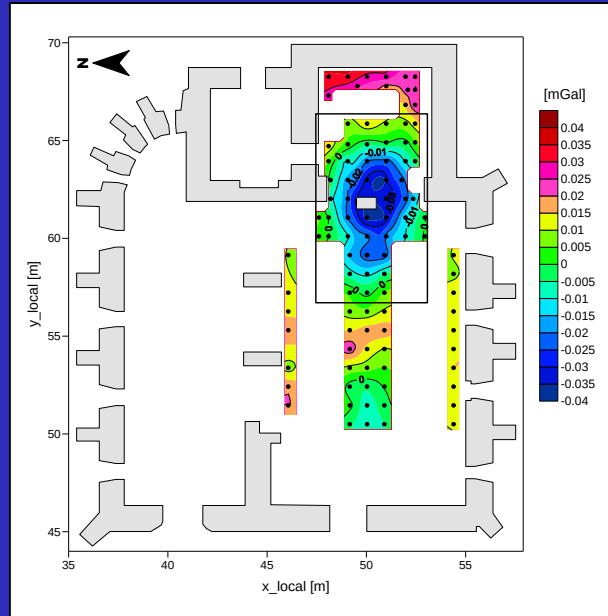
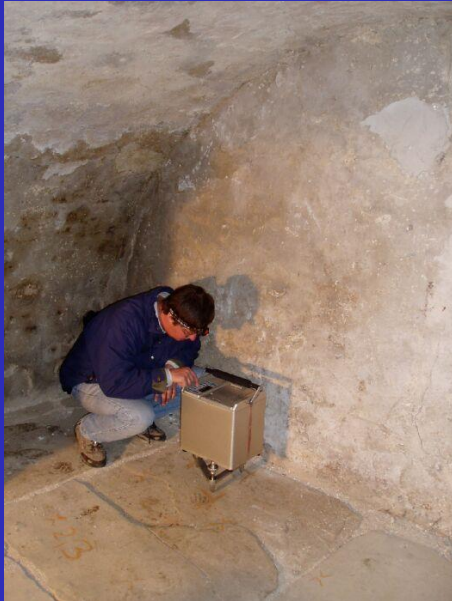


Príkladové štúdie (case-studies) z oblasti archeo-geofyziky (mikrogravimetria)

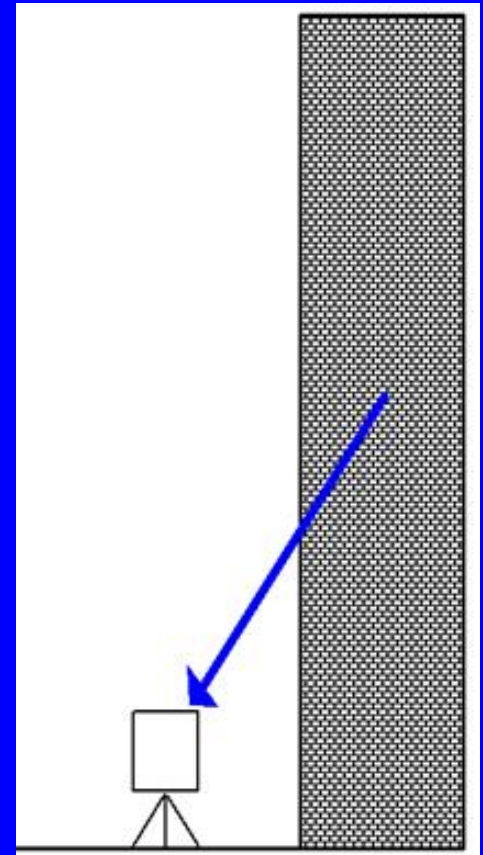


Príkladové štúdie (case-studies) *z oblasti archeo-geofyziky (mikrogravimetria)*

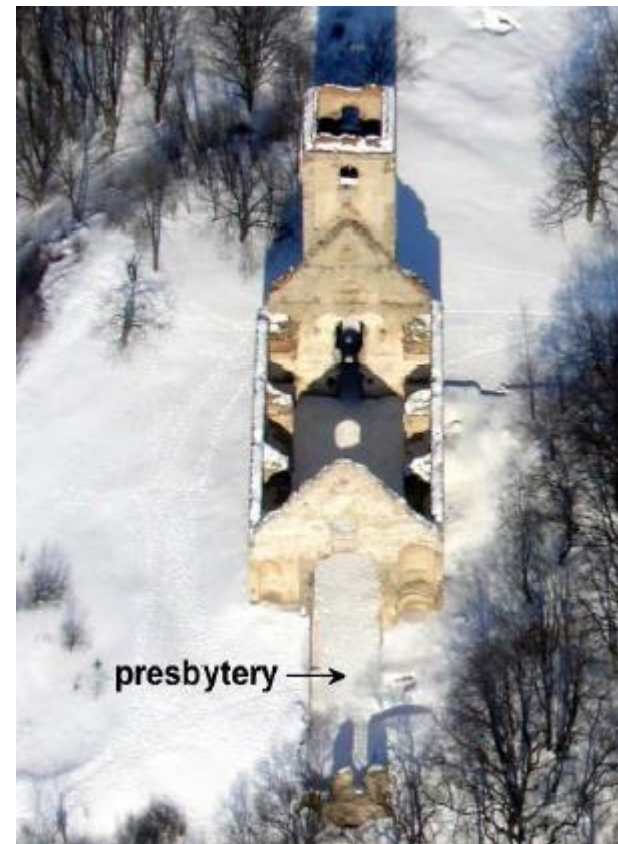
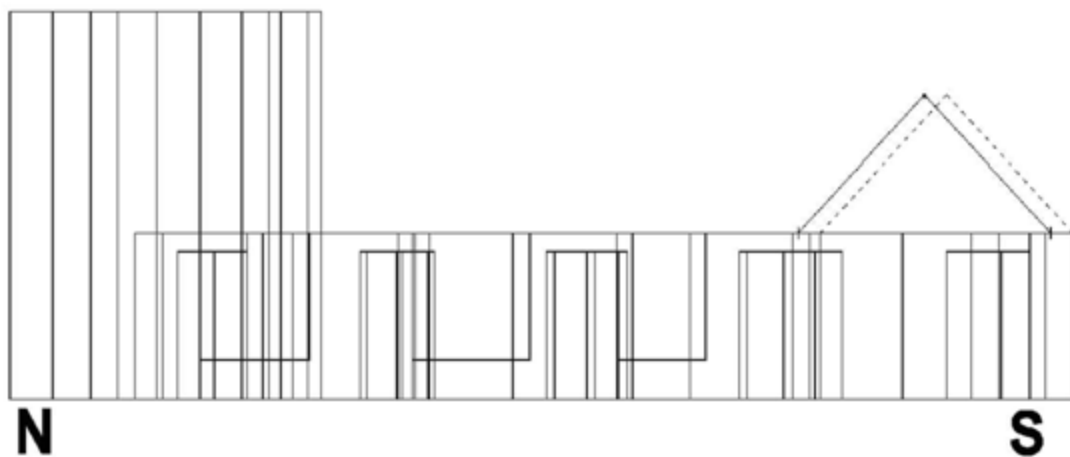
- dôraz na presný zber dát (vysokopresné gravimetre – Scintrex CG-3M, CG-5, Lacoste&Romberg)
- väčšinou merania v sieti 1×1 m (občas krok 0.5 m)
- presné umiestnenie gravimetra na bode, merania výšky statívu od podlahy
- presné zameranie polôh bodov a ich vzdialeností od múrov, stĺpov a iných architektonických útvarov
- neúplná Bouguerova anomália, avšak veľmi dôležité sú opravy o gravitačné účinky múrov

opravy o gravitačné účinky múrov

- *aproximácia súborom jednoduchých geometrických telies (kvádrov)*
- *vertikálne hranoly s polygonálnym prierezom*
- *3D mnohosteny (polyédre)
(nová metodika na báze fotogrametrie)*

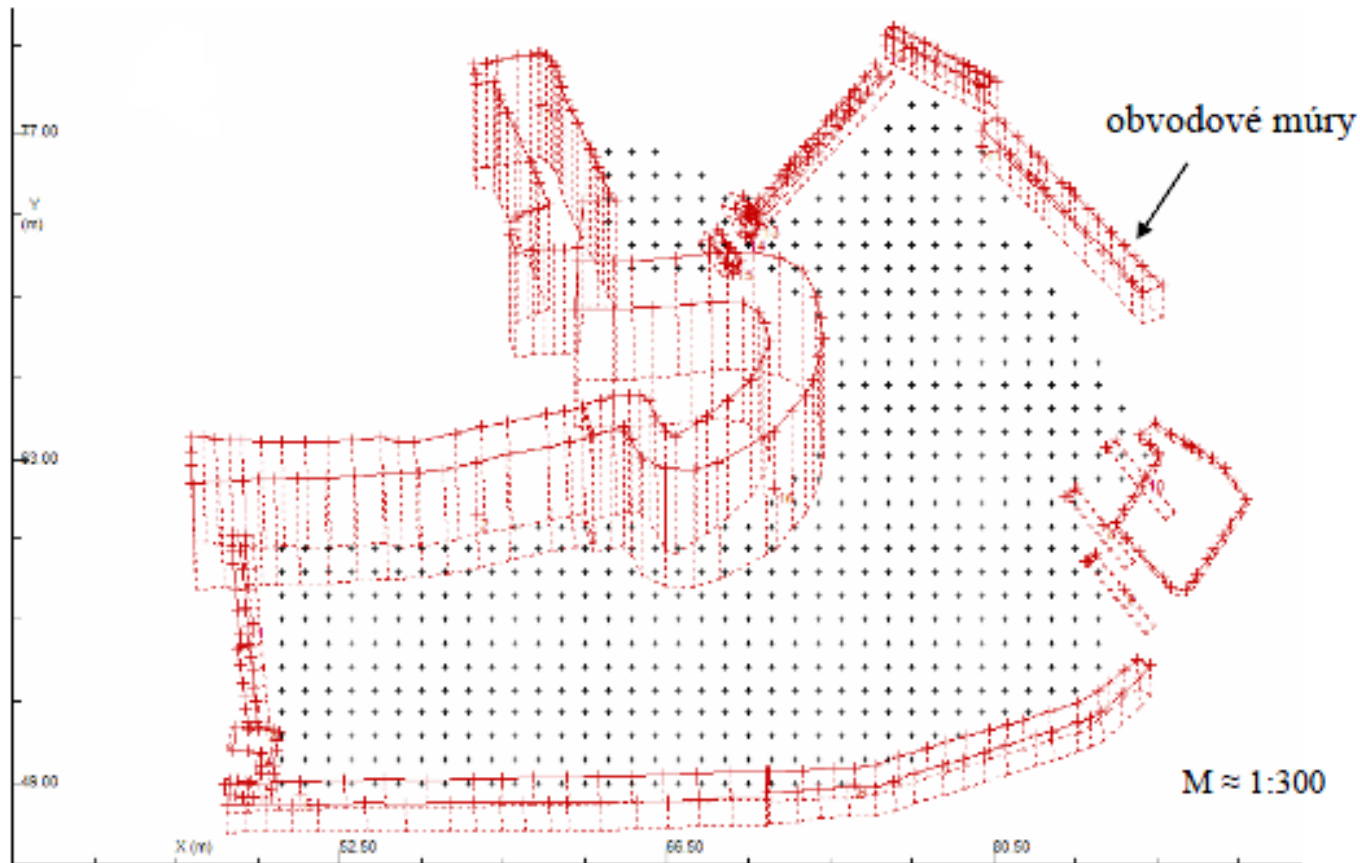


opravy o gravitačné účinky múrov



pravouhlé hranoly - Katarínka

opravy o gravitačné účinky múrov



vertikálne polygonálne hranoly – Oravský hrad

opravy o gravitačné účinky múrov

396 J. Panisova et al.



FIGURE 5

Photograph of church exterior (NW view from the cemetery).



FIGURE 6

Digital model of the church without a roof displayed with original textures in PhotoModeler Scanner software.

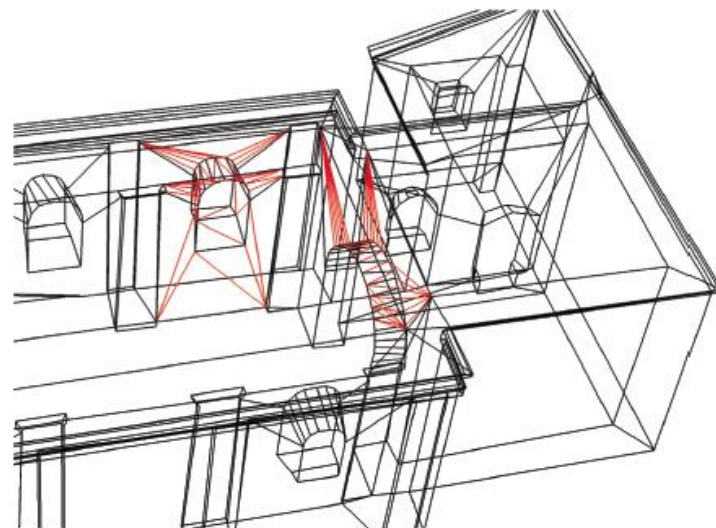


FIGURE 7

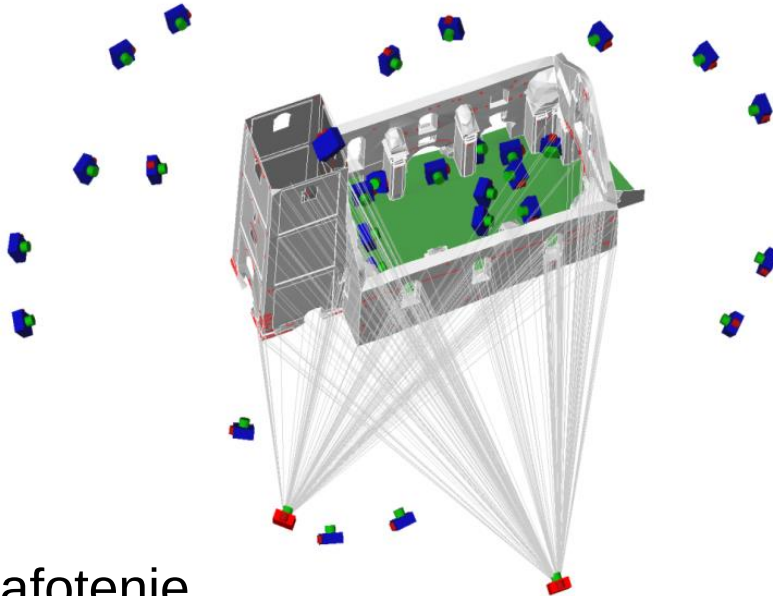
3D wire frame view of a selected part of the final model where the red lines represent a triangulation of several selected surfaces only.

3D polyédre – Horné Krškany

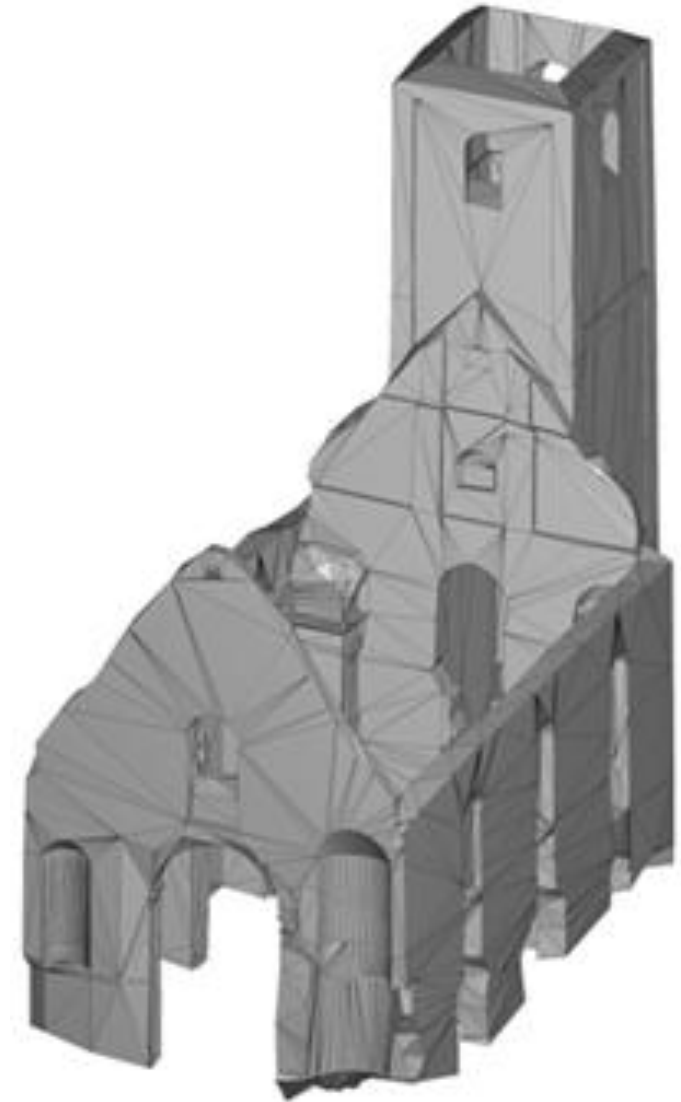
opravy o gravitačné účinky múrov



reálna situácia



nafotenie

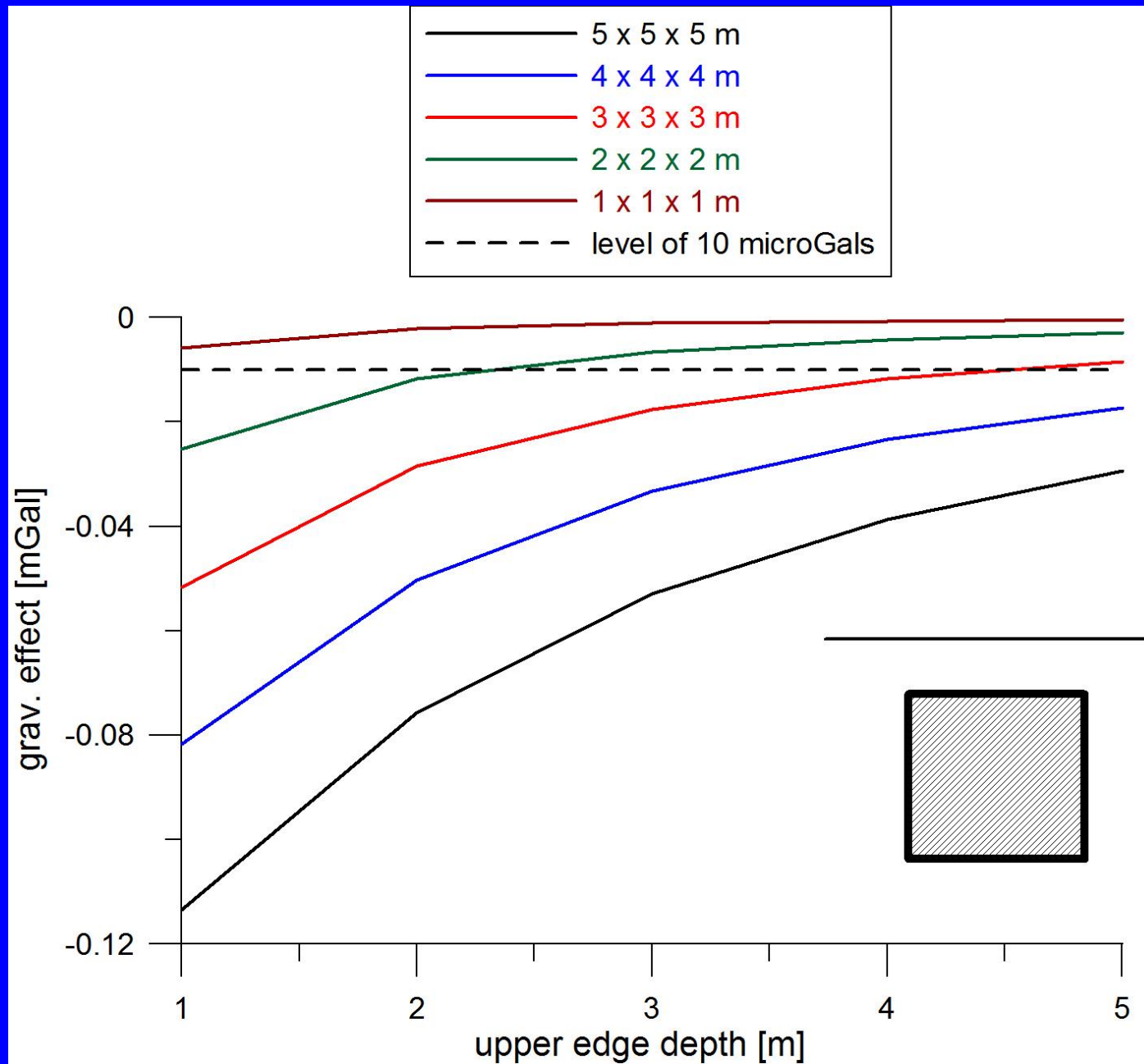


finálny 3D model

3D polyédre – Katarínka

veľkosť vs. hĺbka detekovateľných dutín

model:
kváder (-2.0 g.cm^{-3})
s rôznymi rozmermi
v rôznej hĺbke

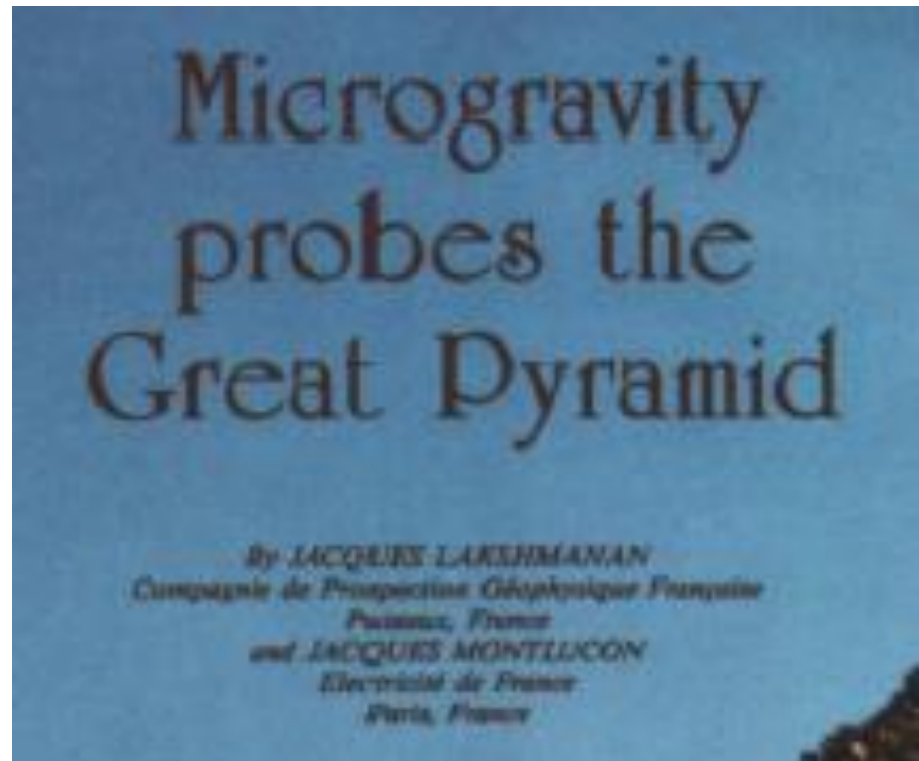




PRÍKLADY POUŽITIA MIKROGRAVIMETRIE V ARCHEOLÓGII – DETEKCIA DUTÍN

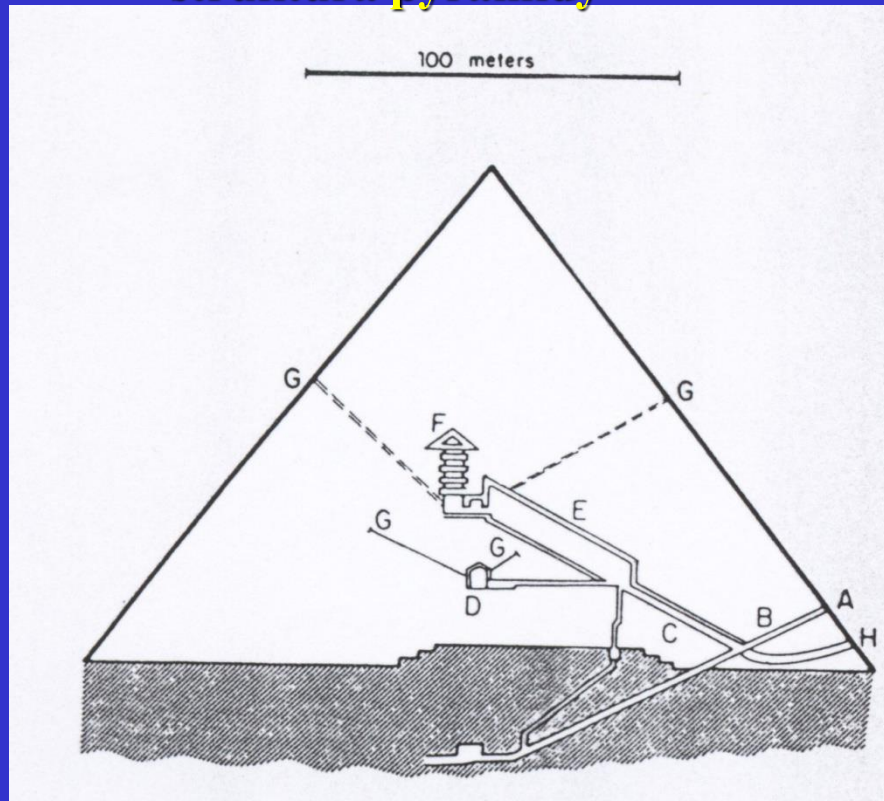
- prieskum Cheopsovej piramídy*
- prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove*
- kostol a kláštor Katarínka, JZ Slovensko*
- kostol Najsv. Trojice, Devín*
- veľká terasa, Oravský hrad*

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. prieskum



Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogr. prieskum

štruktúra pyramídy

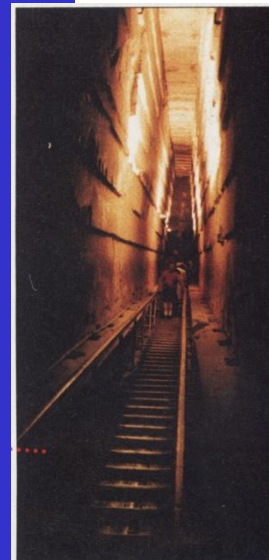
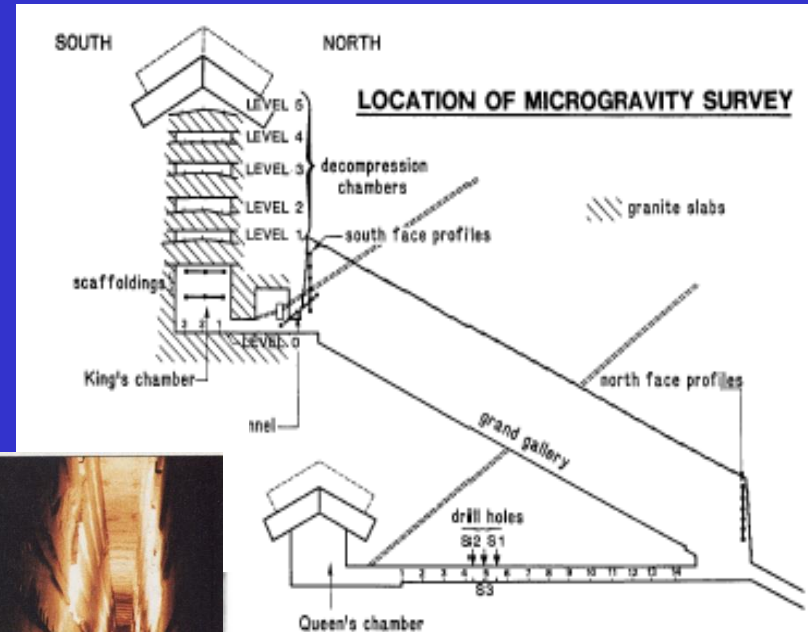


- A. NORTHERN ENTRY
- B. DESCENDING CORRIDOR
- C. RISING CORRIDOR
- D. QUEEN'S CHAMBER
- E. LARGE GALLERY

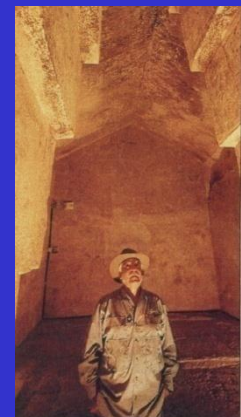


samotné meranie

merané priestory



veľká galéria



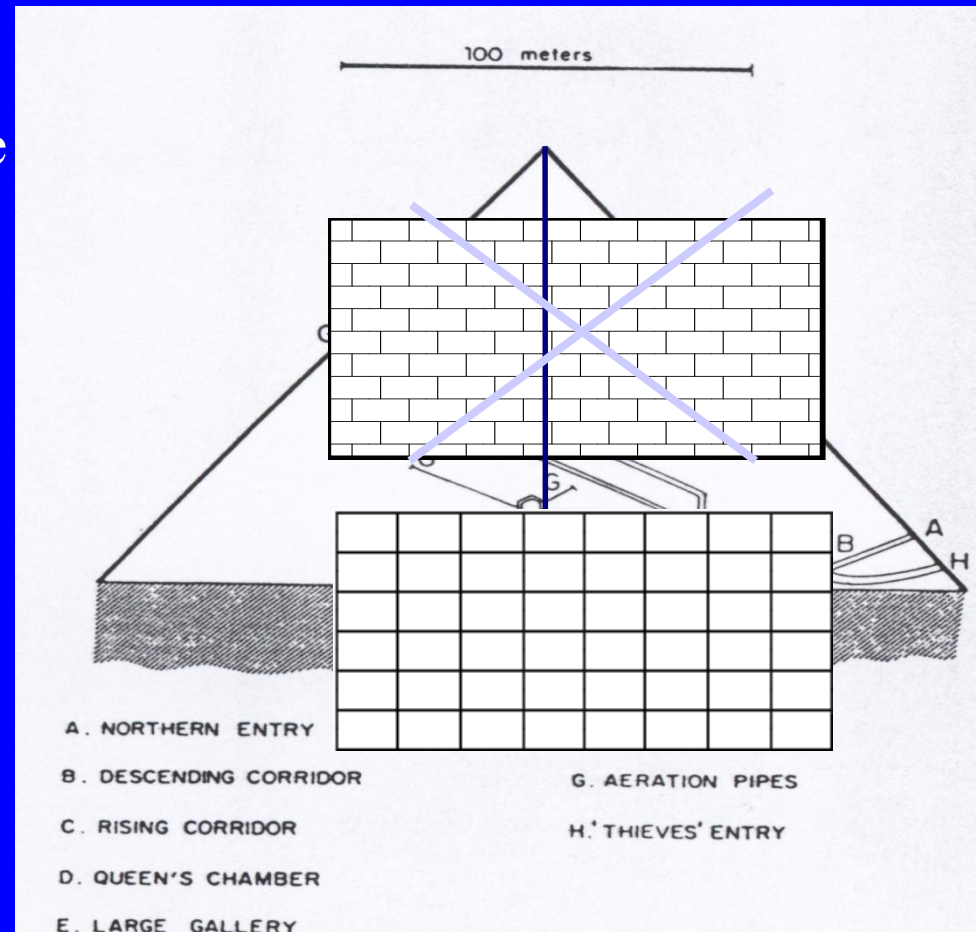
kráľovská komnata

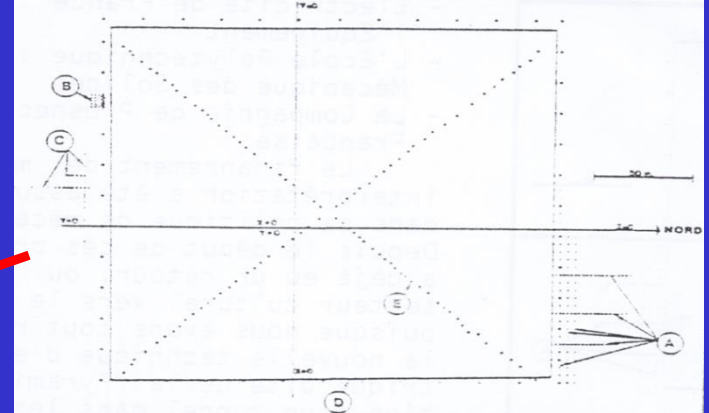
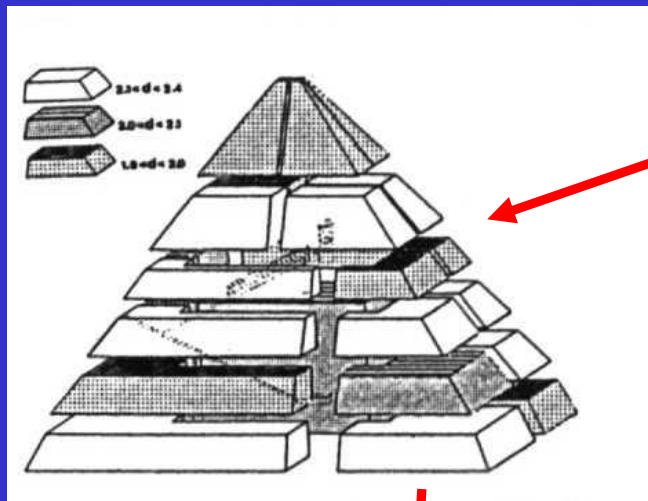
odhad. chyba: 2 - 10 μ Gal

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogr. prieskum

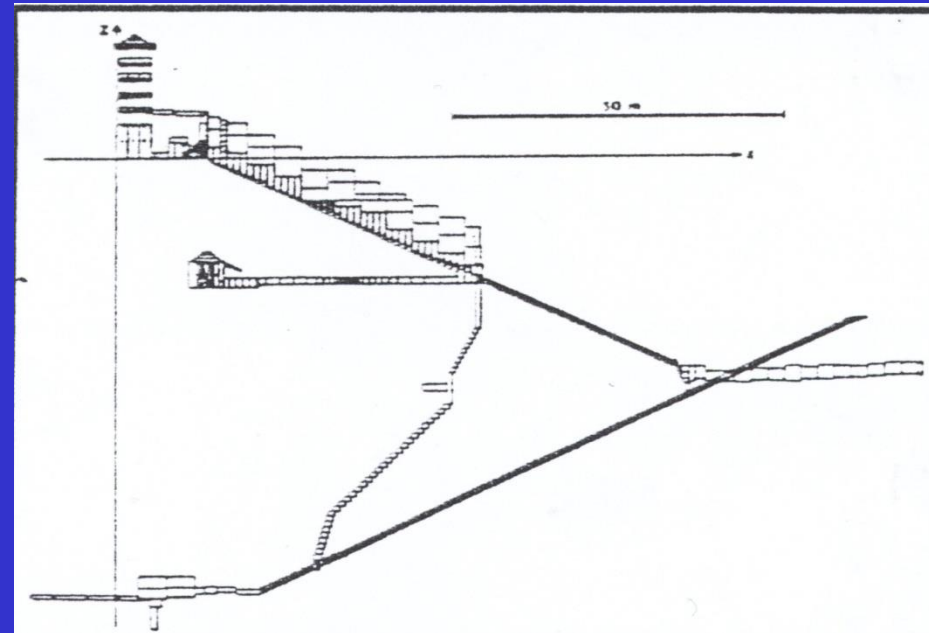
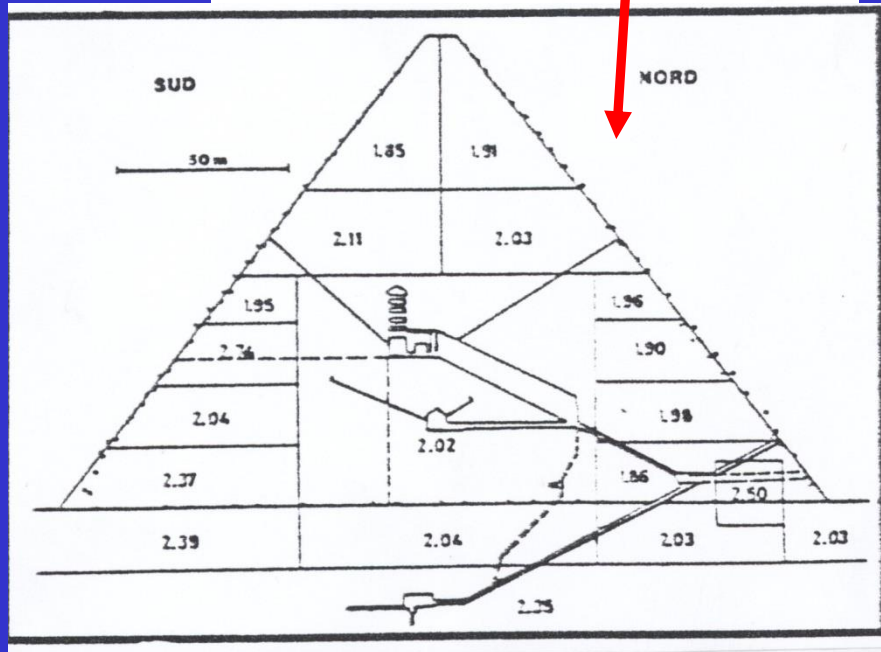
„argumenty“ pre naštartovanie projektu – architektonické „anomálie“ v stavbe pyramídy:

- poloha „Kráľovskej“ komnaty: jej stred neleží úplne presne na vertikále prechádzajúcej vrcholom pyramídy,
- polohy kvádrov v chodbe ku „Kráľovninej“ komnate nemajú typický tehlový vzor,
- príliš veľká „dekompresná štruktúra“ nad „Kráľovskou“ komnatou .





tvorba Bouguerovej anomálie –
- odstránenie gravitačných
účinkov známych štruktúr



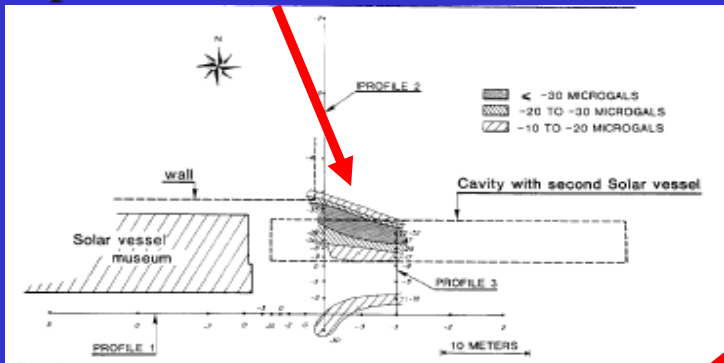
model hustotného „rozvrstvenia“ pyramídy

známe dutiny

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogr. prieskum

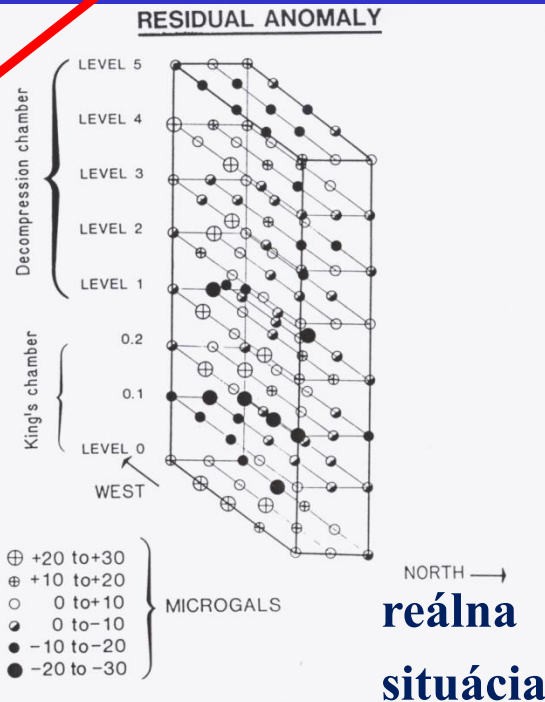
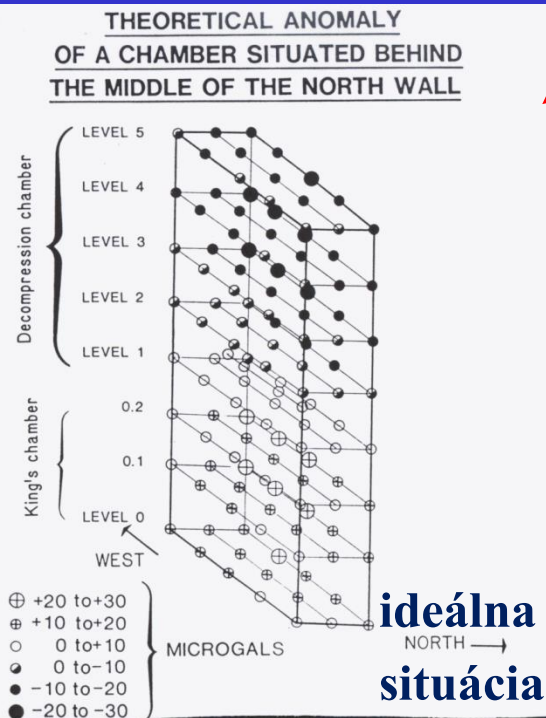
výsledky

overenie dutiny so slnečným
plavidlom faraóna



čiastkový výsledok:

zistenie heterogénneho rozloženia
hodnôt anomálneho grav. zrýchlenia
v „Kráľovskej“ komnate

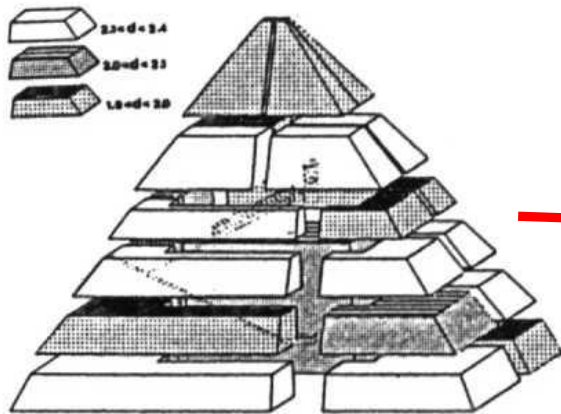


Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogr. prieskum

výsledky

čiasťkový výsledok (v oblasti archeologickej hypotézy):

rozloženie modelovaných hustôt viedlo ku interpretácii, že hustotne oslabené zóny by mohli súvisieť s prejavom vnútornej rampy, ktorá mohla ísť špirálovito smerom nahor pozdĺž obvodu pyramídy



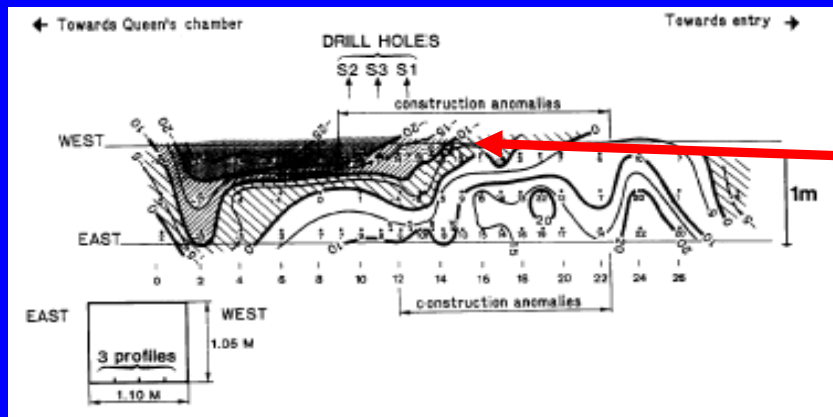
Densities of the large block structure of the Cheops Pyramid.

INTERPRETÁCIA PRIEBEHU
VNÚTORNEJ ŠPIRÁLOVEJ
RAMPY V CHUFUOVEJ
PYRAMÍDE



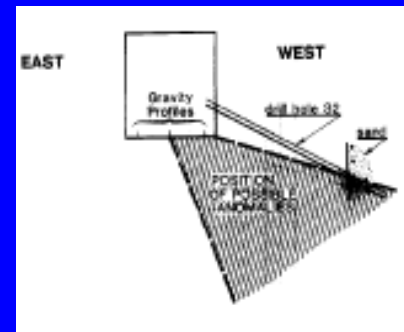
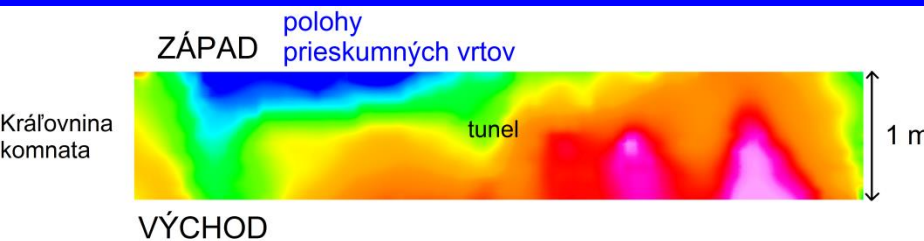
Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogr. prieskum

výsledky



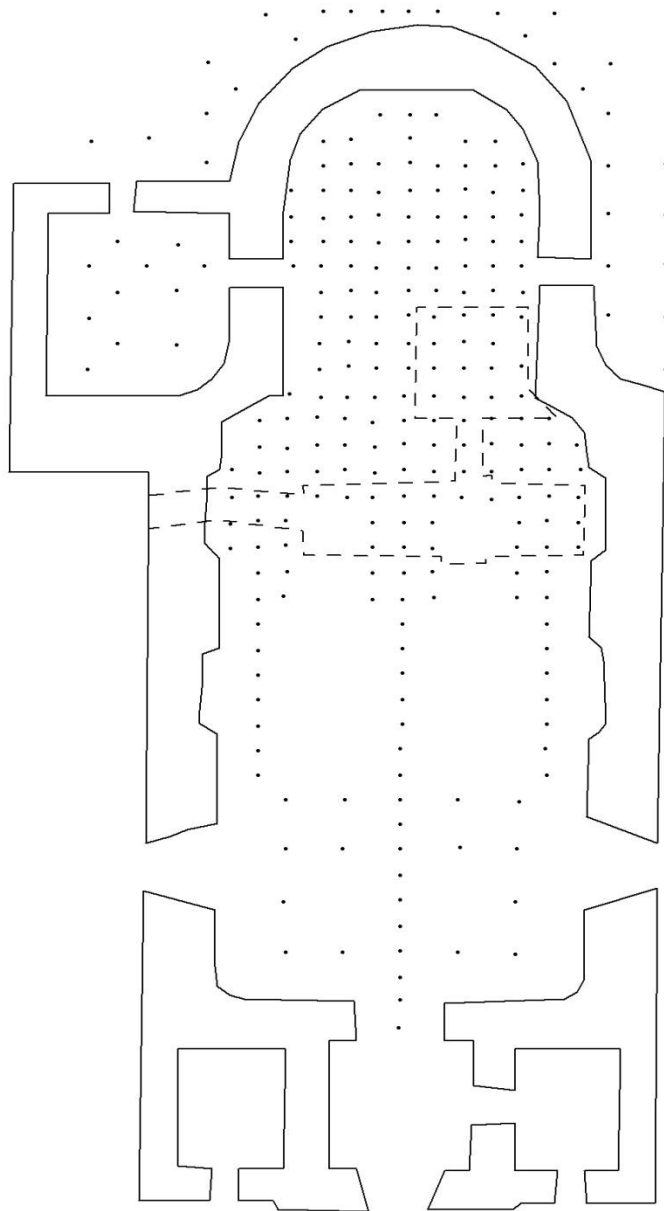
hlavný výsledok:

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



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

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



860

M. BLÍŽKOVSKÝ

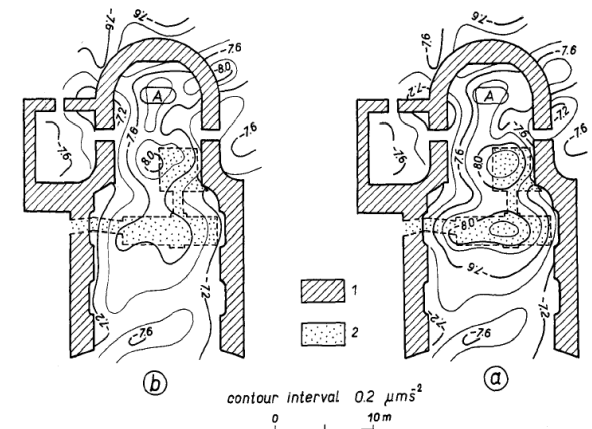
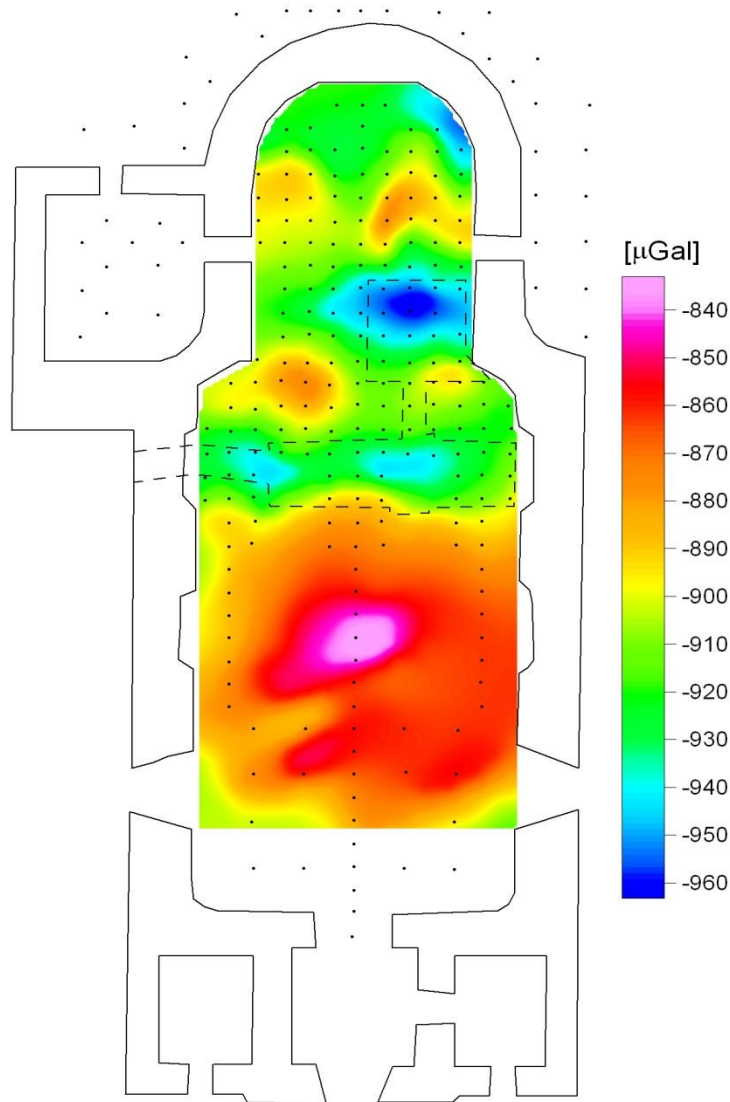


Fig. 10. Maps of Bouguer anomalies in the St. Venceslas church Tovačov. a) map corrected for gravity effect of walls, b) map corrected for gravity effects of walls and crypts.

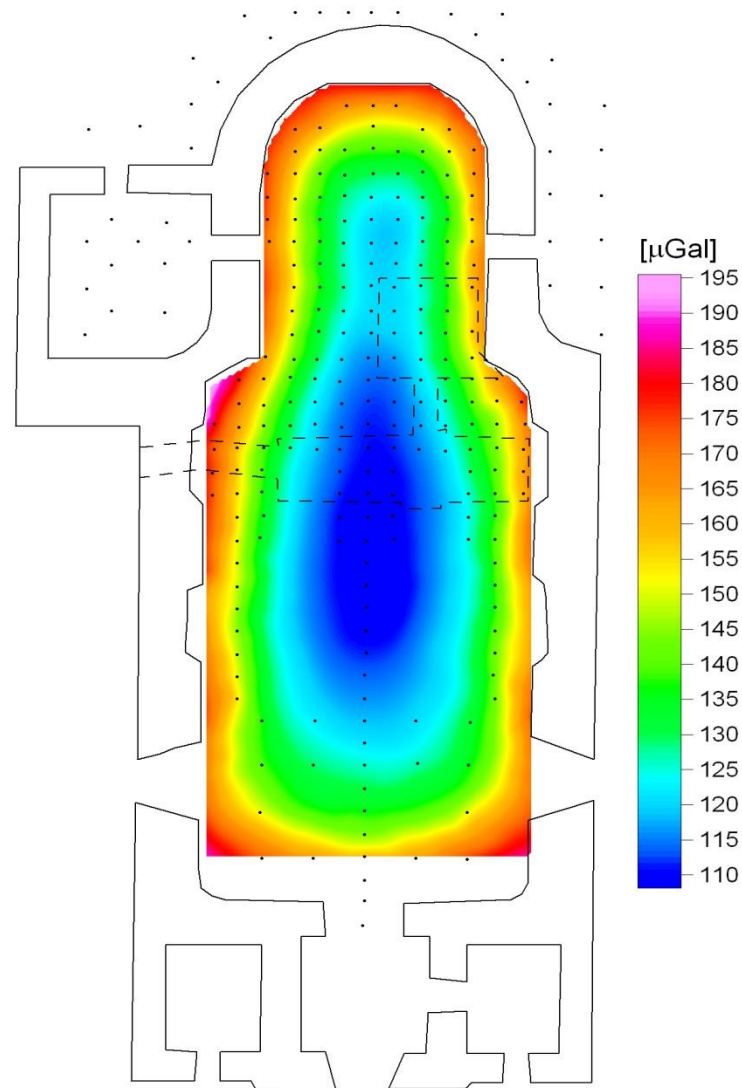
- mikrogravimetria v sieti 1 x 1 m
a 2 x 2 m, spolu 262 bodov
- stredná kvadratická chyba meraného
ťažového zrýchlenia = 0.011 mGal
- interpretované anomálie
amplitúdou 0.06 mGal = 60 μ Gal

s

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

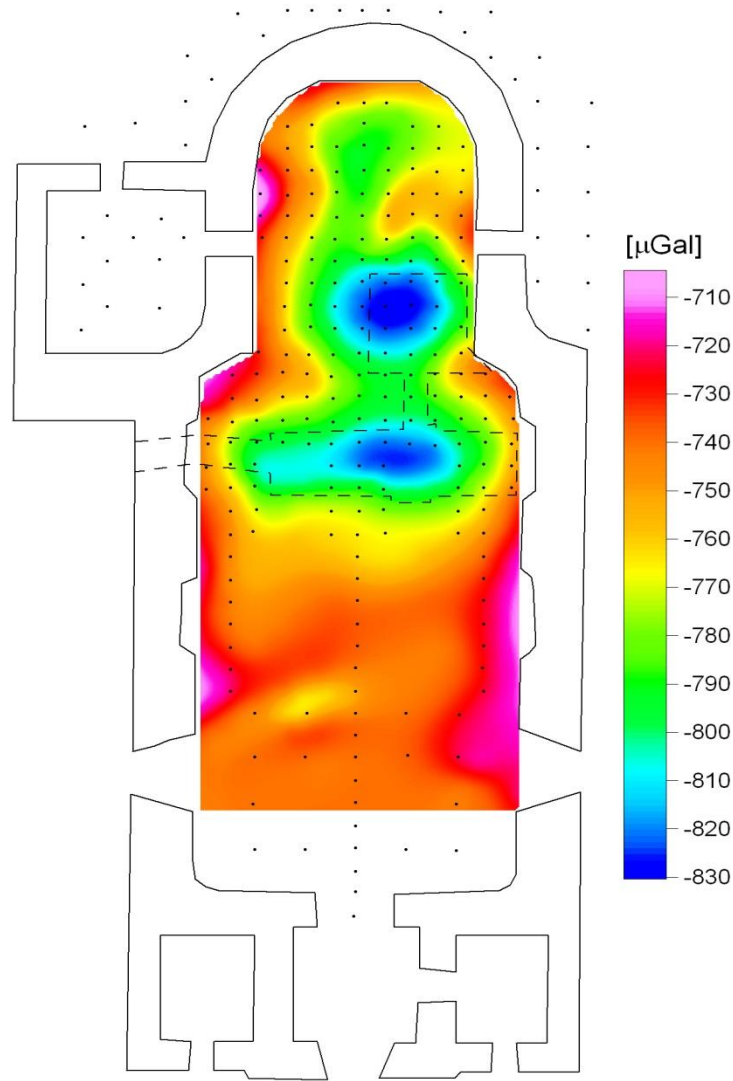


neúplná Bouguerova anomália
(bez topokorekcií a opráv na účinky múrov)

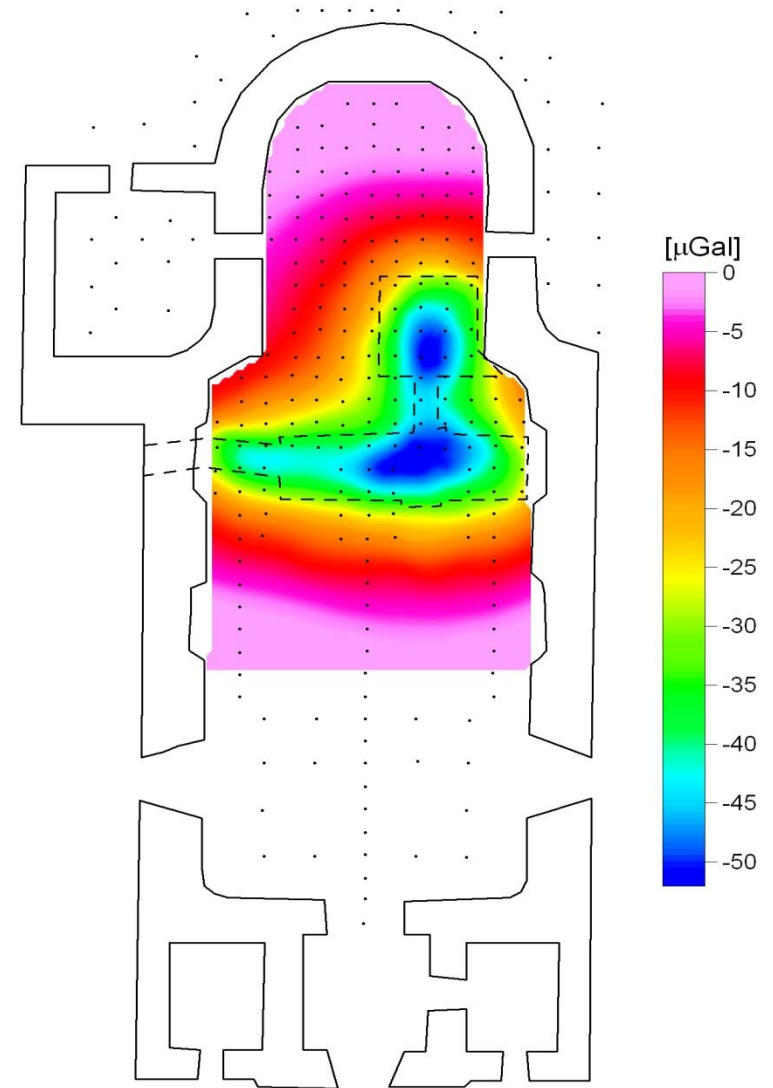


gravitačný účinok múrov

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

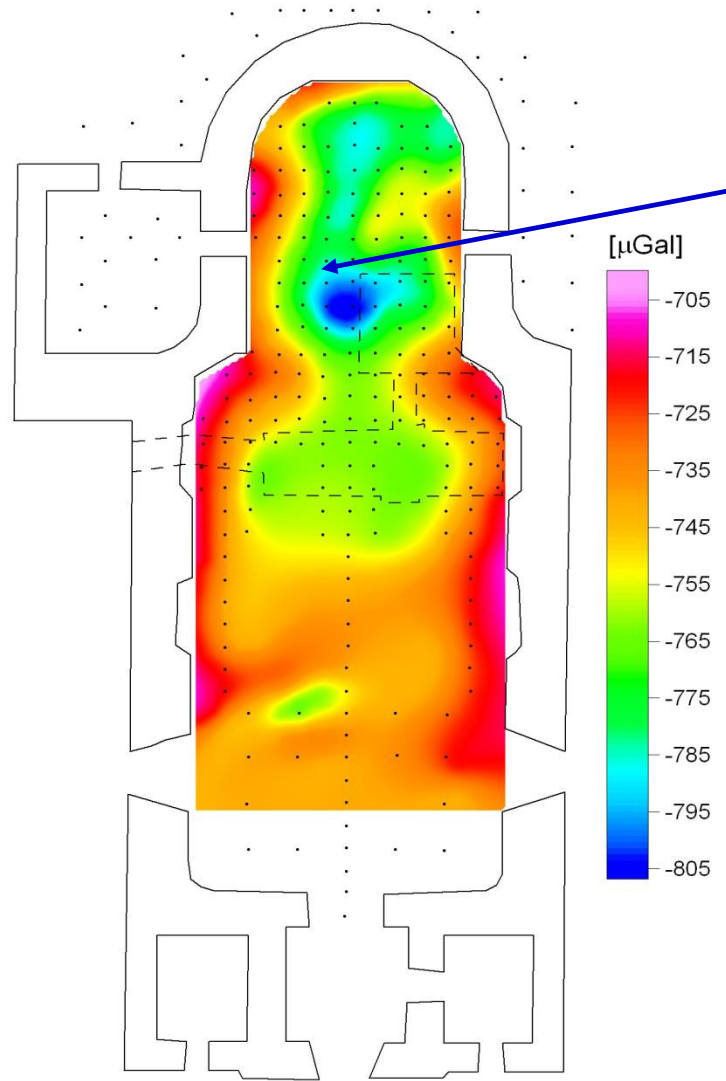


úplná Bouguerova anomália
(s opravami na účinky múrov)



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

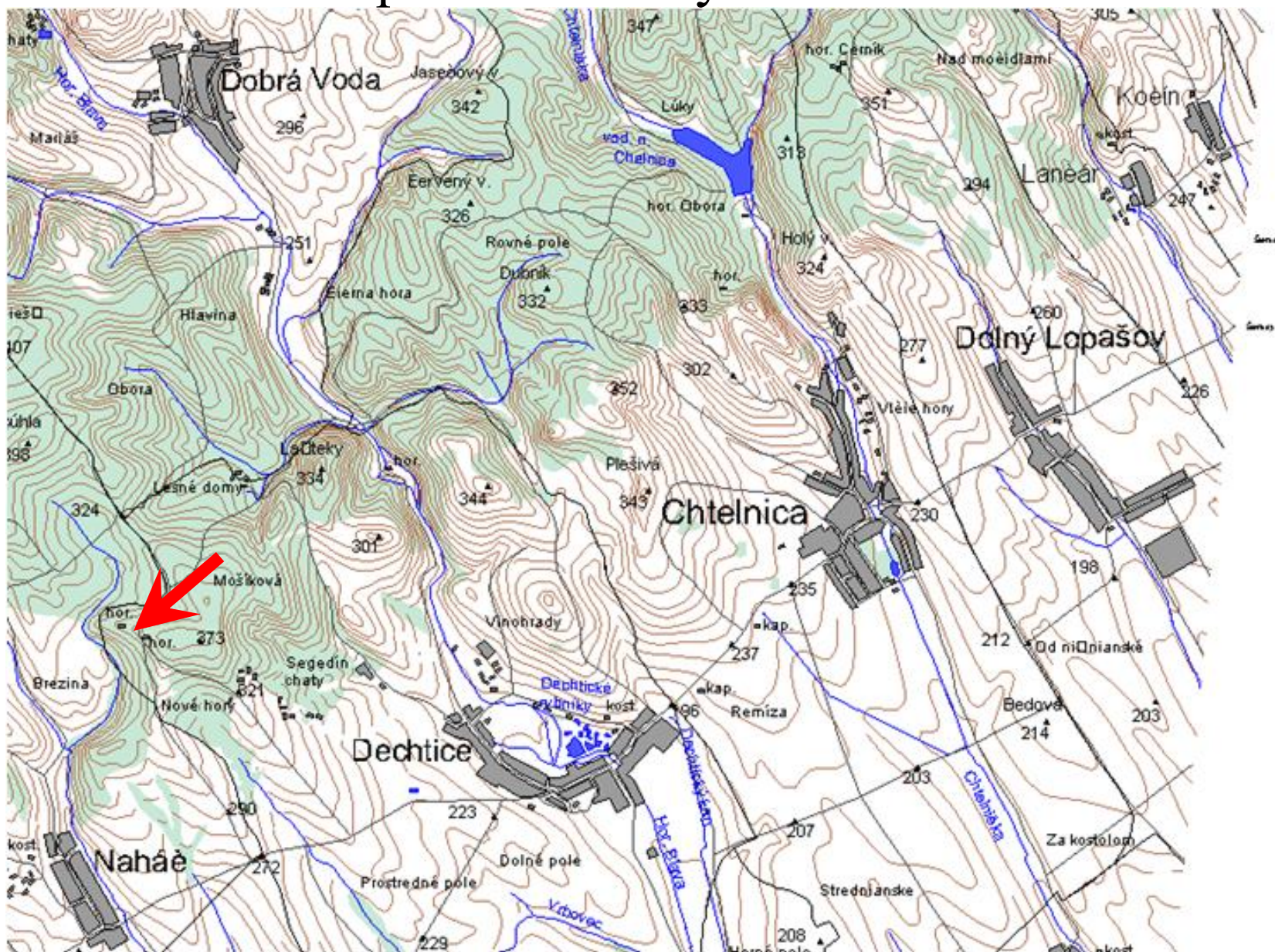
výsledok: úplná odkrytá (stripped) Bouguerova anomália
(s odstránením účinkov známych dutín)

kláštor a kostol
KATARÍNKA

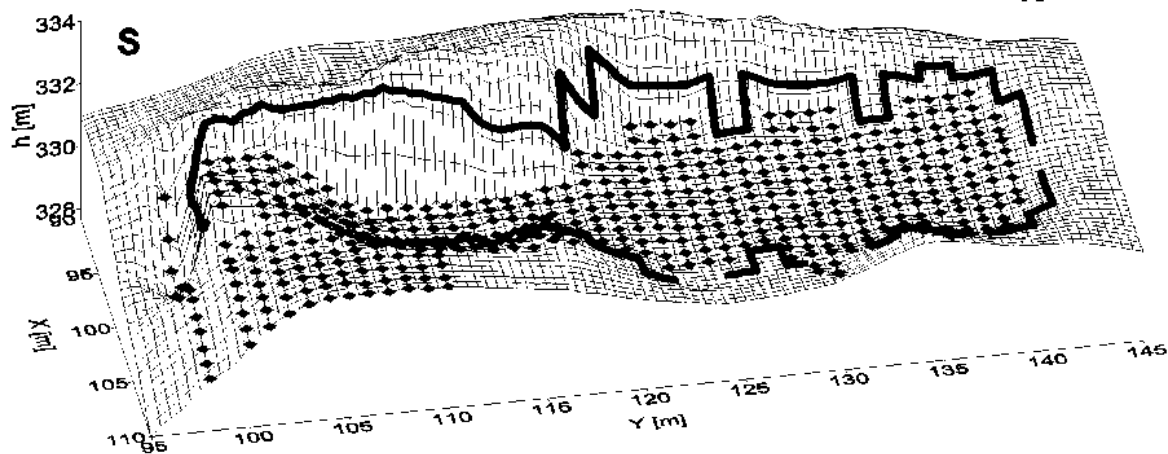
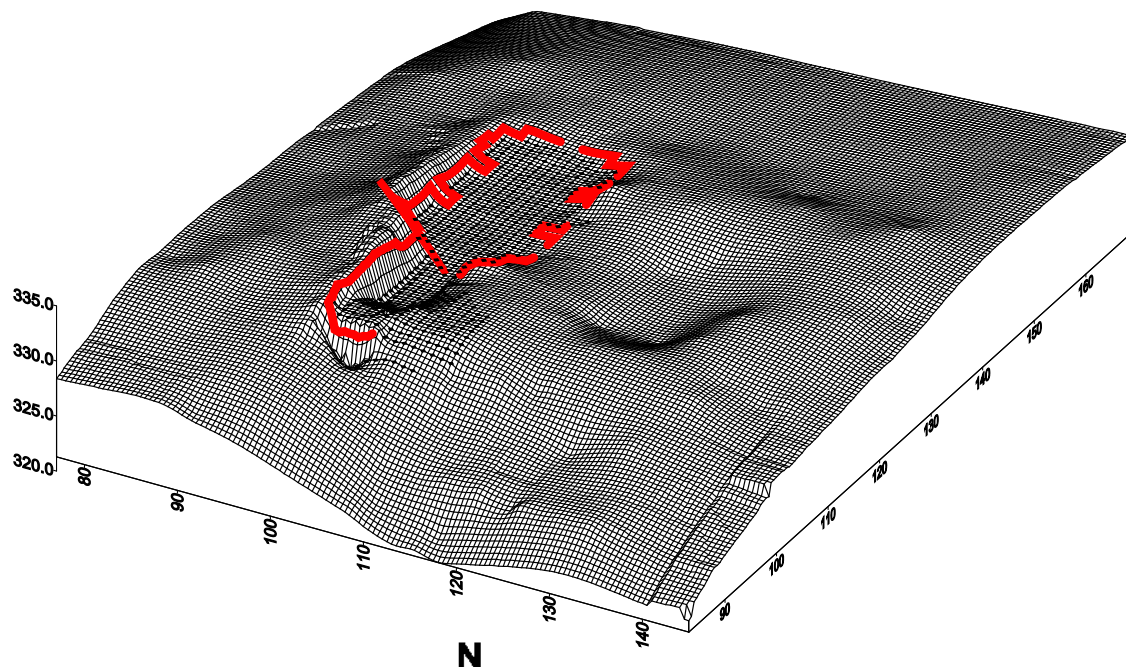
***VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNEHO
PRIESKUMU
(1998 - 2000)***



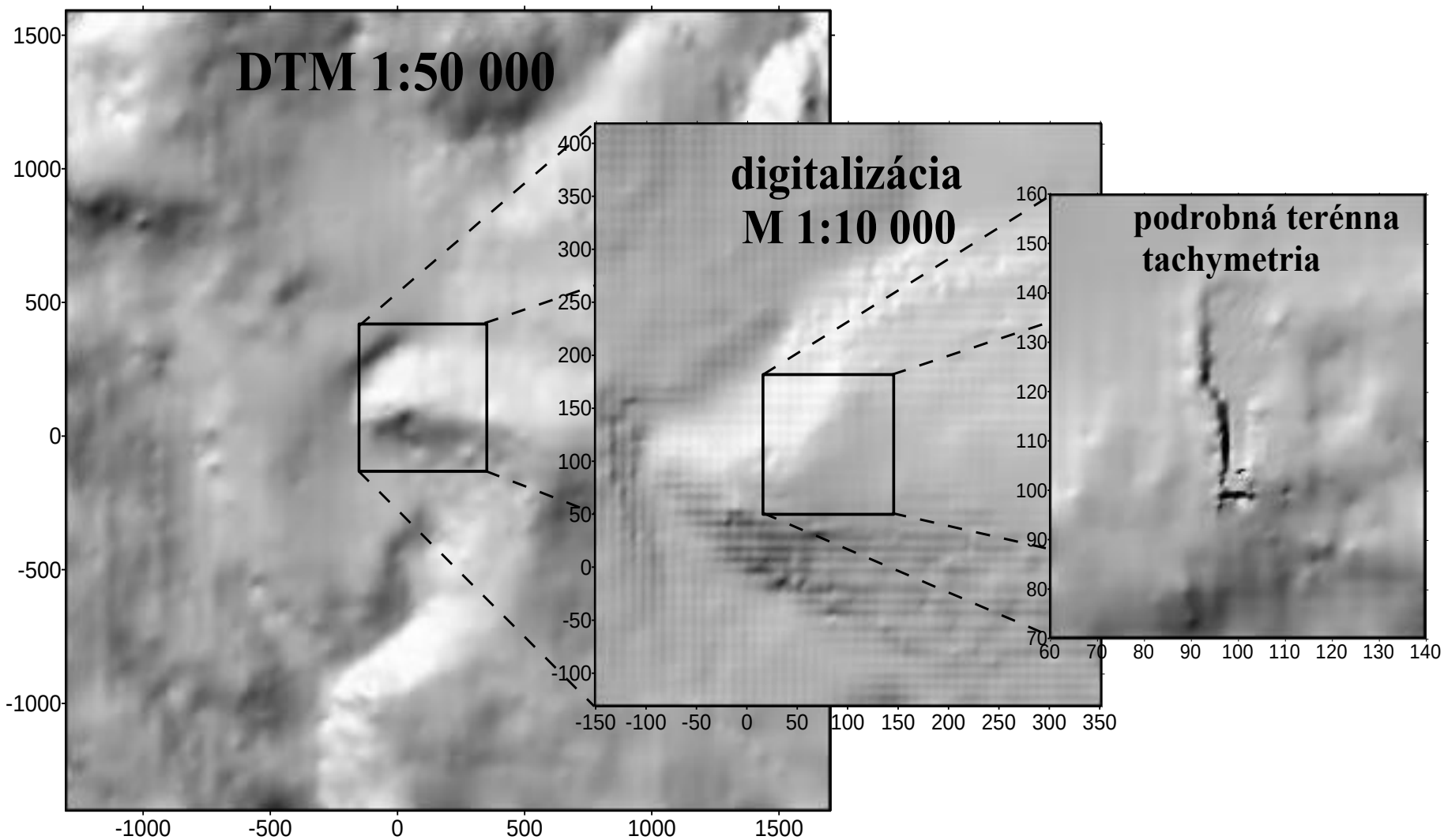
poloha lokality Katarínka



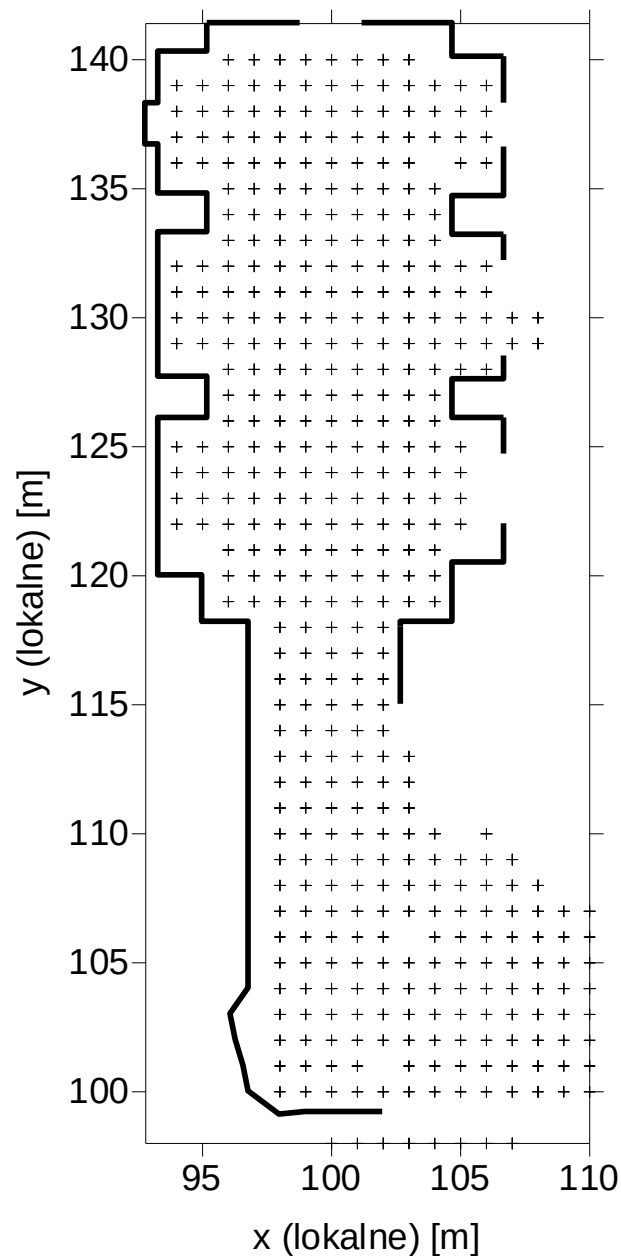
pohľady na reliéf terénu



lokalita Katarínka - podklady pre digitálny model terénu



mikrograv. merania v lodi kostola

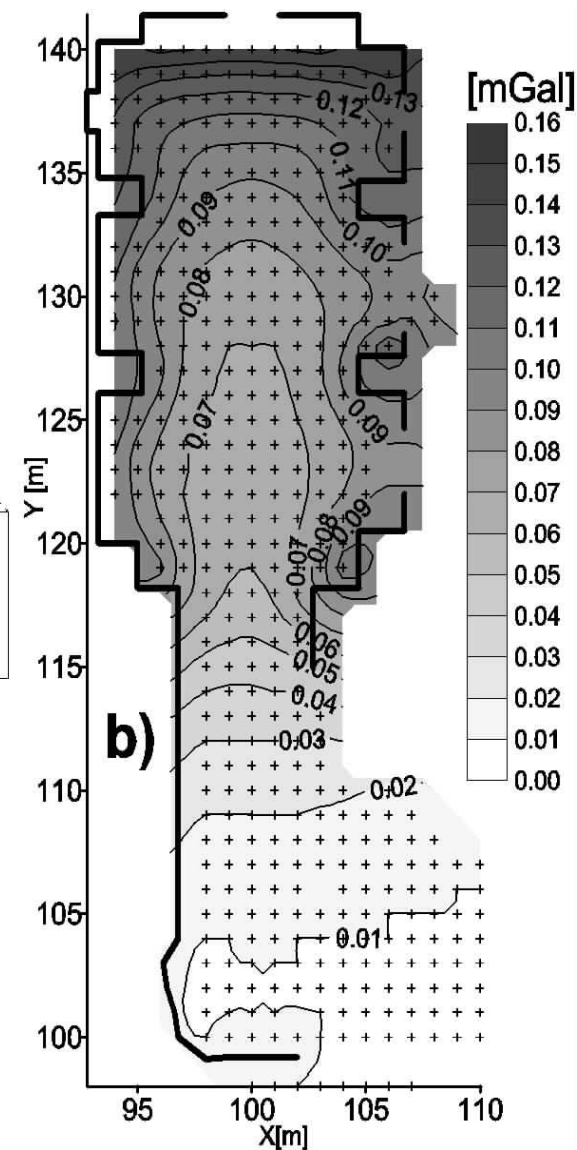
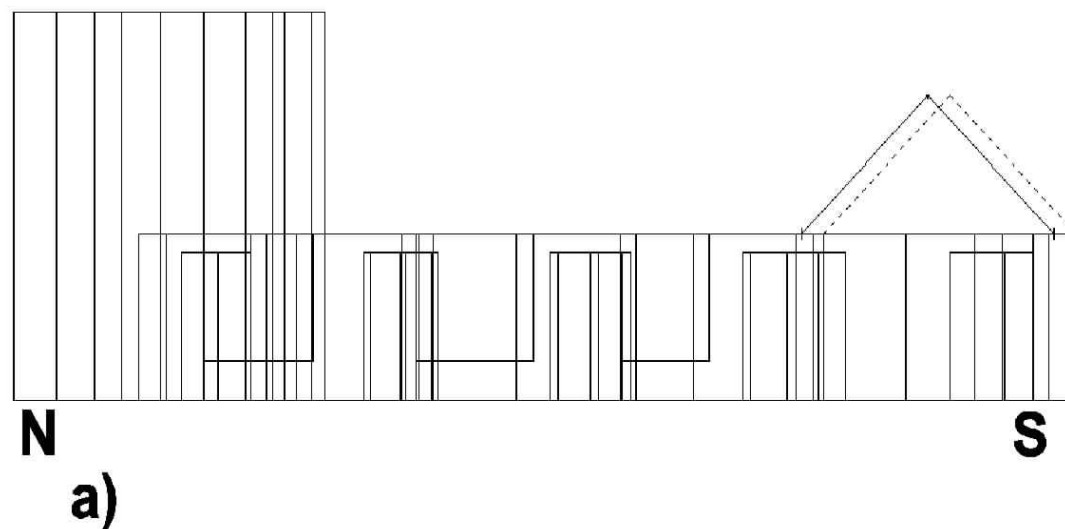


zmeraných 428 bodov



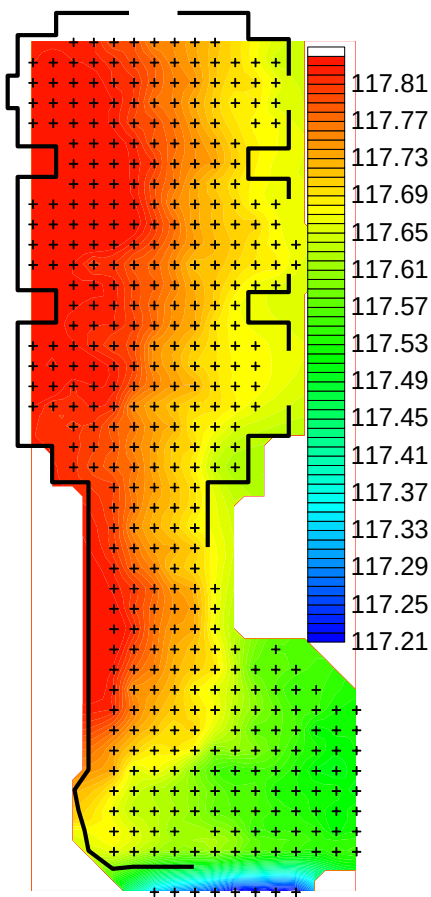
prístroj: Sodin 214GT

Katarínka - model a účinok múrov

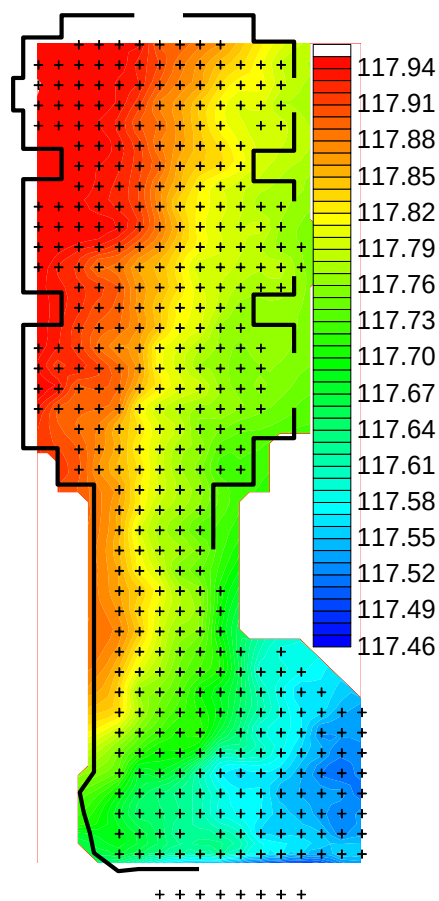


lokalita Katarínka - vývoj mapy reziduálnych anomálií

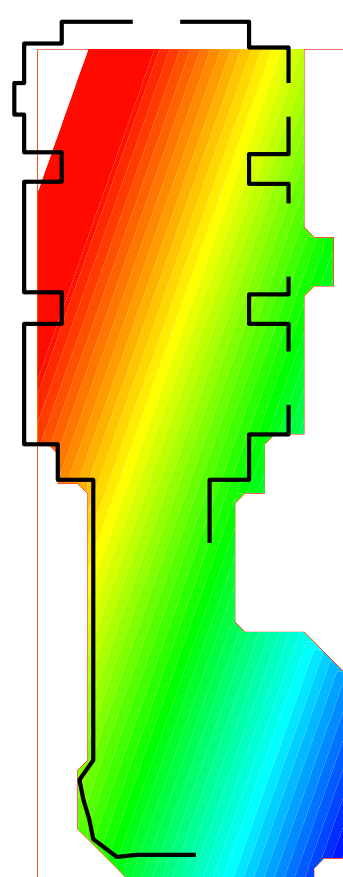
úplné Bougerove
anomálie pre red.
hustotu 2.4 g.cm^{-3}



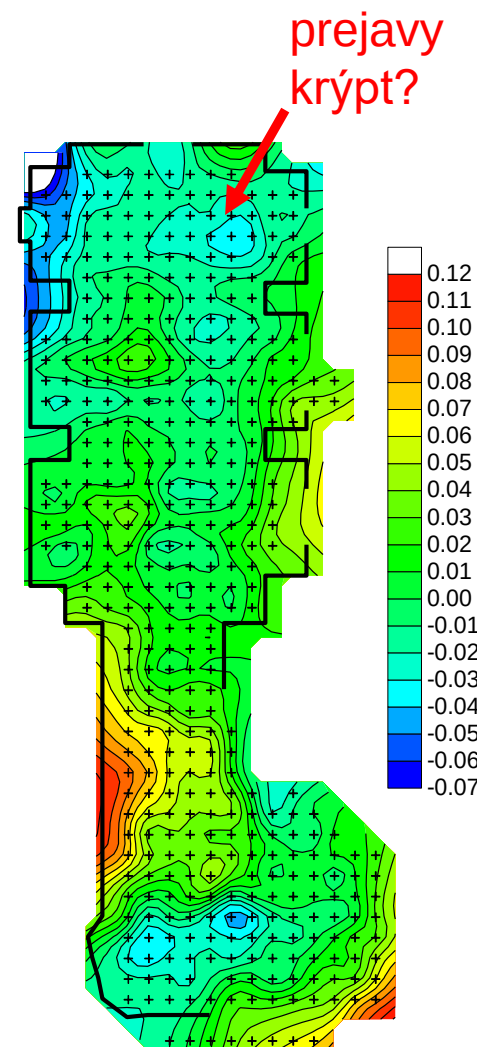
úplné Bougerove
anomálie pre red.
hustotu 2.4 g.cm^{-3}
+ oprava na múry



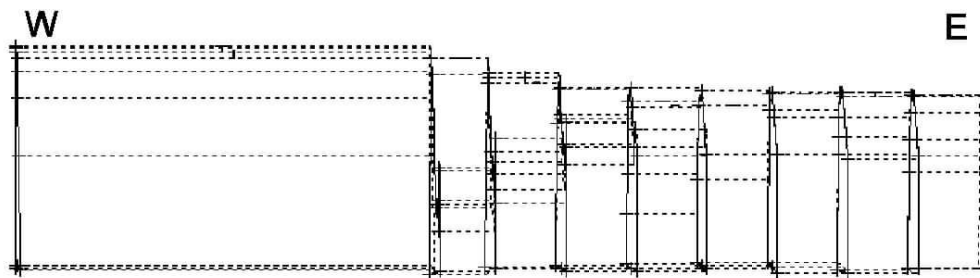
regionálny trend



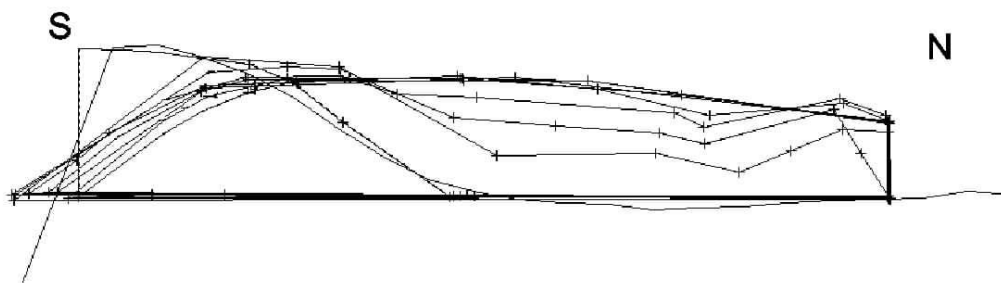
reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}



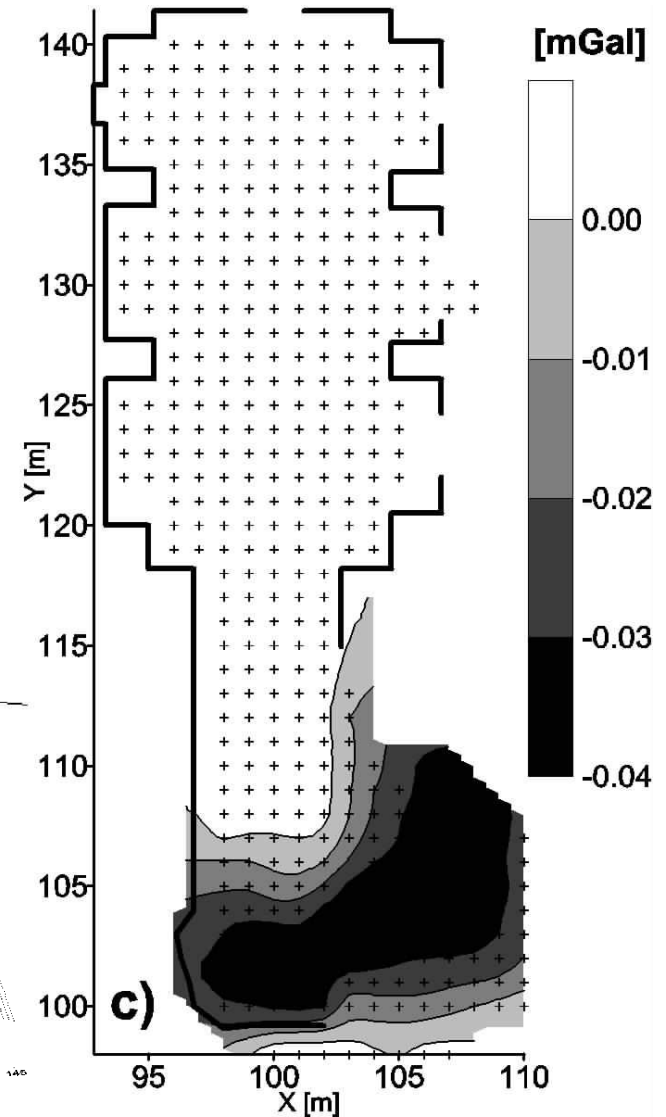
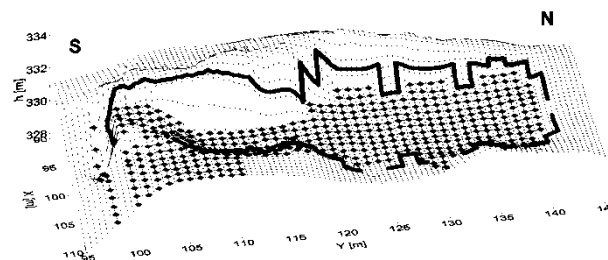
Katarínka - model a účinok sute



a)



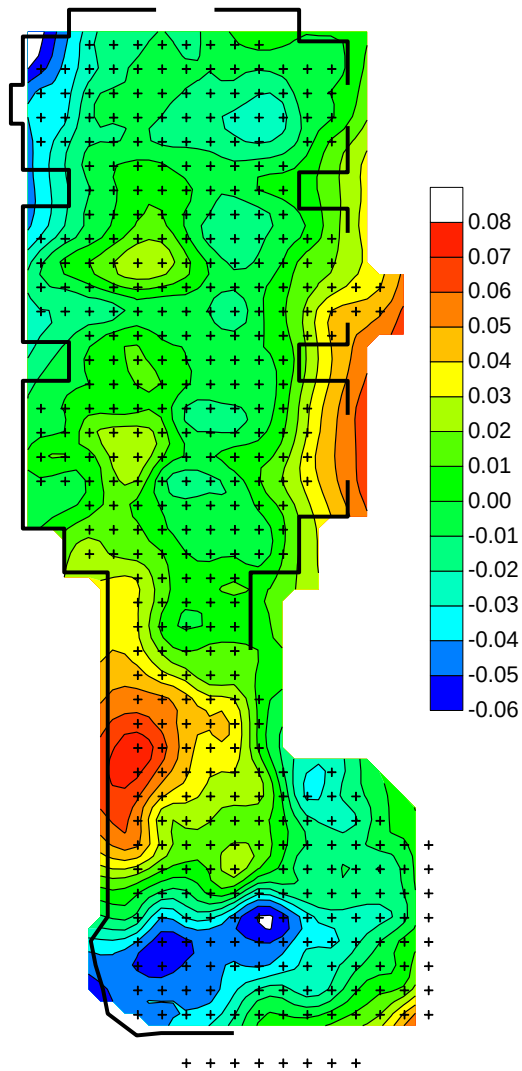
b)



c)

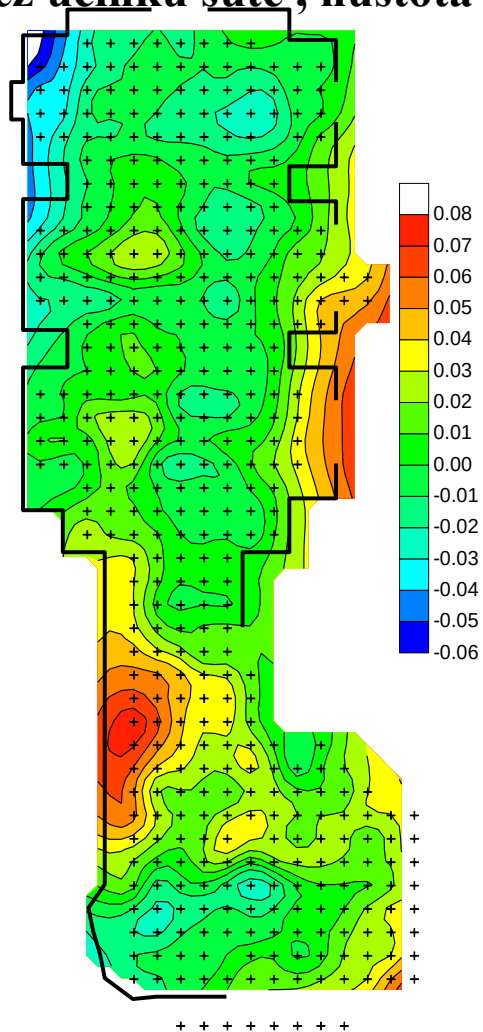
lokalita Katarínka - pokus o čiastočné odkrytie (- účinok sute)

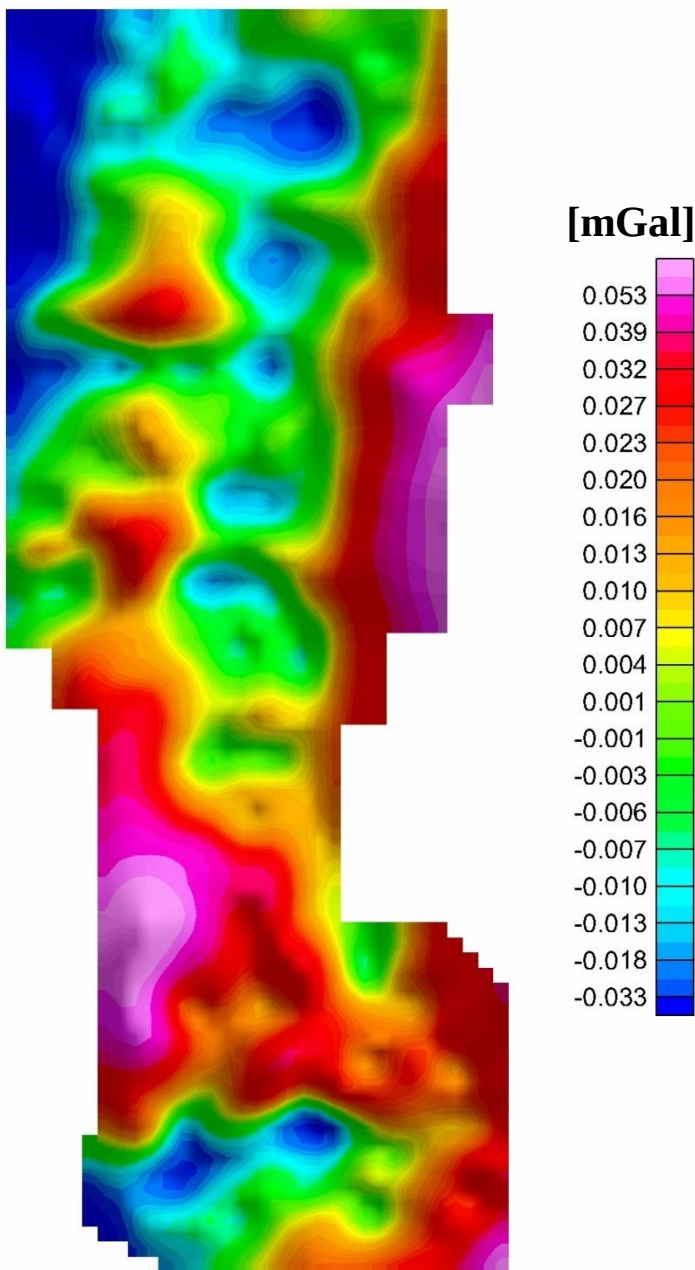
reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}



reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}

bez účinku sute , hustota (-0.6 g.cm^{-3})





**anomálne prejavy krýpt
podľa mikrogravimetrie –
výsledné pole reziduálnych
Bouguerových anomálií**

geoelektrické merania zemskej vodivosti

a) princíp indukčného merania
magnetologickej vodivosti zeme

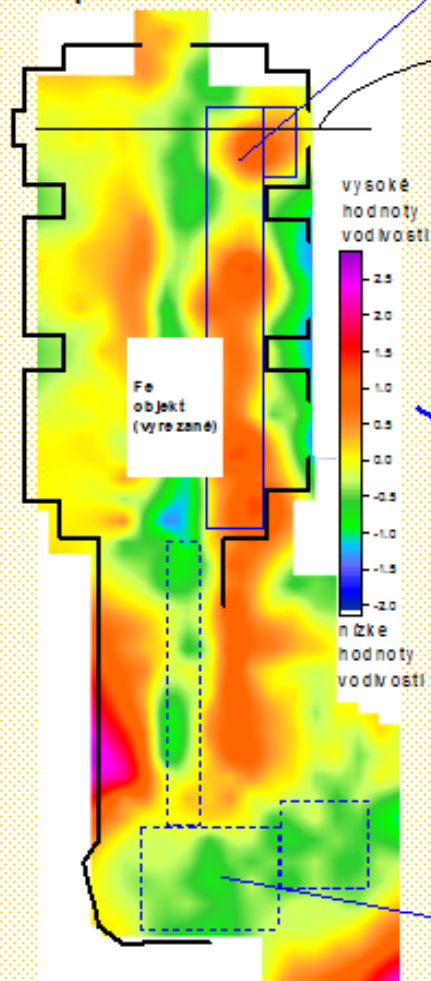


princípy
merania

b) princíp konduktívneho merania
elektrologickej vodivosti zeme

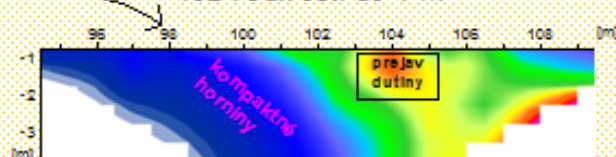


namerané pole vodivosti
stĺpca hornín do 6 m



prejav pásu
vodivého
prejavu krypt

rez vodivosti do 4 m



výsledky merania
vodivosti z oblasti
lože kostola

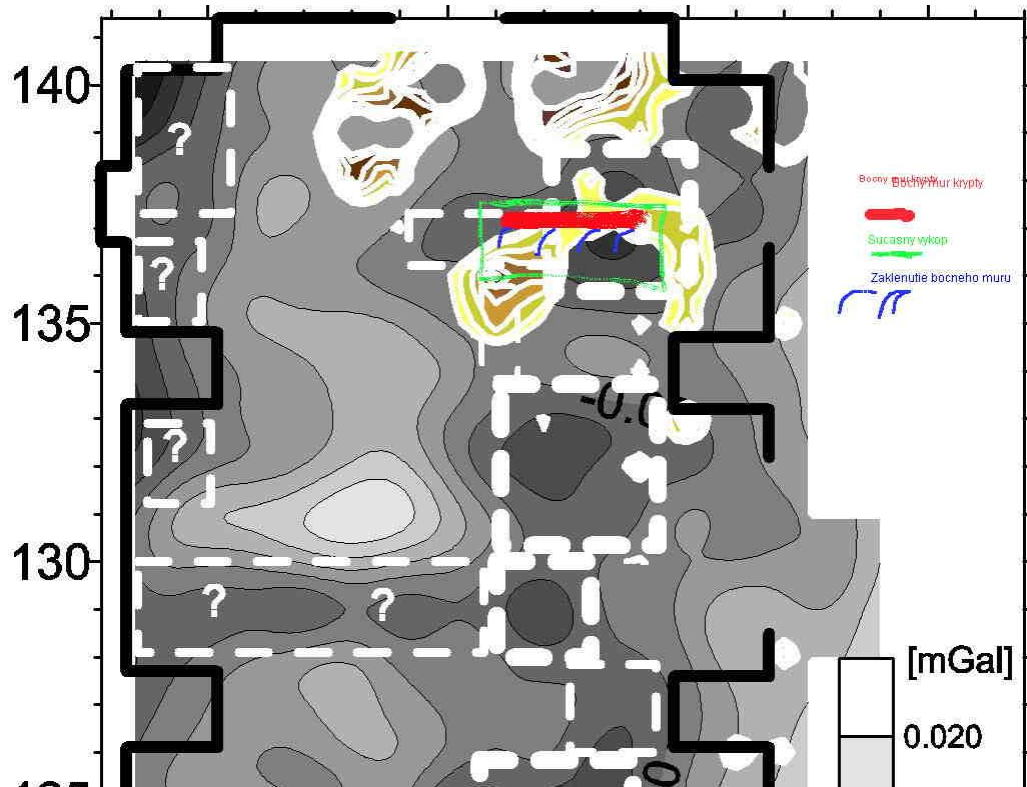


praktické
meranie
v teréne



prejavy výskytu
prítomnosti
nevodivých
dutin (v skale)

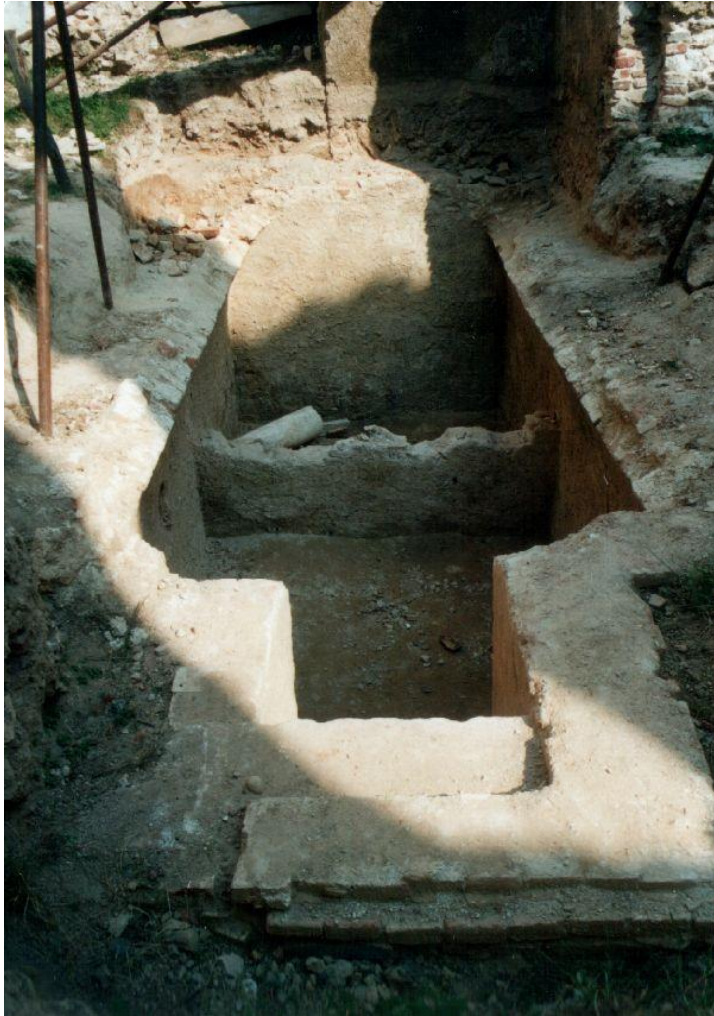
overenie anomálie - leto 2000



pri kopaní sondy sa najprv objavil severný múr a potom neskôr aj južný (klenba bola úplne preborená)



úplné otvorenie krypty - leto 2001



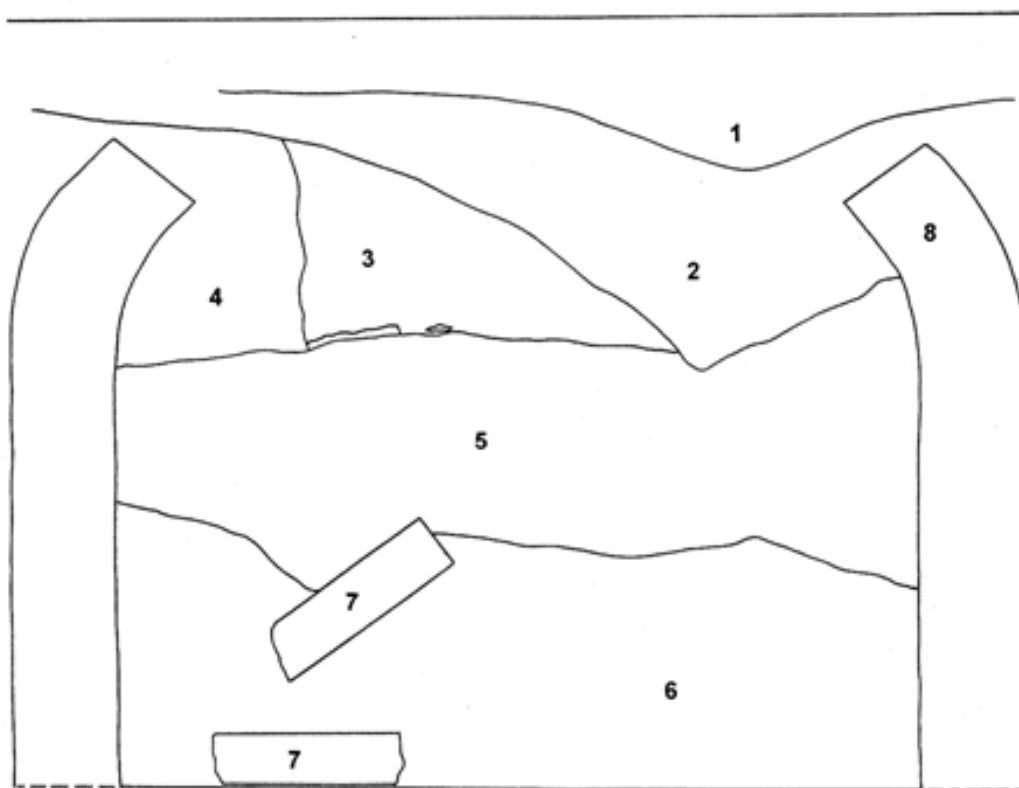
rez kryptou - leto 2001

Dechtice – Sv. Katarína
Zisťovací archeologický výskum
Dátum: 01.07. – 31.08. 2000/2001
Zameral: Urminský
Západoslovenské múzeum Trnava

Kostol sv. Kataríny: Sonda III/2000-2001
Krypta - rez

LEGENDA

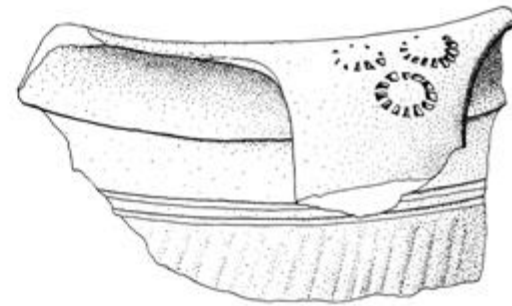
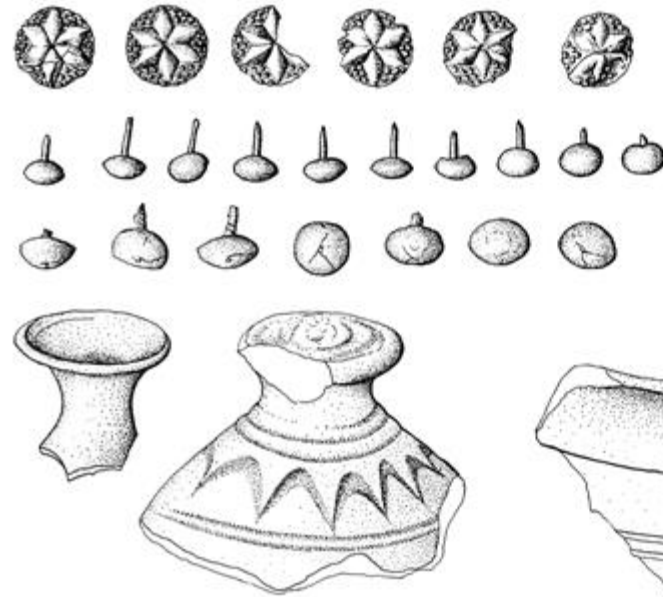
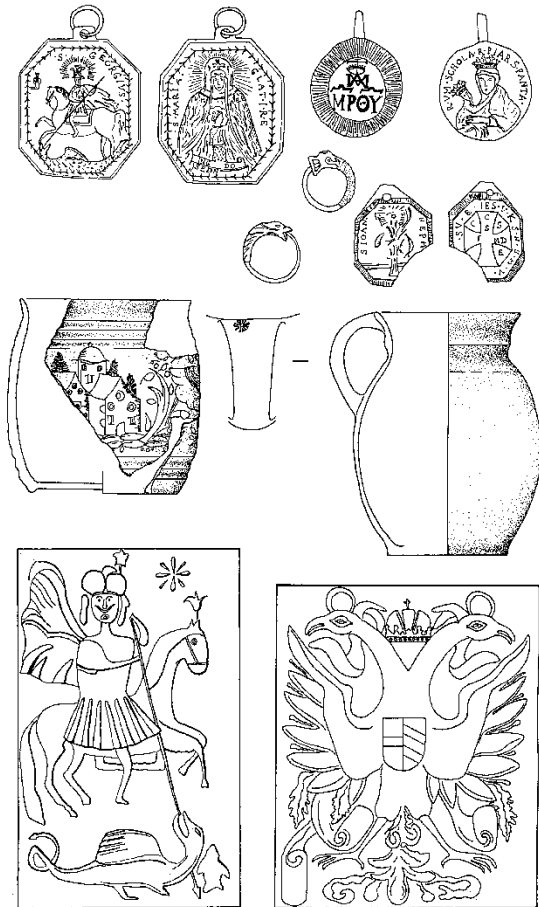
- 1 – Sutina zmiešaná s omietkou a tmavou humóznou vrstvou
- 2 – Zlomky tehál a ľudských kostí premiešané s tmavou humóznou vrstvou
- 3 – Zlomky tehál, strešnej krytiny a sutiny, zvyšky drev z rakiev
- 4 – Tmavý humózný zásyv
- 5 – Sutina, kamene, celé tehly, ojedinelo ľudské kosti
- 6 – Zhluky vzpriemených tehál vytvárajúcich menšie dutiny, sutina, tesne nad úrovňou dna koncentrácia ľudských kostí v sekundárnych polohách, drobné kovové nálezy (ozdoby), klince drevo z rakiev zdobené nitmi
- 7 – Kamenný architektonický článok
- 8 – Obvodové múrivo krypty



0 100
cm

krypta bola kompletne zasypaná – napriek tomu bolo možné ju mikrogravimetricky detekovať (!)

nálezy z krypty - leto 2001

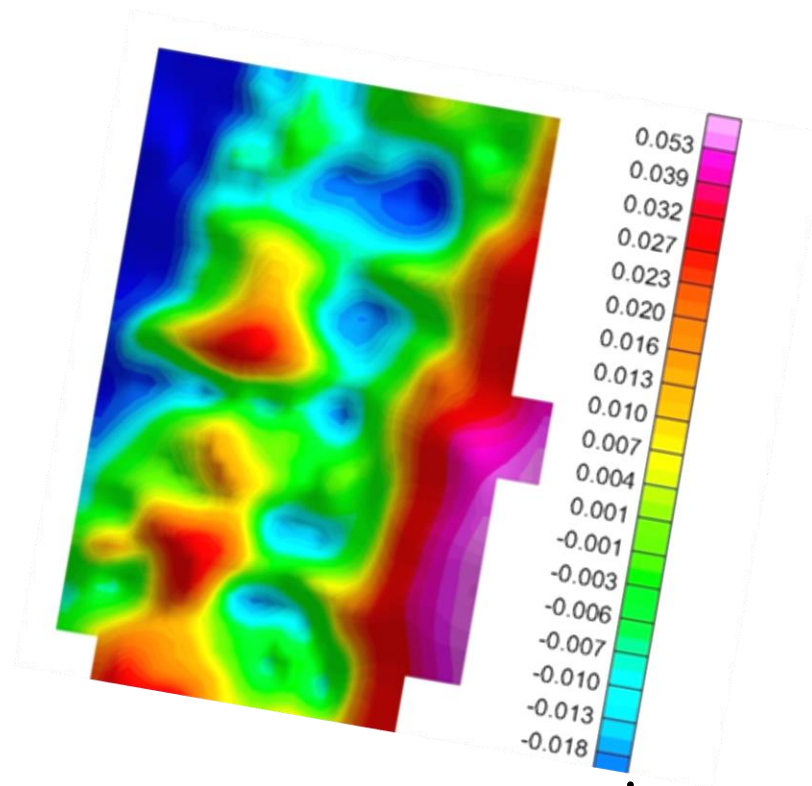
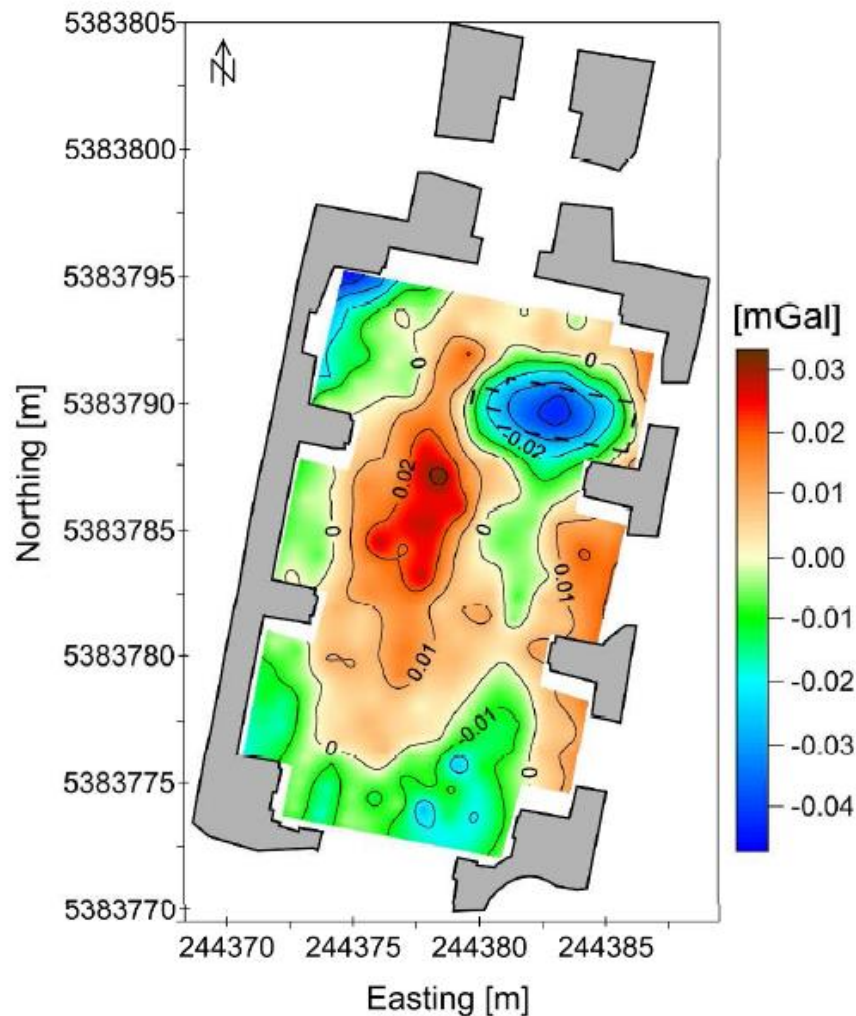


uzavretie krypty - leto 2001



opätovné premeranie v rámci letnej školy archeo-geofyziky v roku 2011

d'alšie krypty boli overené
aj radarom (na budúce ...)



na porovnanie –
- výsledok z 1998

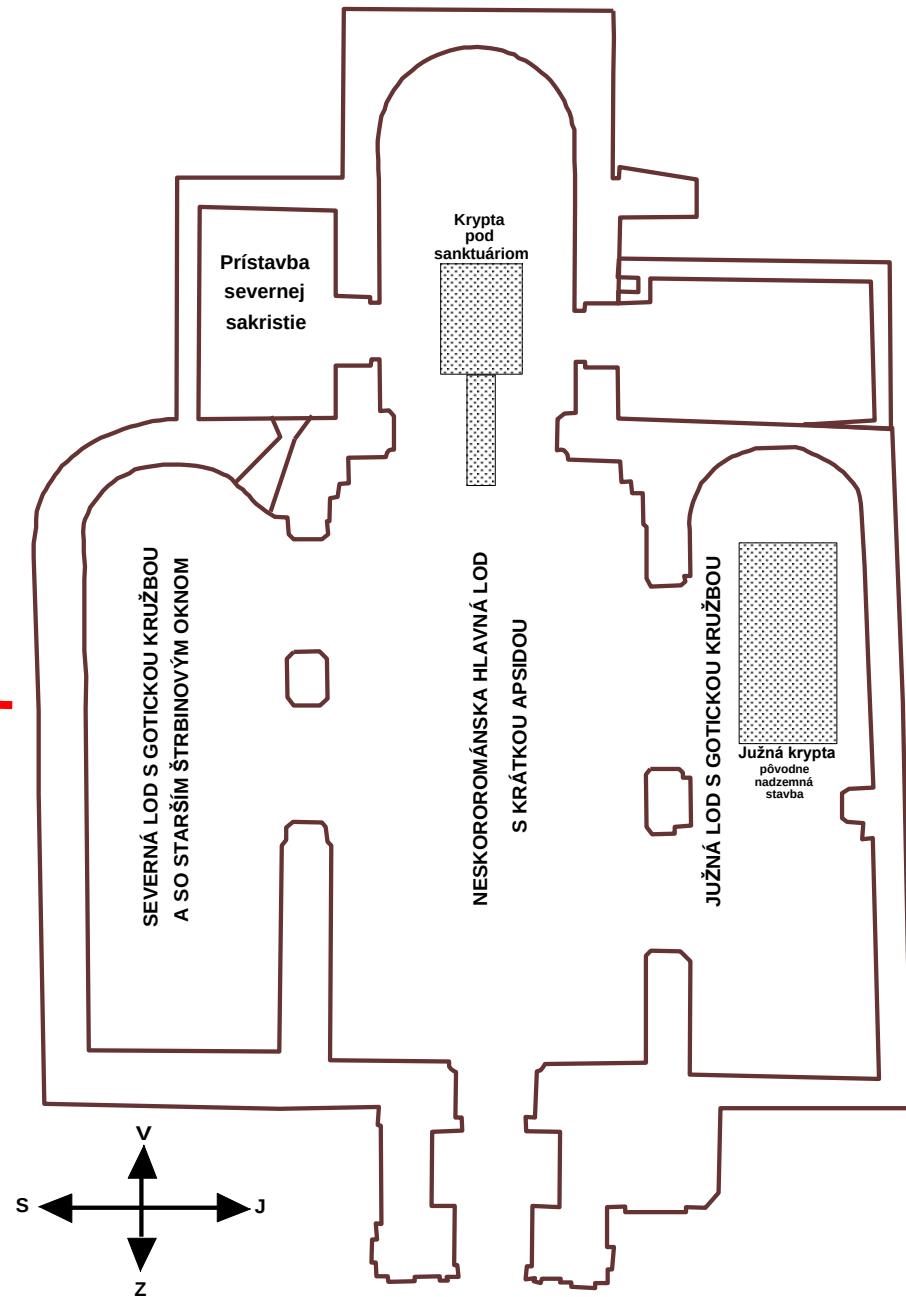
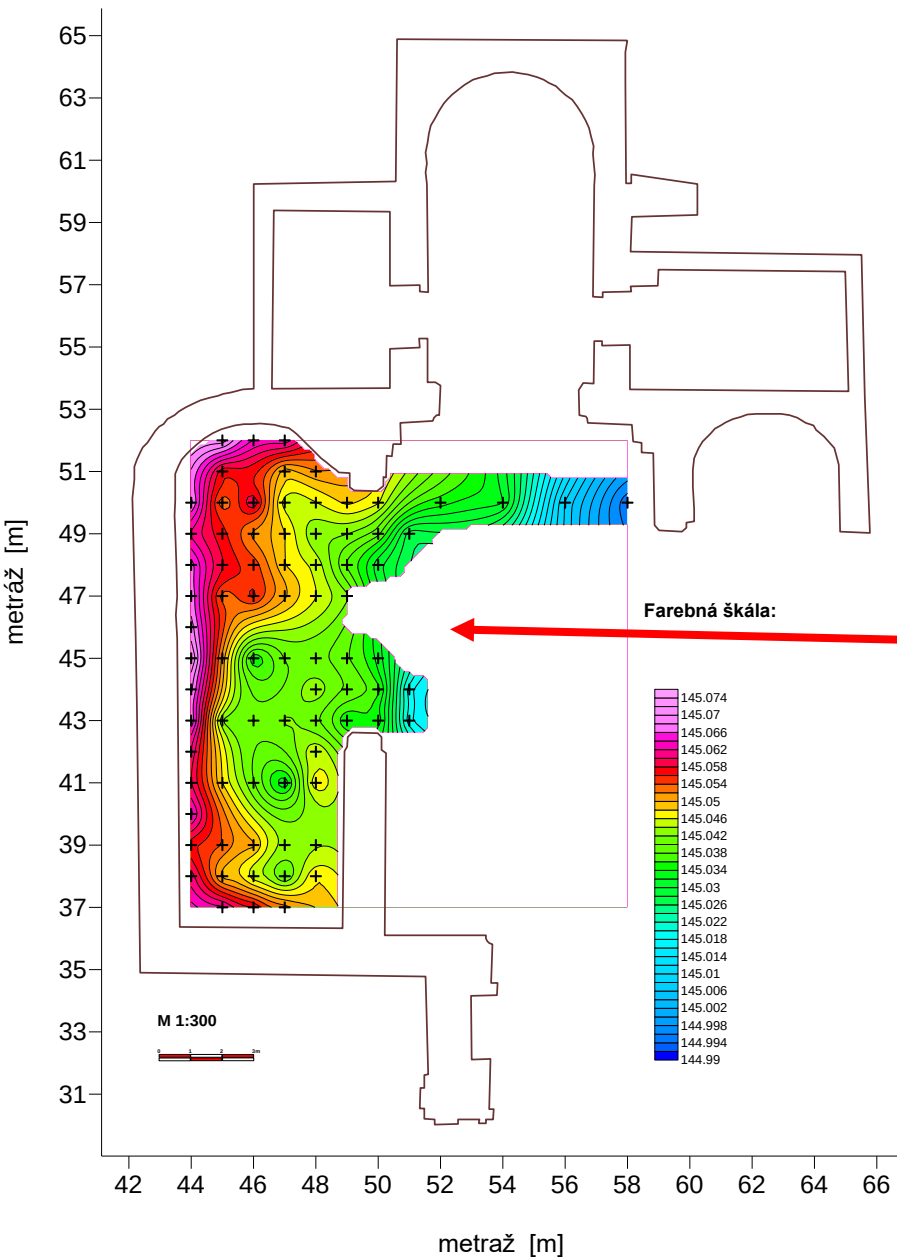
prieskum farského kostola

Najsv. Trojice v Devíne

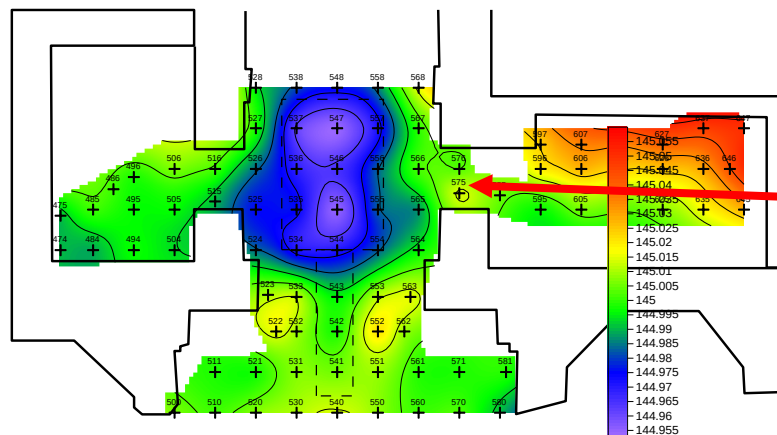


**snahou bolo nájsť dutinu
v priestore pod existujúcou
kryptou (alebo vedľa nej?)**

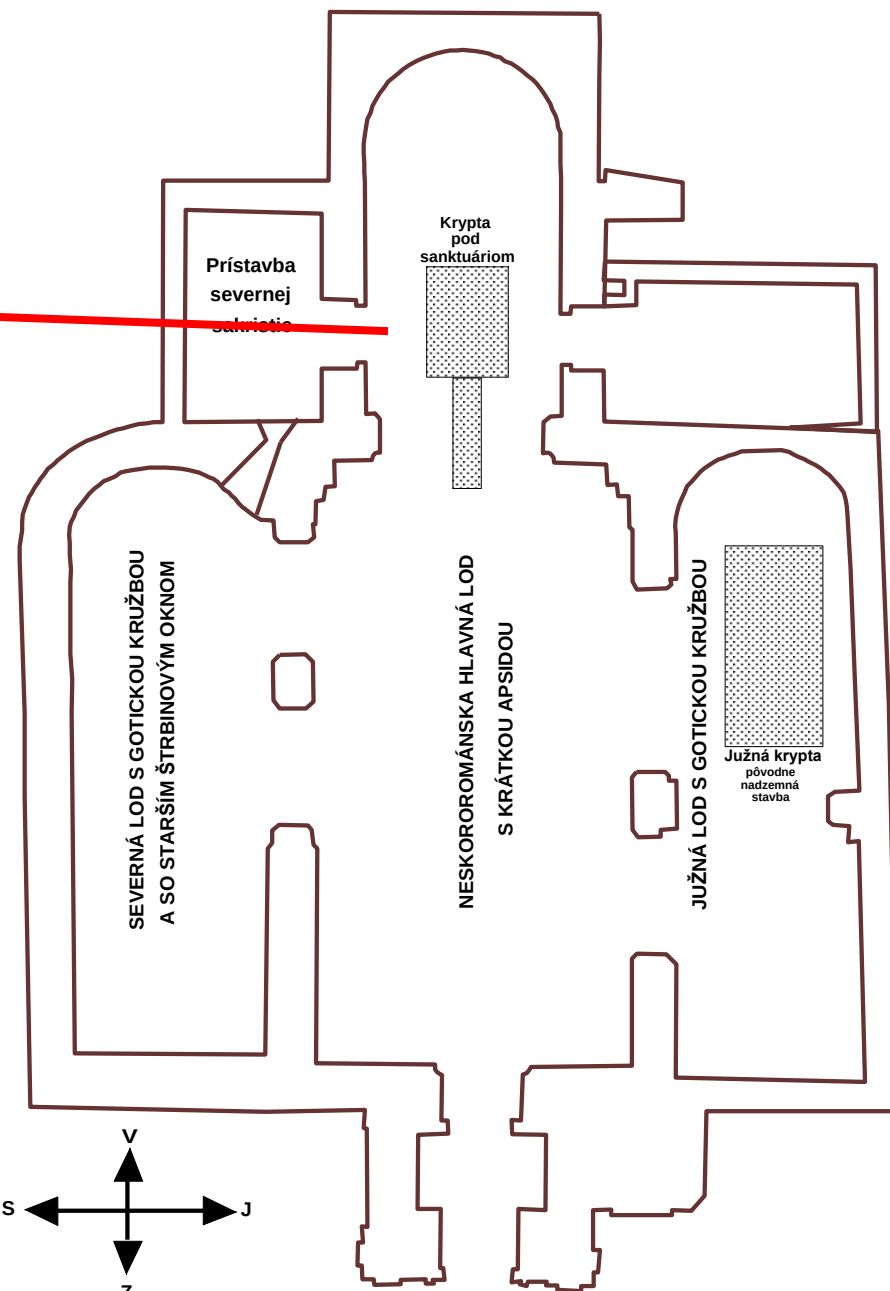
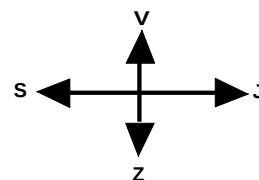
prieskum farského kostola v Devíne



prieskum farského kostola v Devíne

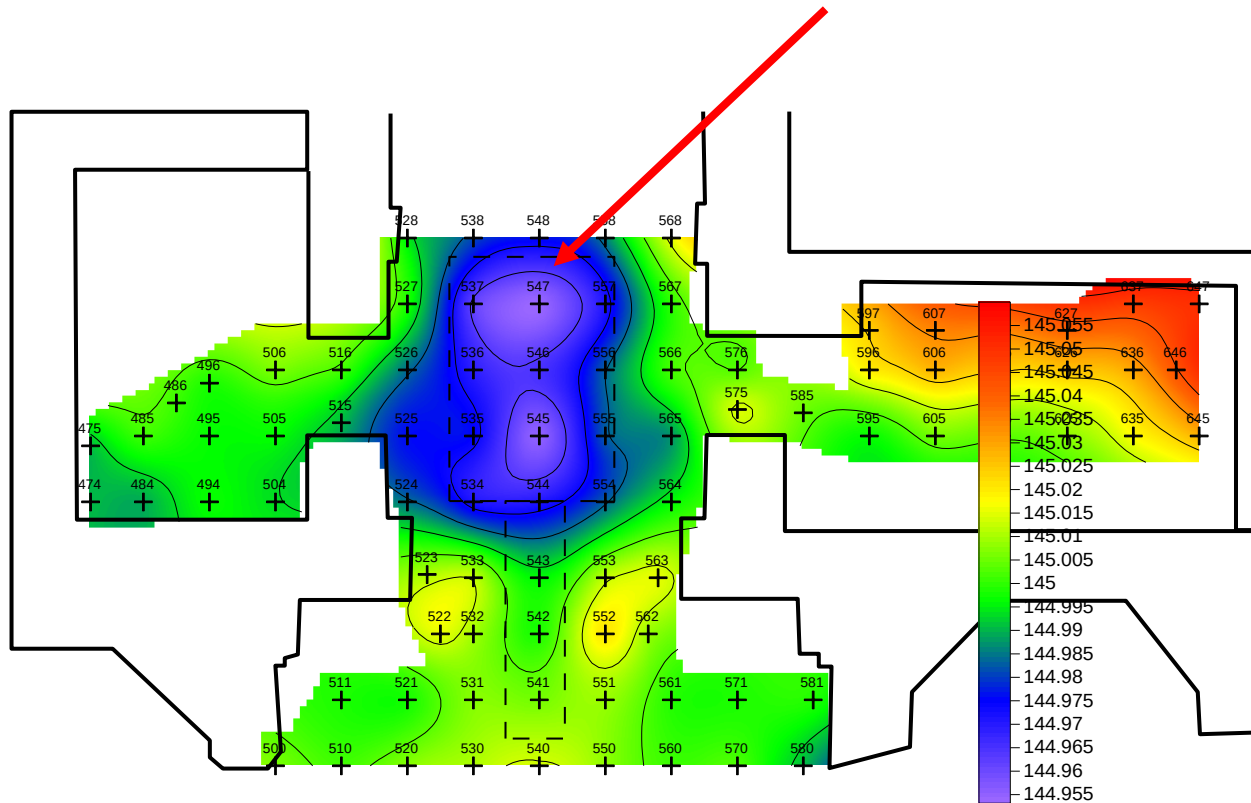


prejav známej krypty



Kostol Najsv. Trojice, Devín

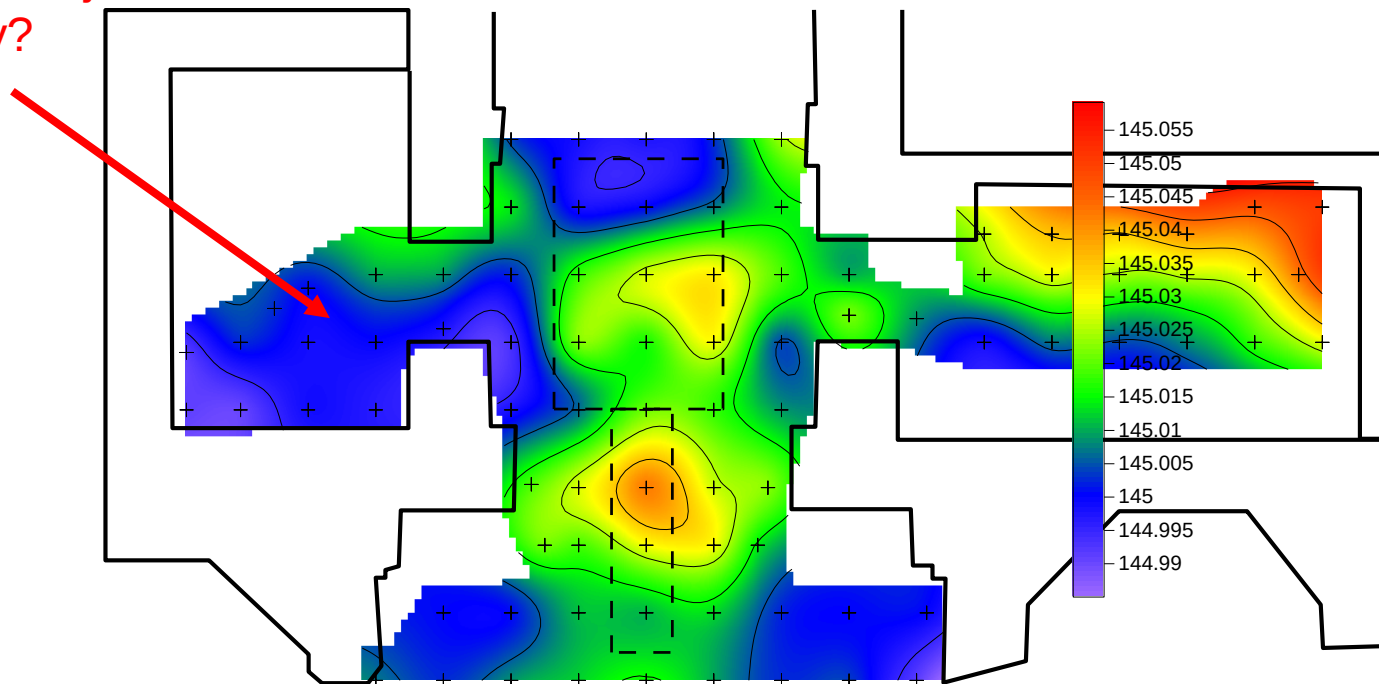
prejav známej krypty



Bouguerove anomálie (so zavedením opráv na účinok múrov) pre $\sigma = 2.0 \text{ g.cm}^{-3}$

Kostol Najsv. Trojice, Devín

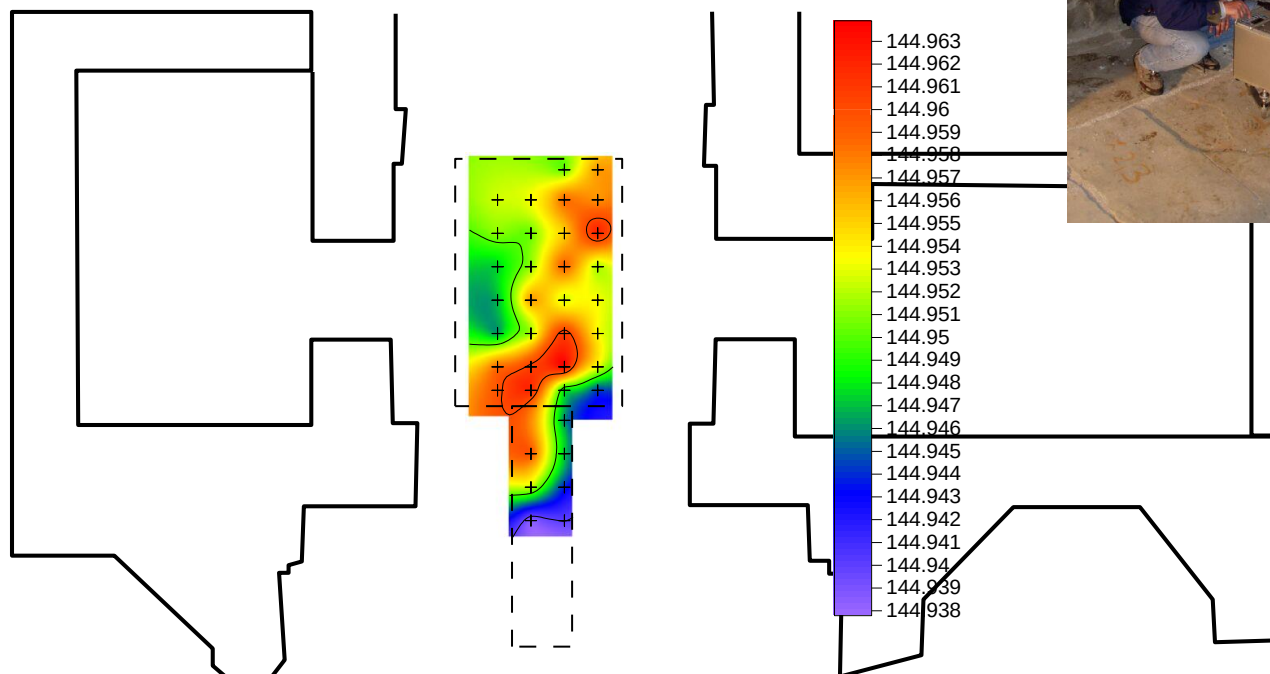
prejav
zasypanej
krypty?



odkryté Bouguerove anomálie (odstránený účinok krypty)

Kostol Najsv. Trojice, Devín

merania dnu v krypte

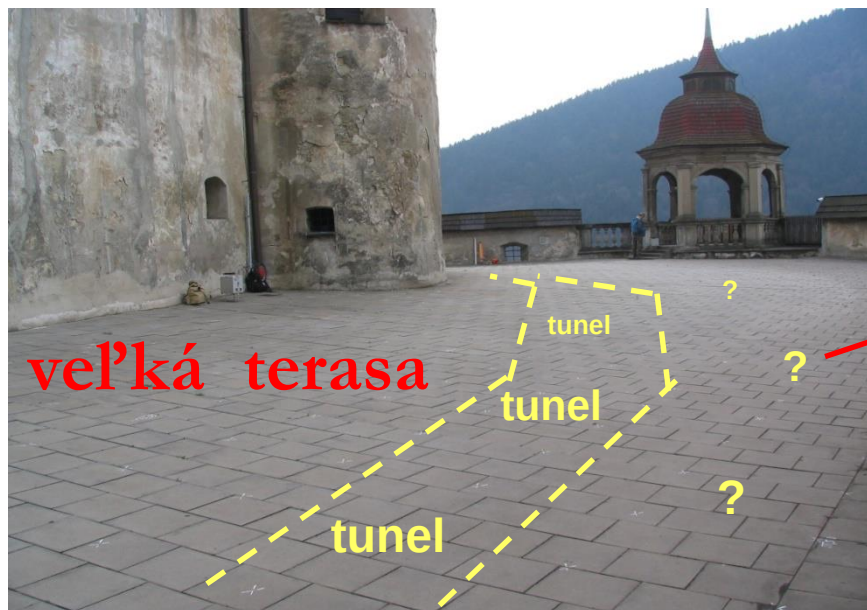


prieskum nepotvrdil prítomnosť dutiny pod existujúcou kryptou,
anomálna zóna v ľavej časti bola spôsobená vrstvami
ľahkých pieskov (overené ručne vŕtanými sondami)

mikrogravimetrický prieskum
veľkej terasy Oravského zámku (2005)



študovaná lokalita – veľká terasa Oravského zámku



veľká terasa

tunel

tunel

tunel



cieľom prieskumu
bolo nájsť možné
prejavy existencie
tzv. kazemát
(spojovacích chodieb
medzi tunelom a
opevnením)

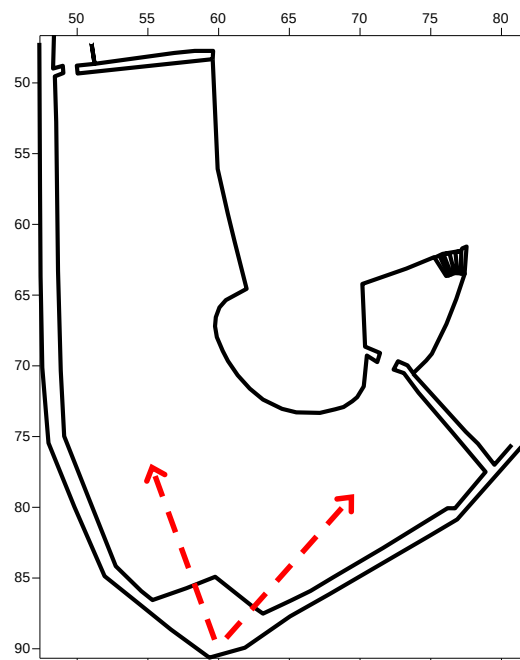
pohľad od
prístupovej
cesty na
zámok



pohľad od altánku
(glorietu) smerom k
prístupovej ceste na
zámok

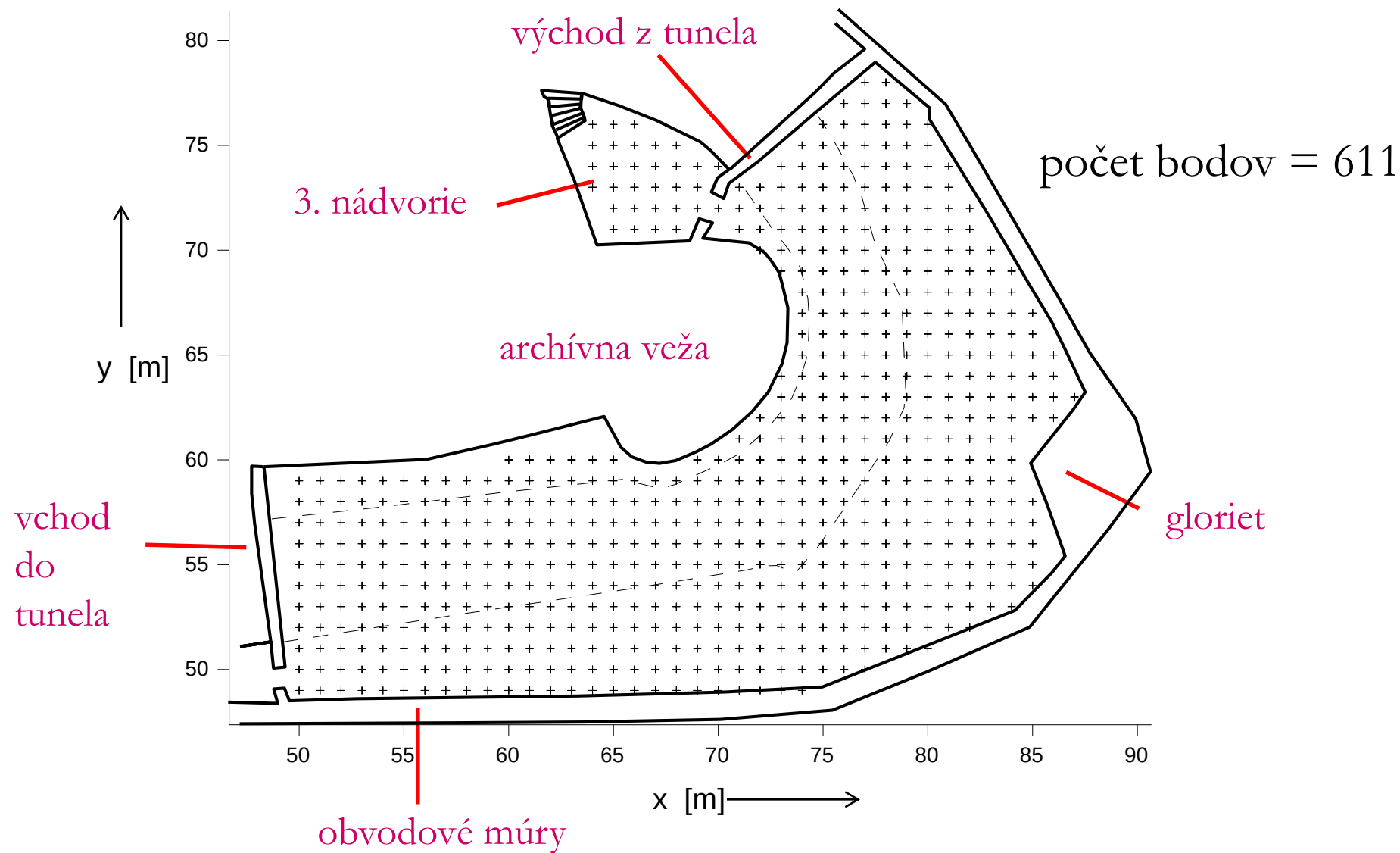


pohľad od altánku
(glorietu) smerom k
tretiemu nádvoriu



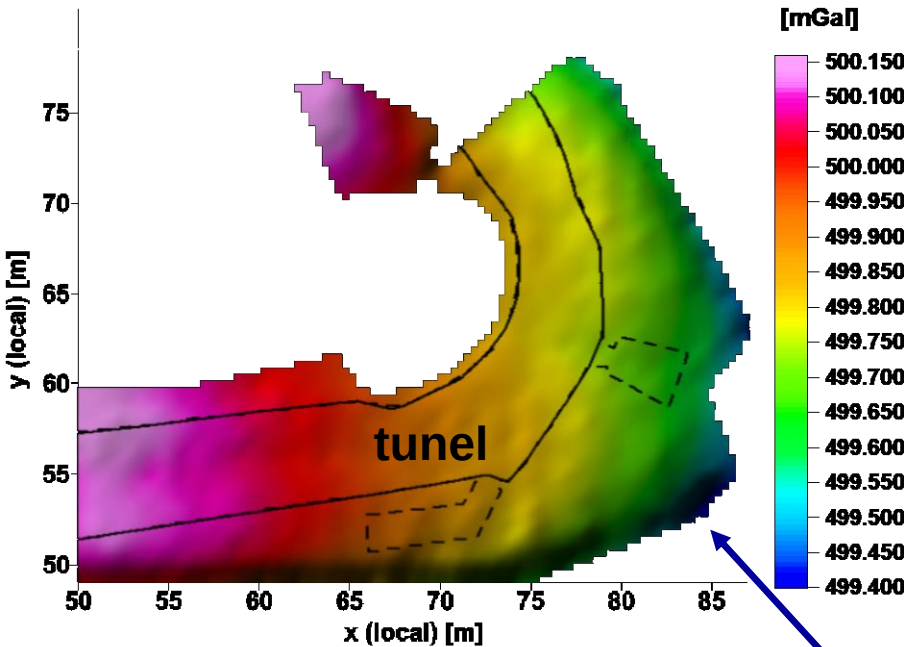
- vymedzenie a vytýčenie meraného územia

siet' bodov 1 x 1 m v lokálnych súradniciach

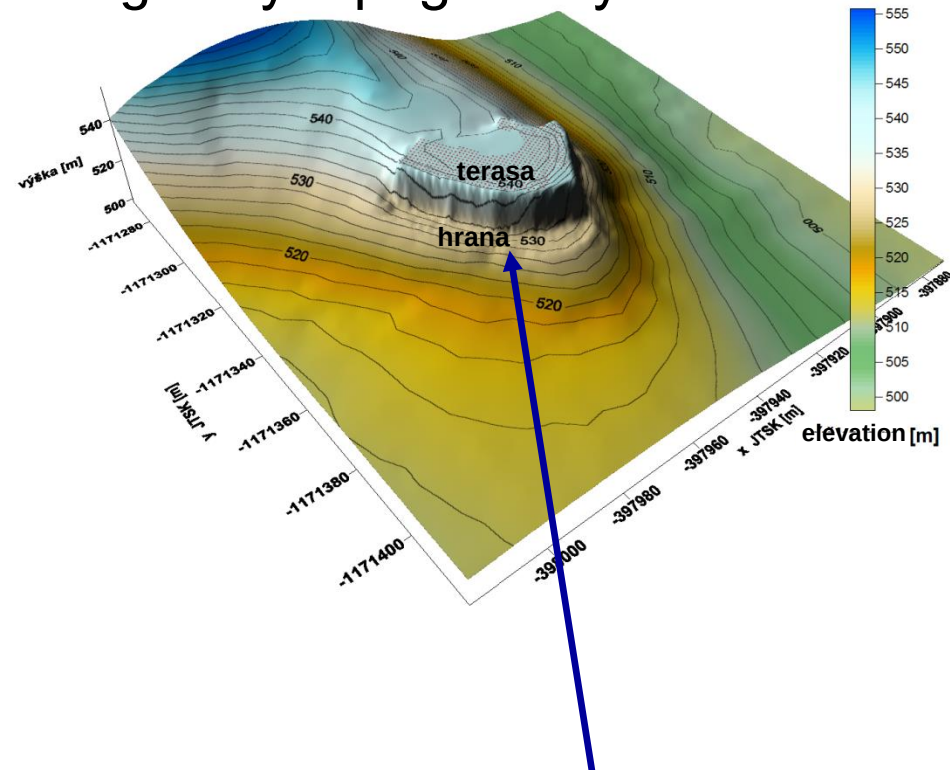


priebeh meraného “g”

merané g

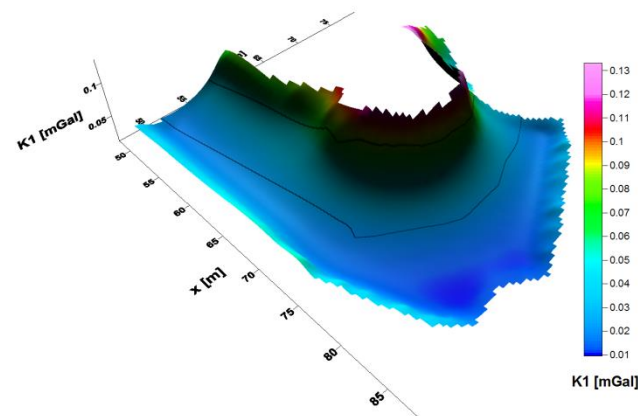
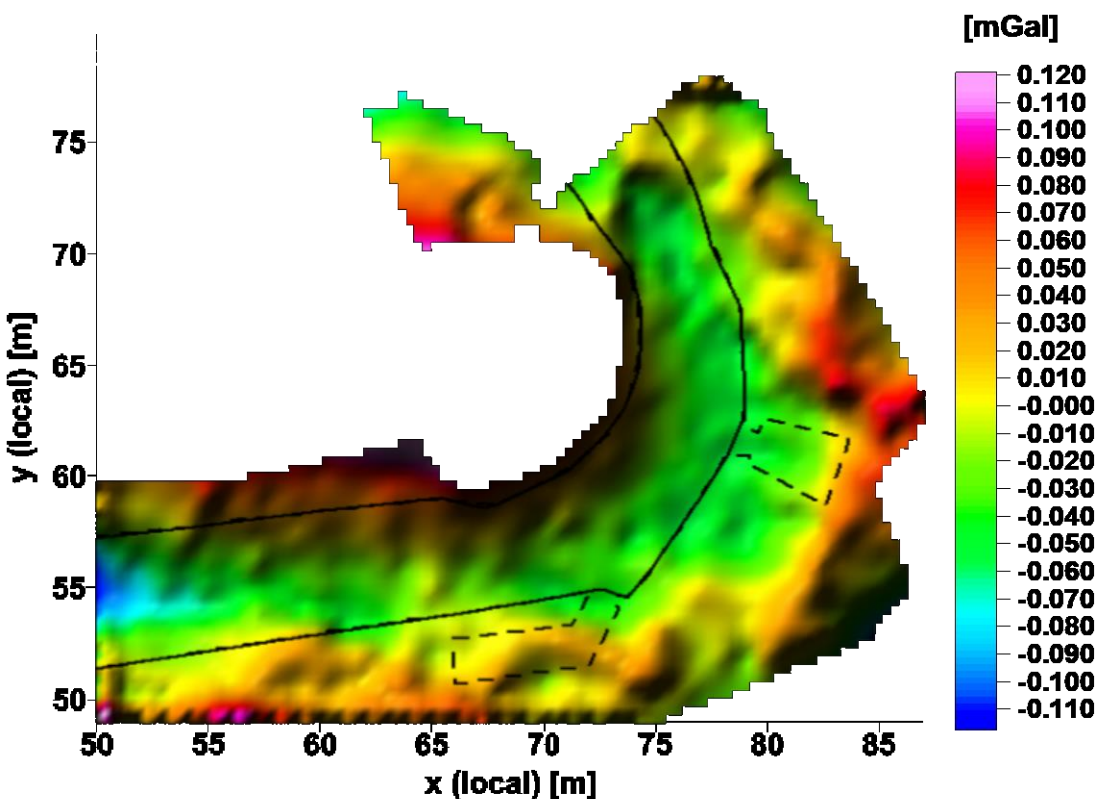


digitálny topografický model



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

mapa úplných Bouguerových anomálií



gravitačný efekt múrov



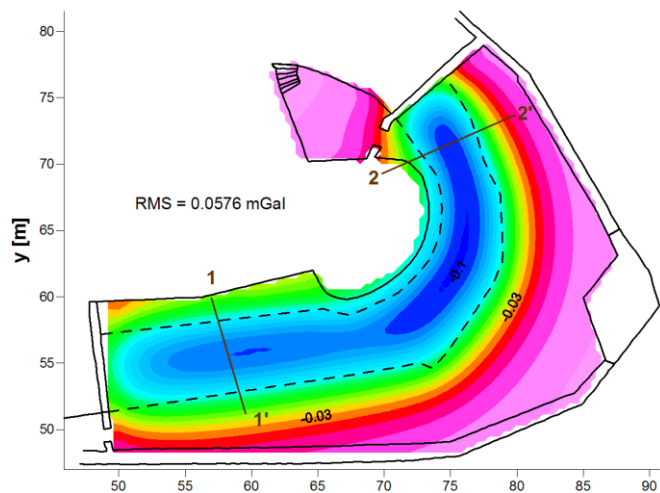
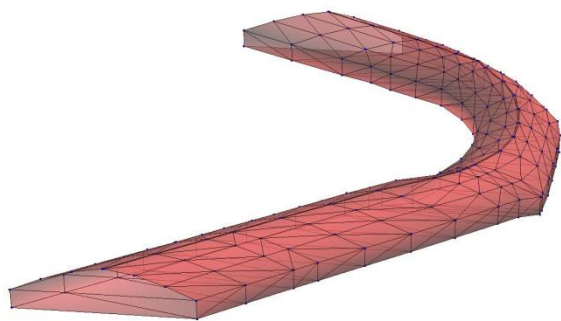
model múrov

až po aplikovaní všetkých korekcií
(aj opravy o gravit. účinkov múrov)
sa v mape úplných Bouguerových
anomálií prejaví prítomnosť tunelu
a ostatných hustotných nehomogenít

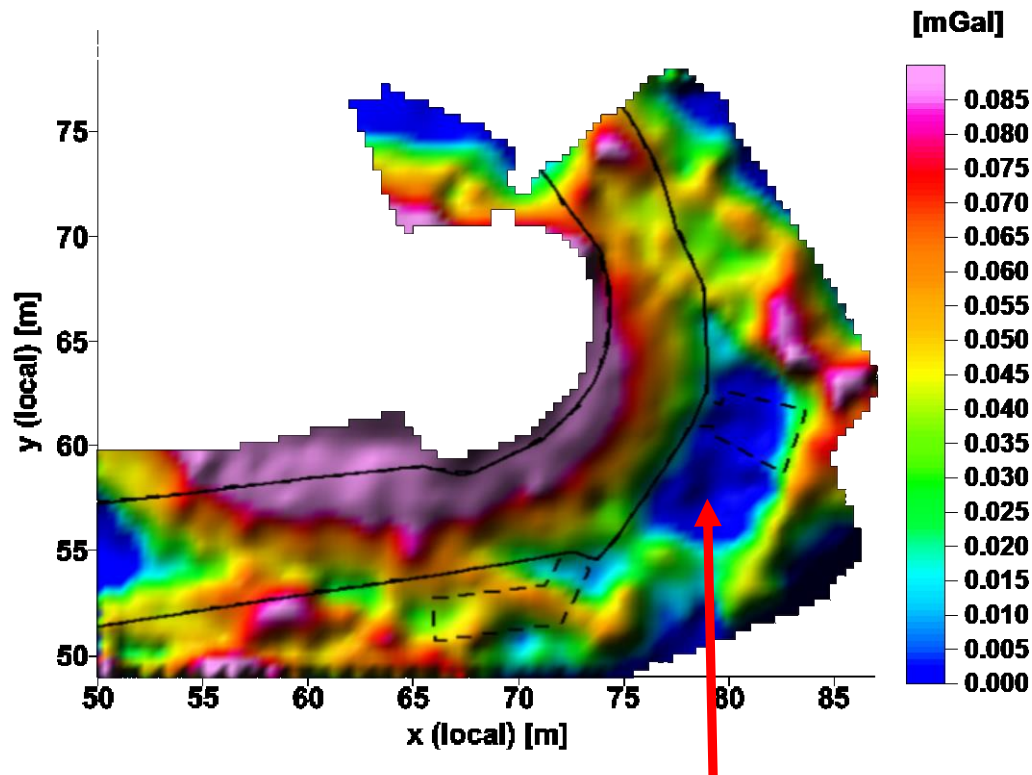
výsledky – Oravský zámok, veľká terasa

**finálny výsledok:
tzv. “odkryté” Boguerove anomálie
(odstránený prejav tunelu)**

3D model tunelu

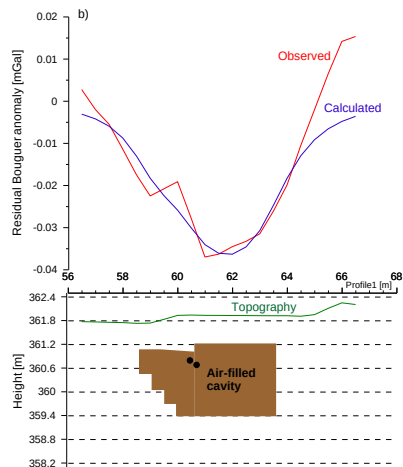
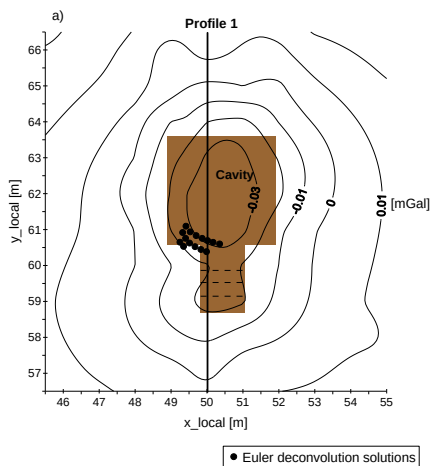


gravitačný efekt tunelu

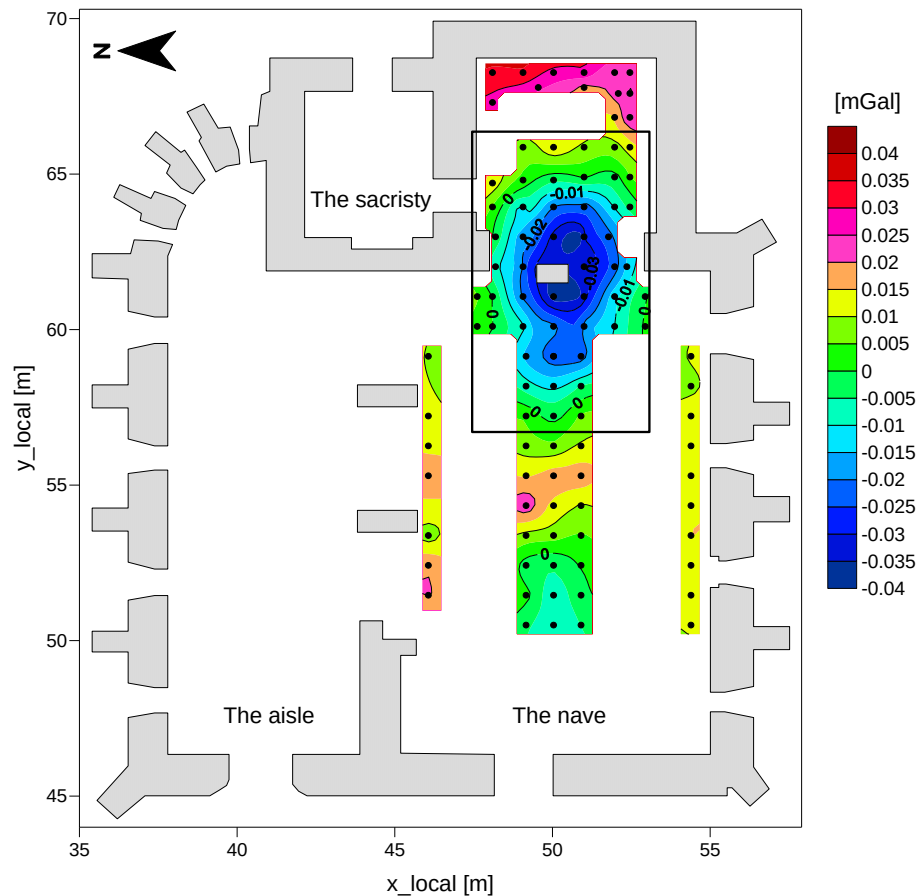


dôležitá anomálna oblasť –
prejav časti kazemát?

výsledky mikrogravimetrického prieskumu kostola Sv. Mikuláša v Pukanci (2008)



výsledky
Počítačového
modelovania

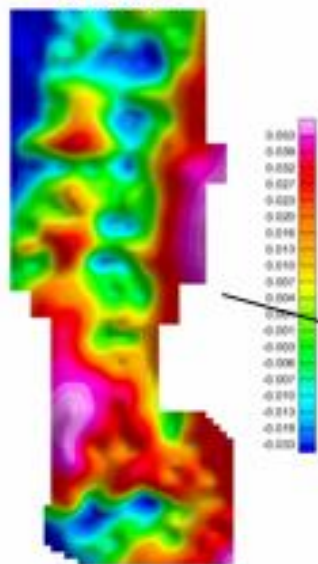


úplná Bouguerova anomália
(s opravami na účinky múrov)

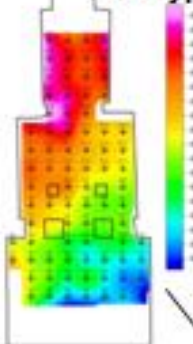
**anomália nebola
zatiaľ overovaná**

príkladové štúdie (mikrogravimetria) SR

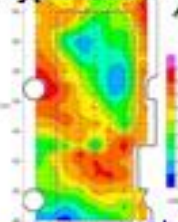
1998,
4 crypts detected,
1 found



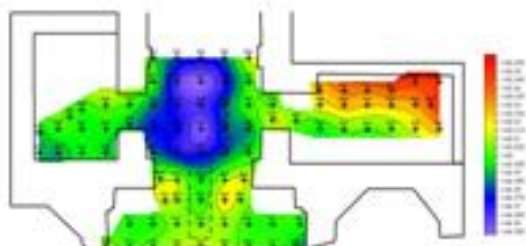
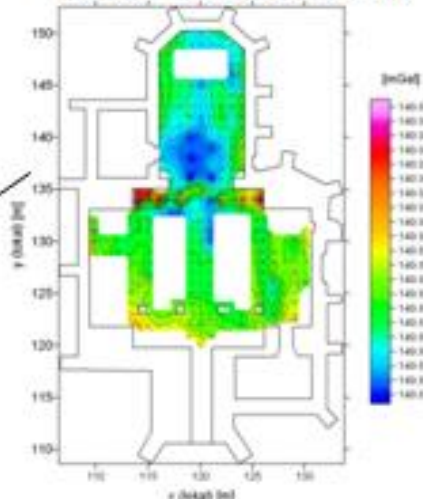
2001,
no crypts found



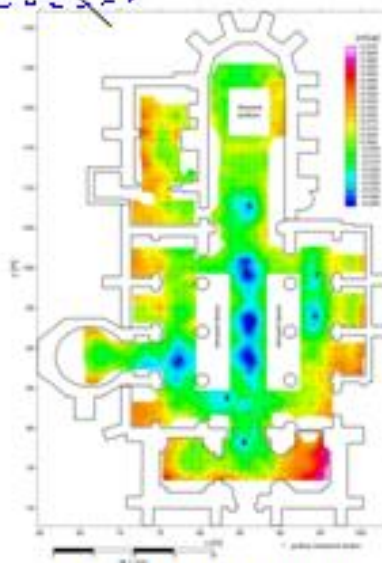
2011,
2 crypts found



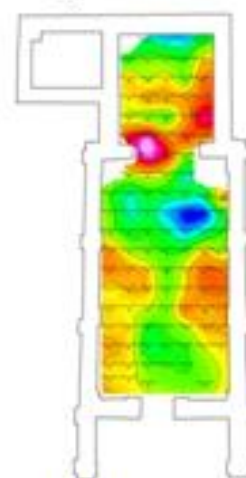
2006, pitfall!
(filled sink instead of a crypt)



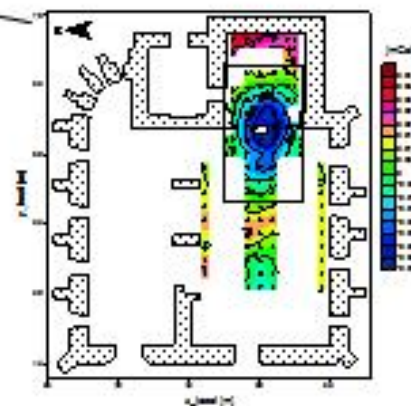
2002,
test site – known
crypt detected



2006, 8 crypts found



2009,
2 crypts detected
(should be verified)

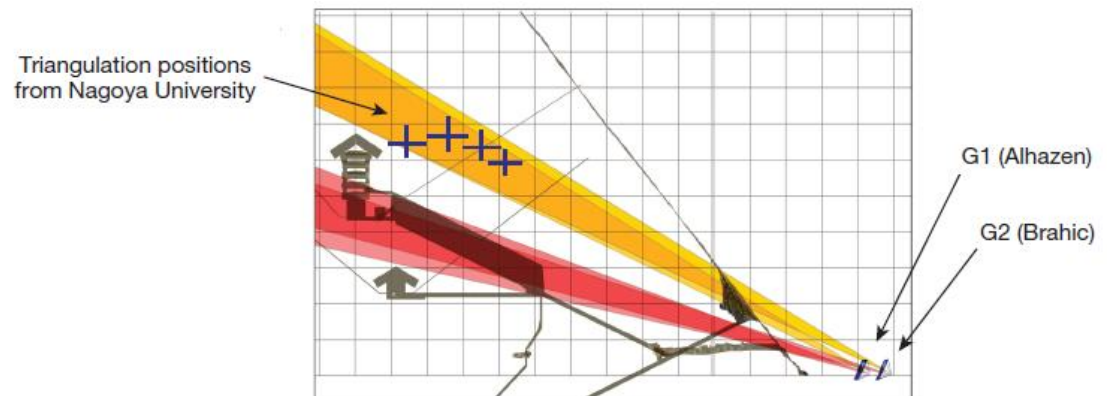
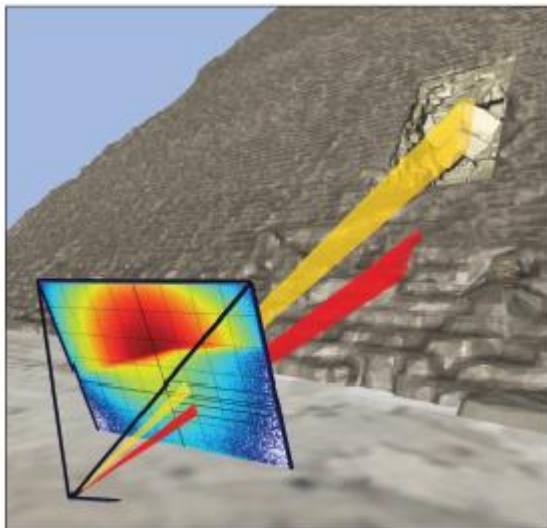
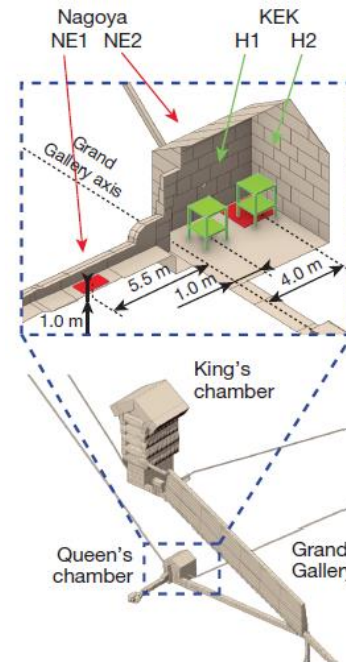


2008,
1 crypt detected
(should be verified)

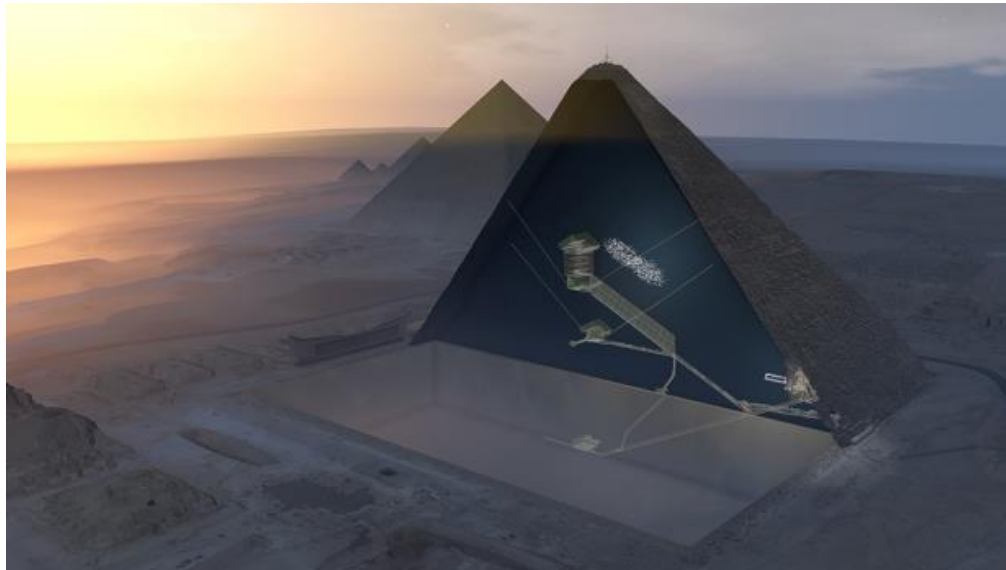
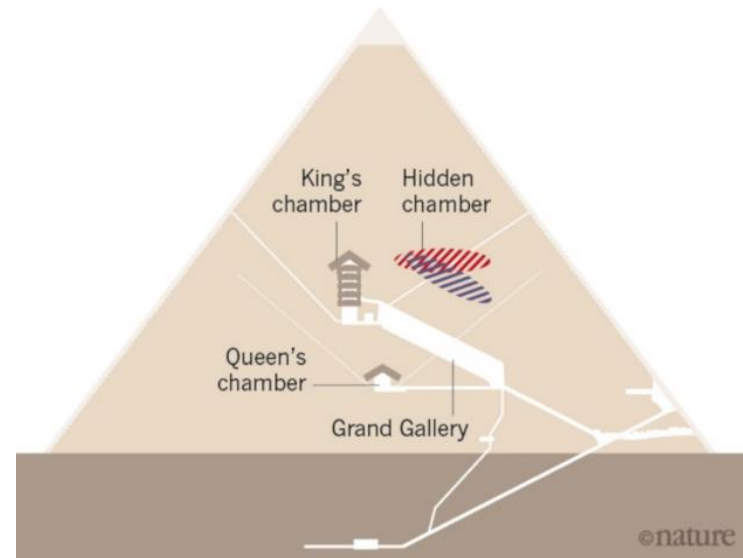
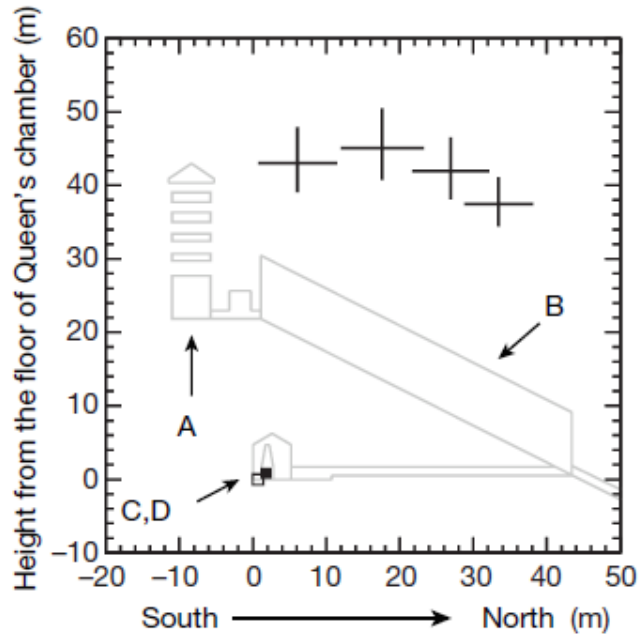
Príkladové štúdie (case-studies)
z oblasti archeo-geofyziky (mikrogravimetria)
ZÁVERY

- mikrogravimetria sa používa najmä na vyhľadávanie dutín (krypty, pivnice, väčšie hrobky, jaskyne, chodby, tunely, ...)
- veľkosť detekovaných dutín: objemy rádovo desiatky m³
- dôraz na presné merania a zameranie polôh bodov
- veľmi dôležité sú opravy o účinky múrov
- najlepšie je mikrogravimetriu kombinovať s georadarom (niekedy môžu byť interpretované aj iné ľahké objekty [zasypané jamy , pieskové duny, atď'.] nesprávne ako dutiny)

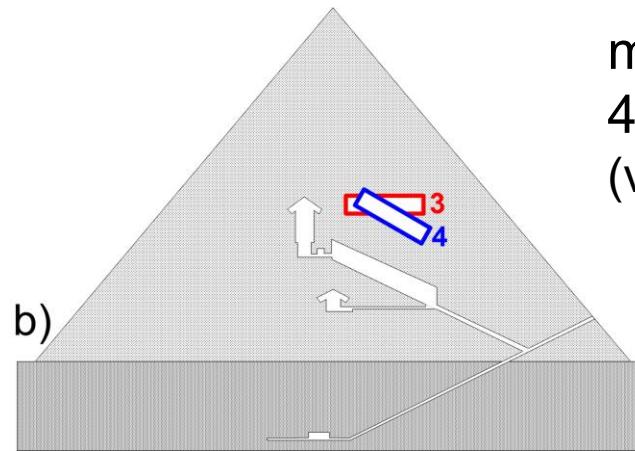
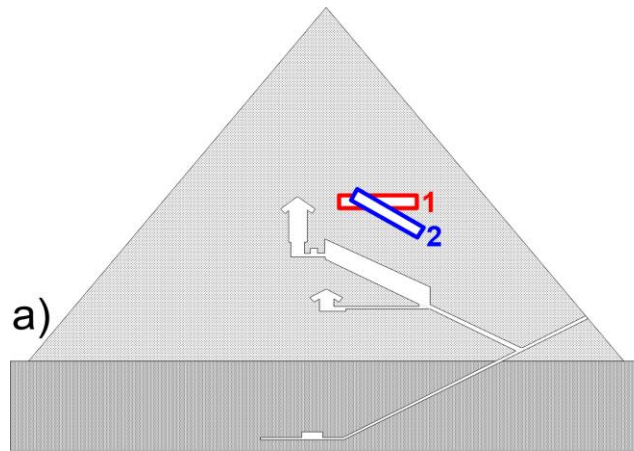
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



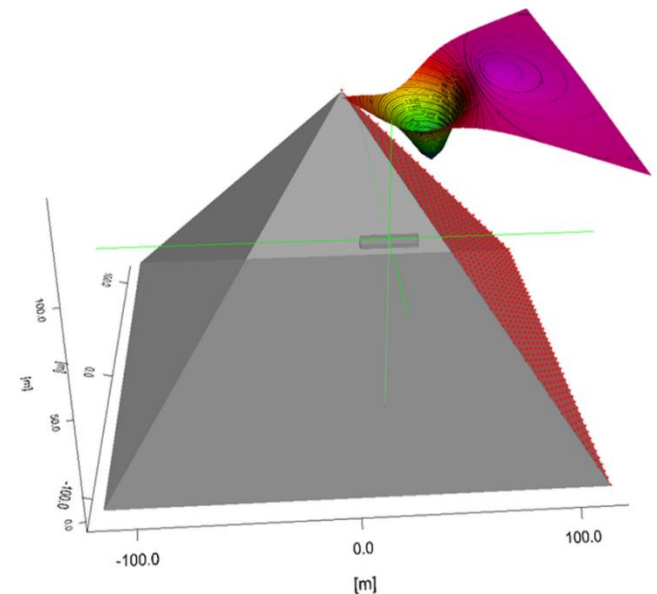
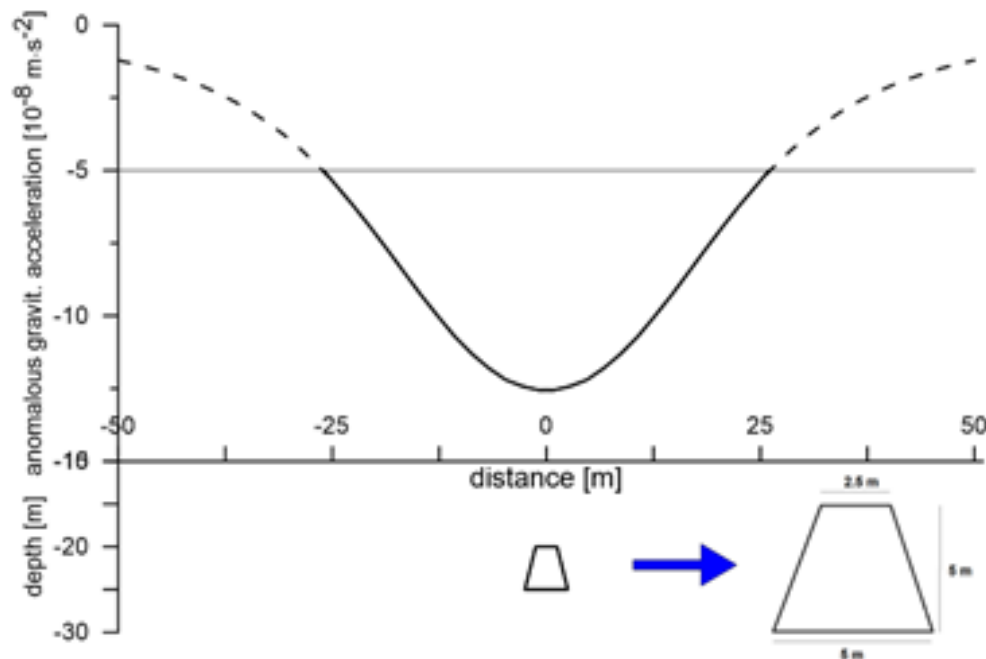
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void)
v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



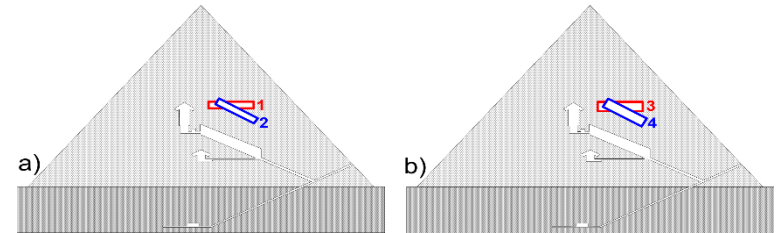
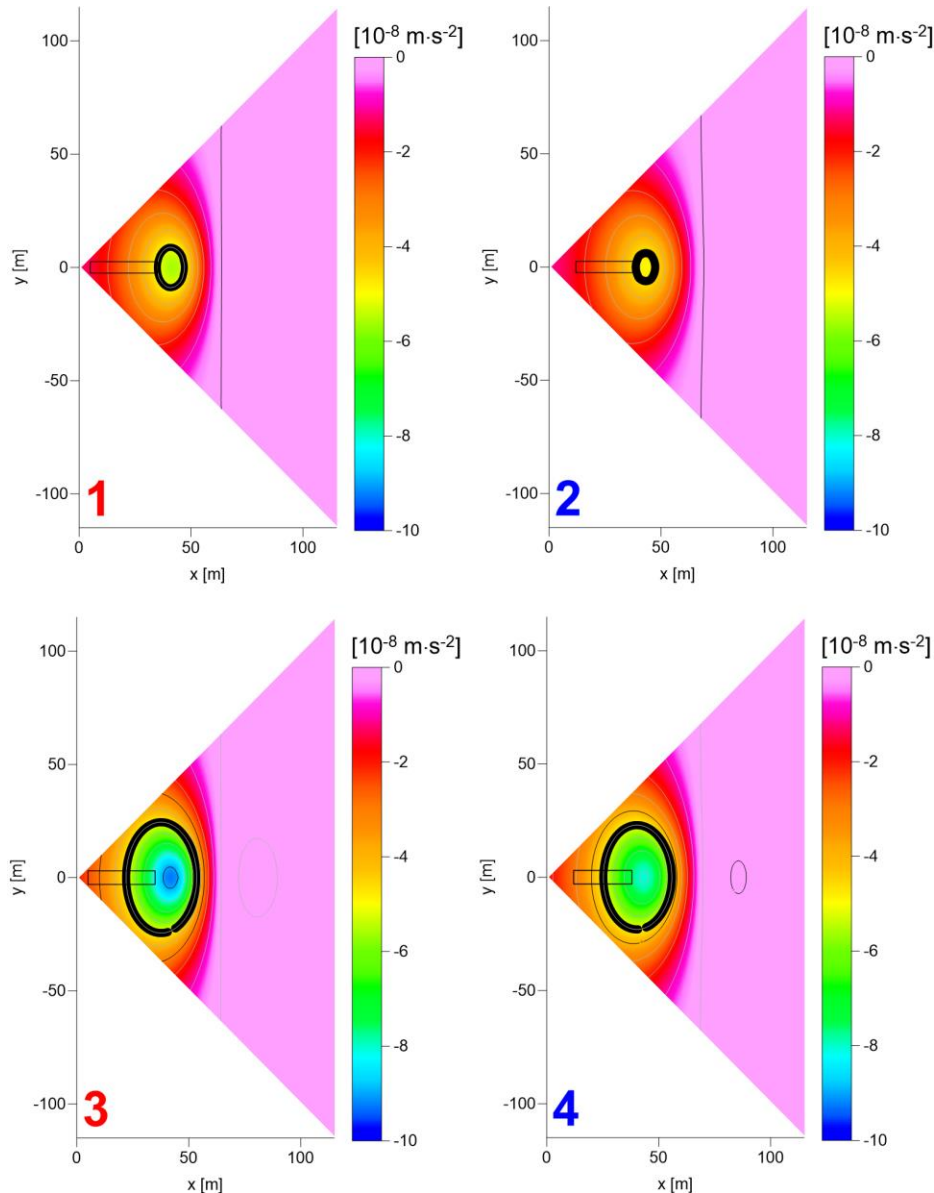
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void)
v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



modelované
4 scenáre
(výška 5 a 7 m)



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



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

