

transformácie polí (ÚBA) *(tvorba odvodených polí)*

ciele:

- zvýraznenie (separácia) regionálnej a/alebo reziduálnej zložky
(regionálna zložka – väčšinou hlbšie zdroje)
(reziduálna zložka – väčšinou plytšie zdroje)
- zvýraznenie prejavov zdrojov v pôvodnom poli

technická realizácia:

- dolno- a hornopriepustné filtre
(low- and high-pass filters)
v priestorovej alebo spektrálnej oblasti

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

- separácia lokálnych (reziduálnych) anomálií
- analytické pokračovanie nahor/nadol
- výpočet vyšších derivácií
(vertikálnych, horizontálnych)
- iné špeciálne transformácie (zdanlivá hustota, konvexnosť/konkávnosť, „hyperbolicnosť“, atď.)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

transformácie polí

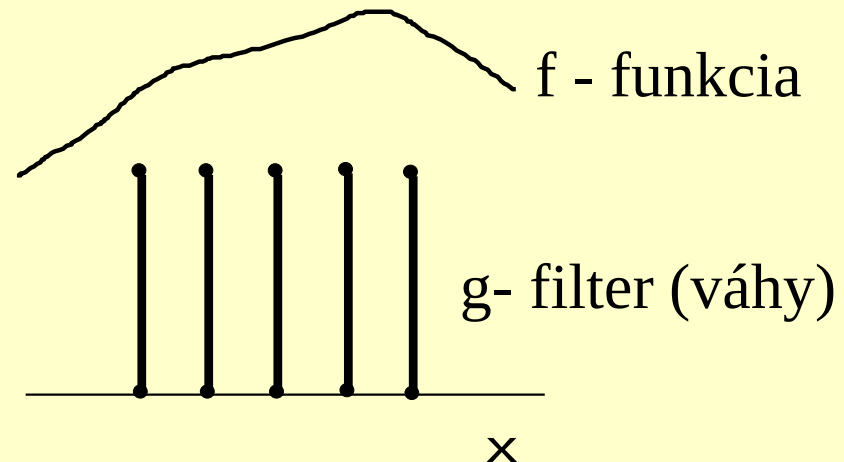
numerická realizácia – v priestorovej oblasti:

tzv. klzajúce konvolučné filtre (okná):

konvolúcia:

$$f * g = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau) g(x - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x - \tau) g(\tau) d\tau = \sum_{i=-m/2}^{+m/2} f_{j-i} g_i$$

Prakticky to potom znamená, že hodnoty poľa násobíme určitými koeficientami a výsledok uložíme pre centrálny bod okna.



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

transformácie polí

numerická realizácia – v spektrálnej (Fourierovej oblasti)

využíva sa pri tom tzv. konvolučná teoréma

konvolúcia:

$$f * g = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\tau)g(x - \tau)d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x - \tau)g(\tau)d\tau$$

konvolučná teoréma:

$$\mathfrak{T}\{f * g\} = F(k)G(k) , \quad \text{kde}$$

$$F(k) = \mathfrak{T}\{f\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-ikx}dx , \quad G(k) = \mathfrak{T}\{g\} = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x)e^{-ikx}dx ,$$

z uvedeného vyplýva, že konvolučné operácie sa dajú veľmi jednoducho realizovať v spektrálnej oblasti – iba násobením spektier

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

transformácie polí

numerická realizácia – v spektrálnej (Fourierovej oblasti)

využíva sa pri tom tzv. konvolučná teoréma

z uvedeného vyplýva, že konvolučné operácie sa dajú veľmi jednoducho realizovať v spektrálnej oblasti – iba násobením spektier

Praktická realizácia:

1. Najprv prevedieme transformované dáta do spektrálnej (Fourierovskej) oblasti pomocou priamej FT,
2. V spektrálnej oblasti sa vykoná násobenie spektra so spektrálnou charakteristikou transformácie
3. Napokon sa výsledok prevedie naspäť do priestorovej oblasti pomocou inverznej FT.

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

transformácie polí

numerická realizácia – v spektrálnej (Fourierovej oblasti)

využíva sa pri tom tzv. konvolučná teoréma

spektrum funkcie sa násobí spektrálnou charakteristikou operácie

určenie spektrálnych charakteristík transformácií –

- pomocou využitia vlastností Fourierovej transformácie a jej aplikácii na priestorové ekvivalenty transformácií

príklady:

horizontálna derivácia: $(ik)^n$

vertikálna derivácia: $|k|^n$

analytické pokračovanie: $e^{\pm |k|z}$

(kde k je spektrálna premenná alebo vlnové číslo)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

transformácie polí

numerická realizácia – v spektrálnej (Fourierovej oblasti)

Jedna zo základných vlastností FT – spektrum z derivácie:

$$\begin{aligned} F\left\{\frac{\partial g}{\partial x}\right\} &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial}{\partial x} [g(x)e^{-ikx}] dx = \int_{-\infty}^{+\infty} (-ik)g(x)e^{-ikx} dx = \\ &= (-ik) \int_{-\infty}^{+\infty} g(x)e^{-ikx} dx = (-ik)F\{g(x)\} \end{aligned}$$

Výsledkom je spektrum pôvodnej funkcie, násobené s členom $(-ik)$.

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

separácia lokálnych (reziduálnych) anomálií

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

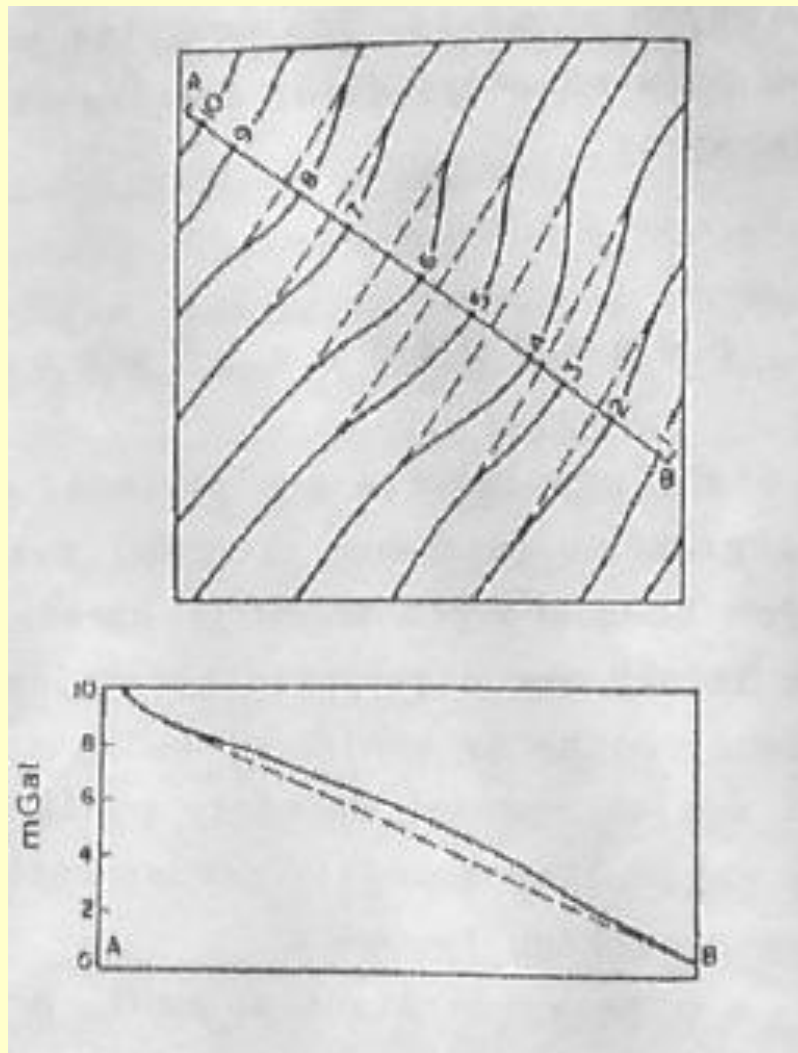
separácia lokálnych (reziduálnych) anomálií

numerická realizácia – v priestorovej (Fourierovej oblasti)

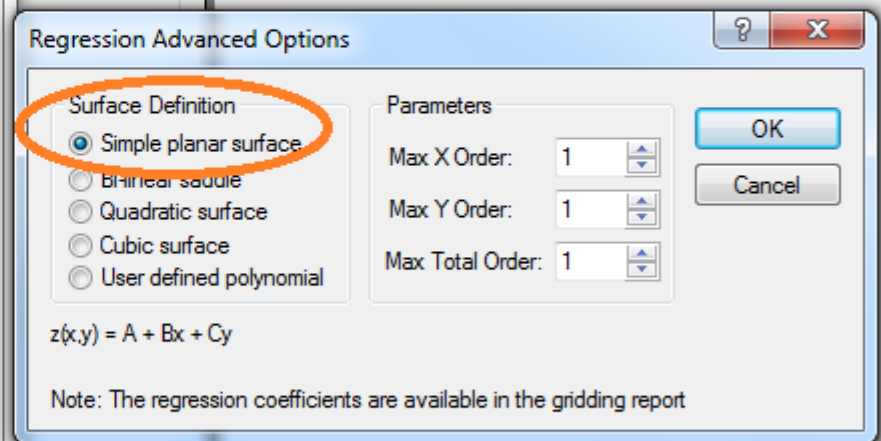
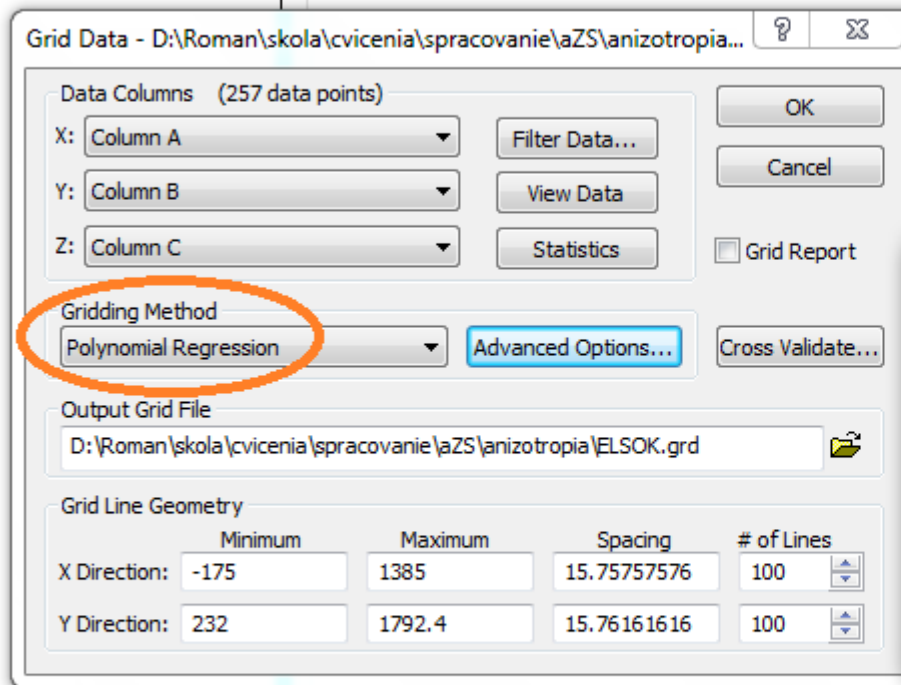
- grafické metódy (v priestorovej oblasti)
- prekladanie funkcií (lineárnej alebo jednoduchého polynómu) (pomocou metódy LSQ – najmenších štvorcov)
- využitie „vystred'ovacích“ vzorcov v priestorovej oblasti (tzv. Griffinov vzorec)
- využitie regionálnej informácie o tvare a hodnotách poľa ÚBA
- separácia v spektrálnej oblasti zadefinovaním hornopriepustného filtra (Butterworth, Lanczos, Haning, Gaussian, Cosine-rollof, atď.) alebo pomocou analytického pokračovania nahor

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii - separácia anomálií

grafická metóda – starší prístup

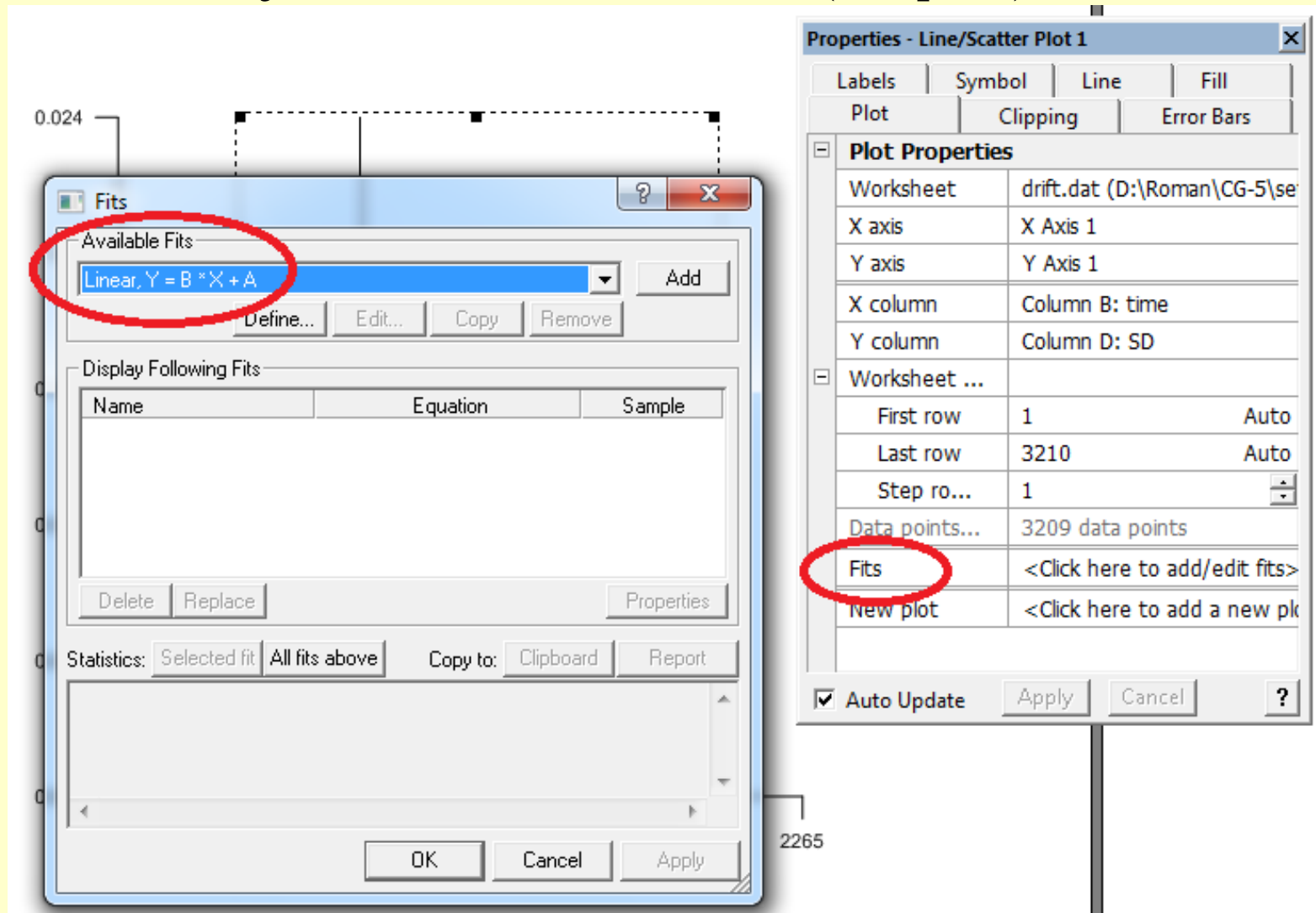


numerická realizácia prekladania polynómov (lineárnej funkcie)
metódou najmenších štvorcov - LSQ (Surfer)



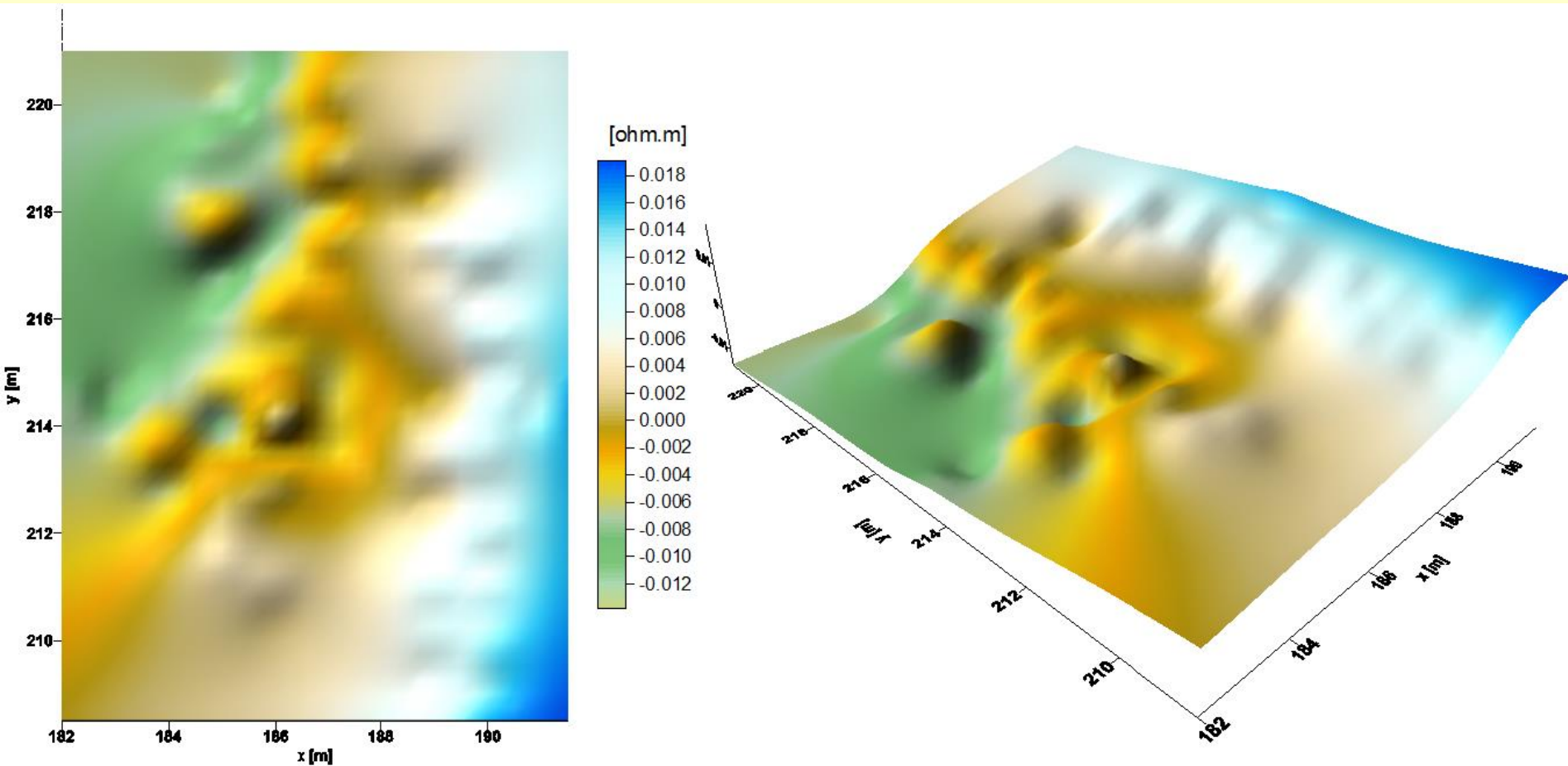
Grid Data -> Gridding Method -> Polynomial Regression ->
-> Simple planar surface

numerická realizácia prekladania polynómov (lineárnej funkcie)
metódou najmenších štvorcov - LSQ (Grapher)



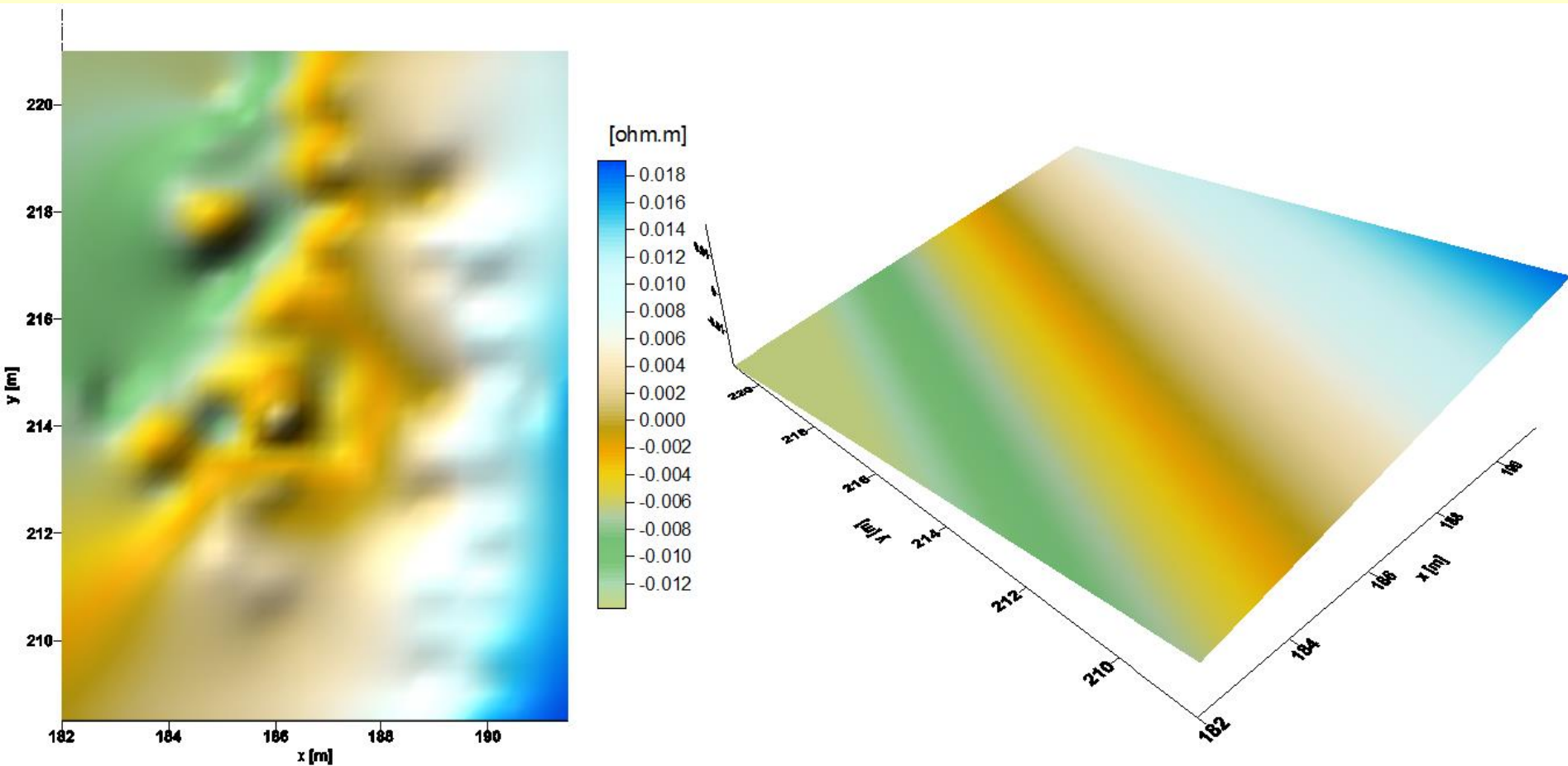
Graph -> Line/Scatter -> Properties -> Fits -> Linear

numerická realizácia prekladania polynómov (lineárnej funkcie)
metódou najmenších štvorcov - LSQ (napr. Surfer, Grapher)



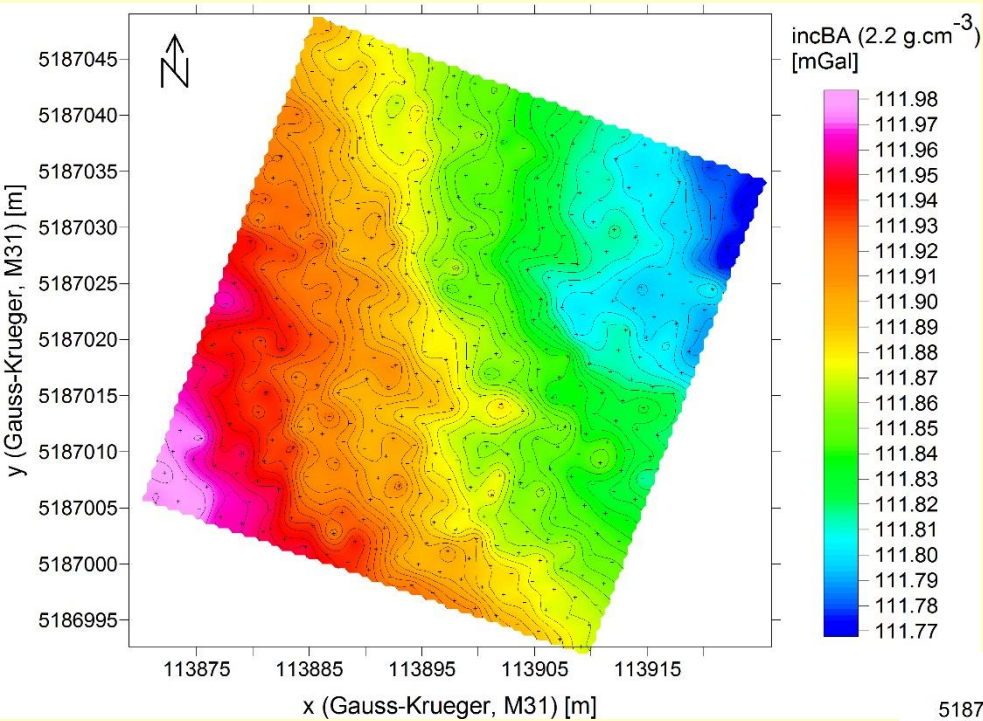
príklad – plošná mapa rozdelenia hodnôt s výrazným trendom

numerická realizácia prekladania polynómov (lineárnej funkcie)
metódou najmenších štvorcov - LSQ (napr. Surfer, Grapher)



príklad – plošná mapa rozdelenia hodnôt s výrazným trendom

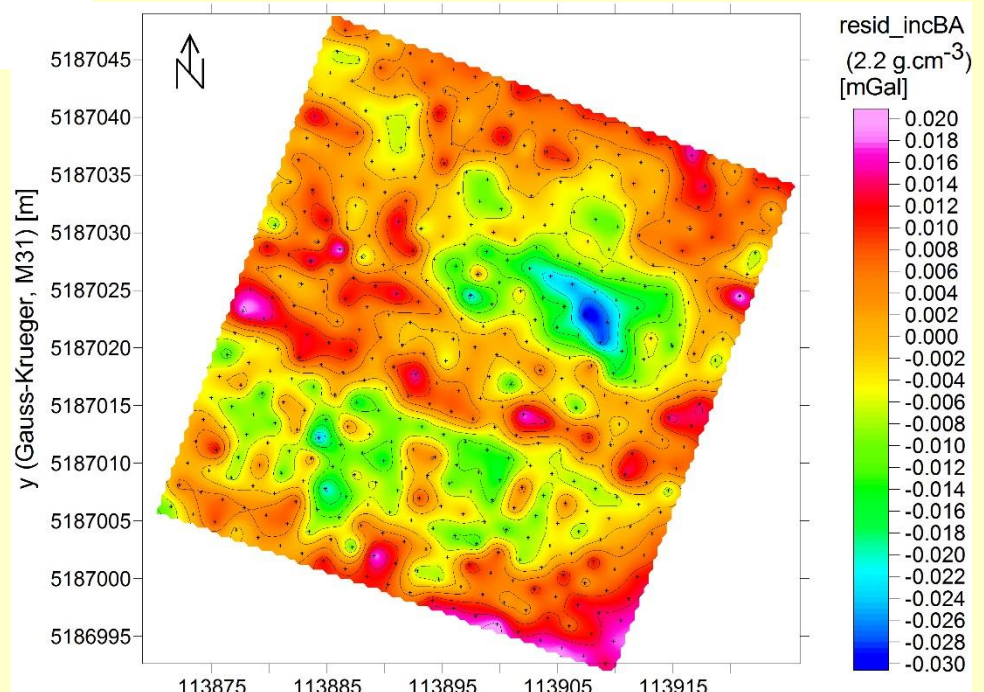
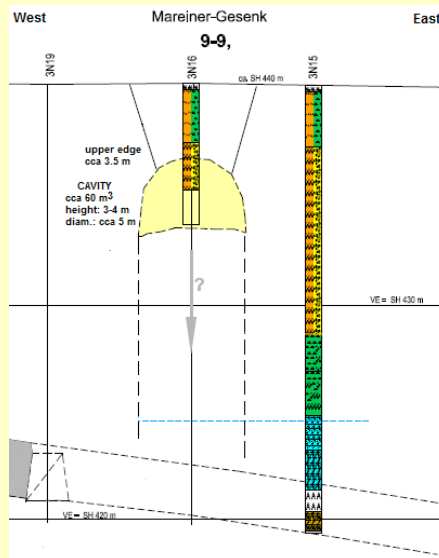
lokalita Wolfsberg (Rakúsko) - mikrogravimetria

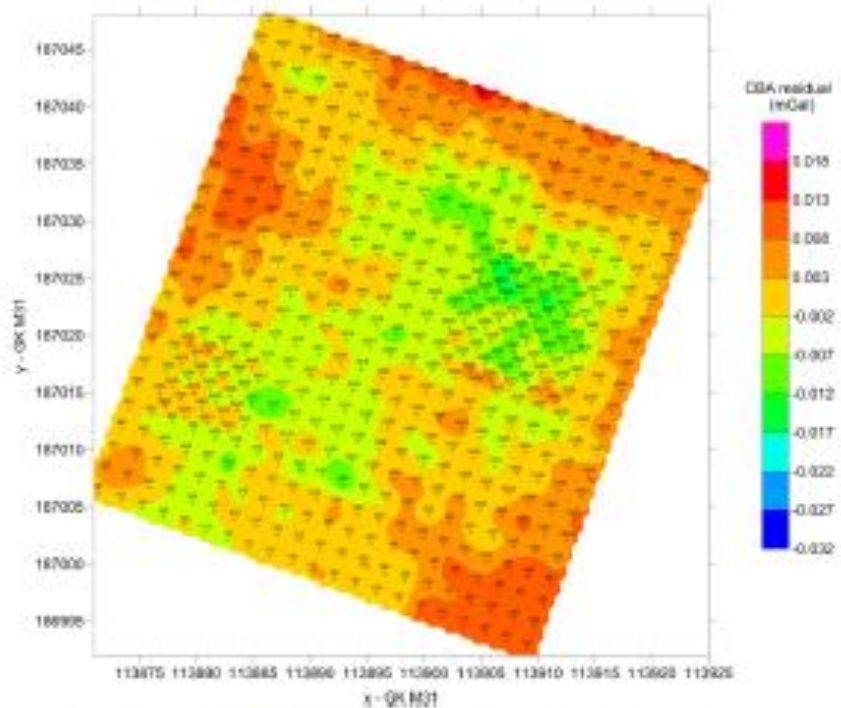


mapa ÚBA

reziduálne anomálie

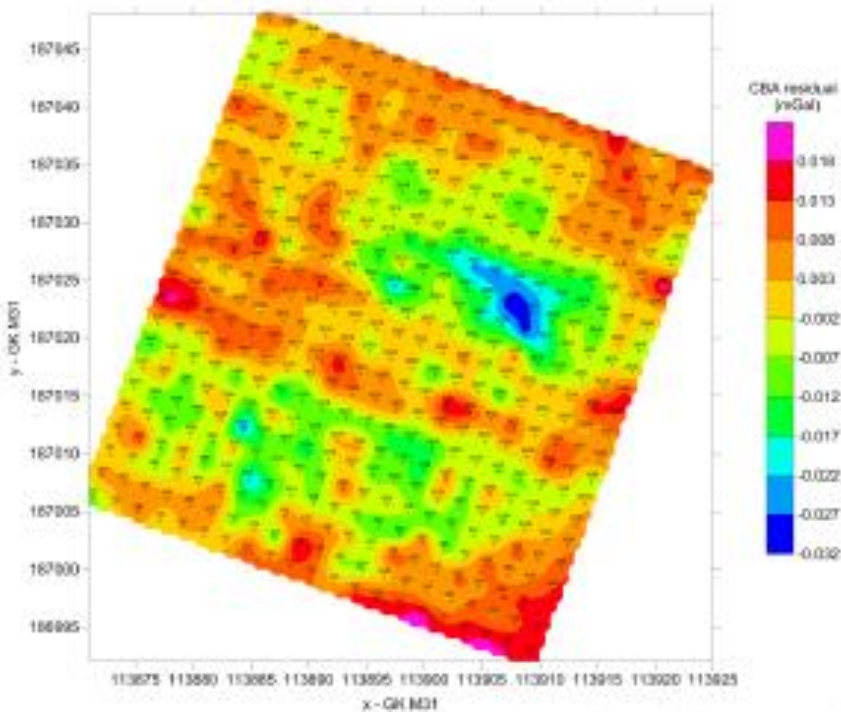
navrtná
dutina





2016

porovnanie rokov
2012 a 2016
(kontrolné merania)

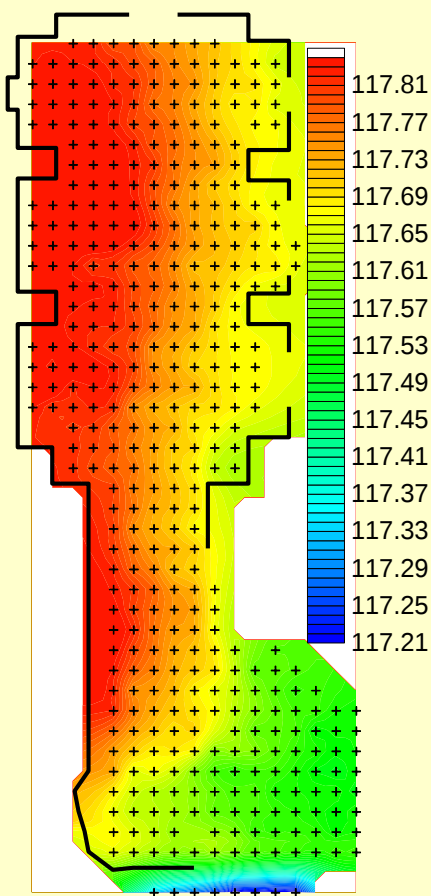


2012

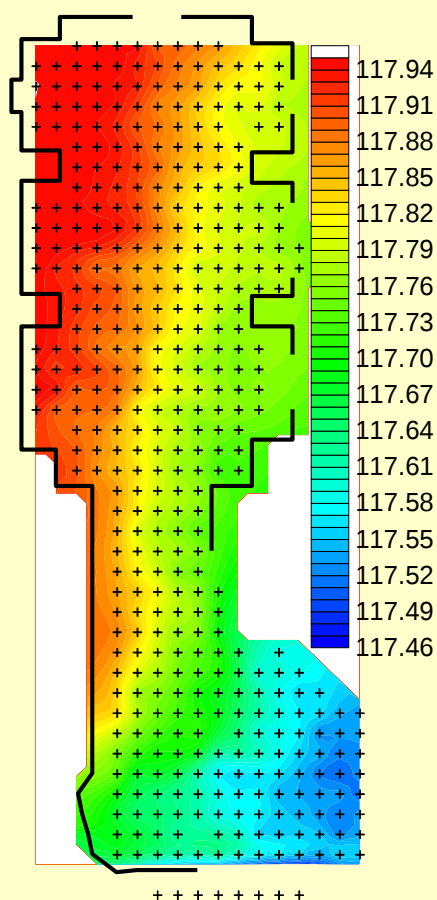


lokalita Katarínka - vývoj mapy reziduálnych anomálií

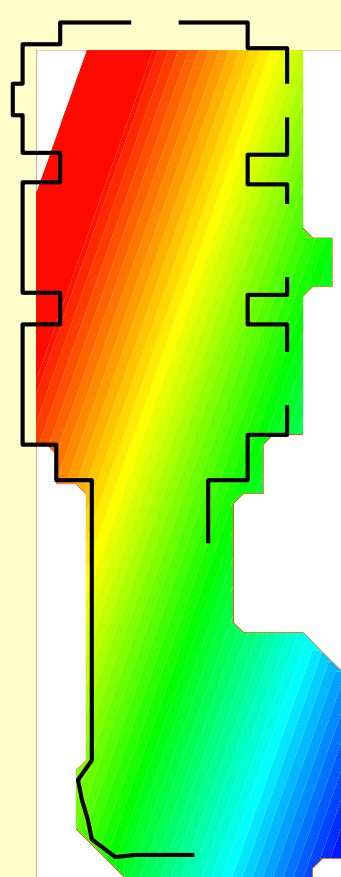
úplné Bougerove
anomálie pre red.
hustotu 2.4 g.cm^{-3}



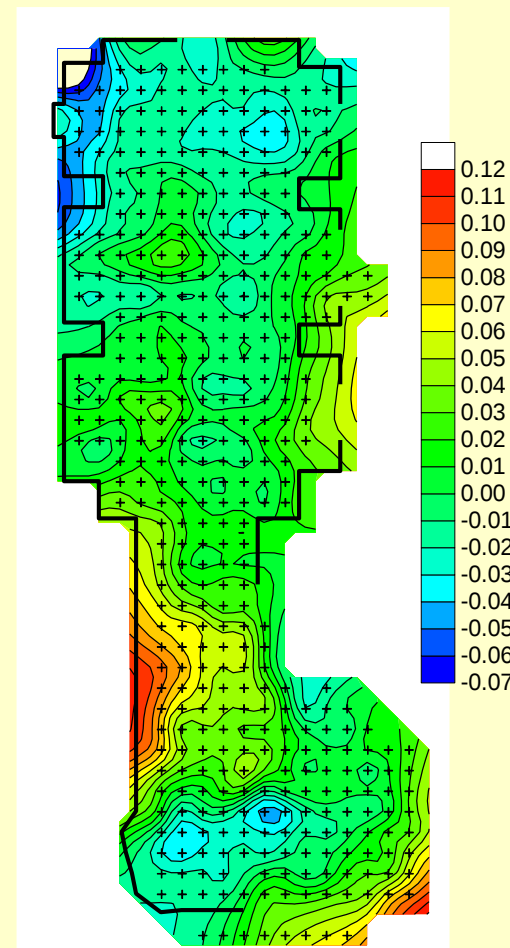
úplné Bougerove
anomálie pre red.
hustotu 2.4 g.cm^{-3}
+ oprava na múry



regionálny trend



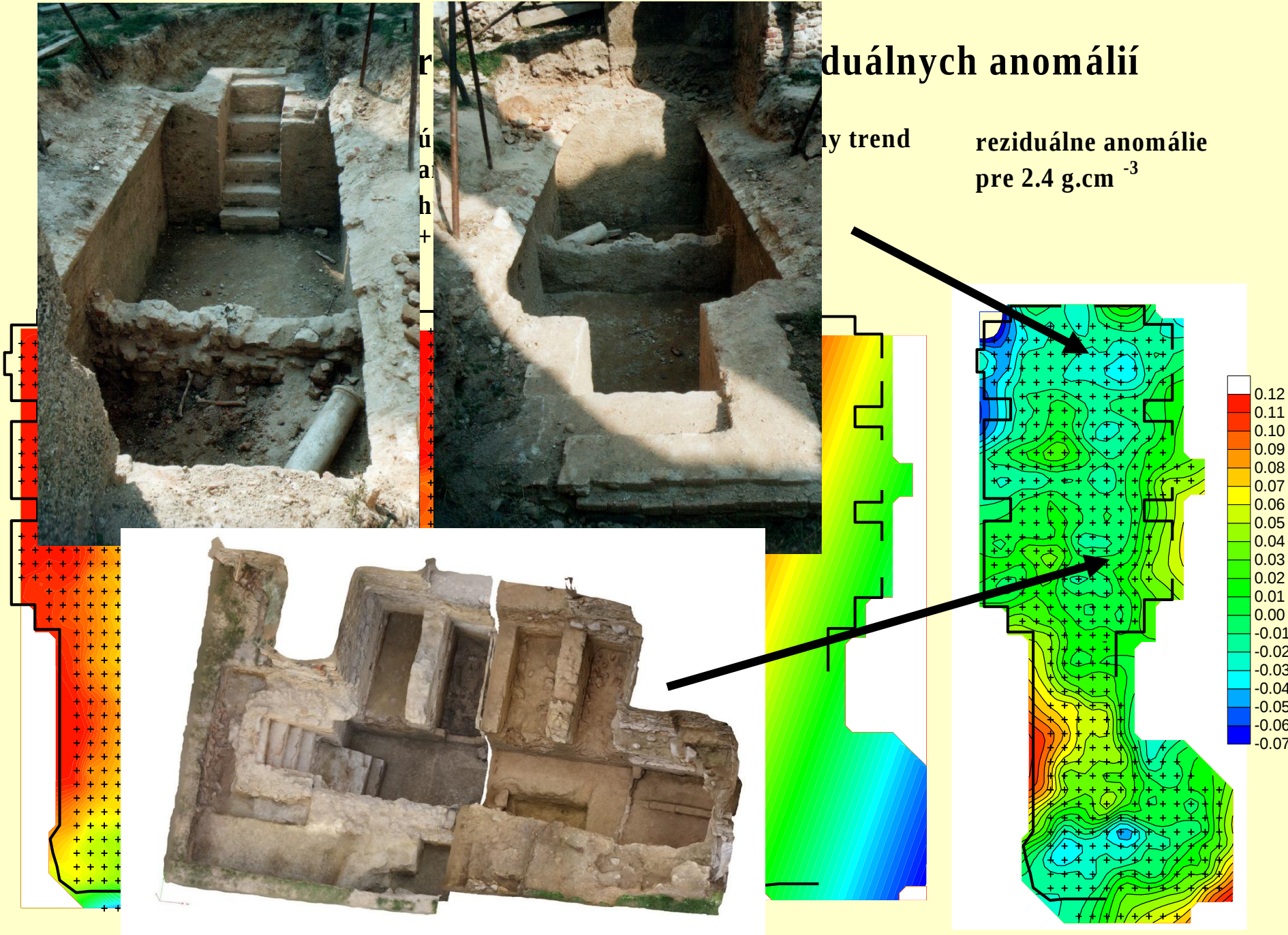
reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}



duálnych anomálií

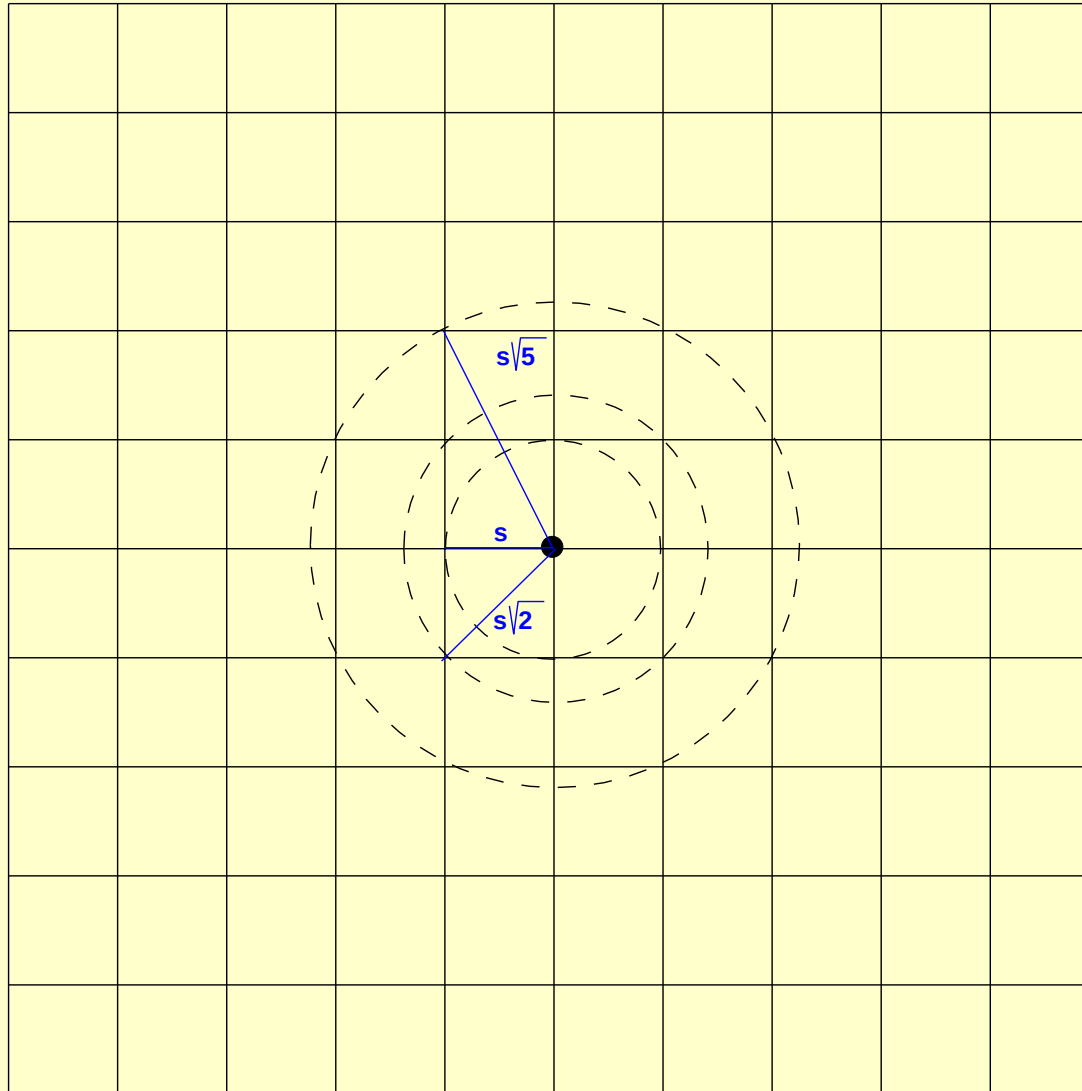
ny trend

reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii - separácia anomálií

Griffinov vystred'ovací vzorec



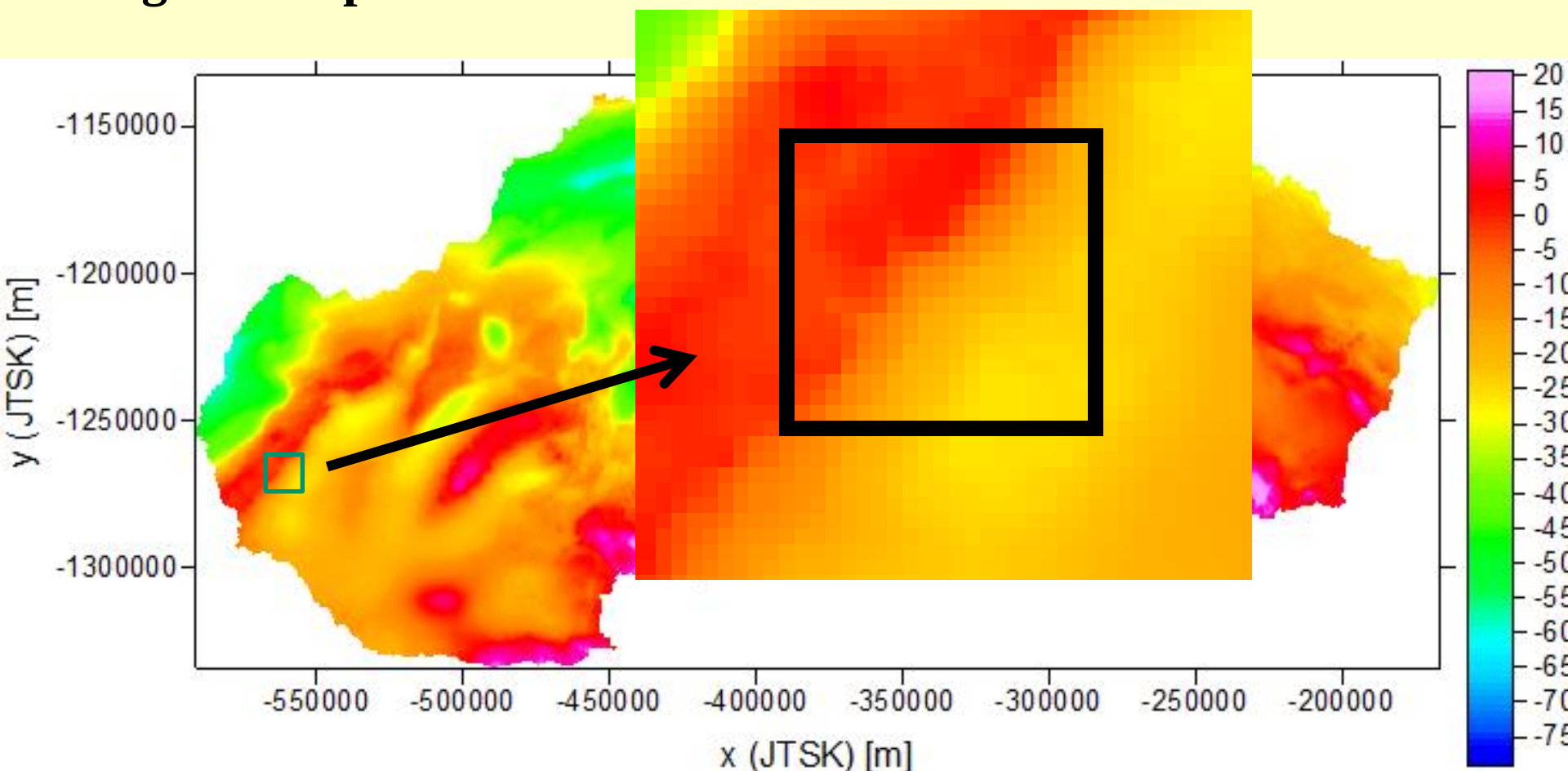
počítajú sa priemery z hodnôt, ležiacich na kružnici s určitým polomerom

(odporúča sa, aby sa rovnal 2 až 3 krát predpokladanej hĺbke anomálnych hmôt, ktoré chceme zvýrazniť)

(používa sa menej – vznik umelých prstencov okolo vyseparovaných anomálií)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii - separácia anomálií

pri prieskumoch s menšou plochou je možné využiť aj regionálne pole ÚBA

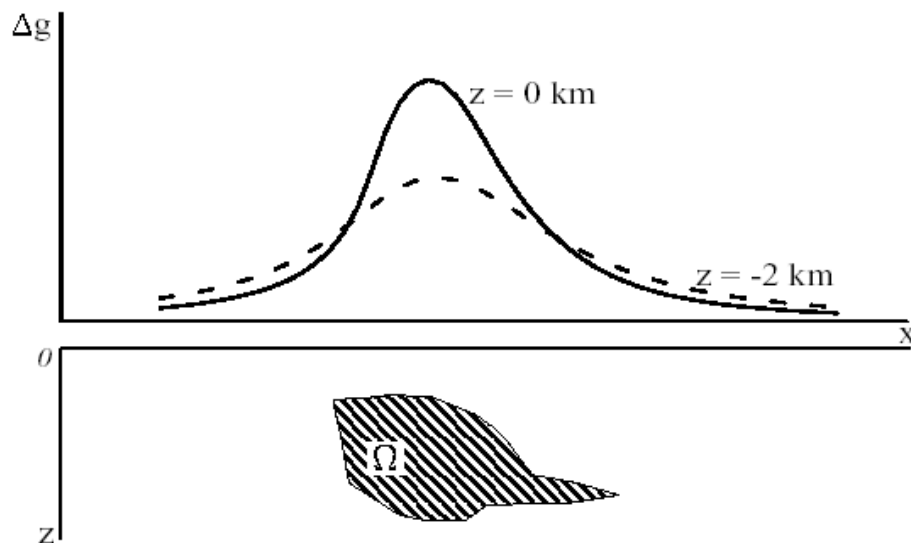


transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

analytické pokračovanie poľa (nahor, nadol)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

analytické pokračovanie poľa (nahor, nadol)



Obr. 1.7

pole sa prepočíta na inú výškovú úroveň

– prepočet je možné realizovať iba v priestore bez významných anomálnych zdrojov (pri porušení tejto podmienky môže dôjsť ku vzniku vážnych defektov)

riešenie tejto transformačnej úlohy je založené na riešení Laplaceovej diferenciálnej rovnice ($\nabla^2 U = 0$) v kartézskych súradniciach (skriptá: Matem. základy teórie geof. metód, II.diel, str.35 – 37)

výsledkom je Fourierova transformácia riešenia = spektrálna charakteristika riešenia = $e^{|k|z}$ (kde k-spektrálna premenná, z-hĺbková úroveň prepočtu)

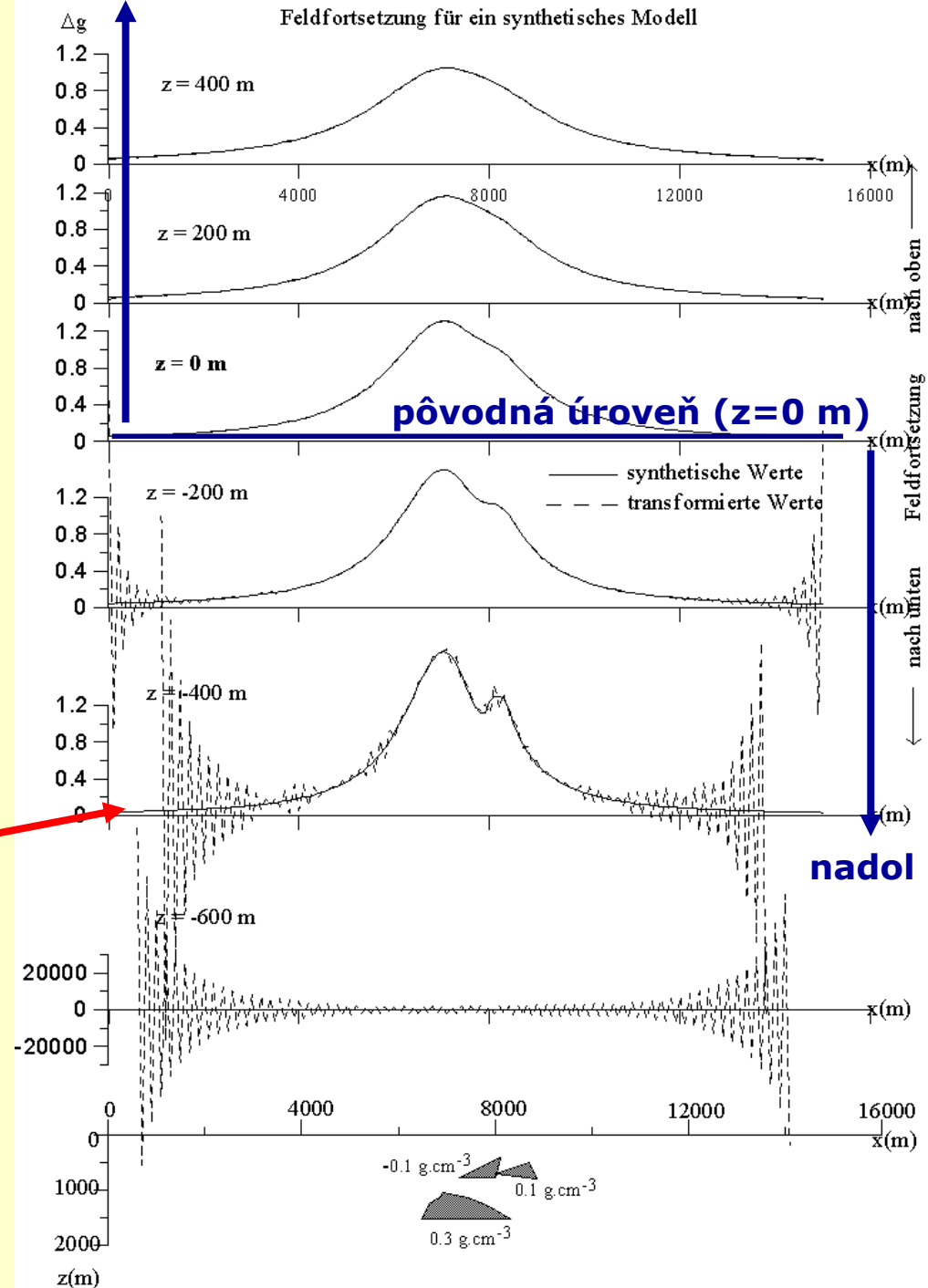
(predpokladá sa, že namerané pole ÚBA je definované na rovine – obmedz.)

analytické pokračovanie poľa

nahor: smerom od zdrojov
nadol: smerom ku zdrojom

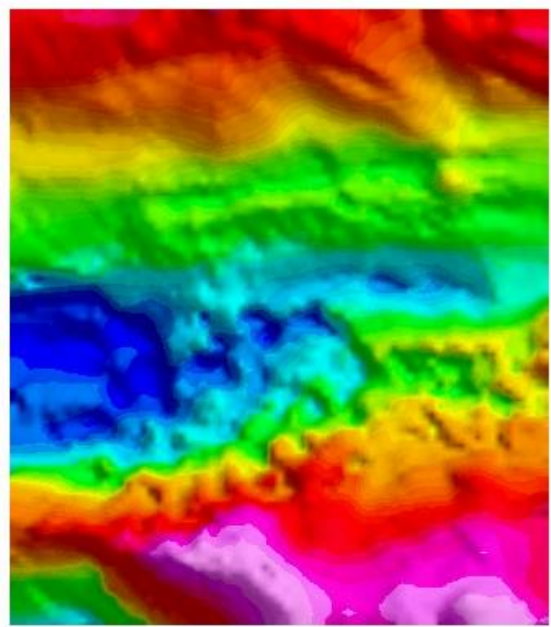
modelový príklad:

pri porušení podmienky,
kladenej na priestor bez
zdrojov poľa dochádza
tzv. rozpad poľa
(pri priblížení sa k zdrojom)

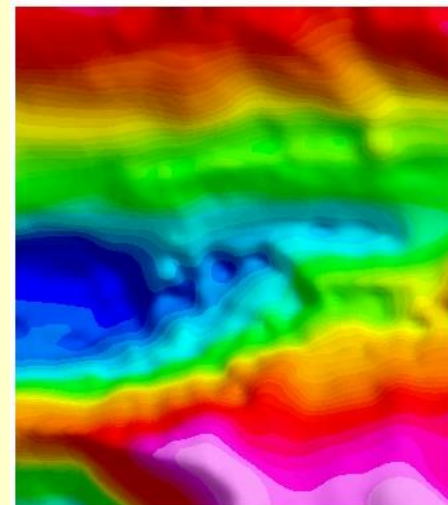


transformácie polí(ÚBA) v gravimetrii

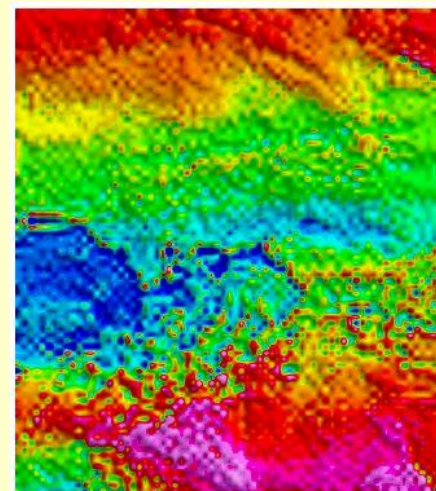
analytické pokračovanie poľa nadol



pokračovanie
nahor
(continuation
upwards)
(5000 m)



pokračovanie
nadol
(continuation
downwards)
(5000 m)



príklad: UBA z projektu TRANSALP, cca. 350 x 400 km

transformácie polí(ÚBA) v gravimetrii

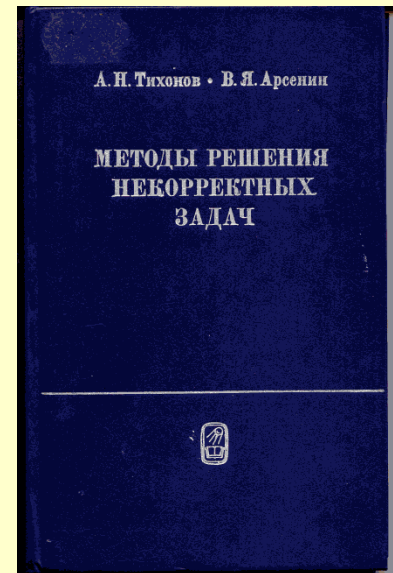
analytické pokračovanie poľa nadol

žiaľ pri analytickom prepočte nadol dochádza k rozpadu poľa niekedy skôr, ako je dosiahnutá hĺbková úroveň najplytších dôležitých zdrojov

- spôsobené je to prítomnosťou šumu a chýb v pôvodných dátach alebo výrazným okrajovým efektom (ktoré sa operáciou pokračovania nadol zvýraznia)

**liek – tlmenie oscilácií pomocou
nízko-pásmového filtra
(vyhladzujúceho filtra)
tzv. regularizácia**

(detaily vo výberovke, 5.ročník)



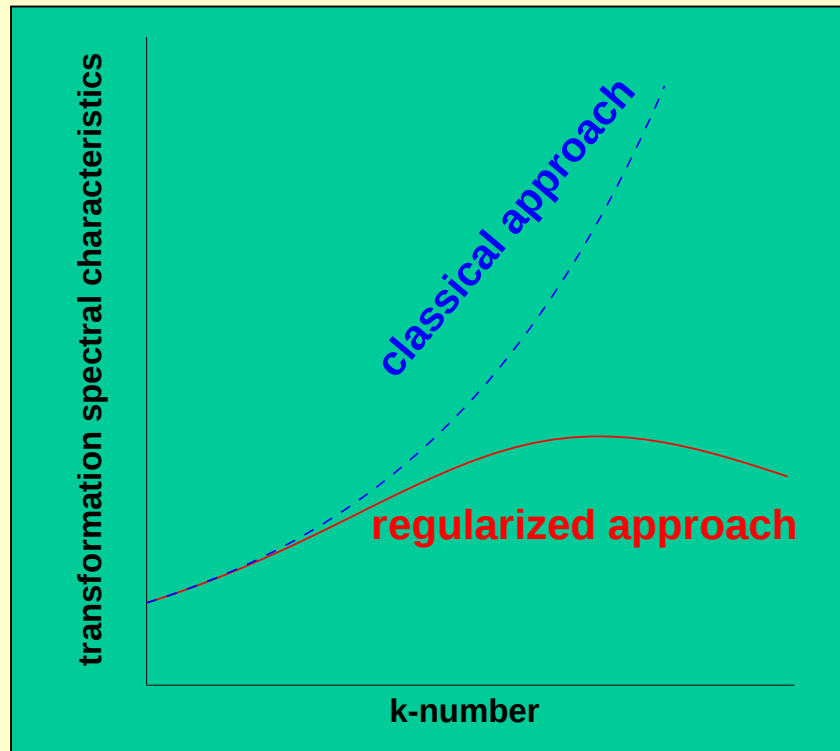
transformácie polí(ÚBA) v gravimetrii

analytické pokračovanie poľa nadol pomocou regularizácie

spektrálna charakteristika = $e^{|k|z}$ $\frac{1}{1 + \alpha k^2 e^{|k|z}}$

klasická
spektrálna
charakteristika

nízko-priepustný
(vyhladzujúci)
filter

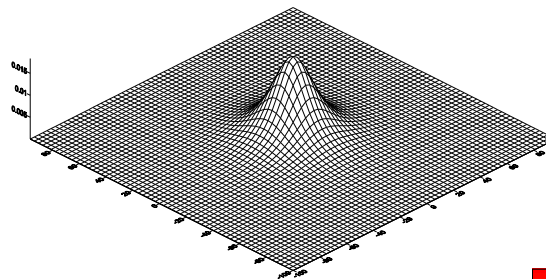
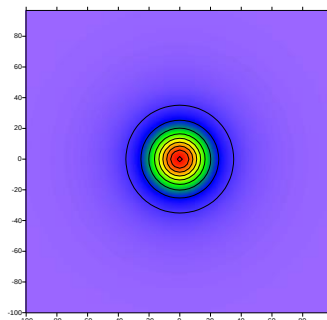


k – spektrálna premenná
 z – hĺbka prepočtu
 α – parameter filtra
(určovaný špeciálnym
spôsobom)

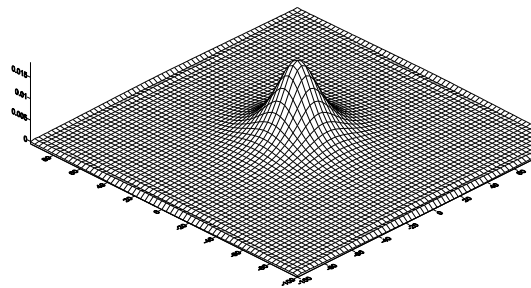
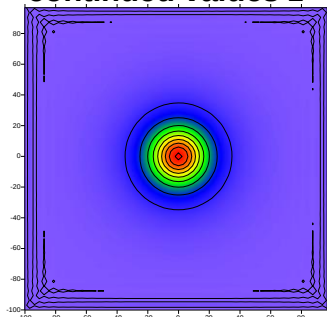
analytické pokračovanie poľa nadol

prepočet
na úroveň
 $z = 6 \text{ m}$

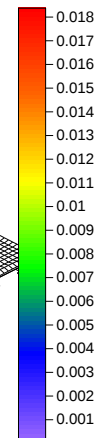
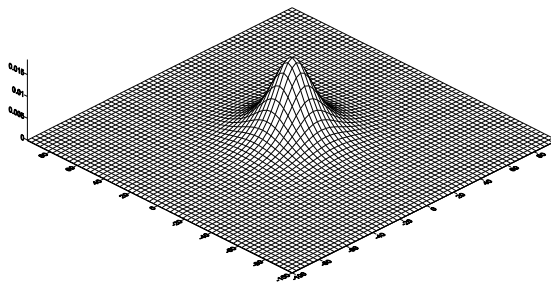
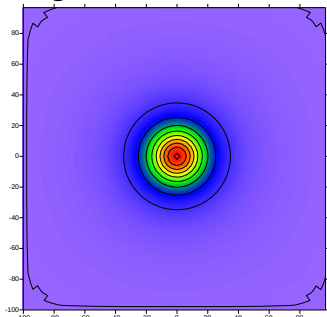
teor. values $z = 6 \text{ m}$



continued values $z = 6 \text{ m}$, error in maximum = 0.75%



regular. continued values $z = 6 \text{ m}$, error in maximum = 0.40%



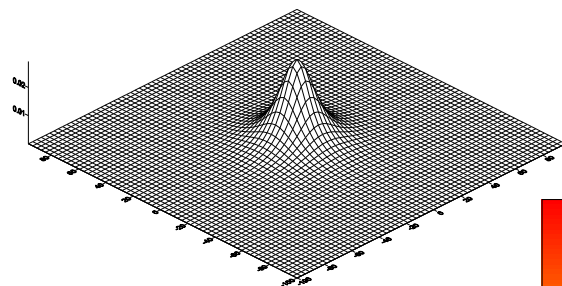
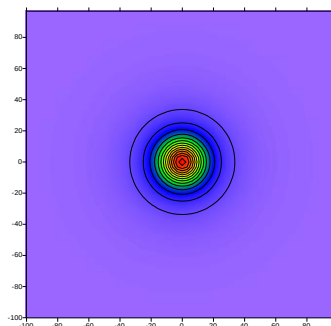
modelová
štúdia
využitia
regulariz.
pokračovania
nadol:

hranol
s hĺbkou
uloženia
hornej hrany
v 20 m

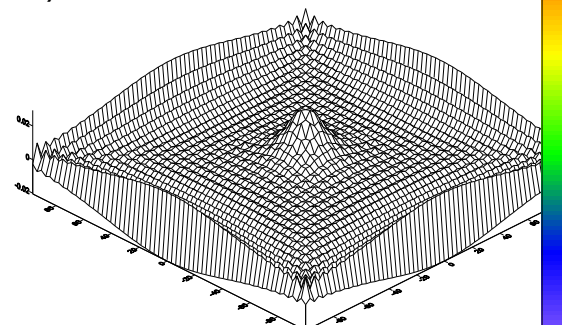
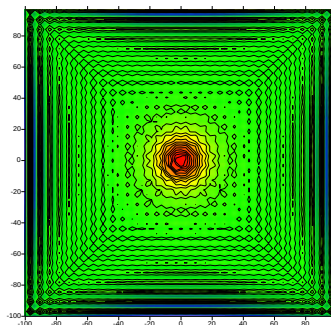
analytické pokračovanie poľa nadol

prepočet
na úroveň
 $z = 10$ m

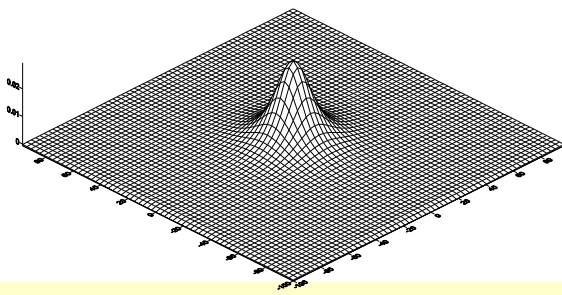
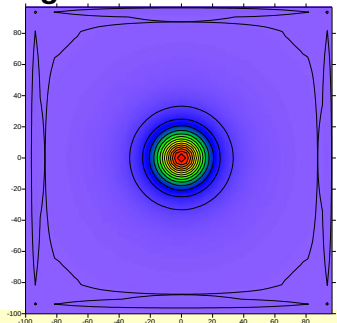
teor. values $z = 10$ m



continued values $z = 10$ m, error in maximum = 2.87%



regular. continued values $z = 10$ m, error in maximum = 0.55%



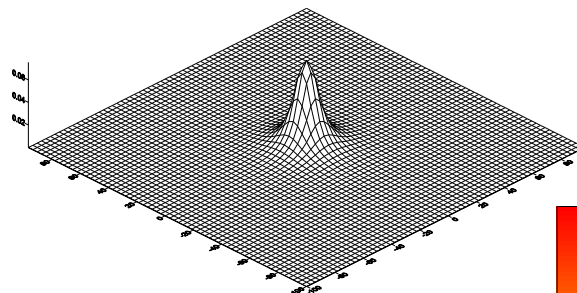
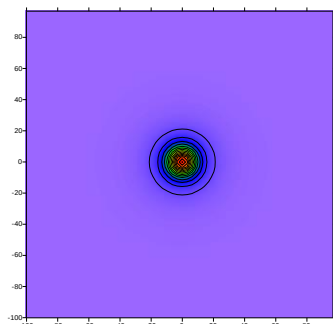
modelová
štúdia
využitia
regulariz.
pokračovania
nadol:

hranol
s hĺbkou
uloženia
hornej hrany
v 20 m

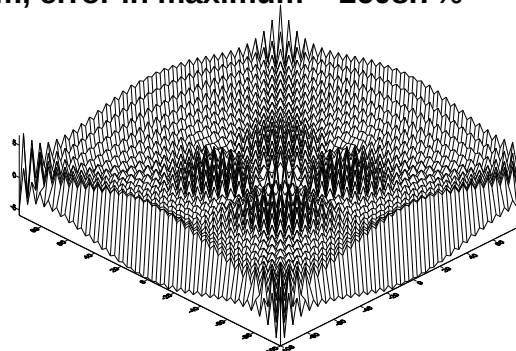
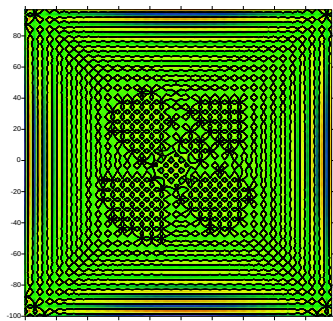
analytické pokračovanie poľa nadol

prepočet
na úroveň
 $z = 16 \text{ m}$

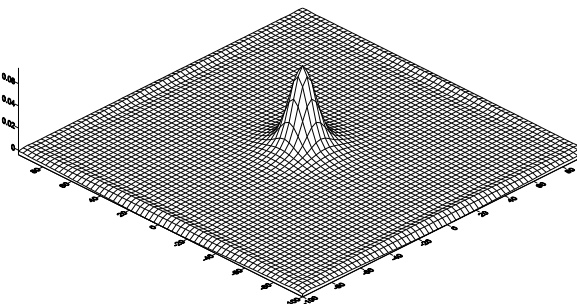
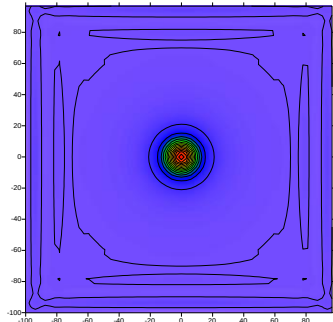
teor. values $z = 16 \text{ m}$



continued values $z = 16 \text{ m}$, error in maximum = 2608.7%



continued values $z = 16 \text{ m}$, error in maximum = 1.97%



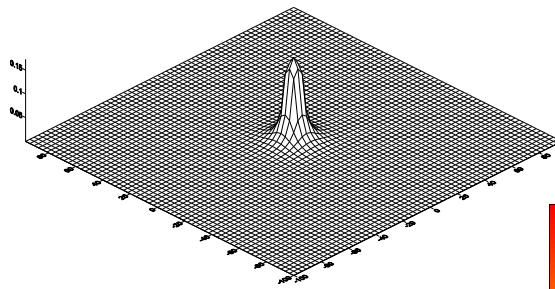
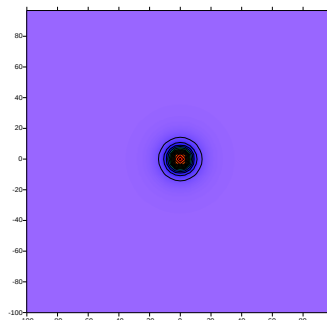
modelová
štúdia
využitia
regulariz.
pokračovania
nadol:

hranol
s hĺbkou
uloženia
hornej hrany
v 20 m

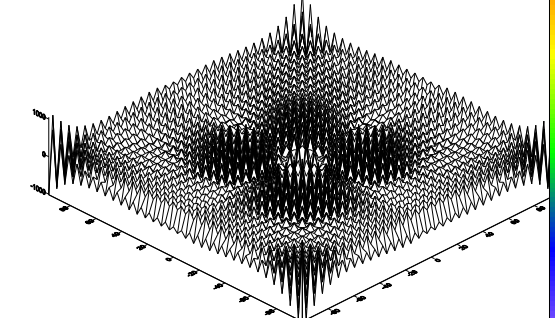
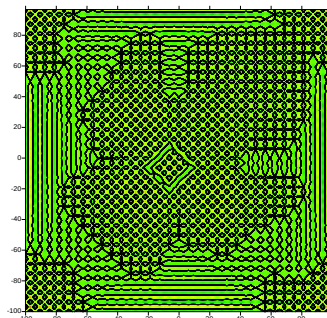
analytické pokračovanie poľa nadol

prepočet
na úroveň
 $z = 20$ m
(horný
okraj
telesa)

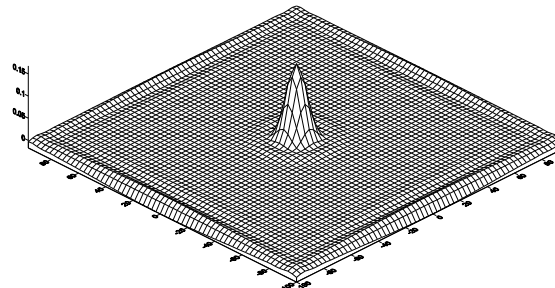
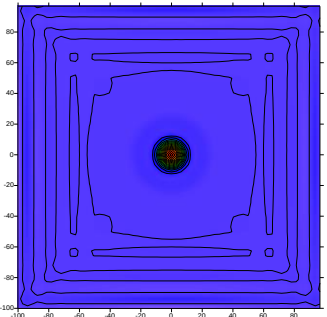
teor. values $z = 20$ m



continued values $z = 20$ m, error in maximum = 168479.12%



continued values $z = 20$ m, error in maximum = 2.77%

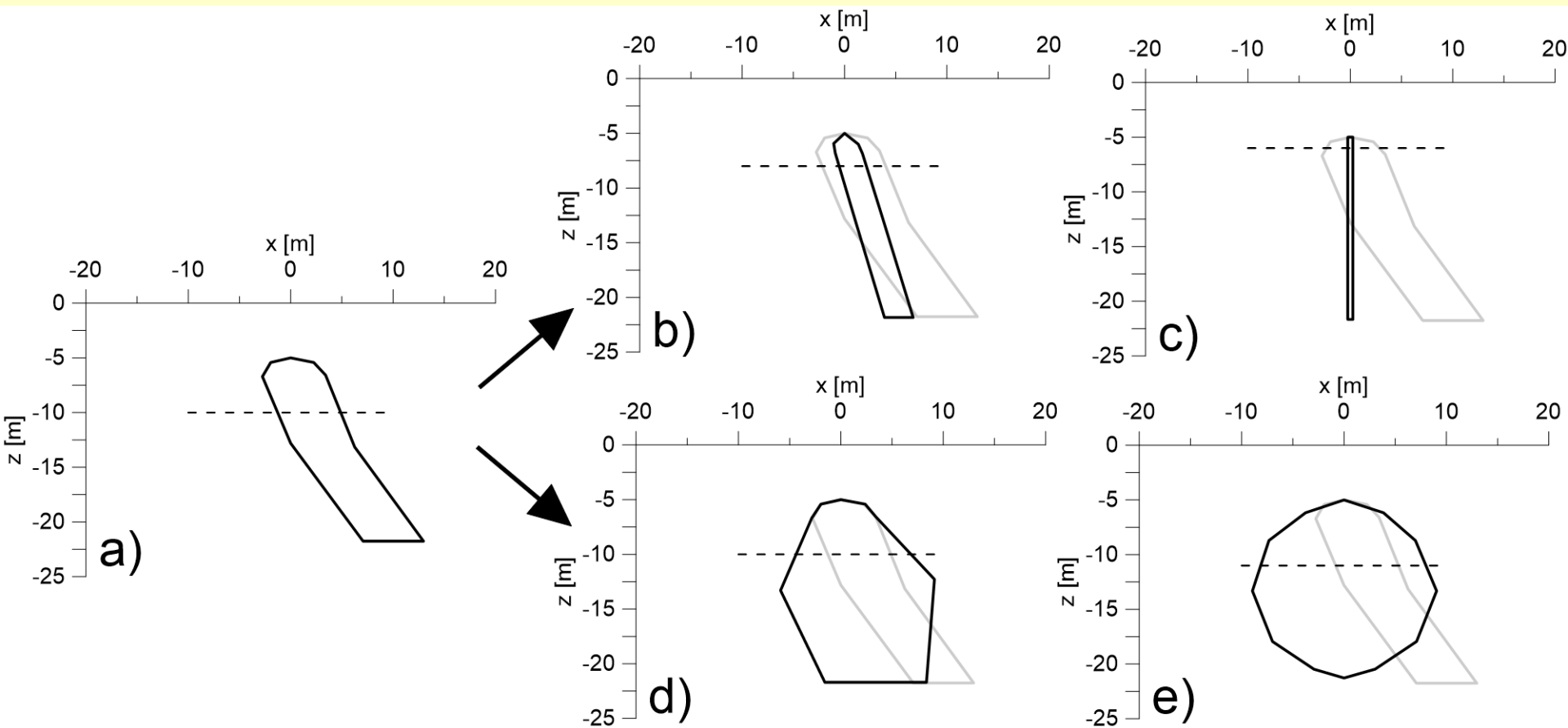


modelová
štúdia
využitia
regulariz.
pokračovania
nadol:

hranol
s hĺbkou
uloženia
hornej hrany
v 20 m

analytické pokračovanie poľa nadol

Teoreticky by sme mali môcť maximálne pokračovať nadol po horný okraj telesa, v praxi sa však dostávame hlbšie (závisí to od viacerých parametrov – aj od tvaru telesa).



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

**výpočet vyšších derivácií
(a ich pomerov)**

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

výpočet vyšších derivácií

- vertikálne derivácie: $V_{zz} = \partial \Delta g_B / \partial z$ a $V_{zzz} = \partial^2 \Delta g_B / \partial z^2$

- horizontálne derivácie: $V_{xz} = \partial \Delta g_B / \partial x$ a $V_{yz} = \partial \Delta g_B / \partial y$

a z nich tvorený

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

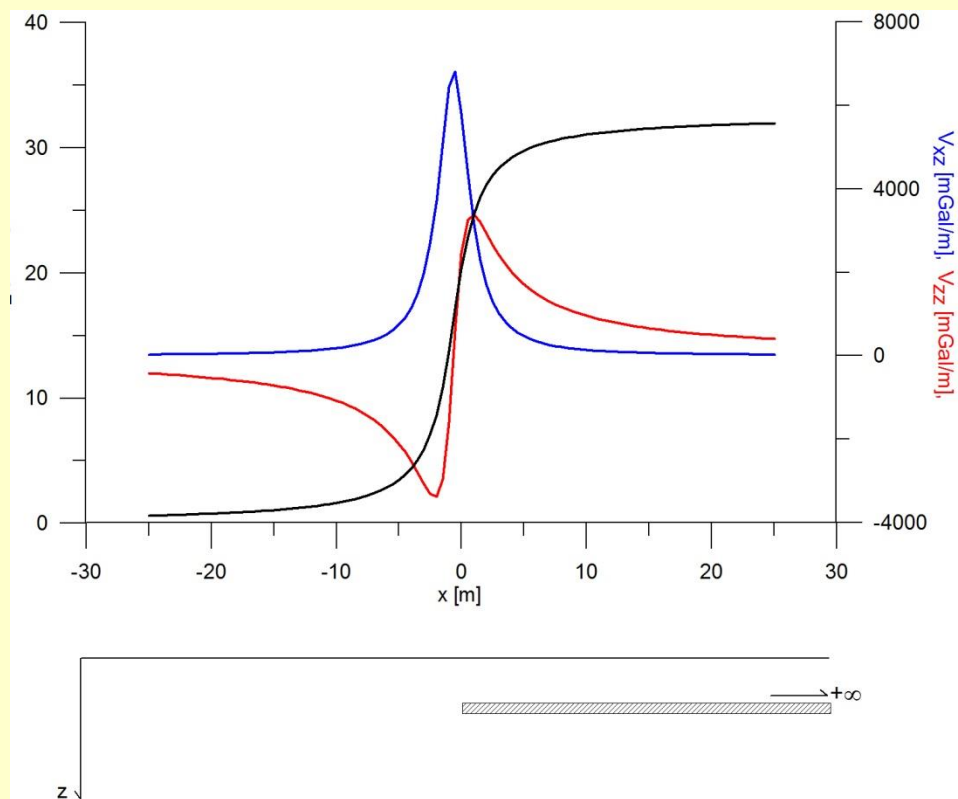
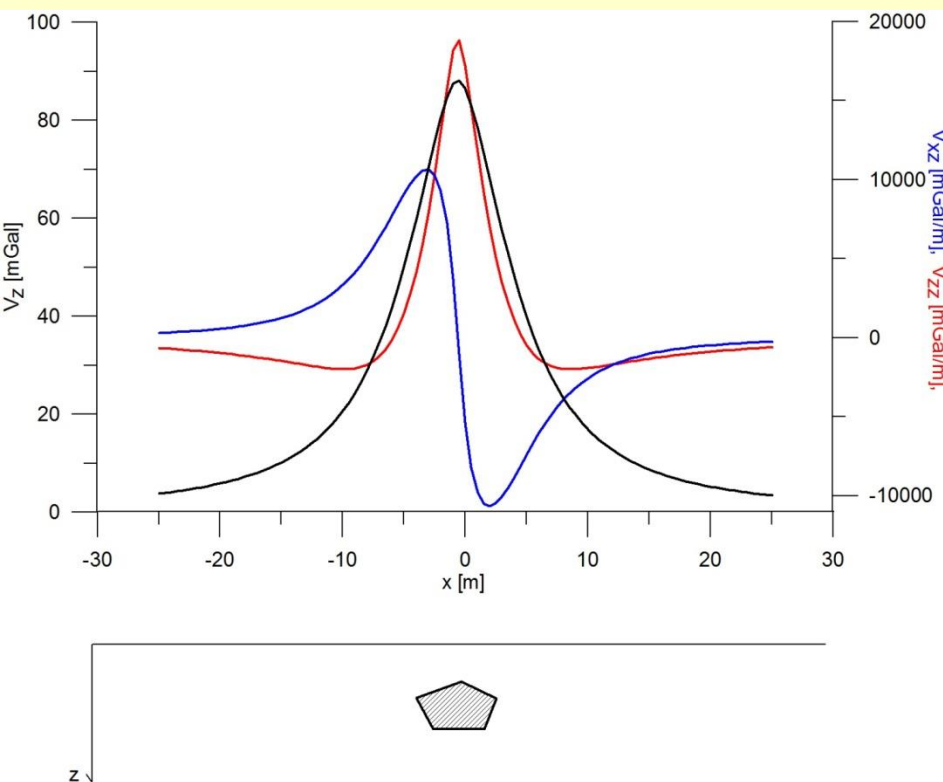
- analytický signál (totálny gradient)

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

(využívaný najmä v magnetometrii)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

výpočet vyšších derivácií



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

výpočet vyšších derivácií

numerická realizácia –

- v priestorovej oblasti – kĺzajúce konvolučné filtre (okná):

– FIR-filtre (filtre s konečným počtom prvkov)

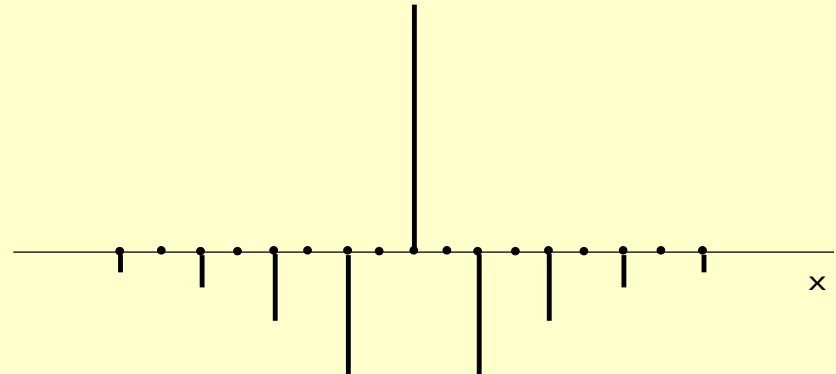
napr. pre horiz. deriváciu:

tzv. konečné diferencie - $\partial \Delta g_B / \partial x \approx [\Delta g_B(+s) - \Delta g_B(-s)] / 2s$

(s – krok medzi bodmi profilu alebo bunkami gridu)

– IIR-filtre (filtre s nekonečným počtom prvkov)

napr. pre vertik. deriváciu:



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

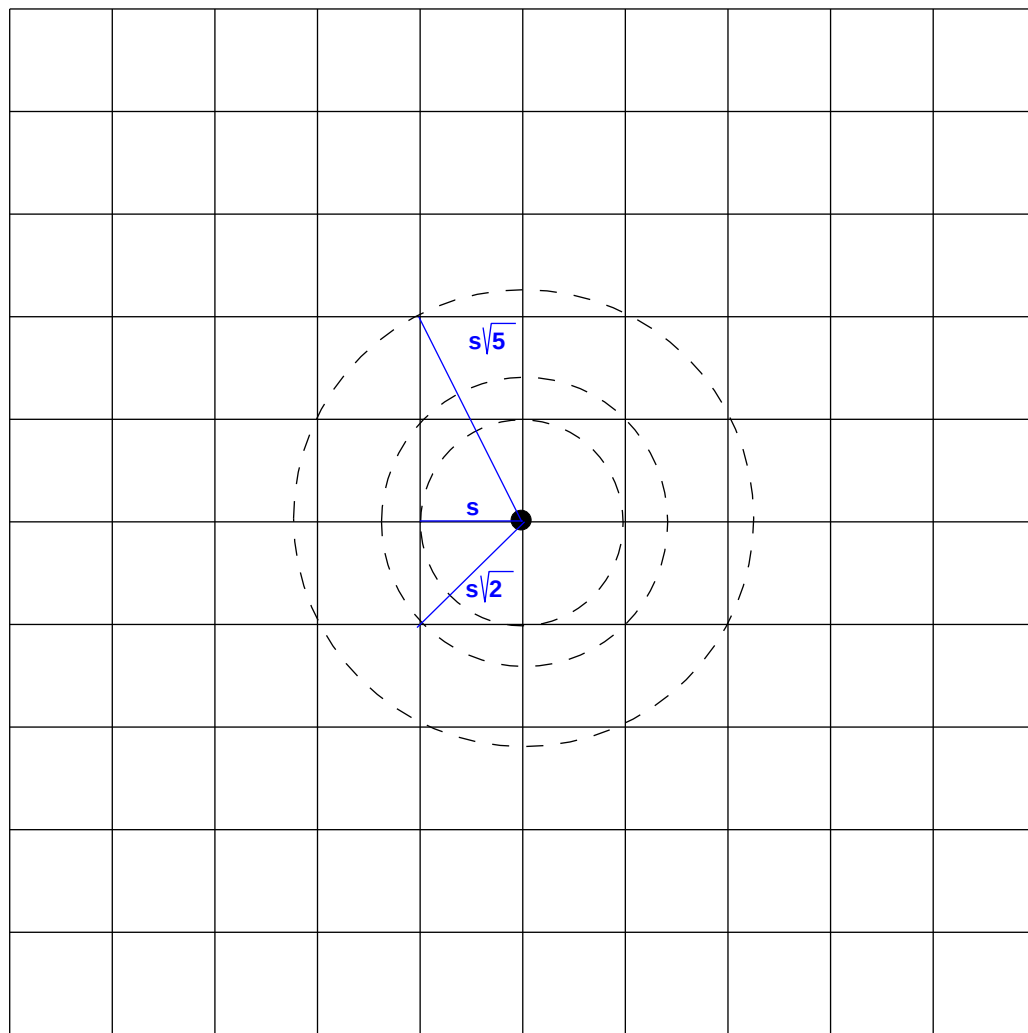
výpočet vyšších derivácií

numerická realizácia –

- v priestorovej oblasti –
klzajúce konvolučné filtre (okná):

v prípade práce s gridmi (mapami)
sa používajú tzv. kruhovo
symetrické konvolučné
filtre (nie krížové),
hodnoty na jednotl. Kružniciach
sa sumujú a násobia koeficientami

odvodené viacerými
autormi (V_{zzz}): Elkins,
Rosenbach, Baranov, atď.



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

výpočet vyšších derivácií

numerická realizácia –

- v spektrálnej oblasti – využívajúc konvolučnú teorému

spektrálne charakteristiky:

n-tá horizontálna derivácia: $(ik)^n$

(vyplýva to z vlastnosti FT z derivácie)

n-tá vertikálna derivácia: $|k|^n$

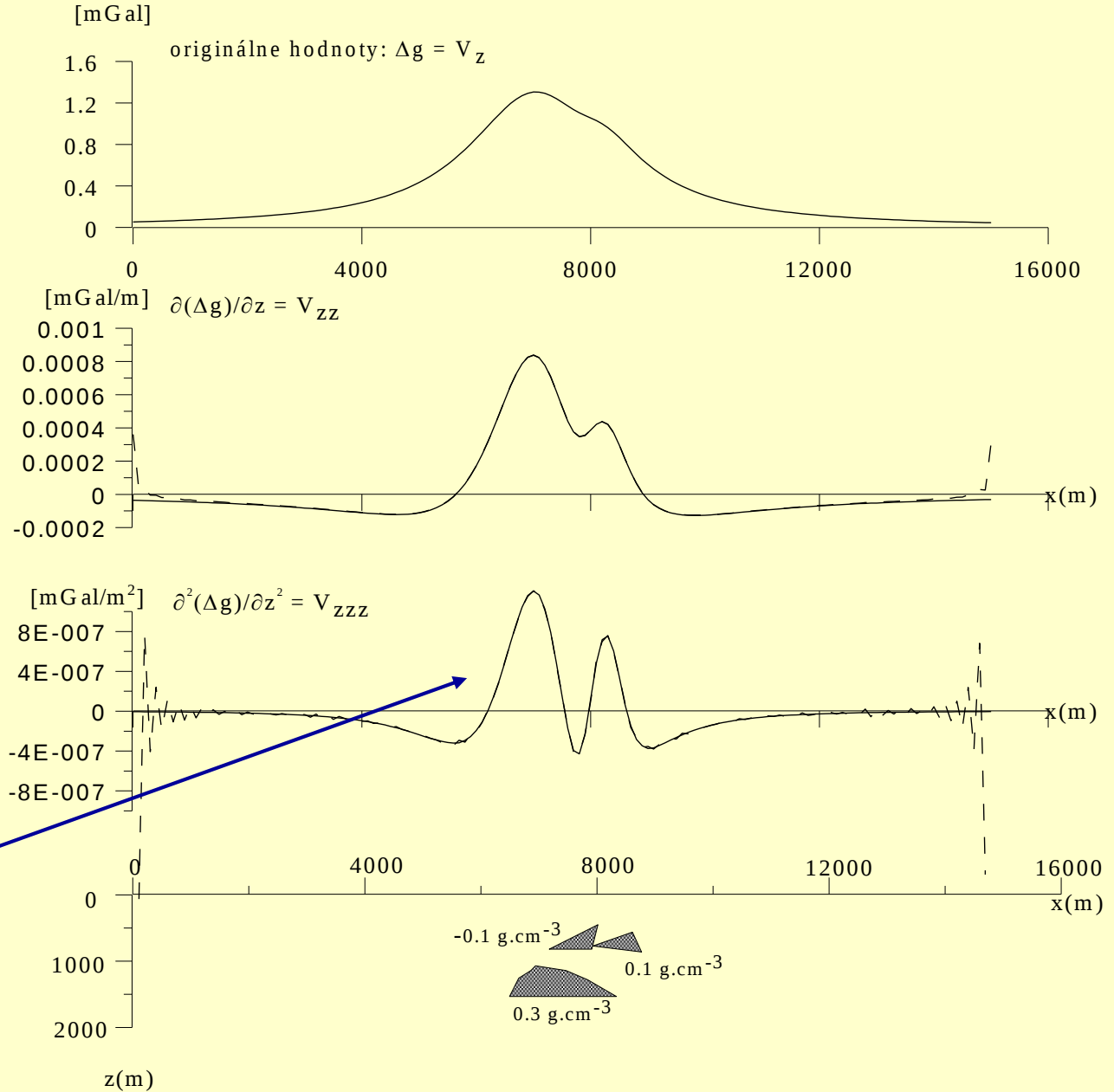
(získa sa výpočtom FT z priamej úlohy v gravimetrii)

(k – spektrálna premenná)

výpočet 1. a 2. vertikálnej derivácie pre syntetický model

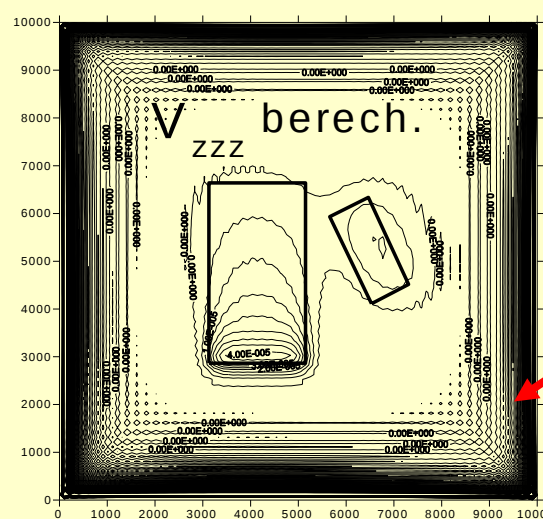
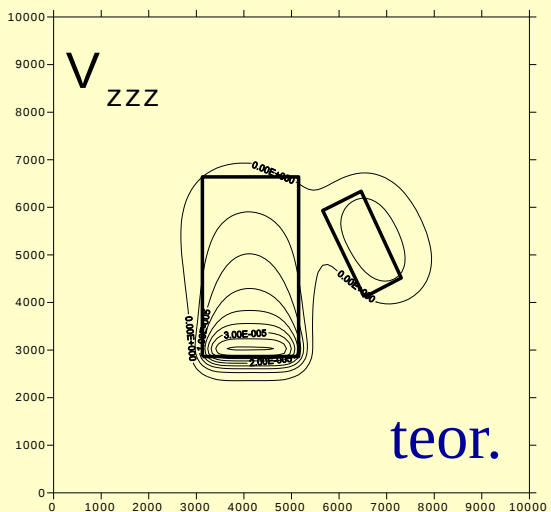
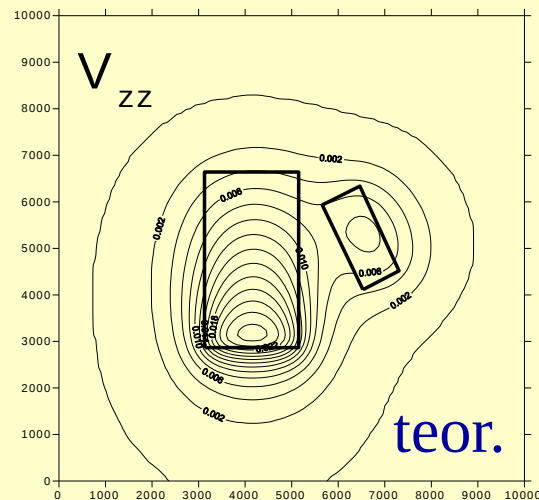
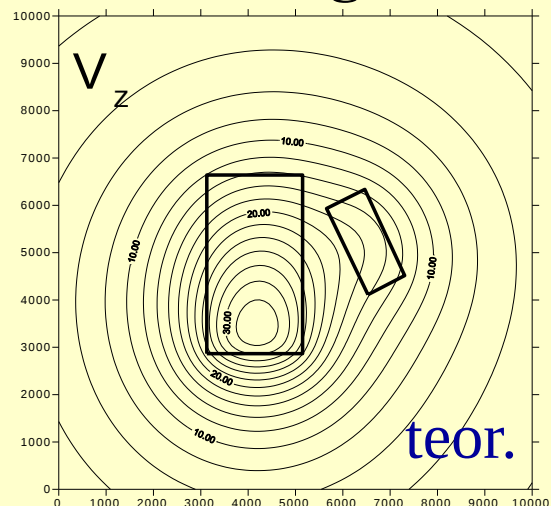
**výpočet
vyšších
vertik.
derivácií**
modelový príklad

výpočtom V_{zz}
a V_{zzz} sa zvyšuje
„dynamicnosť“
poľa (krivky)



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

výpočet 2. vertikálneho gradientu – modelová štúdia



**křížový
filter**

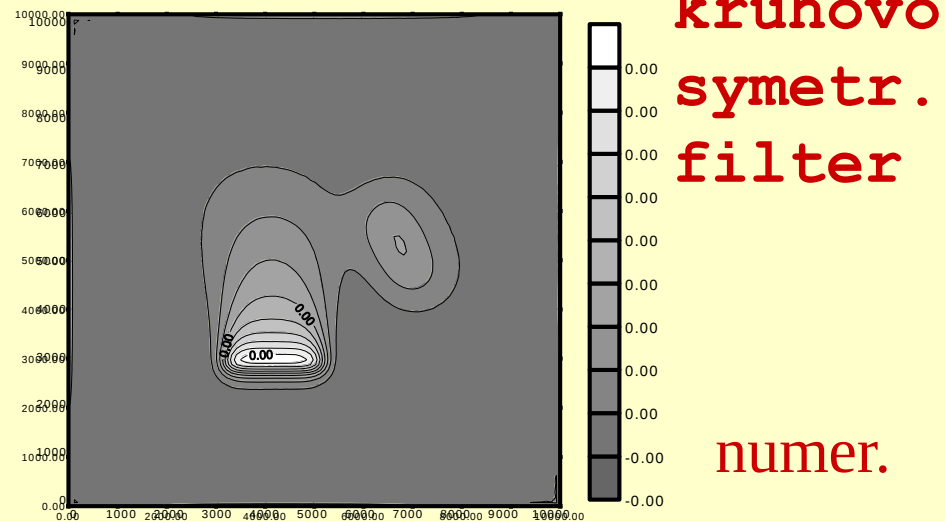
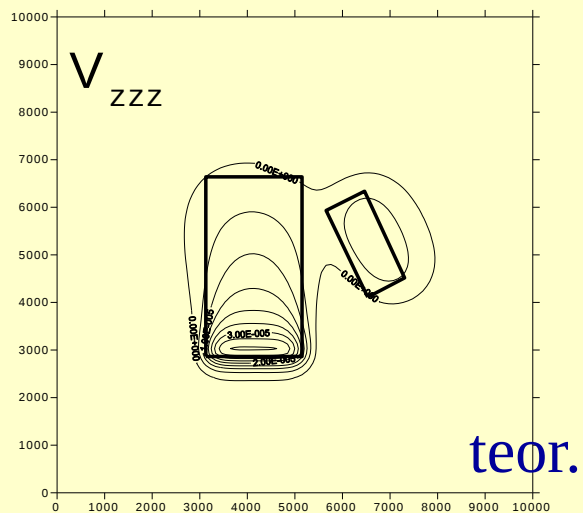
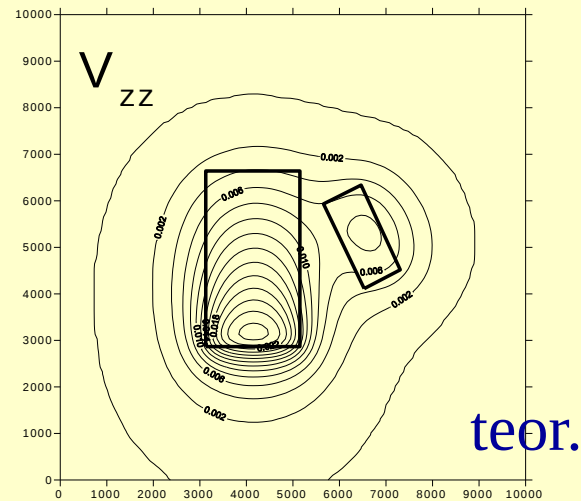
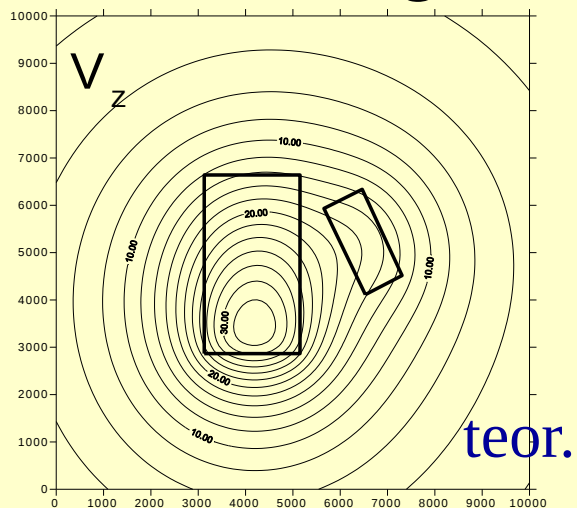
výrazný
okrajový
efekt

numer.

(vypočítaný zle)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

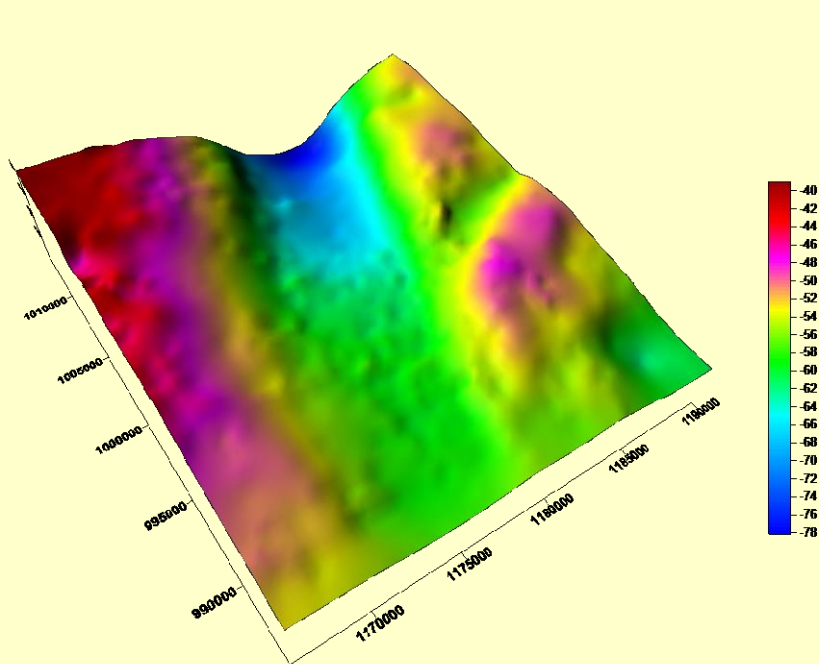
výpočet 2. vertikálneho gradientu – modelová štúdia



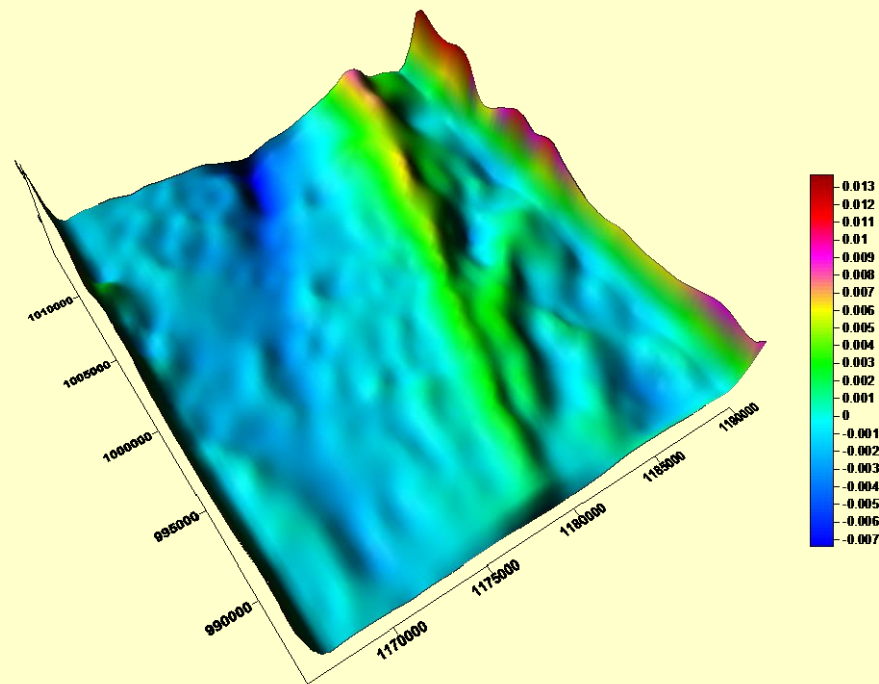
(vypočítaný dobre)

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

výpočet vyšších derivácií – horizontálny gradient (V_{xz}) - príklad
regionálna mapa ÚBA – oblasť Mŕtveho mora



originálne ÚBA



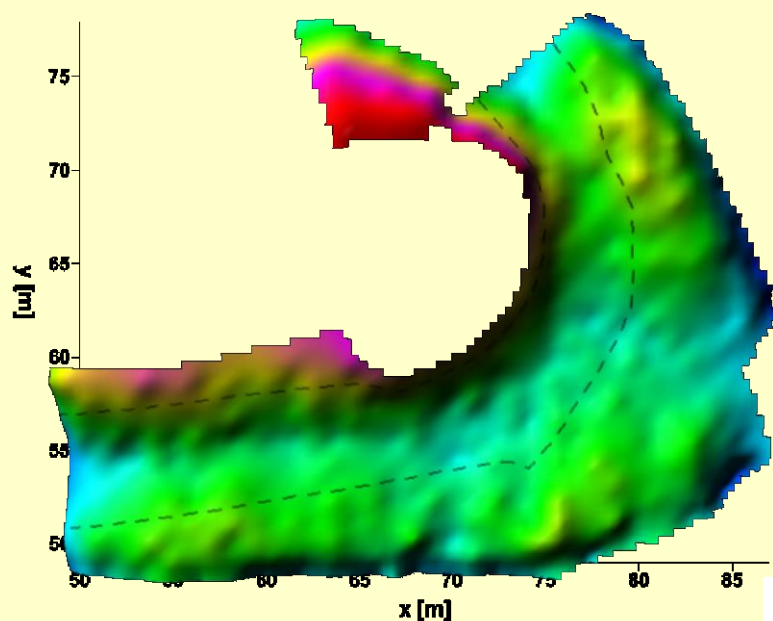
horizontálny gradient (V_{xz})

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

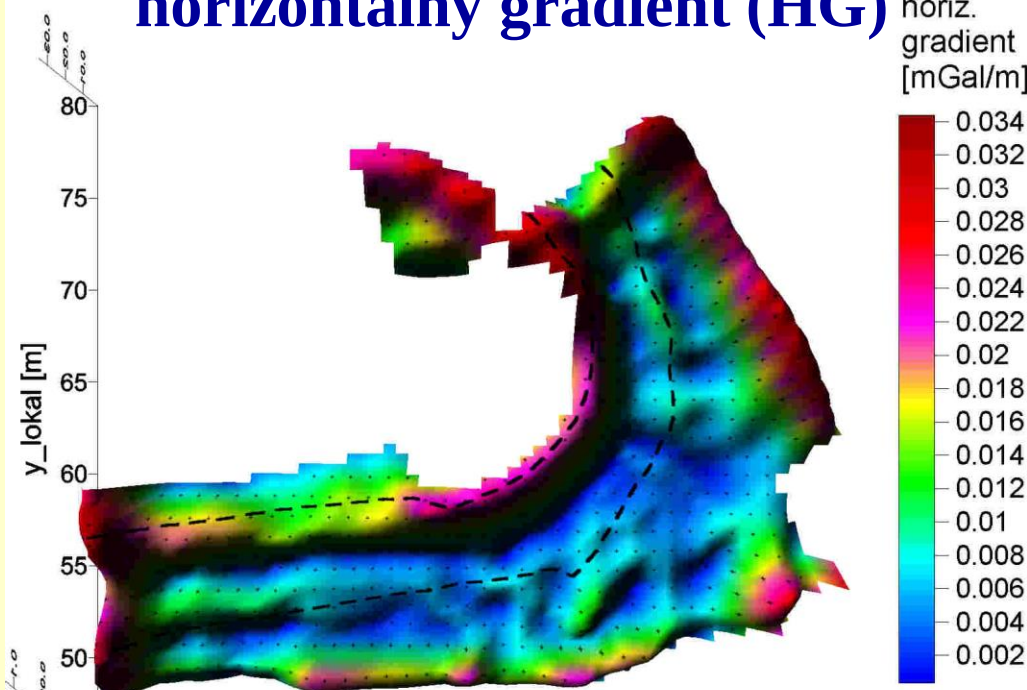
výpočet vyšších derivácií – horizontálny gradient (HG) - príklad

lokálne maximá horizontálneho gradientu poukazujú na dôležité hustotné hranice - v našom prípade na ohraničenia dutín a priestorov so sníženou hustotou

originálne ÚBA



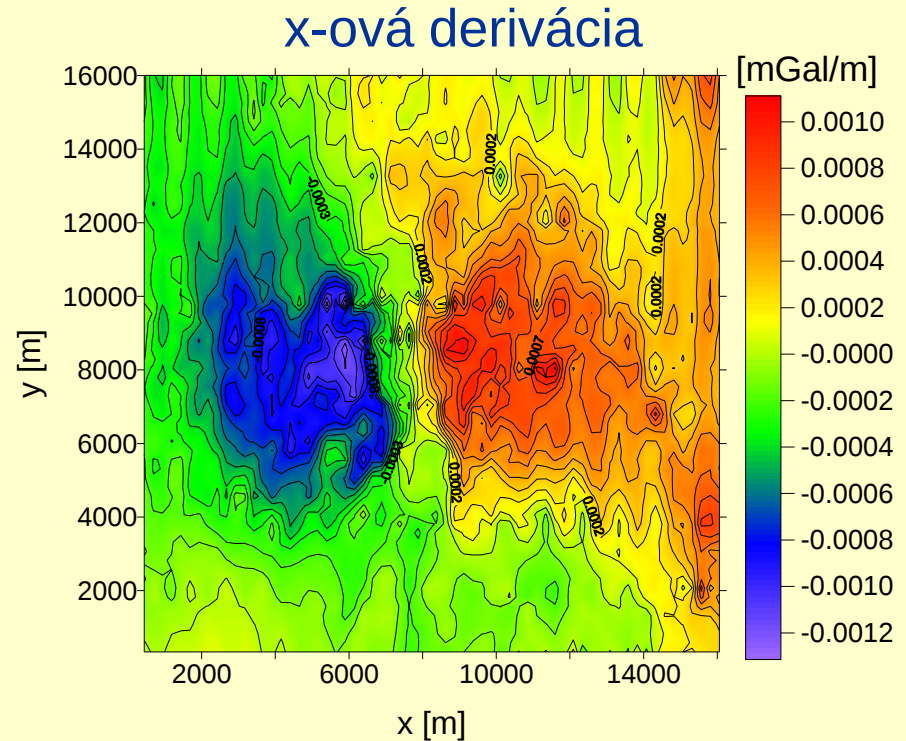
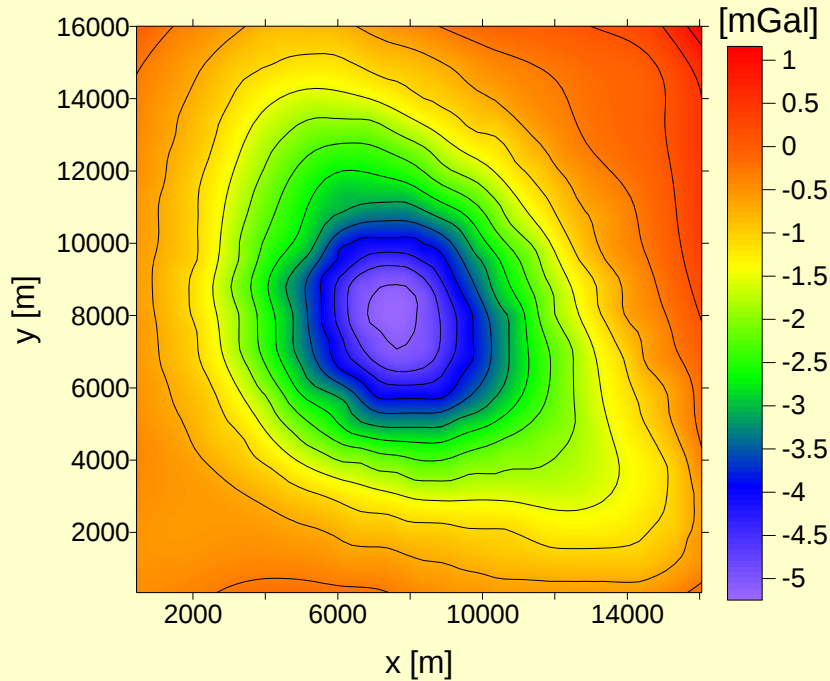
horizontálny gradient (HG) horiz.
gradient
[mGal/m]



mikrogravimetria – Oravský hrad, Veľká terasa

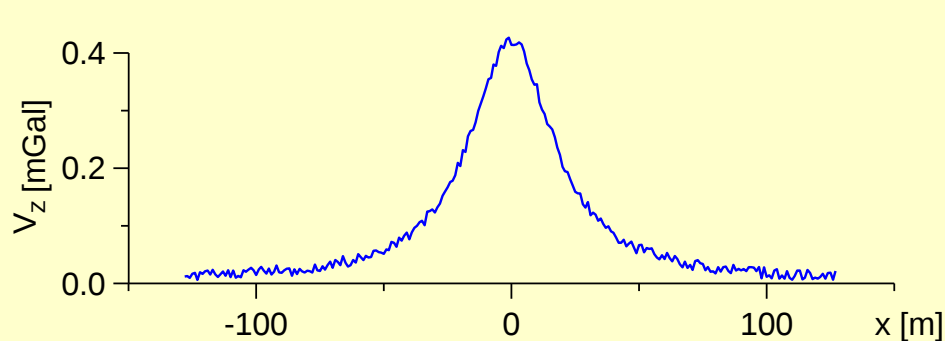
transformácie založené na deriváciách:

máme tu problém so zvýraznením šumu a chýb –
výpočet derivácie je nestabilná operácia

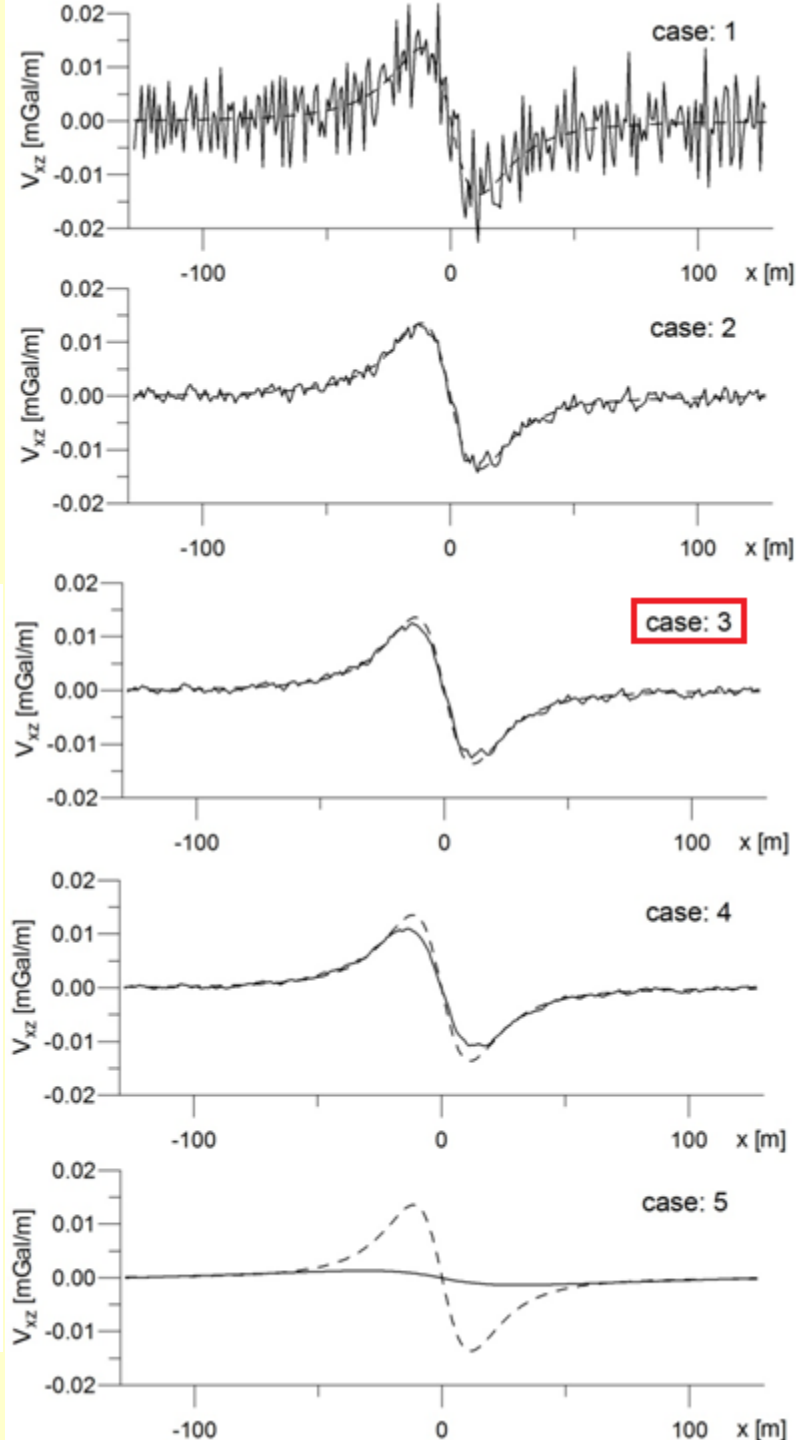
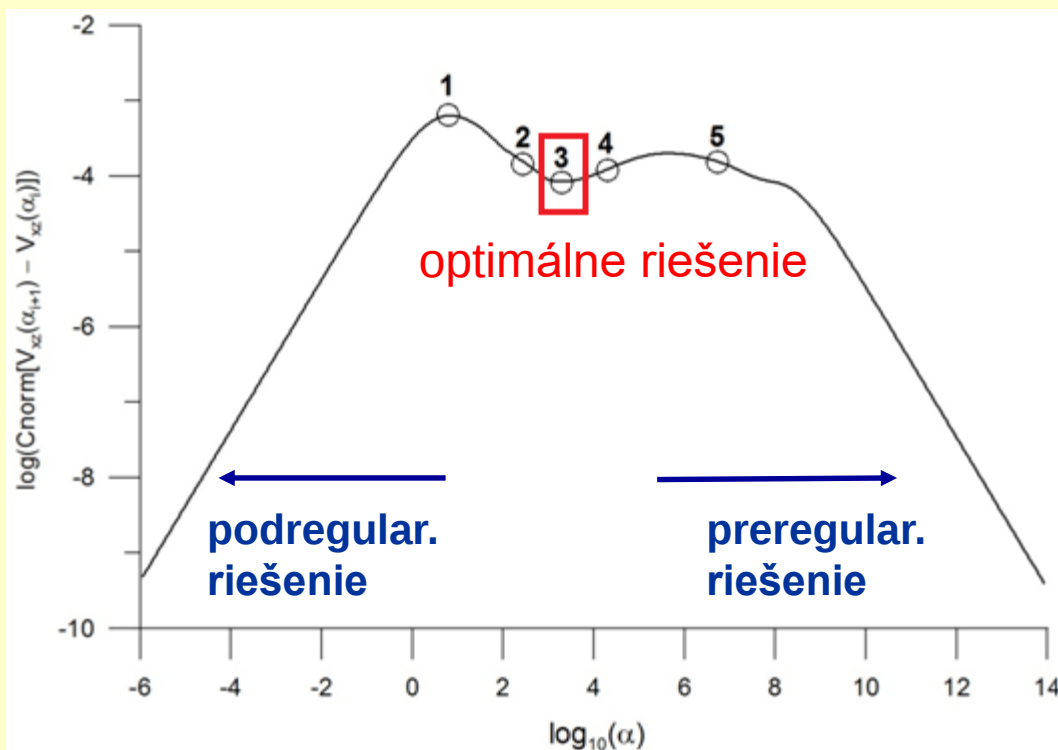


reziduálna Bouguerova anomália nad solným dómom
Louisiana, USA (podľa Nettleton, 1979)

jedna z možností “liečby” – Tichonovova regularizácia
- použitie špeciálneho nízko-priepustného filtra



Príklad: analýza C-noriem
(pre x-ovú deriváciu poľa V_z pre horiz. valec)



v súčasnosti veľmi populárne - transformácie založené na pomeroch derivácií (najmä na plytšie štruktúry):

- väčšina z nich je založená na pomeroch derivácií
 - derivácie sú vyjadrované v x-, y- a z-ovom smere
 - derivácie sú počítané v priestorovej alebo spektrálnej oblasti
-
- derivatives of the input field: $\partial f / \partial x$, $\partial f / \partial y$ and $\partial f / \partial z$,
 - horizontal gradient: $HG = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2}$,
 - analytical signal: $AS = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2 + (\partial f / \partial z)^2}$,
 - tilt derivative: $\text{tilt} = \arctg \frac{\partial f / \partial z}{HG}$, (Miller and Singh, 1994; Verduzco et al., 2004)
 - theta derivative: $\cos(\theta) = \frac{HG}{AS}$, (Wijns et al., 2005)
 - TDX derivative: $TDX = \arctg \frac{HG}{\partial f / \partial z}$, (Cooper and Cowan, 2006)
 - TDXAS transformation: $TDXAS = TDX \cdot AS$, (Stampolidis and Tsokas, 2012)

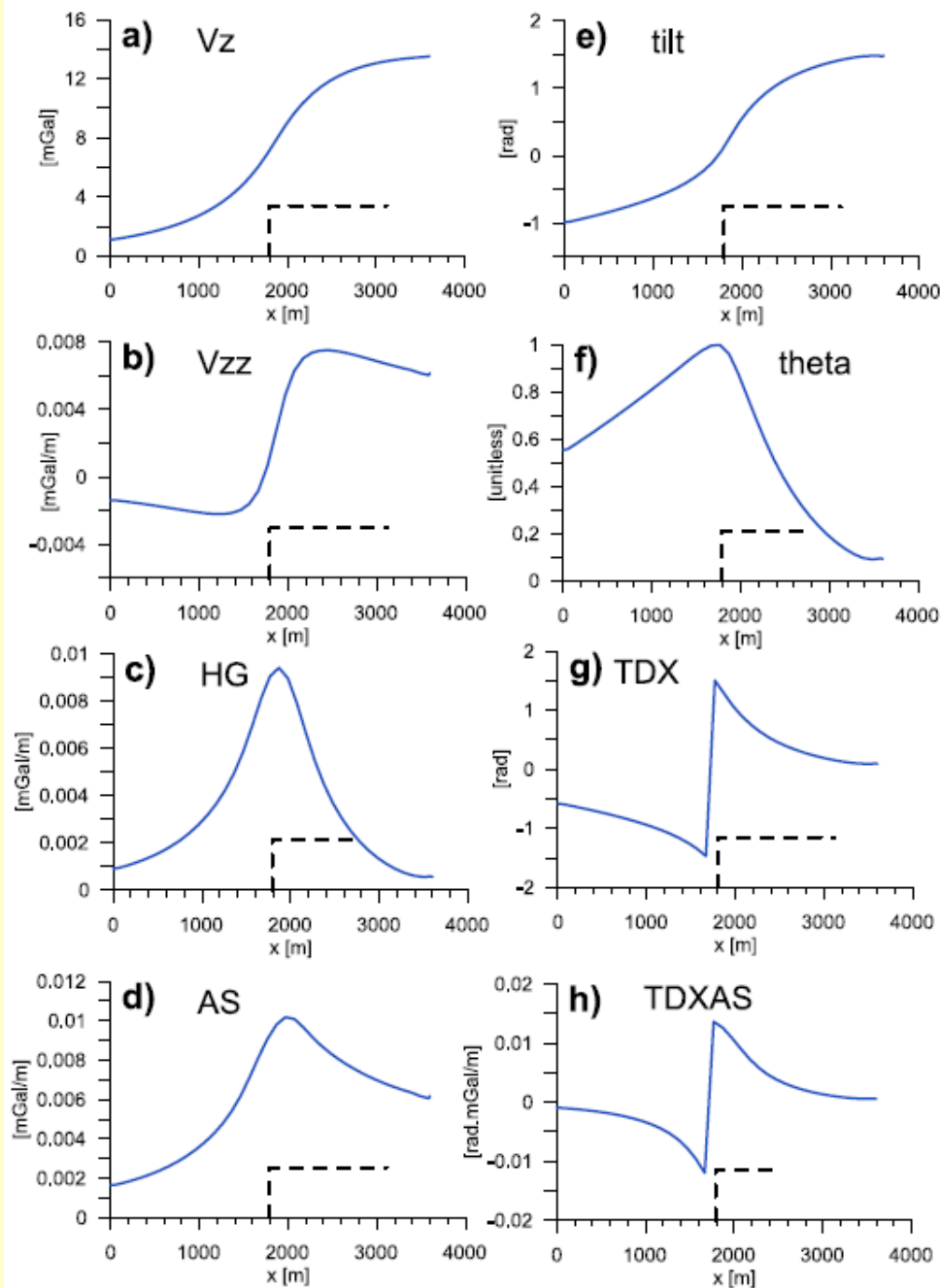
zoznam najznámejších transformácií

transformácie založené na pomeroch derivácií:

- teoretické krivky
(nad kontaktom)

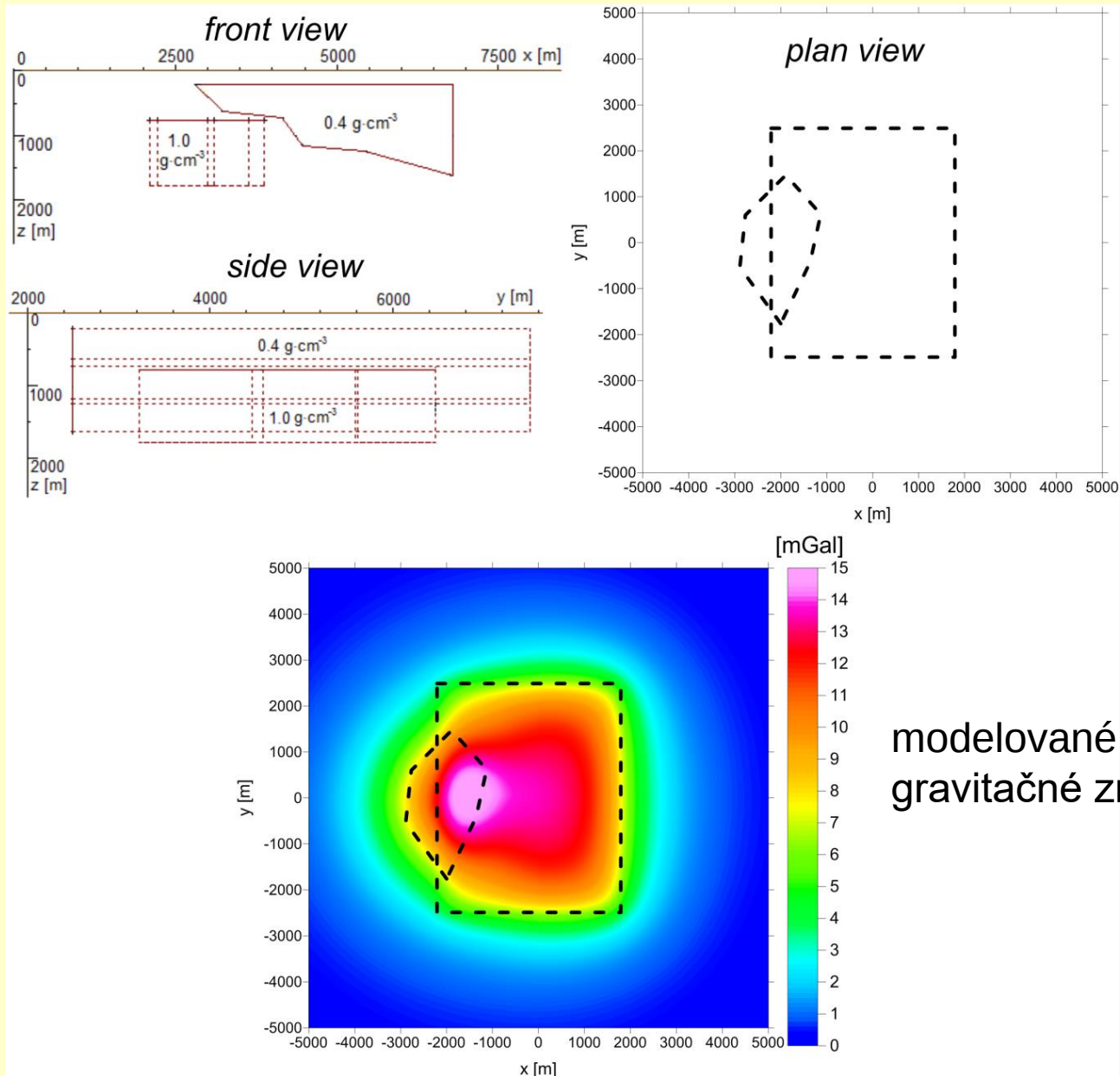
Tieto sú:

- a) buď so strmším
gradientom ako ÚBA (V_z),
- b) alebo tam dosahujú
maximum.



transformácie založené na deriváciách:

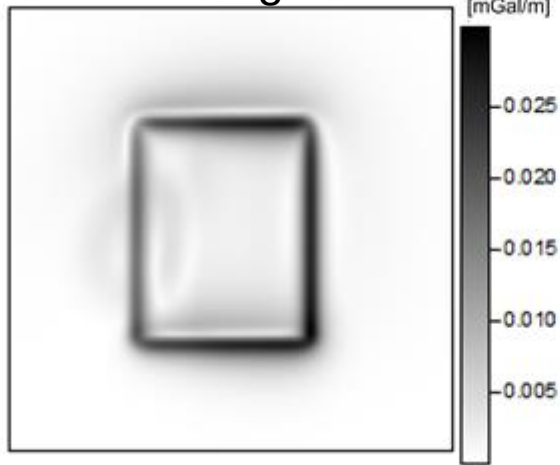
- syntetický model (2 telesá nad sebou)



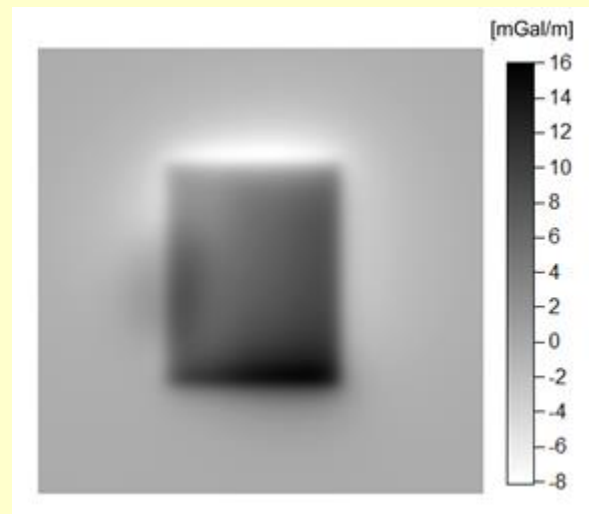
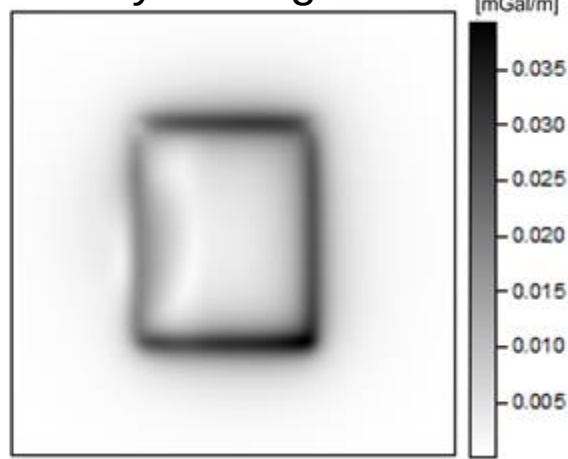
transformácie založené na deriváciách:

- syntetický model (2 telesá nad sebou)

horizontal gradient

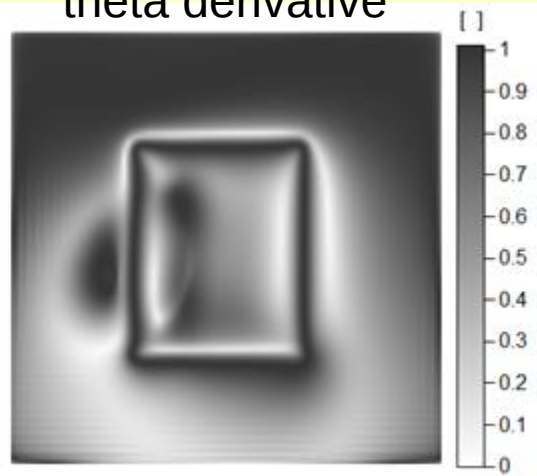


analytical signal

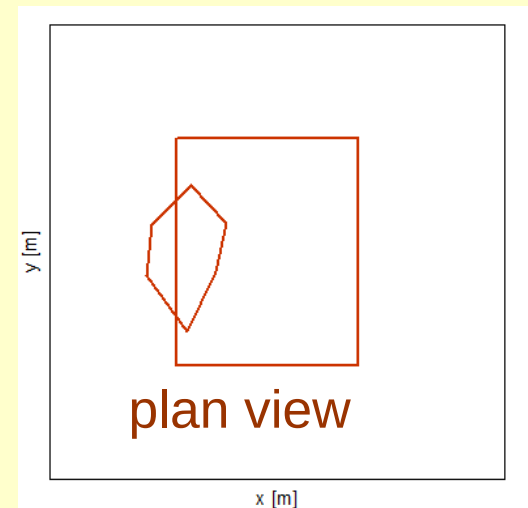
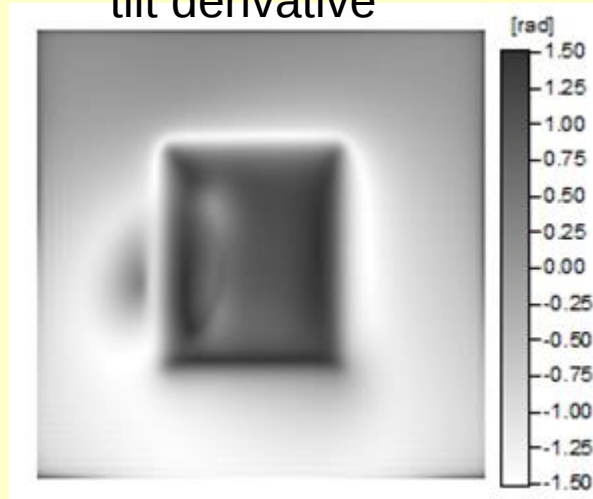


1. vertikálna derivácia

theta derivative



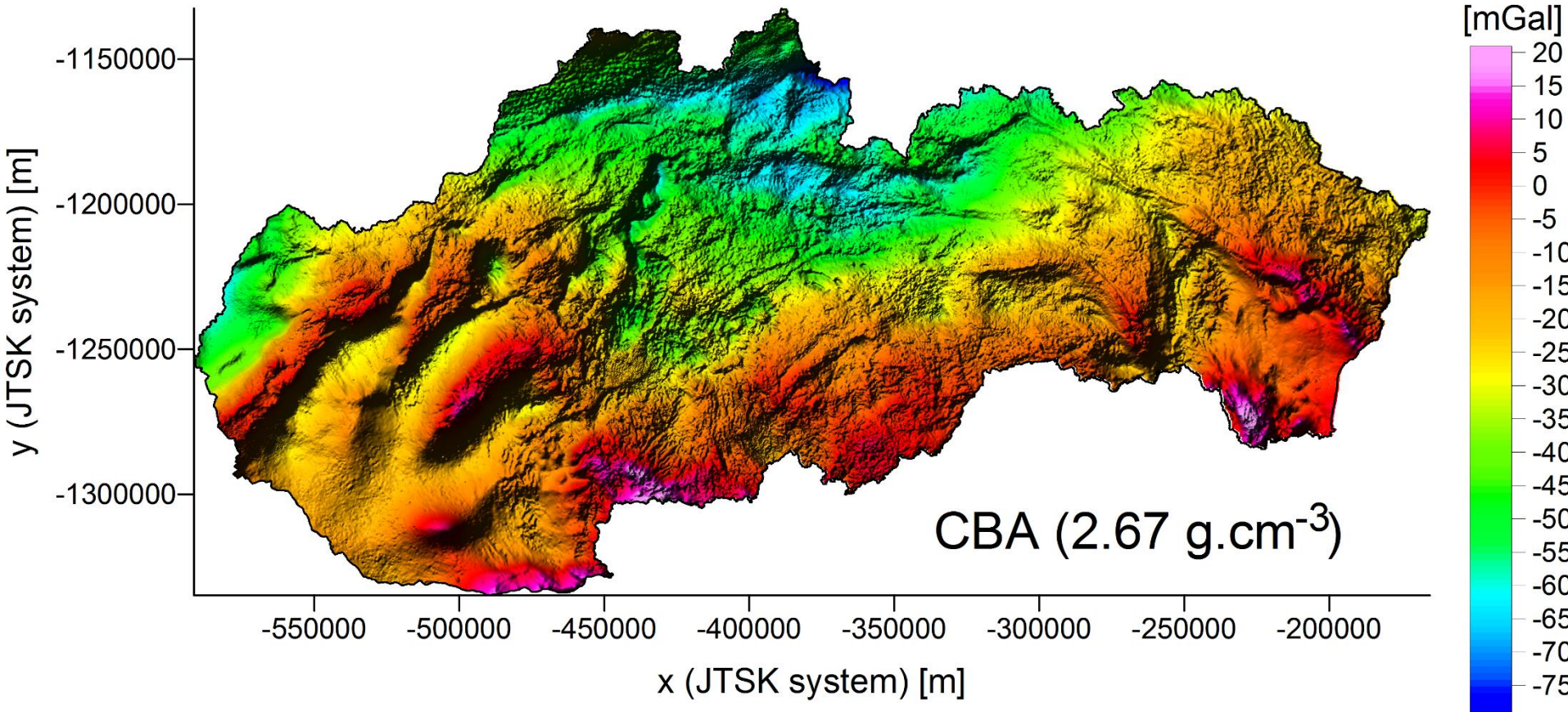
tilt derivative



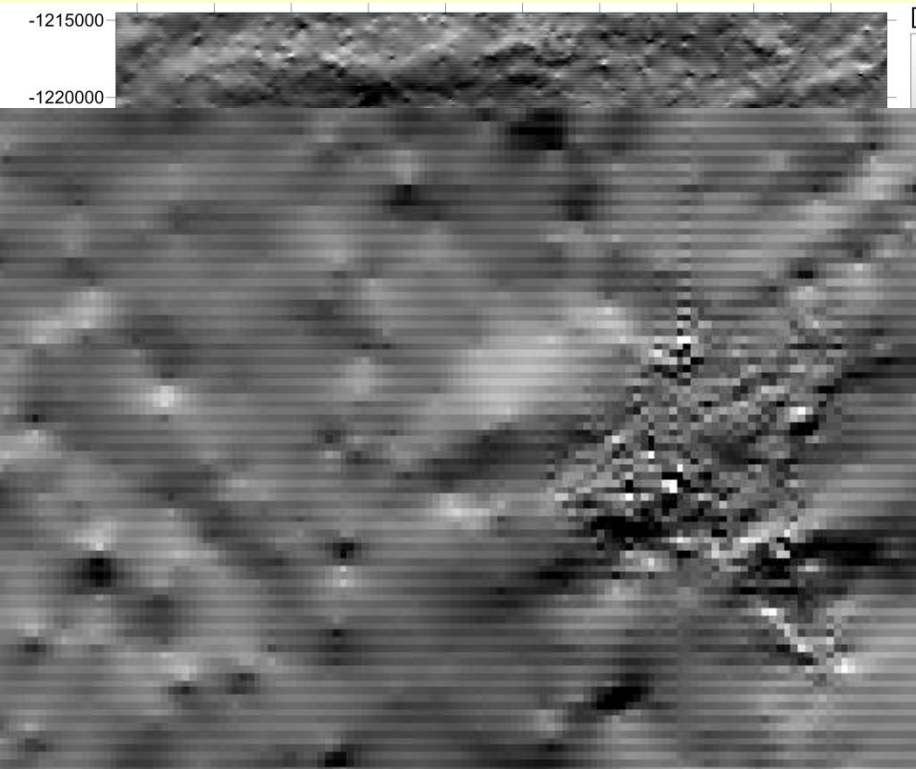
vybrané transformácie pre 1. vert. deriváciu modelovaného poľa
(plus použitá ČB farebná škála)

transformácie založené na deriváciách:

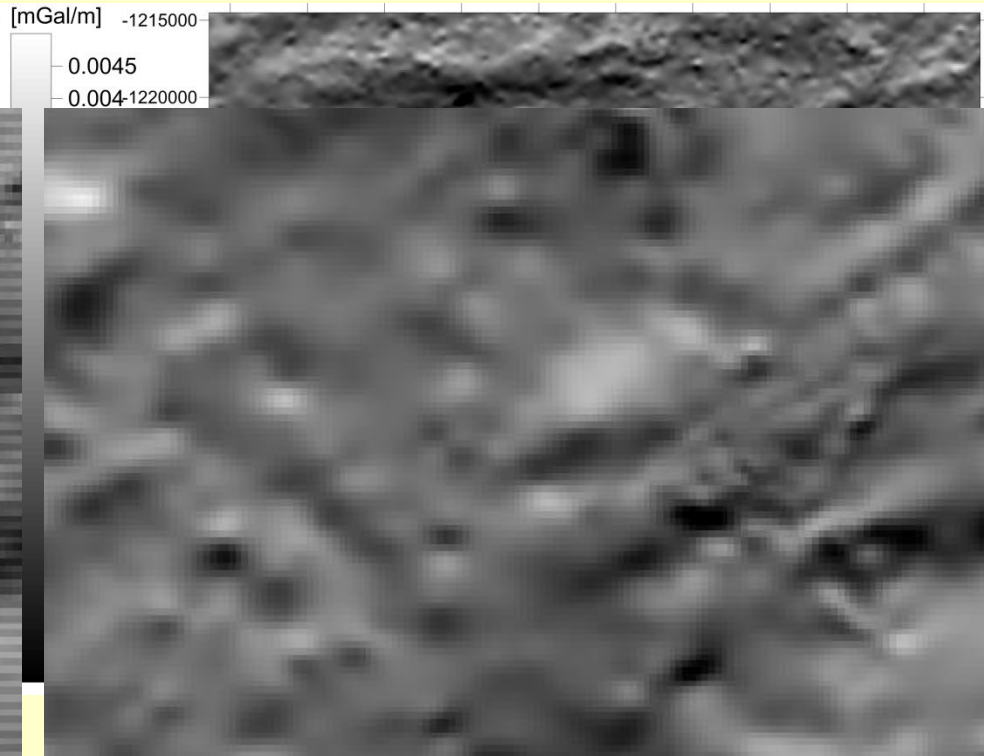
nová verzia mapy ÚBA pre územie SR



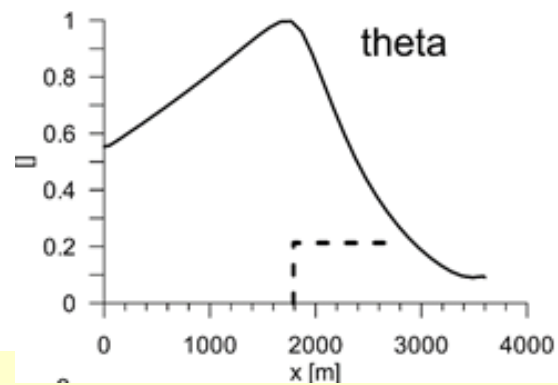
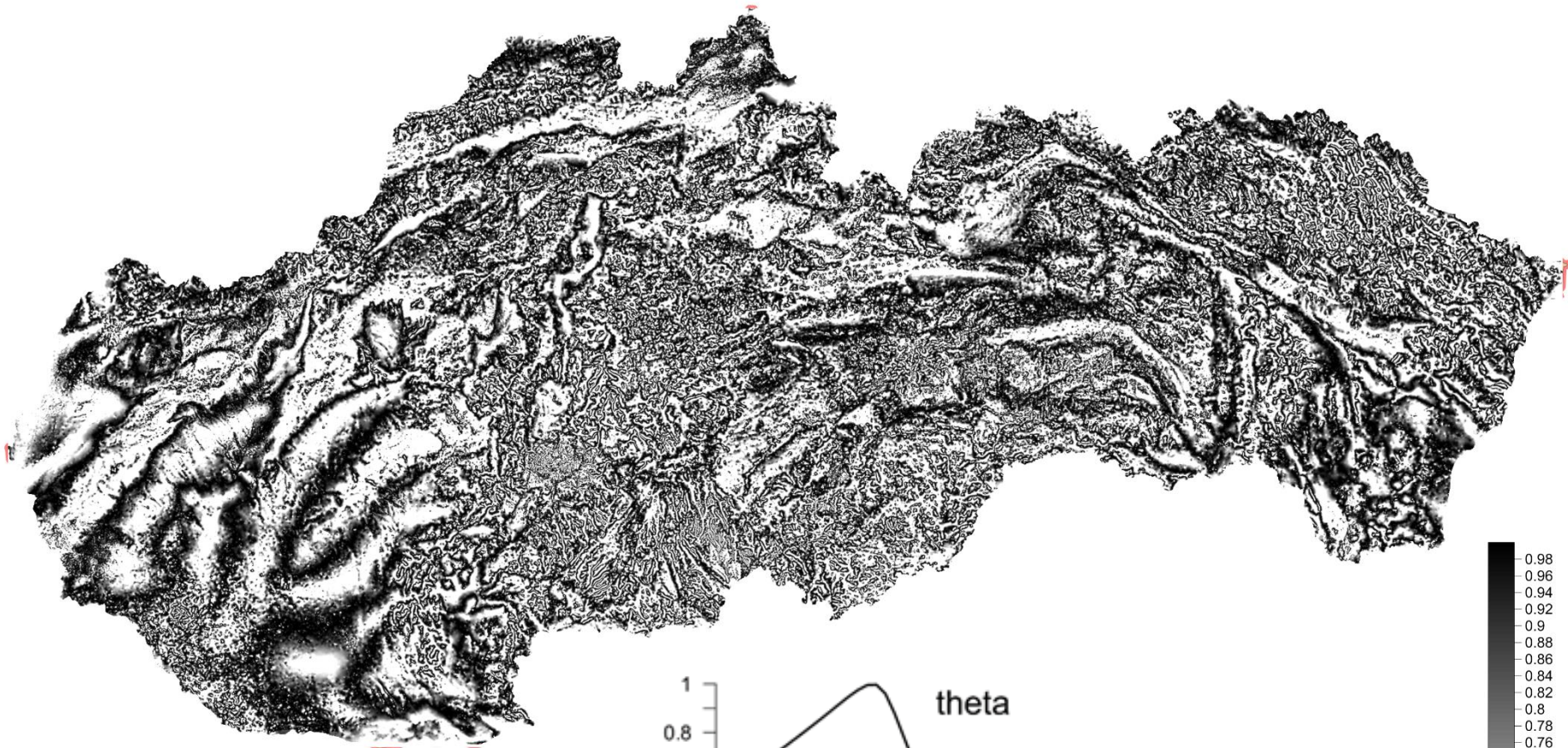
rozdiely – medzi štandardne počítanou a regularizovanou deriváciou



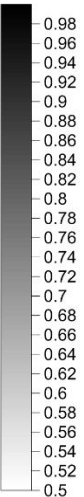
štandardne počítaná
(neregularizovaná)
y-ová derivácia

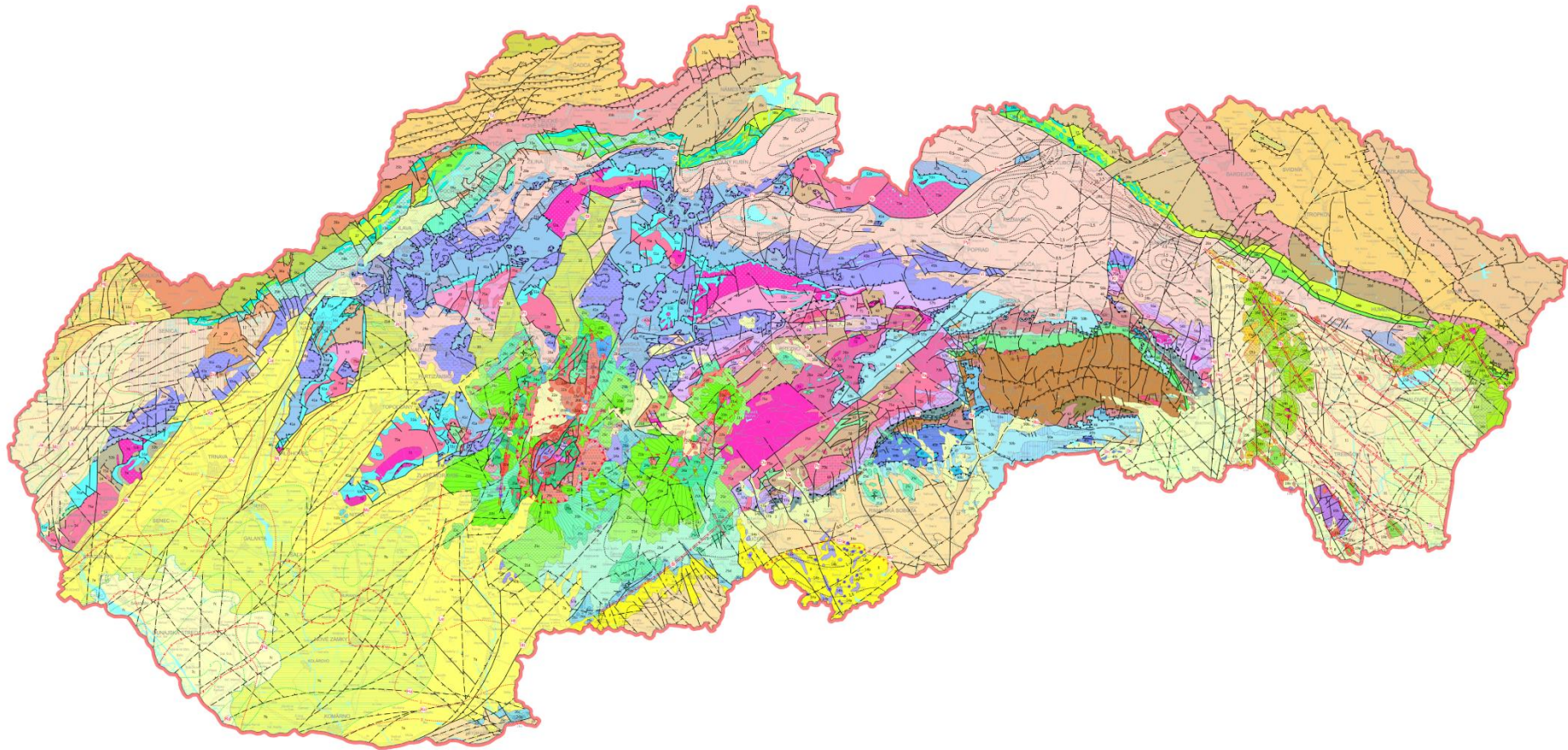


stabilizovaná
(regularizovaná)
y-ová derivácia

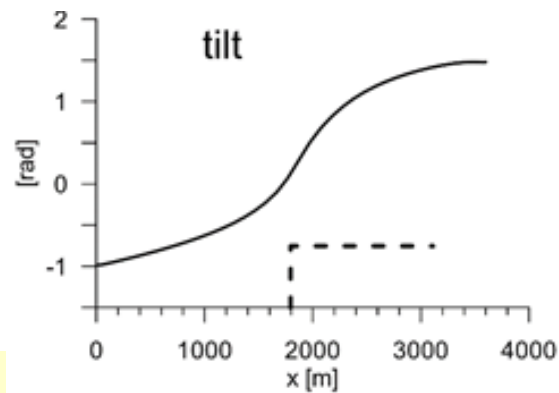
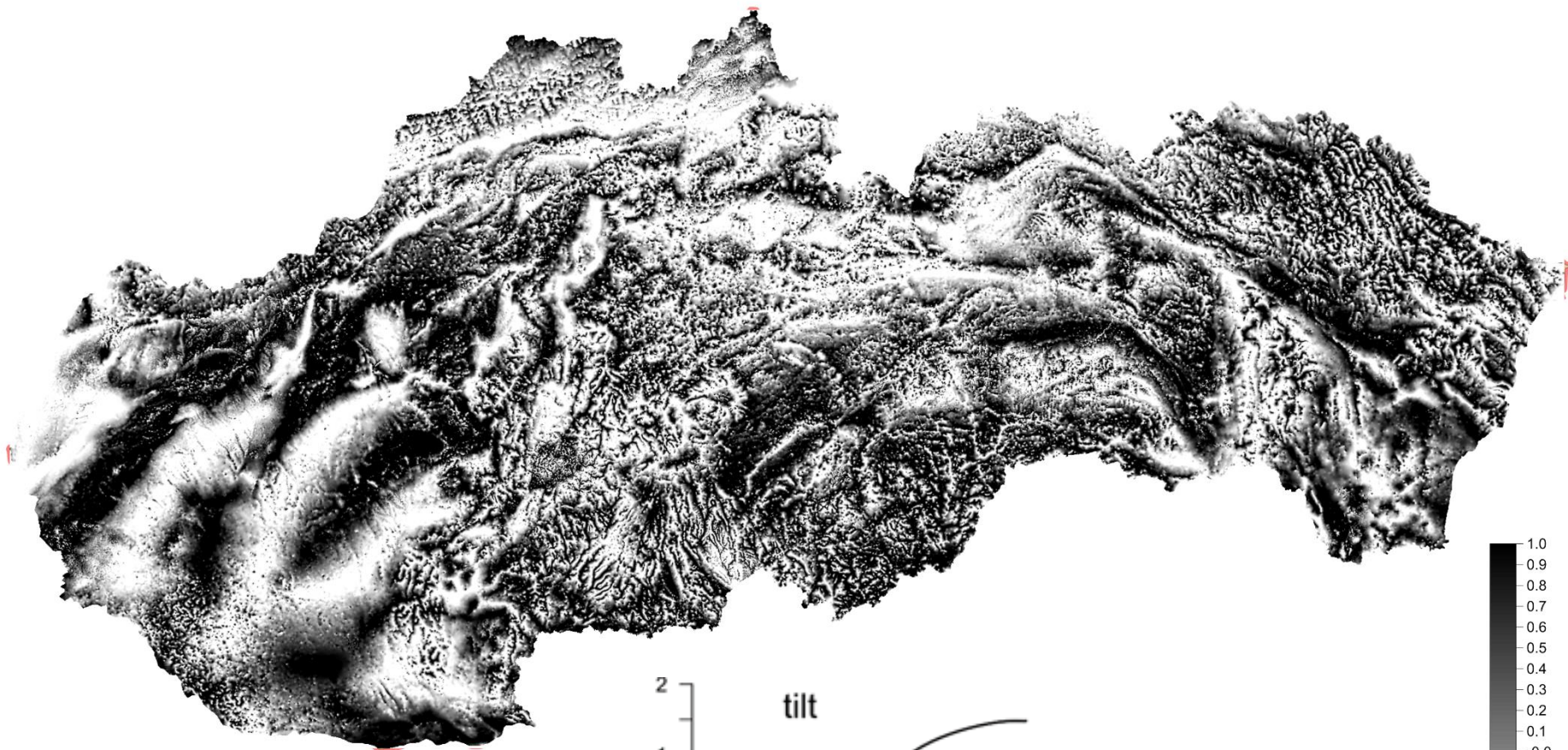


THETA
(theta derivative)

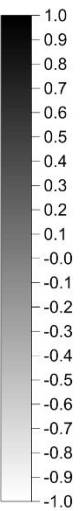


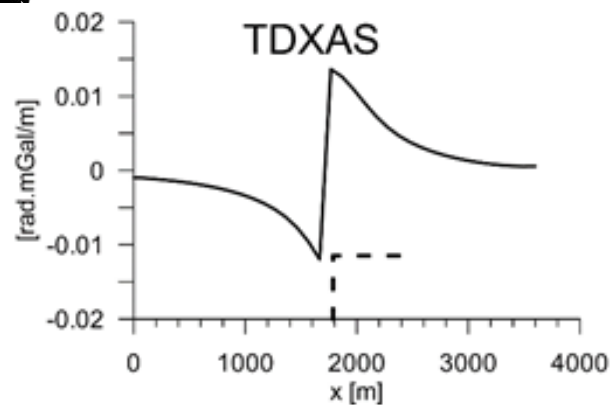
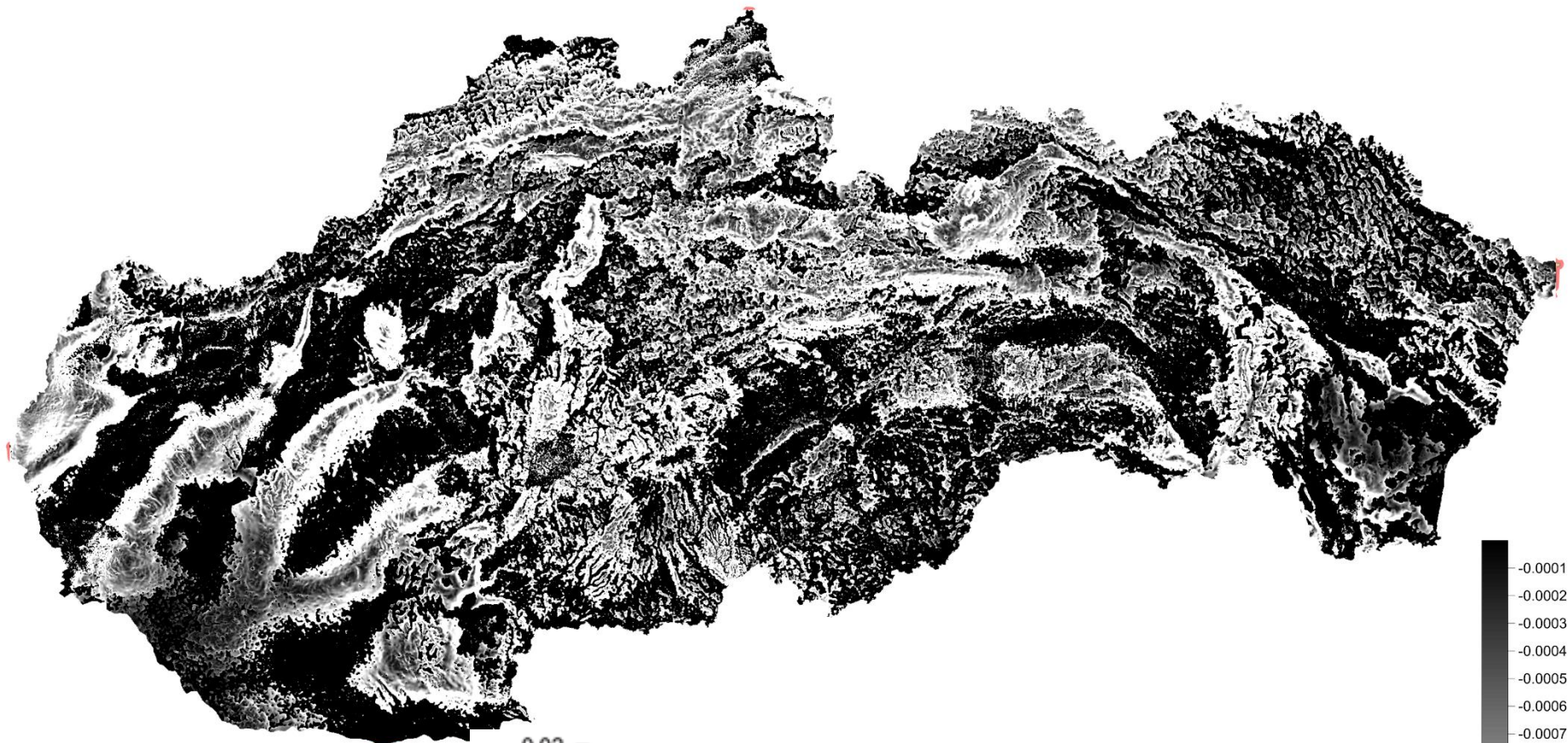


Bezák a kol., 2004: Tektonická mapa Slovenskej republiky

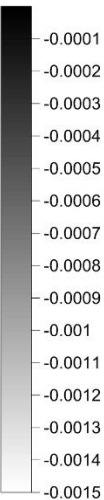


TILT
(tilt angle)



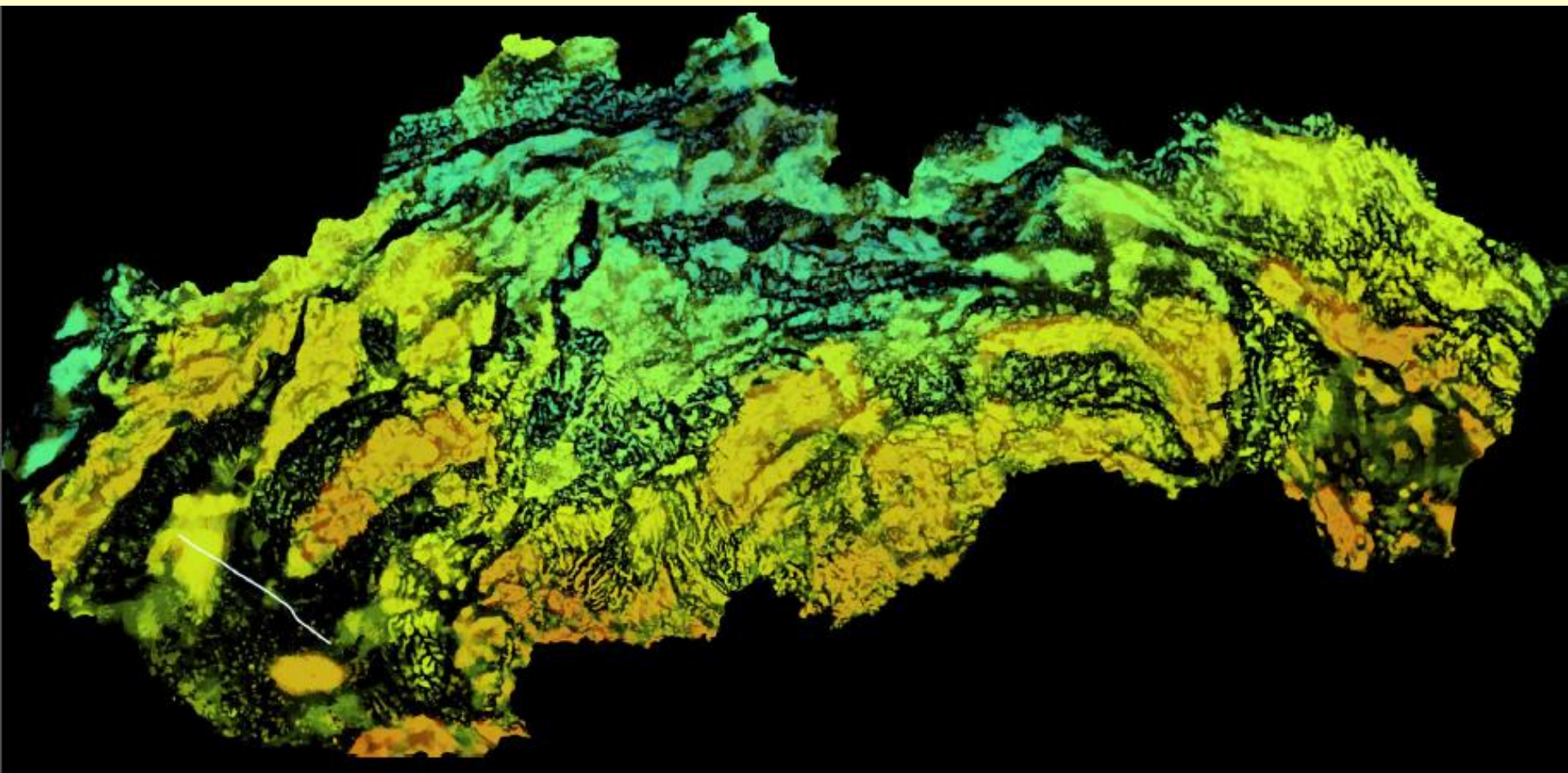


TDXAS
(balanced horizontal gradient
time analytical signal)
(selected values are displayed)



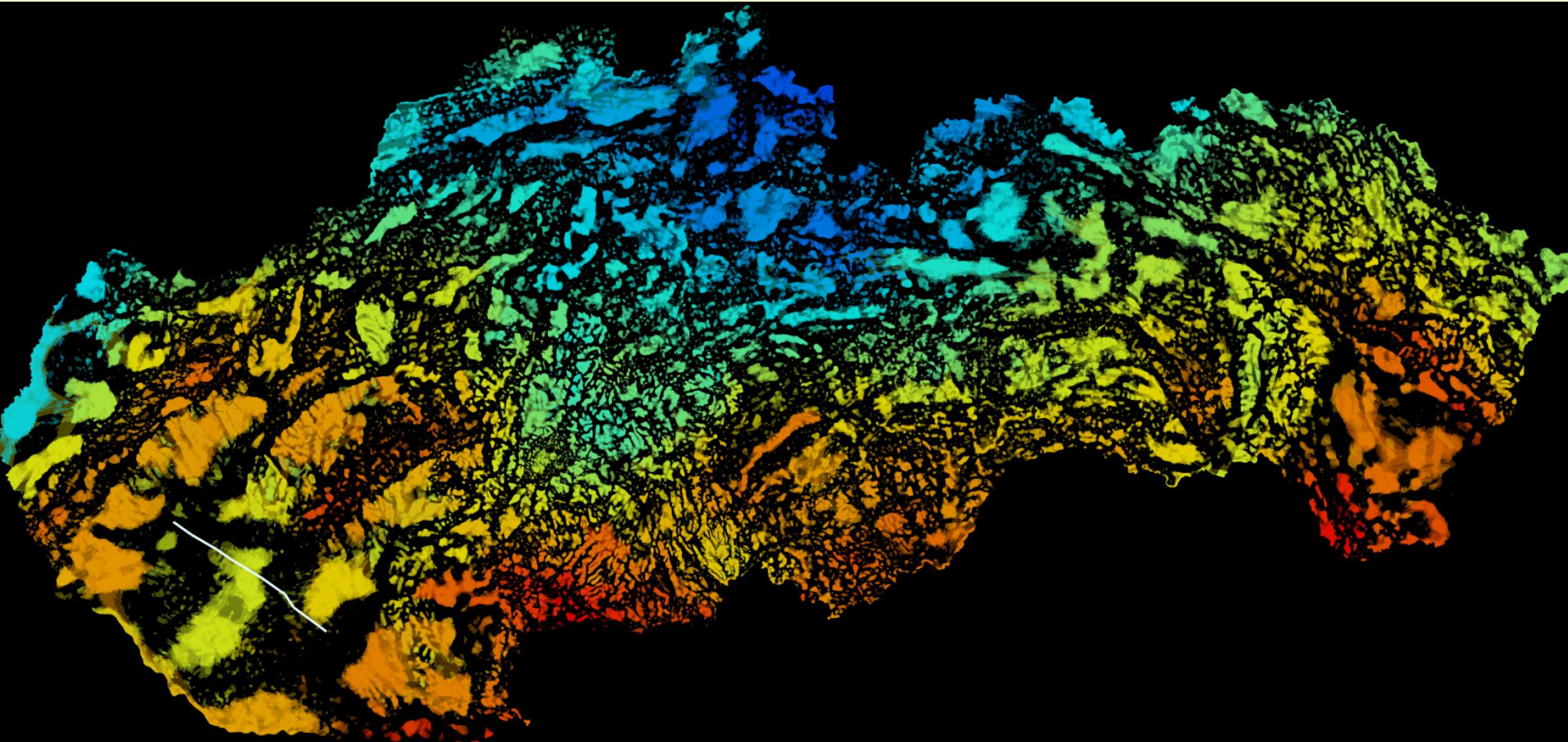
analýza tvarov poľa ÚBA (konvexné/konkávne) – riešenie
firmy Proxima R&D (Sv. Jur pri Bratislave)

konvexné tvary – kladné anomálie (p1, p2, p3, ...)



analýza tvarov podľa ÚBA (konvexné/konkávne) – riešenie
firmy Proxima R&D (Sv. Jur pri Bratislave)

konkávne tvary – záporné anomálie ($m_1, m_2, m_3, \dots$)



transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

kombinácia výpočtu vyšších derivácií a pokračovania nadol – metóda totálneho normovaného gradientu (tzv. Berezkinova metóda)

- určená na interpretáciu (iba) profilových údajov $g(x,0)$
- kombinuje prepočítanú horizontálnu $g_x(x,z)$ a vertikálnu $g_z(x,z)$ deriváciu do totálneho gradientu $TG(x,z)$:

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

- totálny gradient je potom na každej hĺbovej úrovni delený (normovaný) svojou priemernou hodnotou,
- získané pole totálneho normovaného gradientu dosahuje maximum v mieste polohy zdroja anomálie,
- numericky je metóda realizovaná pomocou Fourierových radov, počet zapojených členov radu (N^*) je dôležitý parameter metódy – pri jeho optimálnej hodnote je dosiahnuté najväčšie maximum TNG .

transformácie polí (ÚBA) v gravimetrii

metóda totálneho normovaného gradientu (TNG)

-numericky je metóda realizovaná pomocou Fourierových radov, počet zapojených členov radu (N^*) je dôležitý parameter metódy.

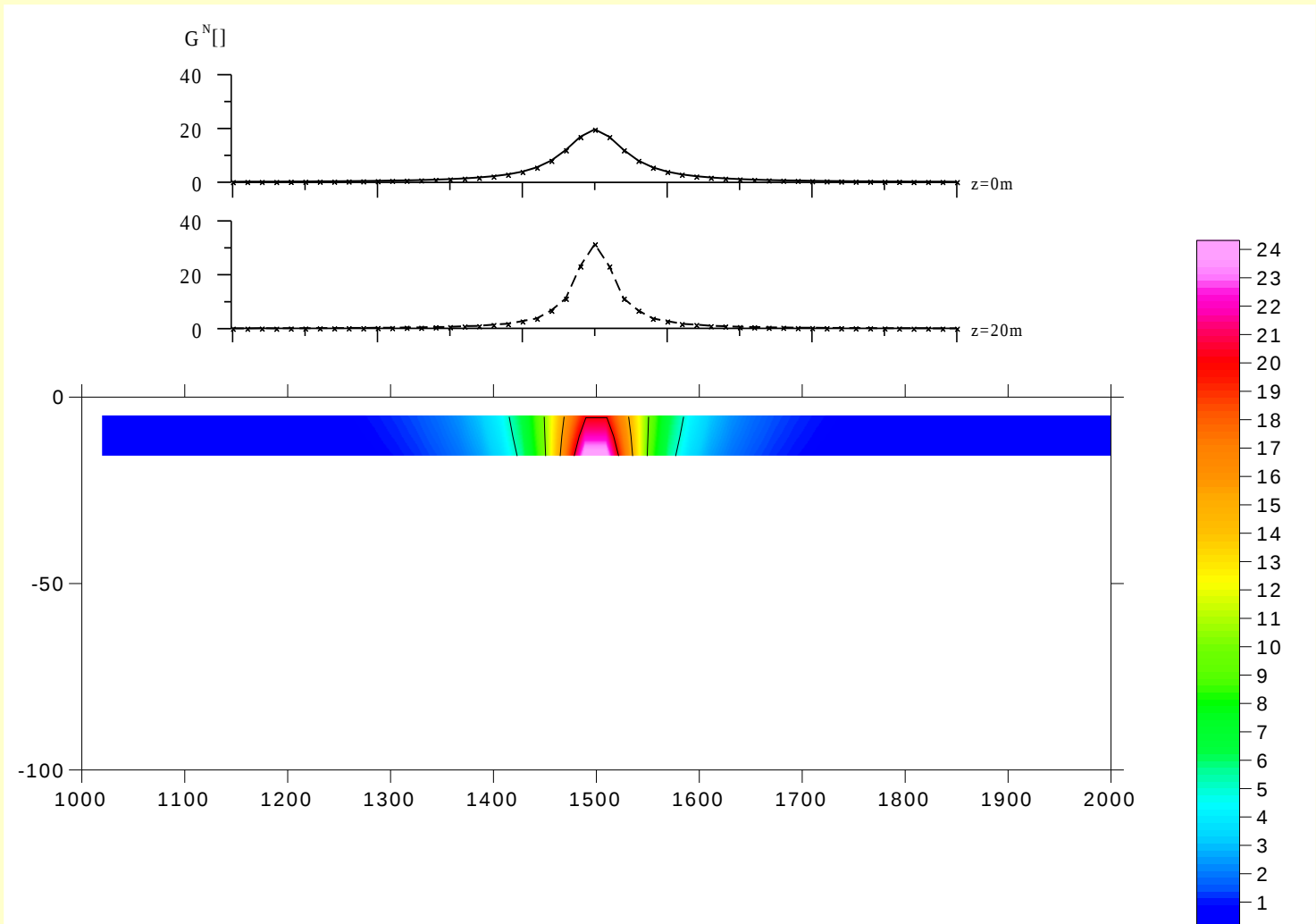
$$\frac{\partial g}{\partial x} = g_x(x, z) = \frac{\pi}{L} \sum_{n=1}^{N^*} n B_n \cos \frac{\pi n x}{L} e^{\frac{\pi n z}{L}}$$

$$\frac{\partial g}{\partial z} = g_z(x, z) = \frac{\pi}{L} \sum_{n=1}^{N^*} n B_n \sin \frac{\pi n x}{L} e^{\frac{\pi n z}{L}}$$

$$TG(x, z) = \sqrt{g_x^2(x, z) + g_z^2(x, z)}$$

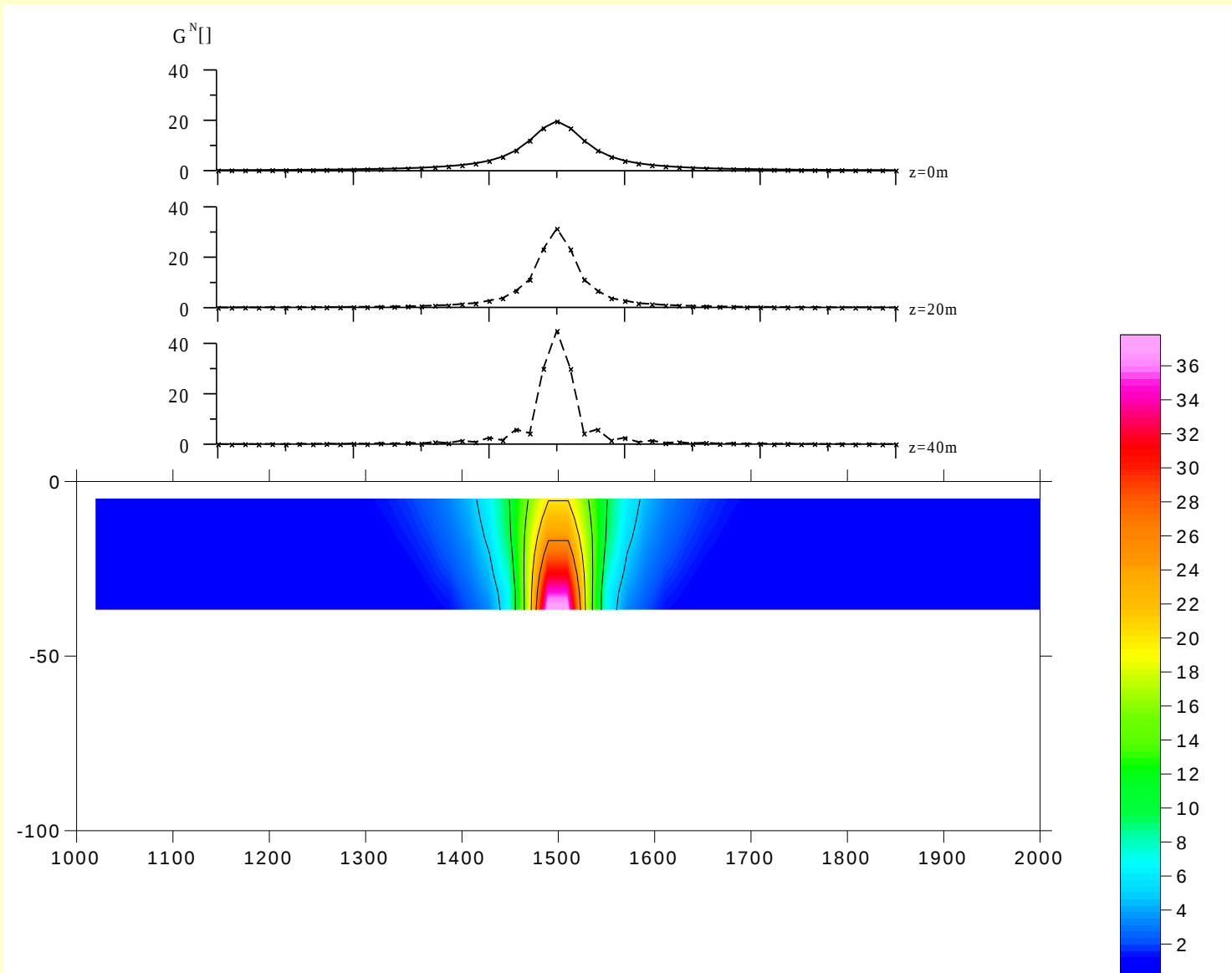
$$G_N(x, z) = \frac{\sqrt{g_x^2(x, z) + g_z^2(x, z)}}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{g_{x_i}^2(x, z) + g_{z_i}^2(x, z)}}$$

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



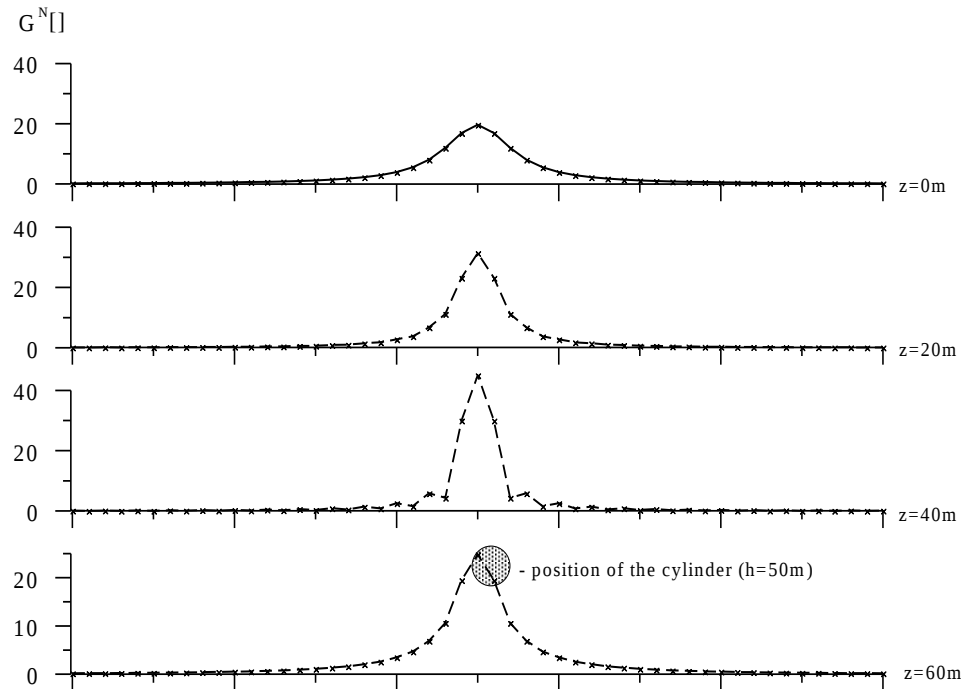
$N^* = 55$
hĺbky:
0 až 20 m

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

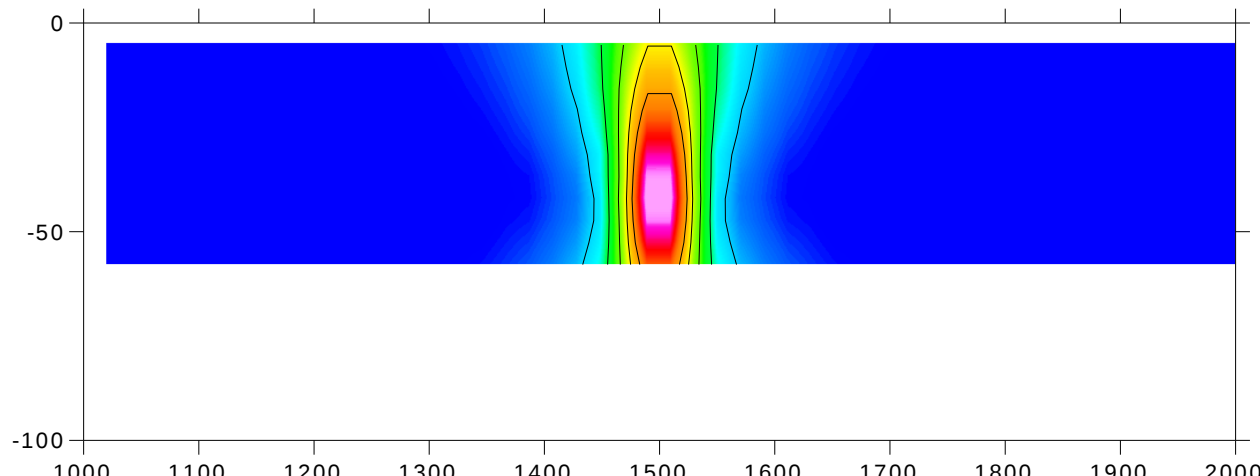


$N^* = 55$
hĺbky:
0 až 40 m

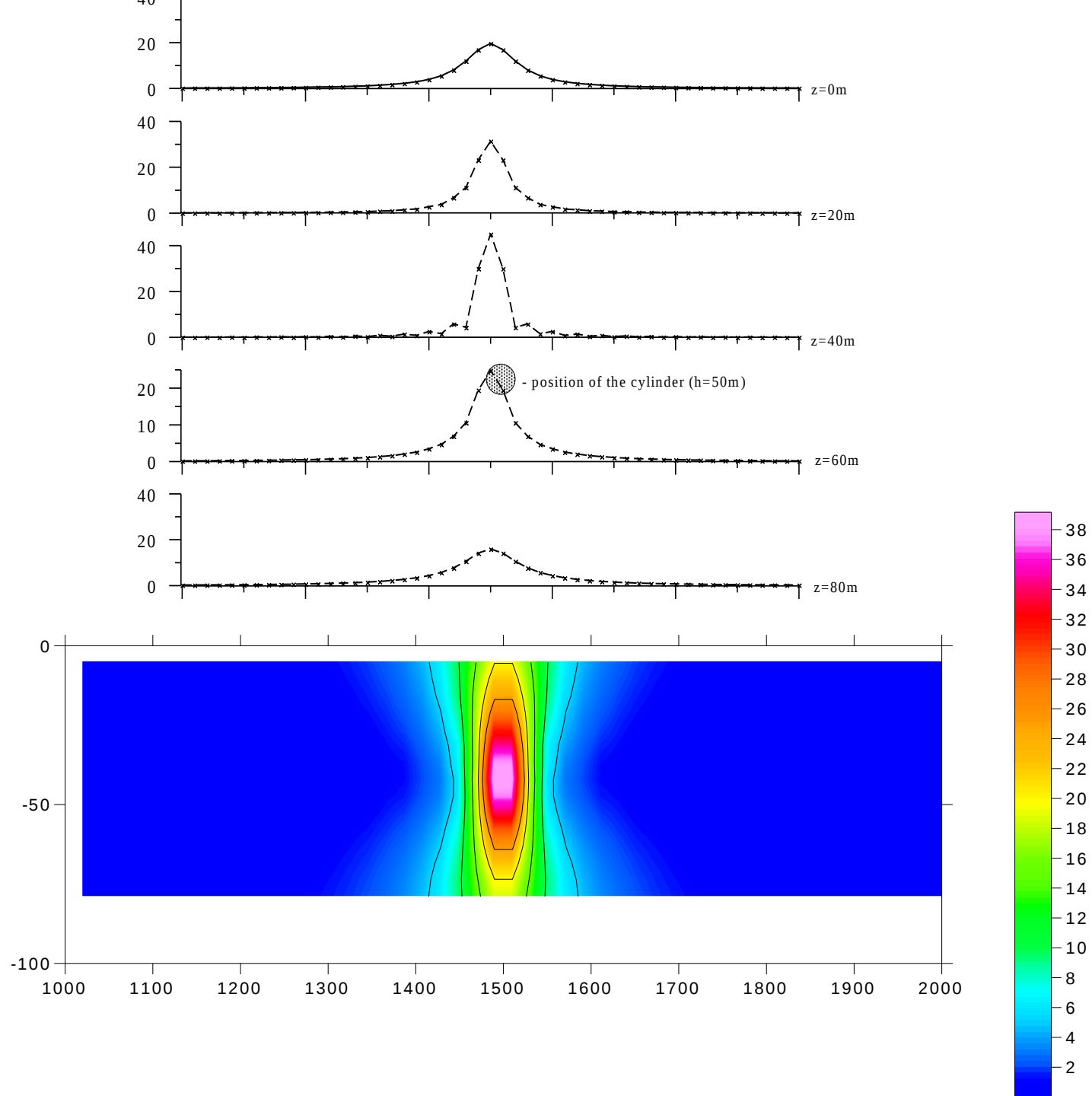
pole totálneho normovaného gradientu v reze cez zdroj (horizont. kruhový valec v hĺbke 50 m)



$N^* = 55$
hĺbky:
0 až 60 m



$N^* = 55$
hlbky:
0 až 80 m



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

$N^* = 55$
hlbky:
0 až 100 m

