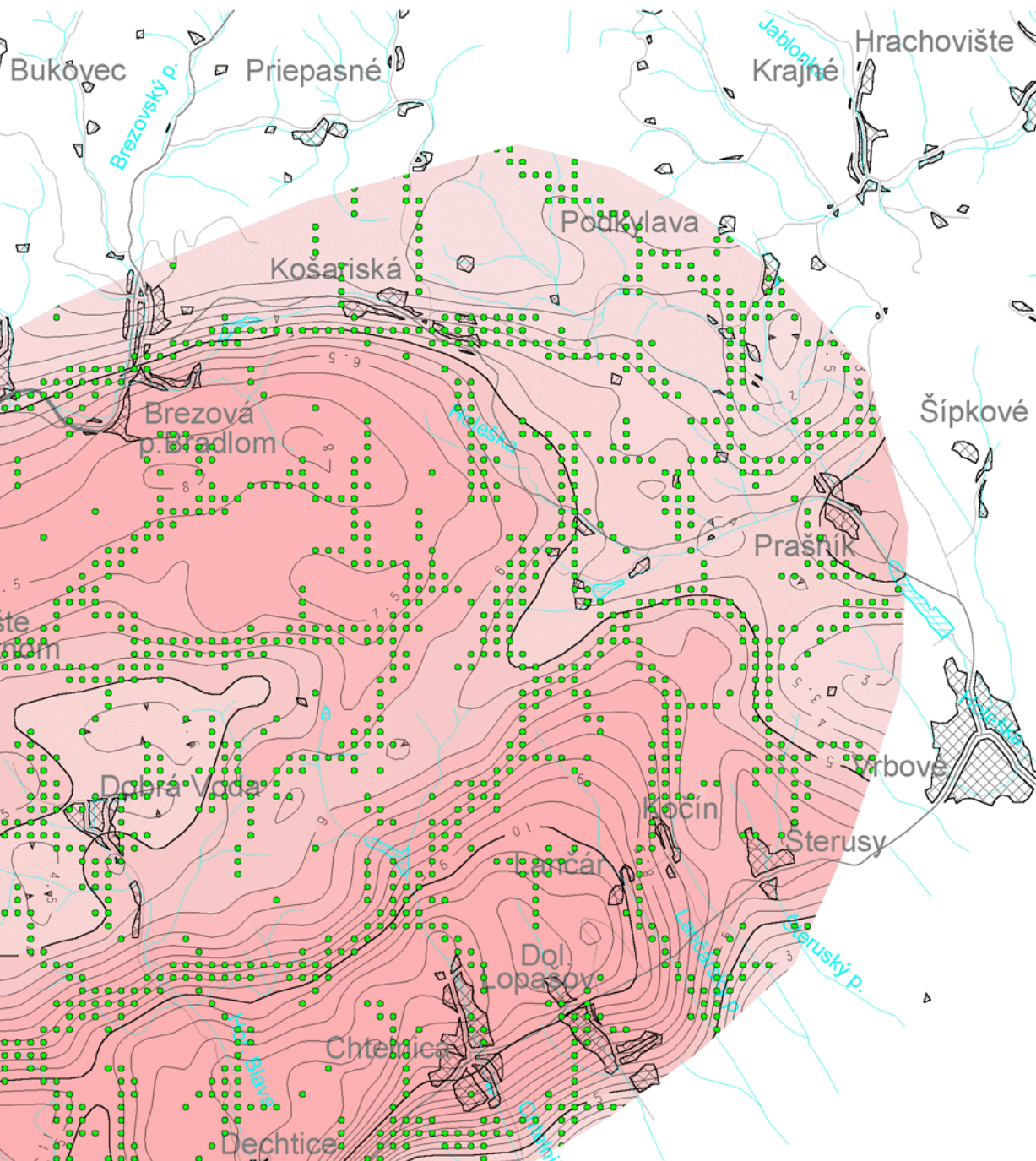
KORAL spol. s r.o.
SPIŠSKÁ NOVÁ VES



**interpretácia
v gravimetrii
- priame metódy**

**oblasť Malých
Karpát,
mapa rezid. tiaž.
anomálií (pre
ÚBA 2.67 g.cm^{-3})
+ riešenia
Blakelyho metódy**

metódy využívajúce
transformované polia
Blakelyho metóda
lineárnych prvkov



***interpretácia
v gravimetrii
- priame metódy***

**oblasť Malých
Karpát,
mapa rezid. tiaž.
anomálií (pre
ÚBA 2.67 g.cm^{-3})
+ riešenia
Blakelyho metódy**

metódy využívajúce
transformované polia
Blakelyho metóda
lineárnych prvkov

interpretačné metódy v gravimetrii

tzv. priame metódy

(bez zapojenia apriórnej geologicko-geofyzikálnej informácie)

- metódy využívajúce charakteristické body anomálie
- metódy využívajúce celú alebo časť krivky (pol'a)
- metódy využívajúce transformované polia

interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia –

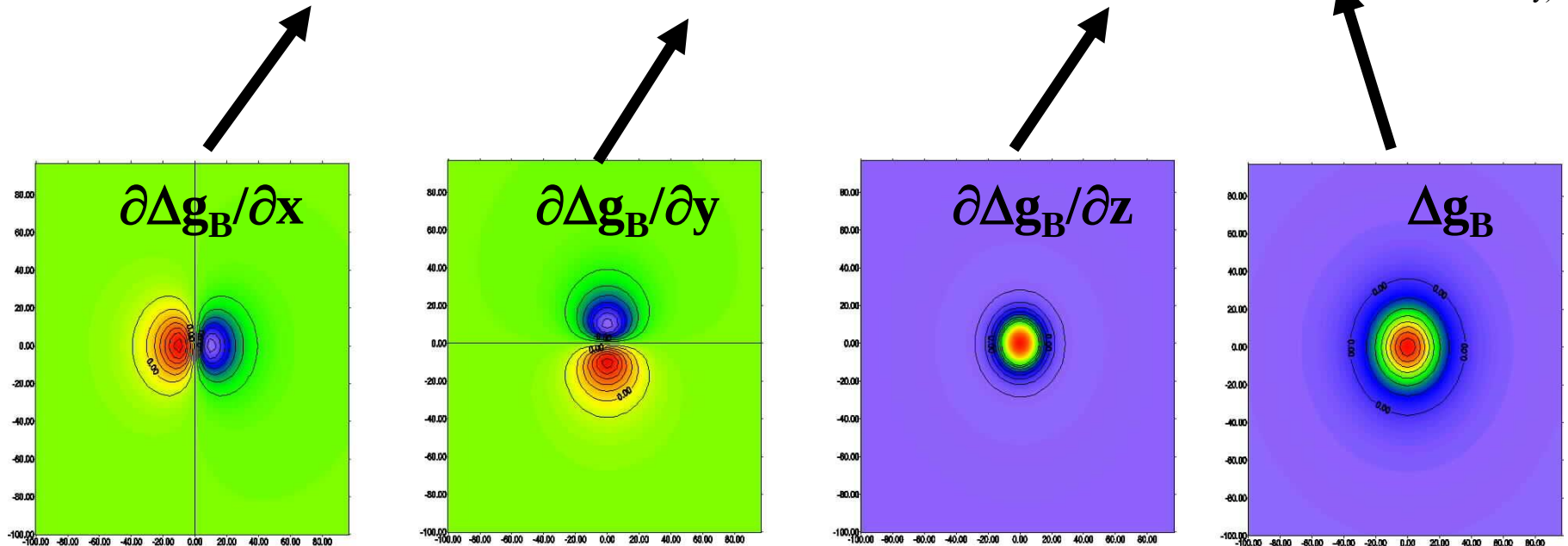
– tzv. **Eulerova dekonvolúcia**

1. spočítajú sa všetky gradienty $\partial\Delta g_B/\partial x$, $\partial\Delta g_B/\partial y$ a $\partial\Delta g_B/\partial z$

2. rieši sa interpretačná rovnica (vyplývajúca z Eulerovho teorému):

$$(x_P - x_0) \frac{\partial\Delta g_B}{\partial x} + (y_P - y_0) \frac{\partial\Delta g_B}{\partial y} + (z_P - z_0) \frac{\partial\Delta g_B}{\partial z} = -N\Delta g_B$$

N – tzv. štruktúrny index (udáva typ hľadanej štruktúry)



interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia - **Eulerova dekonvolúcia**

$$(x_P - x_0) \frac{\partial \Delta g_B}{\partial x} + (y_P - y_0) \frac{\partial \Delta g_B}{\partial y} + (z_P - z_0) \frac{\partial \Delta g_B}{\partial z} = -N \Delta g_B$$

3. interpretačná rovnica sa rieši v okne (**3 neznáme: x_0 , y_0 a z_0**), pričom sa napíše v troch variantoch pre tri po sebe idúce body; takto sa rieši systém troch rovníc o troch neznámych (alebo tzv. preurčený systém viacej rovníc o troch neznámych)
4. okno sa posúva pozdĺž profilu a riešenia sa vynášajú do rezu alebo plochy (riešení býva niekedy veľké množstvo, tak sa maunálnym alebo štatistickým spôsobom volia spoľahlivejšie z nich);
najdôležitejšie kritérium je tvorba zhlukov (clusters)

Eulerova dekonvolúcia

hodnoty štruktúrneho indexu pre rôzne telesá

geologický model	počet nekonečných rozmerov modelu	magnet. N	gravit. N
guľa	0	3	2
vert. tyč	1 (z)	2	1
horizont. valec	1 (x-y)	2	1
dajka (doska)	2 (z a x-y)	1	0
polnekoneč. horiz. doska	2 (x a y)	1	0
kontakt	3 (x, y a z)	0	-1

*Eulerova dekonvolúcia,
príklad odvodu štruktúrneho indexu pre 2D valec:*

vzťahy pre V_z , V_{xz} a V_{zz} :

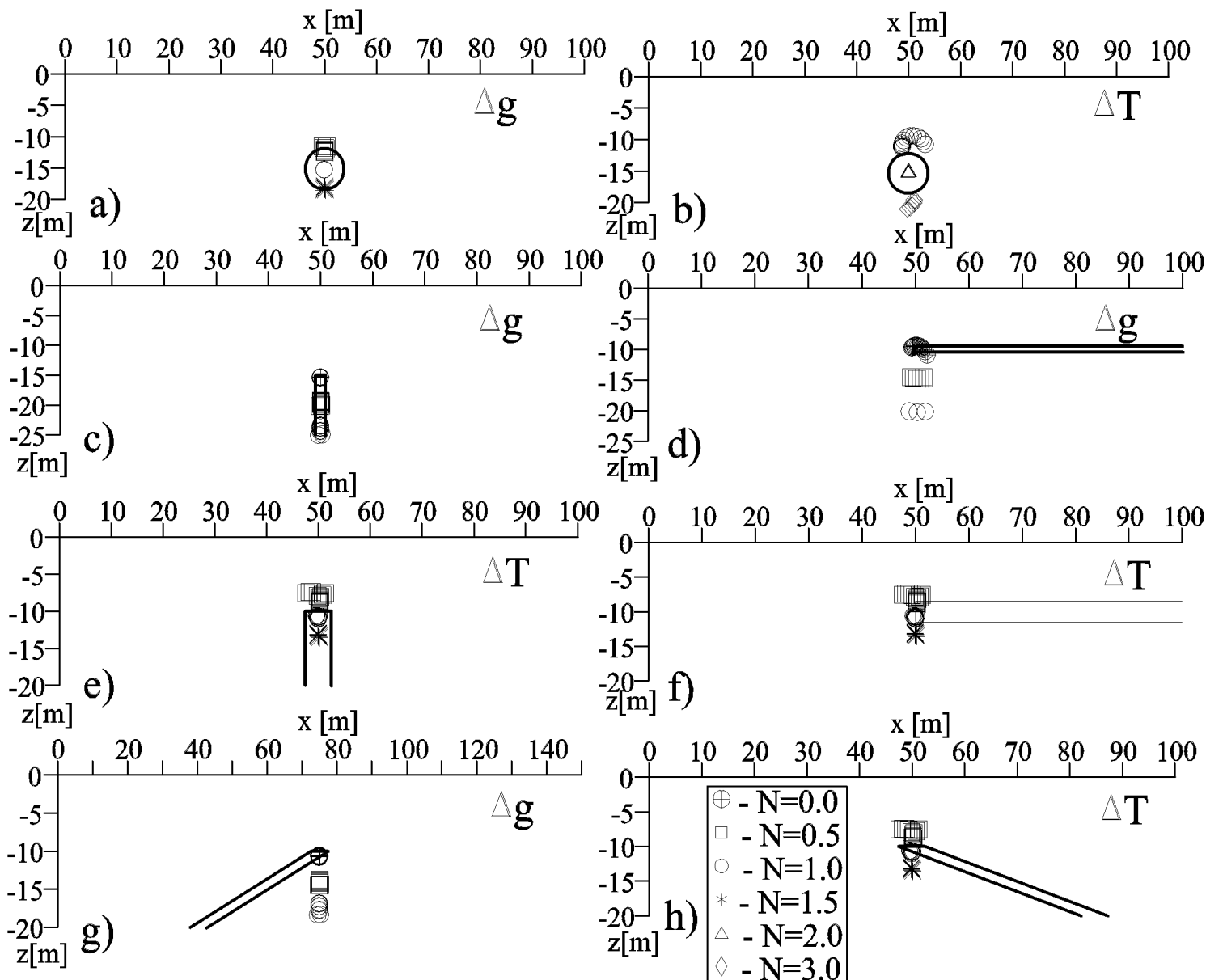
$$V_z(x, z) = 2G\lambda \frac{z}{x^2 + z^2}, \quad \frac{\partial V_z(x, z)}{\partial x} = -4G\lambda \frac{xz}{(x^2 + z^2)^2}, \quad \frac{\partial V_z(x, z)}{\partial z} = -2G\lambda \frac{z^2 - x^2}{(x^2 + z^2)^2}$$

dosadíme do základnej interpretačnej rovnice:

$$\begin{aligned} x \frac{\partial V_z}{\partial x} + z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= -NV_z(x, y, z) \\ -4G\lambda \frac{x^2 z}{(x^2 + z^2)^2} - 2G\lambda \frac{z^3 - x^2 z}{(x^2 + z^2)^2} &= -2G\lambda \frac{2x^2 z + z^3 - x^2 z}{(x^2 + z^2)^2} = \\ &= -2G\lambda \frac{z}{x^2 + z^2} = -V_z(x, z) \Rightarrow N = 1 \end{aligned}$$

podobným spôsobom vieme odvodiť hodnotu štruktúrneho indexu N pre ďalšie jednoduché telesá

Eulerova dekonvolúcia príklady riešenia na syntetických modeloch



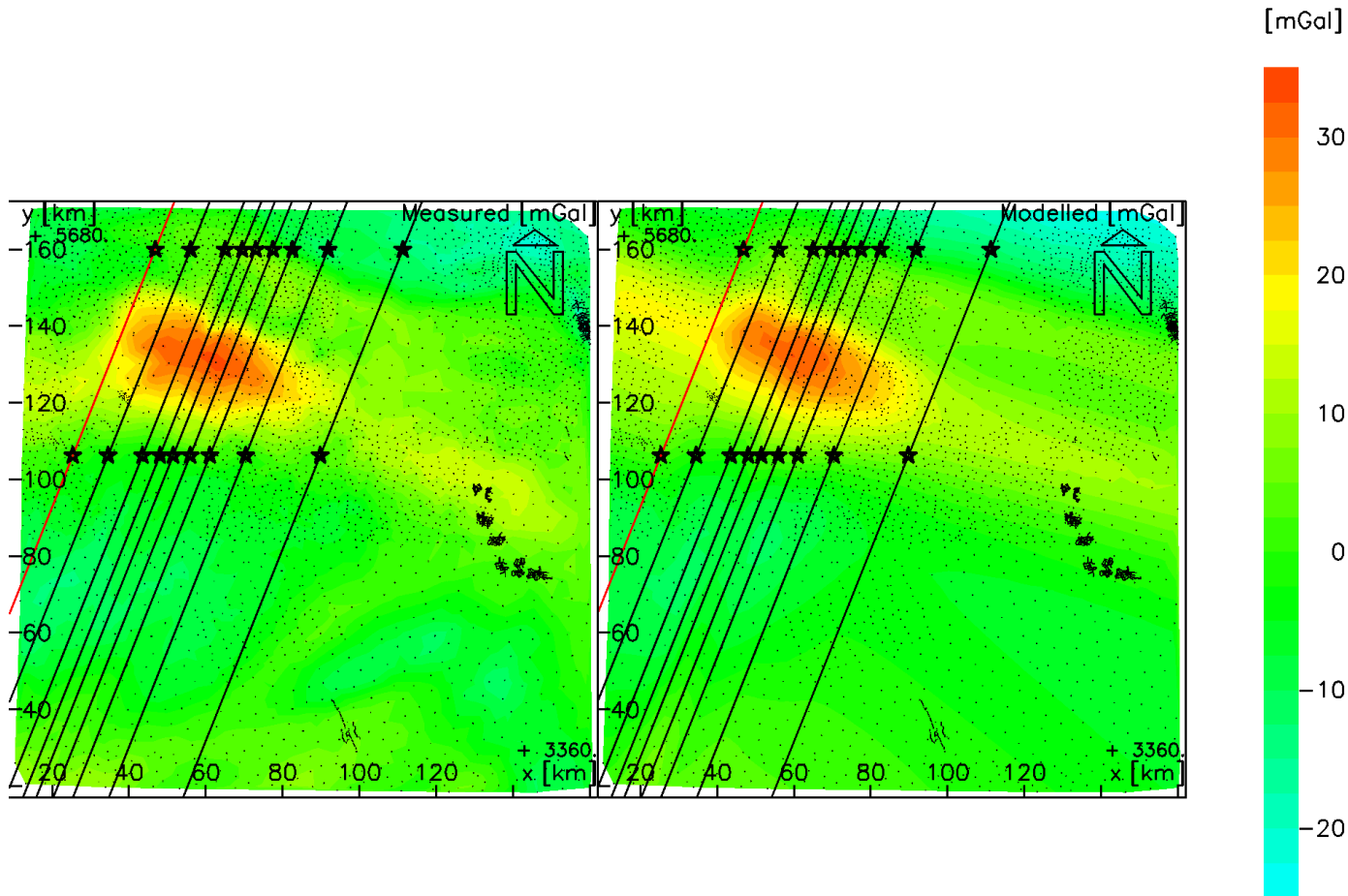
interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia – Eulerova dekonvolúcia



3-D Gravity and Magnetic Modeling
Modell-12-12 Vers. 471/472

Anomaly Maps: Gravity

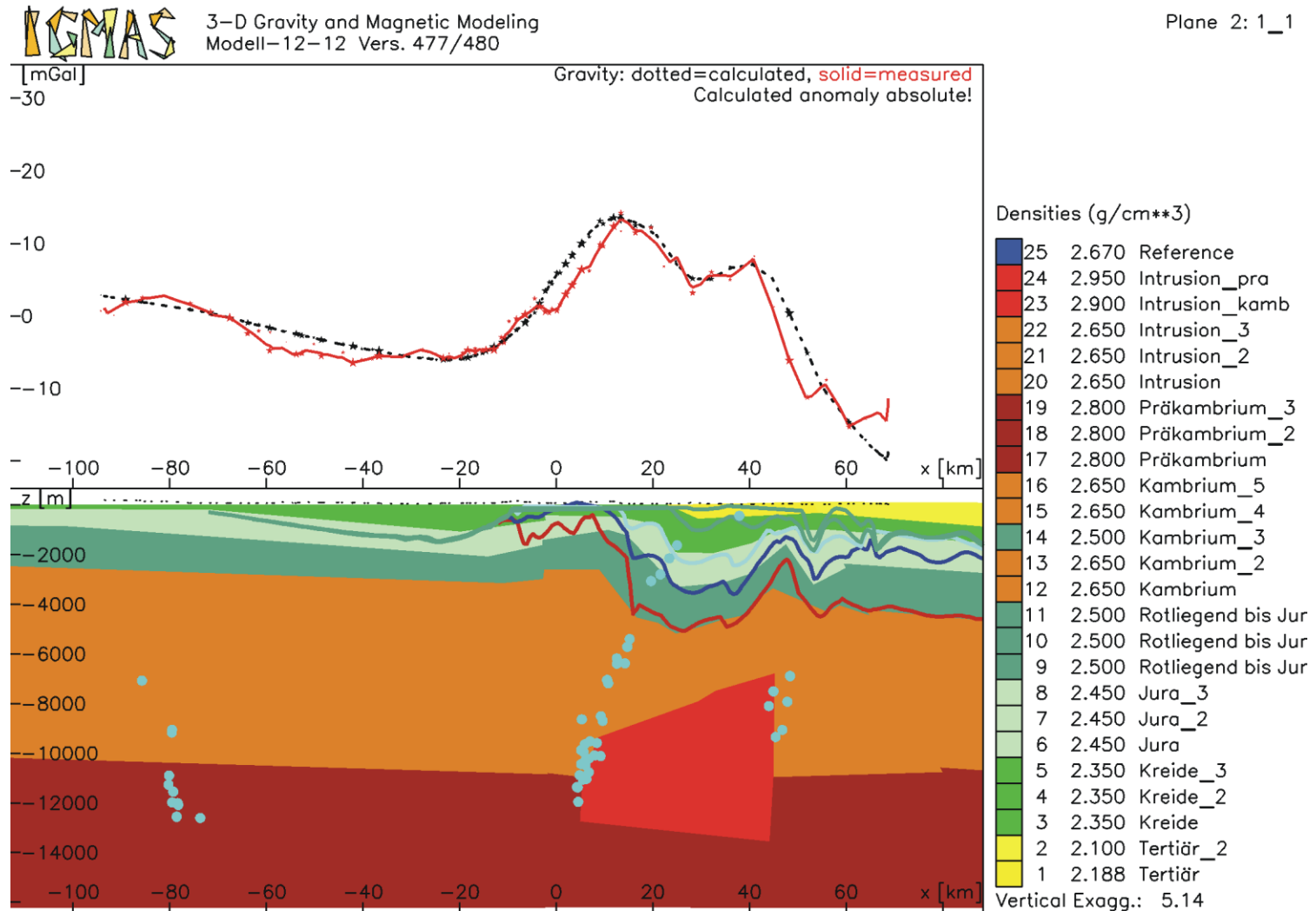


kladná tiažová anomália „Bramsche“ zo severo-nemeckého sedim. bazénu

interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia – Eulerova dekonvolúcia

izolovaná anomália – dobré výsledky

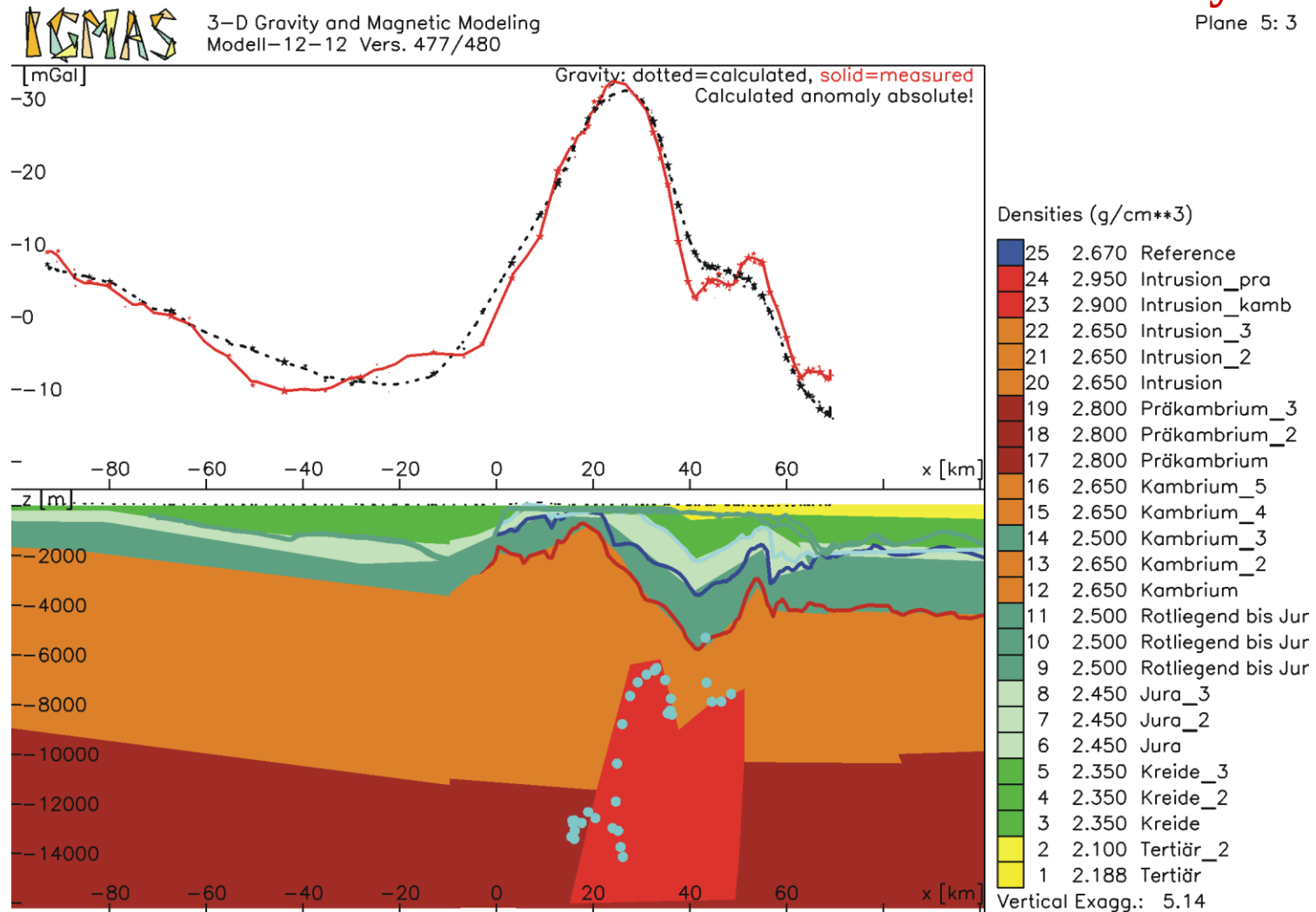


porovnanie modelovania anomálie „Bramsche“ a výsledkov Euler. dekonv.

interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia – Eulerova dekonvolúcia

izolovaná anomália – dobré výsledky



porovnanie modelovania anomálie „Bramsche“ a výsledkov Euler. dekonv.

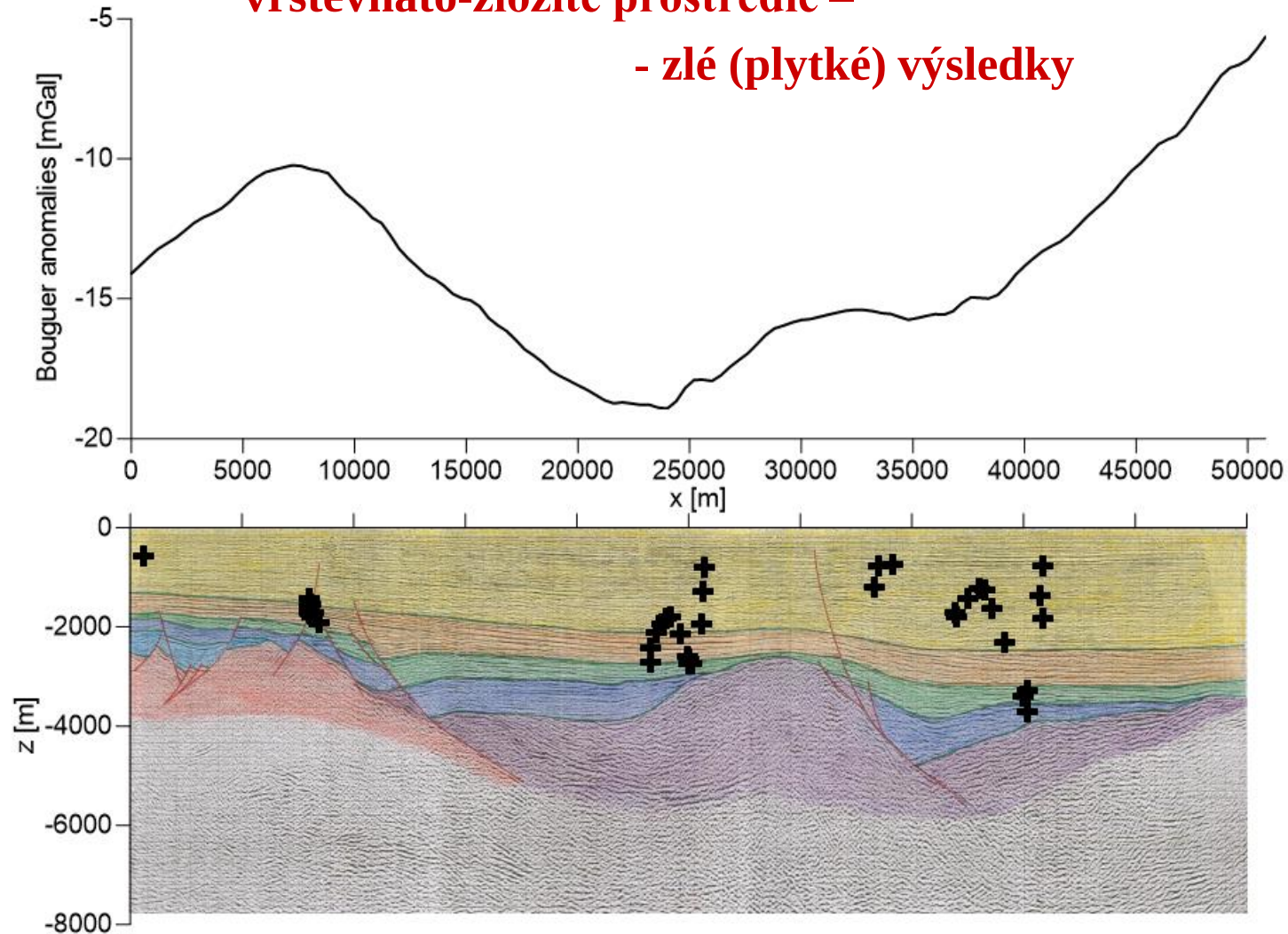
interpretácia v gravimetrii- priame metódy

metódy využívajúce transformované polia – Eulerova dekonvolúcia

profil – Podunajská nížina (pozdĺž MX2)

vrstevnato-zložité prostredie –

- zlé (plytké) výsledky



pozor!

poznámka:

pri štúdiu vlastností dekonvolučných interpretačných metód je veľmi dôležité ich rozdielne správanie v prípade rôznych typoch obrátenej úlohy

z tohoto pohľadu sa ukazuje veľmi vhodná klasifikácia úloh podľa Strachova (1990):

1. úlohy rudného typu – izolované telesá, produkujúce izolované (alebo separovateľné) anomálie – dekonvolučné metódy poskytujú veľmi dobré výsledky
2. úlohy štruktúrneho typu (zvrstvené prostredia, hust. rozhrania) – prostredie pozostáva z viacerých nad sebou uložených vrstiev a rozhraní medzi nimi, táto úloha je omnoho zložitejšia, dekonvolučné metódy poskytujú často iba odhady významných plytších zdrojov
3. úlohy zložitého typu – kombinácia typu 1. a 2., dekonvolučné metódy poskytujú opäť iba odhady významných plytších zdrojov

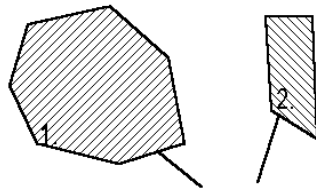
klasifikácia typov obrátených úloh podľa Strachova (1990)

Classes of inverse problems in potential fields

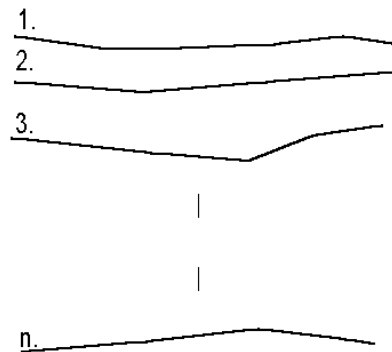
1. problems of ore type

2. problems of structural type

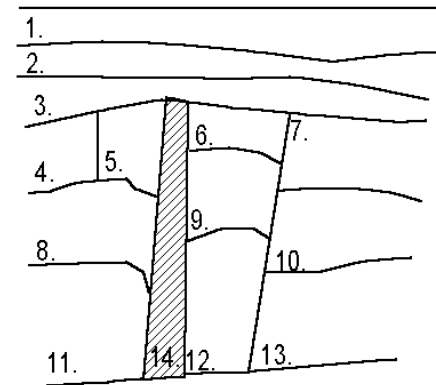
3. problems with complicated
distribution of sources



isolated bodies with constant
physical parameters (or with
small gradient of its change)

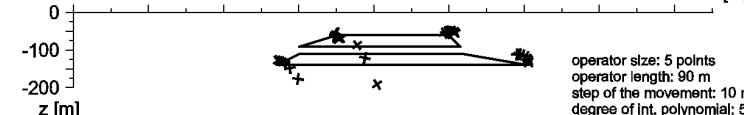
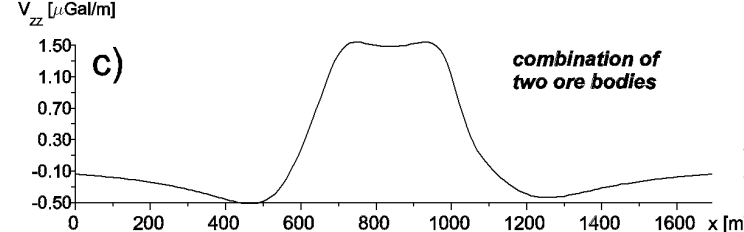
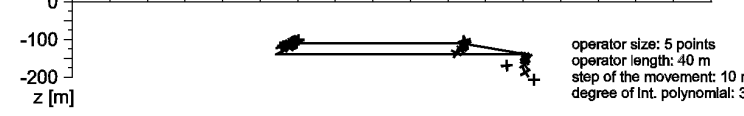
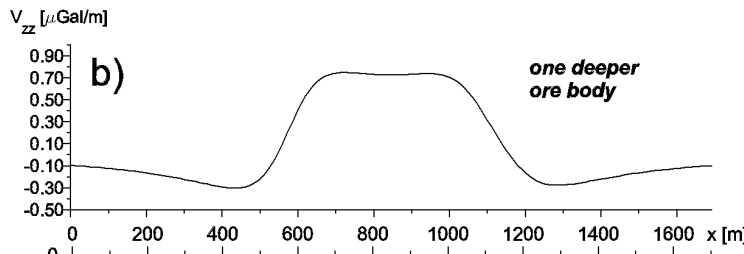
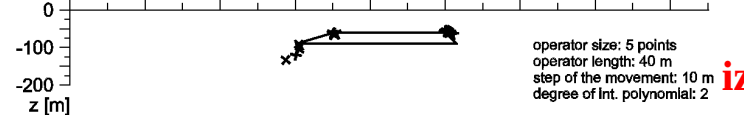
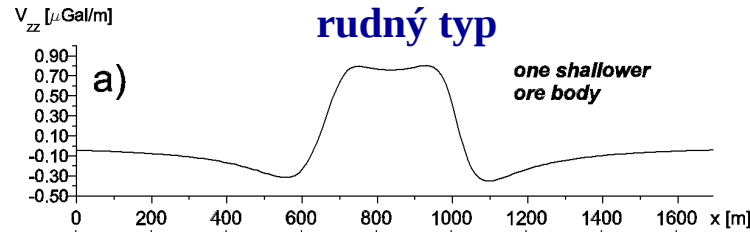


n layers problem - physical parameters
for each of n layers are constant or
described by simple mathematical
functions



connection of ore and structural types

vlastnosti dekonvolučných metód pre prípady úloh rudného a štruktúrneho typu

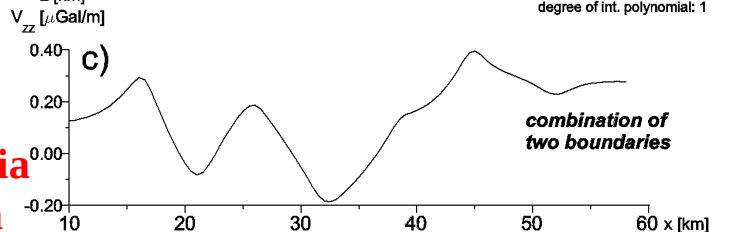
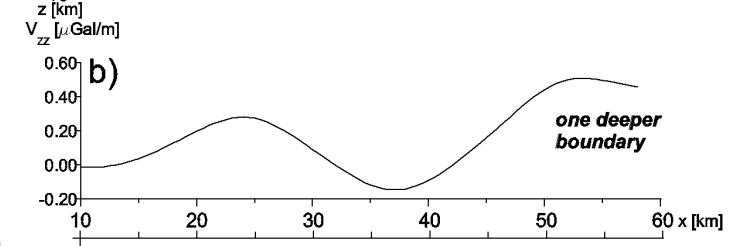
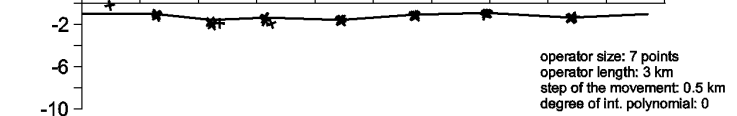
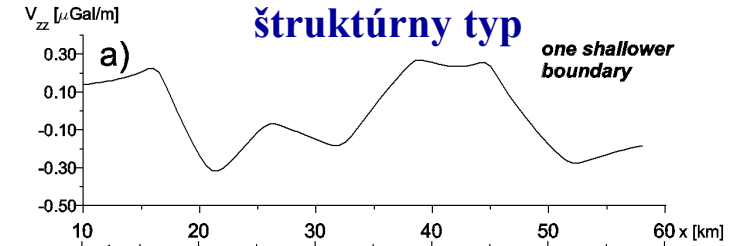


x - position of Werner deconvolution depth solutions

izolované
plytké
zdroje

izolované
hlboké
zdroje

kombinácia
plytkých
a hlbokých



x - position of Werner deconvolution depth solutions

rozpoznané iba plytké

interpretačné metódy v gravimetrii

obrátená úloha ↔ transformácie

rozdiel medzi niektorými inverznými a transformačnými metódami nie je dobre definovateľný – napr. hľadané extrémny niektorých špeciálne transformovaných polí svedčia o polohe zdrojov

napr.:

Nabighian (1974) (Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Geophysics 39, 85 – 92) – **tzv. analytický signál**

Berezkin (1967) (Application of the total vertical gradient of gravity for determination of the depth to the sources of gravity anomalies, Exploration geophysics 18) (rusky) – **tzv. totálny normovaný gradient**

$$AS(x, z) = \frac{(\partial g_x / \partial z)^2 + (\partial g_z / \partial z)^2}{g_x^2 + g_z^2}$$

$$G^N(x, z) = \frac{\sqrt{(\partial g / \partial x)^2 + (\partial g / \partial z)^2}}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{(\partial g_i / \partial x)^2 + (\partial g_i / \partial z)^2}}$$

Metóda Totálneho Normovaného Gradientu (TNG)

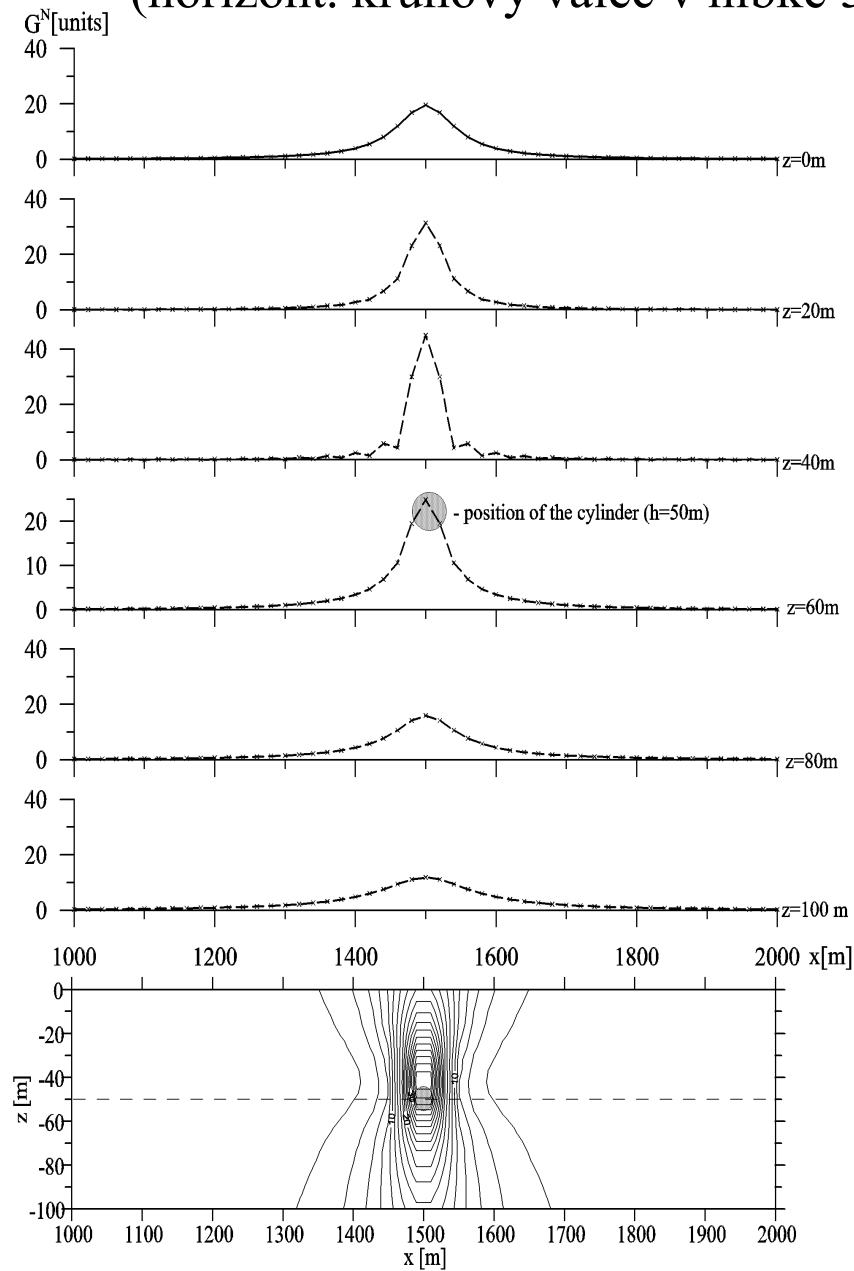
1. Spočítajú sa horizontálne a vertikálne gradienty - $\partial g / \partial x$ a $\partial g / \partial z$ prepočítanej funkcie (smerom nadol) na viacerých hĺbkových úrovniach.
2. Z týchto smerových gradientov je spočítaný totálny gradient:

$$G(x, z) = \sqrt{(\partial g / \partial x)^2 + (\partial g / \partial z)^2}$$

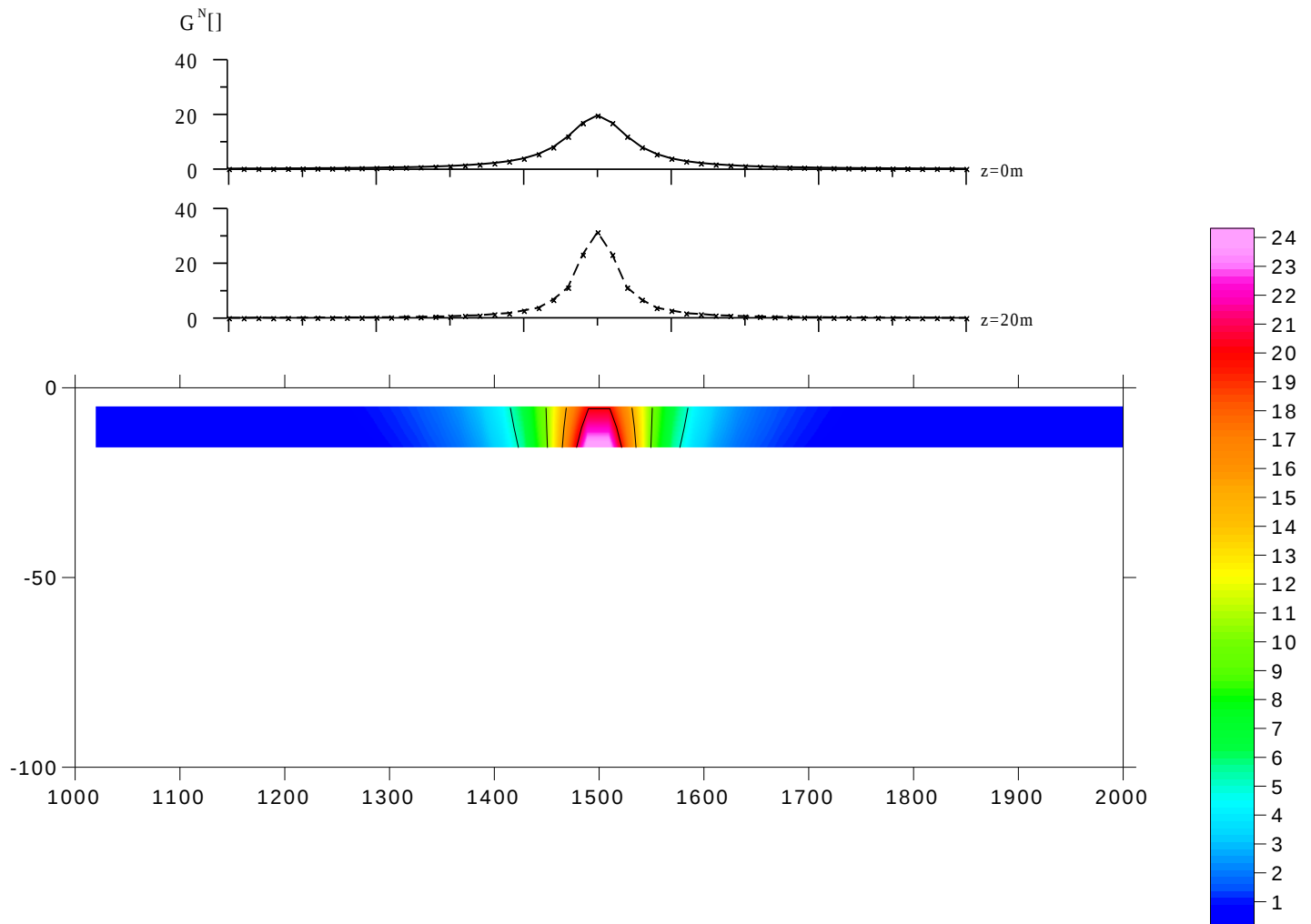
3. Vypočítaný totálny gradient je normovaný (delený) na každej hĺbkovej úrovni s jeho priemernou hodnotou -> vznik poľa TNG (G^N):

$$G^N(x, z) = \frac{\sqrt{(\partial g / \partial x)^2 + (\partial g / \partial z)^2}}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{(\partial g_i / \partial x)^2 + (\partial g_i / \partial z)^2}}$$

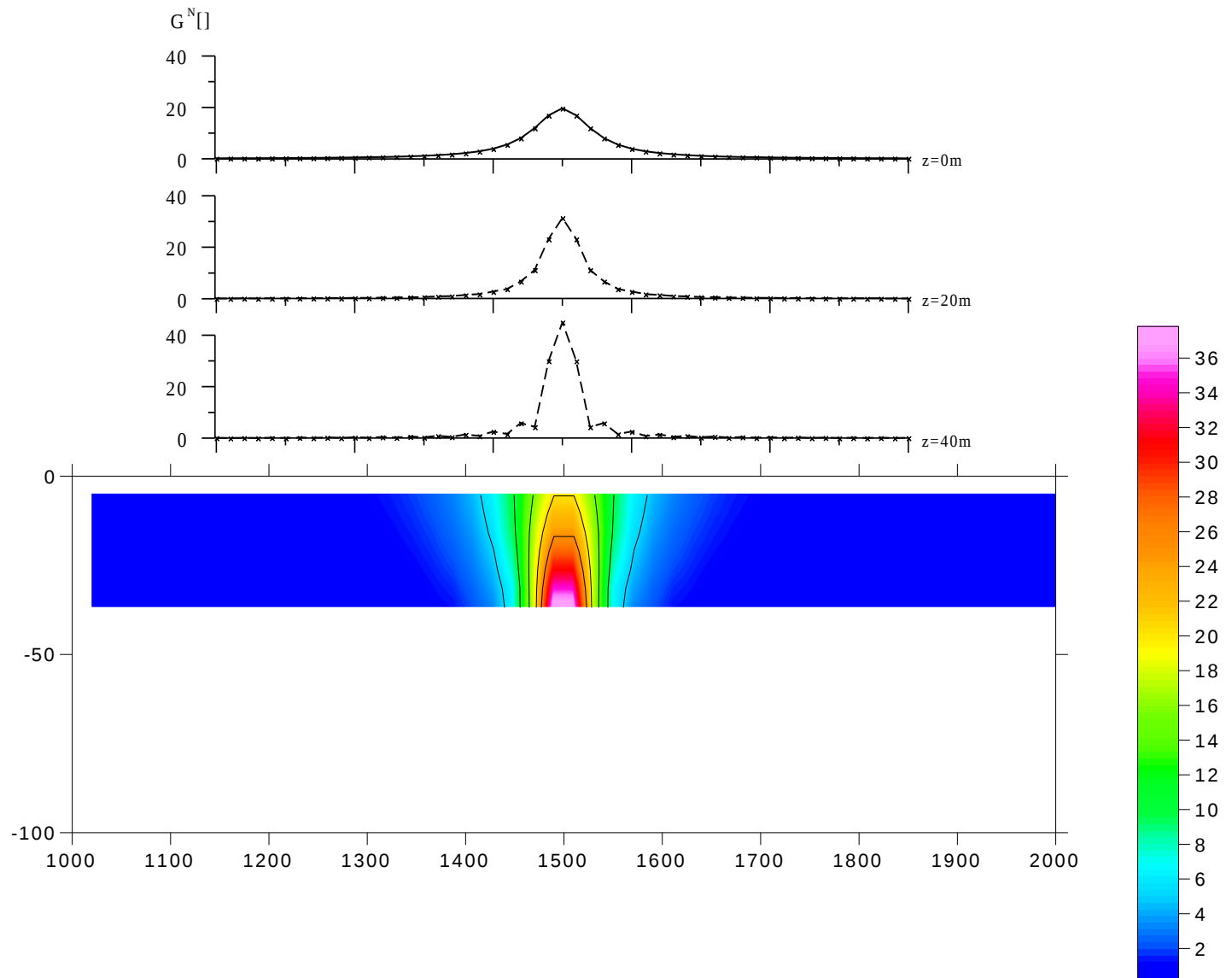
pole totálneho normovaného gradientu v reze cez zdroj (horizont. kruhový valec v hĺbke 50 m)



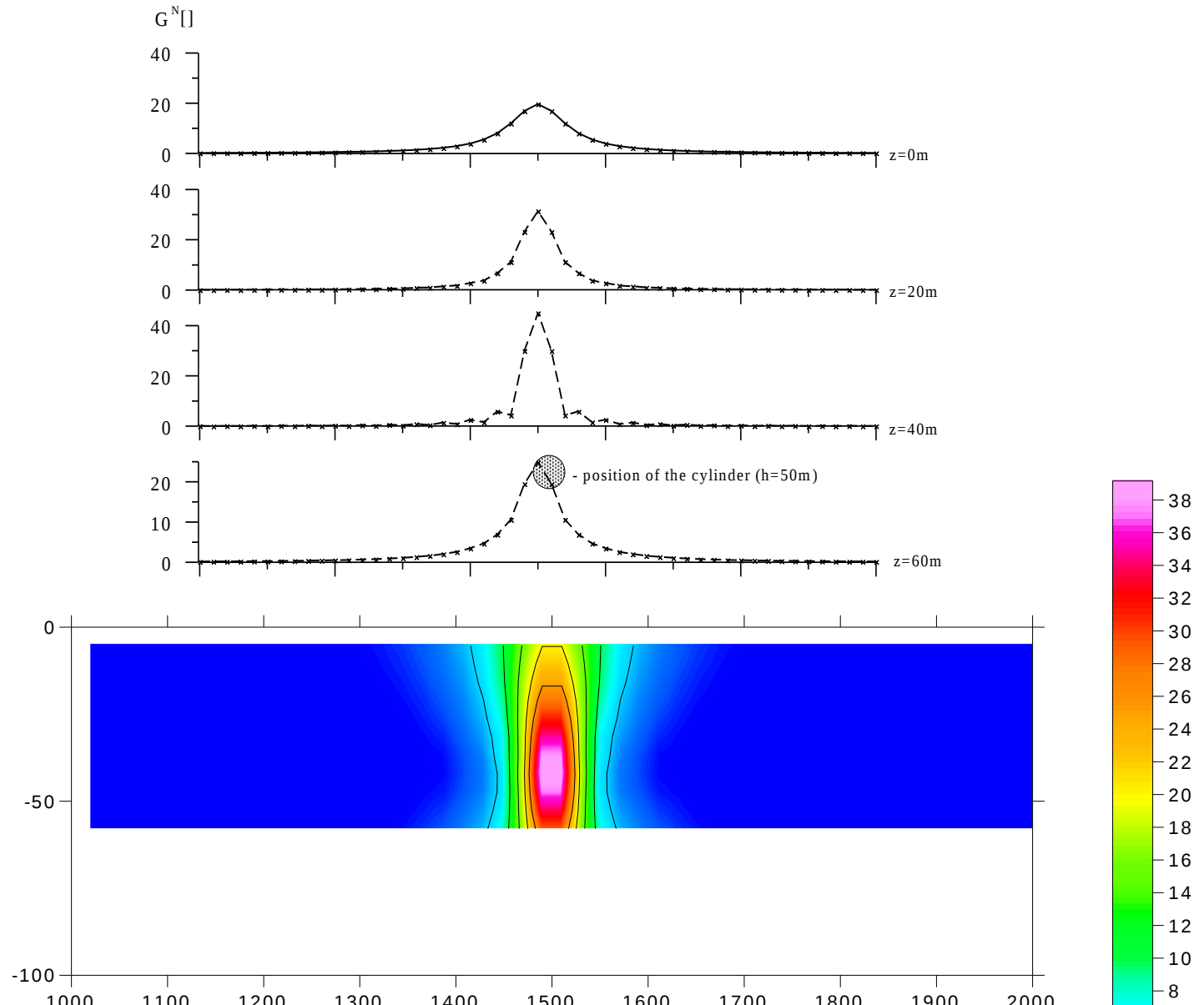
pole totálneho normovaného gradientu v reze cez zdroj
(horizont. kruhový valec v hĺbke 50 m)

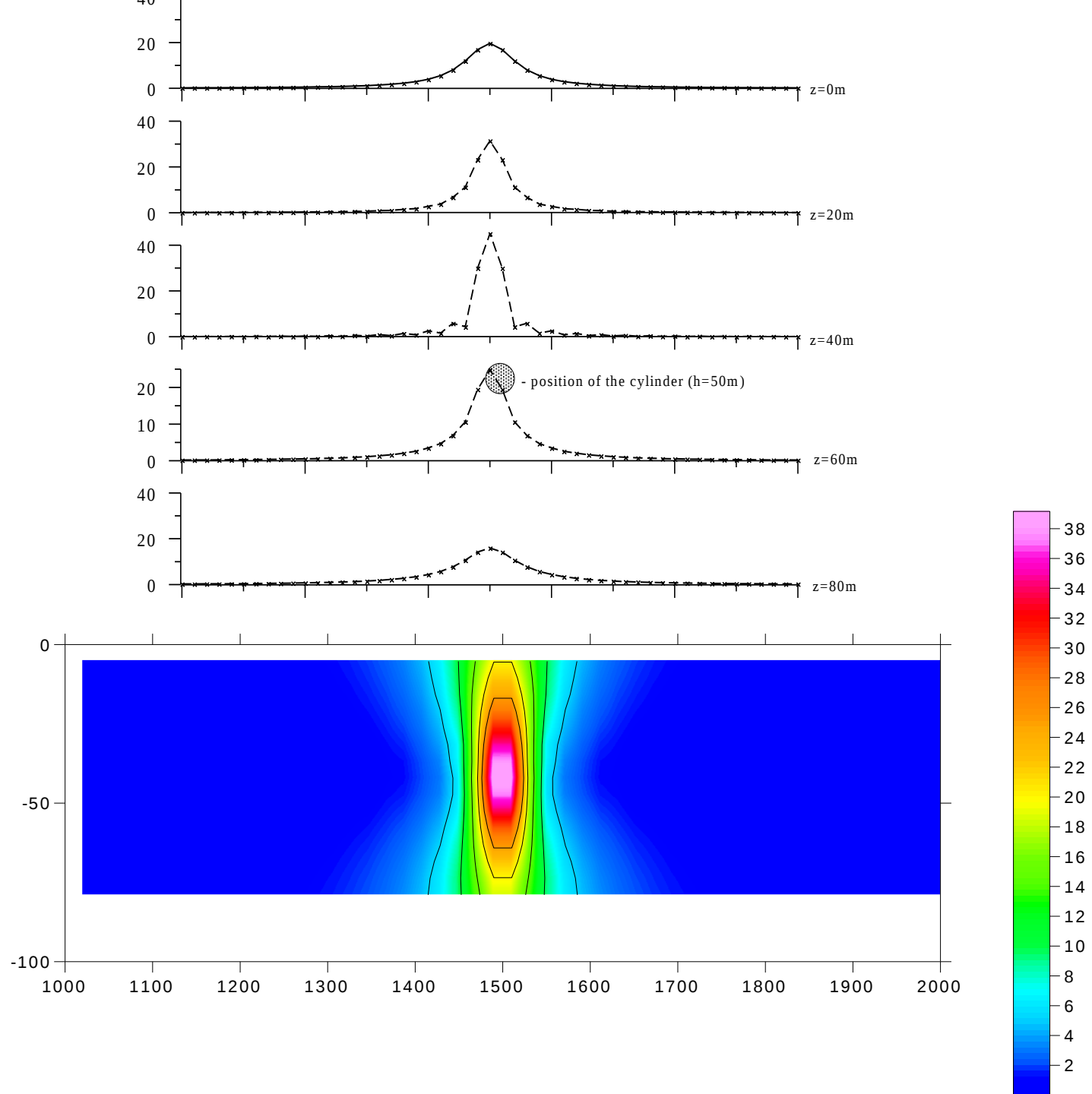


pole totálneho normovaného gradientu v reze cez zdroj
(horizont. kruhový valec v hĺbke 50 m)



pole totálneho normovaného gradientu v reze cez zdroj
(horizont. kruhový valec v hĺbke 50 m)





maximum poľa TNG
je polohovo identické
s polohou stredu 2D
horizontálneho valca

