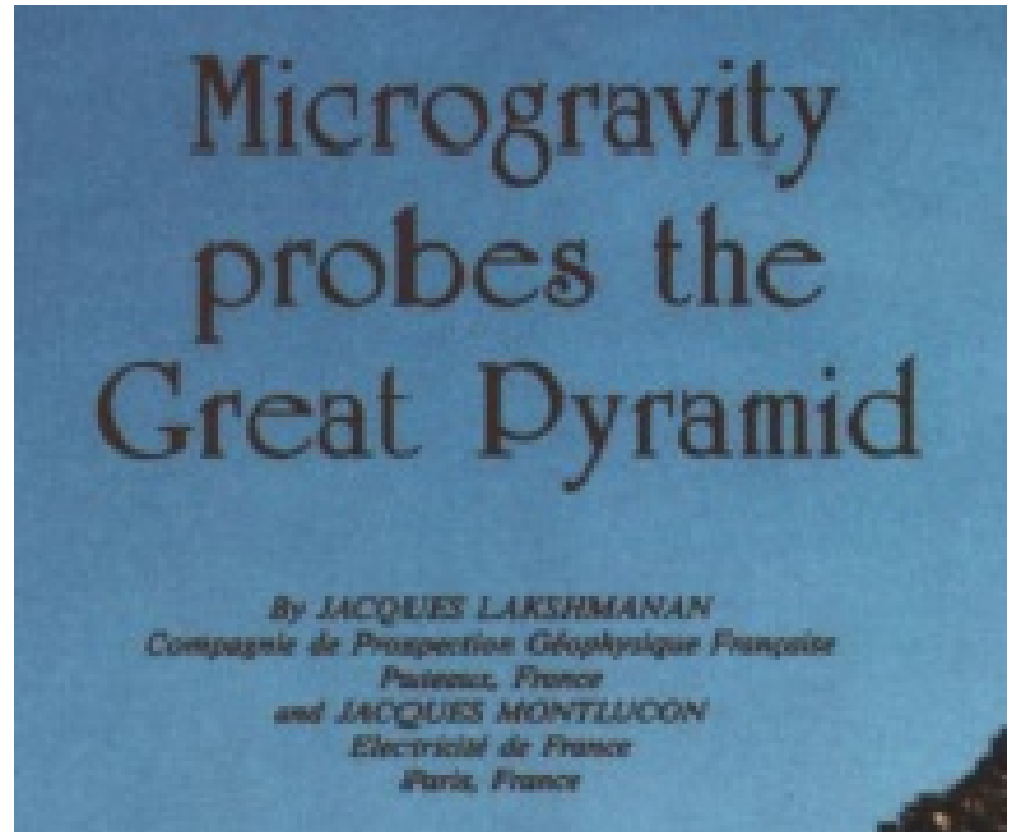


PRÍKLADY POUŽITIA MIKROGRAVIMETRIE V ARCHEOLÓGII – DETEKCIA DUTÍN

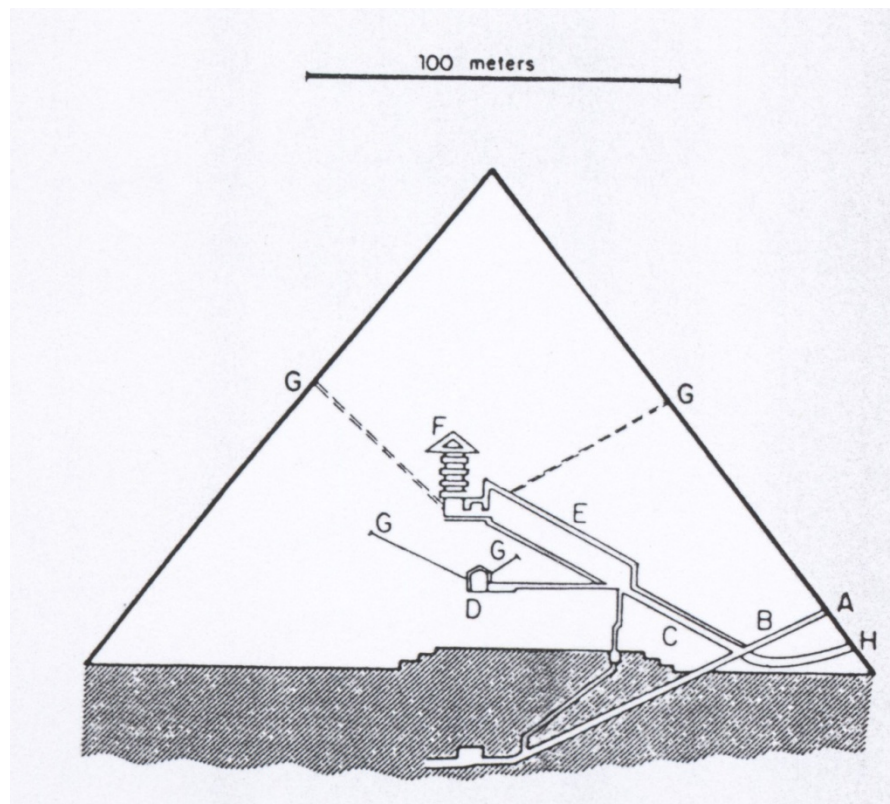
- prieskum Cheopsovej pyramídy*
- prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove*
- Dóm Sv. Mikuláša, Trnava*
- veľká terasa, Oravský hrad*
- kostol Narodenia Panny Márie, Horné Krškany*
- kostol a kláštor Katarínka, JZ Slovensko*

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrogravimetrický projekt



Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

štruktúra pyramídy

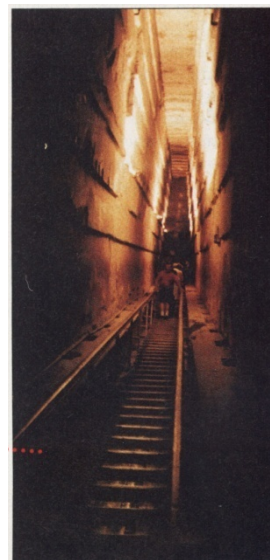
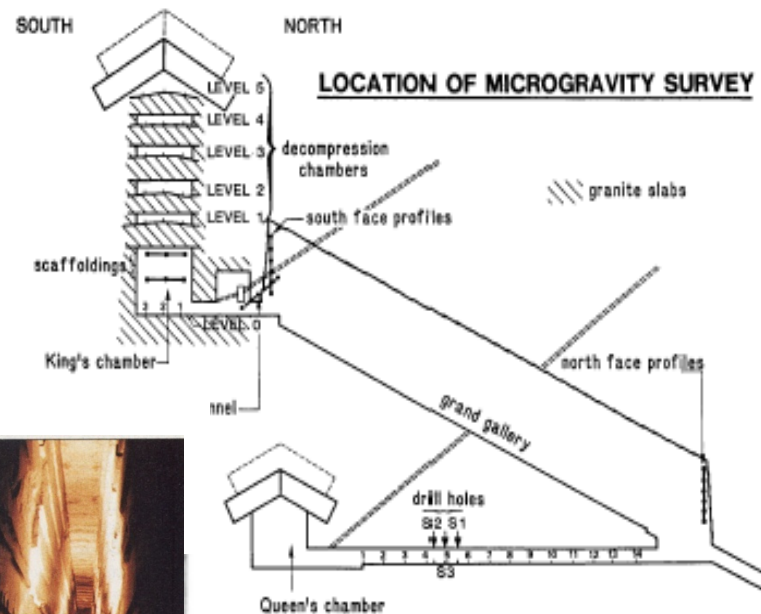


- A. NORTHERN ENTRY
- B. DESCENDING CORRIDOR
- C. RISING CORRIDOR
- D. QUEEN'S CHAMBER
- E. LARGE GALLERY



**samotné
meranie**

merané priestory



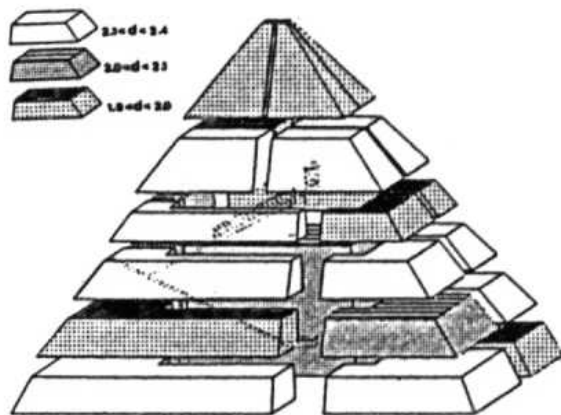
**veľká
galéria**



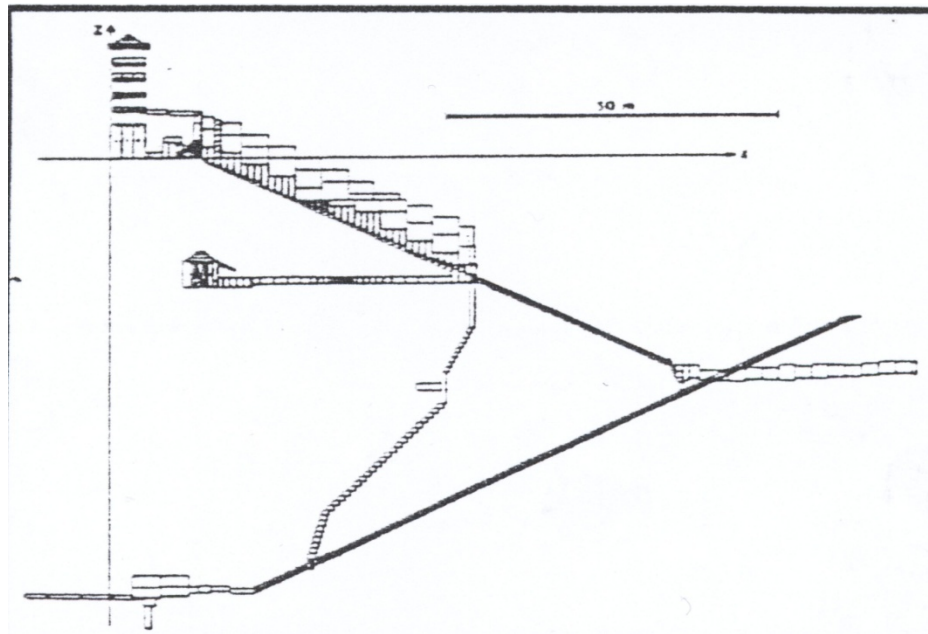
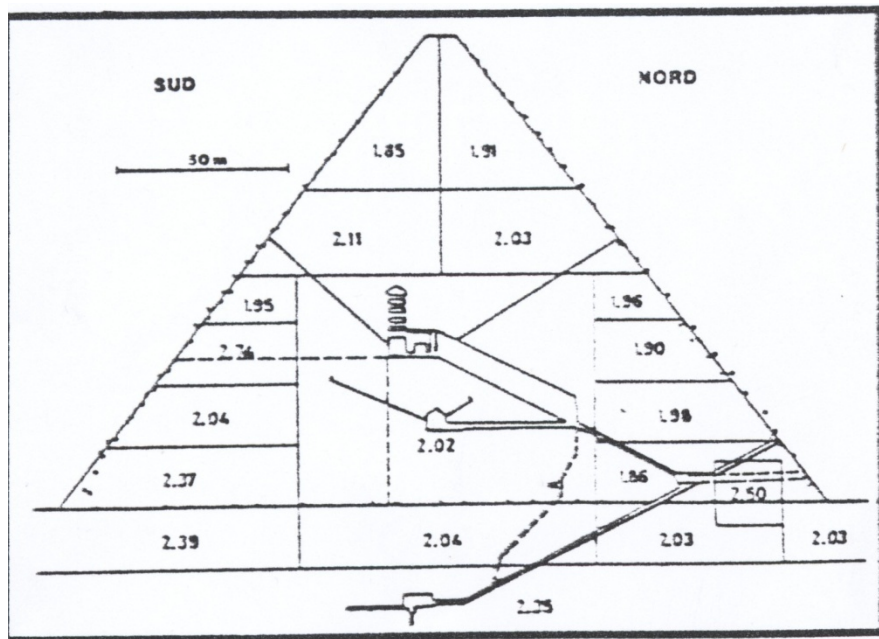
**kráľovská
komnata**

odhad. chyba: 2-10 μ Gal

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt



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



známe dutiny

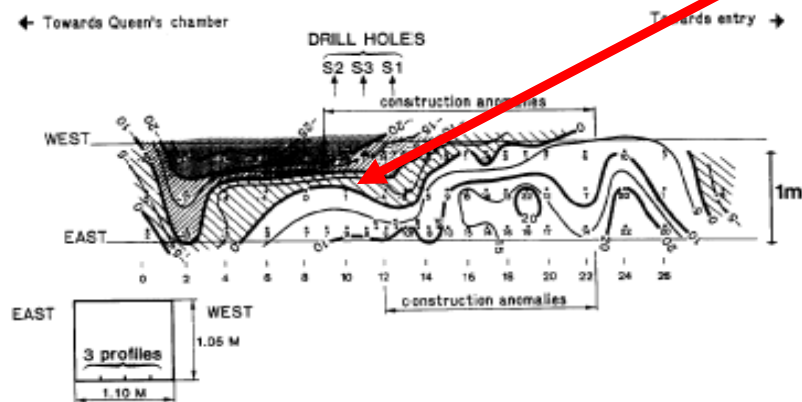
model hustotného „rozvrstvenia“ pyramídy

Cheopsova pyramída, Egypt – francúzsky mikrograv. projekt

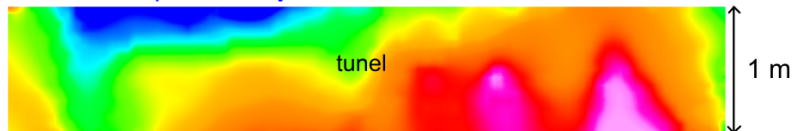
výsledky

hlavný výsledok:

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

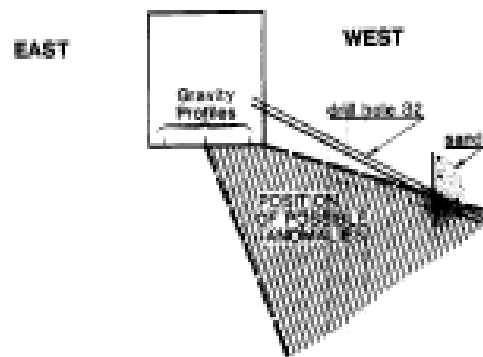


ZÁPAD polohy
prieskumných vrtov



VÝCHOD

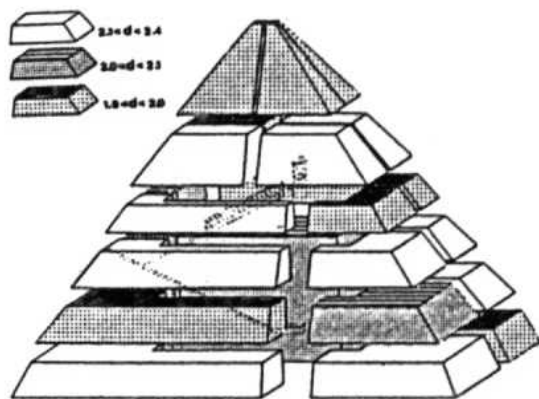
overenie anomálie:



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

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



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

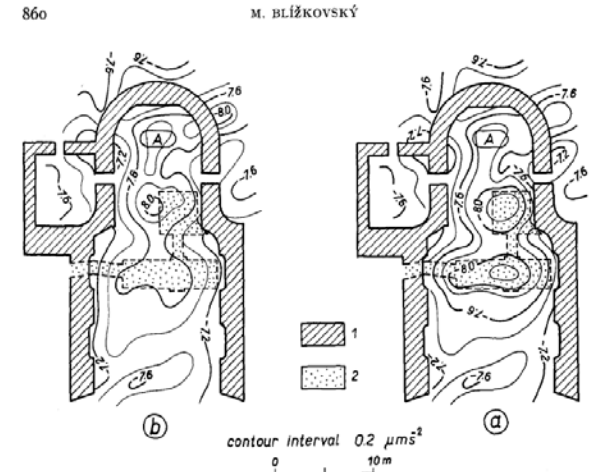
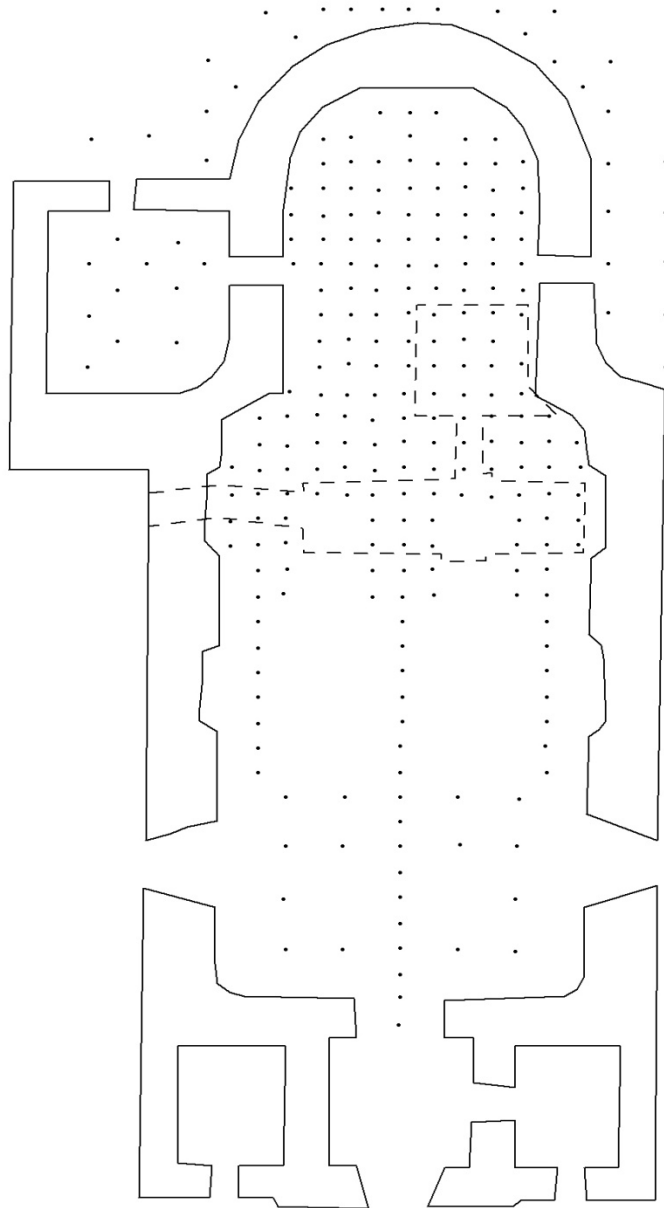
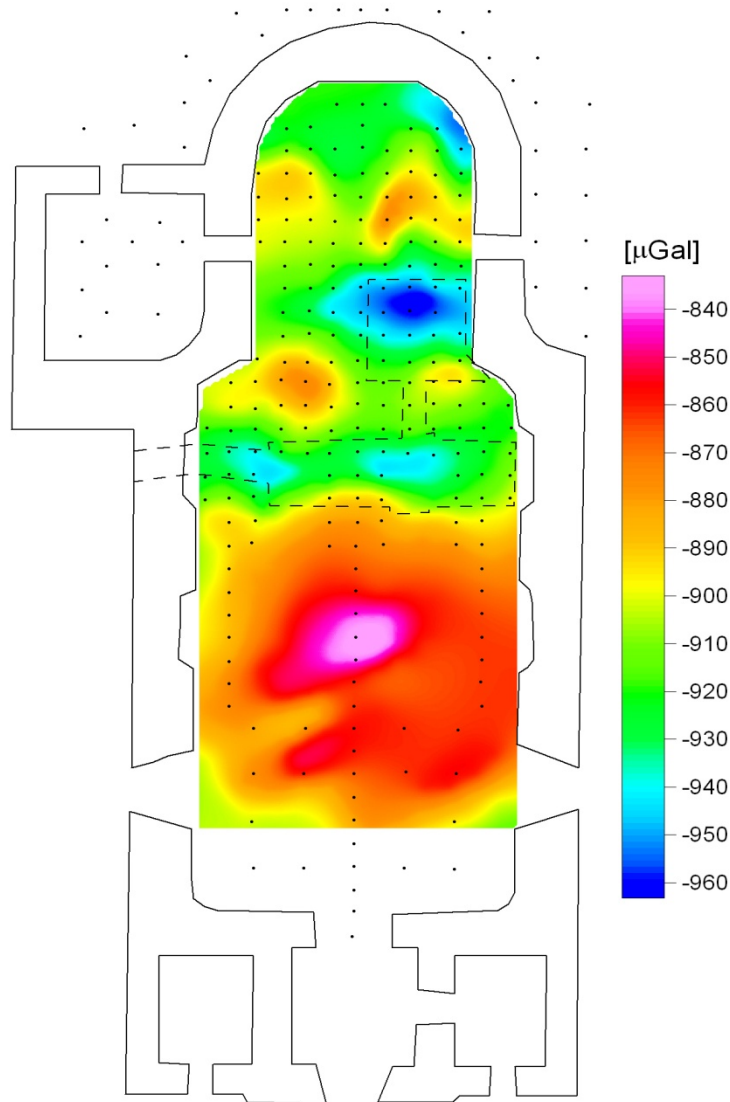


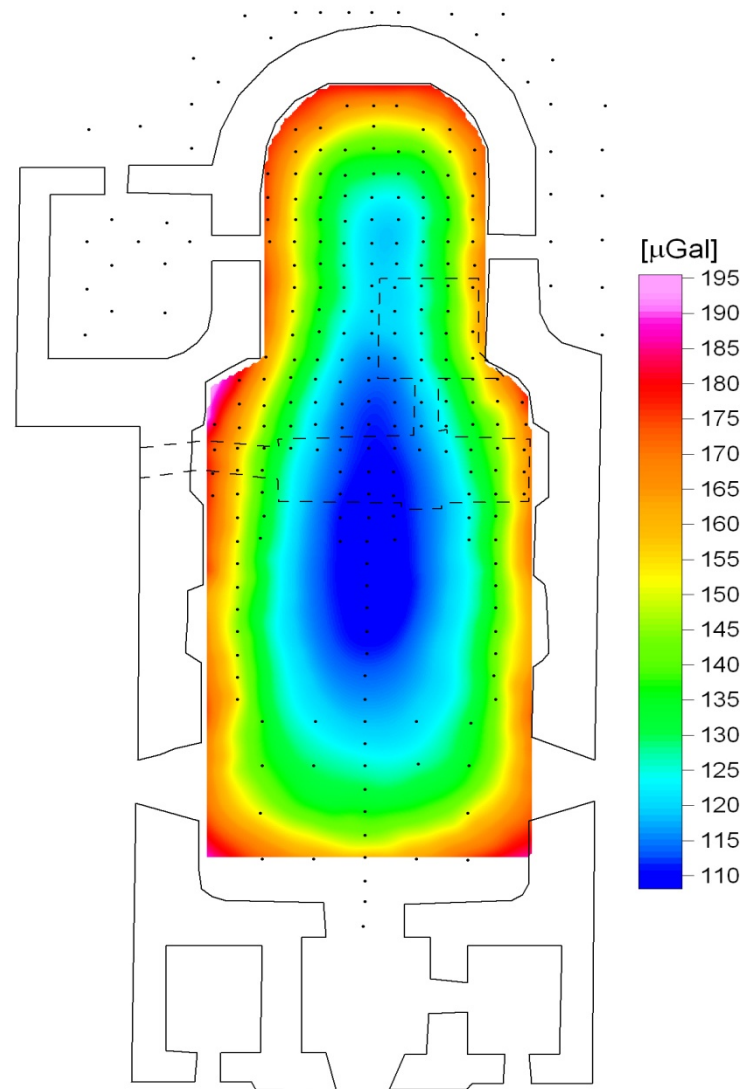
Fig. 10. Maps of Bouguer anomalies in the St. Václav church Tovačov. a) map corrected for gravity effect of walls, b) map corrected for gravity effects of walls and crypts.

- 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)

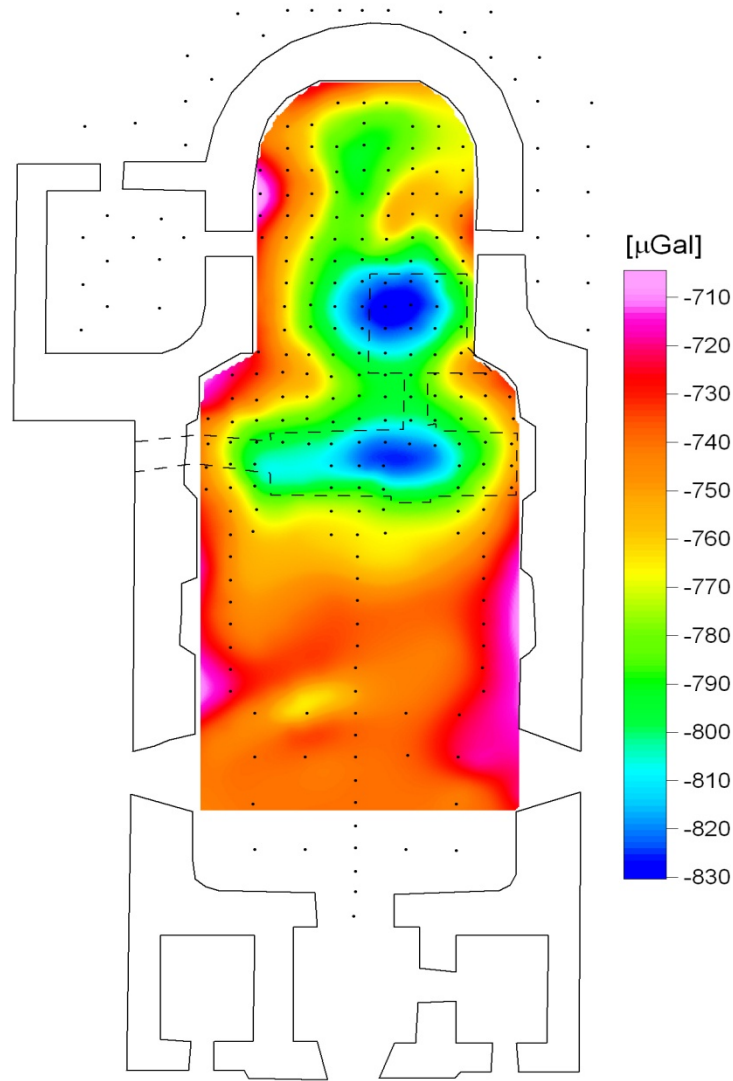


neúplná Bouguerova anomália
(bez topokorekcií a opráv na účinky múrov)

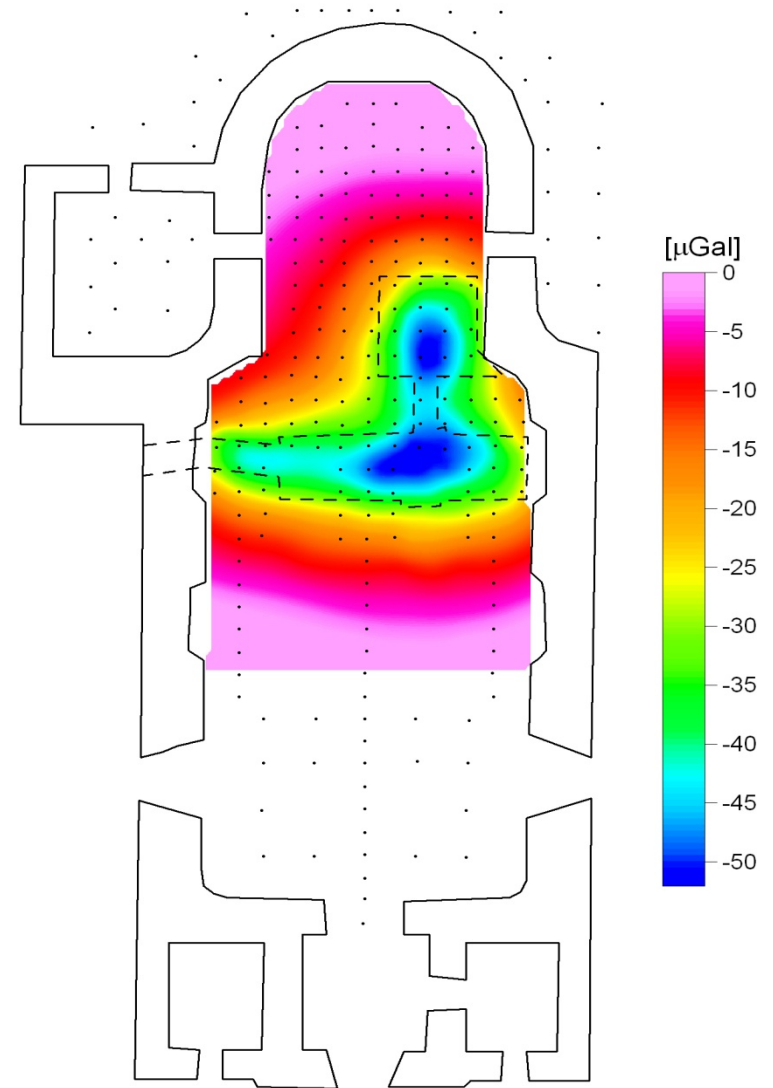


gravitačný účinok múrov

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

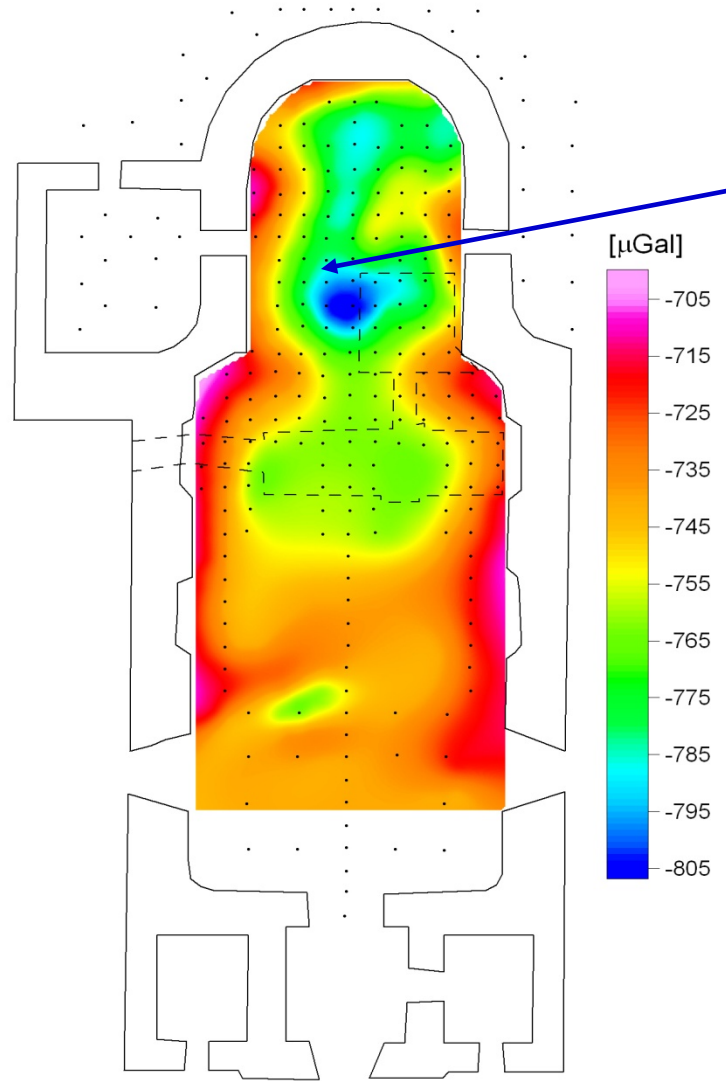


úplná Bouguerova anomália
(s opravami na účinky múrov)



gravitačný účinok známych krýpt

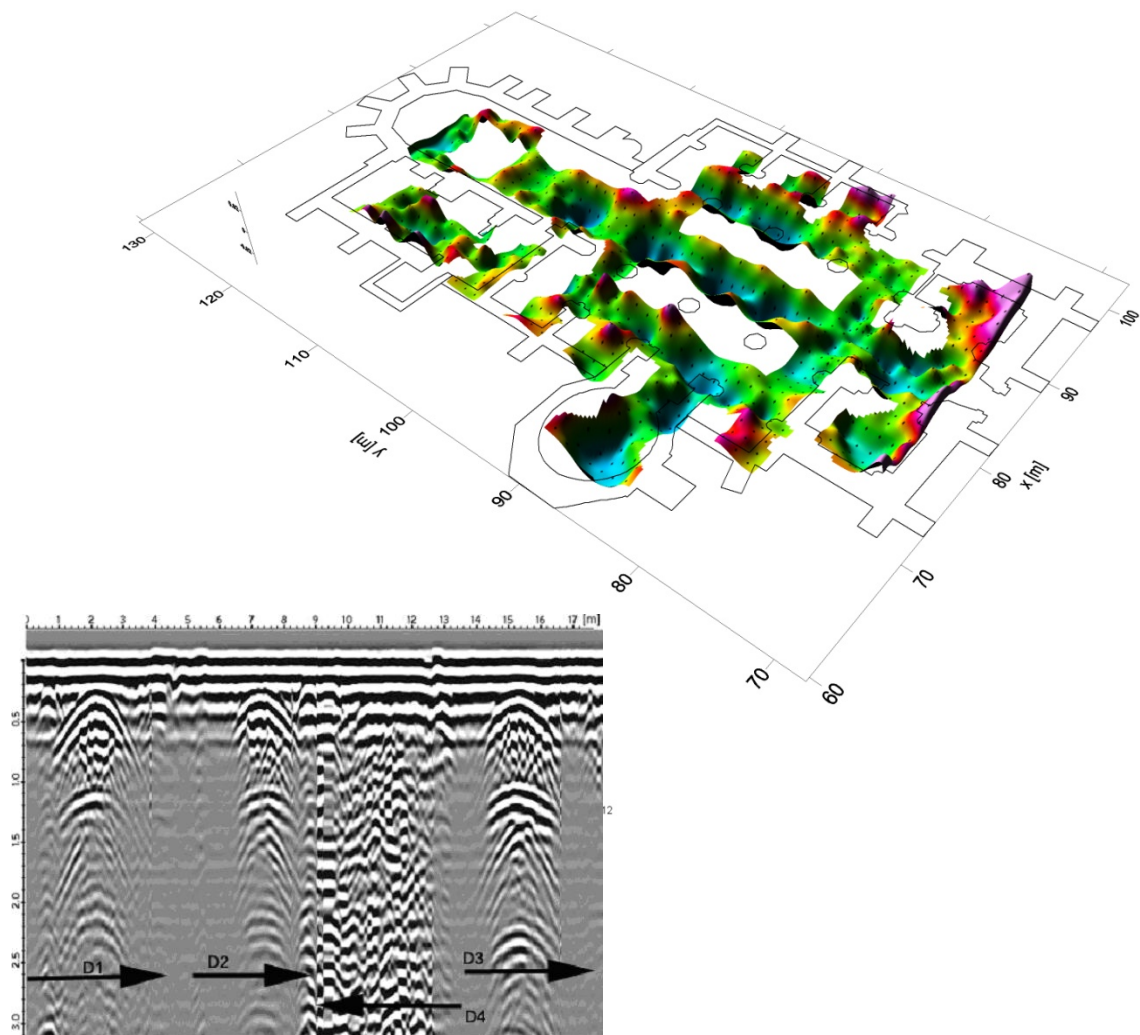
výsledky mikrogravimetrického prieskumu kostola Sv. Václava v Tovačove (Bližkovský 1976, 1979)



v priestore výslednej
negatívnej anomálie
boli nájdené nové,
dovtedy neznáme
priestory

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

Mikrogravimetrický a georadarový prieskum Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



september 2006

výsledky geofyzikálneho prieskumu

Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

použitá metodika:

- mikrogravimetria v sieti 1 x 1 m

(prístroje: Scintrex CG-3M, CG-5, Sodin 214G)

(realizované firmou G-trend s.r.o. a KAEG PRIF UK)

- georadar v tzv. trasovacej modifikácii

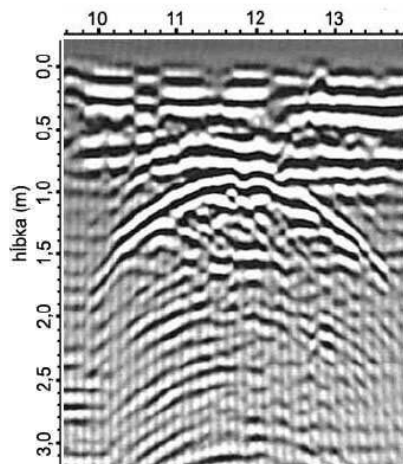
(prístroj: Mala Easy Locator EXM+ s 500 MHz a 350 MHz anténou)

(realizované firmou Terra s.r.o., Košice)

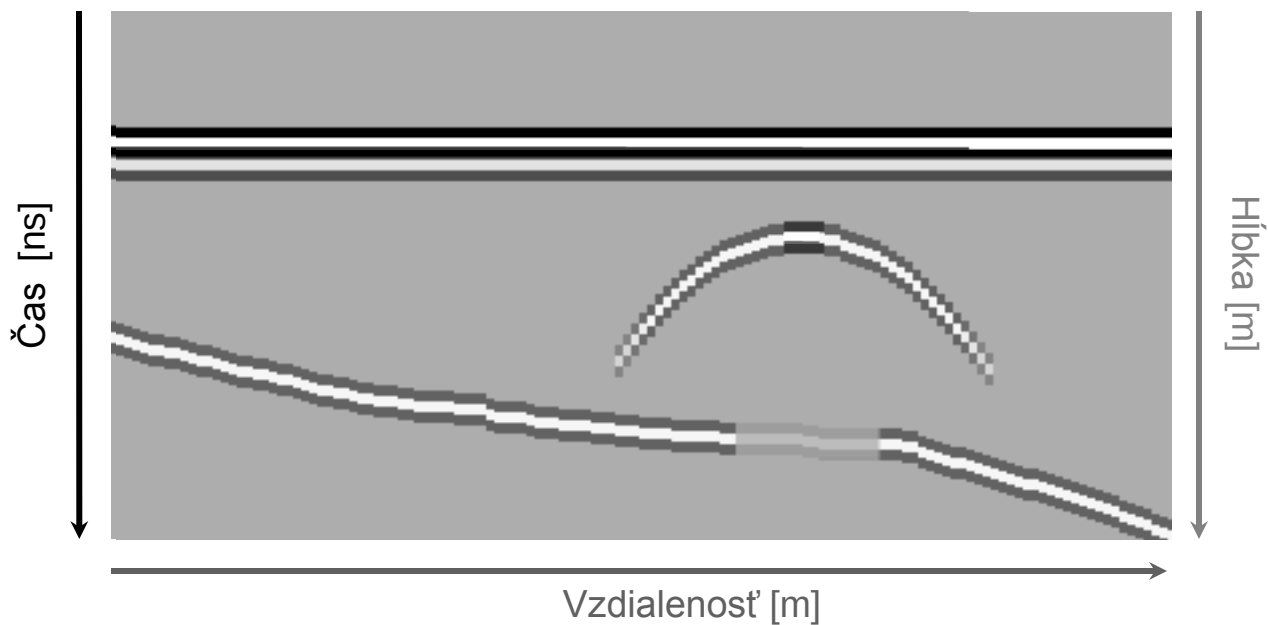
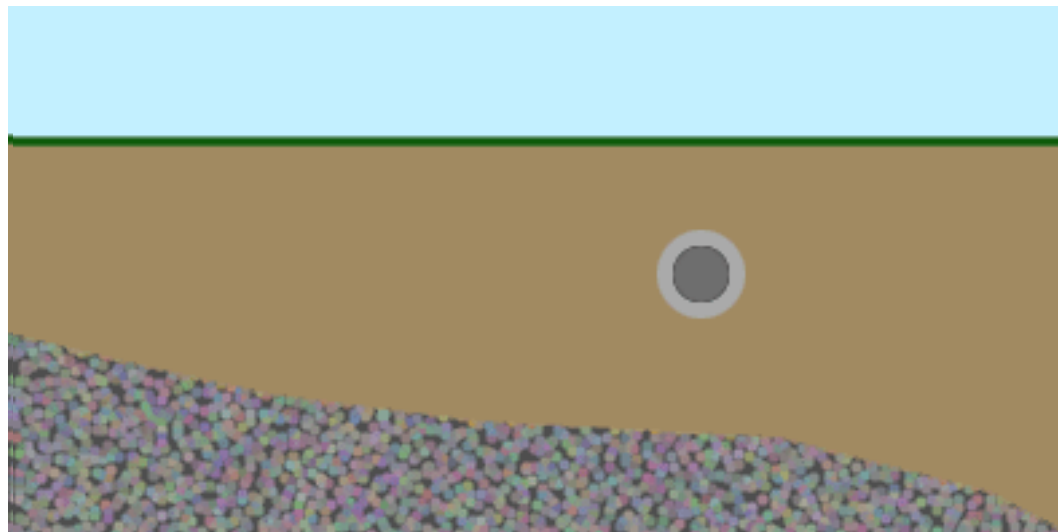
použitie georadaru



príklad merania
radarom v teréne

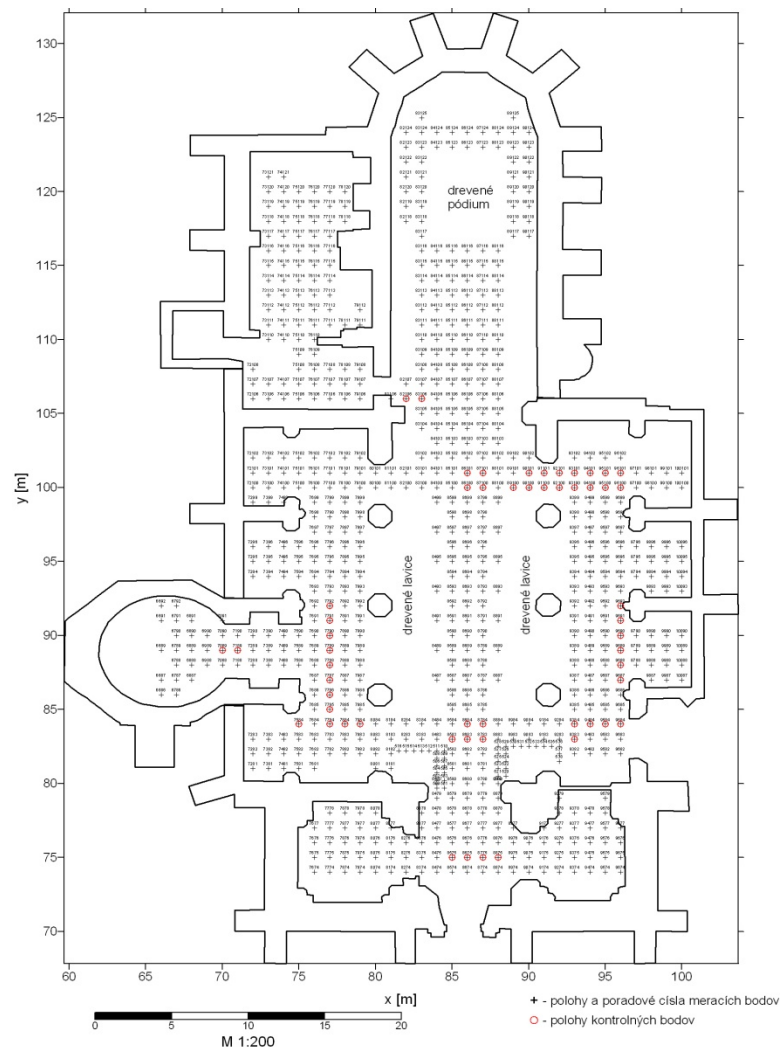


príklad radargramu



výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

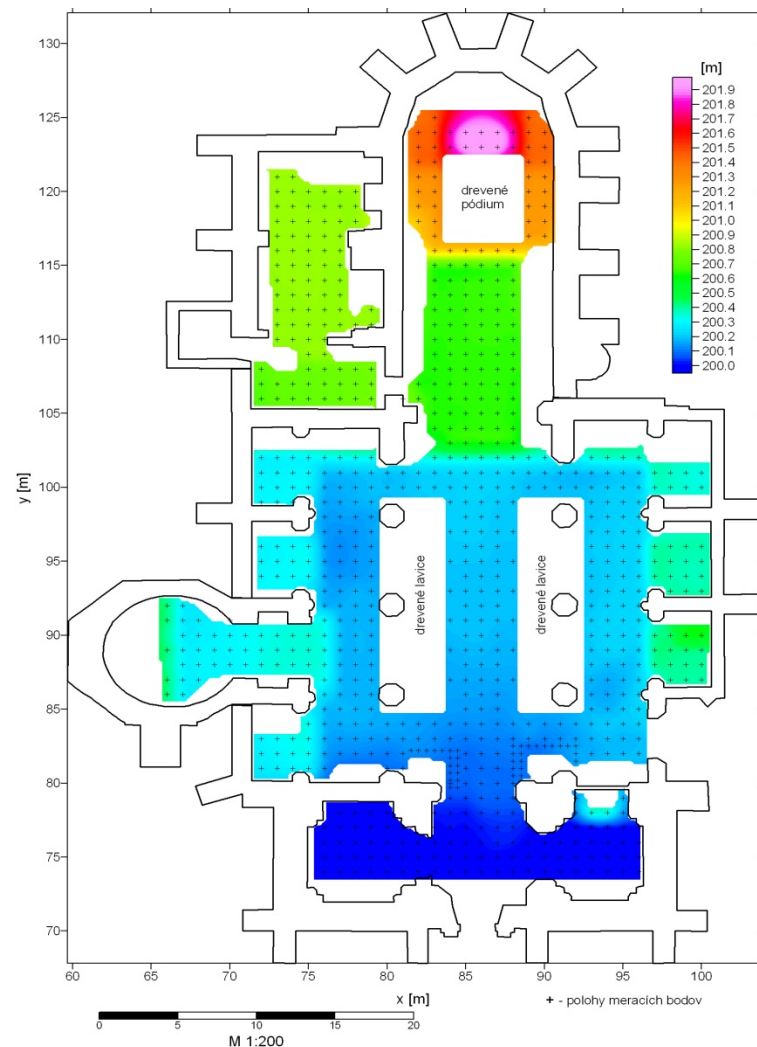
mikrogravimetria:



Obr. 2 Polohy meracích a kontrolných bodov v priestore kostola

4

rozmiestnenie bodov merania
(854 bodov, plocha cca. 30 x 50m!)



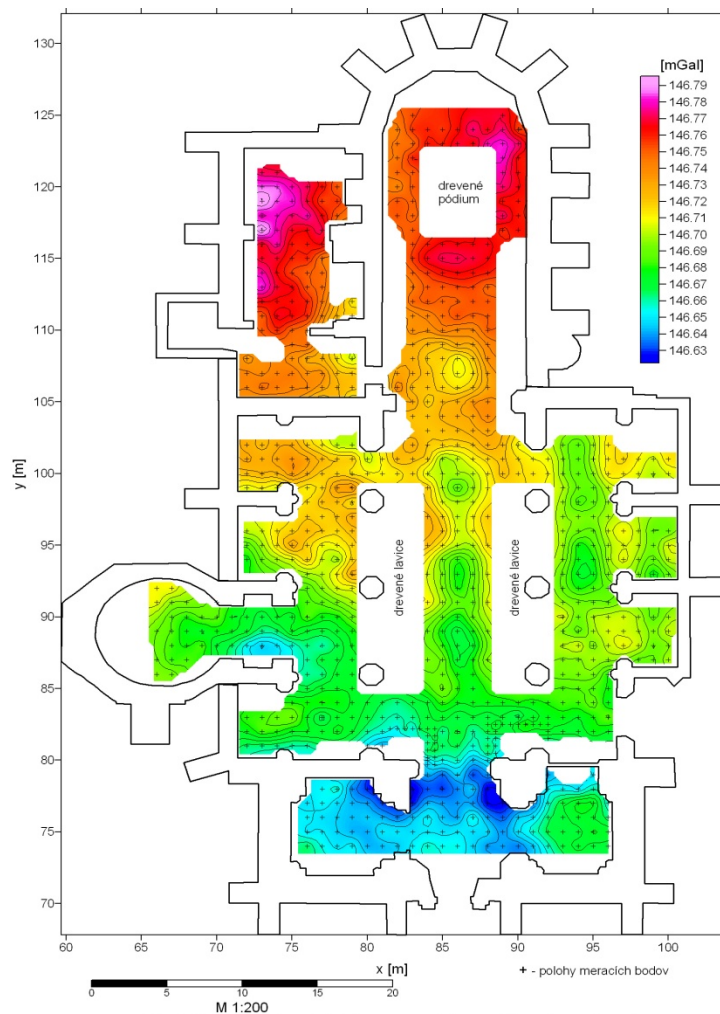
Obr. 3 Mapa priebehu nadmorských výšok meracích bodov v priestore kostola

5

nadmorské výšky bodov merania
(rozpätie: 2.018 m)

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

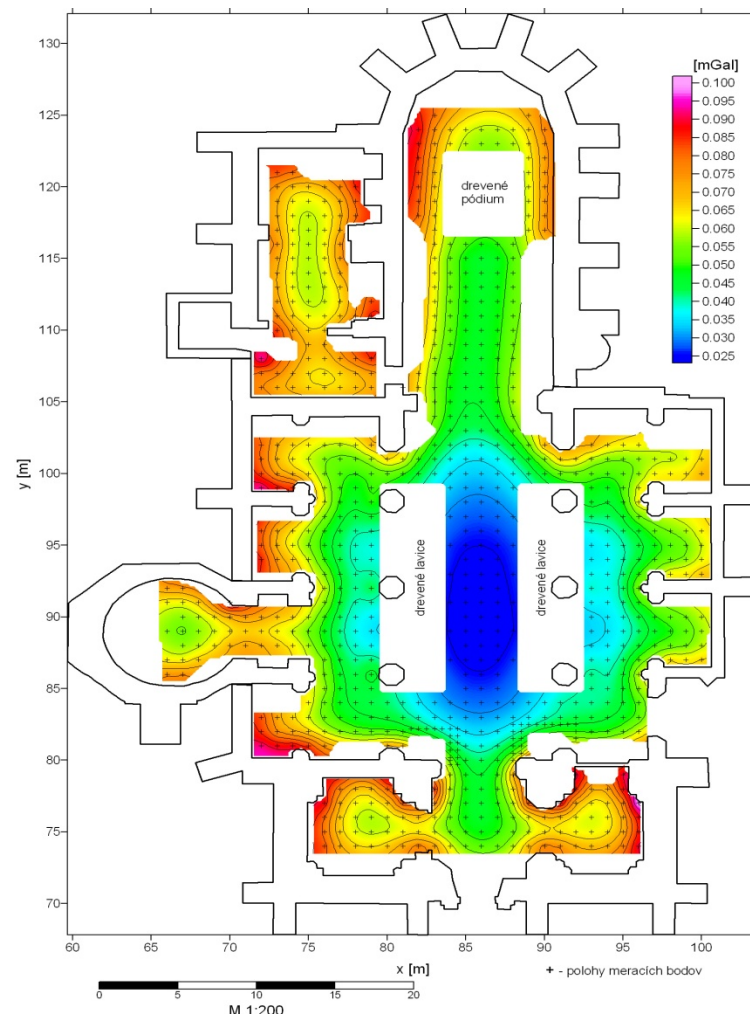
mikrogravimetria:



Obr. 5 Mapa priebehu neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola
(bez zavedenia opráv o gravitačný účinok múrov), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

8

neúplné Bouguerove anomálie
bez opravy o účinky múrov
(pre $\sigma = 1.80 \text{ g.cm}^{-3}$)



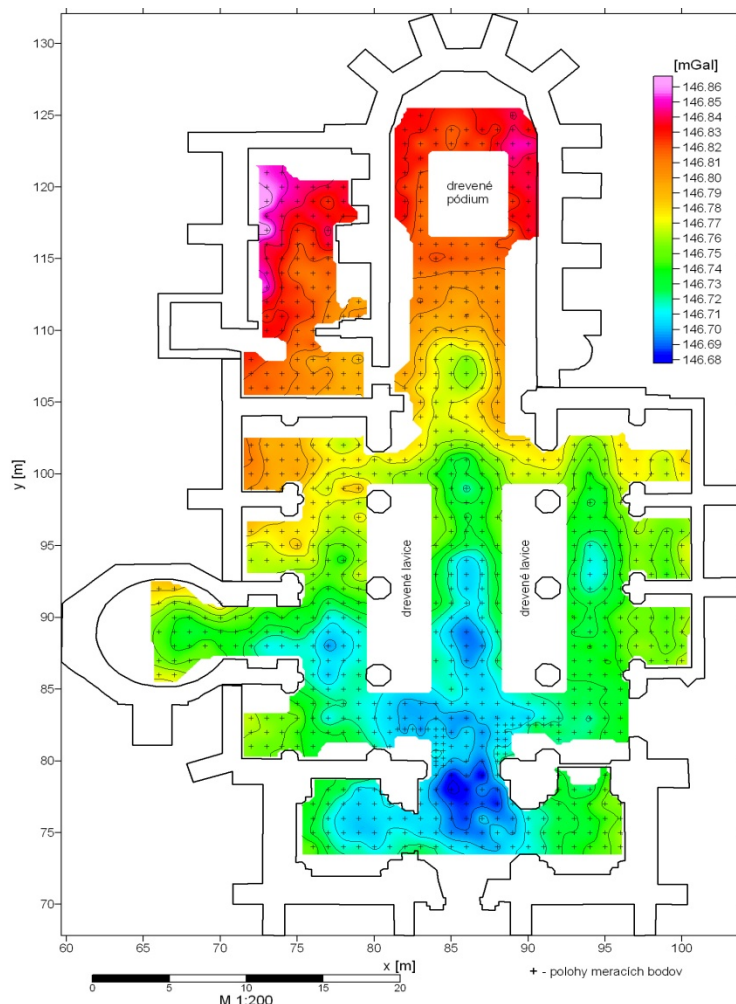
Obr. 6 Mapa priebehu gravitačných účinkov múrov v priestore kostola

9

gravitačný účinok múrov s hustotou
 1.70 g.cm^{-3} (nepálená tehla)
(18 polygon. hranolov, soft.: Potent)

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

mikrogravimetria:

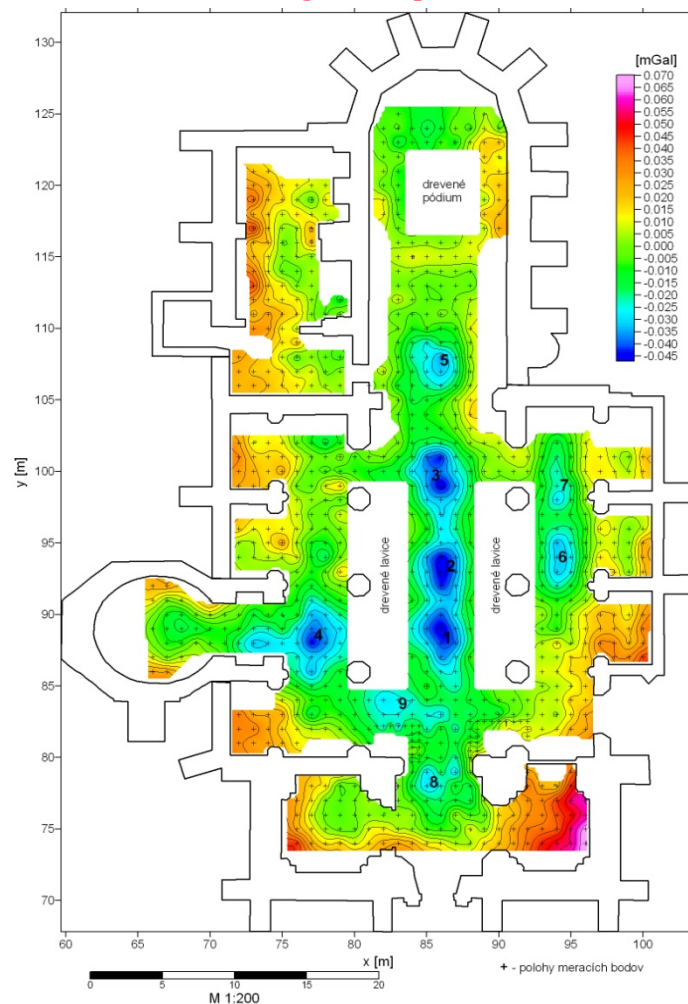


Obr. 7 Mapa priebehu neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

10

neúplné Bouguerove anomálie
s opravou o účinky múrov
(pre $\sigma = 1.80 \text{ g.cm}^{-3}$)

výstup



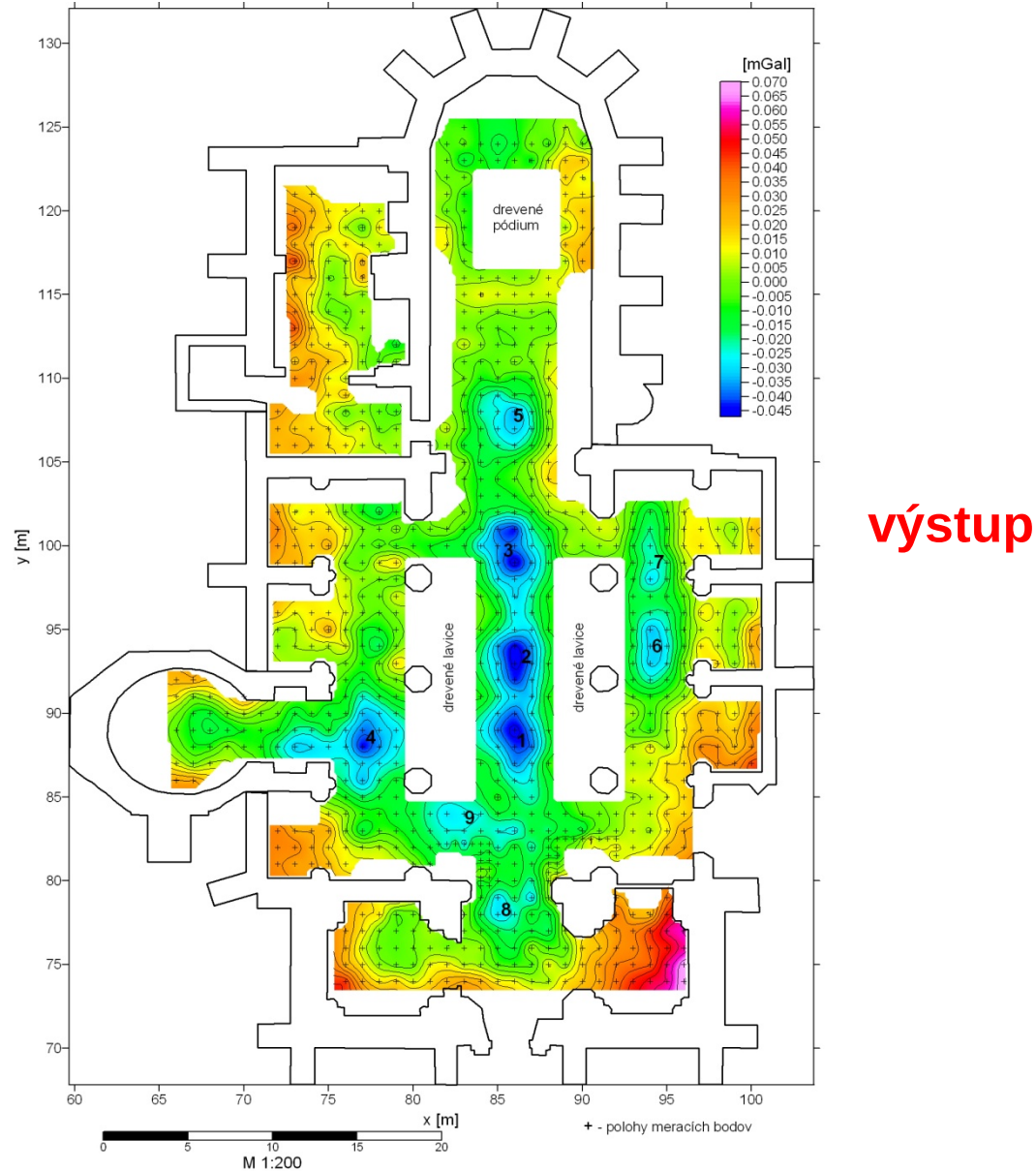
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným lineárnym trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

11

neúplné Bouguerove anomálie
s opravou o účinky múrov a
odstráneným lineárnym trendom

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

mikrogravimetria:

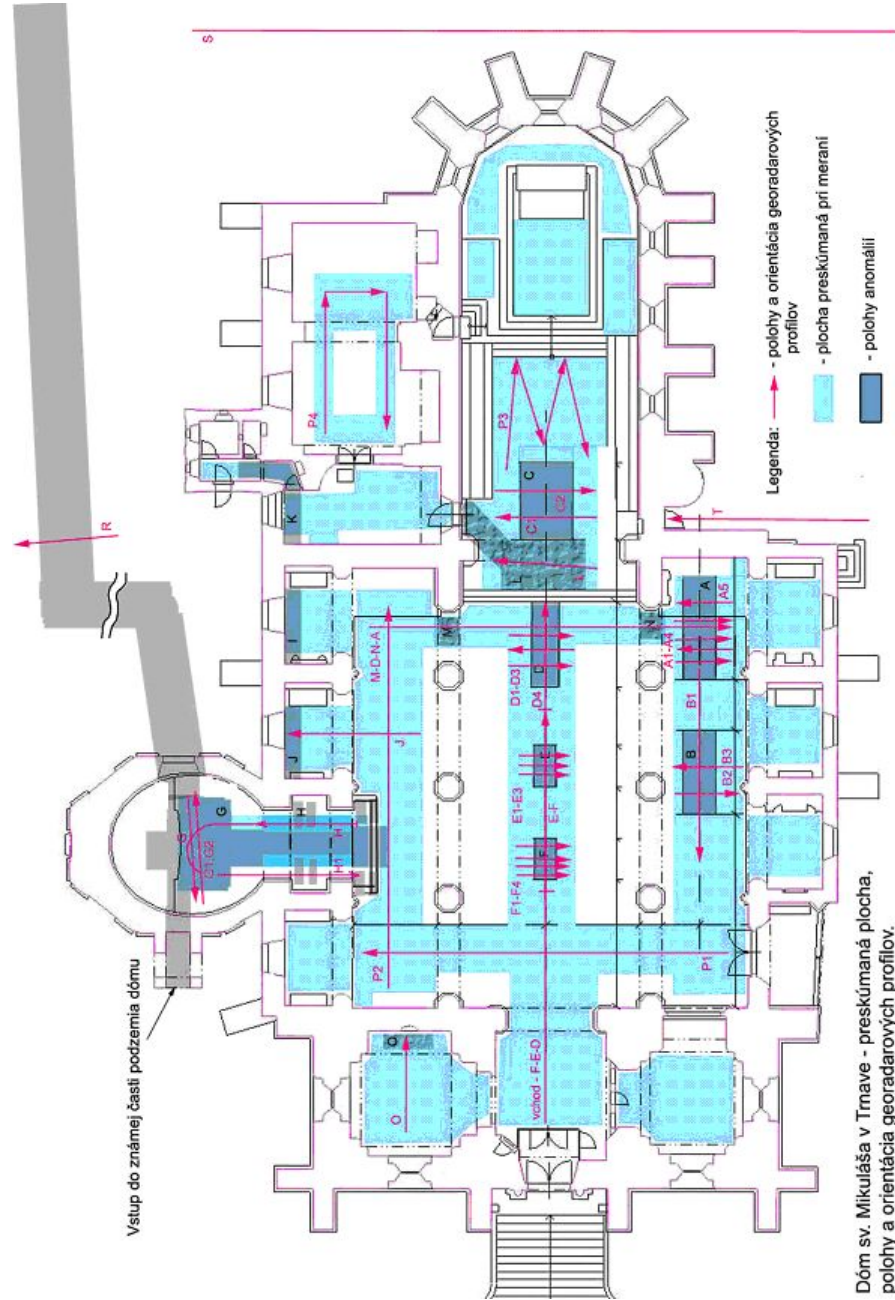


Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola
(so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

neúplné Bouguerove anomálie s opravou o účinky múrov a odstráneným lineárnym trendom

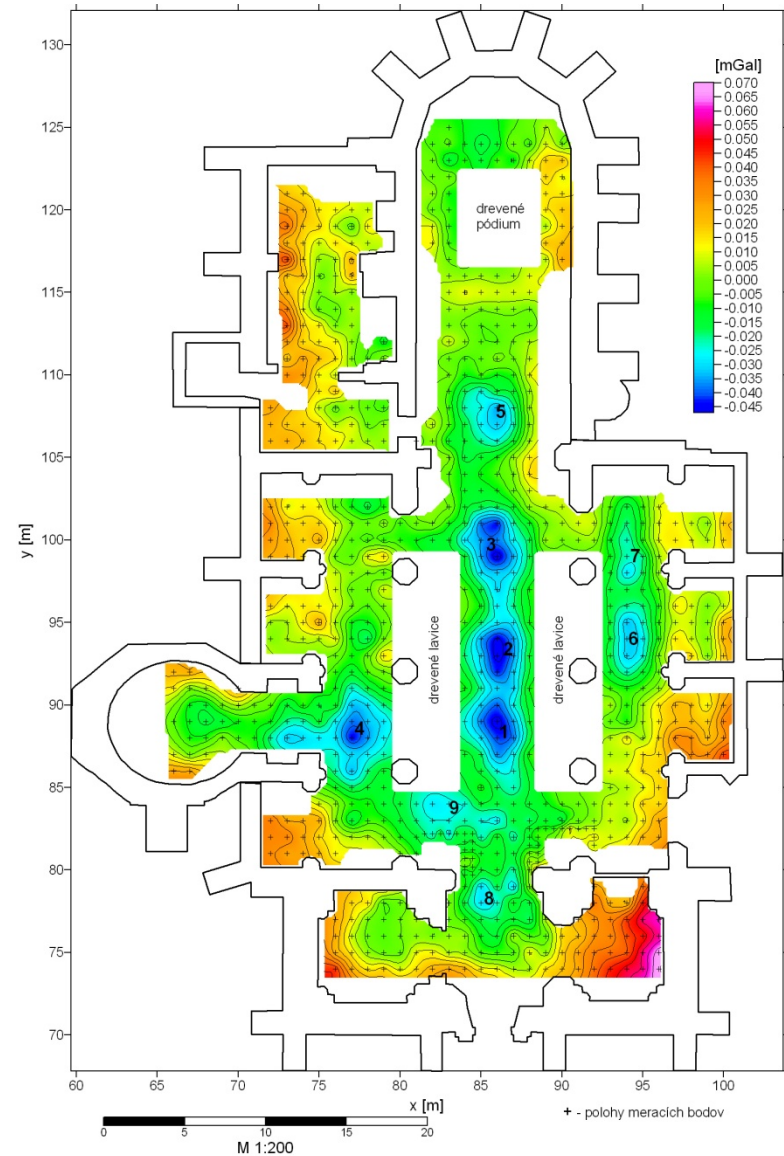
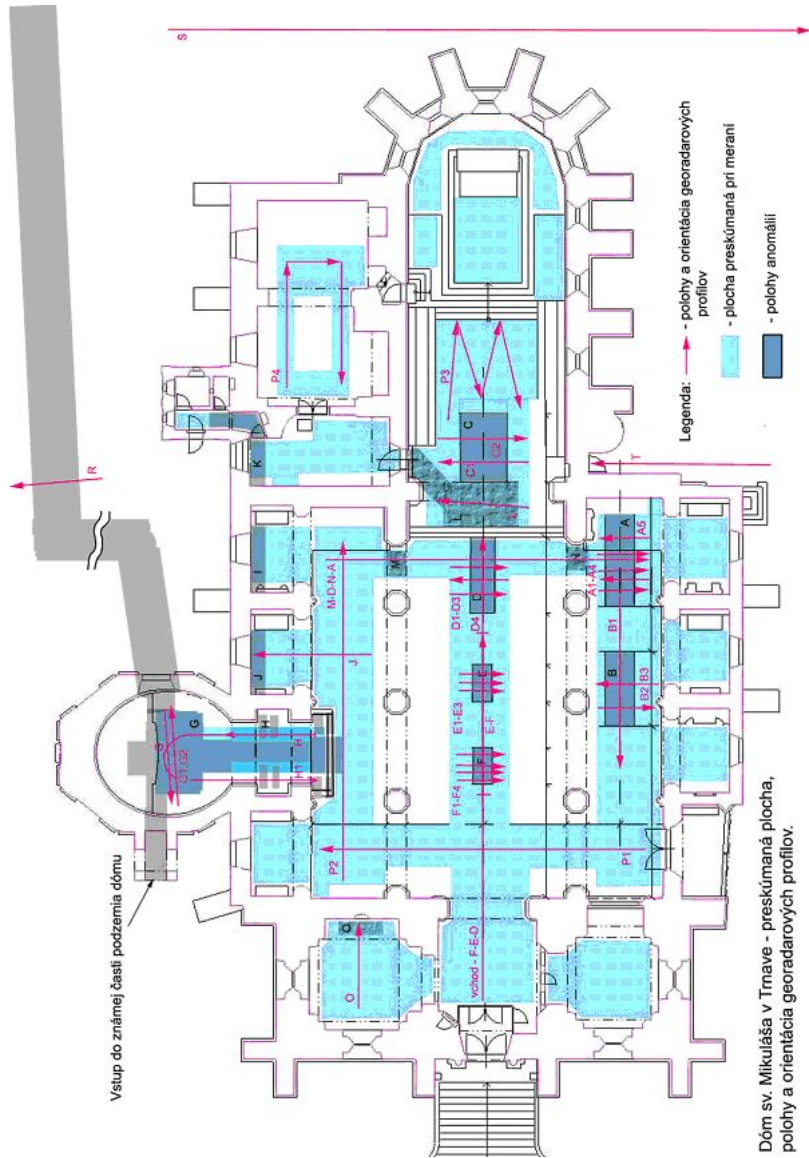
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

merania GPR:



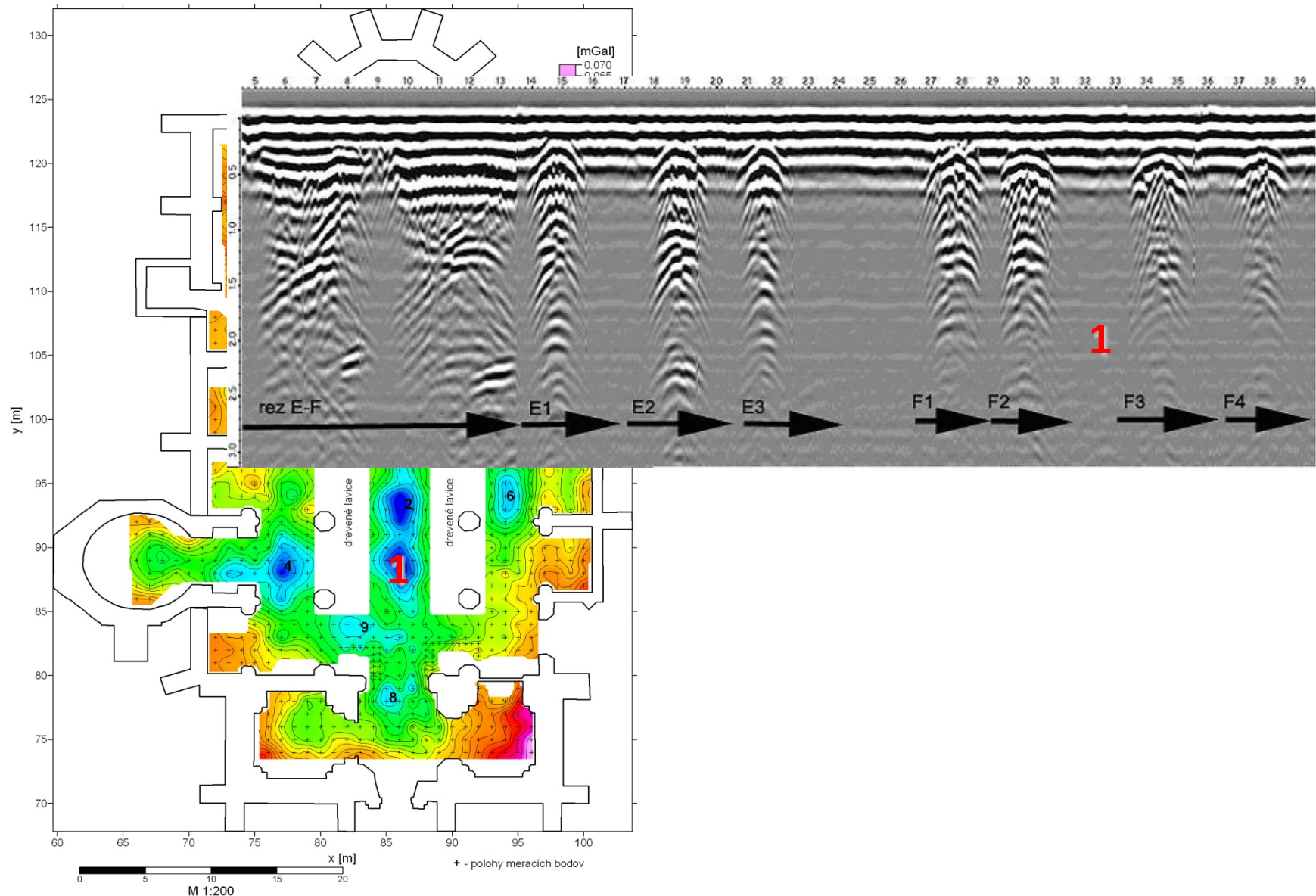
priebeh profilov GPR (trasovacia metóda) s vyznačenými detekovanými dutinami

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



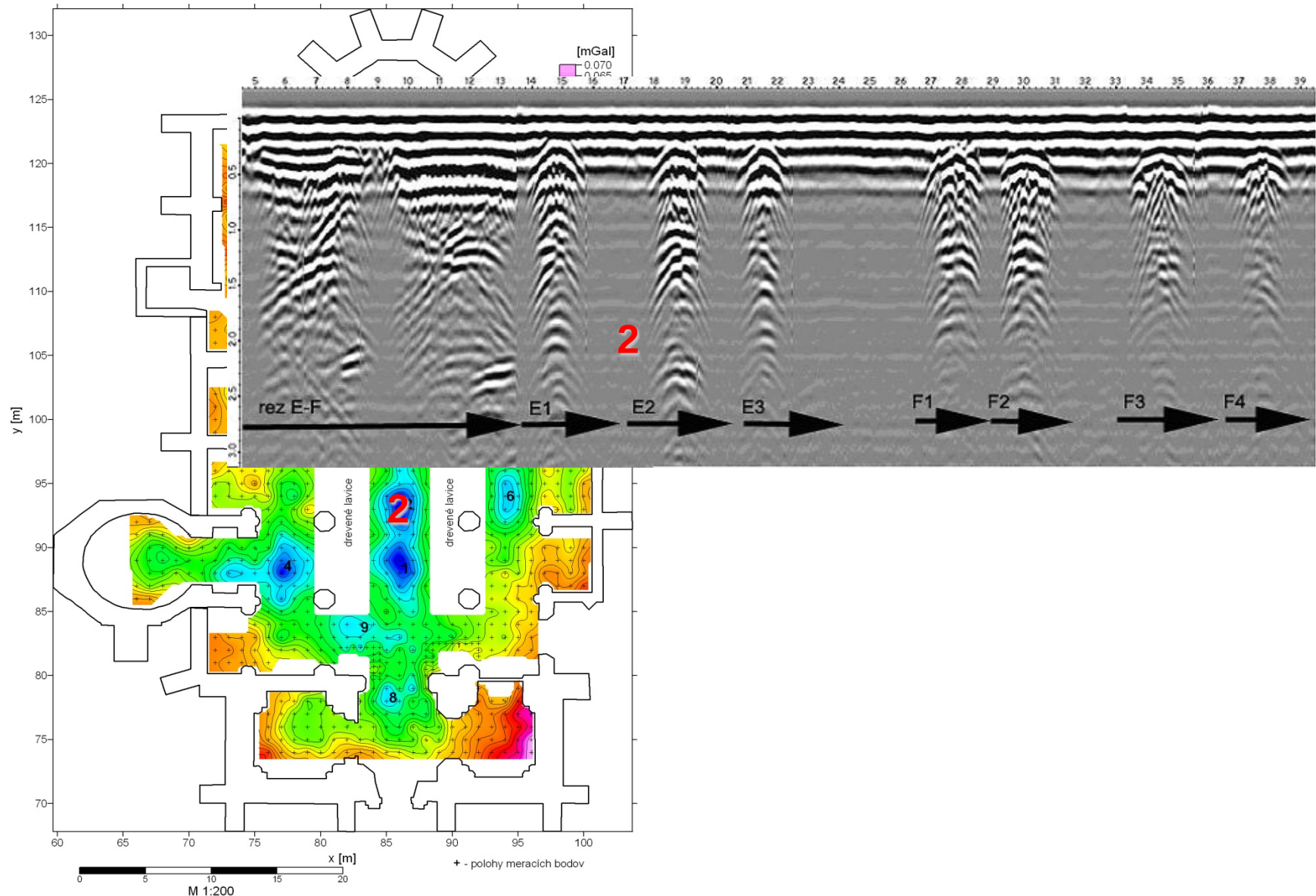
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



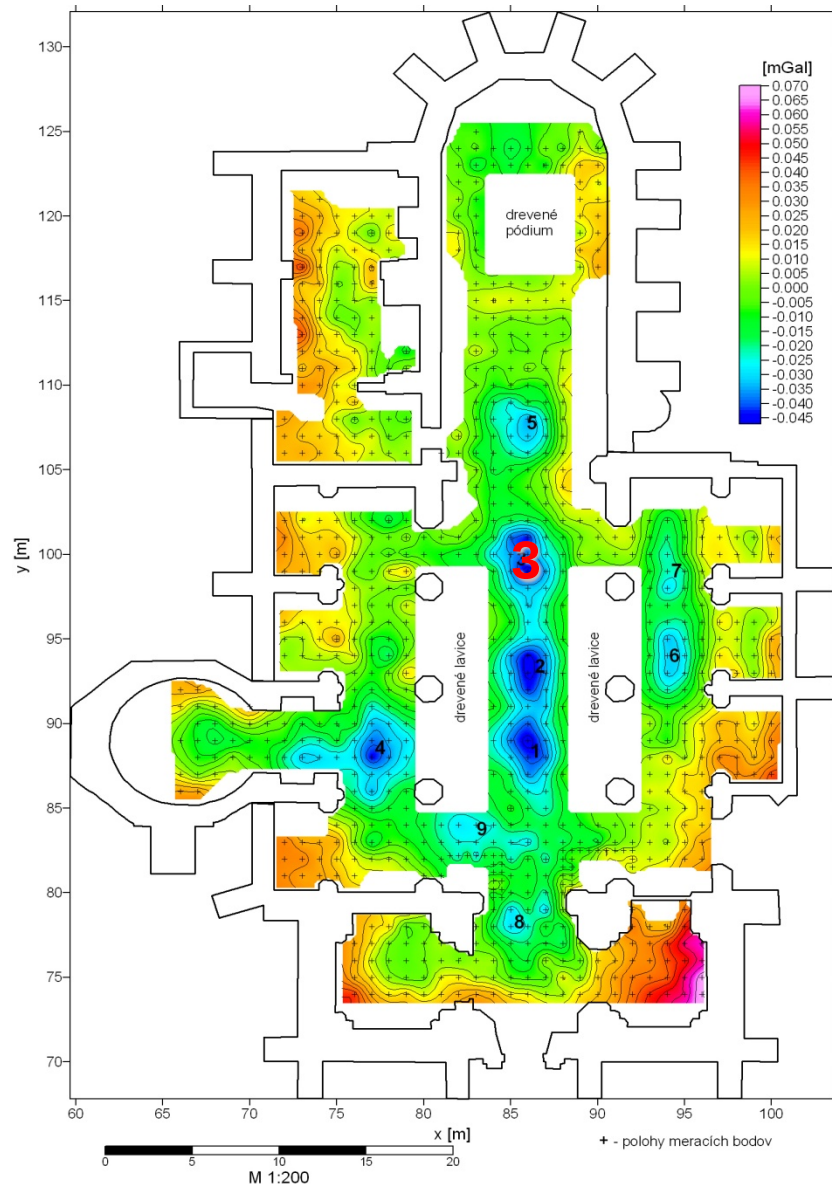
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

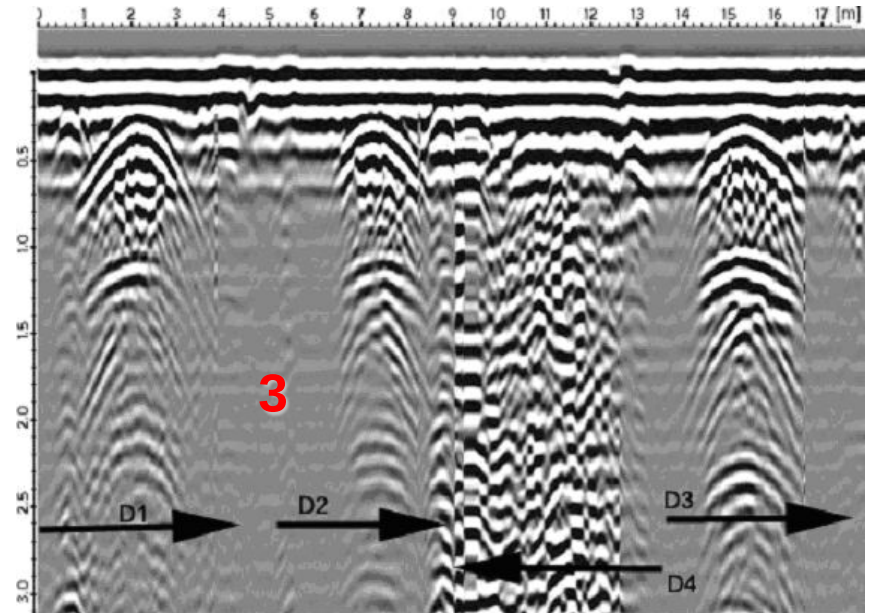


Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

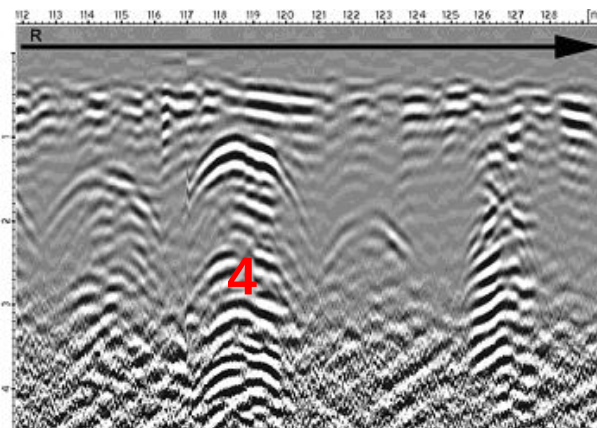
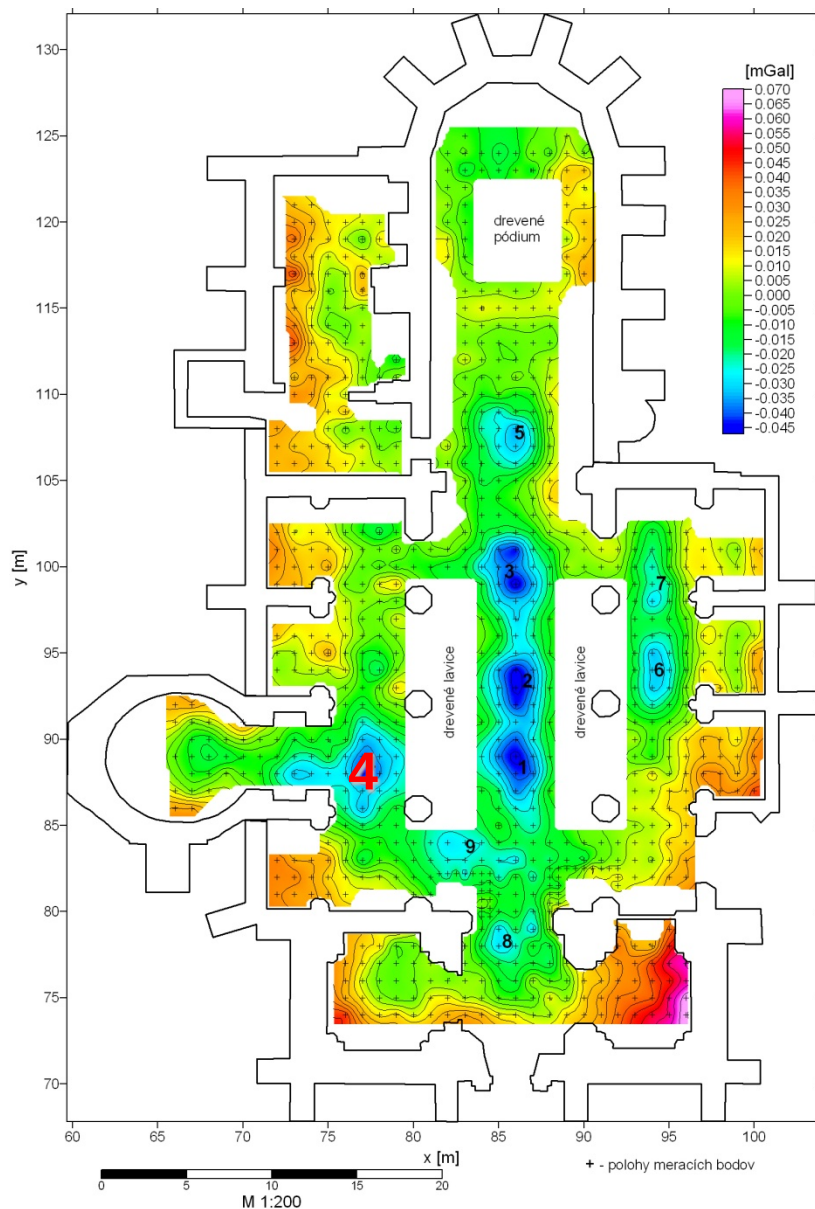
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



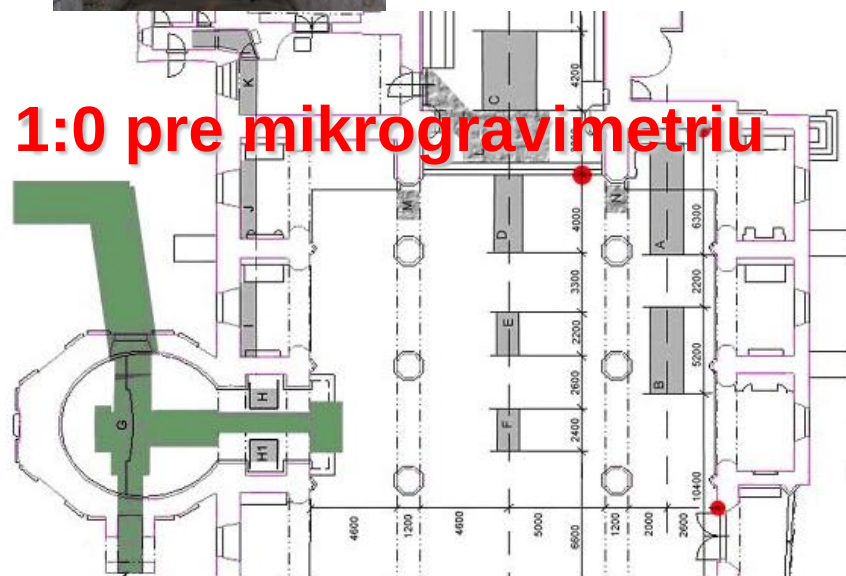
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}



výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



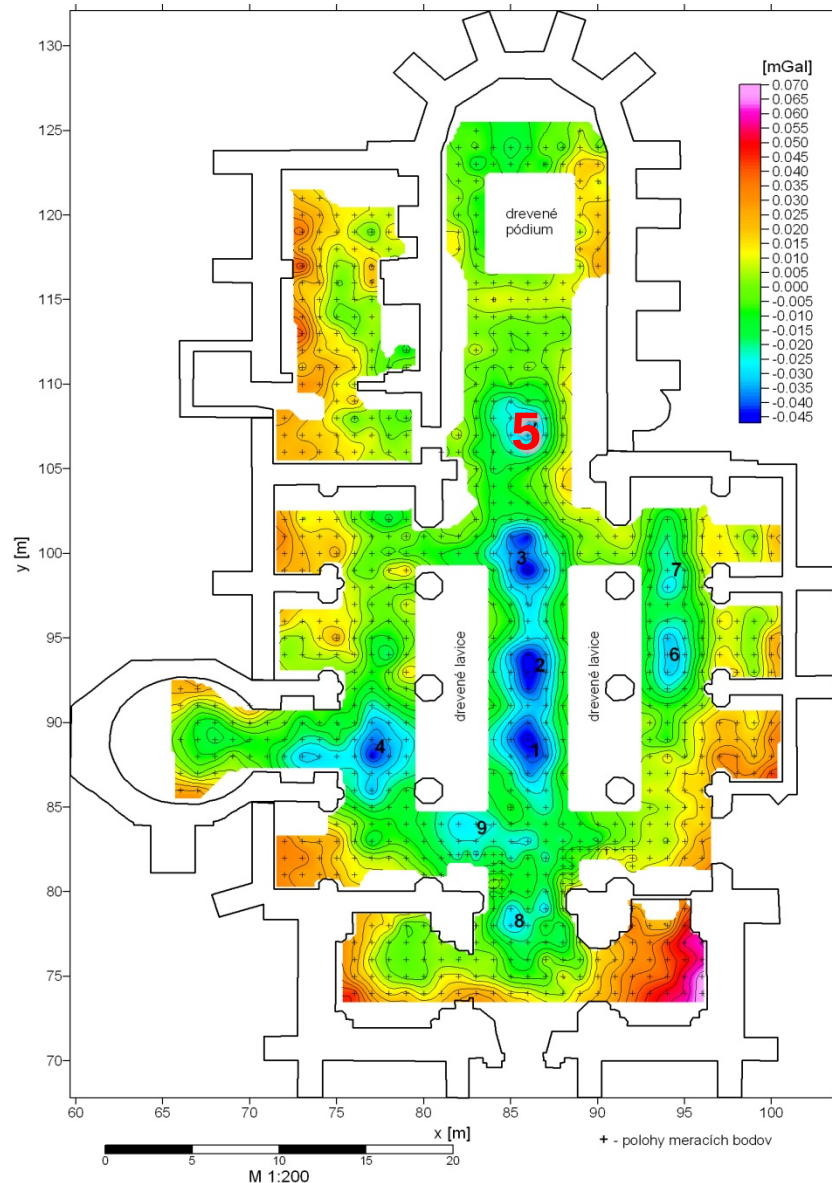
známa
krypta (chodba)



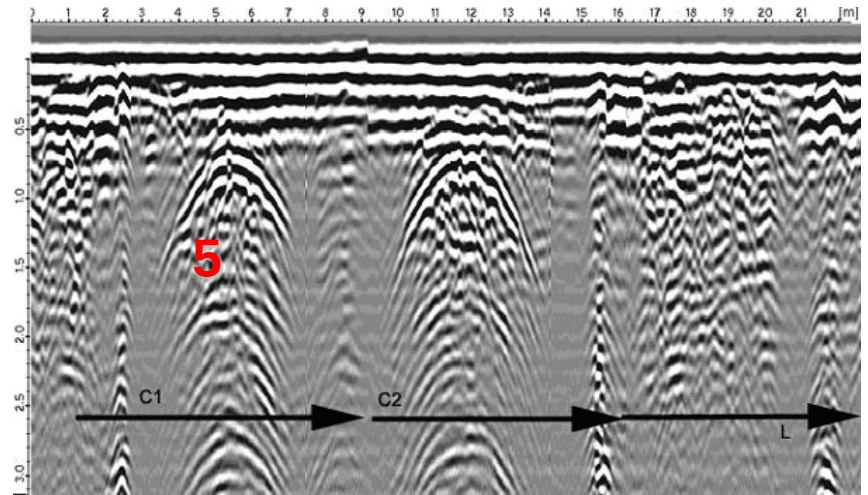
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola
(so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

¹¹
spojenie výsledkov mikrogravimetrie a metódy GPR

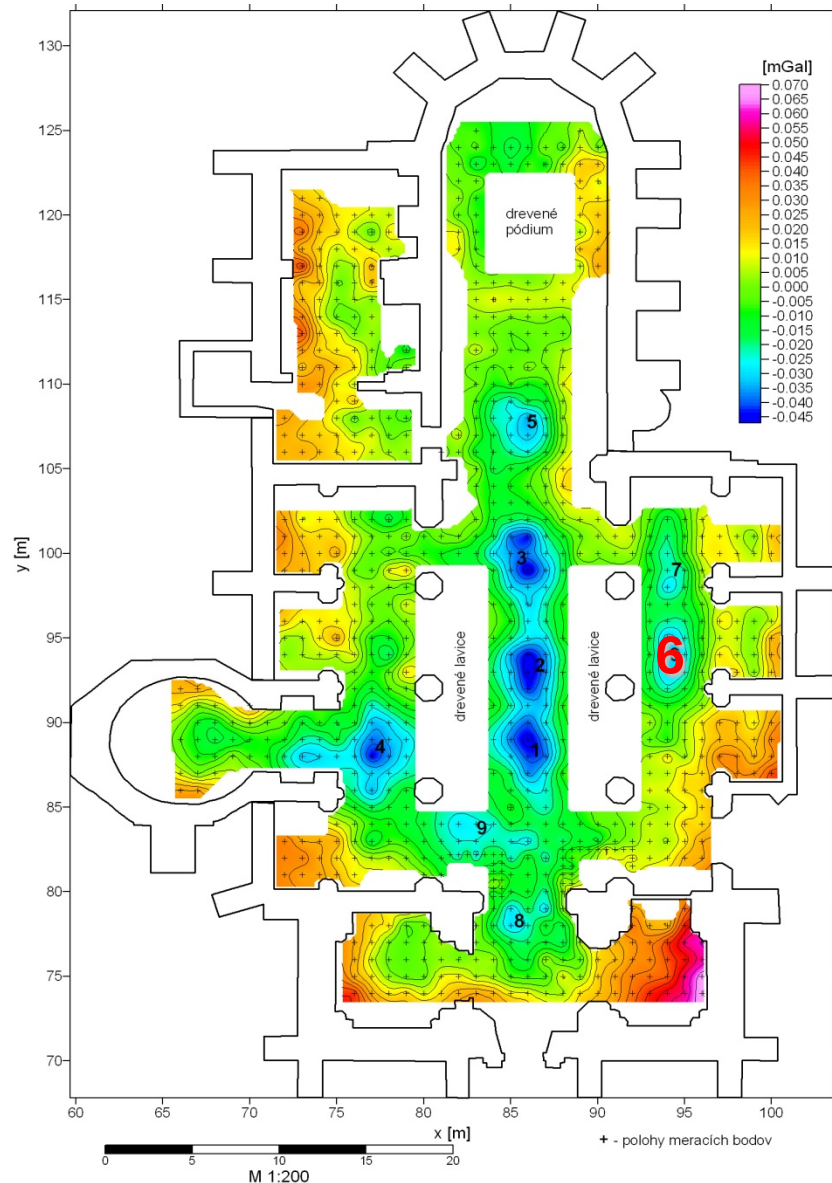
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



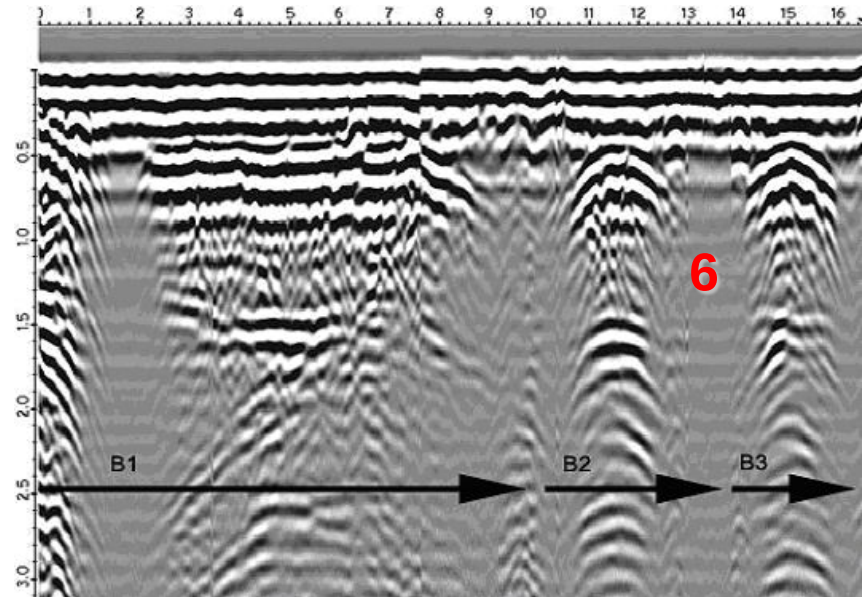
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}



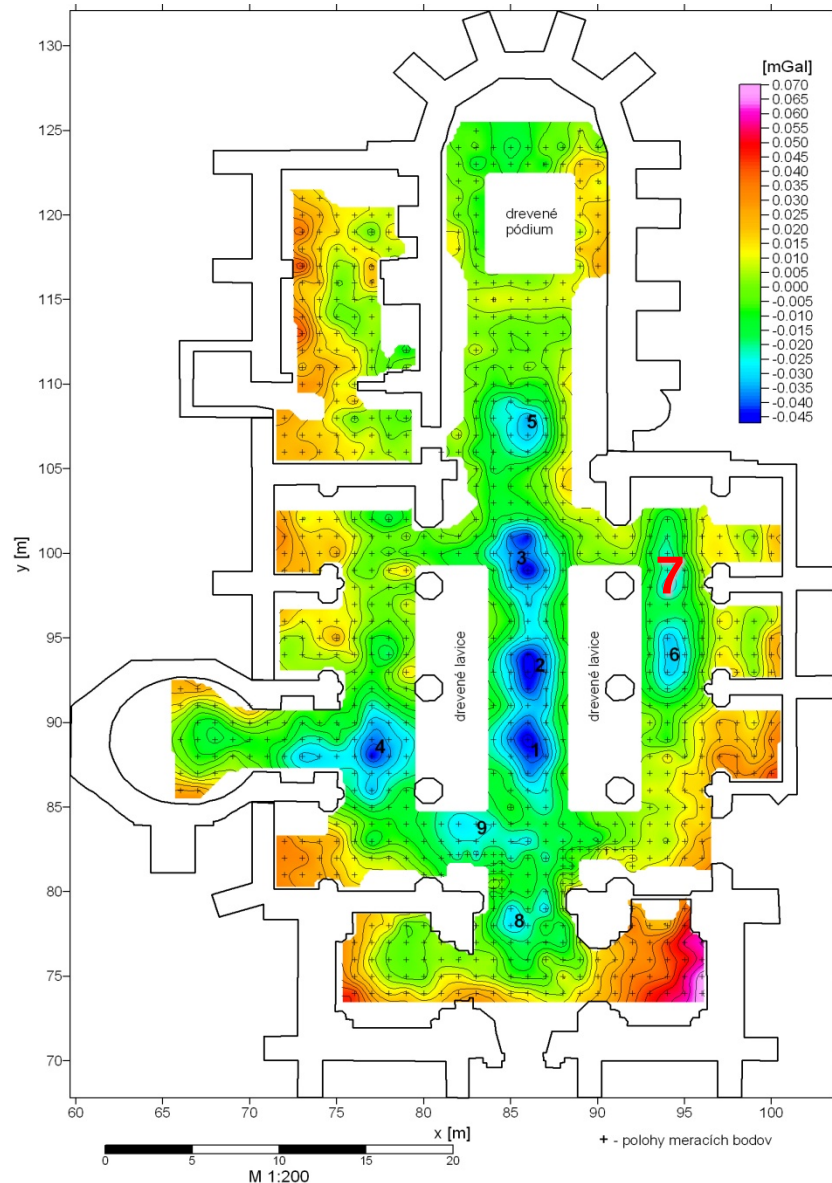
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



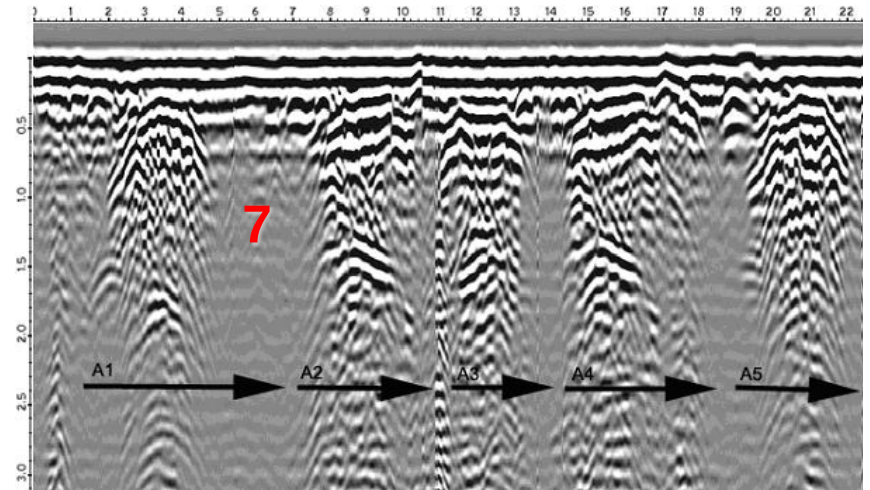
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}



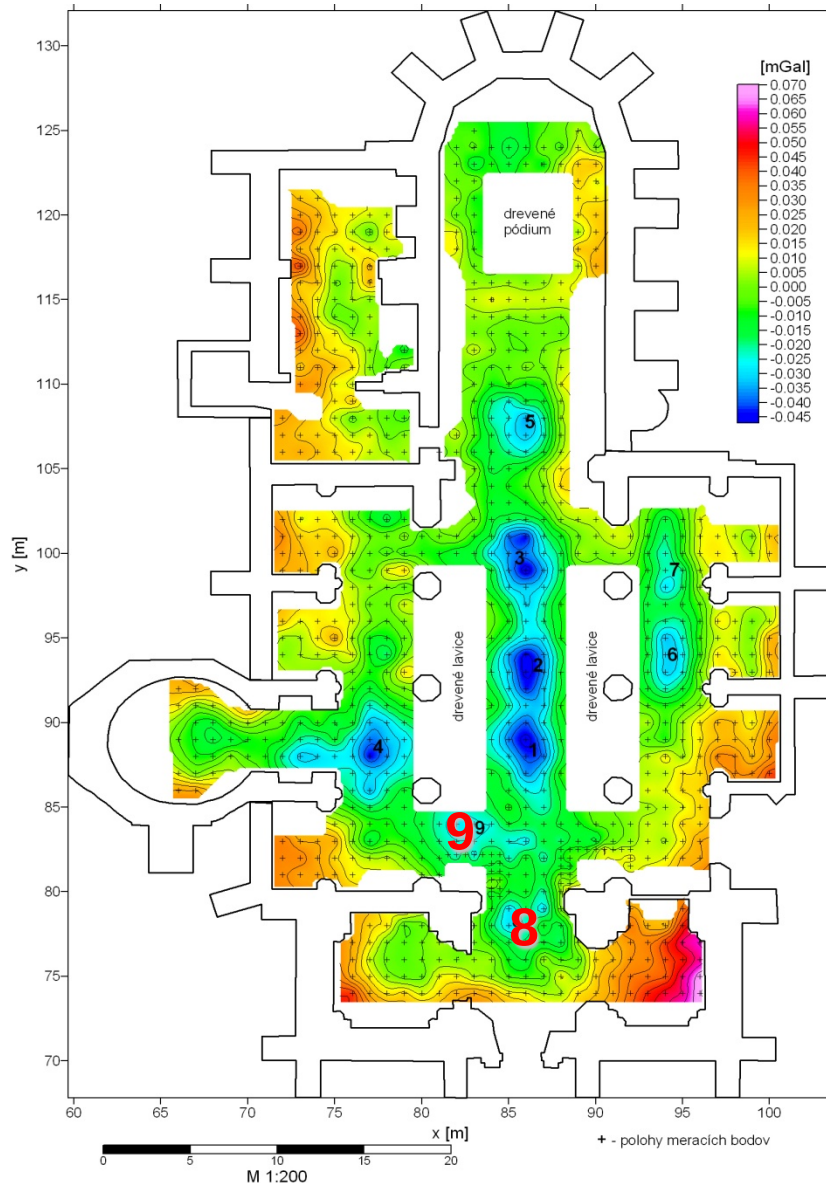
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola
(so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}



výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

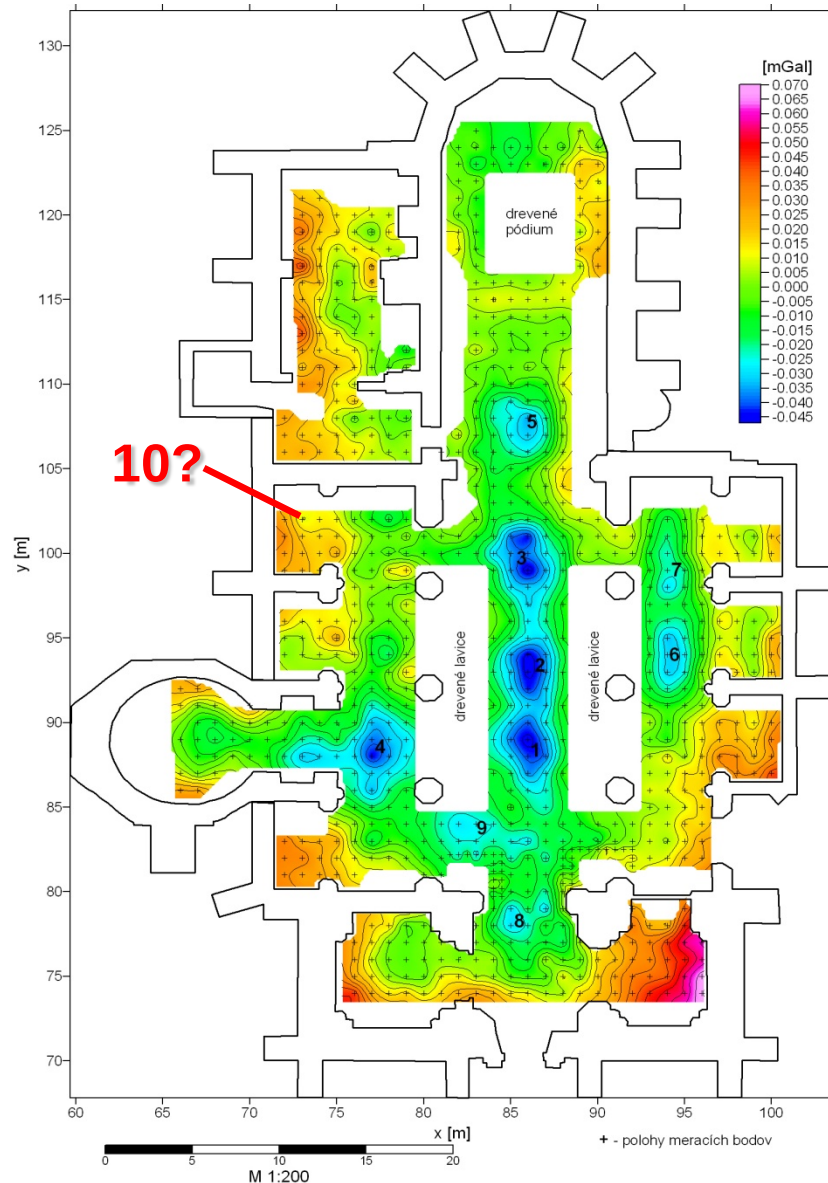


anomálie 8 a 9 svojim anomálnym
charakterom nezodpovedajú
s vysokou pravdepodobnosťou
prejavu prítomnosti krýpt, ale iba
ľahších objektov v podloží

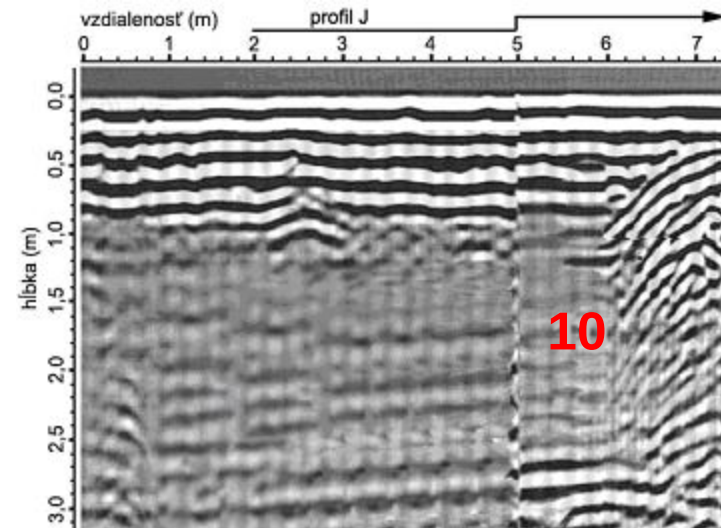
(bez GPR indikácií)

Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave



Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}



GPR poskytuje indikáciu prítomnosti prázdneho priestoru tesne pri múre, pričom mikrogravimetria na tomto mieste nevykazuje žiadne anomálne hodnoty (lokálne minimum)

1:1

spojenie výsledkov mikrogravimetrie a metódy GPR

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu Sv. Mikuláša v Trnave

všetky GPR anomálie boli následne overené videoinšpekciou –
navrtaním a zasunutím priemyselnej mini-kamery s osvetlením



1. vrtanie po odkrytí dlažby



2. paženie



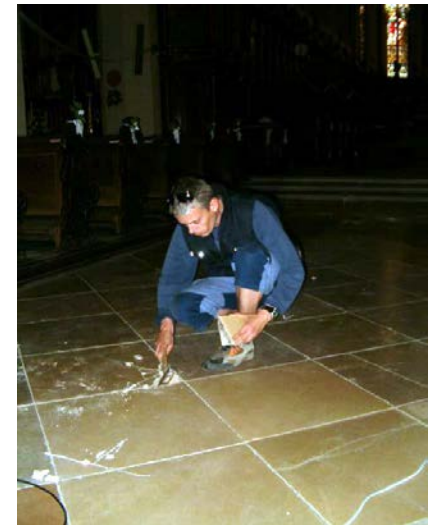
3. vsunutie kamery do otvoru



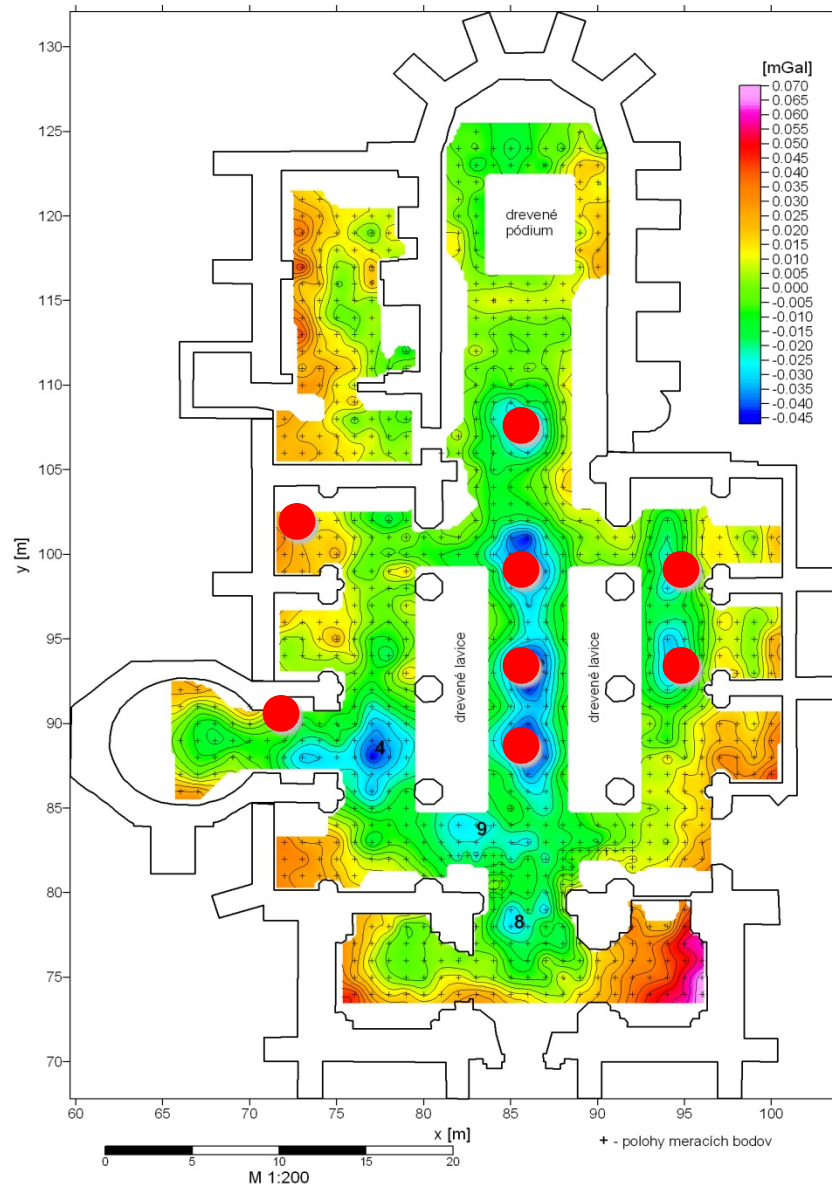
4. obhliadka priestoru



5. nahratie videosekvencie



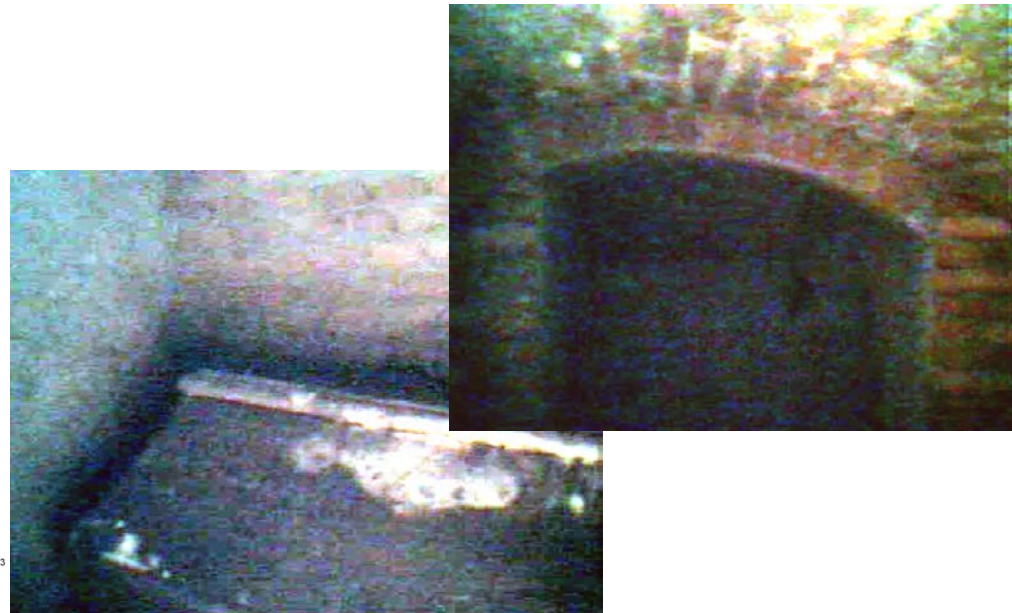
6. opätovné uloženie dlažby



Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky videoinšpekcie:

overené prakticky všetky dôležité
indikácie GPR (na 90 % totožné
s mikrogravimetriou) -
- vo všetkých prípadoch bola
potvrdená prítomnosť
stredovekých krýpt

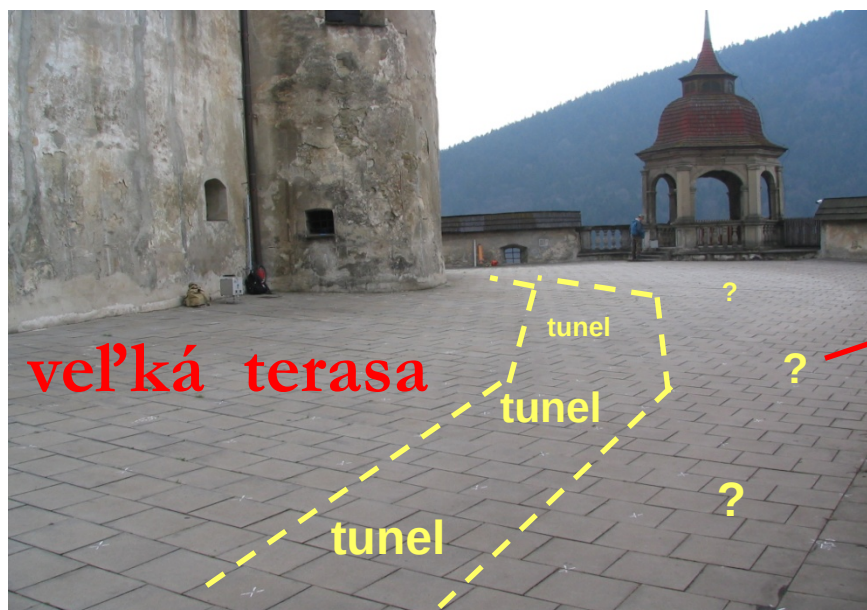


spojenie výsledkov mikrogravimetrie a metódy GPR

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)



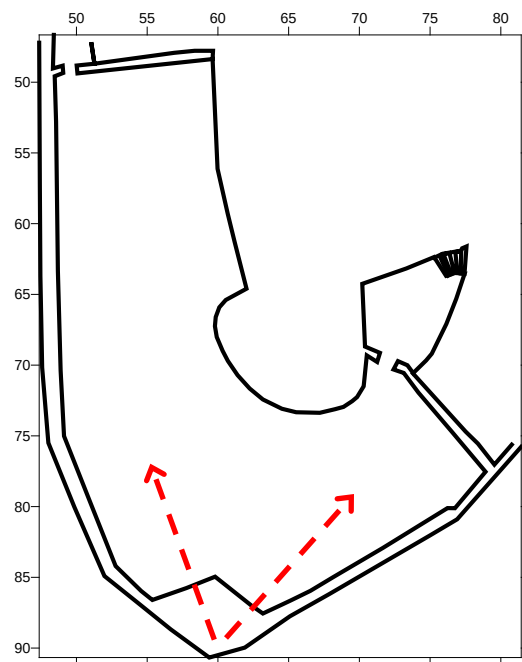
pohľad od
prístupovej
cesty na
zámok



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

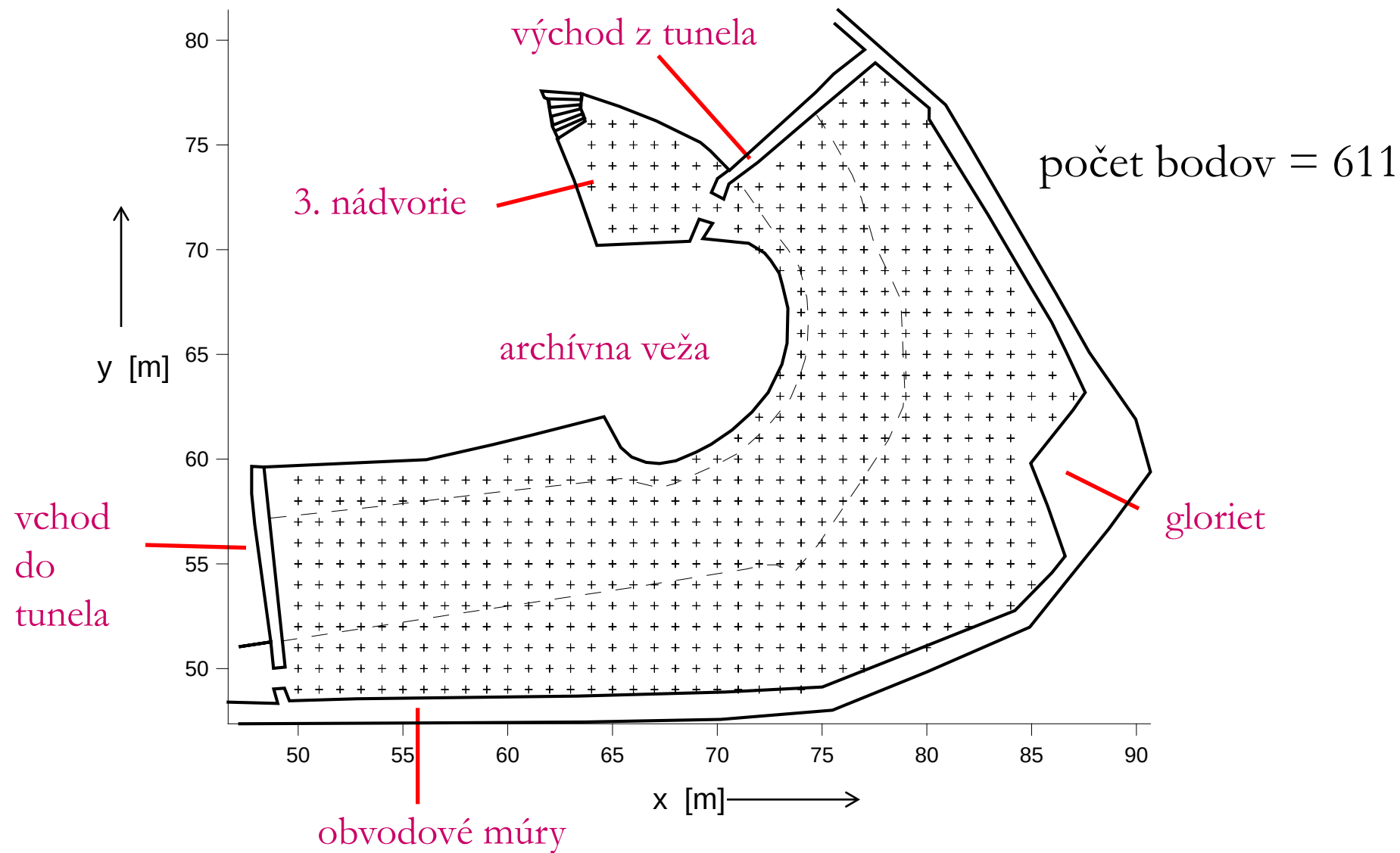


pohľad od altánku
(glorietu) smerom k
tretiemu nádvoriu



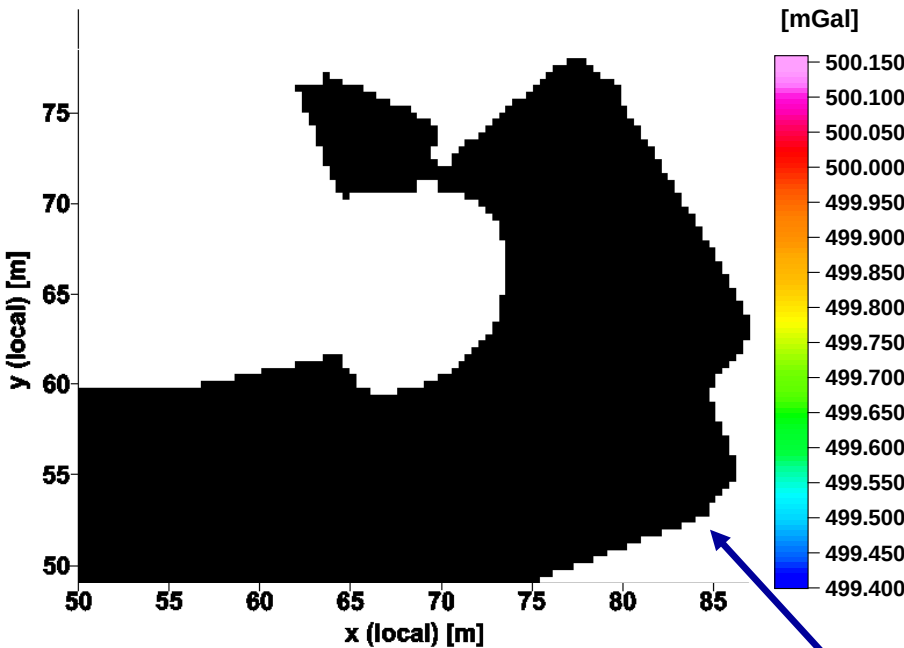
- vymedzenie a vytýčenie meraného územia

siet' bodov 1 x 1 m v lokálnych súradniciach

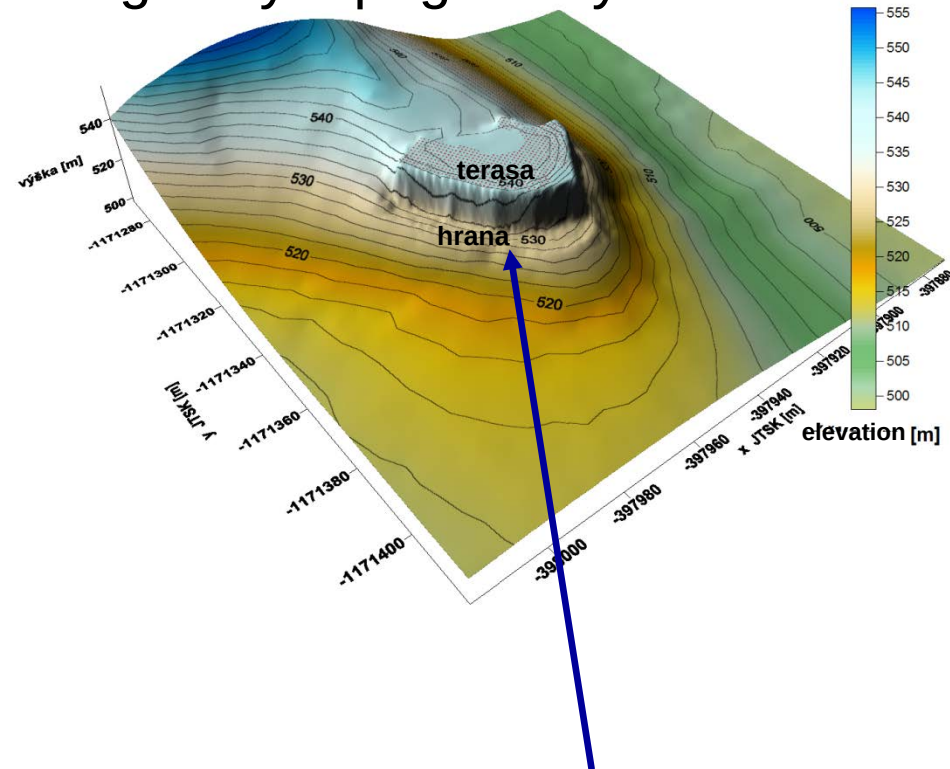


priebeh meraného “g”

merané g

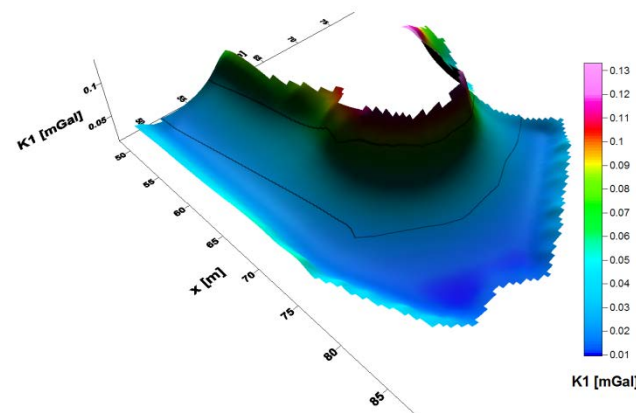
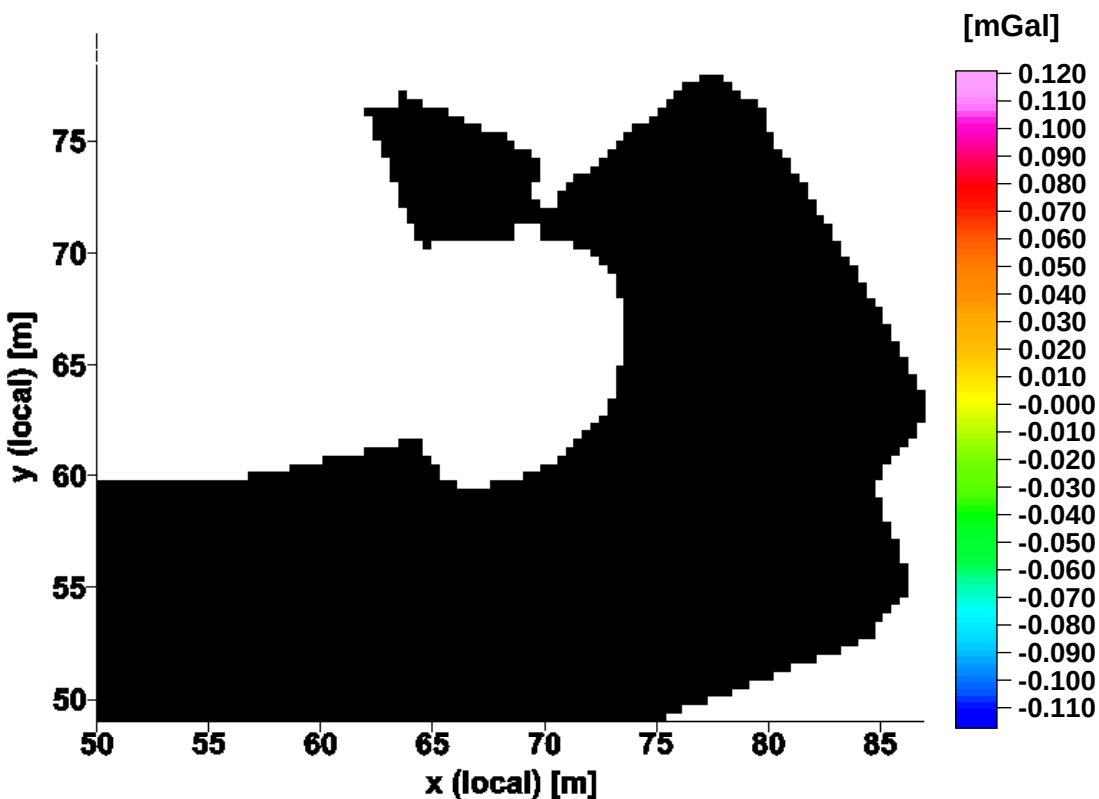


digitálny topografický model



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

mapa úplných Bouguerových anomálií



gravitačný efekt múrov



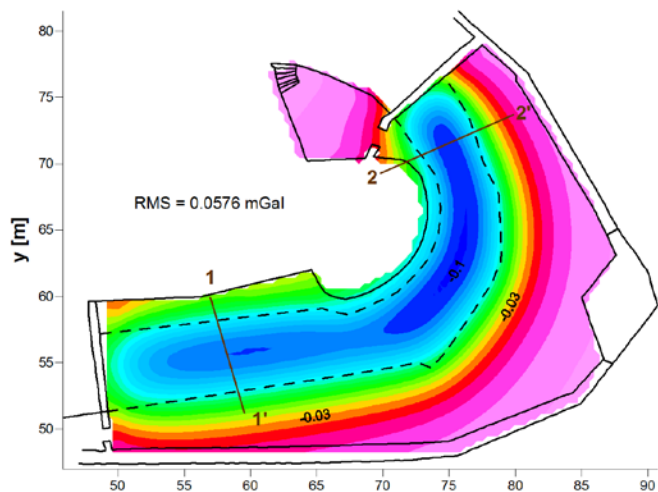
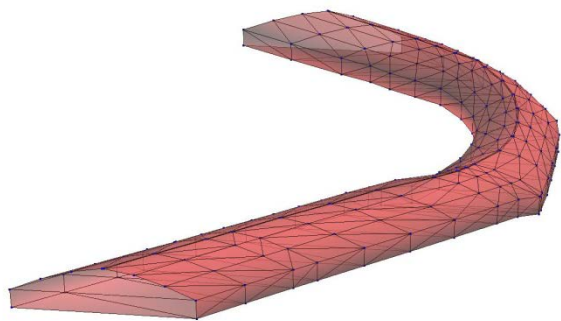
model múrov

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

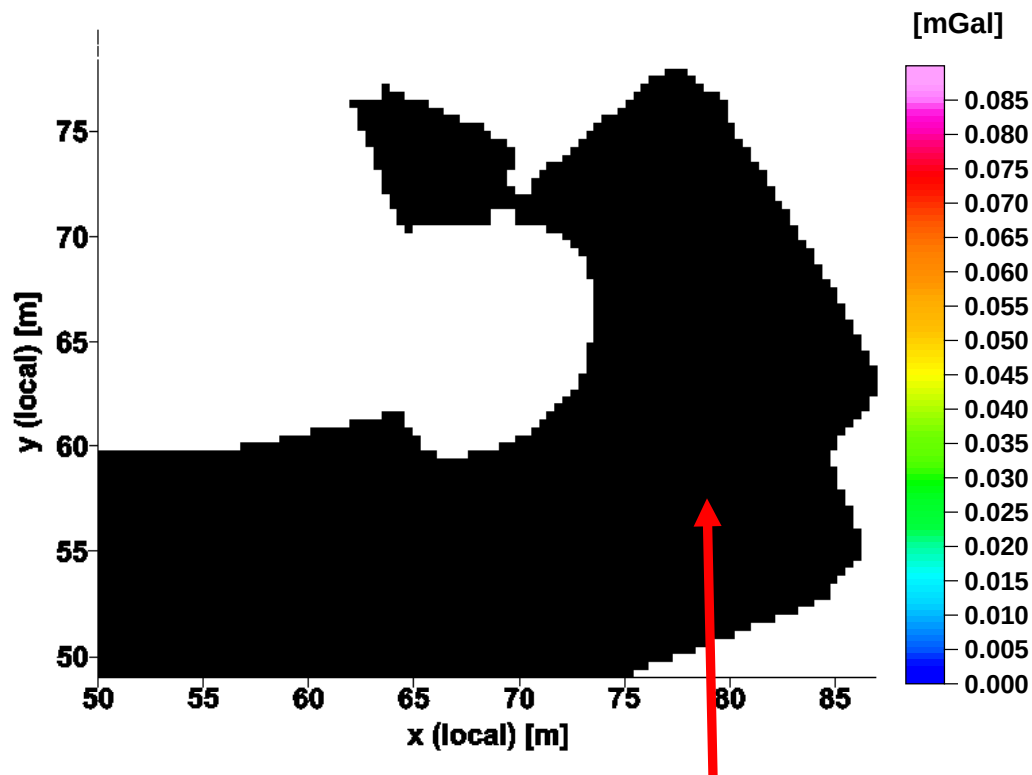
výsledky – Oravský zámok, veľká terasa

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

3D model tunelu



gravitačný efekt tunelu



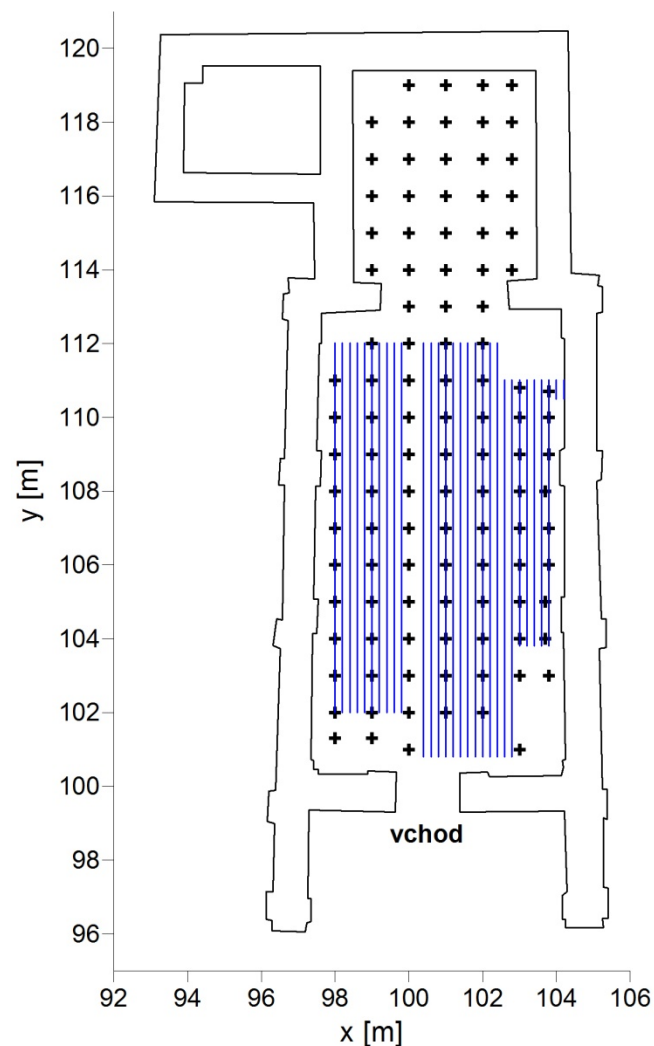
dôležitá anomálna oblasť –
prejav časti kazemát?

Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch (pri Nitre)

(letná škola INCA2009)



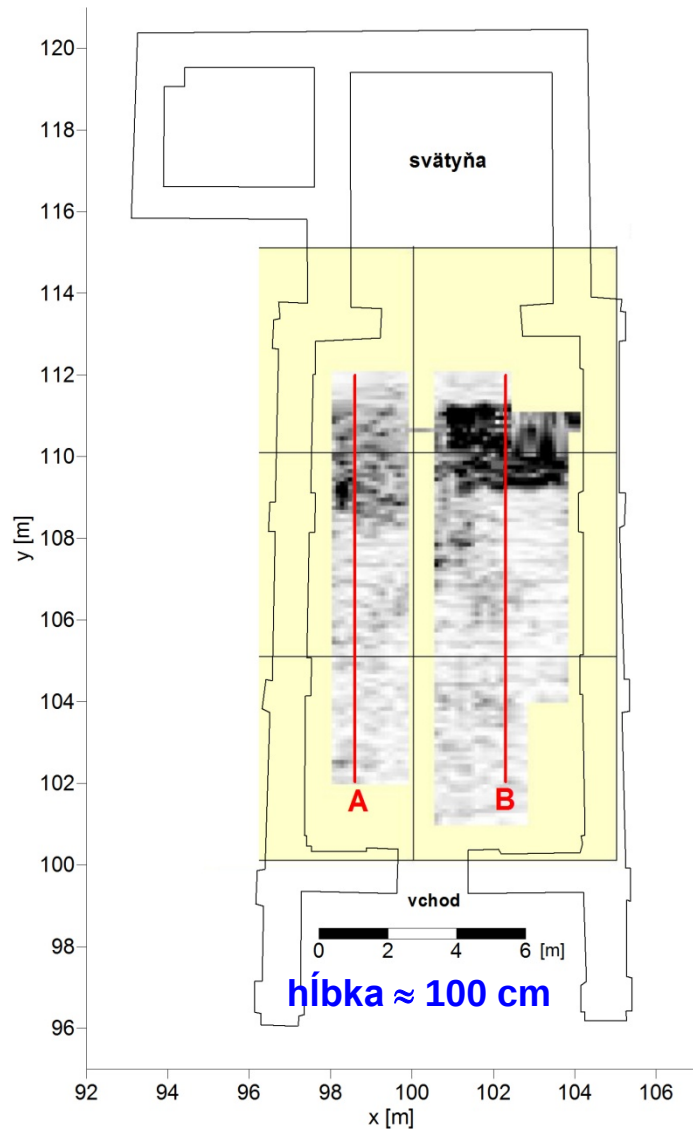
- georadar (sieť profilov 0.2 x 0.2 m),
hlavná loď
- mikrogravimetria (sieť bodov 1 x 1 m),
hlavná loď + svätyňa



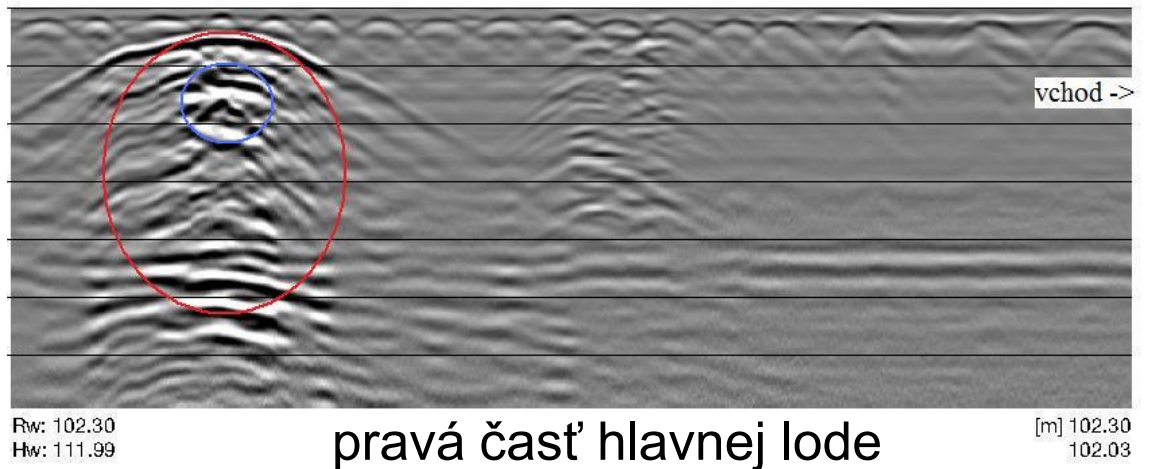
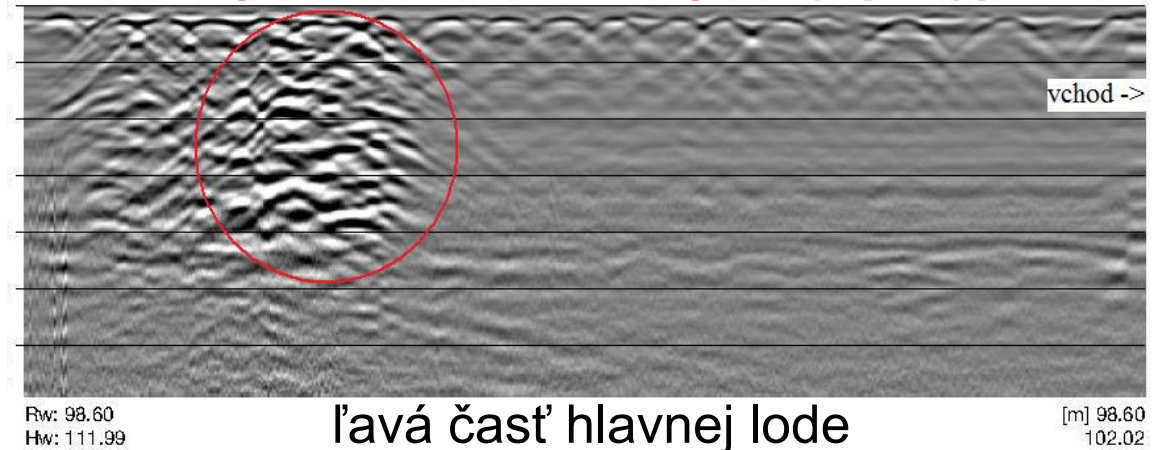
+ - polohy mikrogravimetrických bodov
— - polohy profilov meraných georadarom

prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)



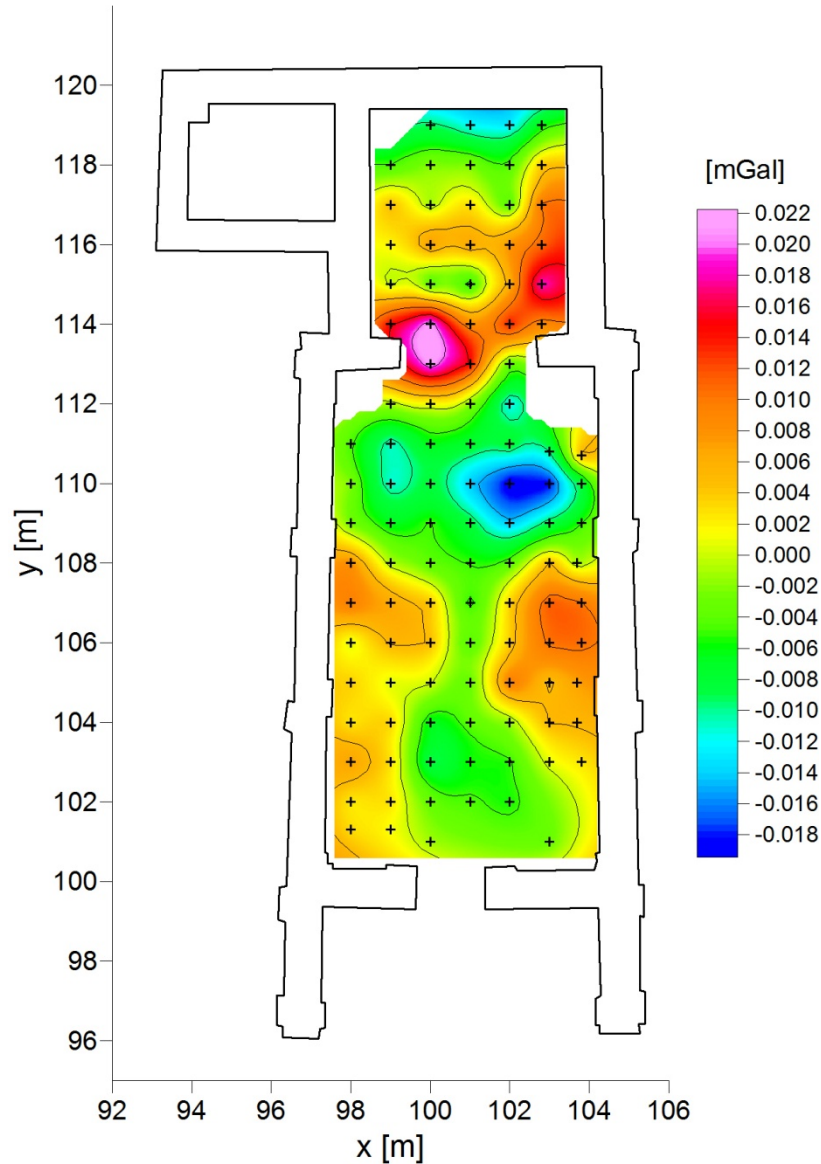
georadar – radarogramy (rezy)



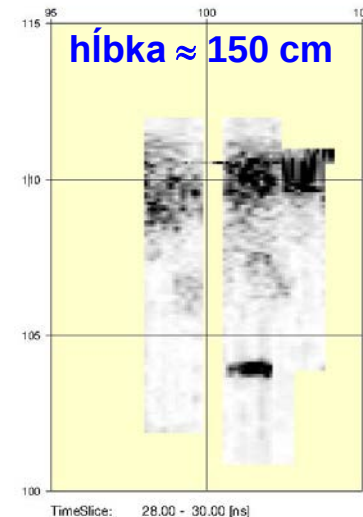
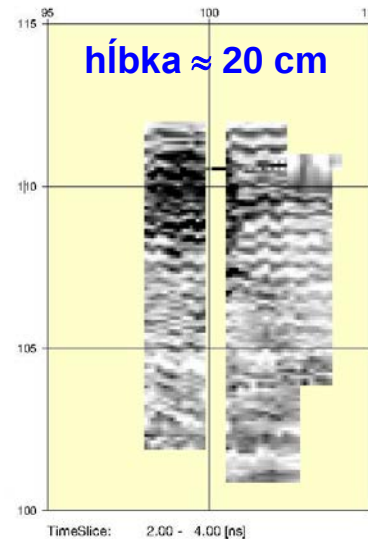
prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)

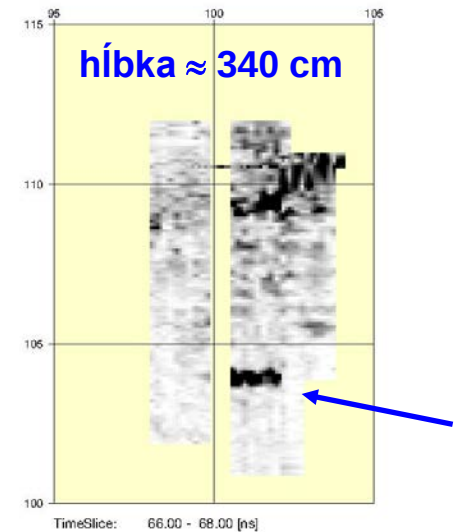
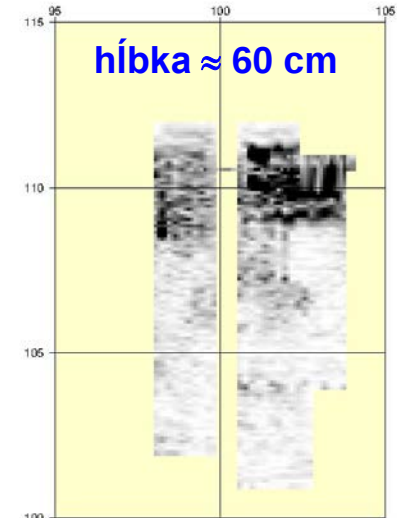
mikrogravimetria – výsledná mapa



georadar – plošné rezy



342.00 Reflexionsamplitude 10318.00



541.00 Reflexionsamplitude 5026.00

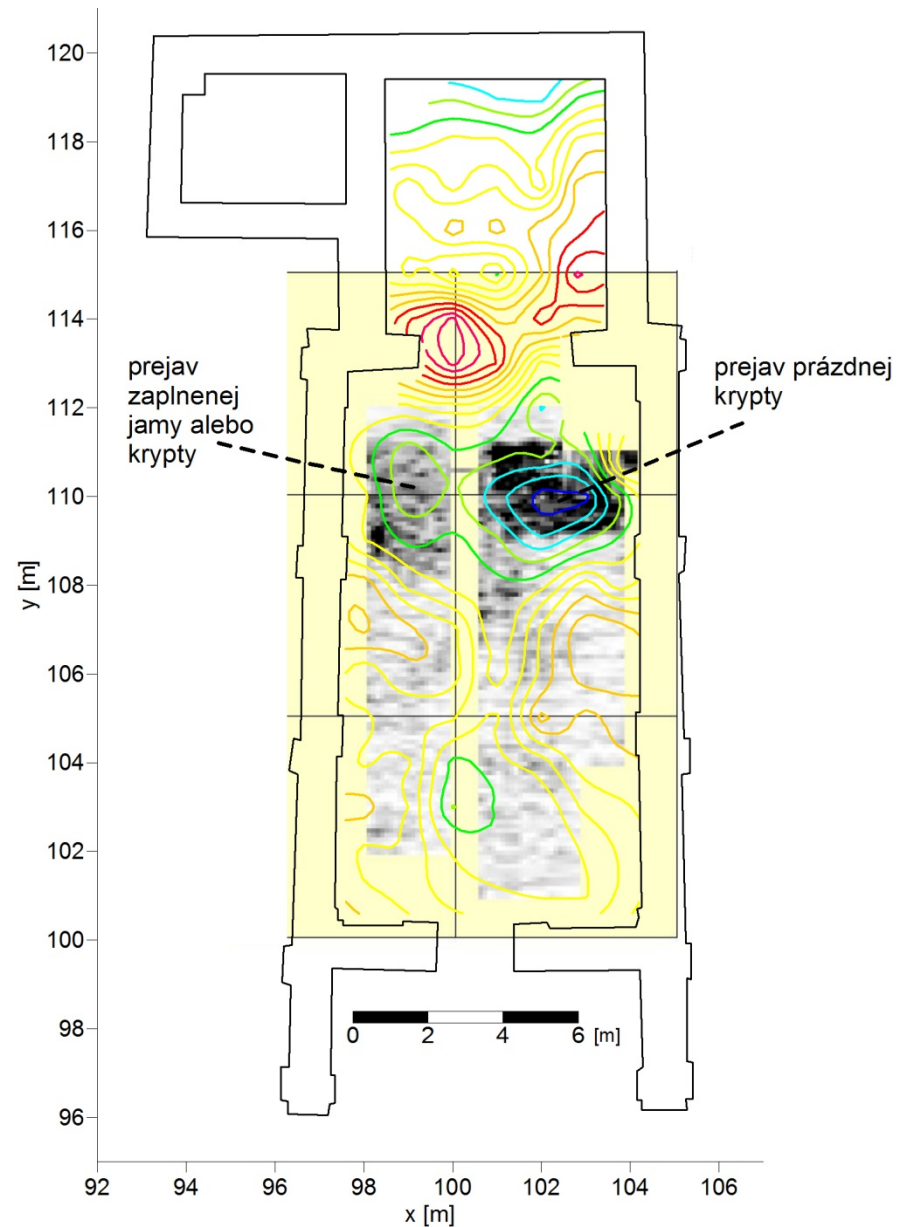
prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)

mikrogravimetria + georadar

- polohy minim gravitačných anomálií sú v zhode s miestami vysokých amplitúd odrazených radarových vln (dutiny)

**anomálie zatiaľ neoverené
video-inšpekciou alebo
archeologickou sondou**





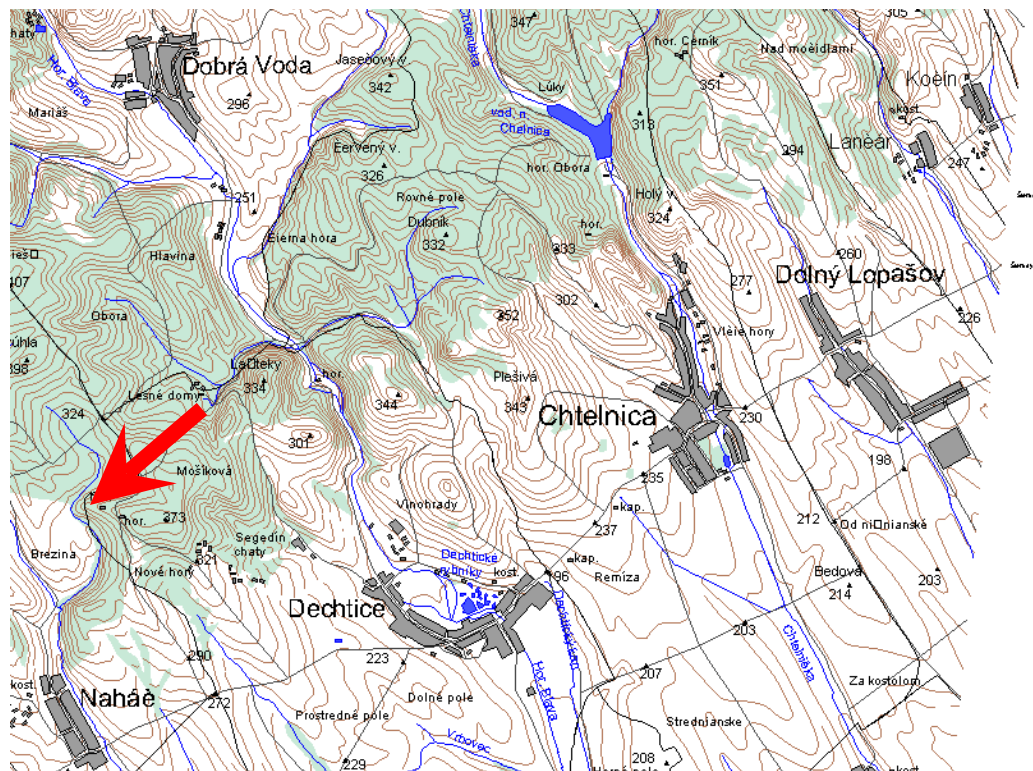
kláštor a kostol KATARÍNKA



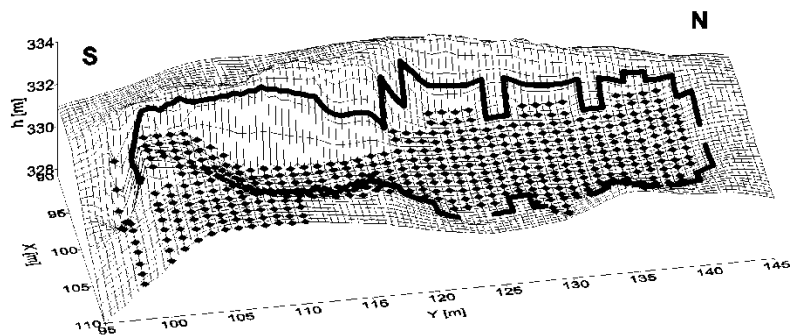
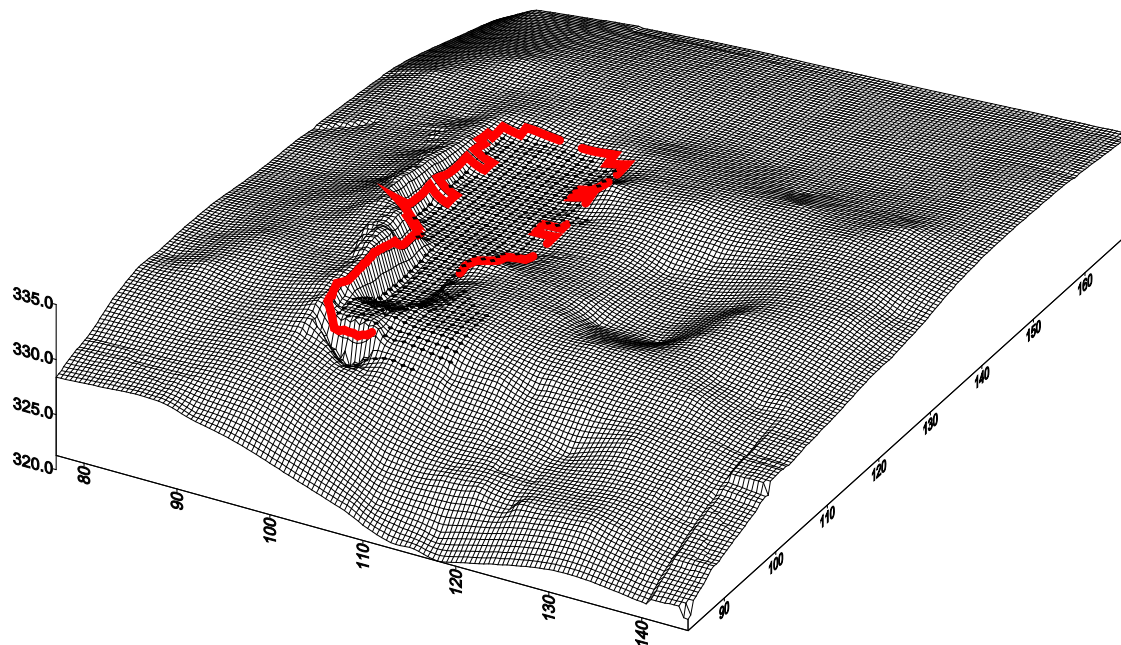
VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNEHO PRIESKUMU (1998 - 2000)



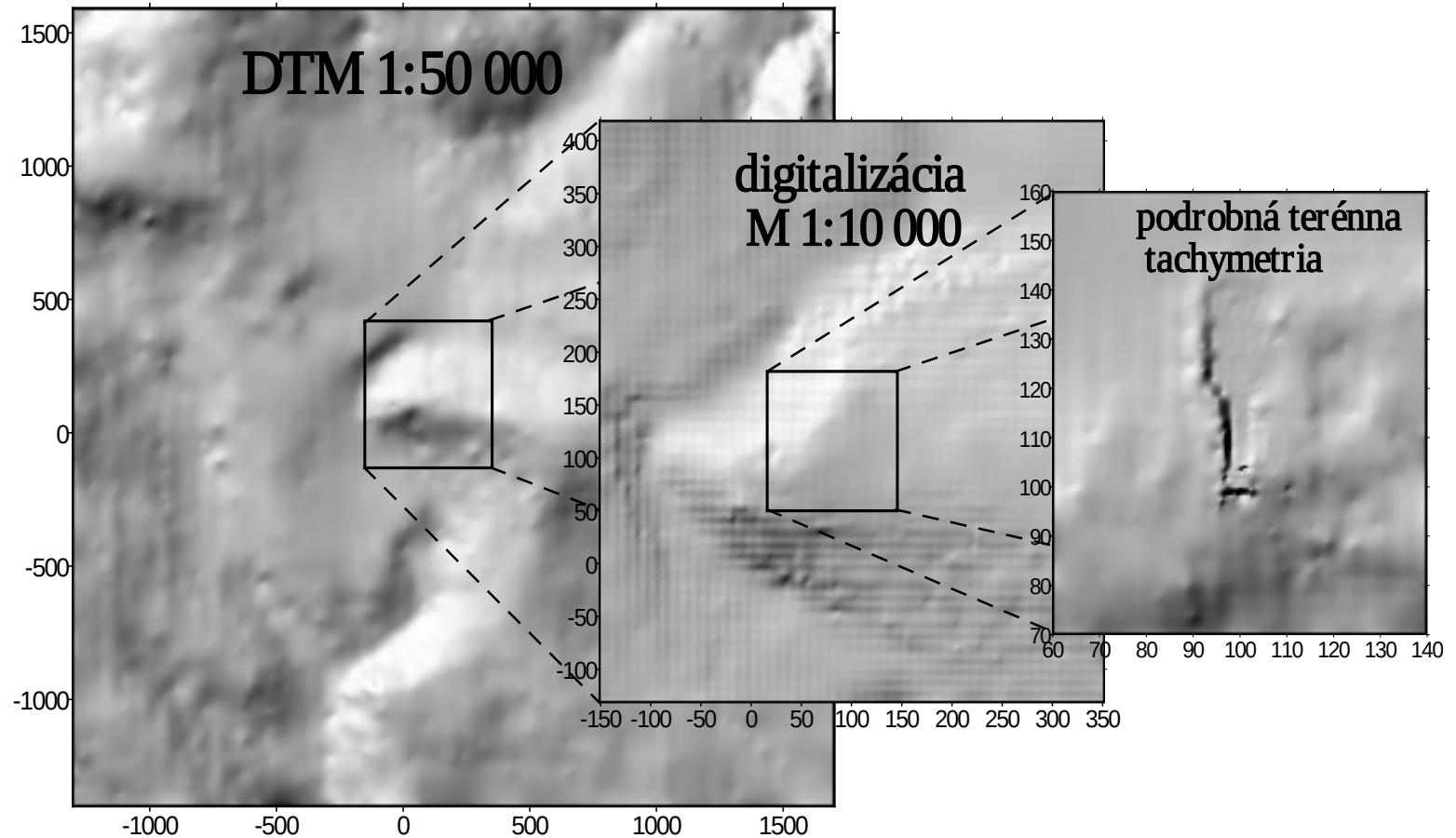
poloha lokality Katarínka



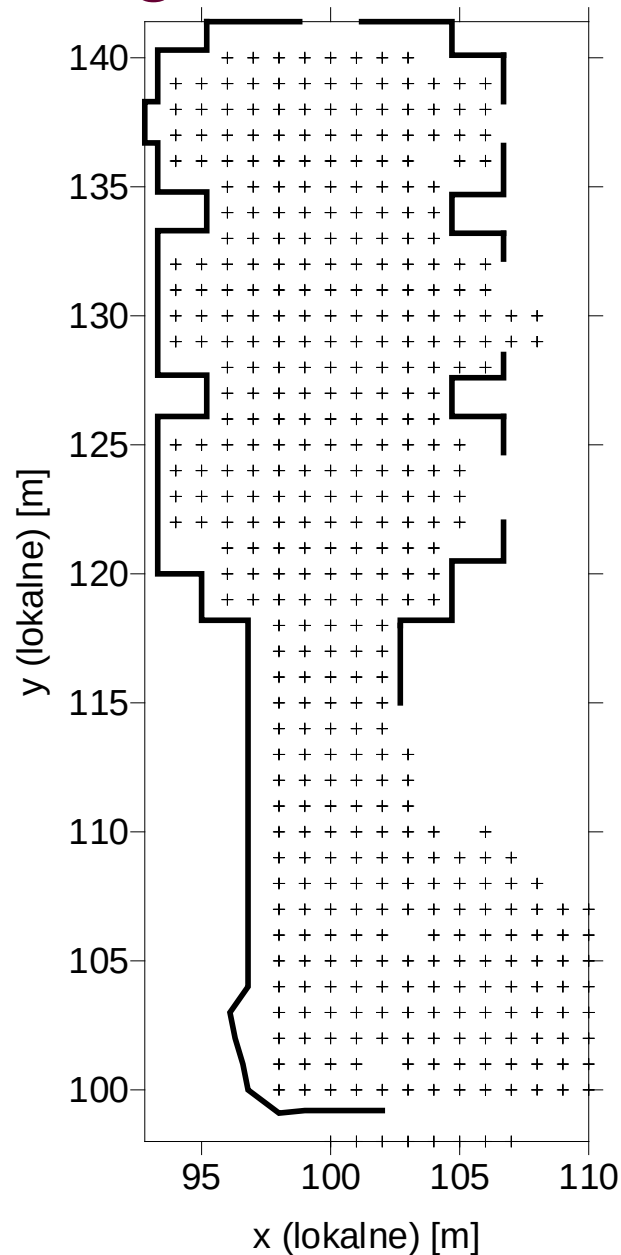
pohl'ady na reliéf terénu



lokalita Katarínka - podklady pre digitálny model terénu



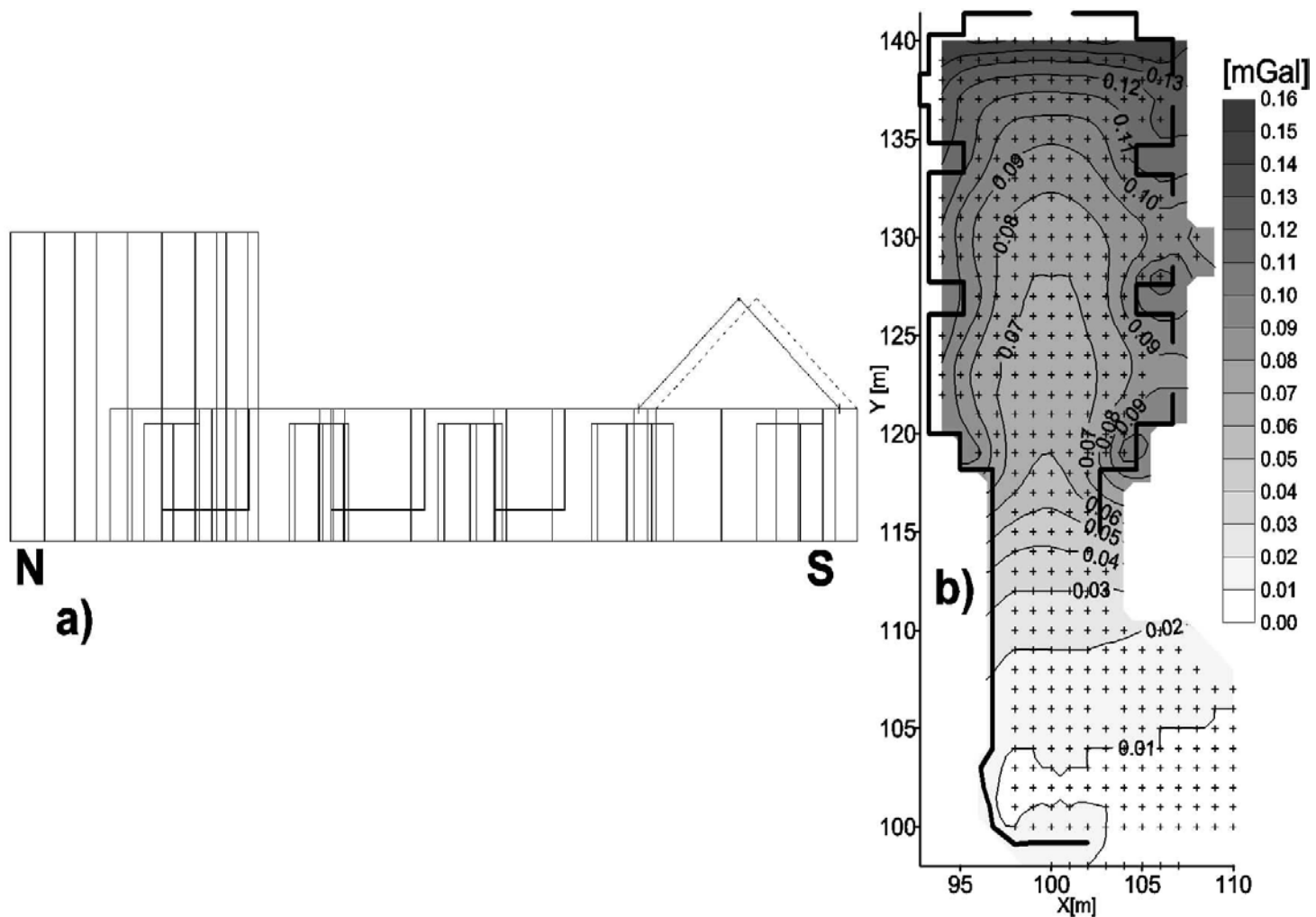
mikrograv. merania v lodi kostola



zmeraných 428 bodov

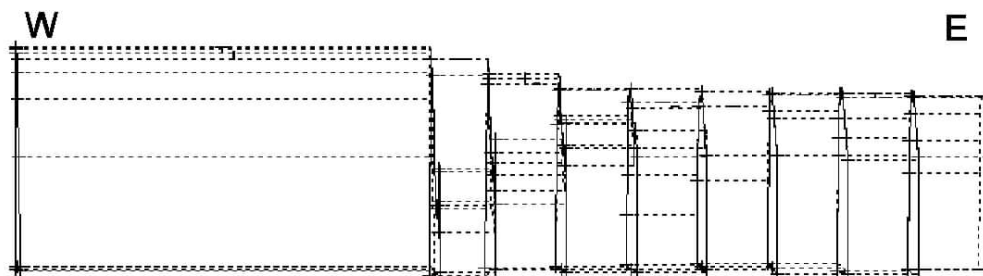


prístroj: Sodin 214GT

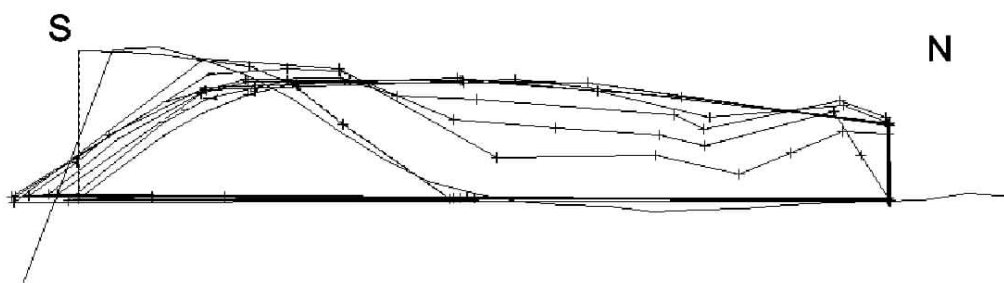


Katarínka - model a účinok múrov

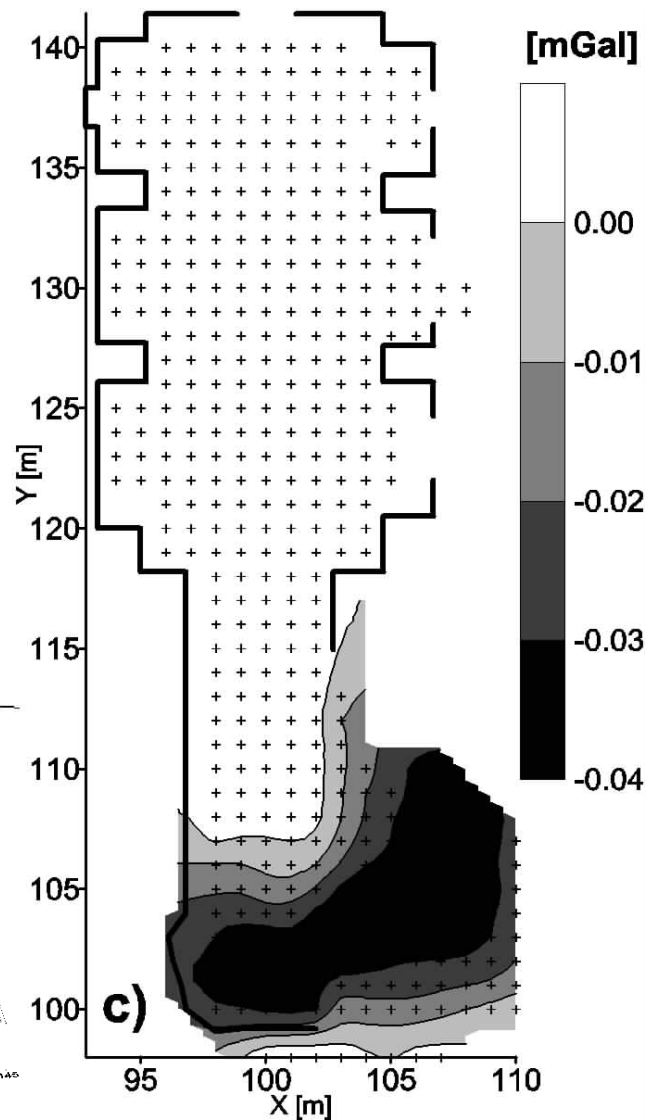
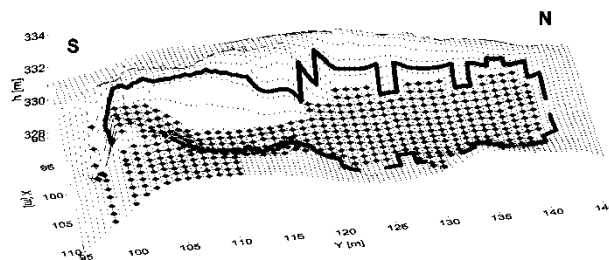
Katarínka - model a účinok sute



a)



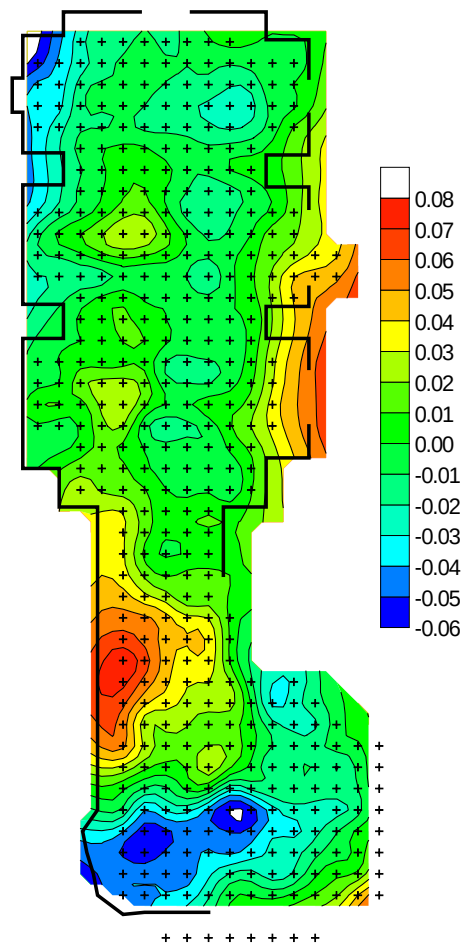
b)



c)

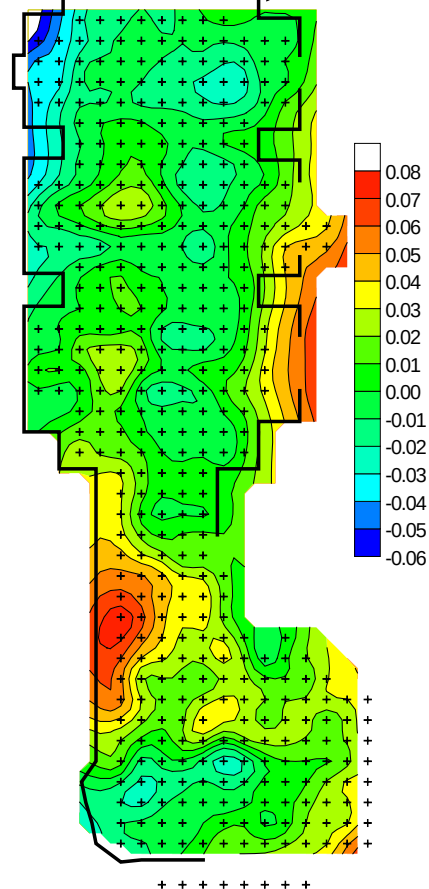
lokalita Katarínka - pokus o čiastočné odkrytie (- účinok sute)

reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}

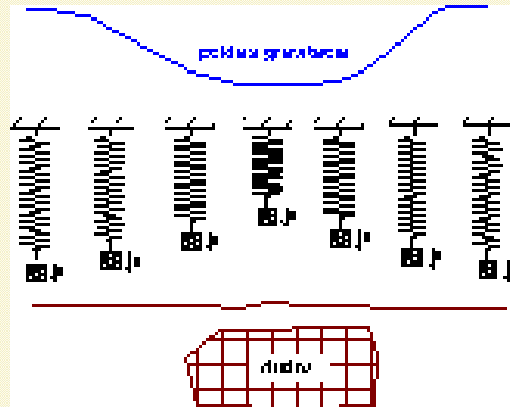


reziduálne anomálie
pre 2.4 g.cm^{-3}

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



mikrogravimetria - presné meranie zemskej gravitácie

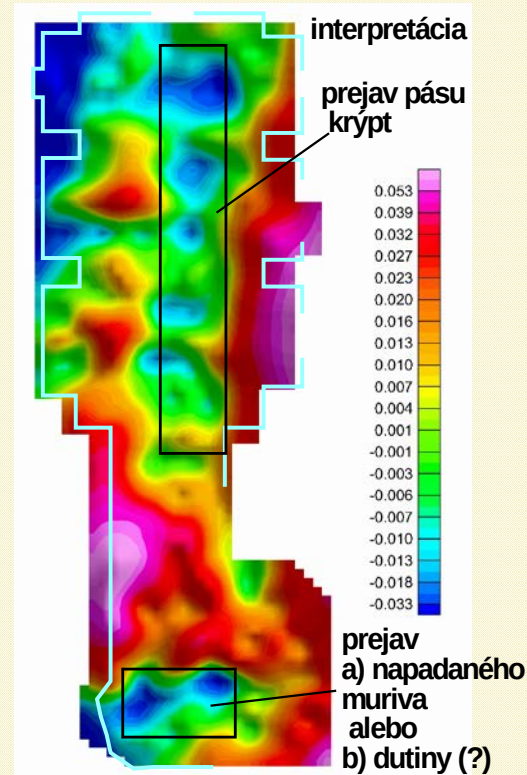
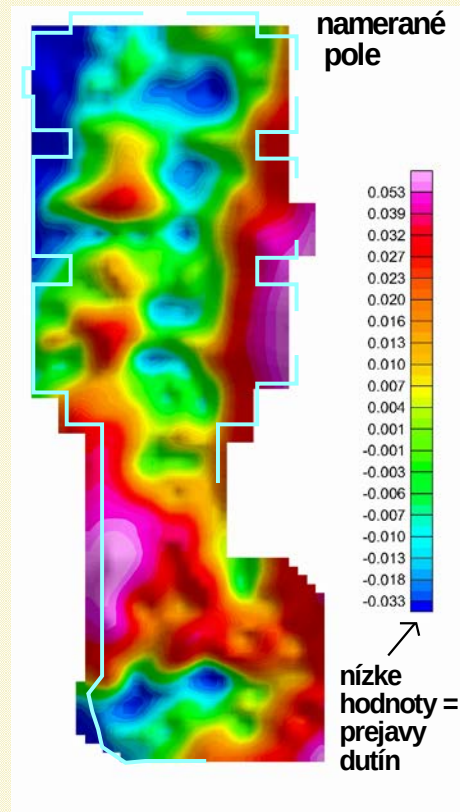


praktické meranie
v teréne



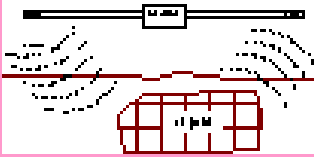
princíp
merania

výsledky z oblasti
lože kostola



geoelektrické merania zemskej vodivosti

a) princíp indukčného merania
elektrickej vodivosti zeme

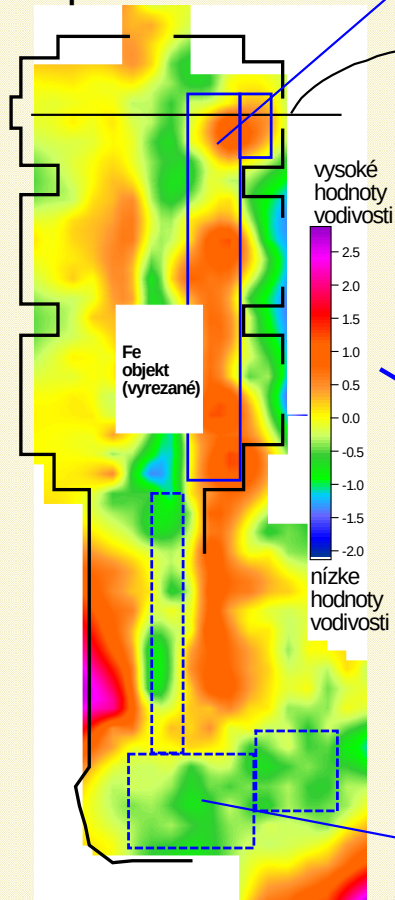


princípy
merania

b) princíp konduktívneho merania
elektrickej vodivosti zeme

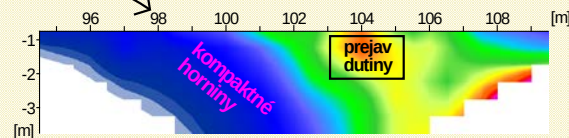


namerané pole vodivosti
stĺpca hornín do 6 m



prejav pásu
vodivého
prejavu krýpt

rez vodivosti do 4 m



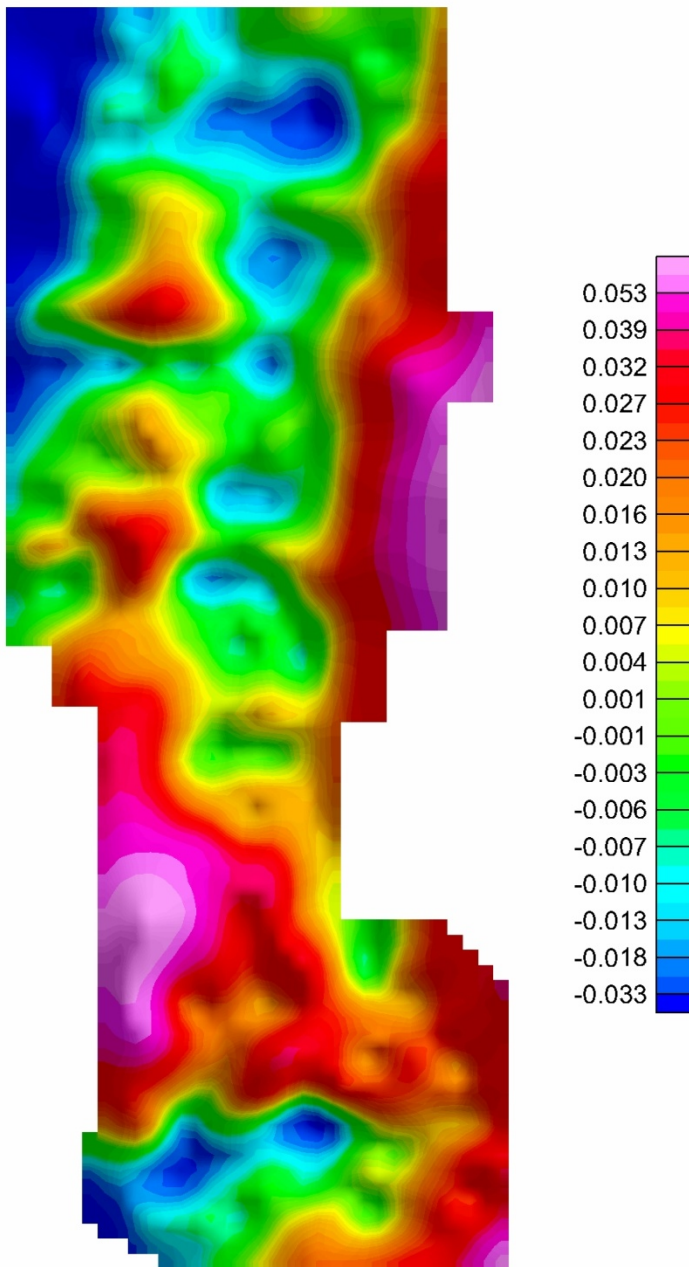
výsledky merania
vodivosti z oblasti
lode kostola



praktické
meranie
v teréne

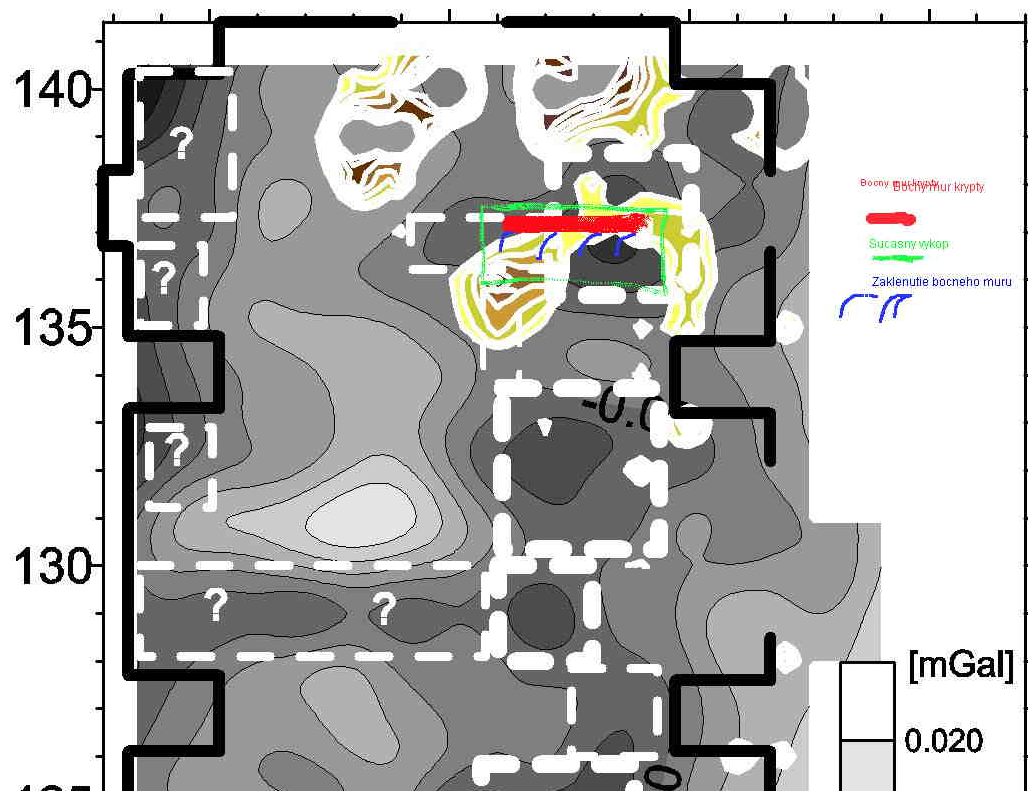


prejavy výskytu
prítomnosti
?
nevodivých
dutín (v skale)

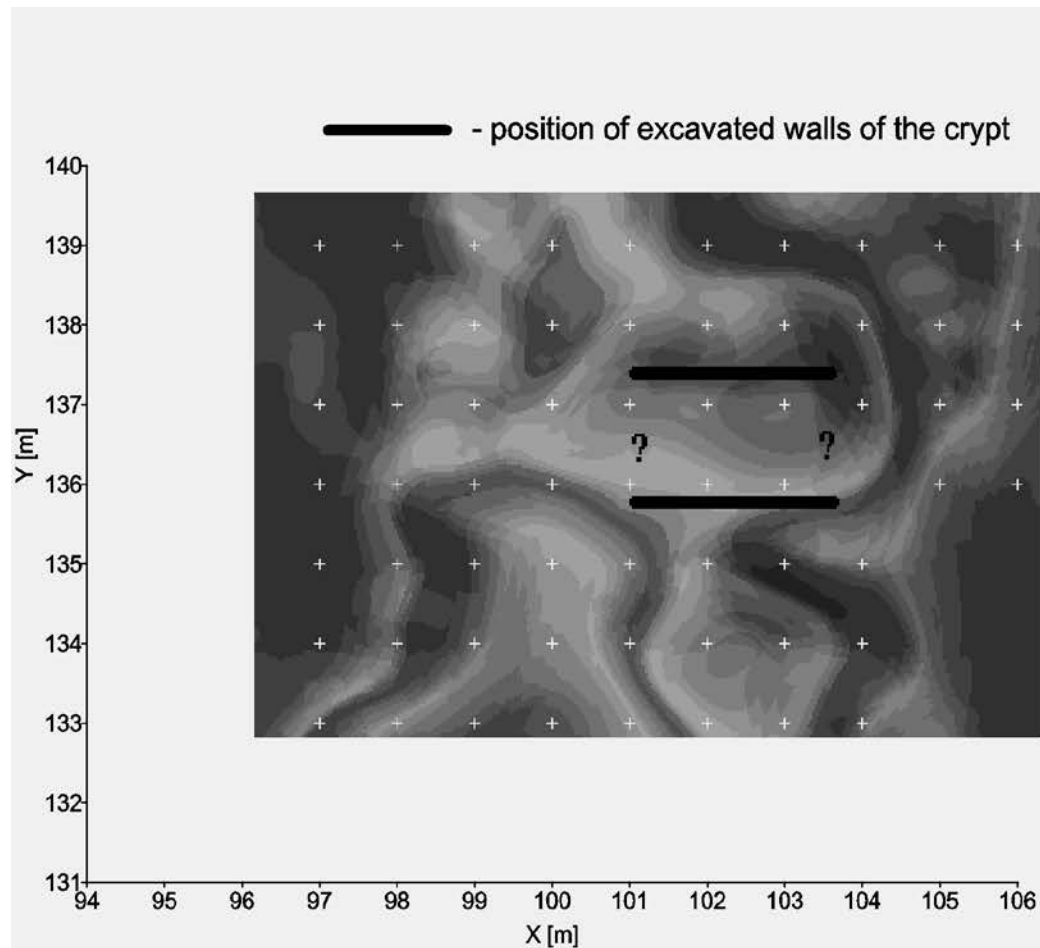


ANOMÁLNE PREJAVY KRÝPT PODĽA MIKROGRAVIMETRIE

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

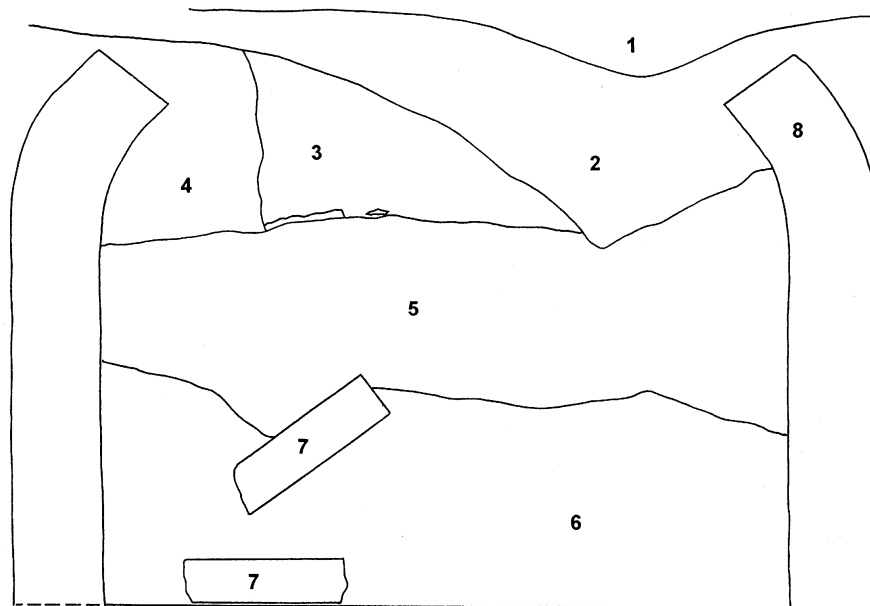
Západoslovenské múzeum Trnava

Kostol sv. Kataríny: Sonda III/2000-2001

Krypta - rez

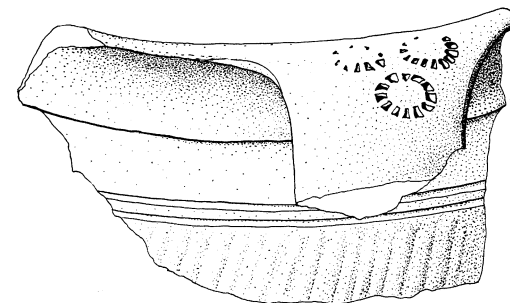
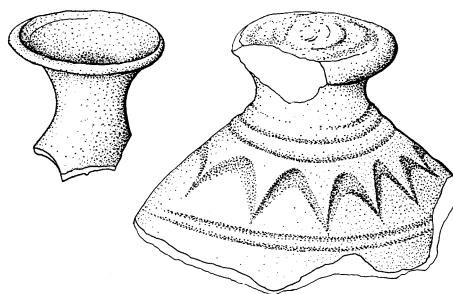
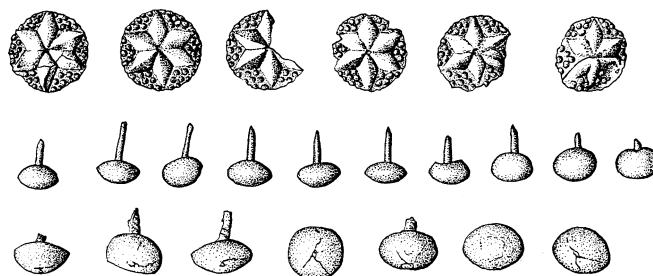
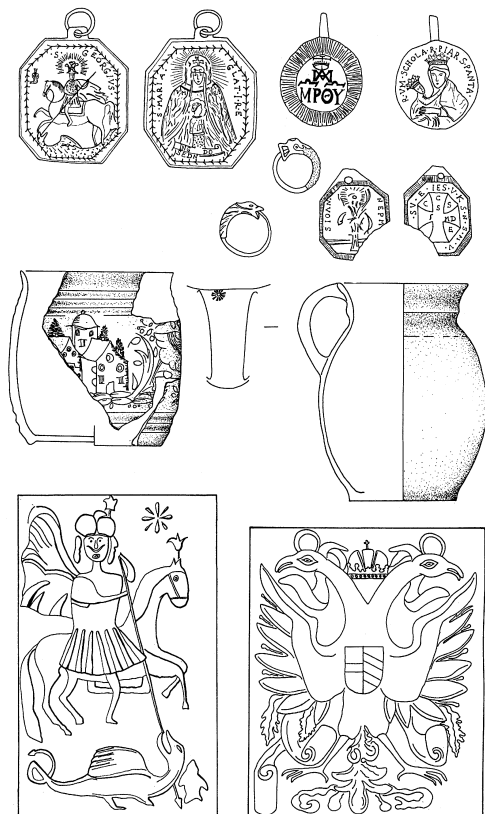
LEGENDA

- 1 – 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 zásyp
- 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 murivo krypty



0 100
cm

nálezy z krypty - leto 2001



uzavretie krypty - leto 2001

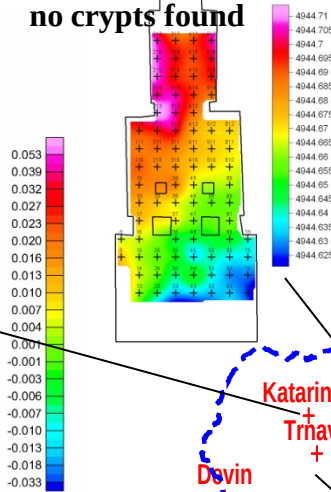


informácie ohľadom akcie
záchrana Katarínky:
<http://www.katarinka.sk/>

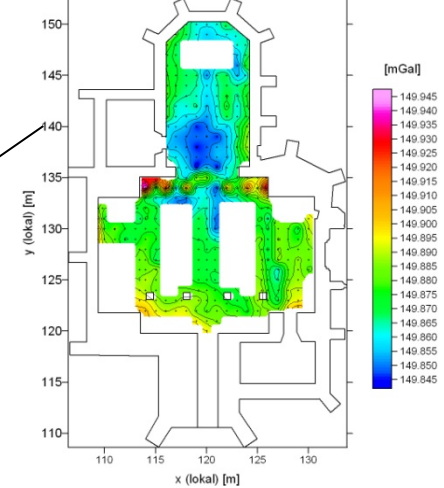
Micro-gravity: case-studies

*examples from
Slovakia 1998 - 2009*

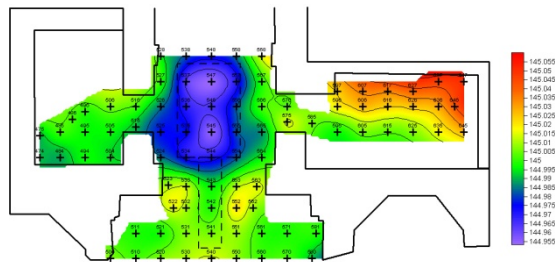
2001,
no crypts found



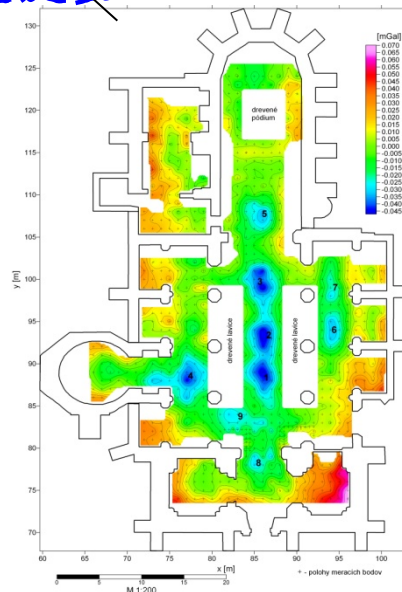
2006, pitfall!
(filled sink instead of a crypt)



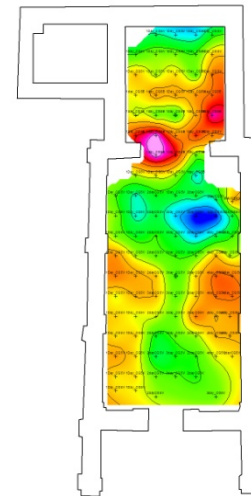
1998,
4 crypts detected, 1
found



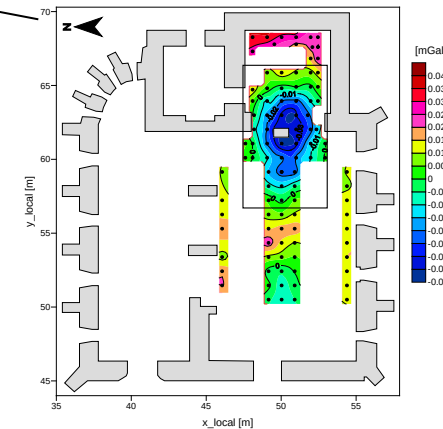
2002,
test site – known
crypt detected



2006, 8 crypts found



2009,
2 crypts detected
(should be verified)



2008,
1 crypt detected
(should be verified)

