

PRÍKLADY POUŽITIA MIKROGRAVIMETRIE V ARCHEOLÓGII – DETEKCIA DUTÍN

- stručne z histórie z mikrogravimetrii v archeológii**
- prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove**
- kostol a kláštor Katarínka, JZ Slovensko**
- kostol sv. Kataríny, Banská Štiavnica**
- Dóm sv. Martina, Bratislava**
- veľká terasa, Oravský hrad**
- prieskum Cheopsovej piramídy**

Prvý pokus aplikovania veľmi presných gravimetrických meraní pri detekcii dutín: Linington (1966)

1280/42
Prospezioni archeologiche
1/1966

R. E. LININGTON

Test use of a gravimeter on etruscan chamber tombs at Cerveteri

1 Introduction

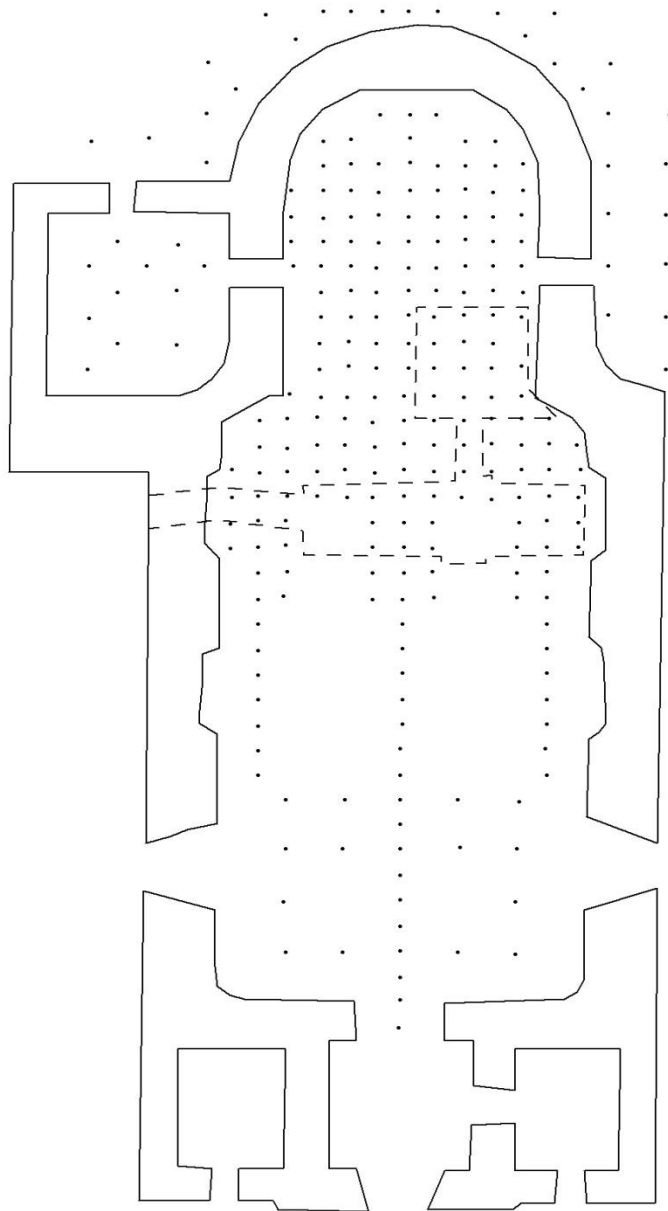
It has been assumed that gravity methods are of little use for archaeological prospecting. The high cost and delicate nature of present instruments coupled with a slow speed of operation seem to bear out this conclusion, whilst the extremely small size of the anomalies produced by archaeological features suggest that the method may well be impractical. However, even so, it was thought that for a few special problems, such as that of chamber tombs the method

negatívny výsledok...

Ďalšie príspevky a pokusy:

- Fajklewicz, 1964–2000
(hlavne prieskum prepádov od starých banských diel)
- Neumann, 1972–1979 (všeobecne – detekcia dutín)
- Omnes, 1976–1977 (antropogénne dutiny, jaskyne)
- Styles, Cuss, 1980-2020 (rôzne typy aplikácií)
- československá škola (Blížkovský a ďalší)
- pokračovanie v súčasnosti u nás

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



860

M. BLÍŽKOVSKÝ

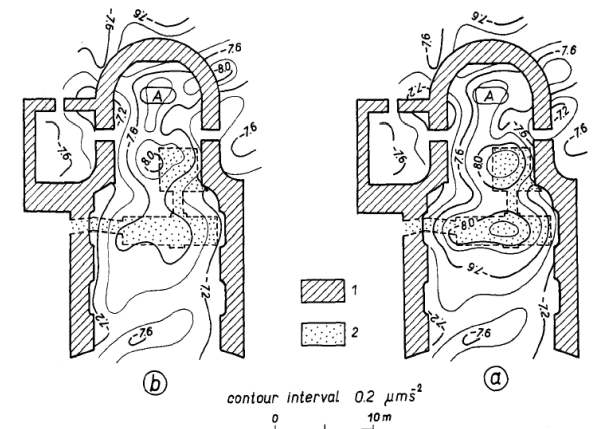
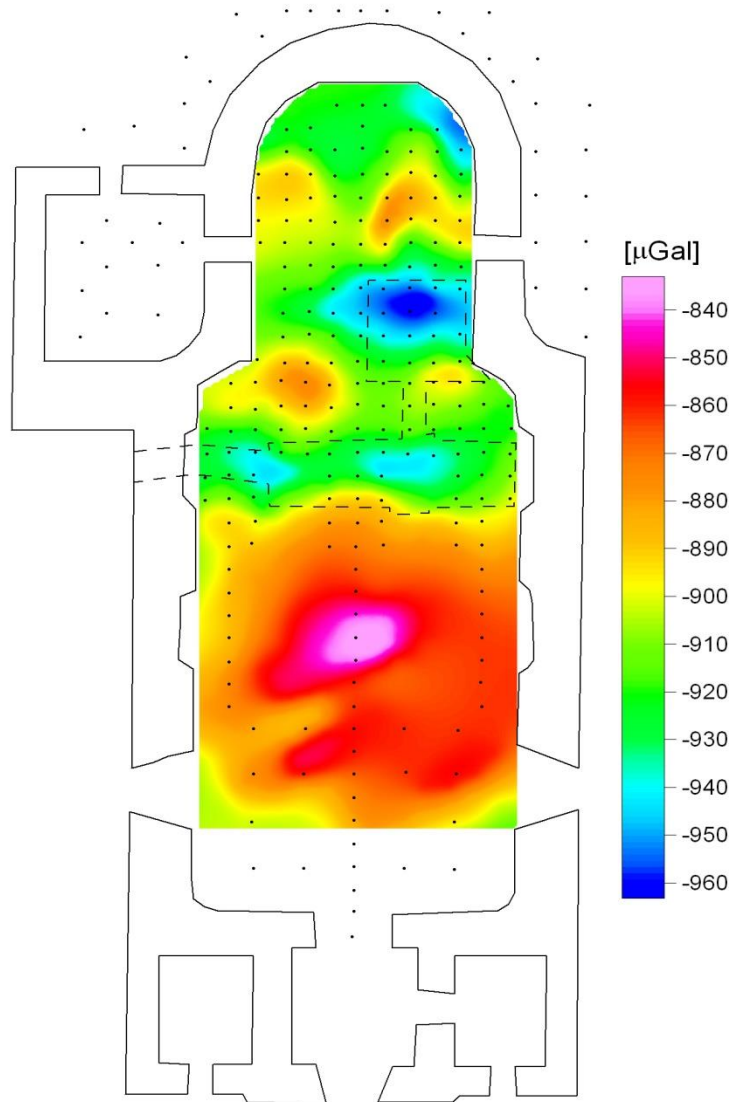


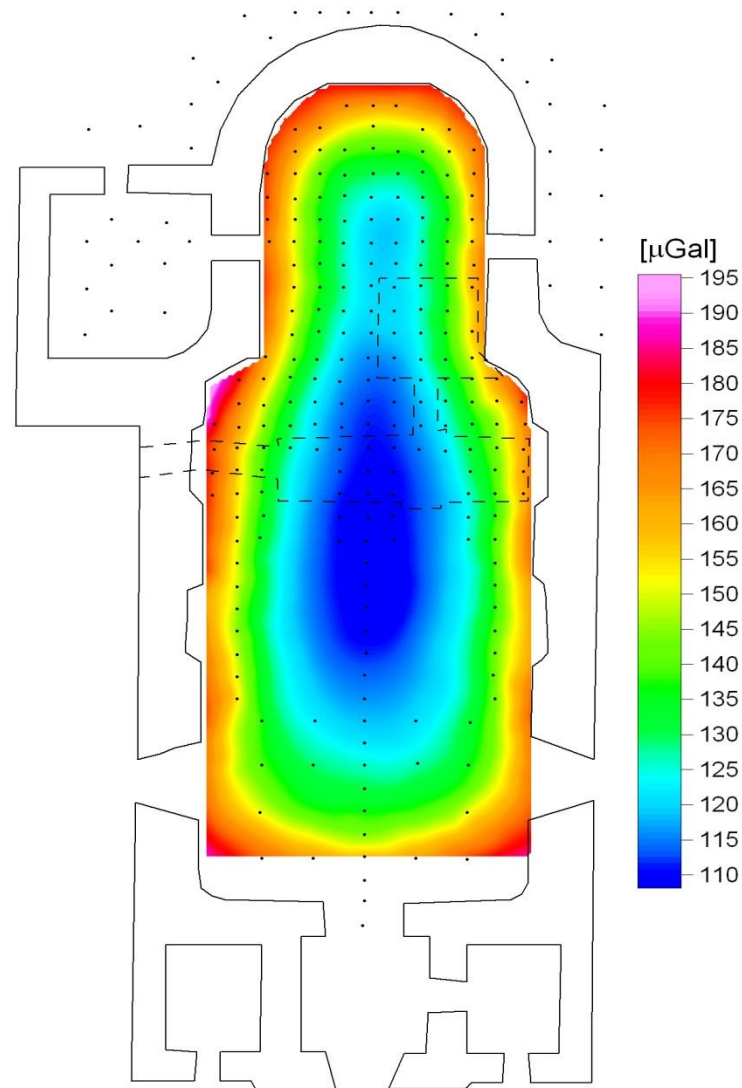
Fig. 10. Maps of Bouguer anomalies in the St. Venceslas church Tovačov. a) map corrected for gravity effect of walls, b) map corrected for gravity effects of walls and crypts.

- 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 μGal

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

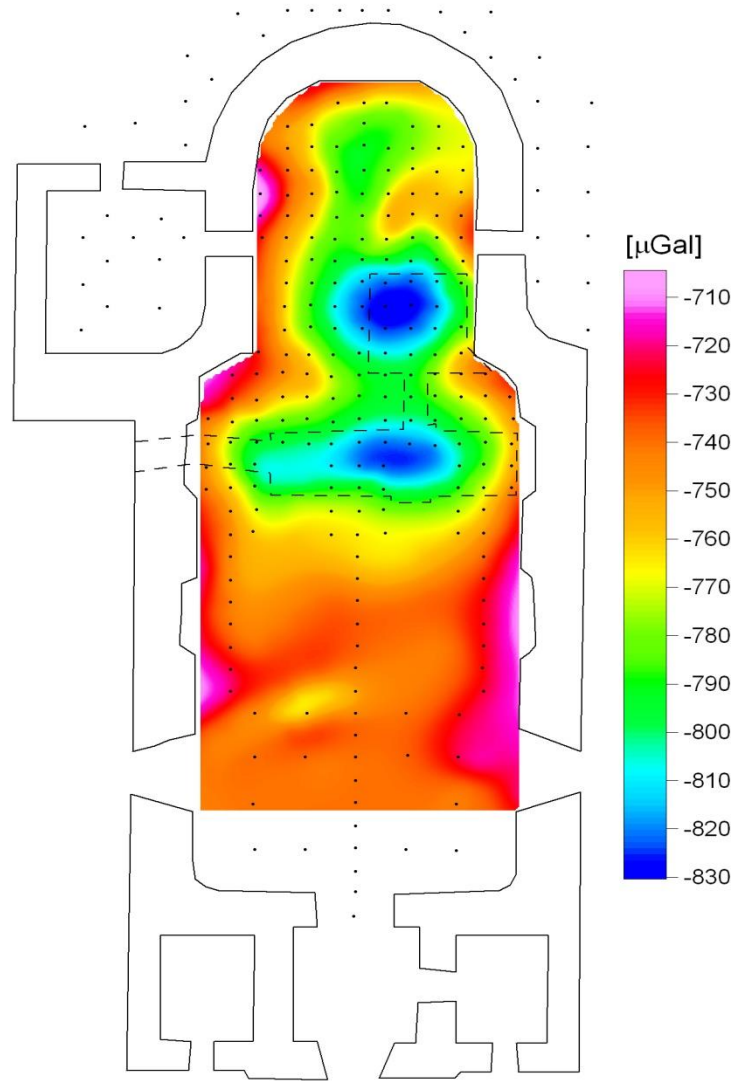


neúplná Bouguerova anomália
(bez topokorekcií a opráv na účinky múrov)

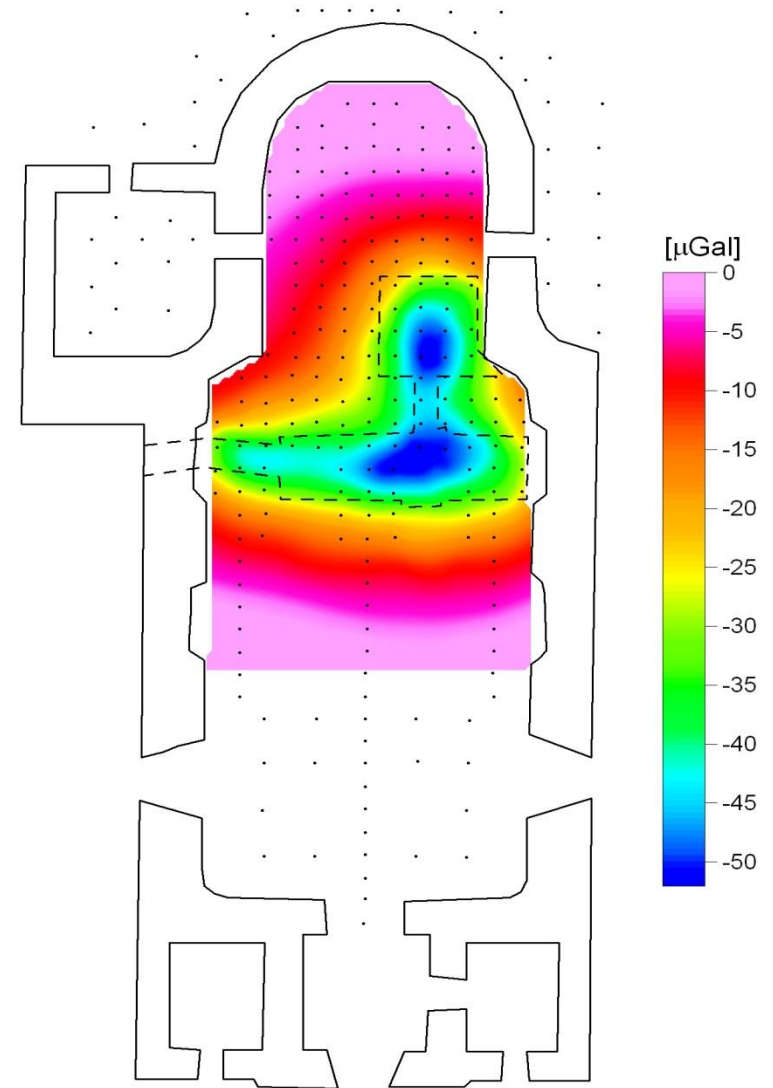


korekcie gravitačného
účinku múrov

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

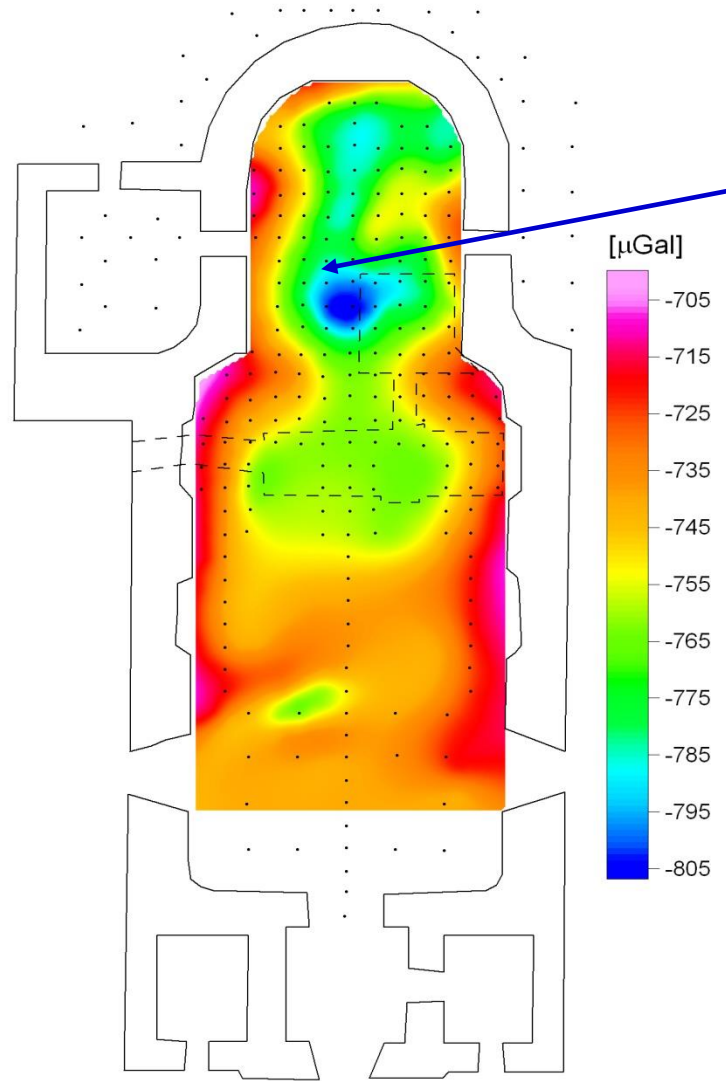


úplná Bouguerova anomália
(s opravami na účinky múrov)



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)



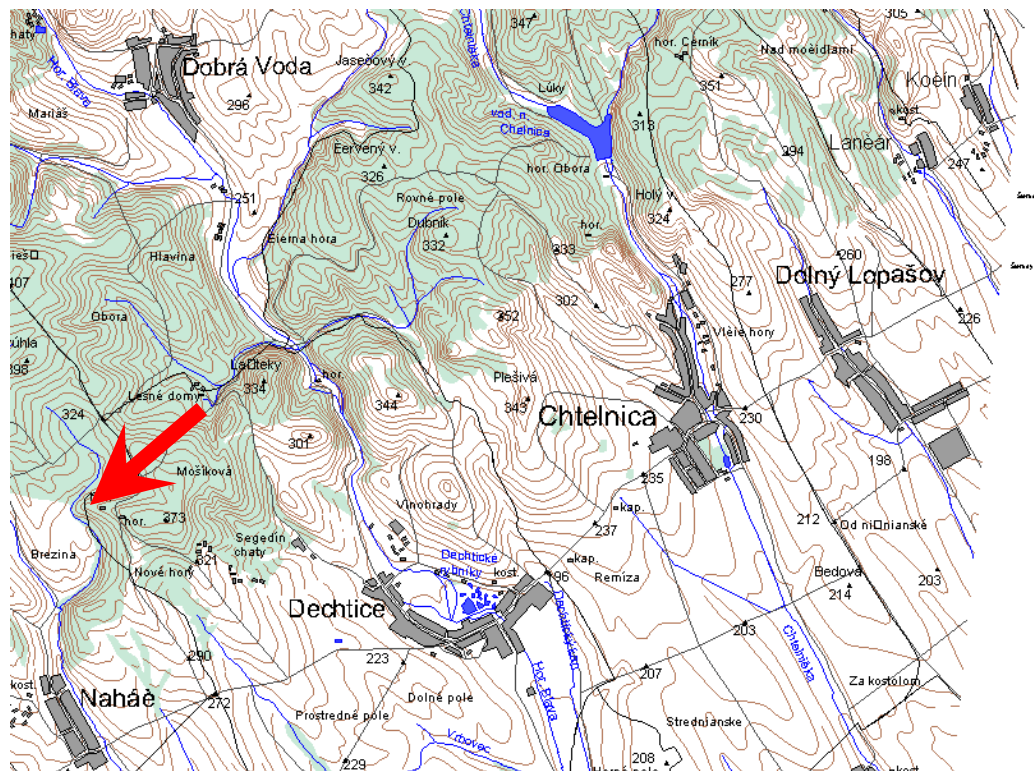
kláštor a kostol KATARÍNKA



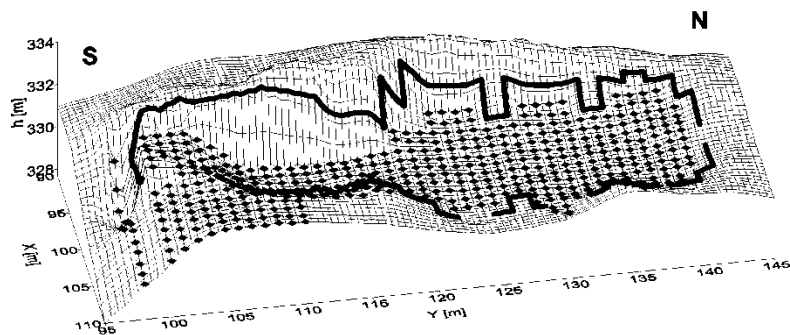
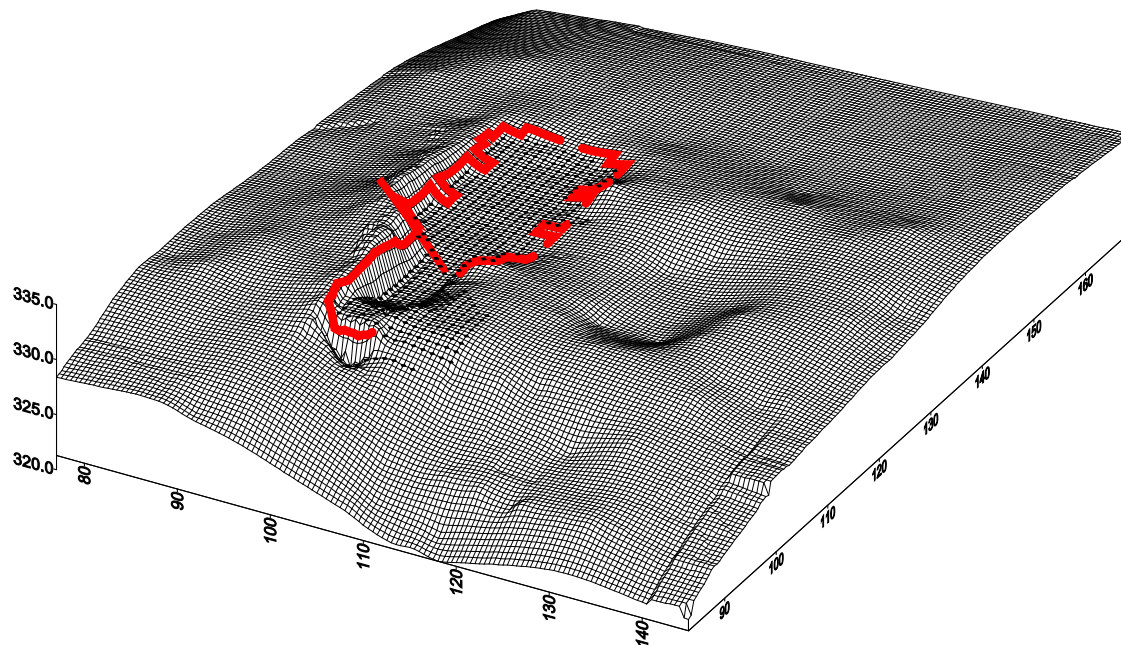
VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNEHO PRIESKUMU (1998 - 2000)



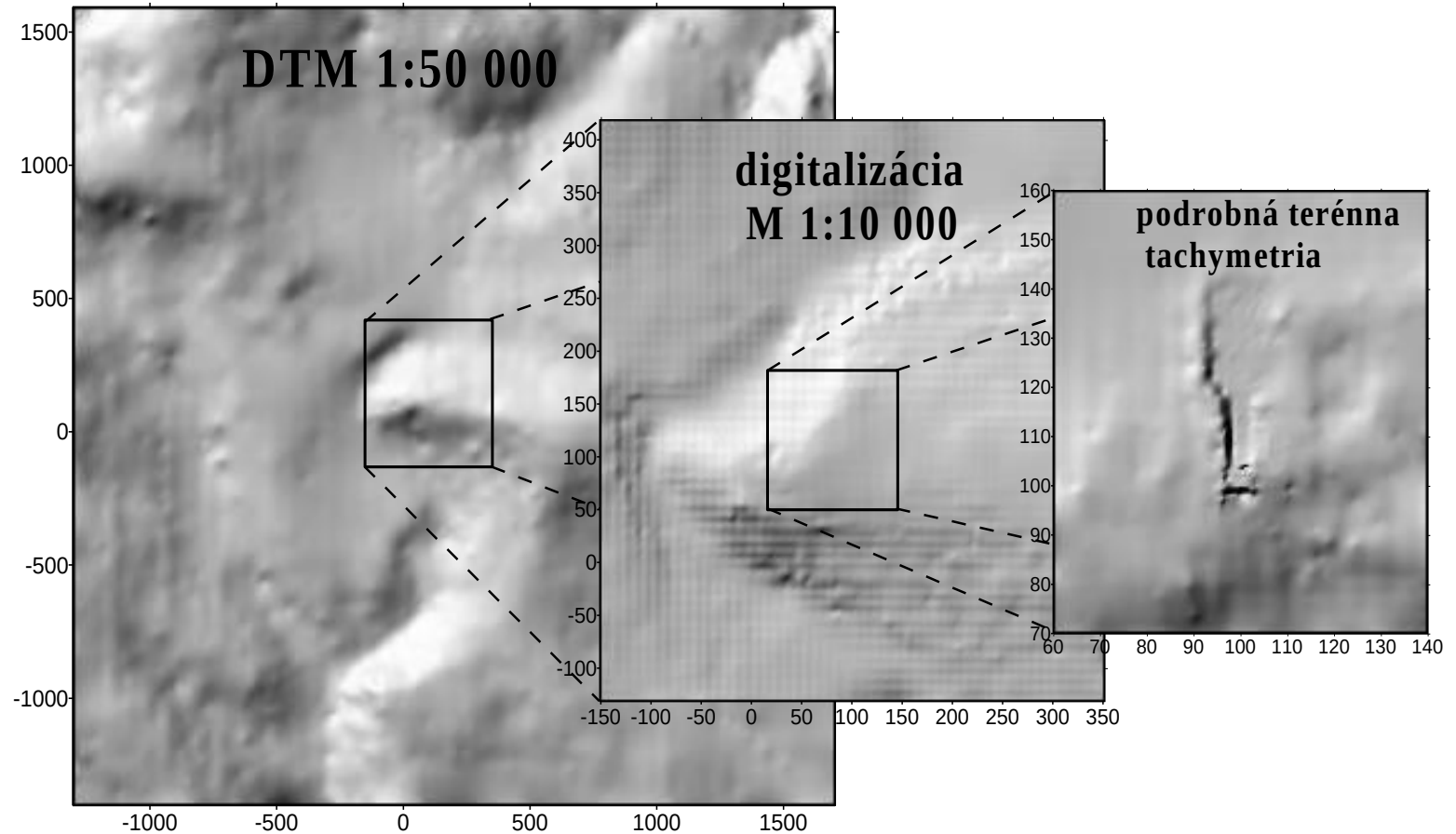
poloha lokality Katarínka



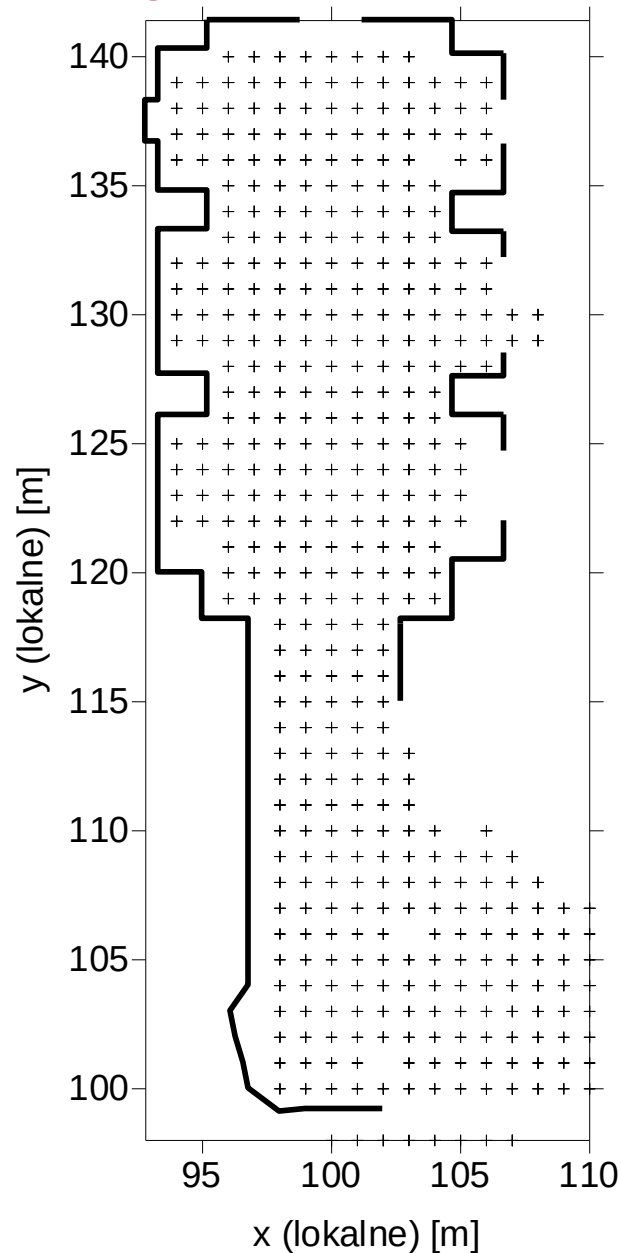
pohl'ady na reliéf terénu



lokalita Katarínka - podklady pre digitálny model terénu



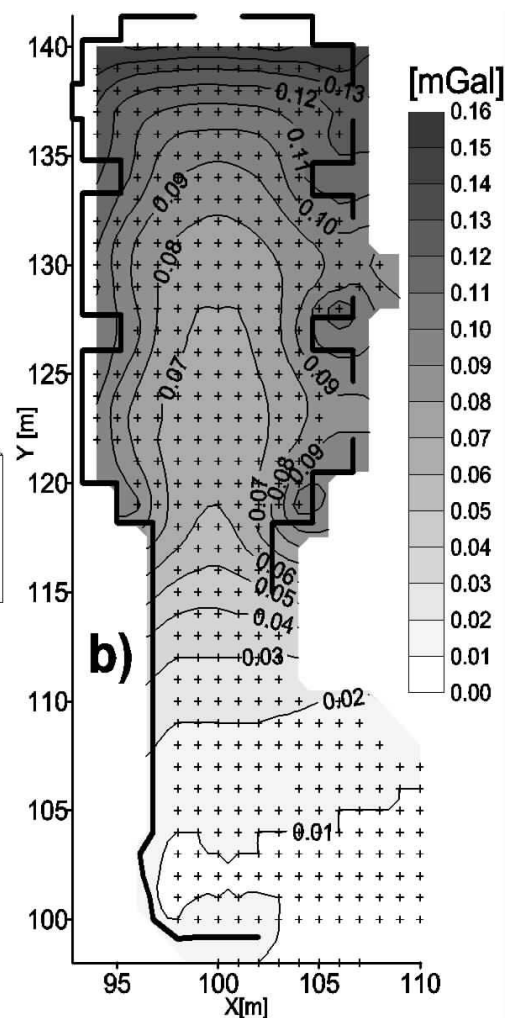
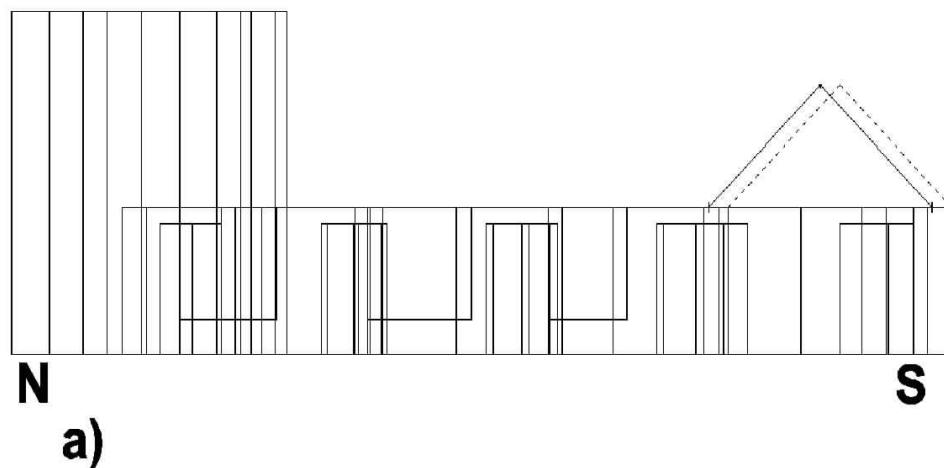
mikrograv. merania v lodi kostola



zmeraných 428 bodov



prístroj: Sodin 214GT

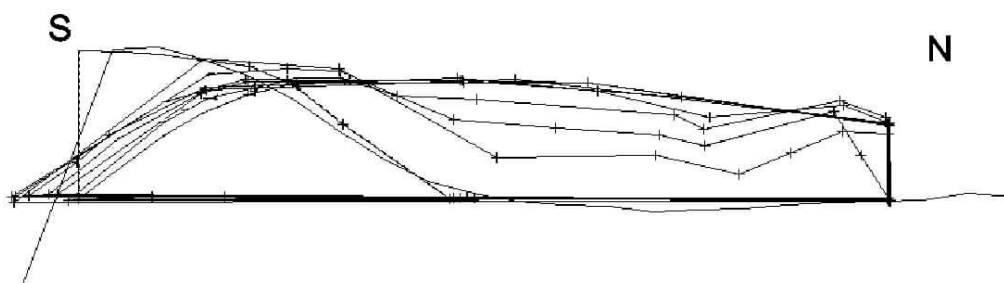


Katarínka - model a účinok múrov

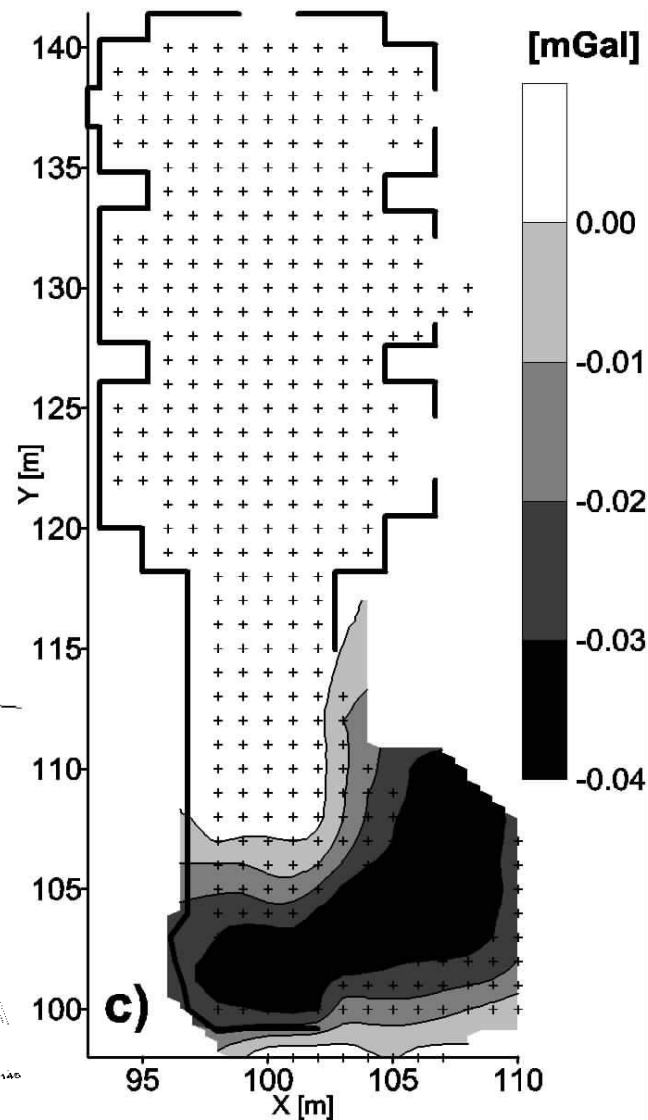
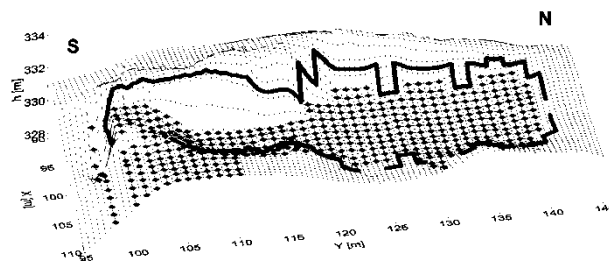
Katarínka - model a účinok sute



a)



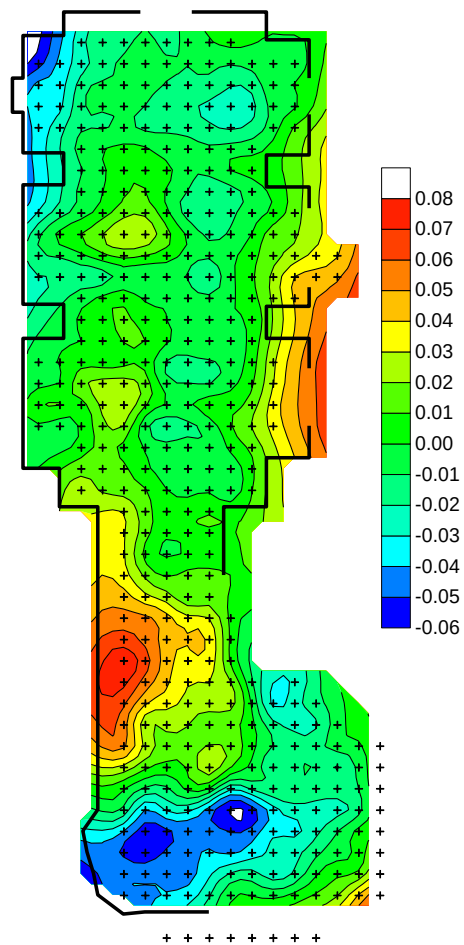
b)



c)

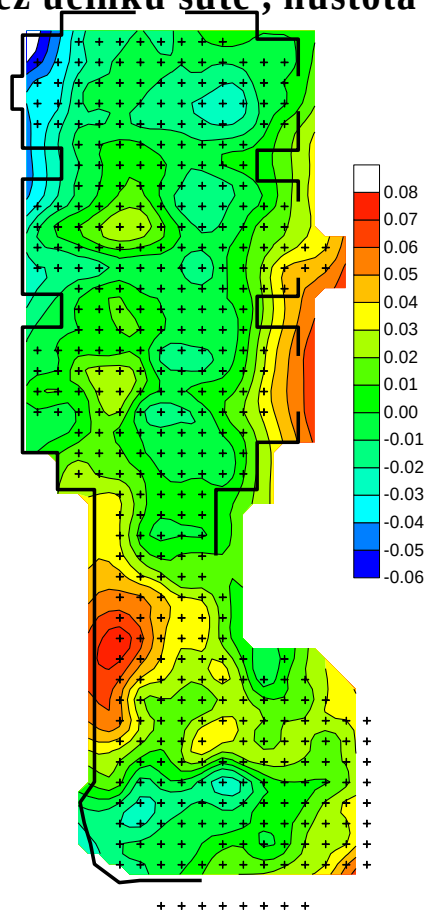
lokalita Katarínka - pokus o èiastoènè odkrytie (- úèinok sute)

reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}

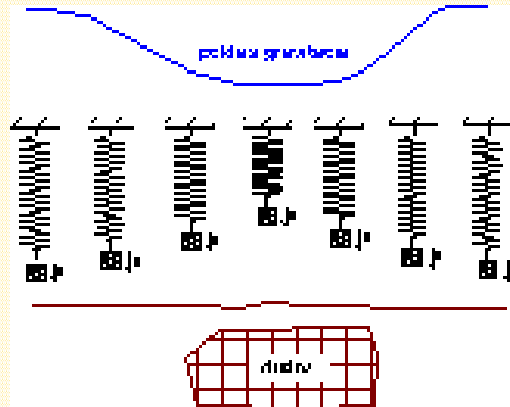


reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}

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



mikrogravimetria - presné meranie zemskej gravitácie

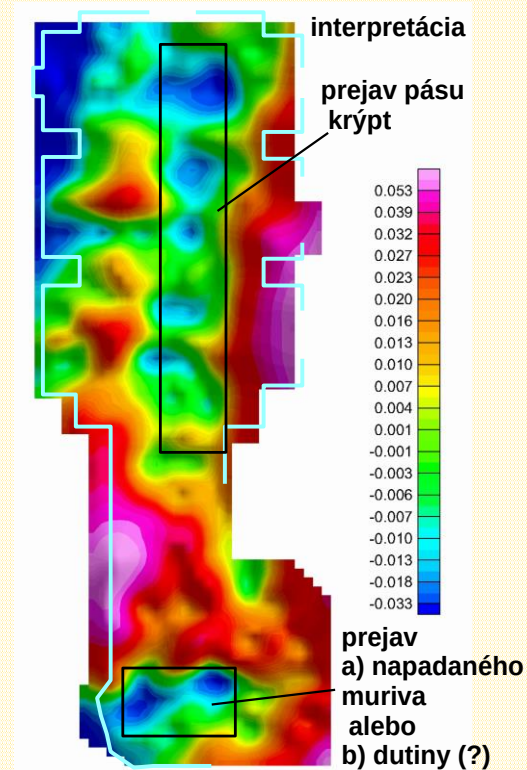
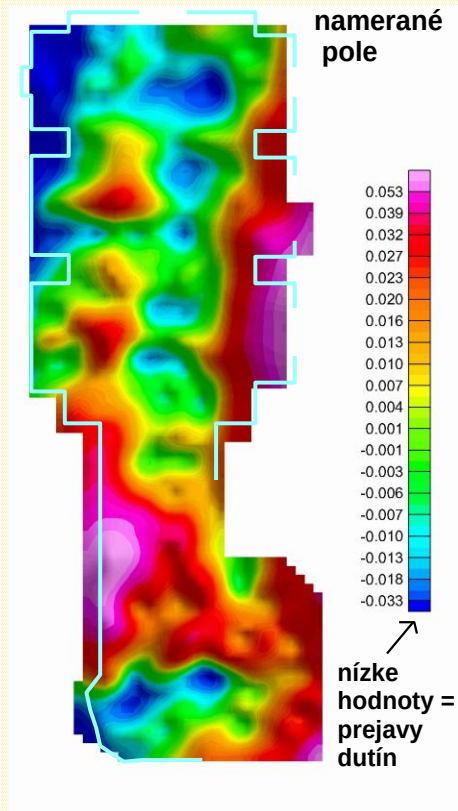


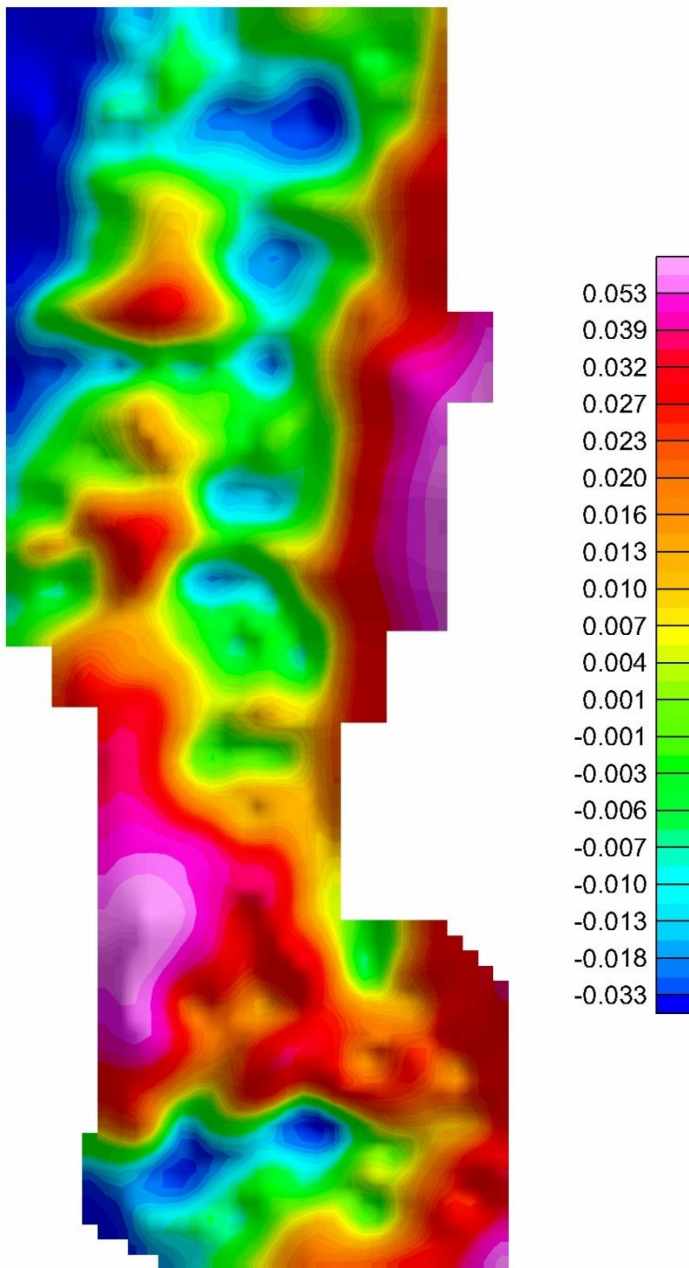
praktické meranie
v teréne



princíp
merania

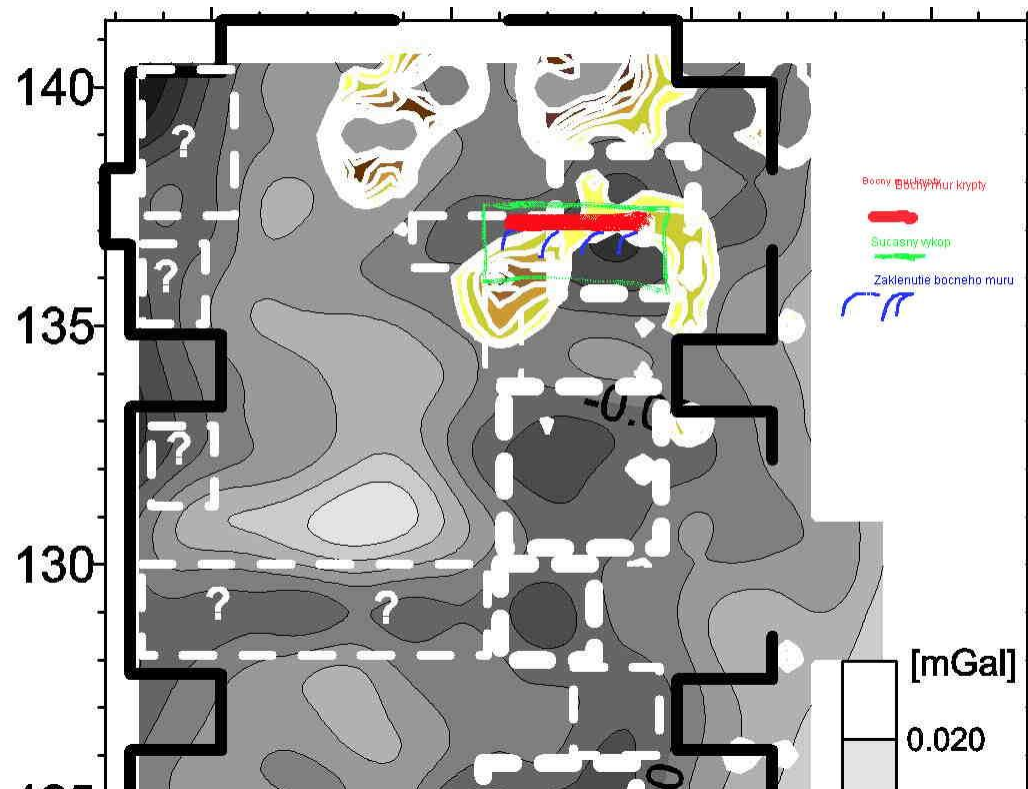
výsledky z oblasti
lode kostola



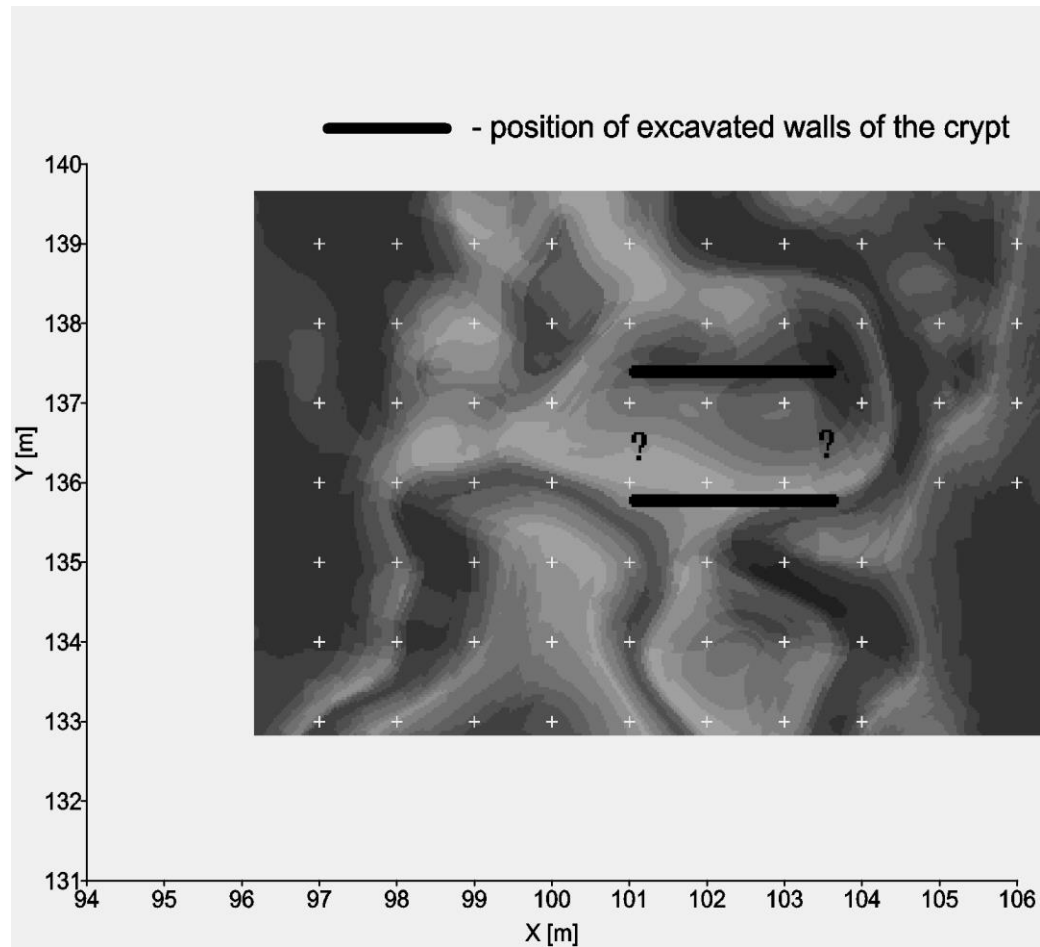


ANOMÁLNE PREJAVY KRÝPT PODĽA MIKROGRAVIMETRIE

overenie anomálie - leto 2000



overenie anomálie - leto 2000



a)



b)

úplné otvorenie krypty - leto 2001



rez kryptou - leto 2001

Dechtice – Sv. Katarína

Zisťovací archeologický výskum

Dátum: 01.07. – 31.08. 2000/2001

Zameral: Urminský

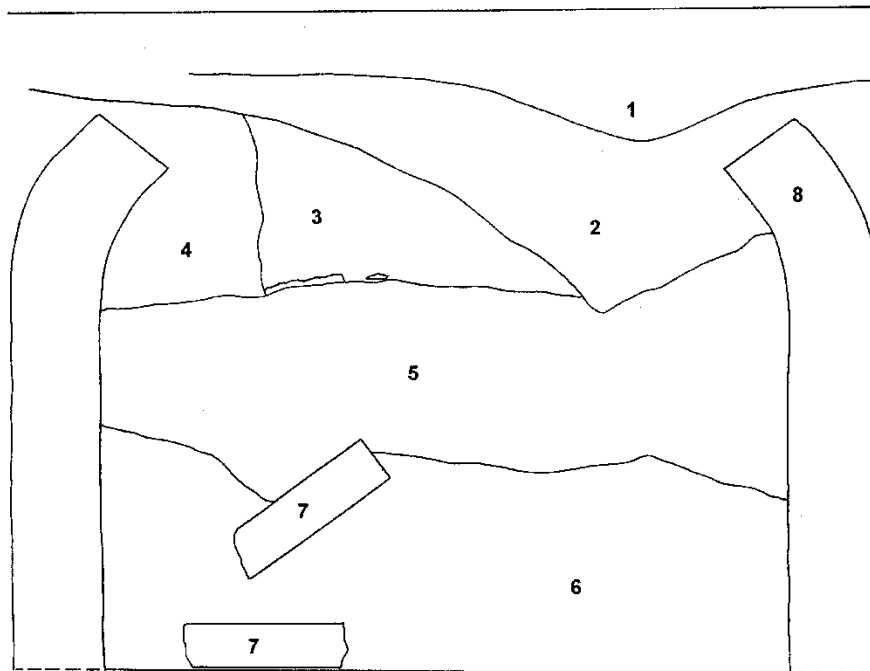
Západoslovenské múzeum Trnava

Kostol sv. Kataríny: Sonda III/2000-2001

Krypta - rez

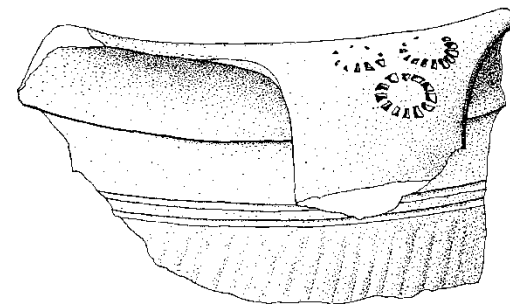
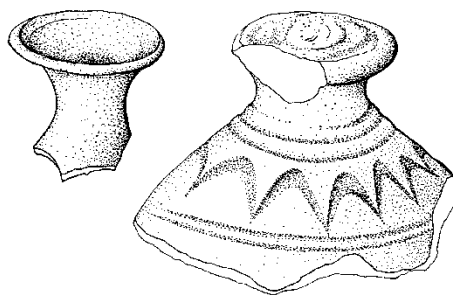
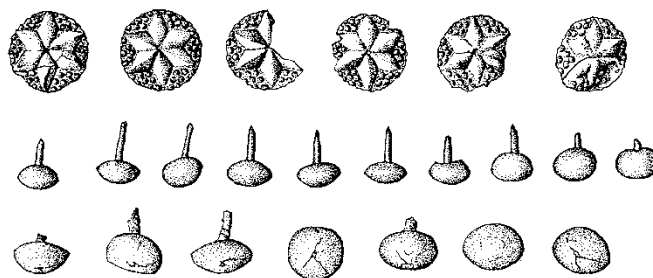
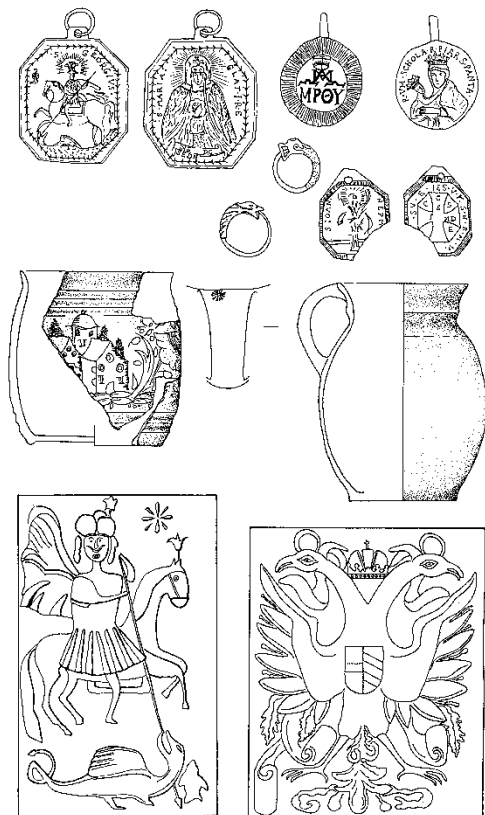
LEGENDA

- 1 – Sútina zmiešaná s omietkou a tmavou humóznou vrstvou
- 2 – Zlomky tehál a ľudských kostí premiešané s tmavou humóznou vrstvou
- 3 – Zlomky tehál, strešnej krytiny a sútiny, zvyšky drev z rakiev
- 4 – Tmavý humózný zásyp
- 5 – Sútina, kamene, celé tehly, ojedinelo ľudské kosti
- 6 – Zhluky vzpriemených tehál vytvárajúcich menšie dutiny, sútiny, 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 murivo krypty



0 100
cm

nálezy z krypty - leto 2001



uzavretie krypty - leto 2001

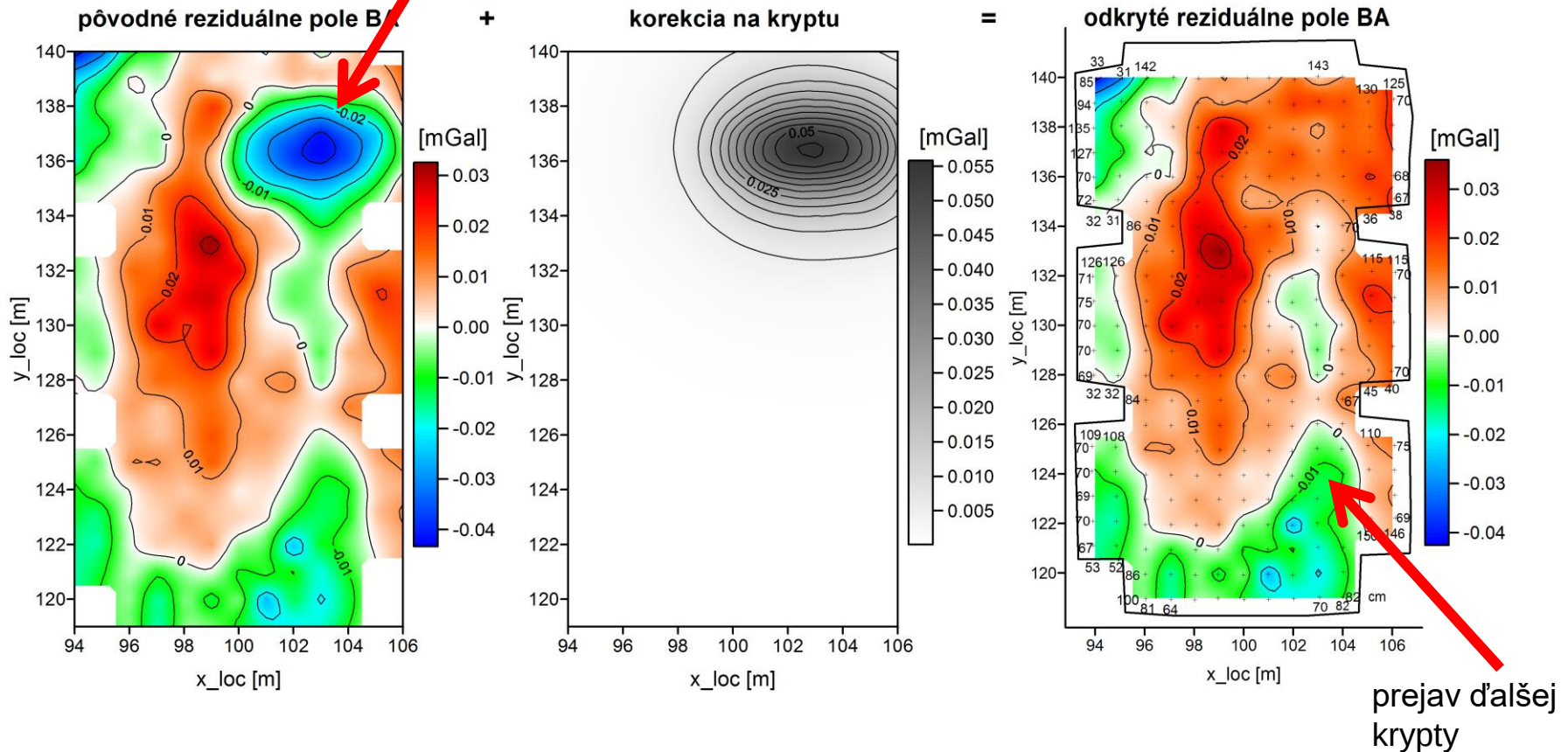


rok 2012:

mikrogravimetria:
(použitý už
modernejší prístroj
Scintrex CG-5)

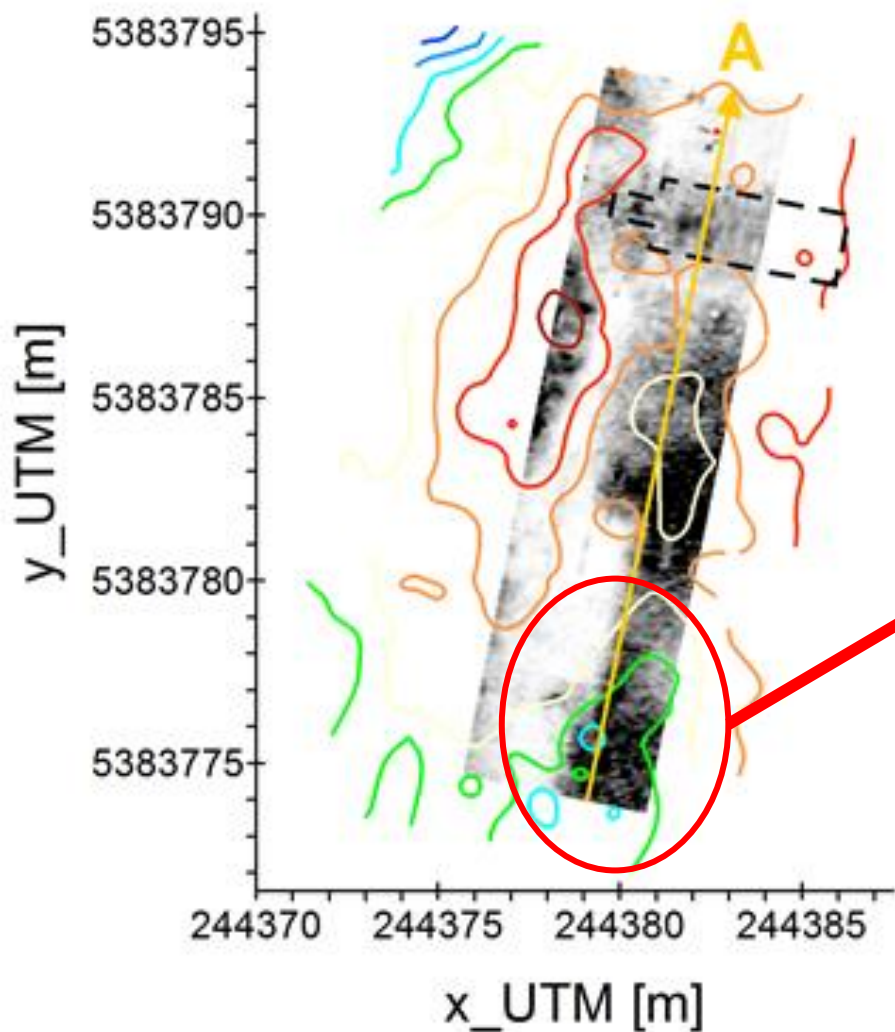


**namodelovaný a následne
odkrytý účinok známej
(odkopanej) krypty**



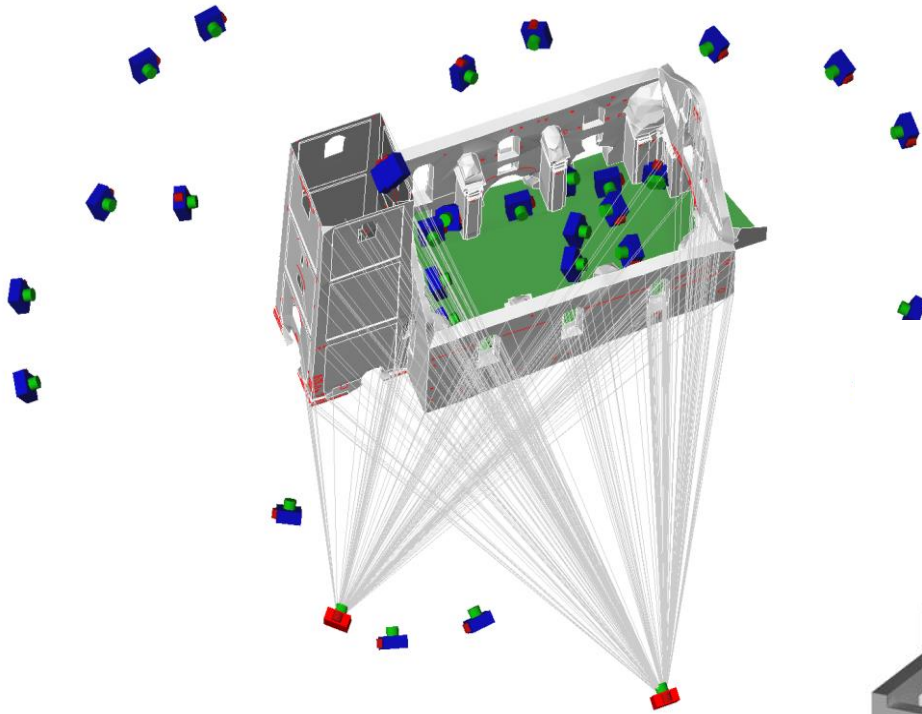
rok 2012:

mikrogravimetria + GPR:



rok 2013 - 2014:
otvorenie krypty

pri všetkých zapojených metódach boli použité postupy
rok 2012: „state-of-the art“, čiže najmodernejšie – čo sa týka
prístrojového vybavenia a aj počítačového spracovania

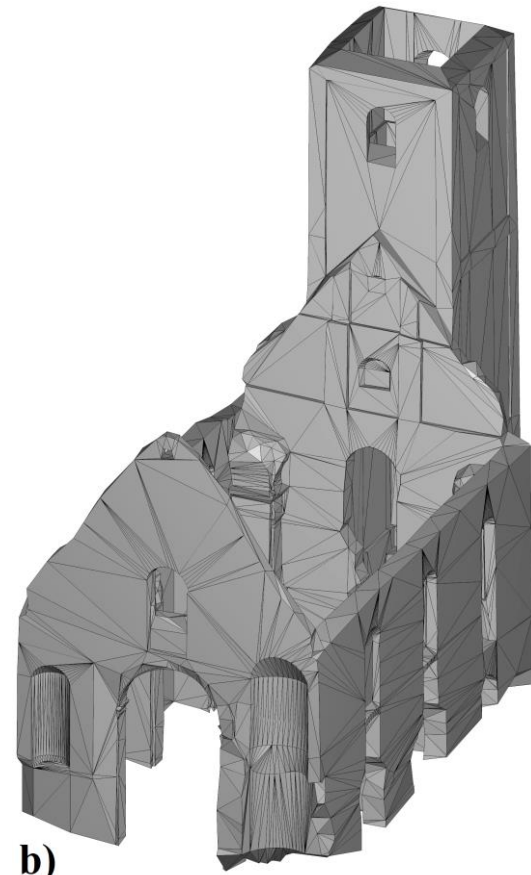


na výpočet účinkov múrov tu bol
použitý nový (fotogrametrický)
prístup, vedúci k tvorbe 3D
modelu z polyhédrov



a)

starší
prístup



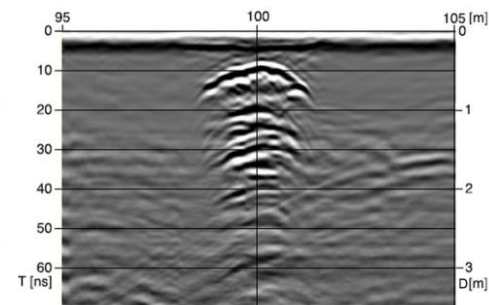
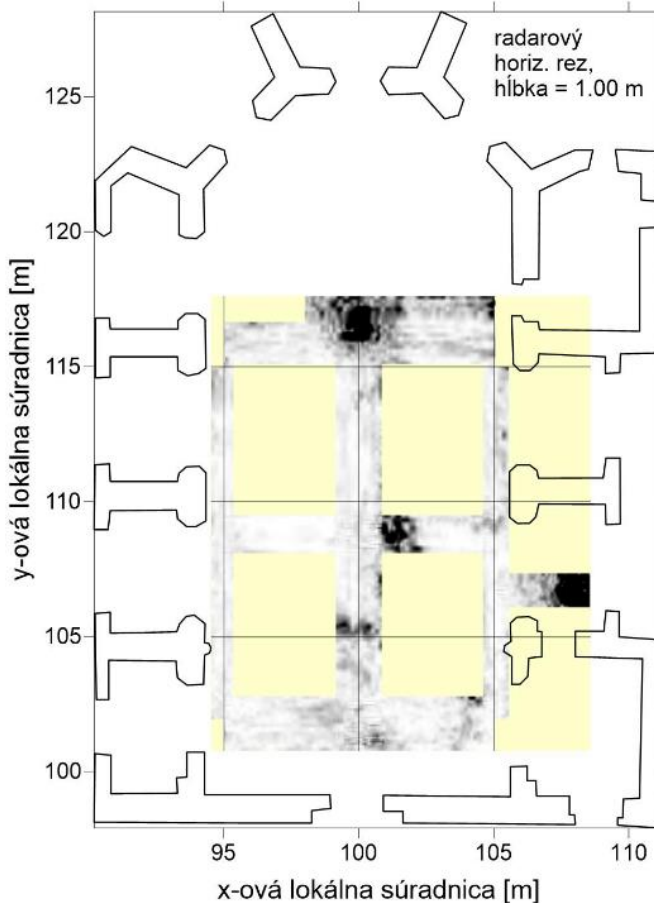
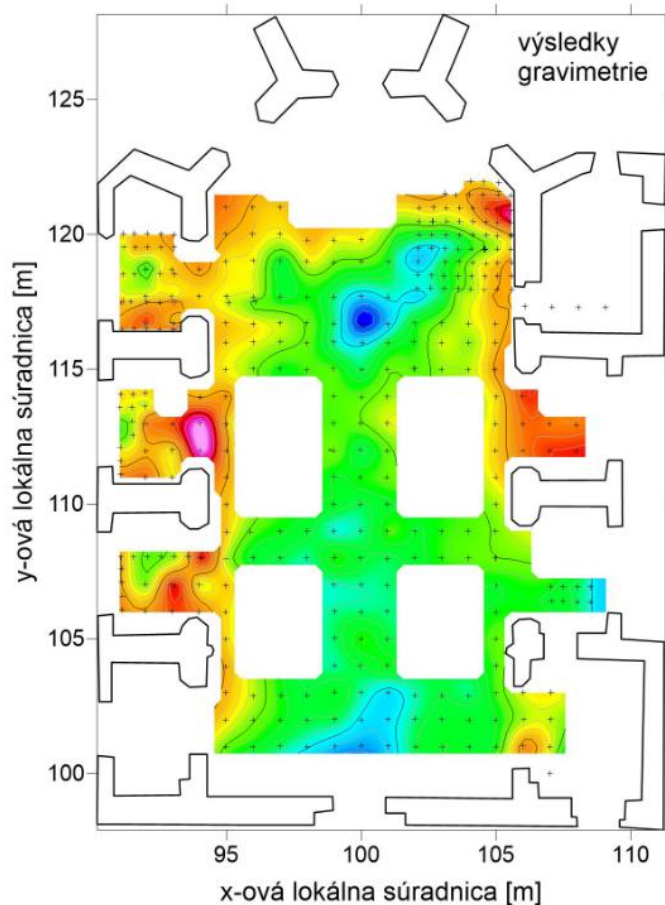
b)

novší
prístup

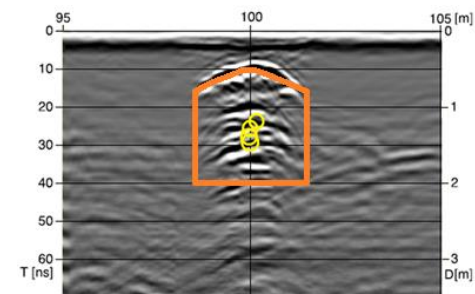
georadarový a mikrogravimetrický prieskum „kostol sv. Kataríny, BŠ“

gravimetria – Scintrex CG-5

GPR – GSSI 400 MHz



GPR vert. rez (originál)

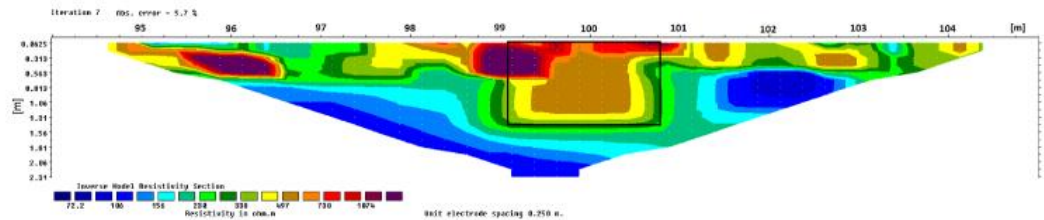
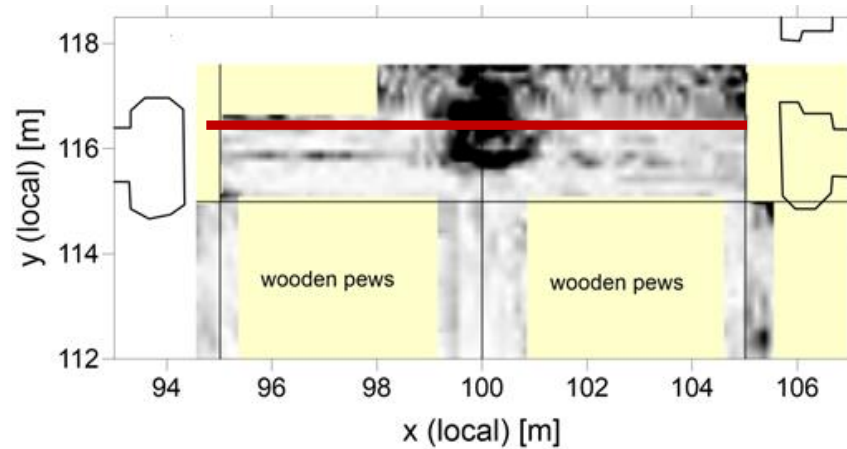


GPR vert. rez (interpret.)

GPR horiz. amplitúdový rez

georadarový a mikrogravimetrický prieskum „kostol sv. Kataríny, BŠ“

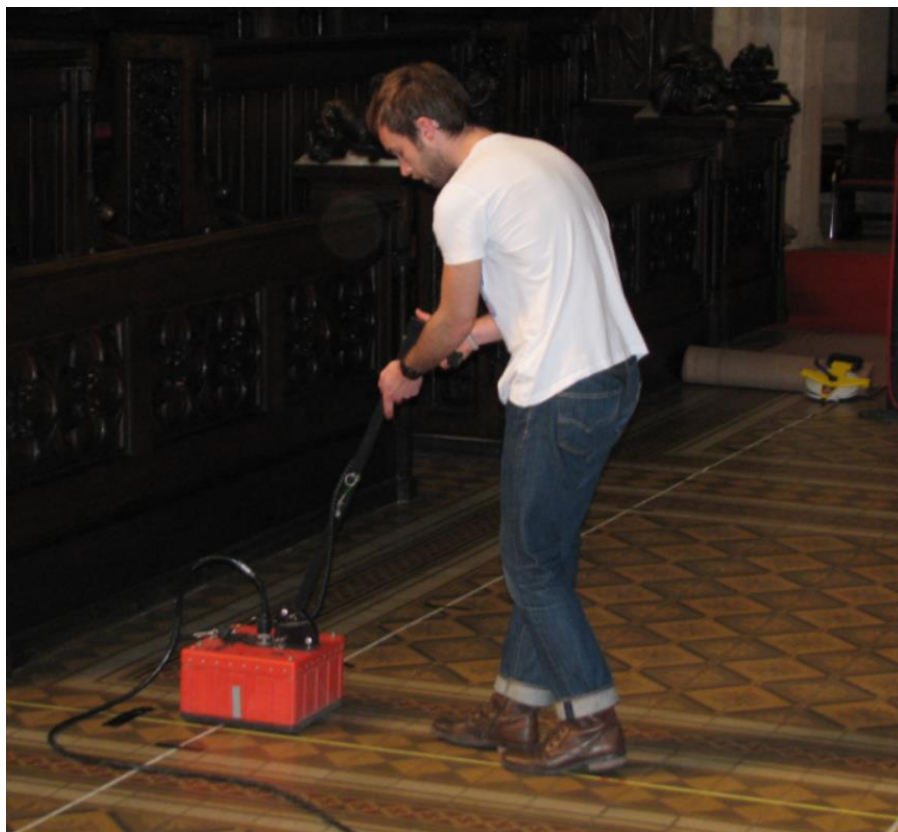
prvý krát v SR:
použitie metódy ERT vo vnútri historickej budovy



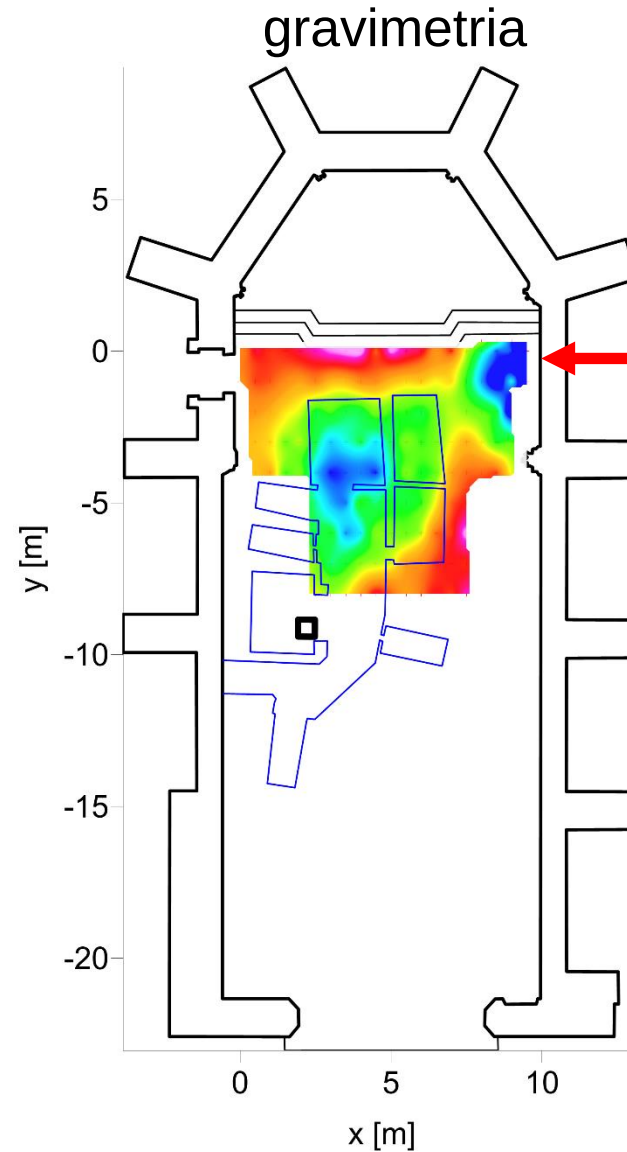
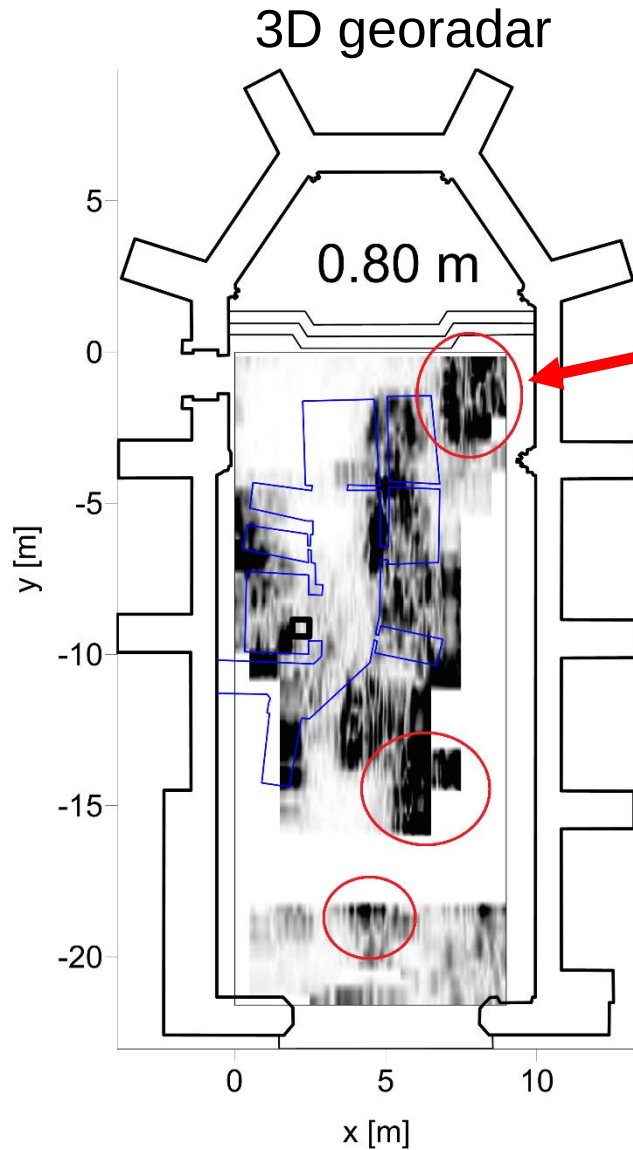
zatiaľ archeologicky neoverené

georadarový a mikrogravimetrický prieskum „Dóm sv. Martina, BA“

prieskum apsidy:
gravimetria – Scintrex CG-5
GPR – GSSI 400 MHz



georadarový a mikrogravimetrický prieskum „Dóm sv. Martina, BA“



zatiaľ
neznámy
dutý
priestor

pôdorys modrou farbou – známe krypty

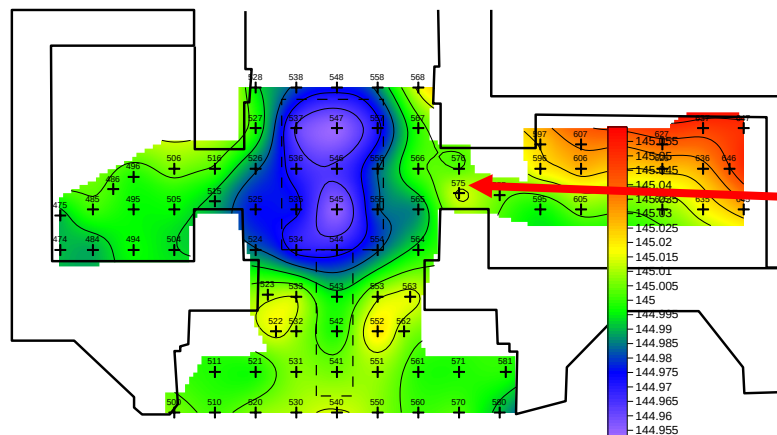
prieskum farského kostola

Najsv. Trojice v Devíne

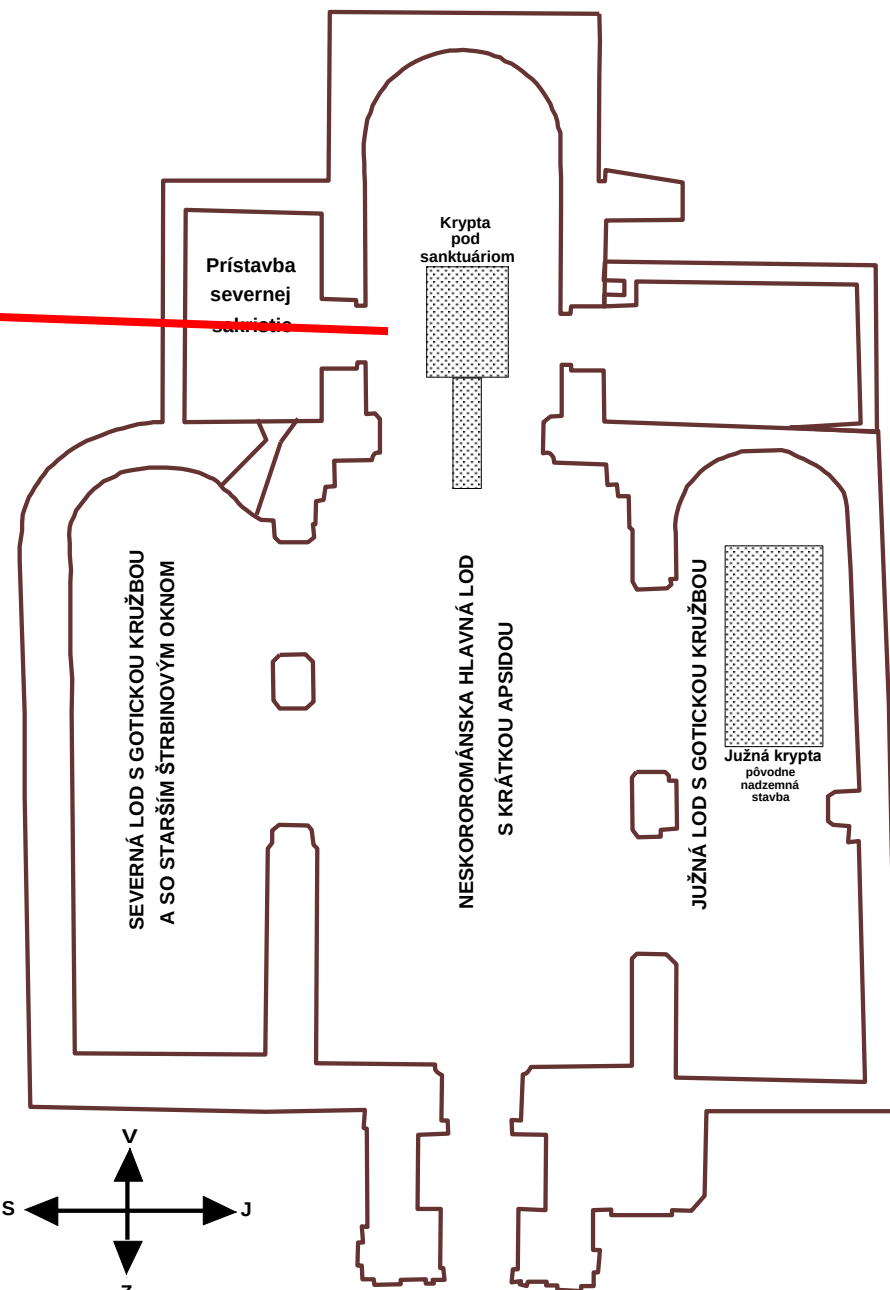
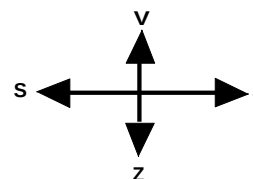


**snahou bolo nájsť dutinu
v priestore pod existujúcou
kryptou (alebo vedľa nej?)**

prieskum farského kostola v Devíne

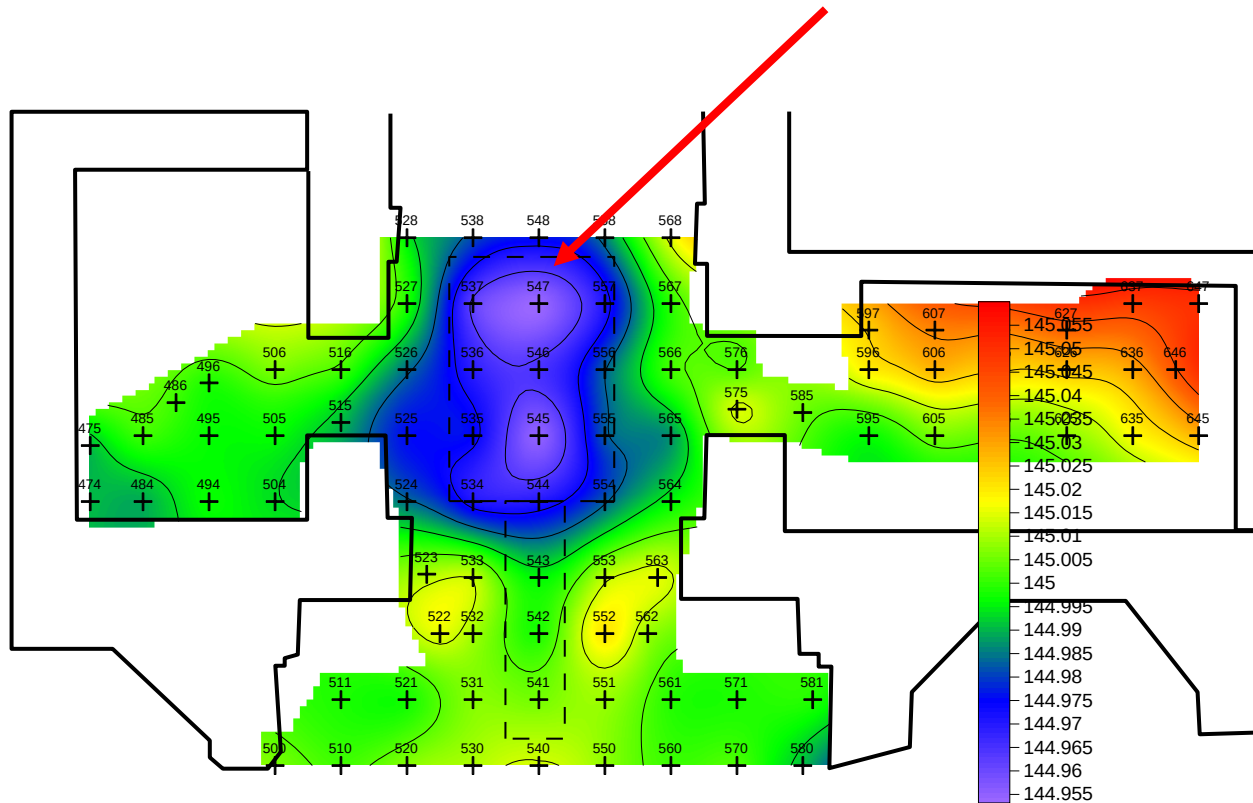


prejav známej krypty



prieskum farského kostola v Devíne

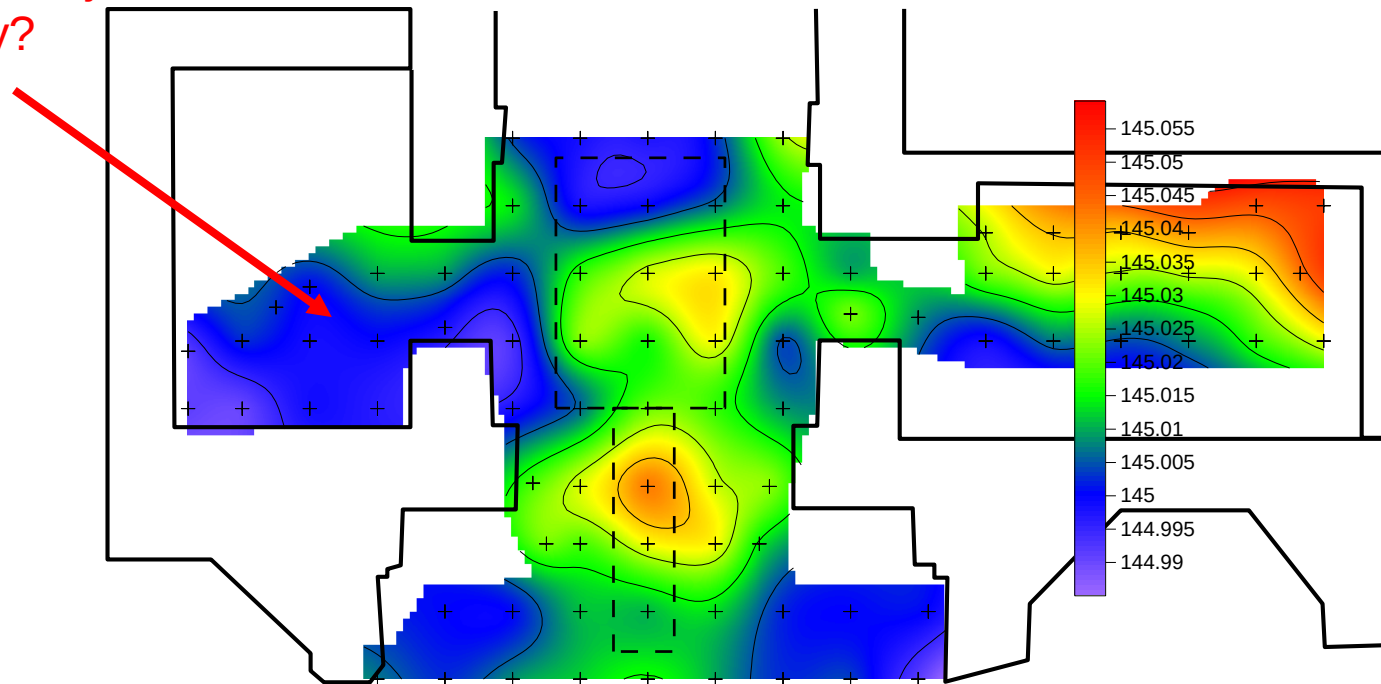
prejav známej krypty



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

prieskum farského kostola v Devíne

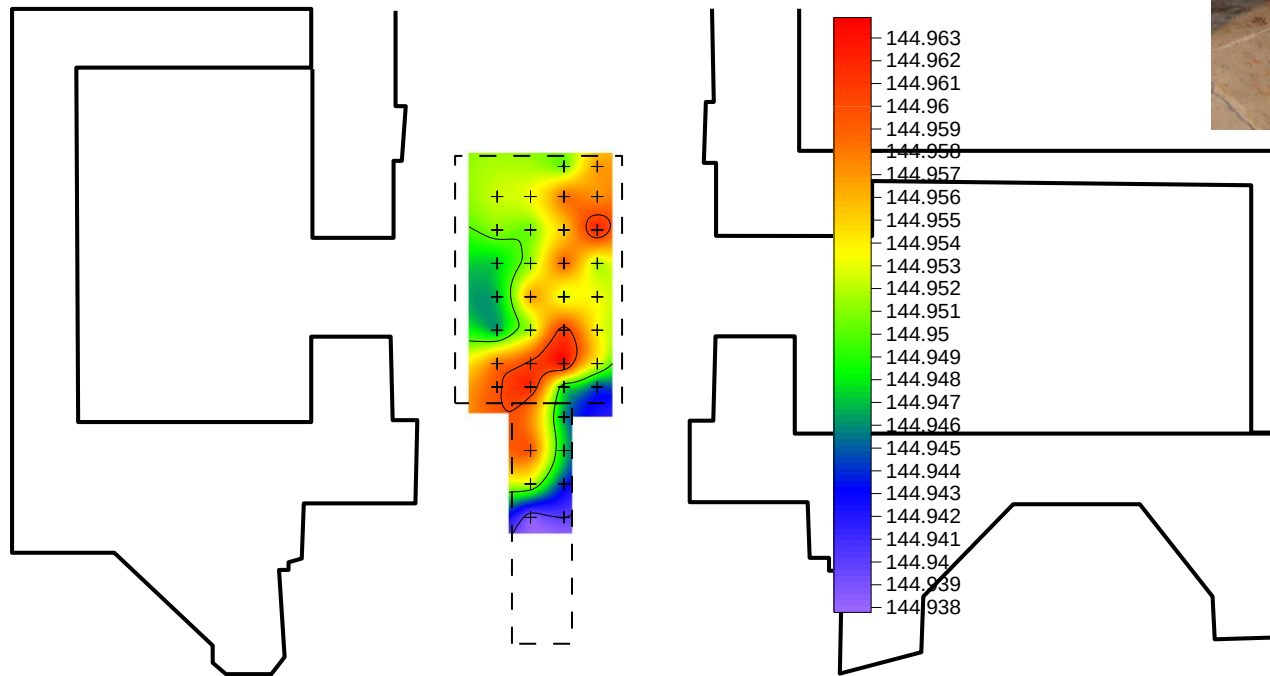
prejav
zasypanej
krypty?



odkryté Bouguerove anomálie (odstránený účinok krypty)

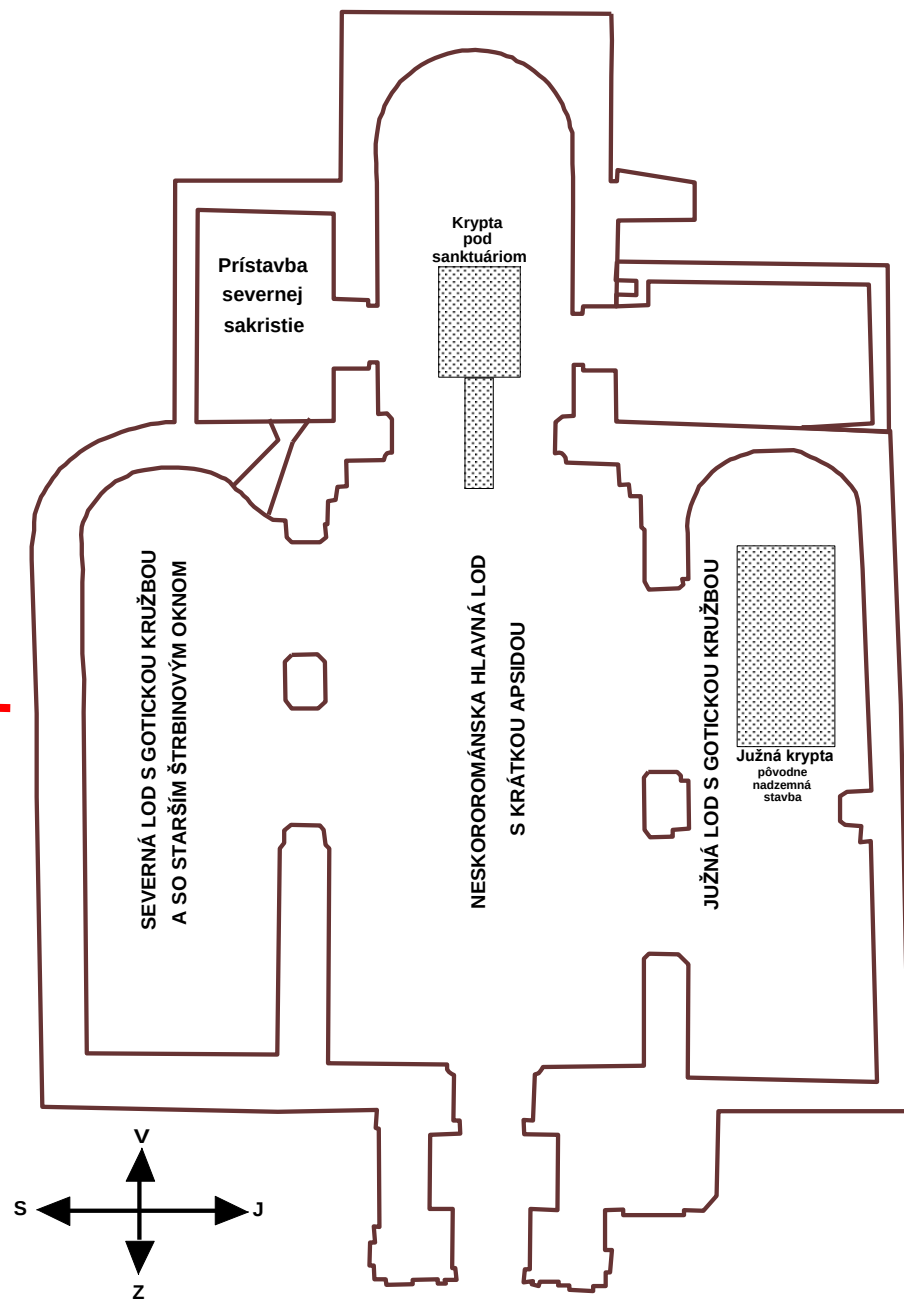
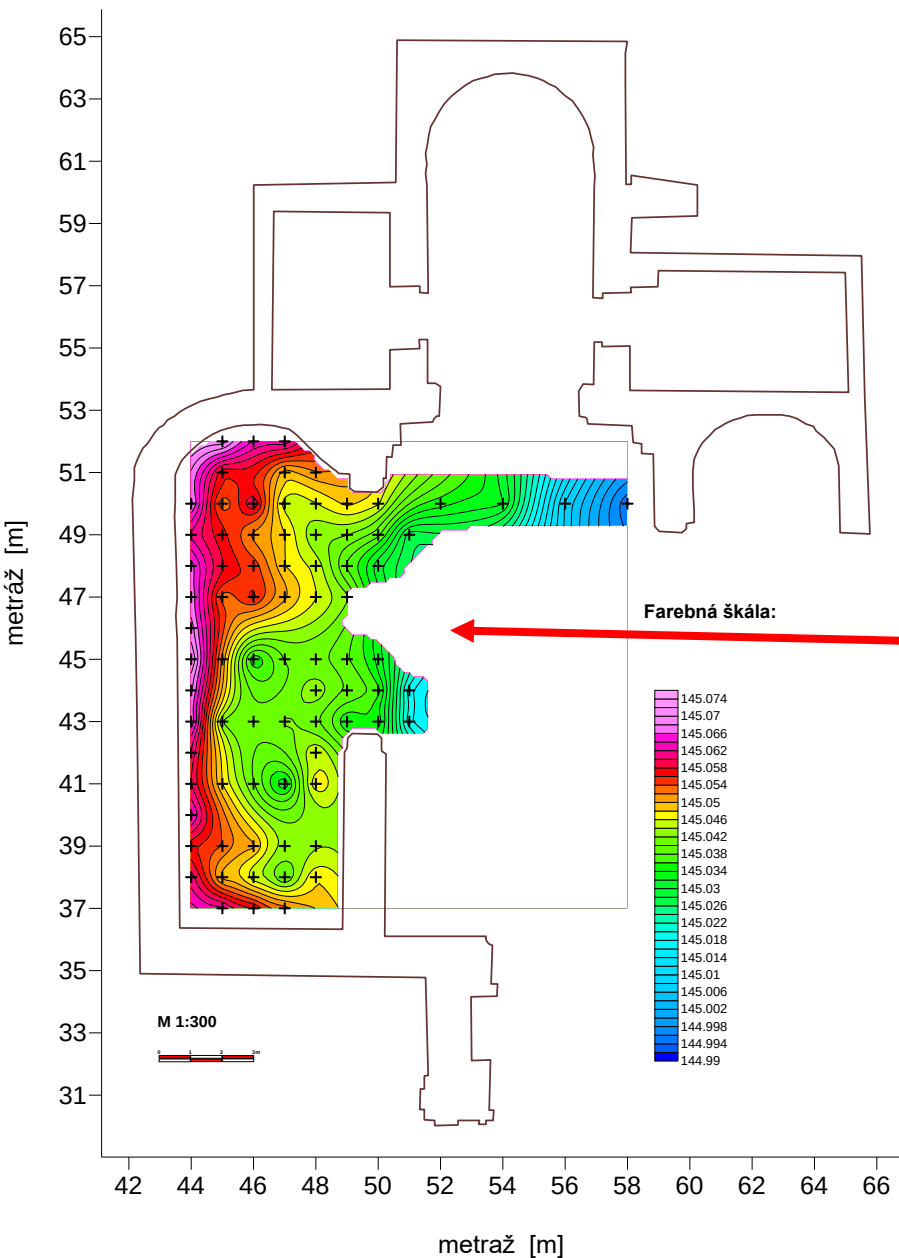
prieskum farského kostola v Devíne

merania dnu v krypte



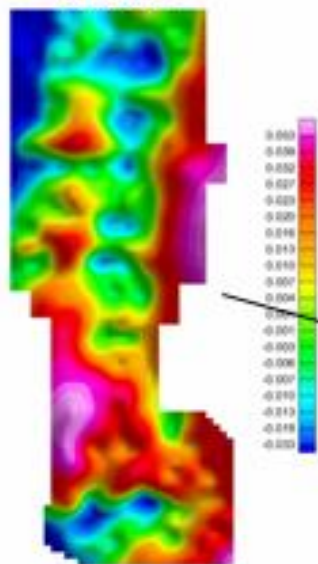
prieskum nepotvrdil prítomnosť dutiny pod existujúcou kryptou,
anomálna zóna v ľavej časti bola spôsobená vrstvami
ľahkých pieskov (overené ručne vŕtanými sondami)

prieskum farského kostola v Devíne

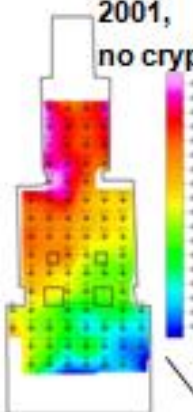


príkladové štúdie (mikrogravimetria) SR

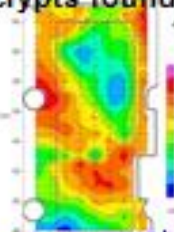
1998,
4 crypts detected,
1 found



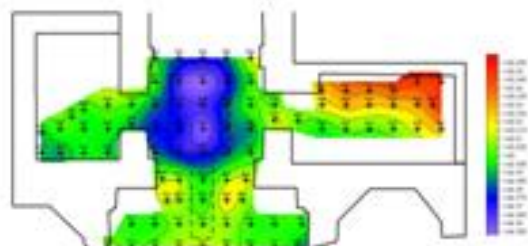
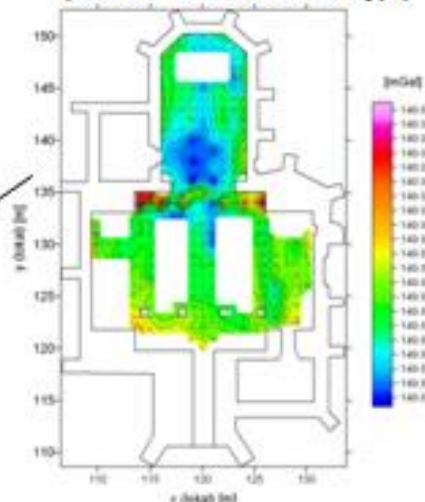
2001,
no crypts found



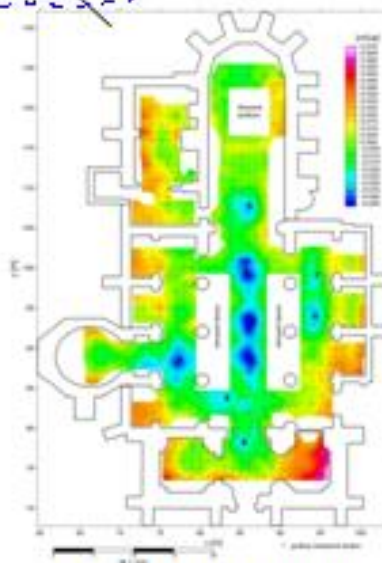
2011,
2 crypts found



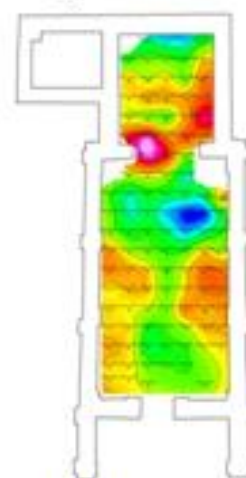
2006, pitfall!
(filled sink instead of a crypt)



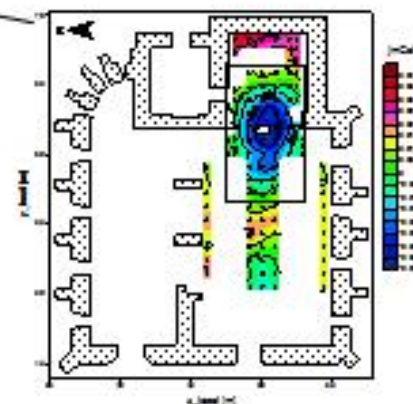
2002,
test site – known
crypt detected



2006, 8 crypts found



2009,
2 crypts detected
(should be verified)

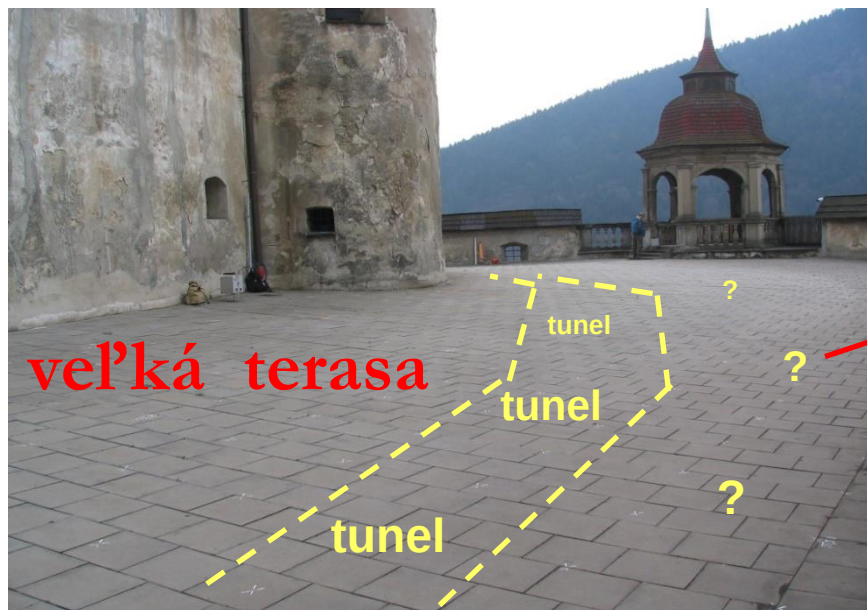


2008,
1 crypt detected
(should be verified)

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)

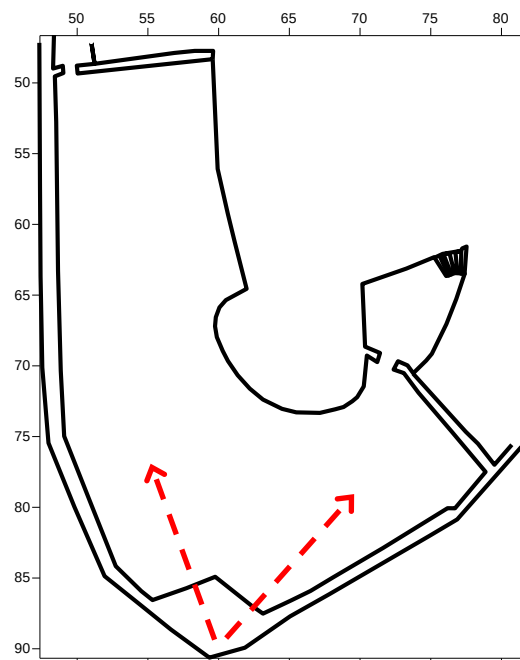
pohľad od
prístupovej
cesty na
zámok



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

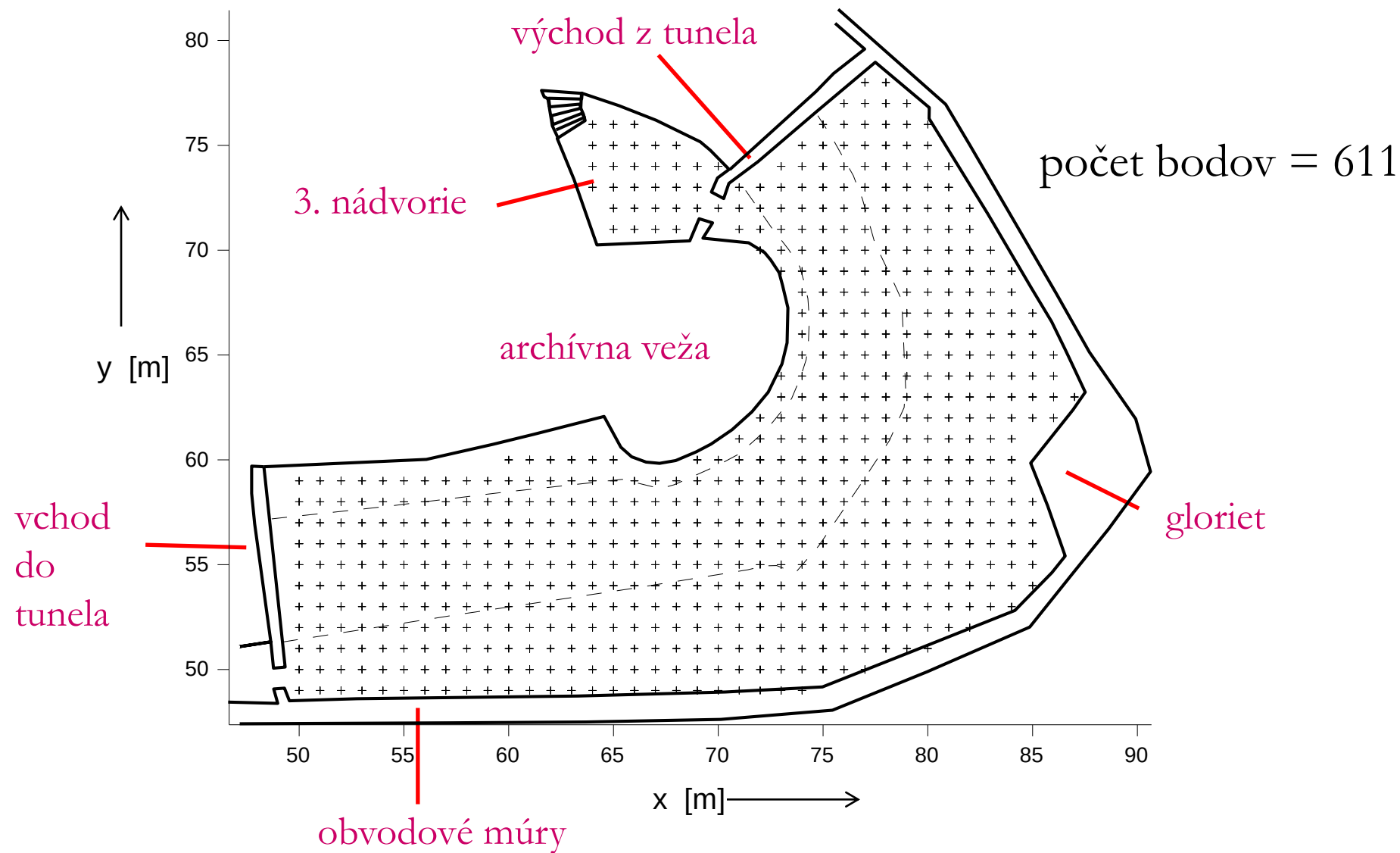


pohľad od altánku
(glorietu) smerom k
tretiemu nádvoriu



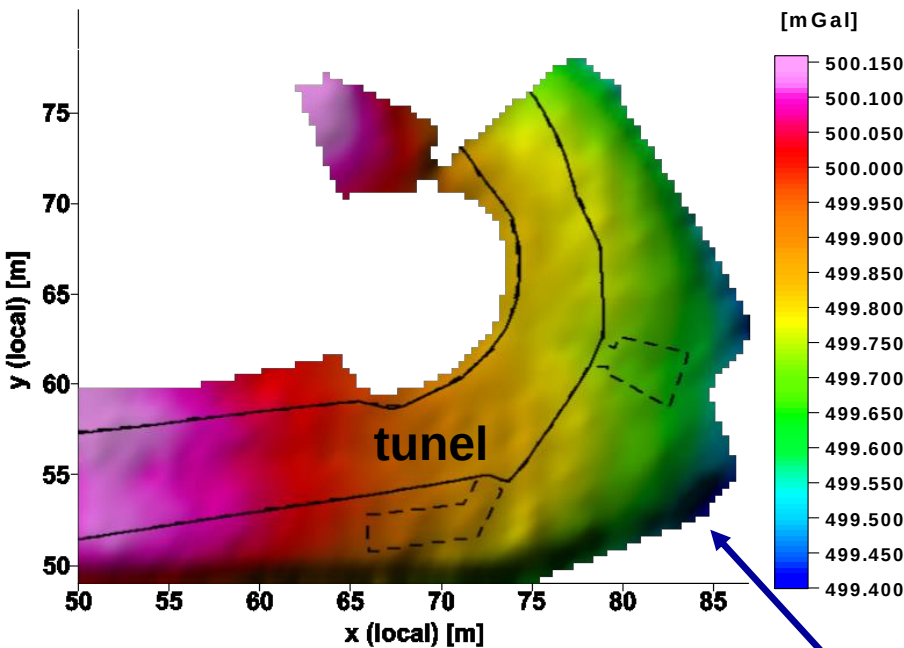
- vymedzenie a vytýčenie meraného územia

siet' bodov 1 x 1 m v lokálnych súradniciach

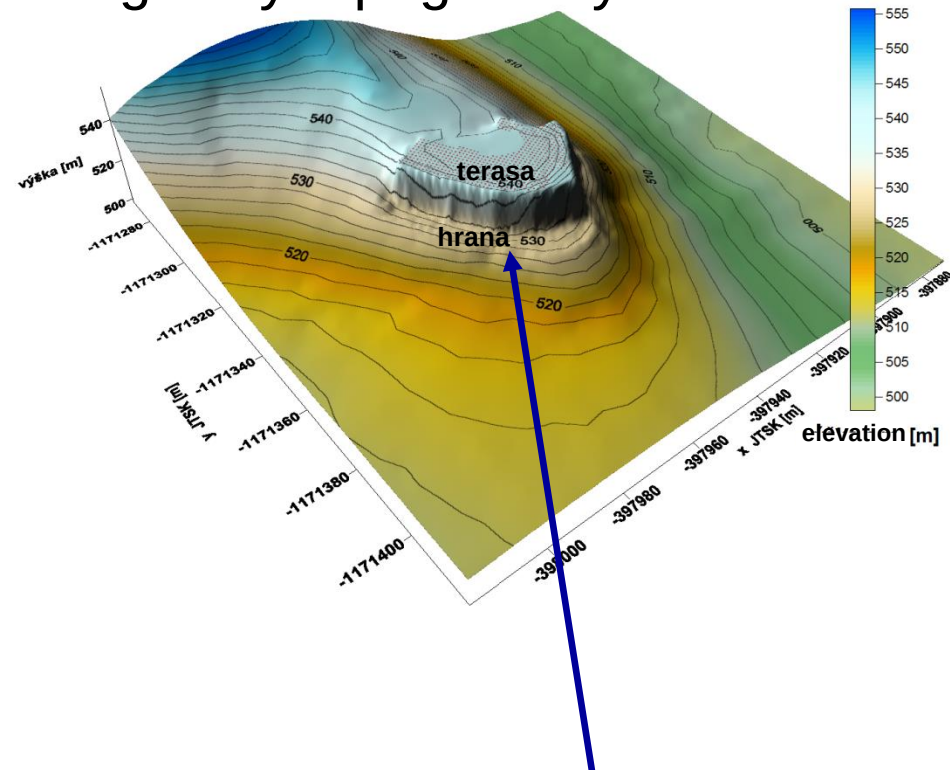


priebeh meraného “g”

merané g

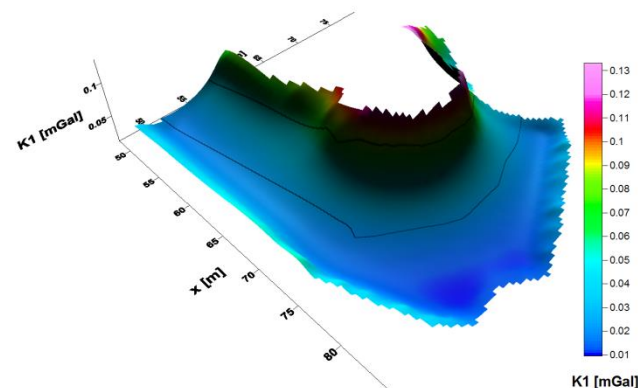
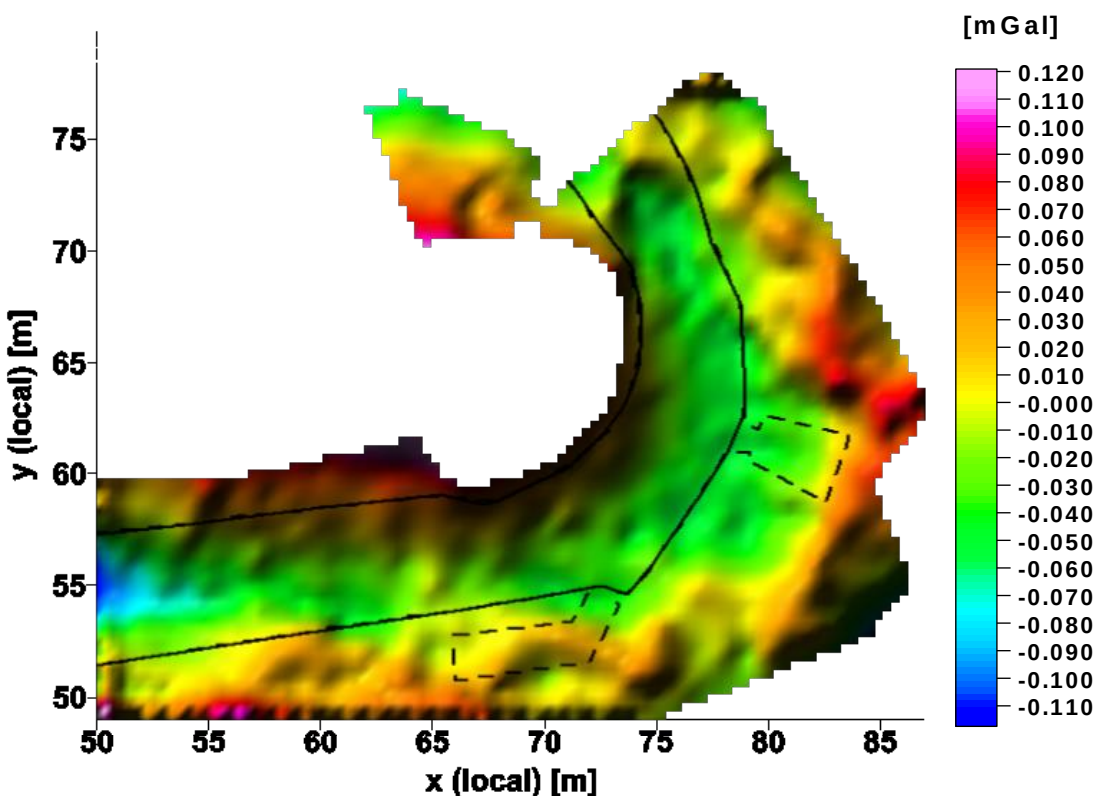


digitálny topografický model

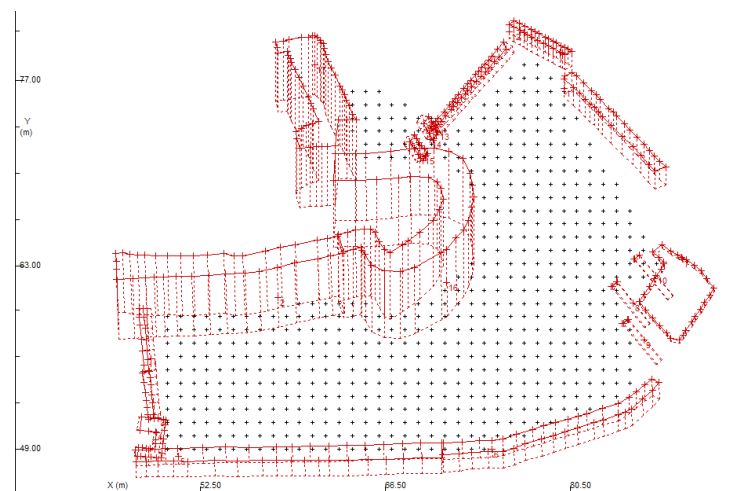


výrazný prejav ostrej hrany za múrmi
(vzduch = chýbajúce hmoty = pokles g)

mapa úplných Bouguerových anomálií



gravitačný efekt múrov



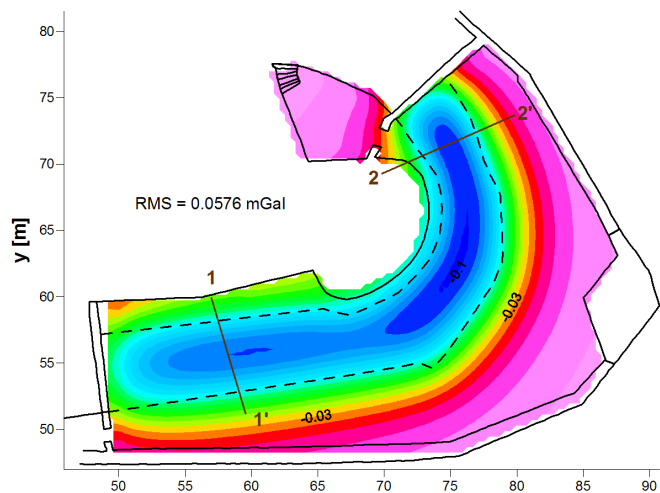
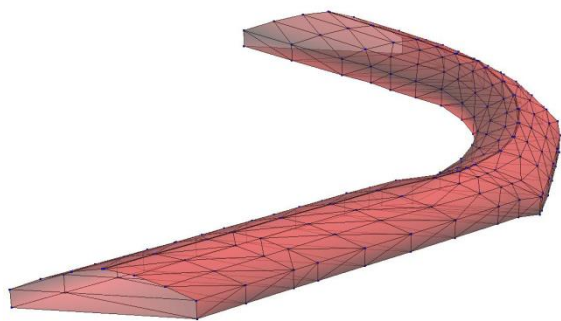
model múrov

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

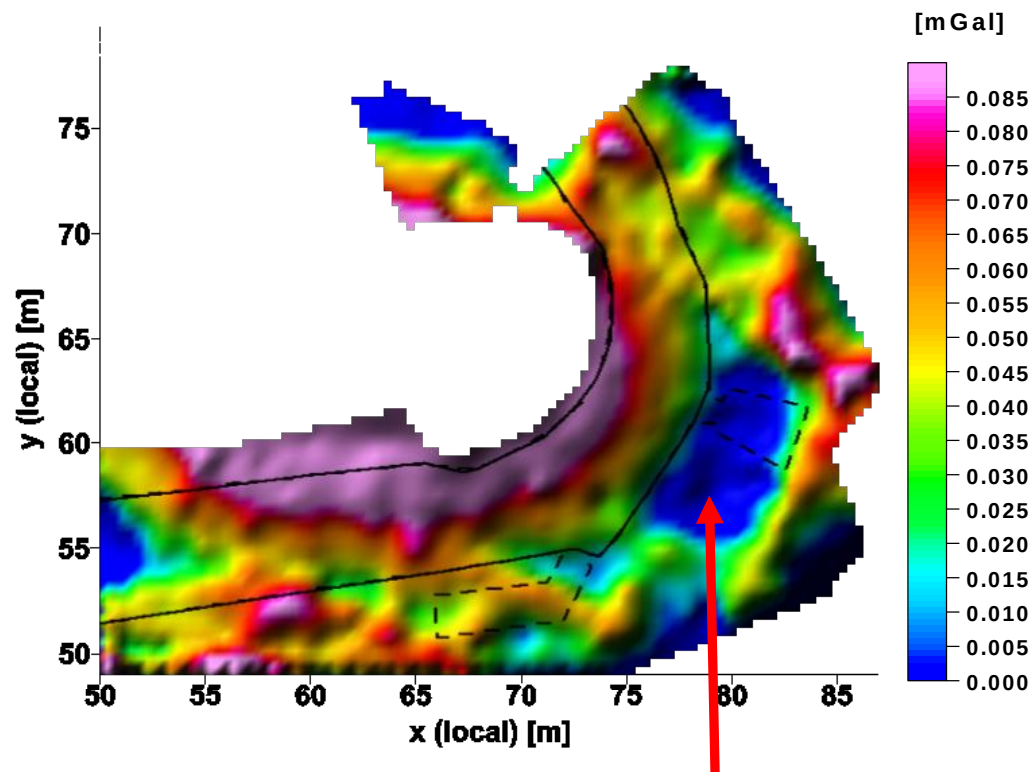
výsledky – Oravský zámok, veľká terasa

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

3D model tunelu

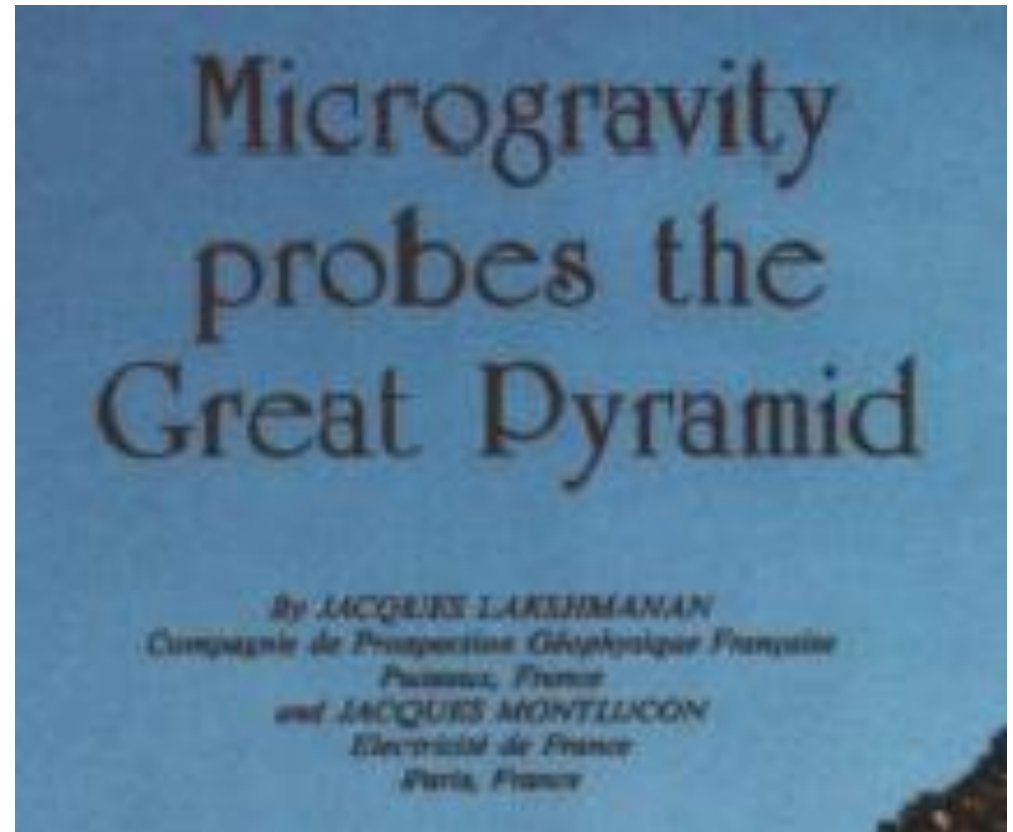


gravitačný efekt tunelu



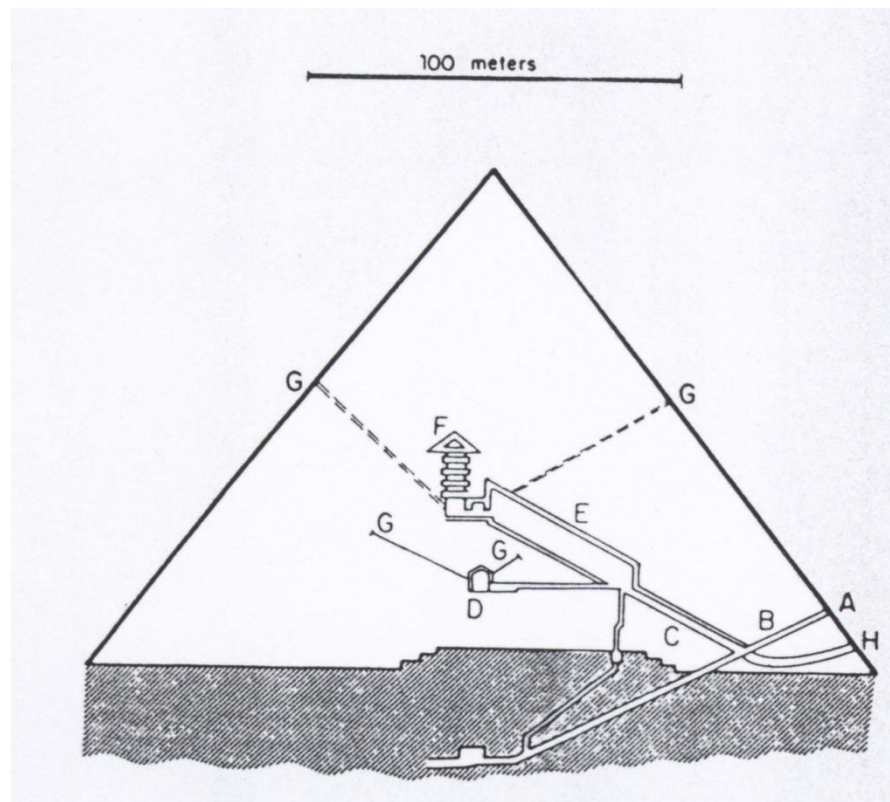
dôležitá anomálna oblasť –
prejav časti kazemát?

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogravimetrický projekt

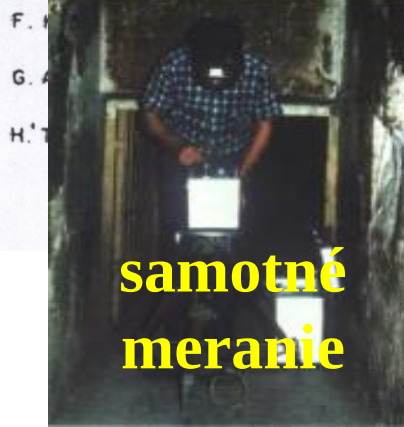


Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

štruktúra pyramídy

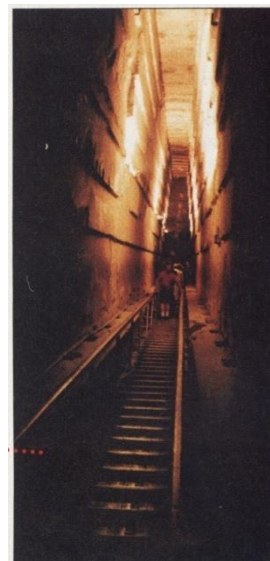
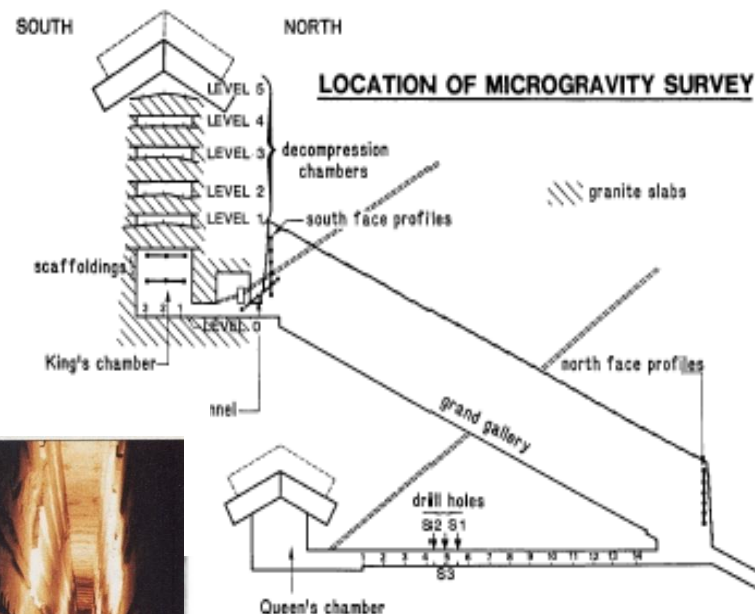


- A. NORTHERN ENTRY
- B. DESCENDING CORRIDOR
- C. RISING CORRIDOR
- D. QUEEN'S CHAMBER
- E. LARGE GALLERY



**samotné
meranie**

merané priestory



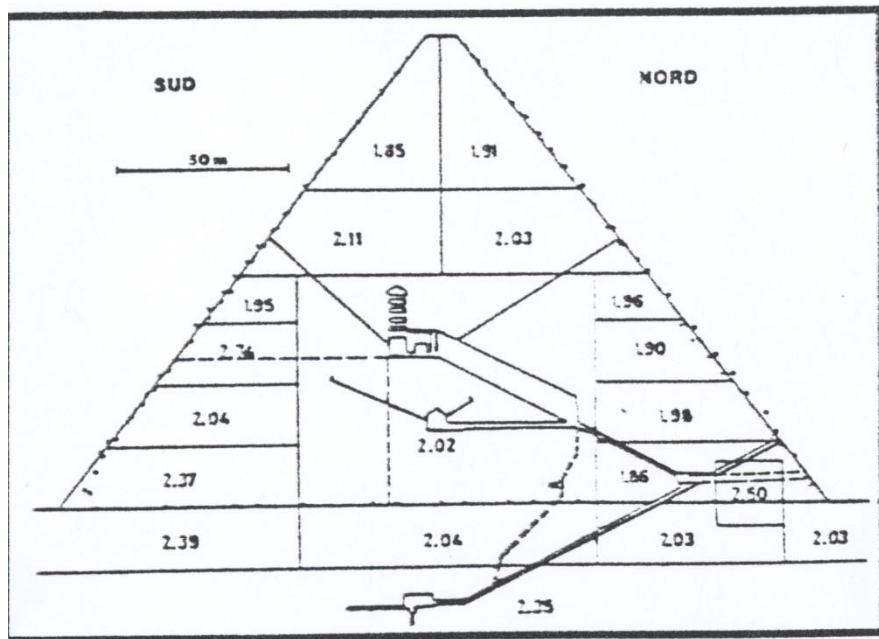
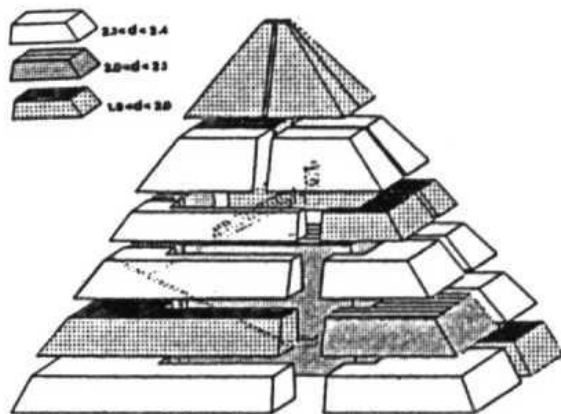
**veľká
galéria**



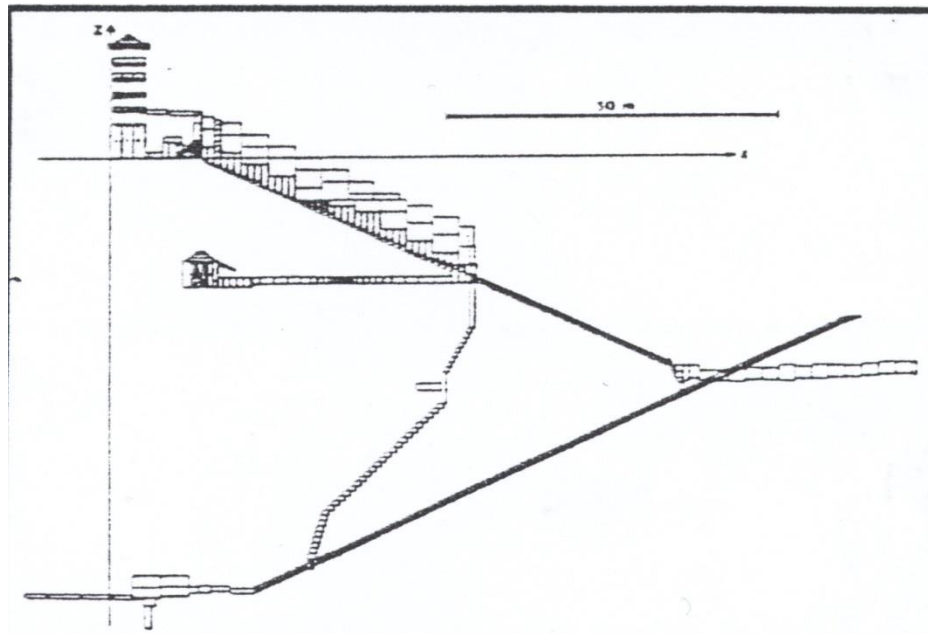
**kráľovská
komnata**

odhad. chyba: 2-10 μ Gal

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt



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



známe dutiny

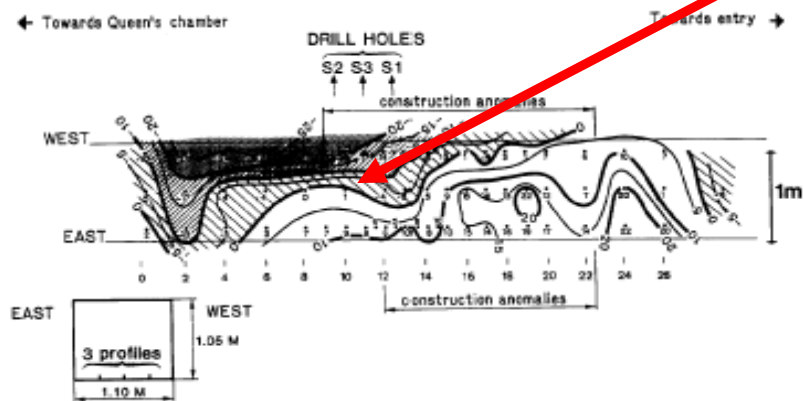
model hustotného „rozvrstvenia“ pyramídy

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

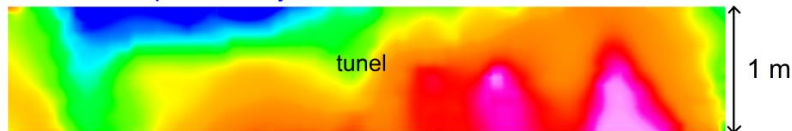
výsledky

hlavný výsledok:

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

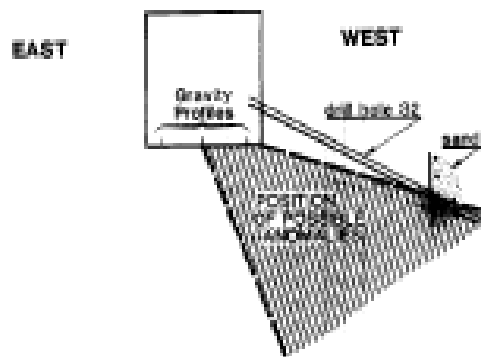


ZÁPAD polohy
prieskumných vrtov



VÝCHOD

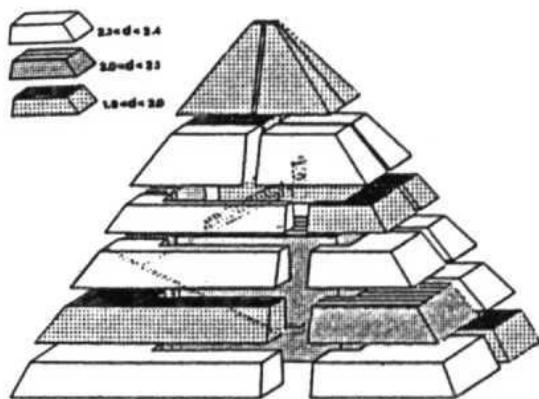
overenie anomálie:



3 vrty dosiahli po 2.1 m dutinu vyplnenú pieskom, (modelovaný objem dosahuje až 40 m³)

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

výsledky – možná interpretácia



Densities of the large block structure of the Cheops Pyramid.

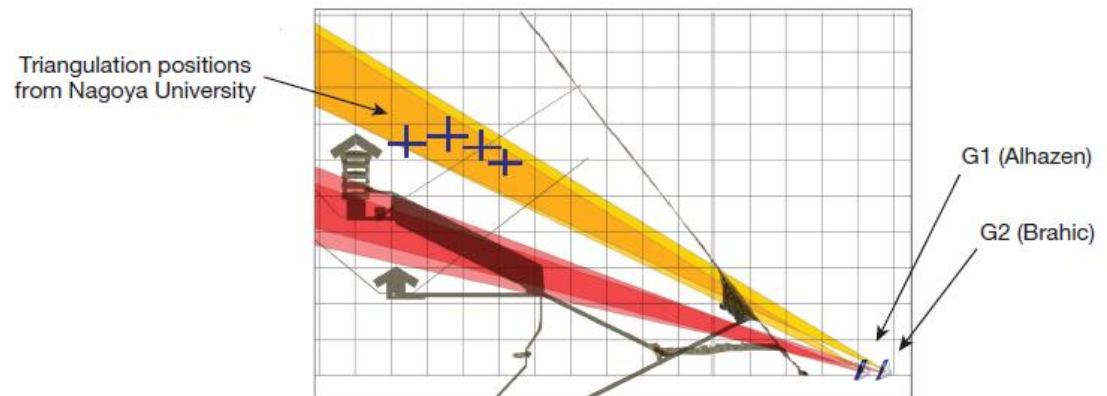
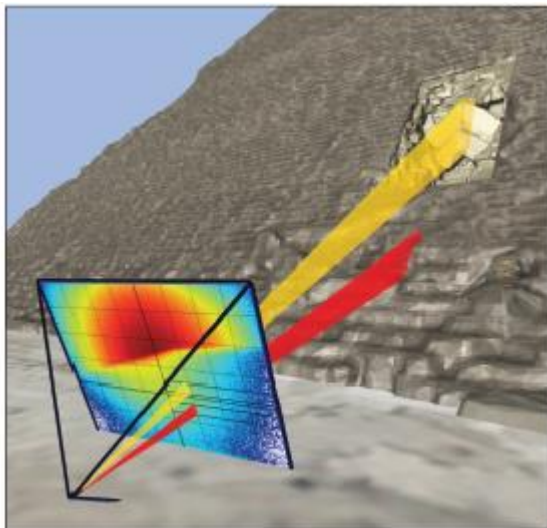
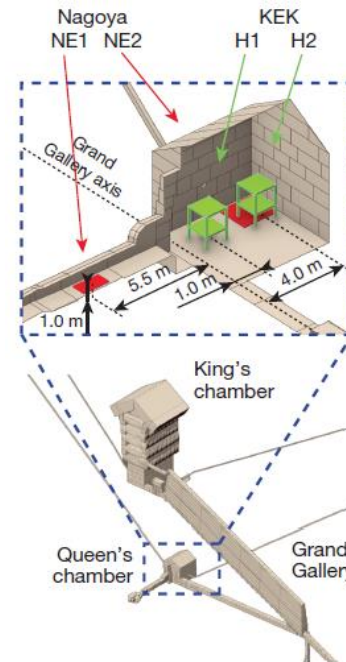
zvyšok pieskovej rampy (?)



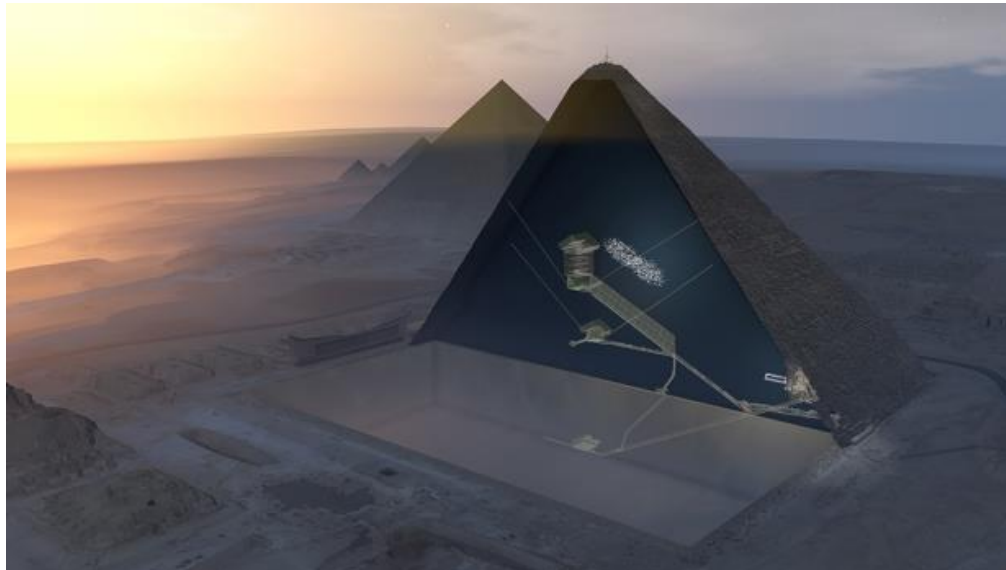
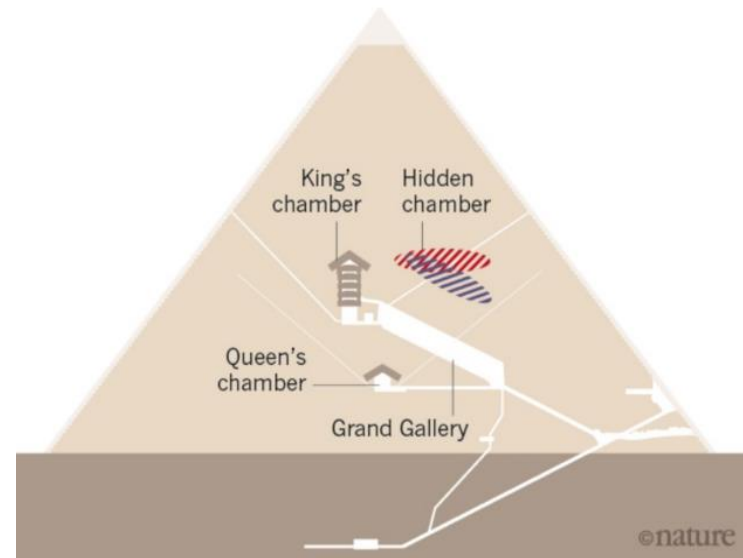
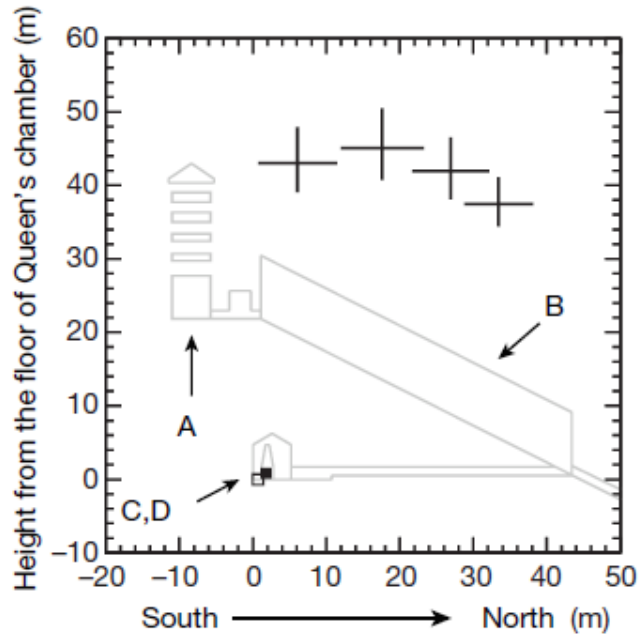
INTERPRETÁCIA PRIEBEHU
VNÚTORNEJ ŠPIRÁLOVEJ
RAMPY V CHUFUOVEJ
PYRAMÍDE



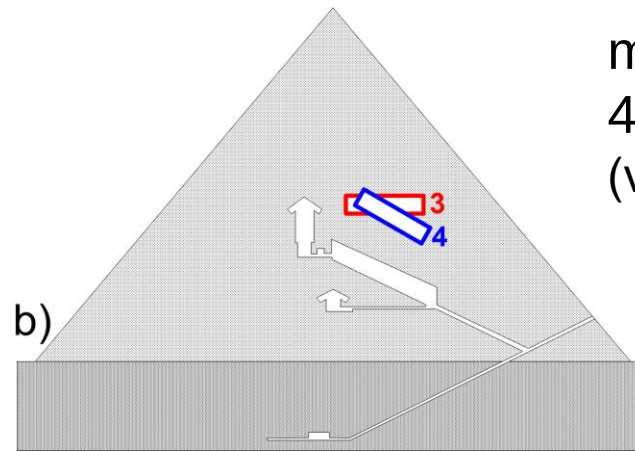
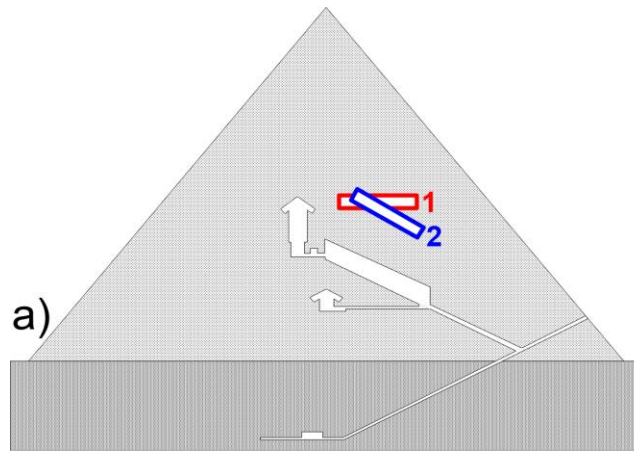
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void) v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



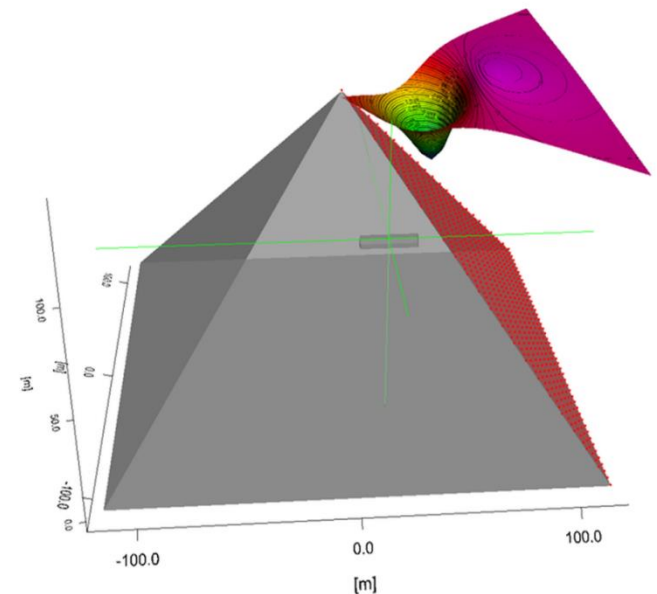
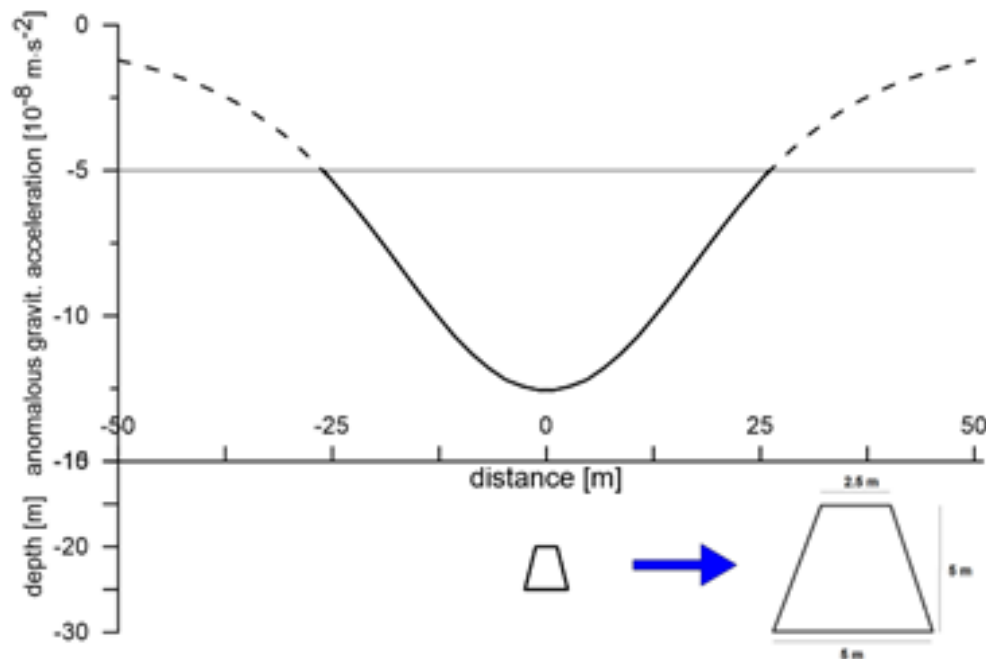
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void)
v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



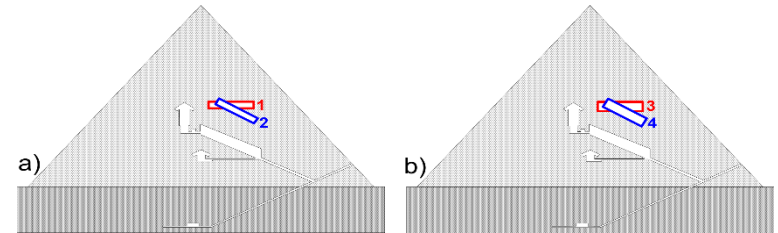
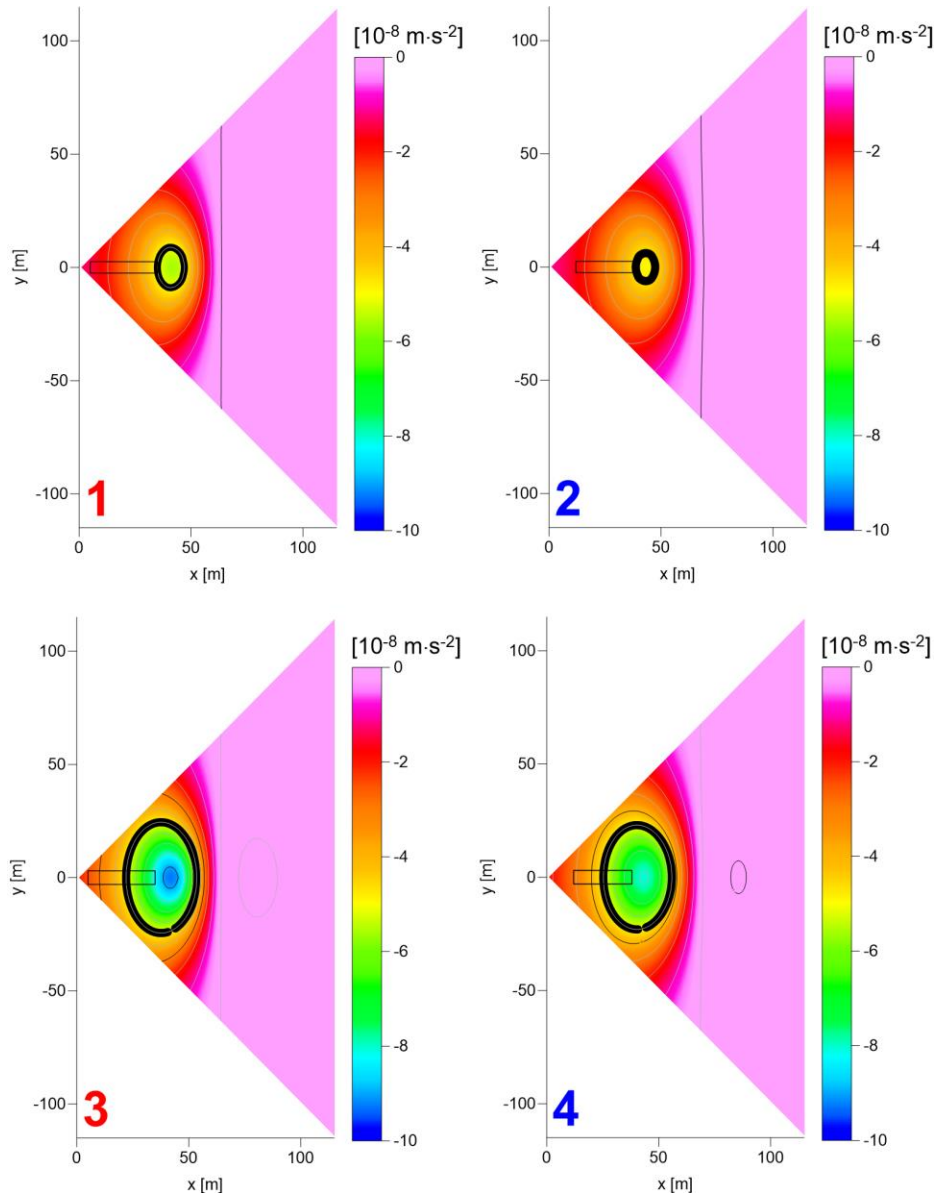
Zaujímavosť – objavenie novej dutiny (tzv. Big Void)
v Cheopsovej pyramíde pomocou registrácie kozmického žiarenia (muóny).



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.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Archaeological Science: Reports

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jasrep



The discovery of the “muons-chamber” in the Great pyramid; could high-precision microgravimetry also map the chamber?

R. Pašteka^{a,*}, P. Zahorec^b, J. Papčo^c, J. Mrlina^d, H.-J. Götze^e, S. Schmidt^e

^a Department of Engineering Geology, Hydrogeology and Applied Geophysics, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Ilkovičova 6, 842 48 Bratislava, Slovak Republic

^b Division of Geophysics, Earth Science Institute of the Slovak Academy of Sciences, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, Slovak Republic

^c Department of Theoretical Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovak Republic

^d Institute of Geophysics of the Czech Academy of Sciences, Boční II/1401, 141 31 Prague 4, Czech Republic

^e Department of Geophysics, Institute for Geosciences, Christian-Albrechts University, Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Pyramid chamber
3D gravity model
Microgravity measurement
Muon scanning
Big Void
Archaeogeophysics

ABSTRACT

In this study we have investigated the question as to whether highly accurate microgravimetric measurements on the side of a pyramid could also map the recently discovered “muon chamber” in the Great Pyramid of Giza in Egypt. Exploiting the technical capabilities of modern gravimeters, we performed three-dimensional model calculations with realistic model parameters obtained from published literature. Under ideal experimental conditions researchers are able to measure relatively small gravity effects around $-1 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-2}$. However, to transfer the model scenario to investigating the real-world pyramid chamber we need to know what the chamber may contain – such knowledge can help in estimating a more realistic result.