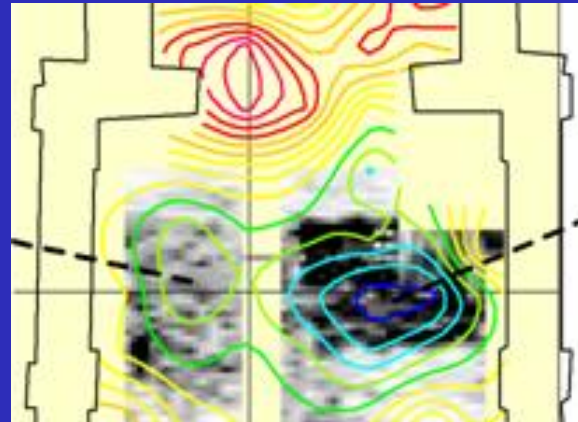


Príkladové štúdie (case-studies) z archeo-geofyziky (mikrogravimetria + GPR)



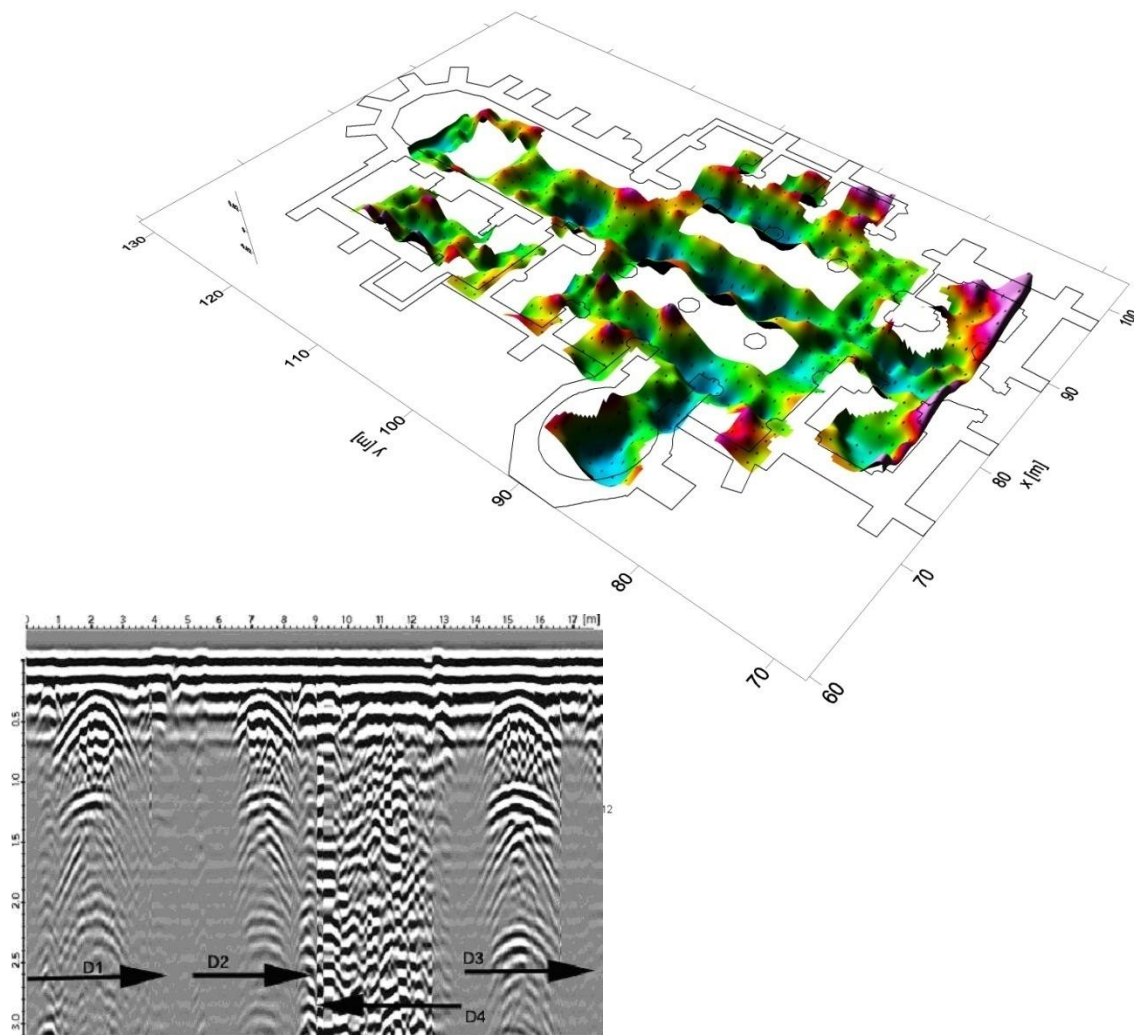
Príkladové štúdie (case-studies) z archeo-geofyziky (mikrogravimetria + GPR)

- **asi najlepšia kombinácia metód na detekciu dutín (krypty, hrobky, pivnice, atď.), najmä teda v zastavaných priestoroch – obe sú neinvazívne**
- **vo väčšine prípadov sa navzájom potvrdzujú, sú však prípady, kedy jedna z nich nezareaguje (potom sa uvažuje možnosť detekcie iba jednou metódou)**

PRÍKLADY POUŽITIA MIKROGRAVIMETRIE V ARCHEOLÓGII – DETEKCIA DUTÍN

- prieskum kostola sv. Mikuláša v Trnave
- prieskumu kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch pri Nitre
- prieskum kostola sv. Juraja vo Sv. Juri
- prieskum kostola sv. Jozefa v Beckove
- prieskum kostola Panny Márie v Dolnom Dubovom
- prieskum kostola sv. Kataríny v Banskej Štiavnici
- kostol a kláštor Katarínka, JZ Slovensko
- kostol Všetkých svätých, Krásnohorské podhradie
- základy ranno-byzantskej baziliky v Izniku (bývalá Nicea), Turecko

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)

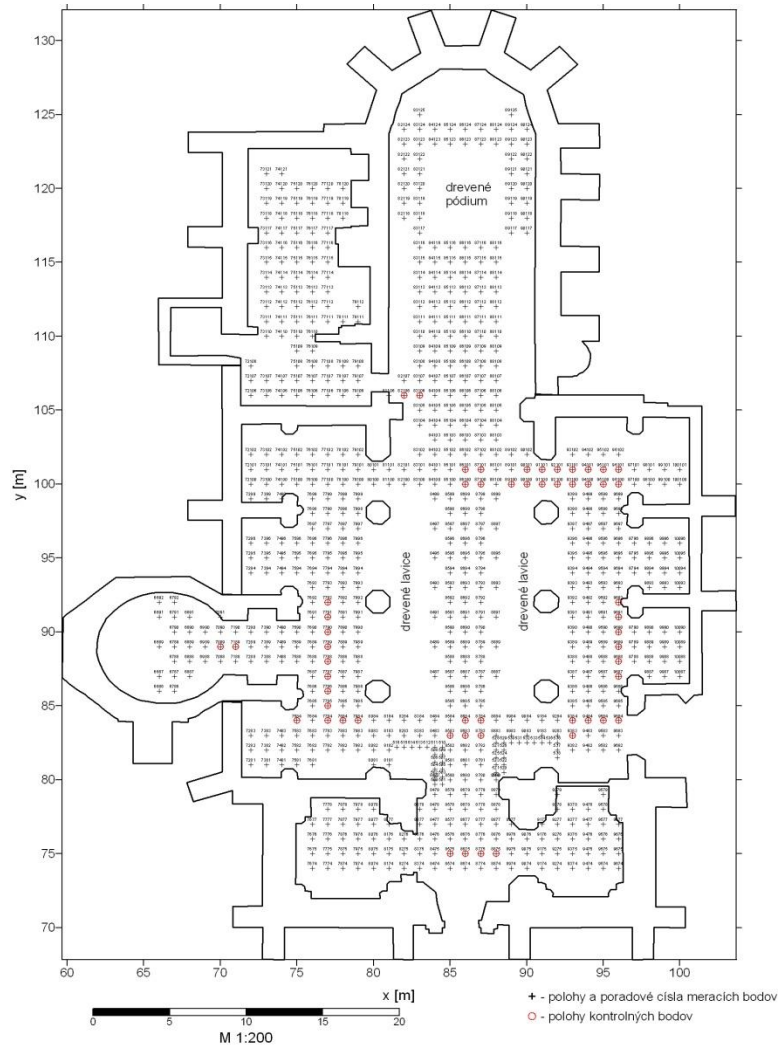
- georadar v tzv. trasovacej modifikácii

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

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

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

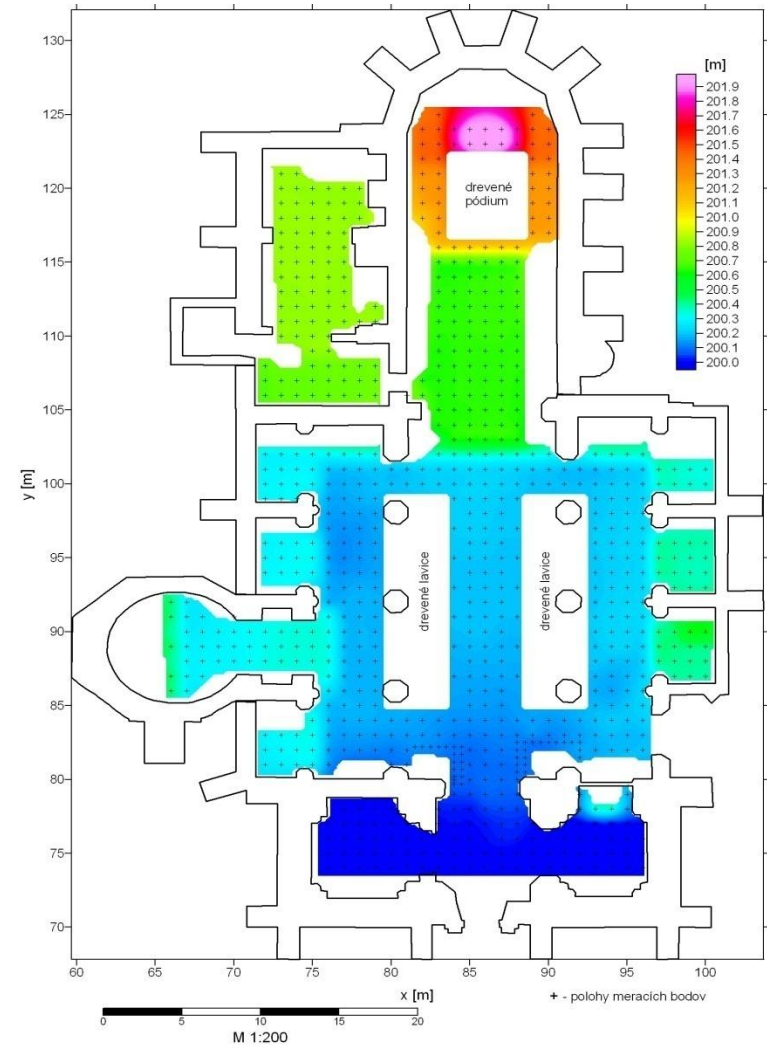
mikrogravimetria:



Obr. 2 Polohy meracích a kontrolných bodov v priestore kostola

4

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



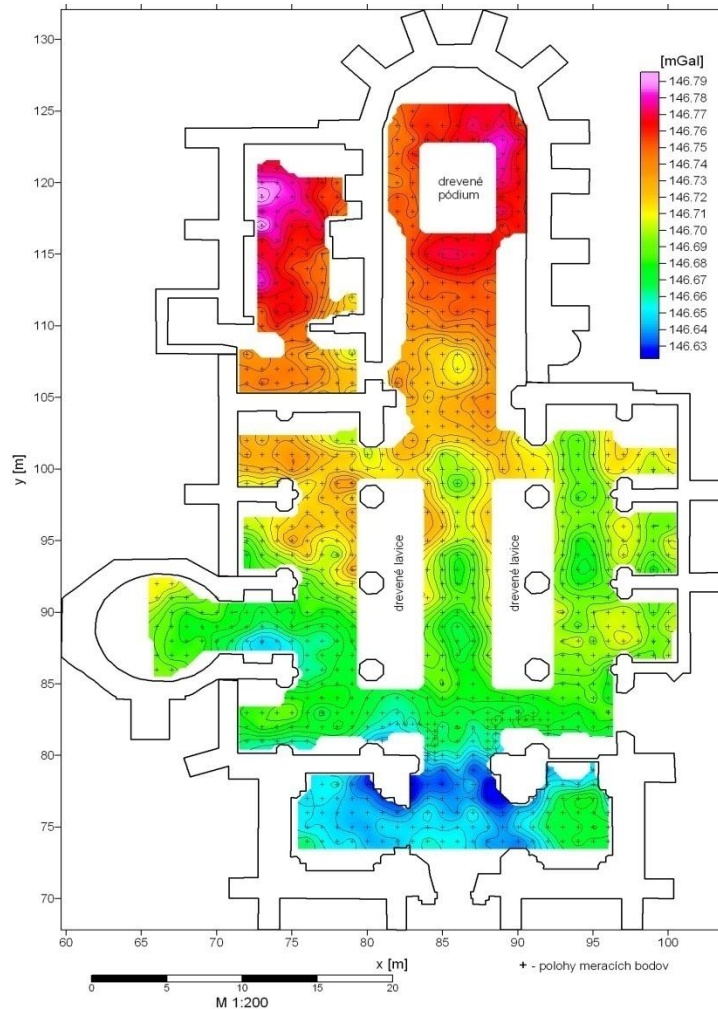
Obr. 3 Mapa priebehu nadmorských výšok meracích bodov v priestore kostola

5

nadmorské výšky bodov merania
(rozpätie: 2.018 m)

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

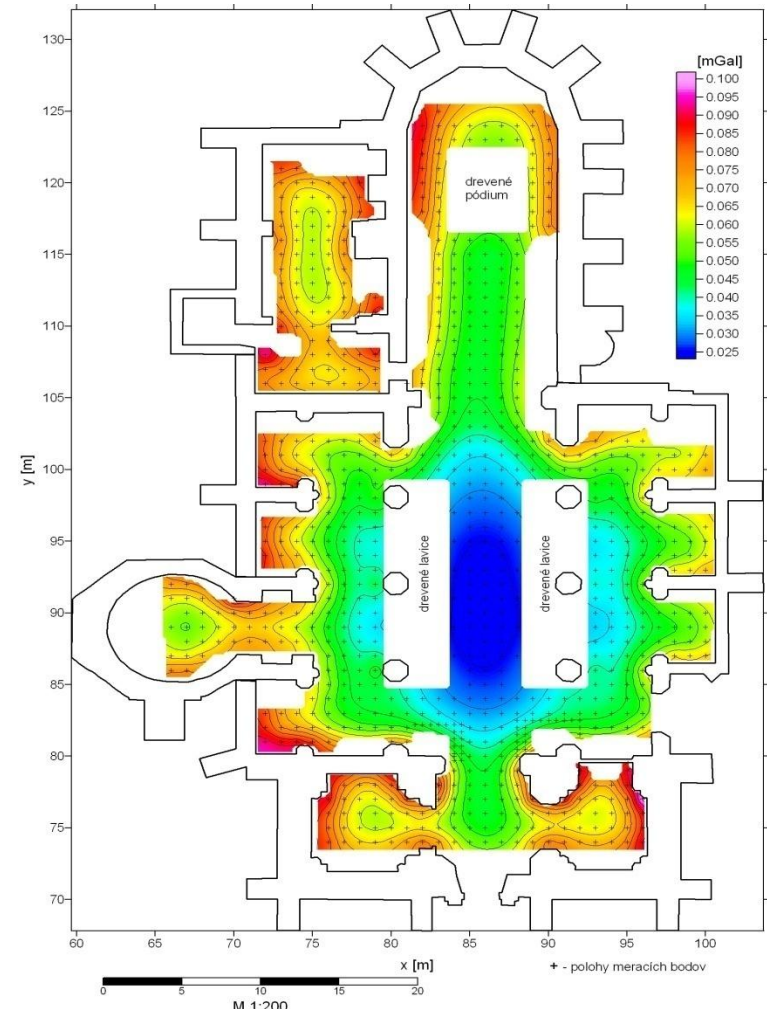
mikrogravimetria:



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 $\sigma = 1.80 \text{ g.cm}^{-3}$)



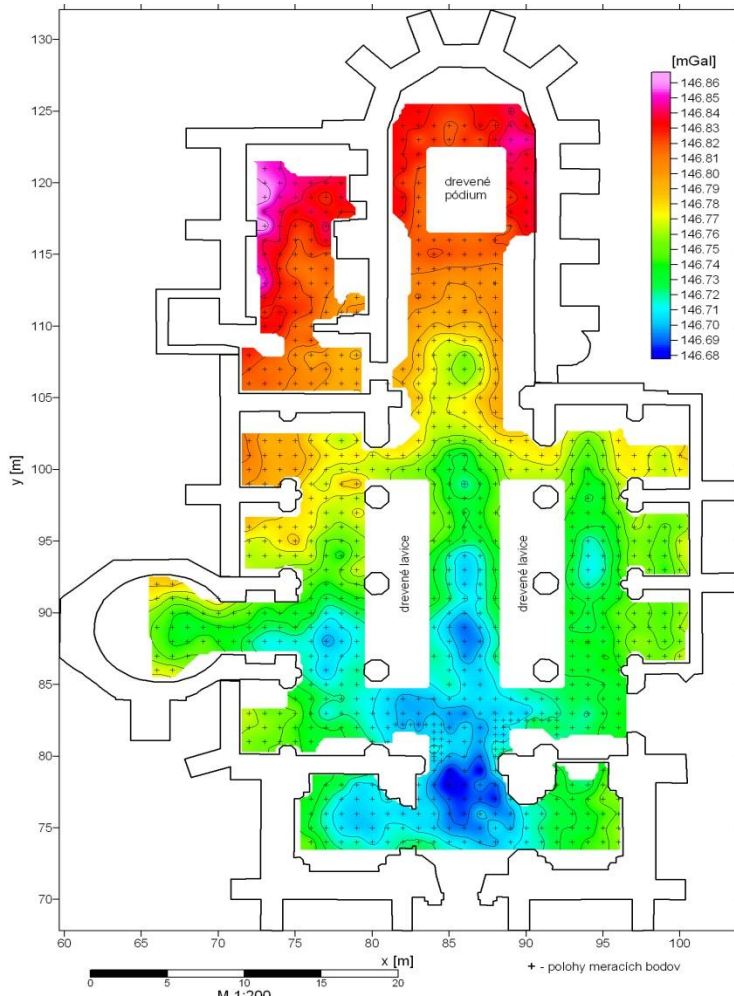
Obr. 6 Mapa priebehu gravitačných účinkov múrov v priestore kostola

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:

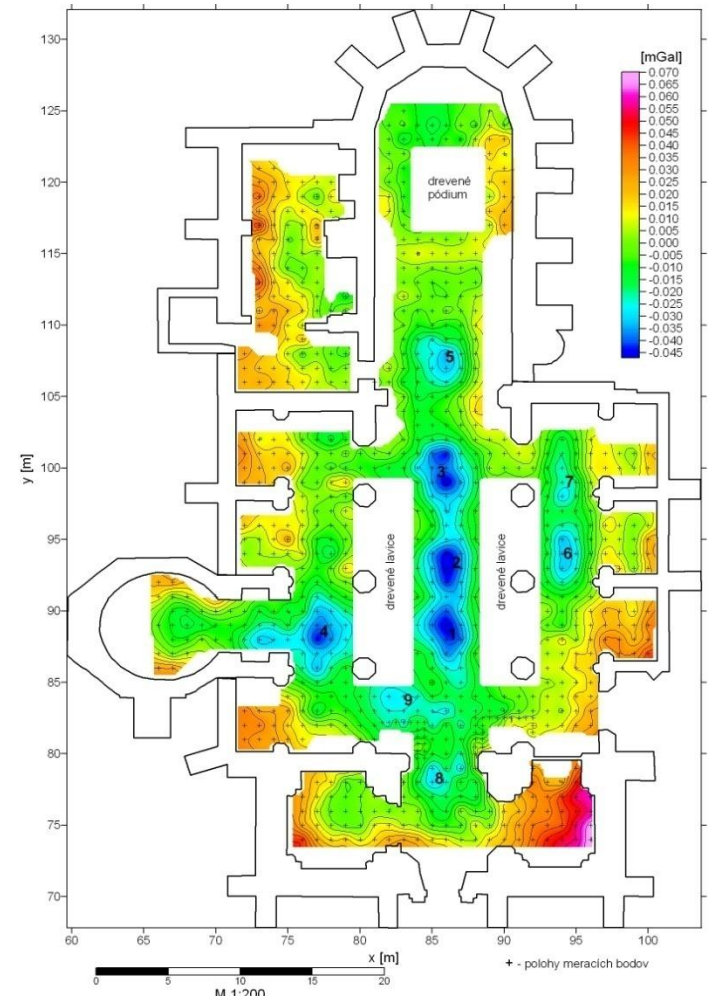


Obr. 7 Mapa priebehu neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

10

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

výstup



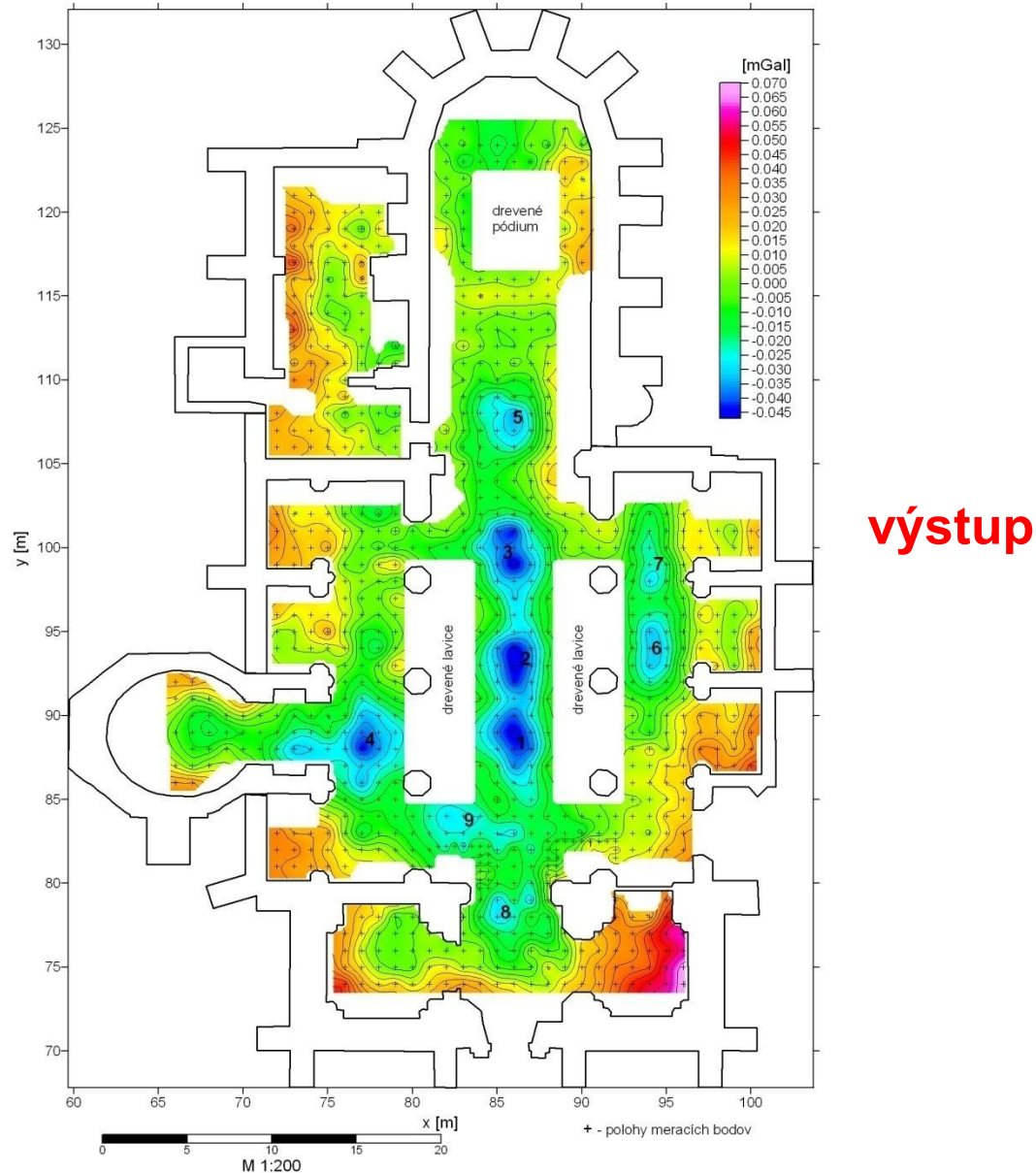
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným lineárnym trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

11

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

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

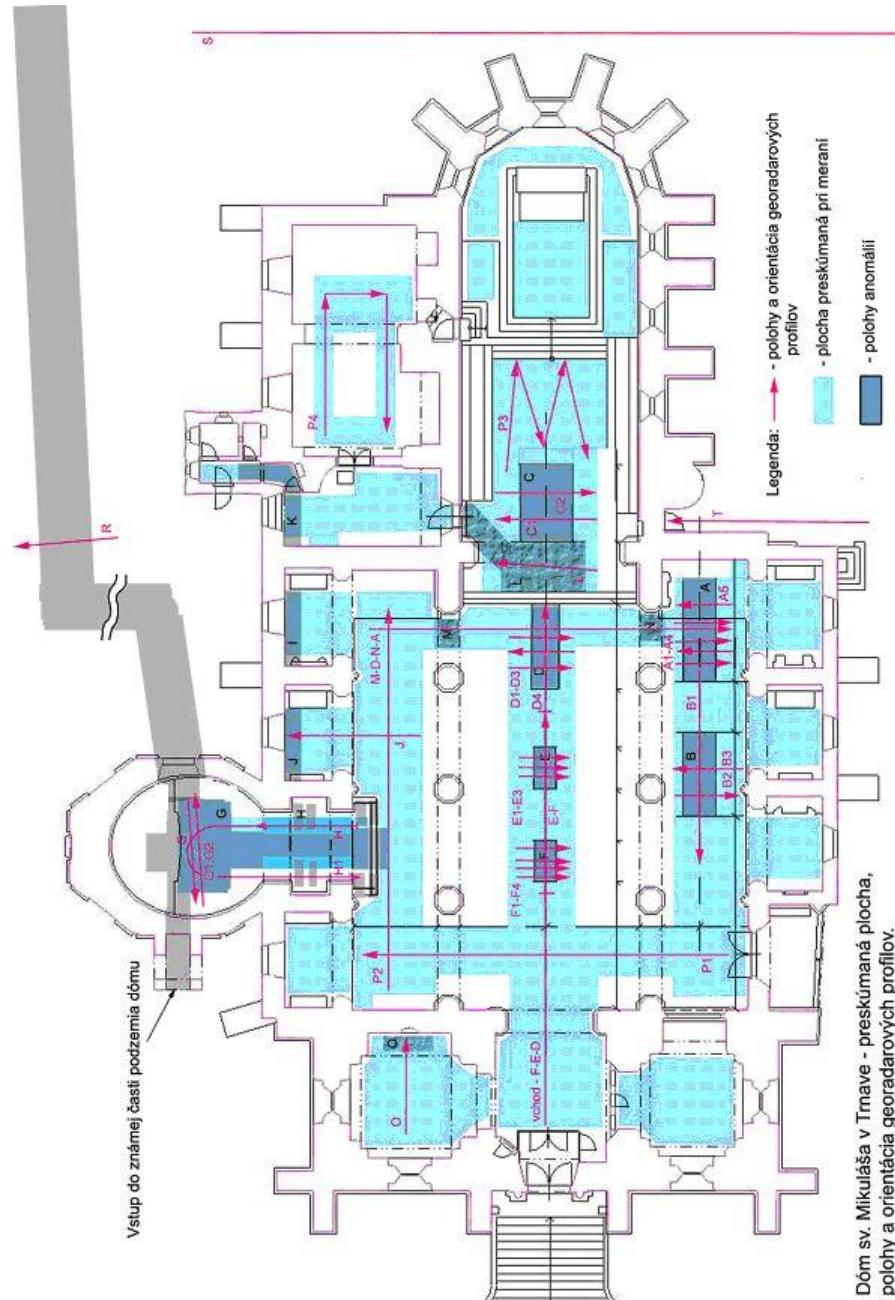
mikrogravimetria:



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}

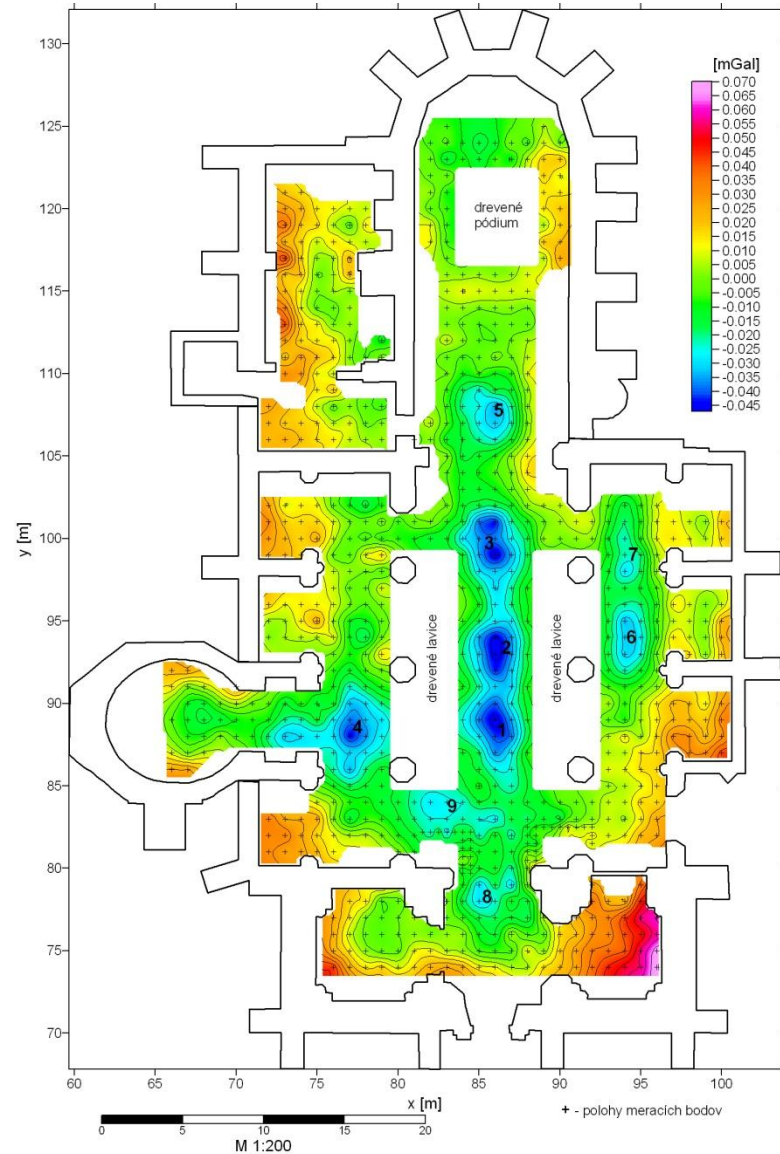
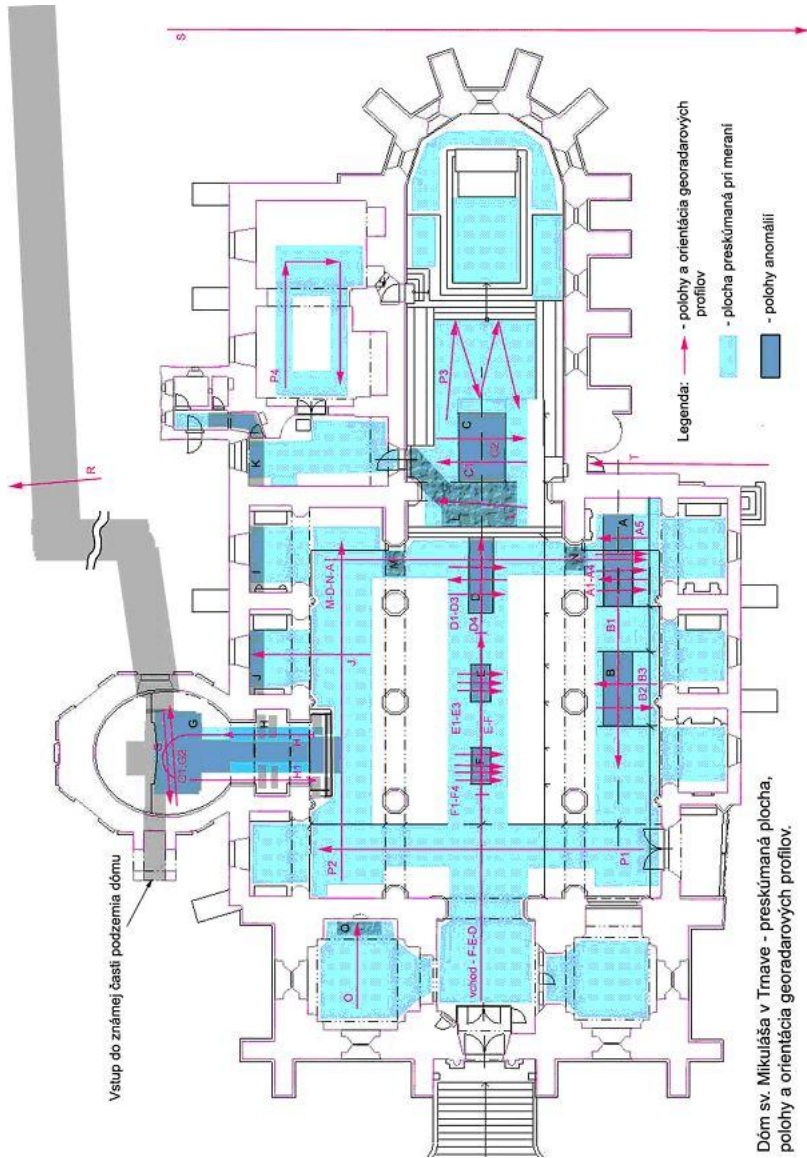
výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

merania GPR:



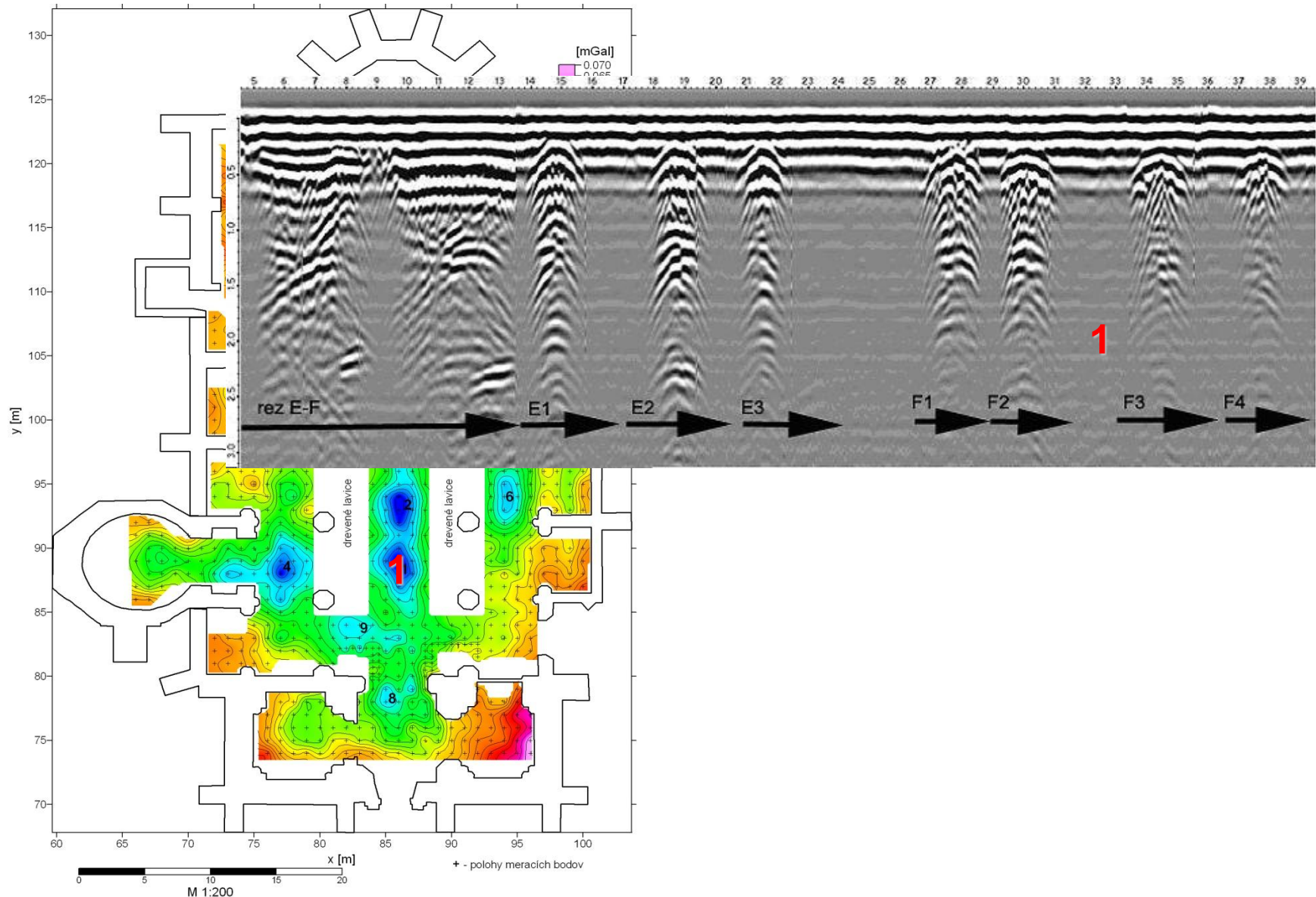
priebeh profilov GPR (trasovacia metóda) s vyznačenými detekovanými dutinami

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



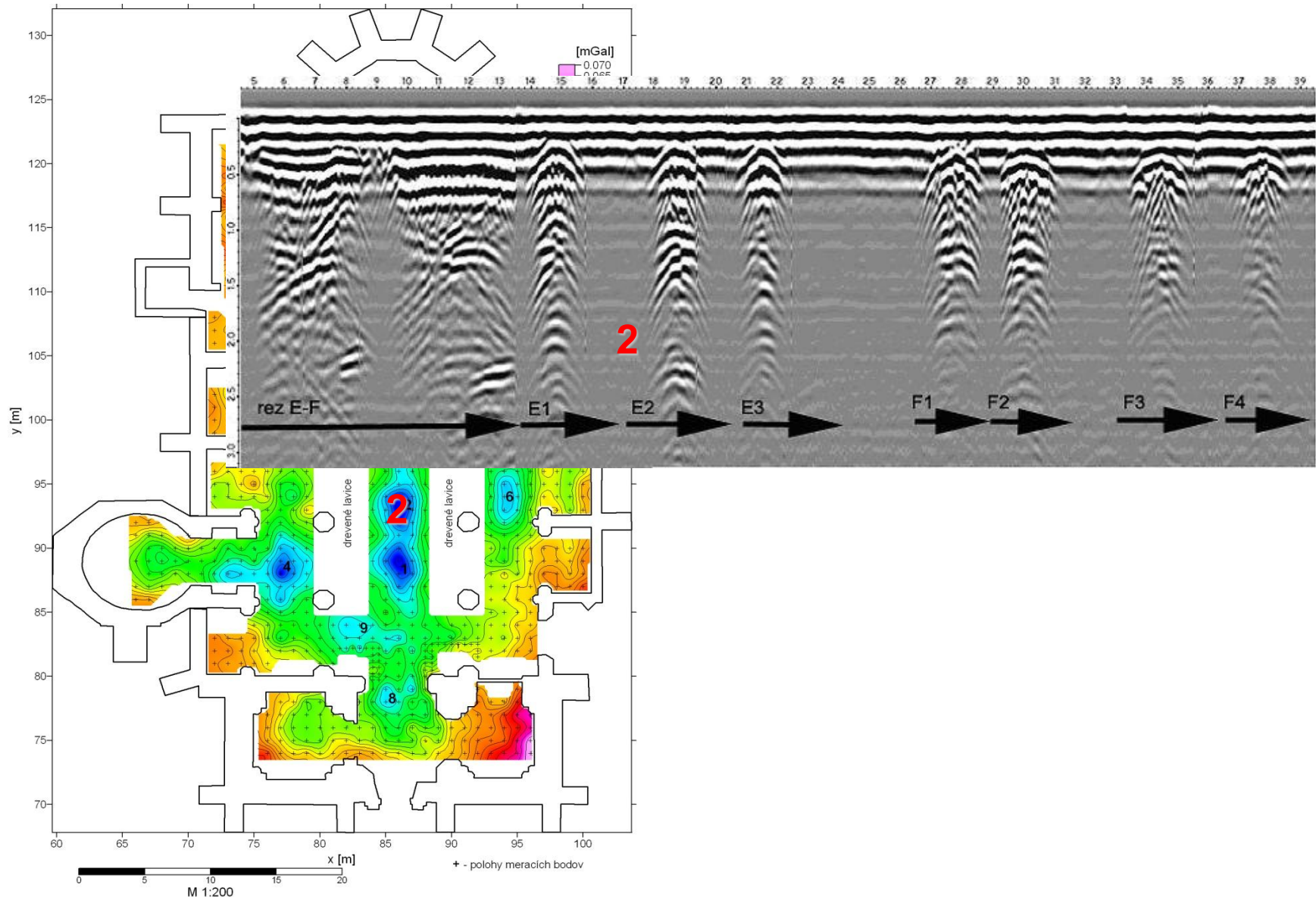
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm⁻³

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



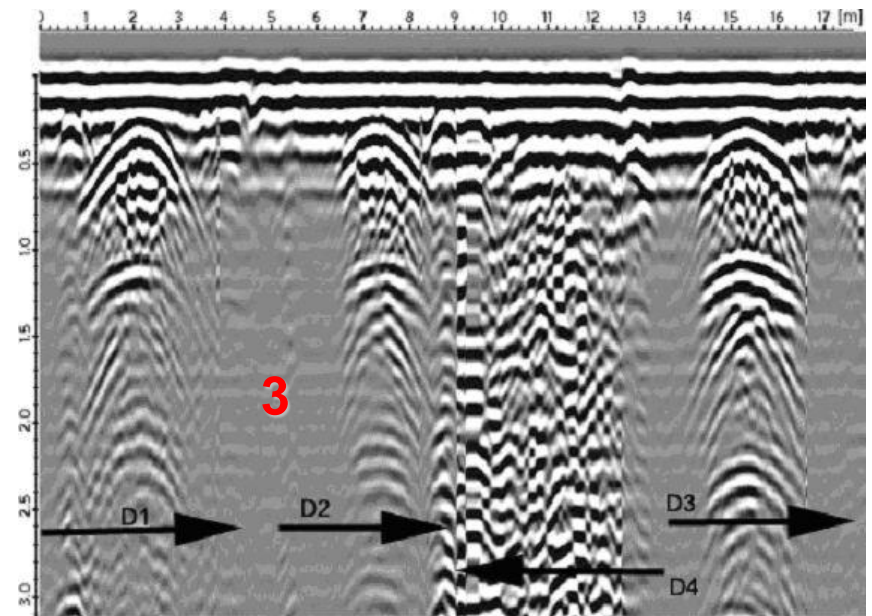
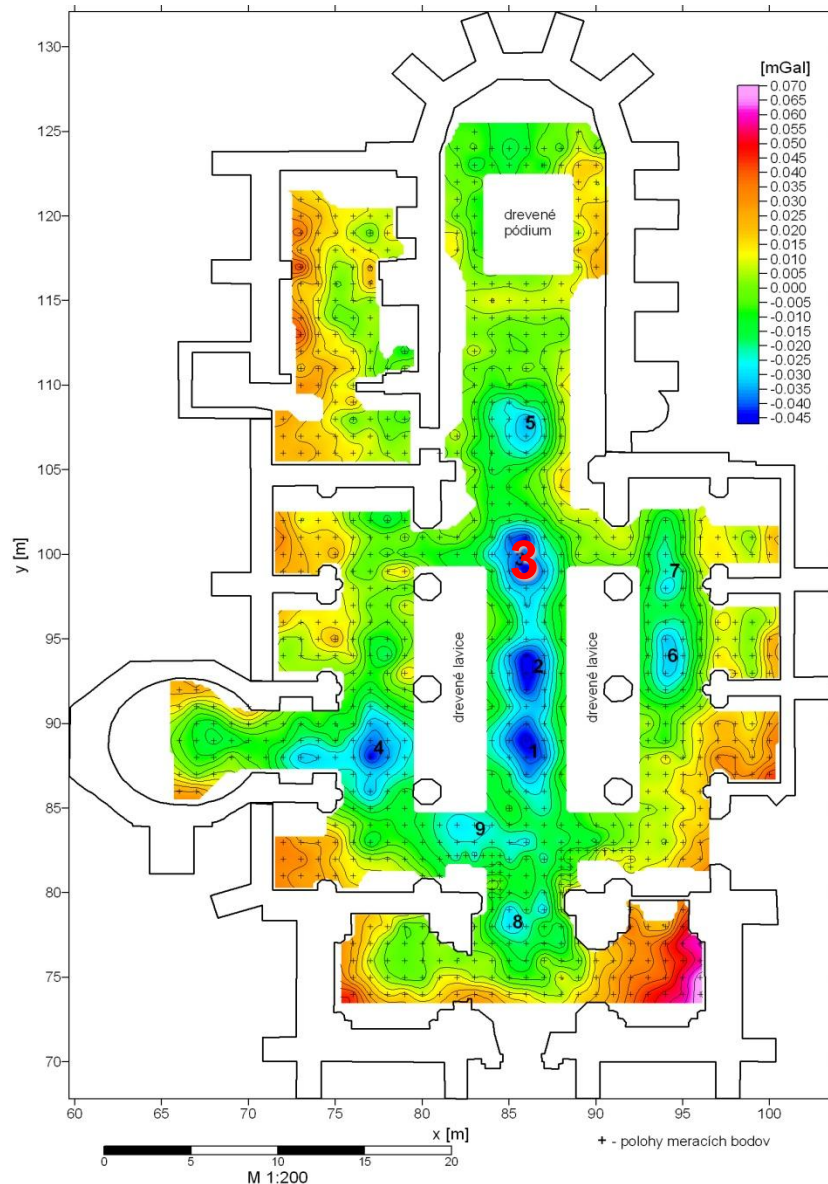
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitčný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



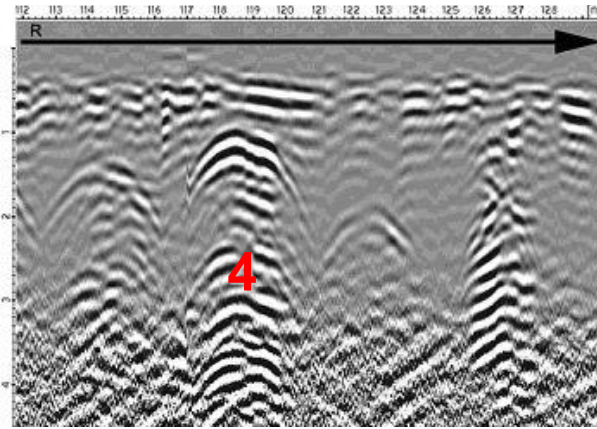
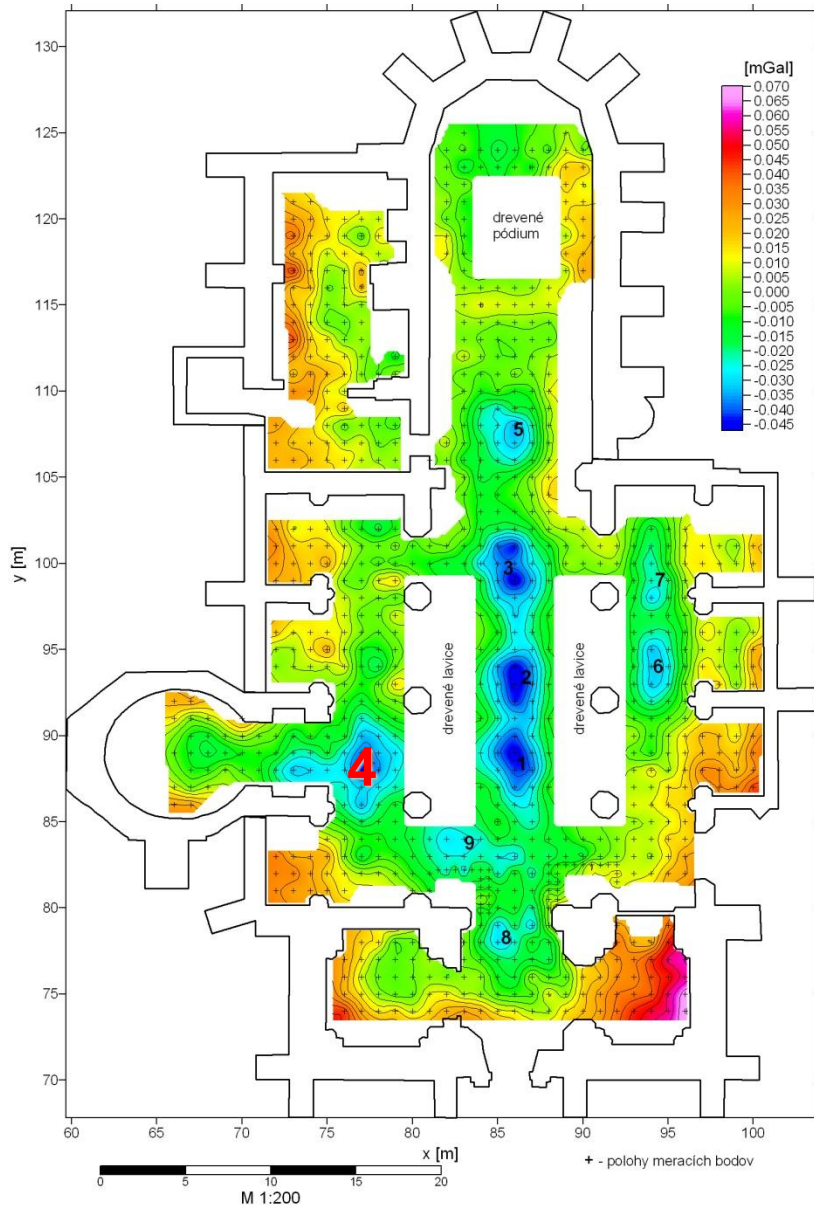
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

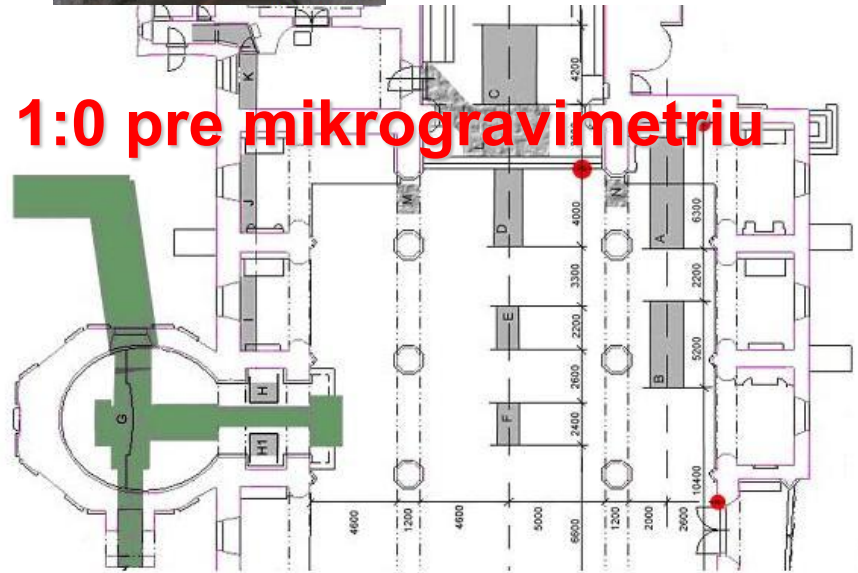


Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

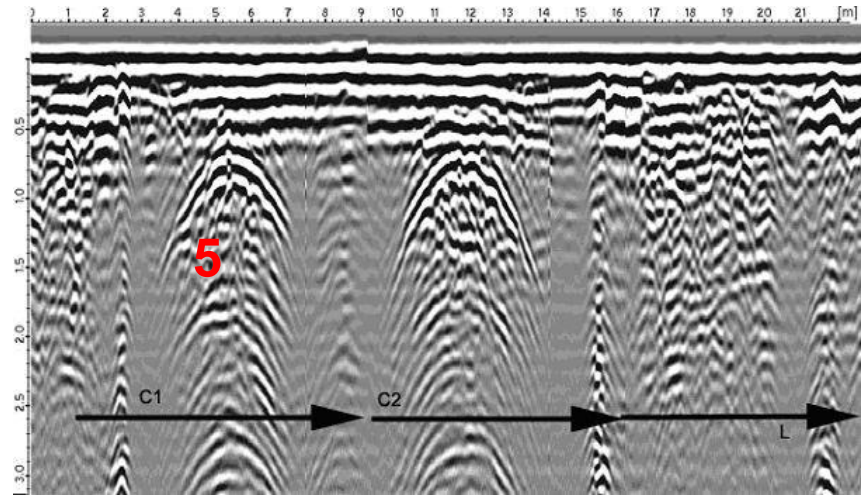
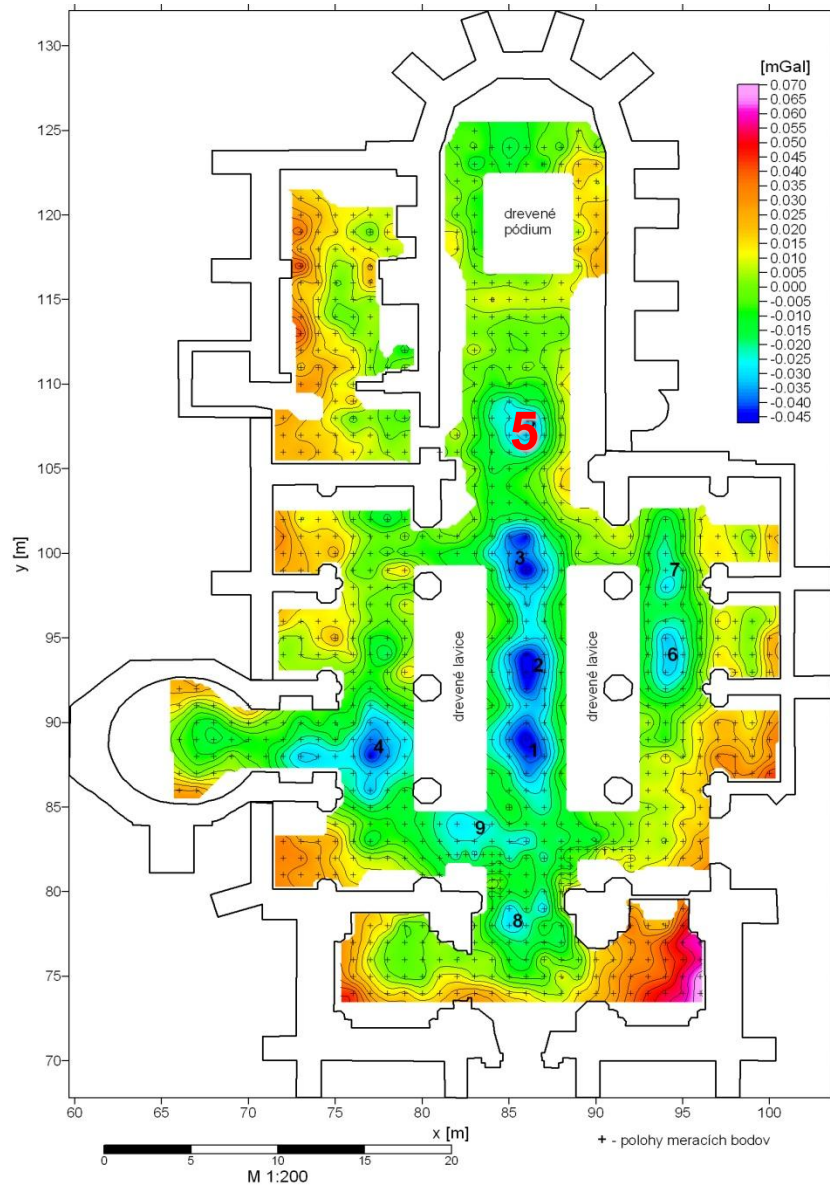


známa
krypta (chodba)



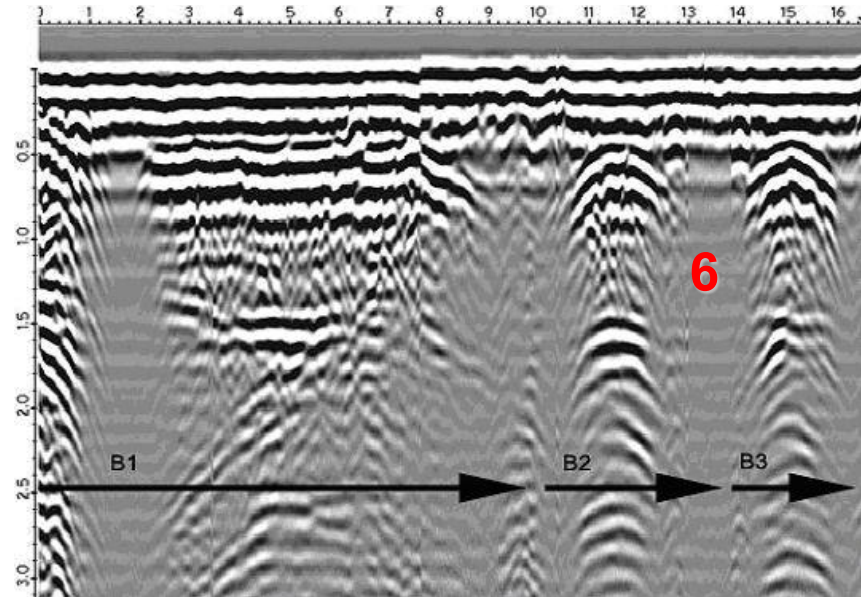
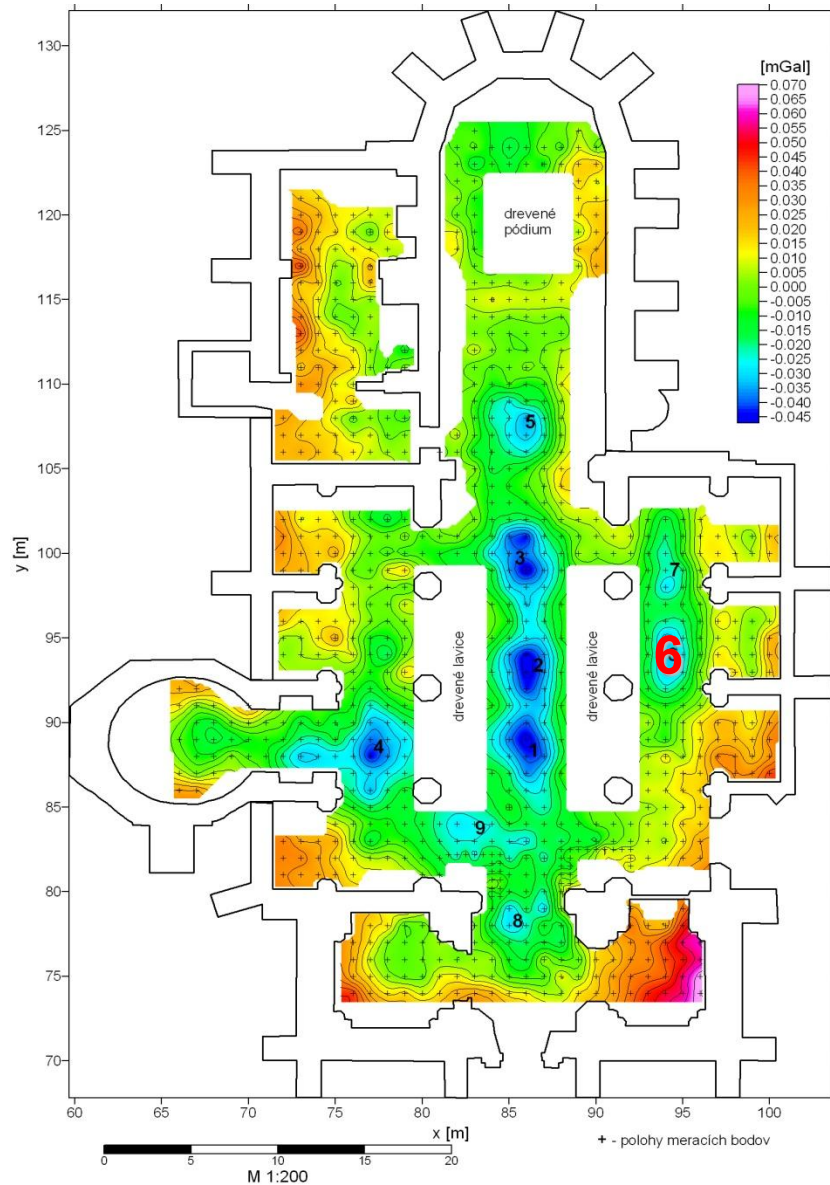
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



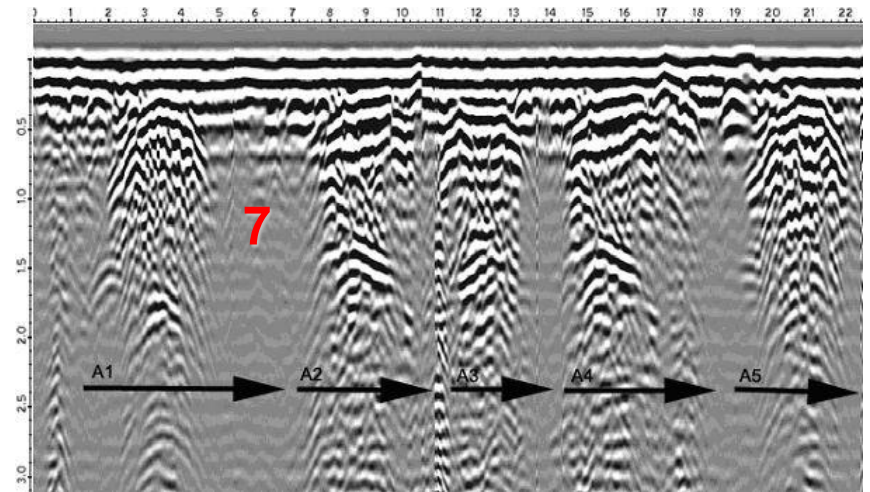
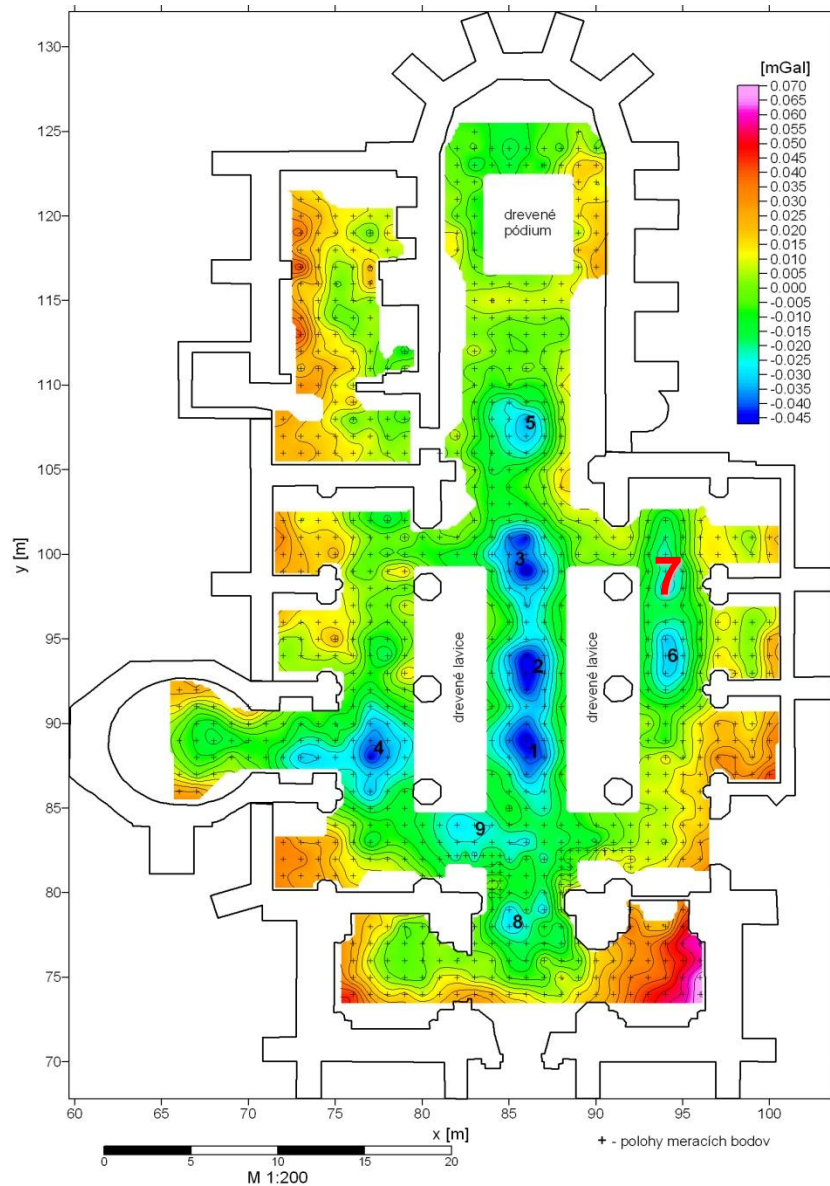
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitacný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



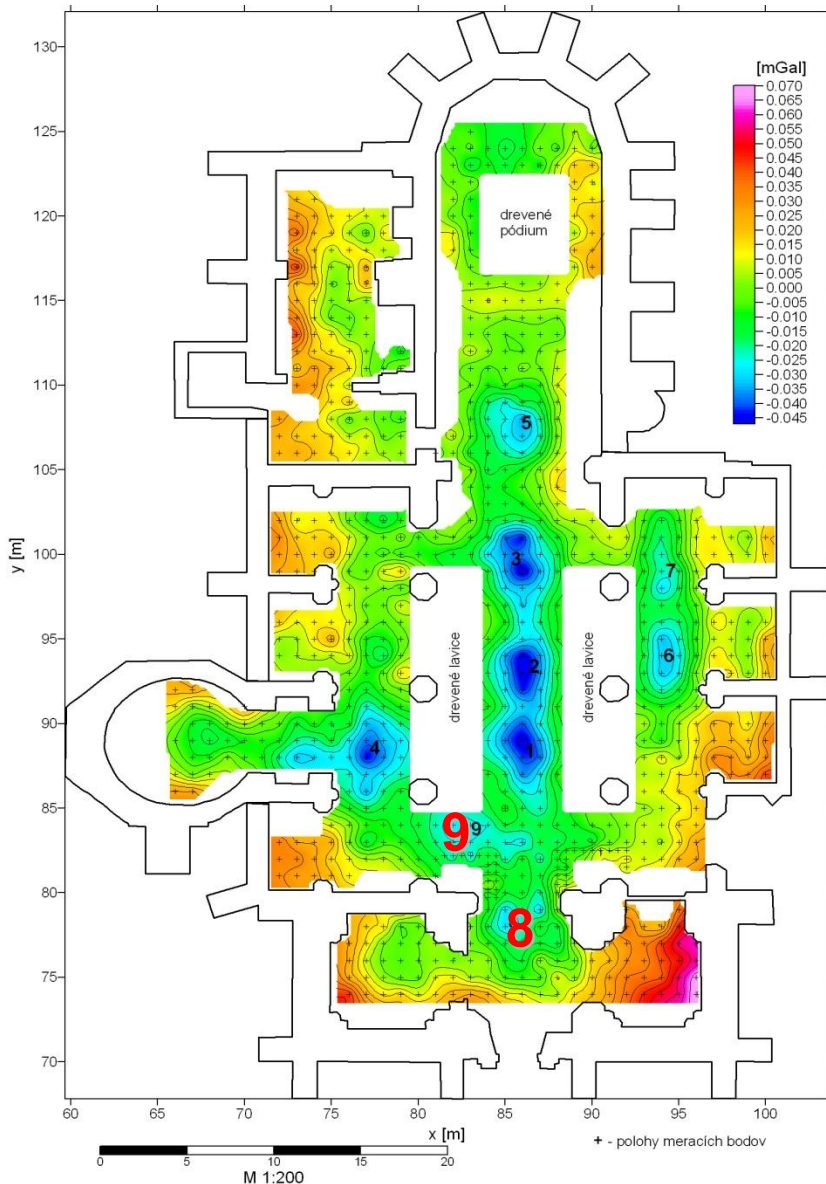
Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitačný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



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

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave

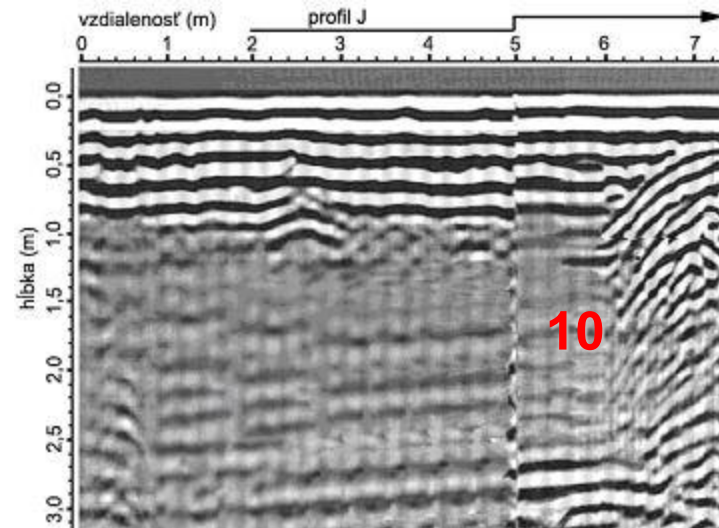
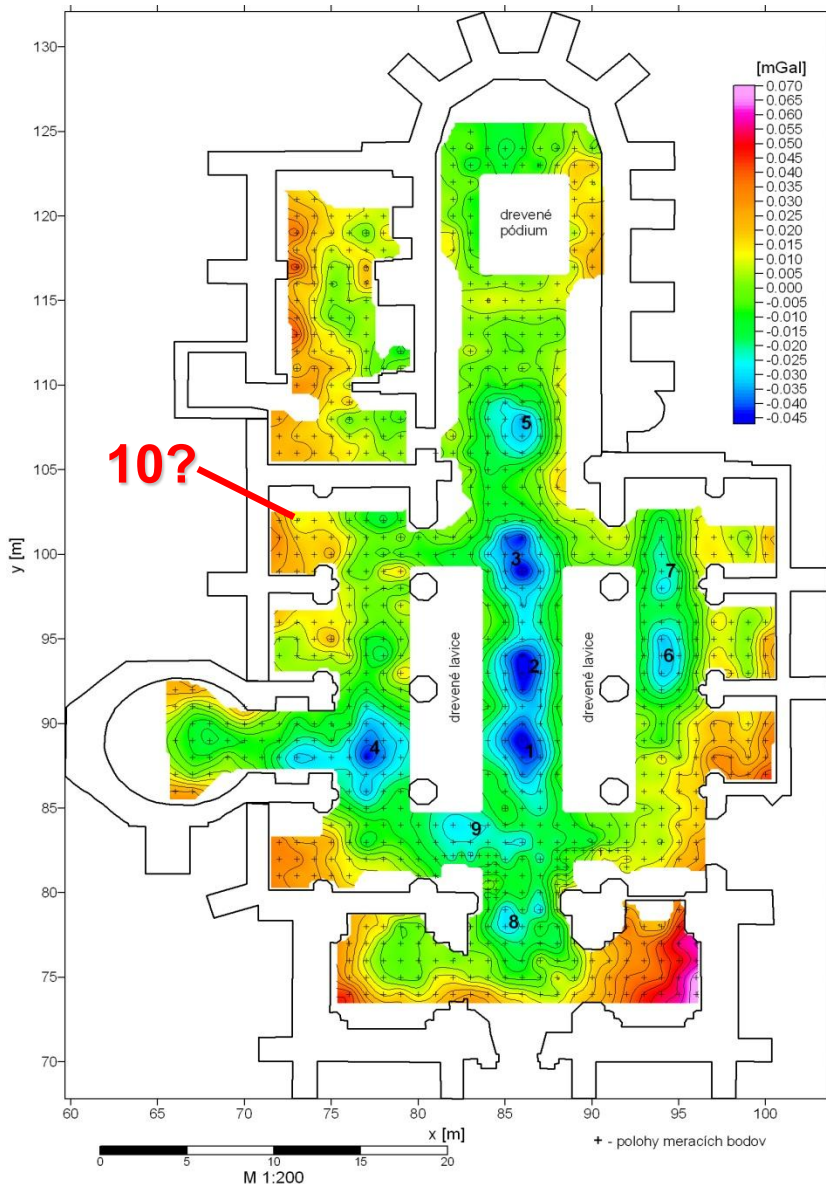


Obr. 8 Mapa priebehu lokálnych neúplných Bouguerových anomálií v priestore kostola (so zavedením opráv o gravitacný účinok múrov a odstráneným trendom), kor. hustota = 1.80 g.cm^{-3}

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

(bez GPR indikácií)

výsledky geofyzikálneho prieskumu Dómu sv. Mikuláša v Trnave



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

1:1

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

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



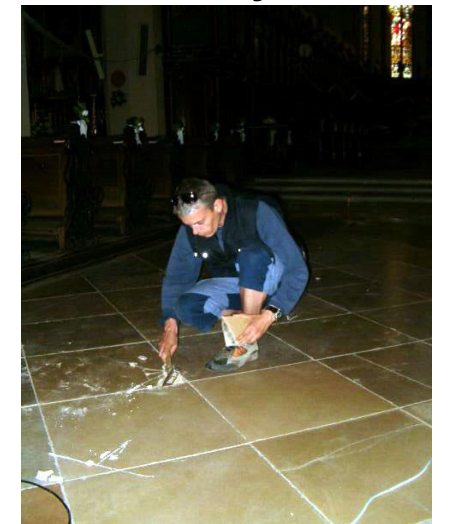
3. vsunutie kamery do otvoru



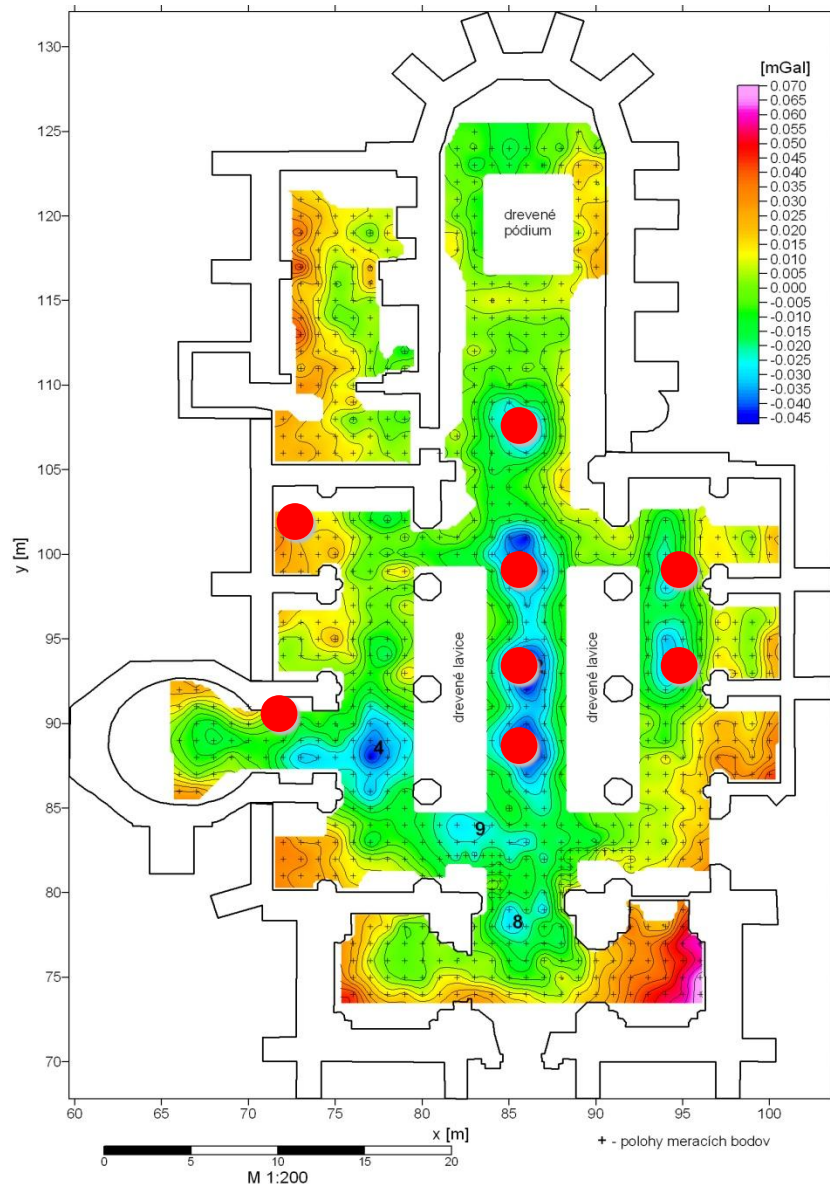
4. obhliadka priestoru



5. nahratie videosekvencie



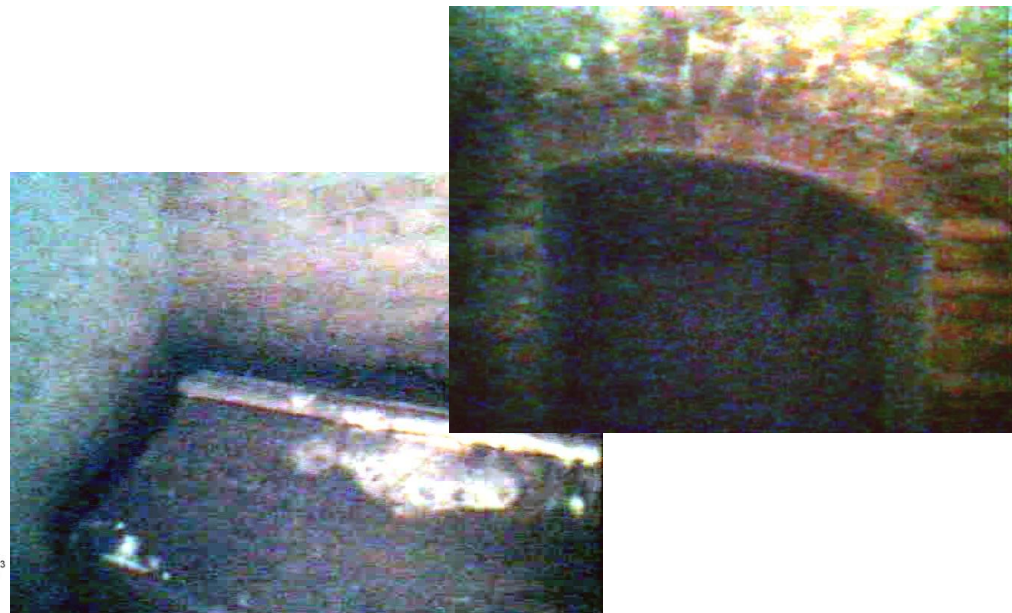
6. opätovné uloženie dlažby



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

výsledky videoinšpekcie:

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

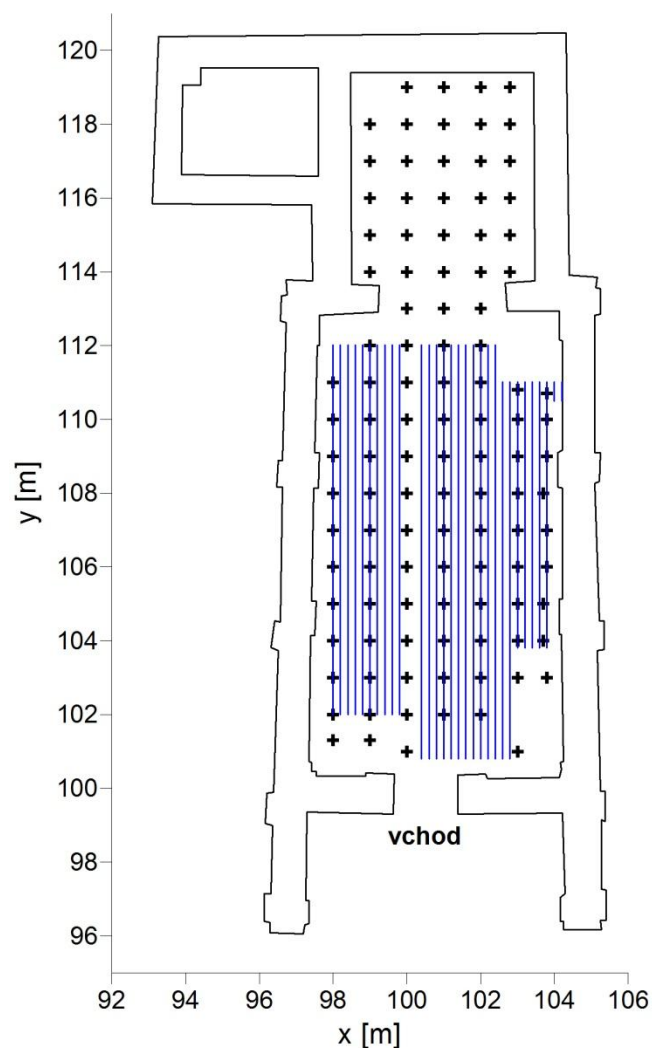


Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch (pri Nitre)

(letná škola INCA2009)



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



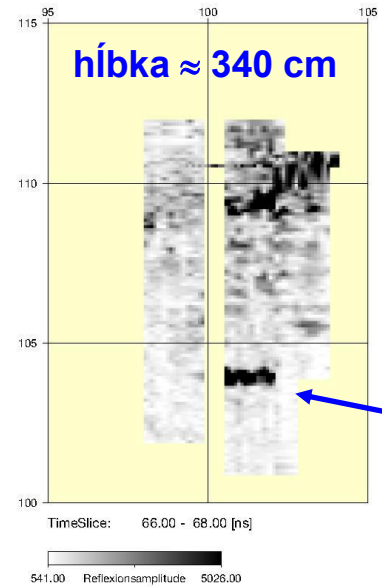
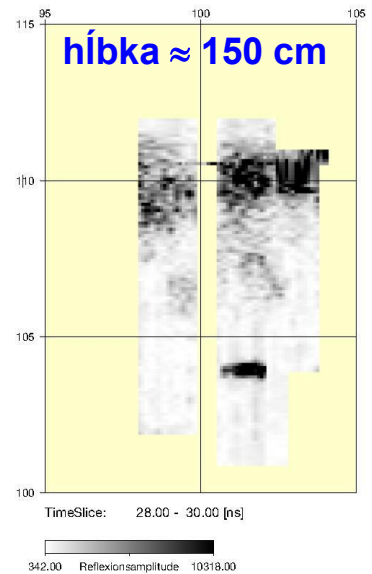
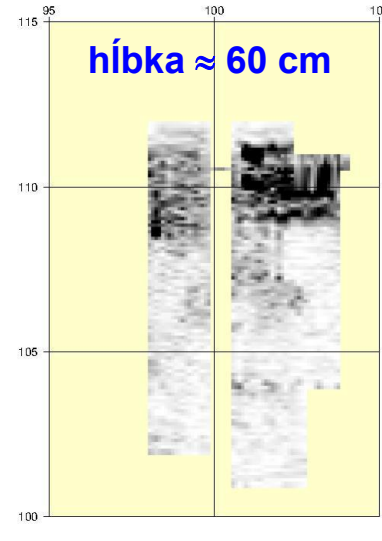
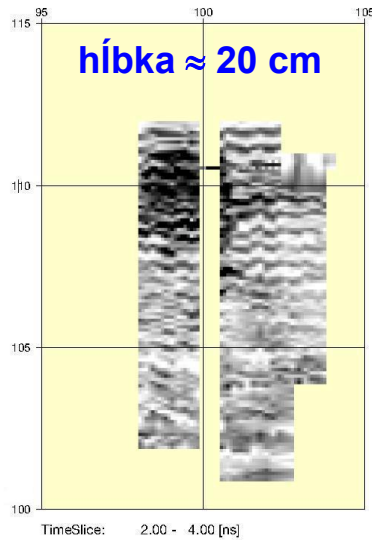
+ - polohy mikrogravimetrických bodov

— - polohy profilov meraných georadarom

prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)

georadar – plošné rezy

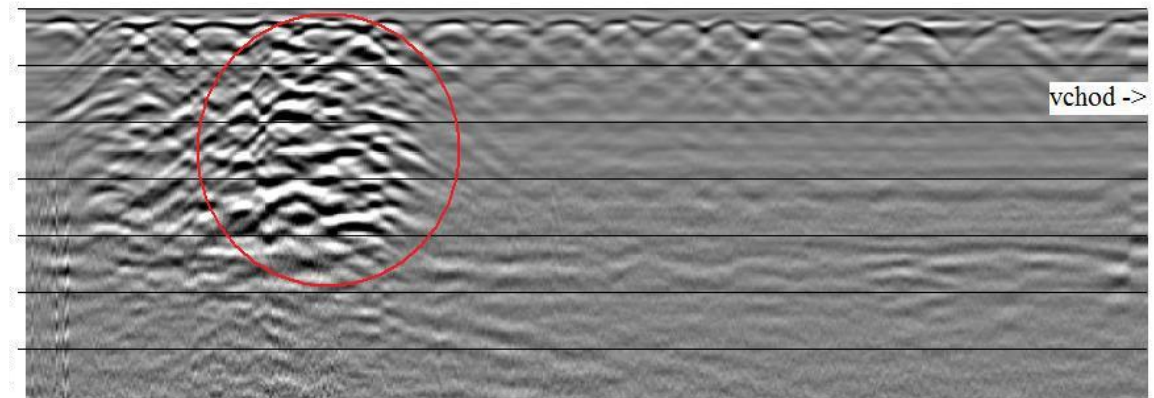
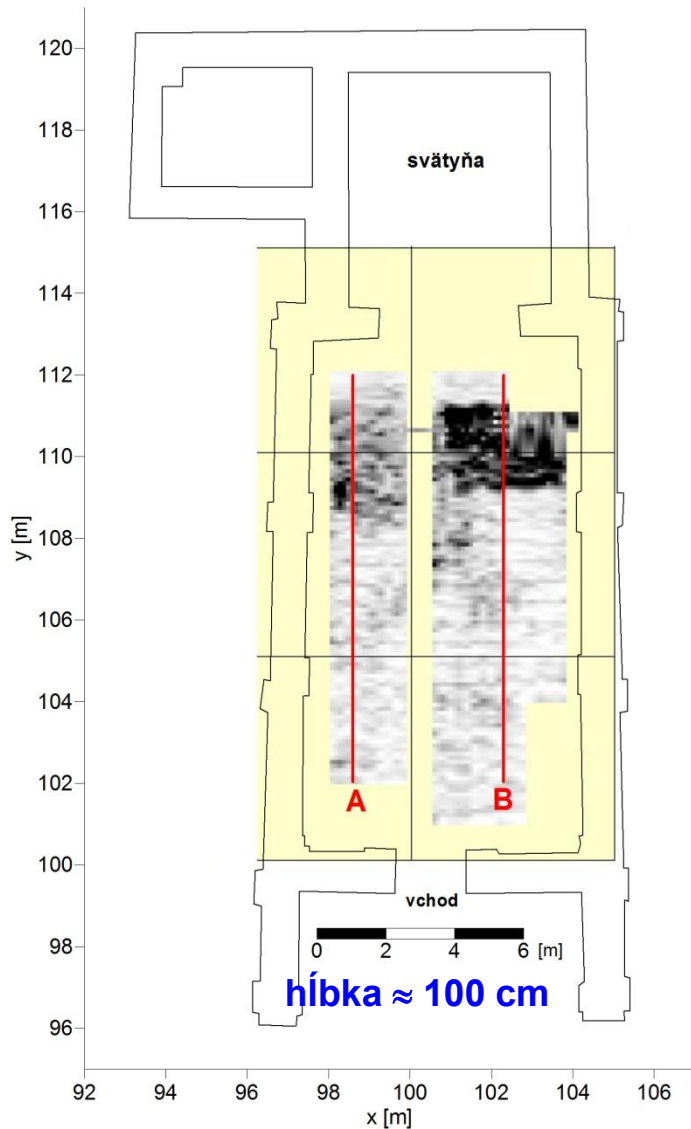


falošná anomália
(elektrický kábel,
ležiaci na podlahe)

prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)

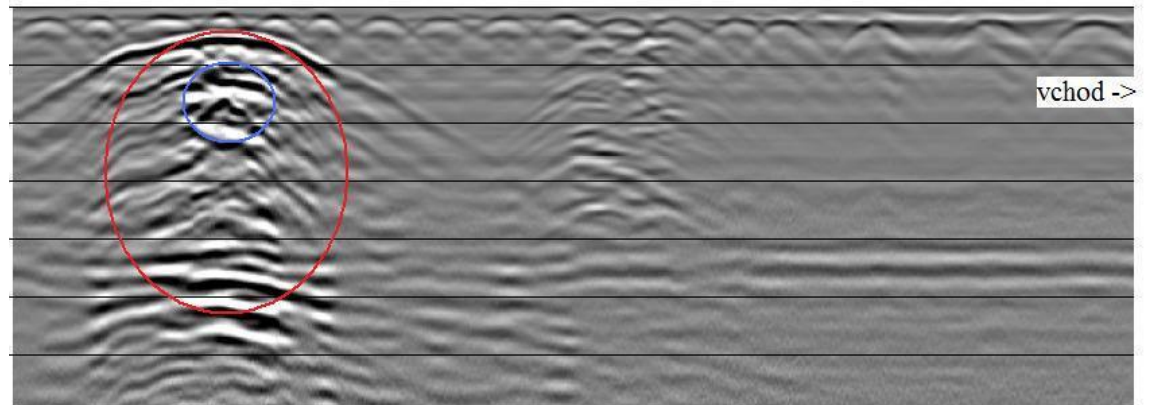
georadar – radarogramy (rezy)



Rw: 98.60
Hw: 111.99

ľavá časť hlavnej lode

[m] 98.60
102.02



Rw: 102.30
Hw: 111.99

pravá časť hlavnej lode

[m] 102.30
102.03

prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

396 J. Panisova et al.

(letná škola INCA2009)

mikrogravimetria



FIGURE 5

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

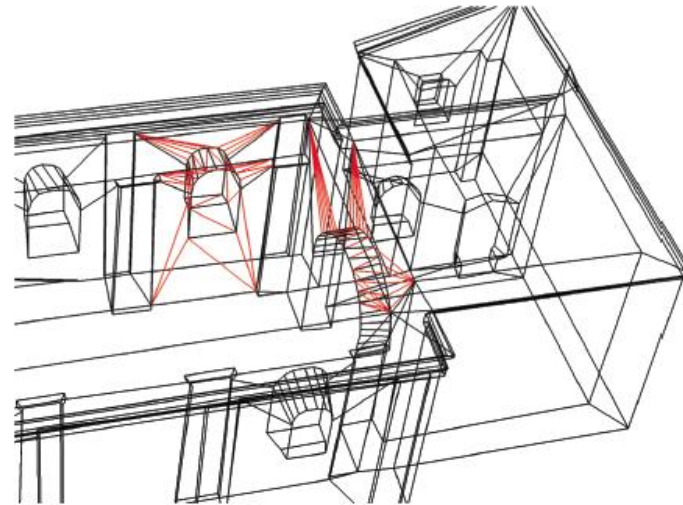


FIGURE 7

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



FIGURE 6

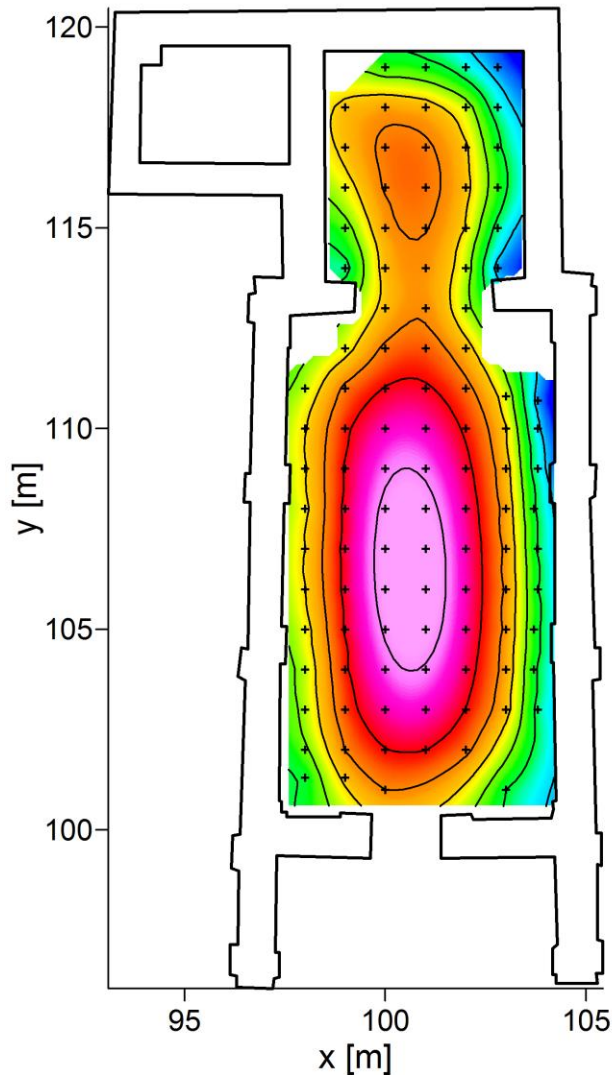
Digital model of the church without a roof displayed with original textures in PhotoModeler Scanner software.

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

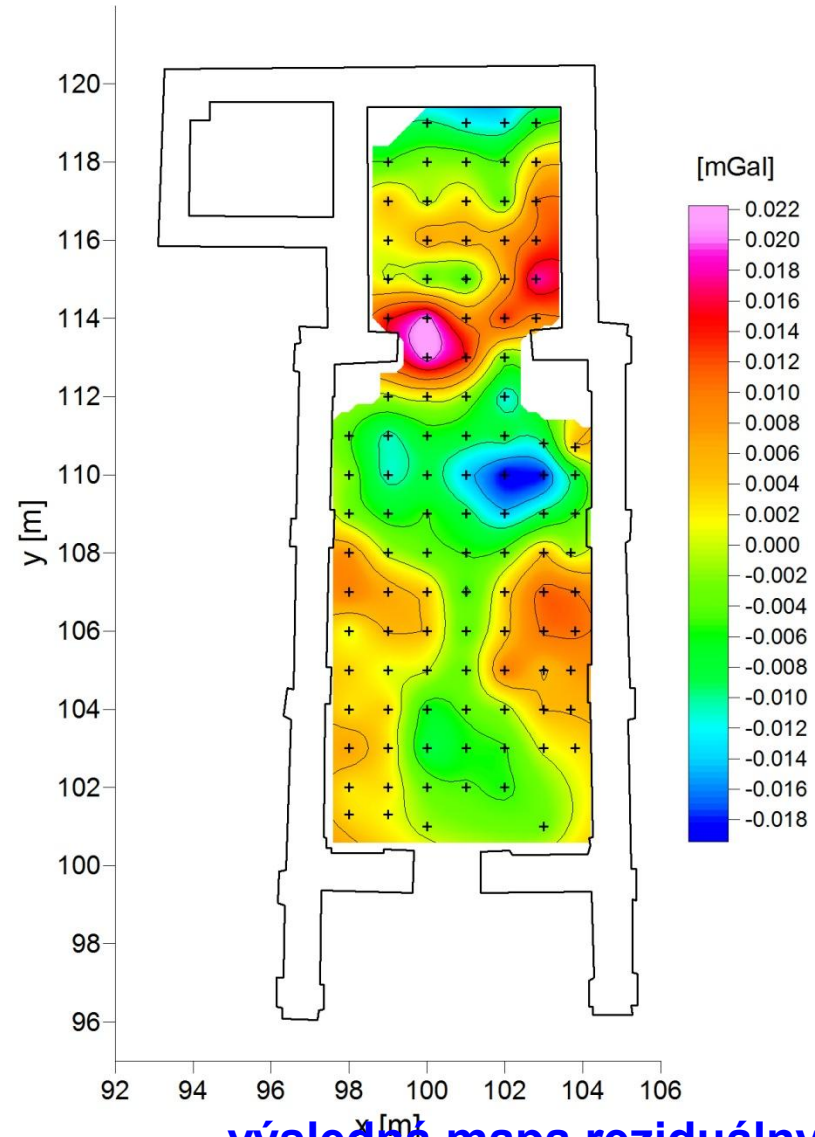
prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)

mikrogravimetria



mapa modelovaných účinkov múrov

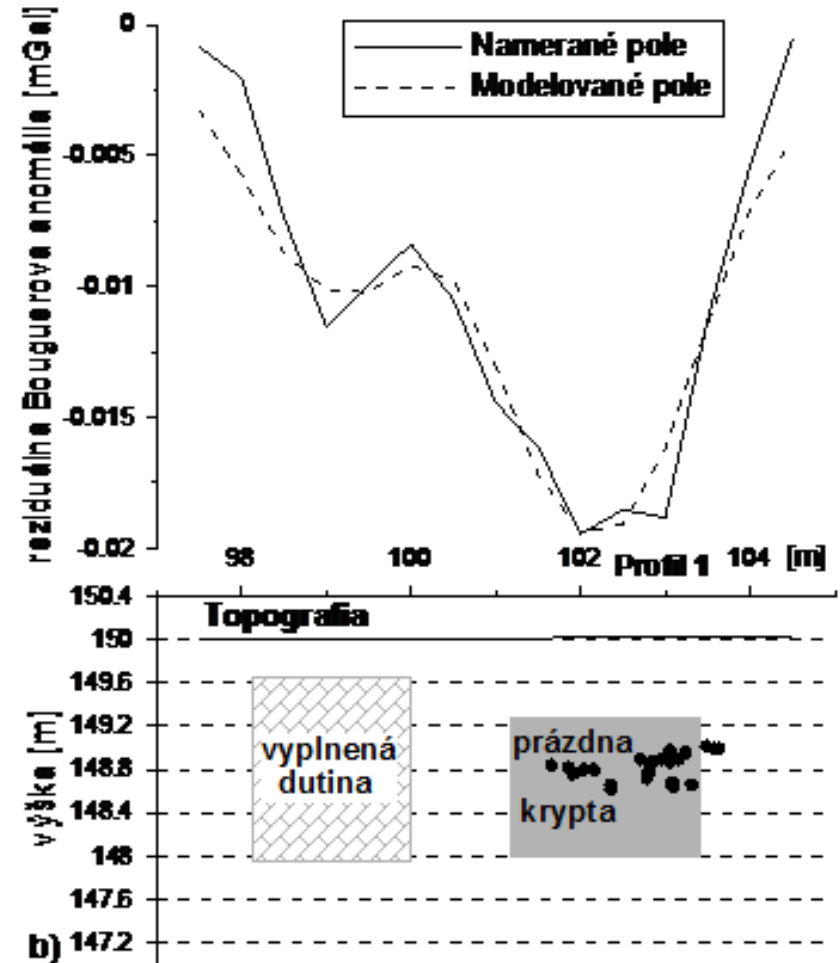
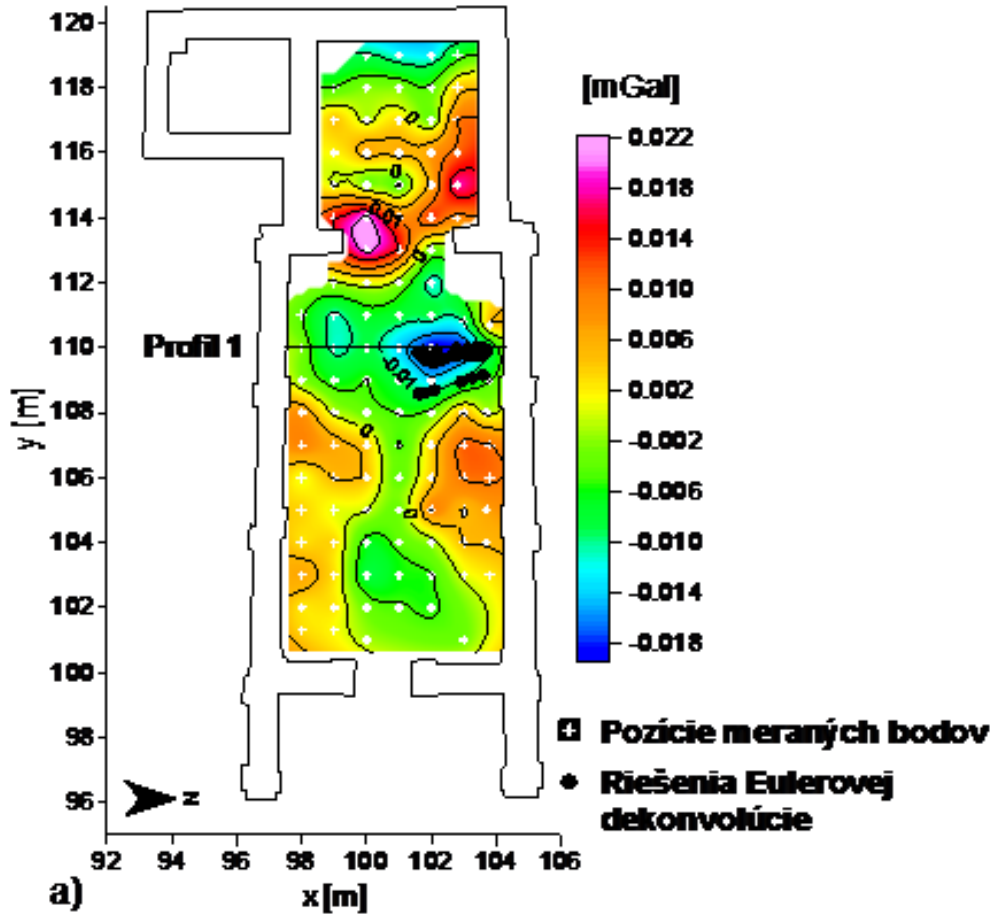


výsledná mapa reziduálnych Bouguerových anomálií

prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(letná škola INCA2009)

mikrogravimetria



výsledky kvantitatívnej interpretácie mapy reziduálnych Bouguerových anomálií (Eulerova dekonvolúcia a 3D hustotné modelovanie)

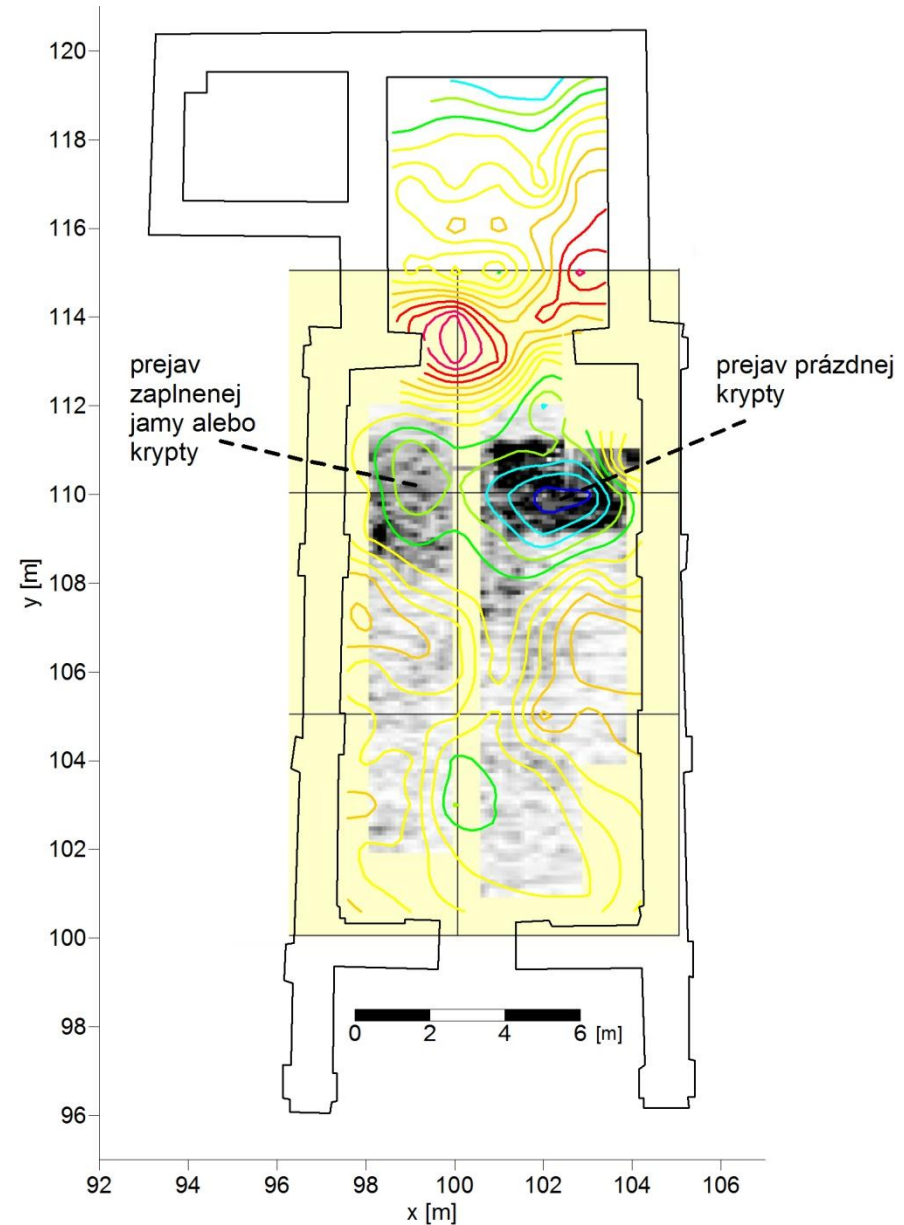
prieskum kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch

(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

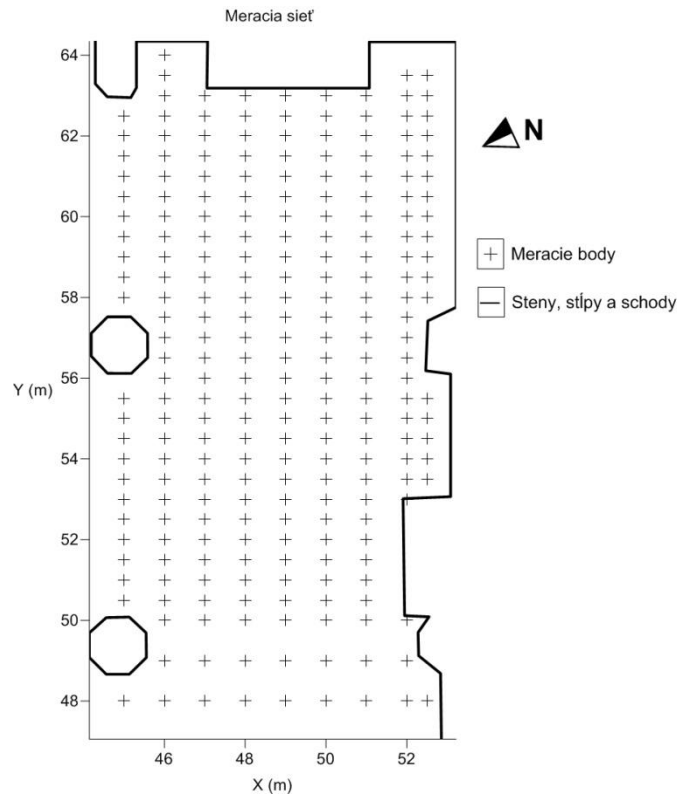


Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola sv. Juraja vo Svätom Juri pri Bratislave (2010)

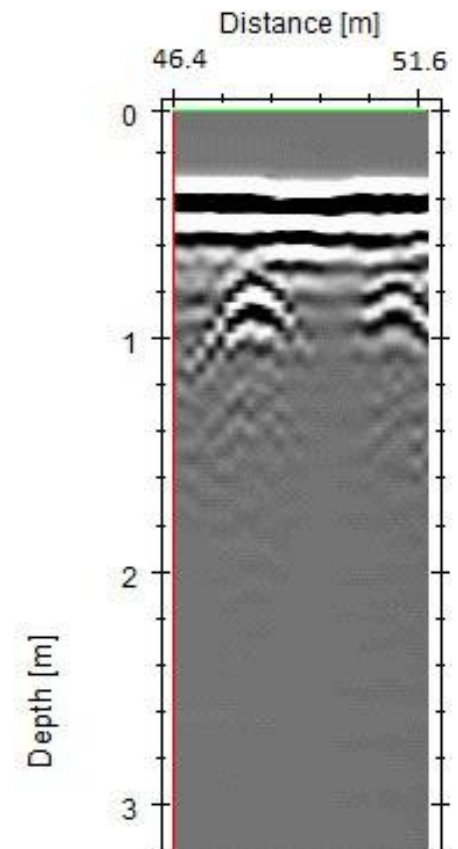
Georadarový a mikrogravimetrický prieskum (2010/2014)



orientácia lokálneho súradnicového systému

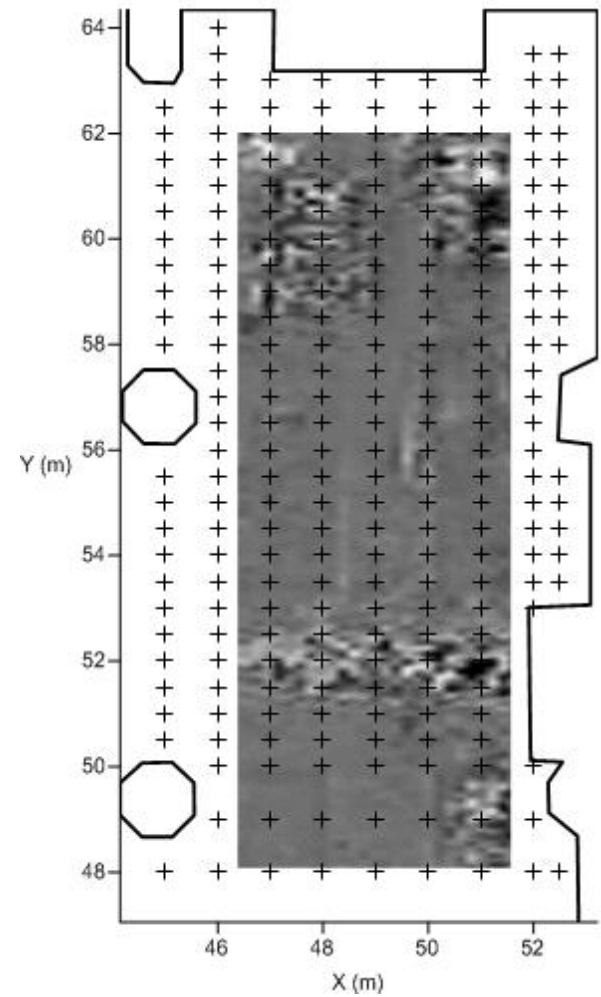
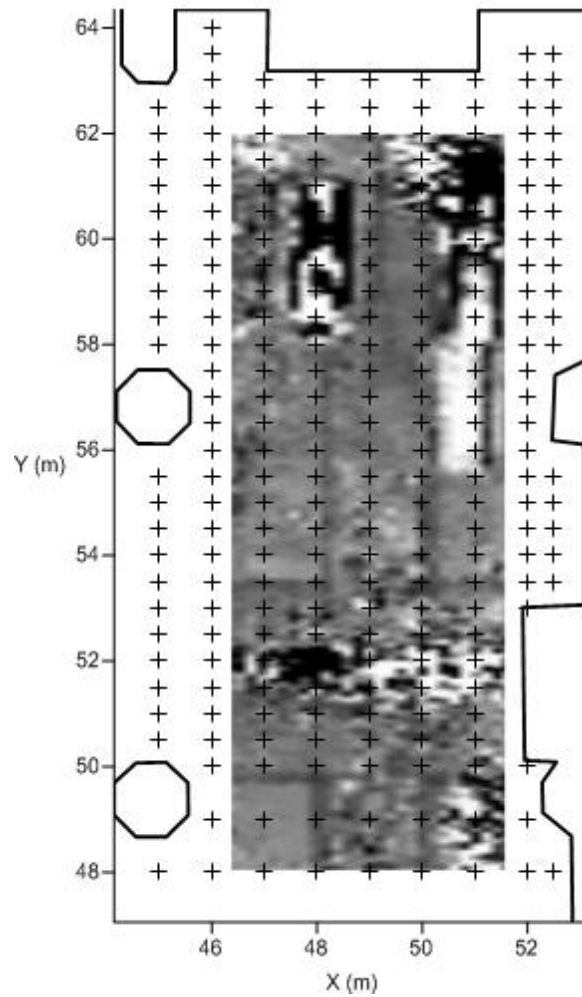
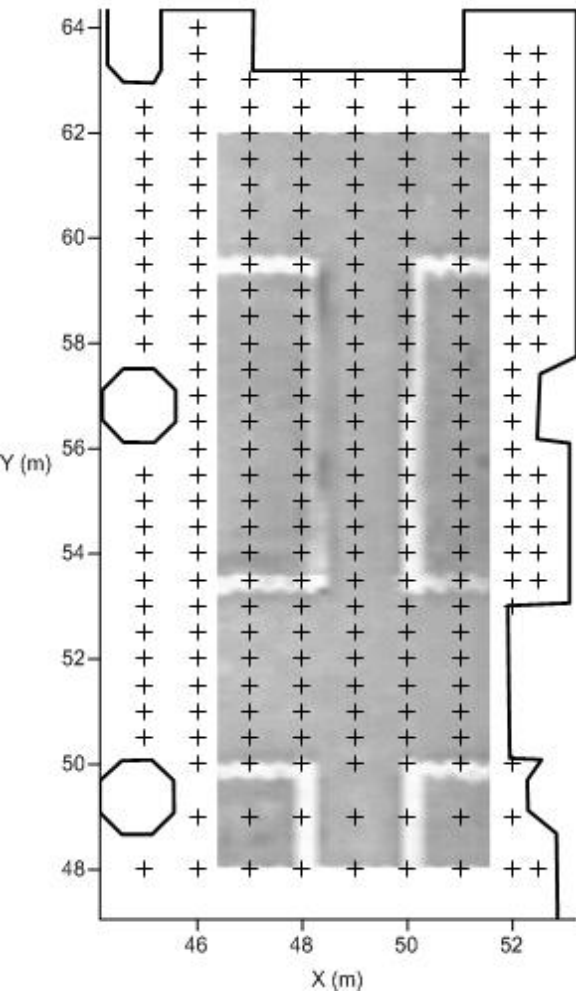


polohy mikrograv. bodov



vertikálny radargram na profile: $y = 59.5$ m

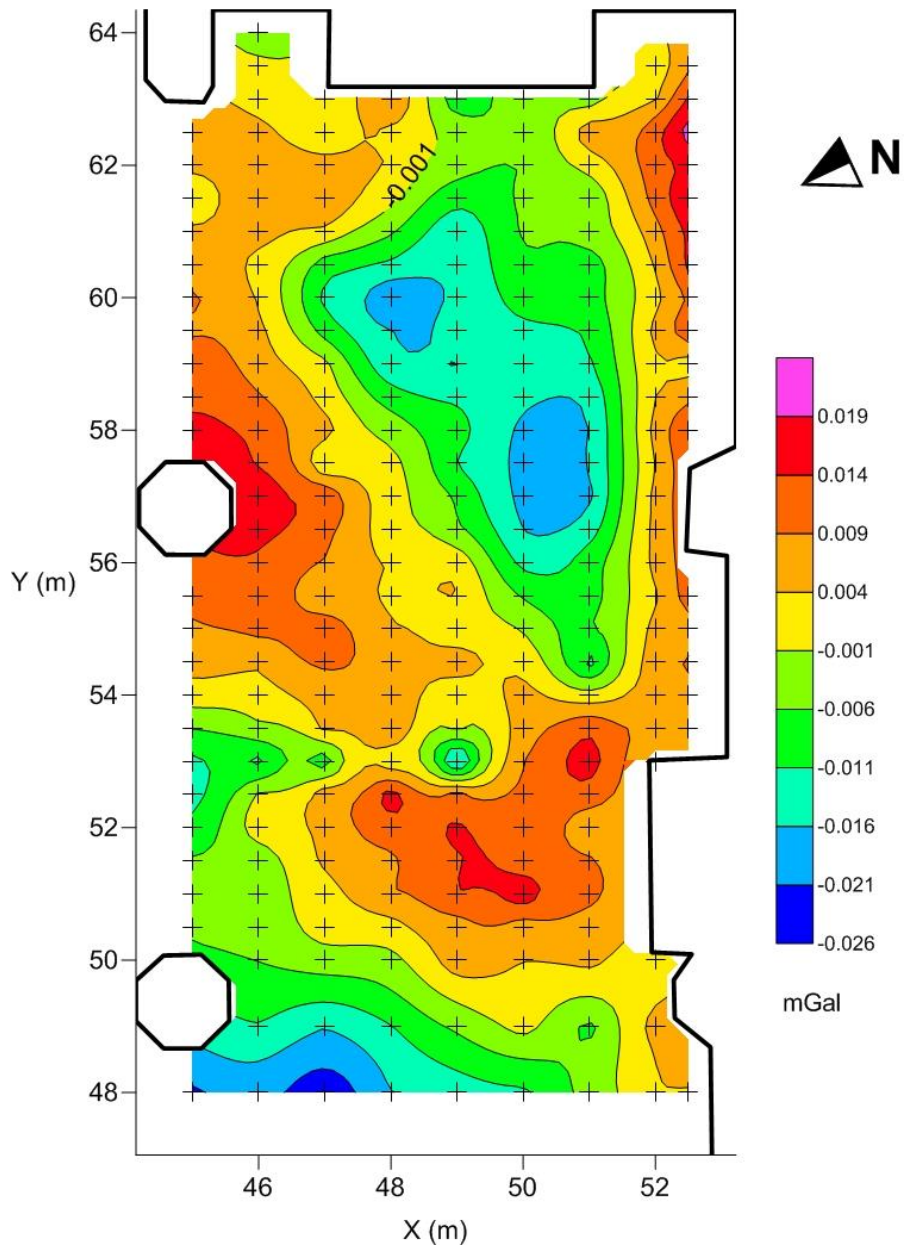
Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola sv. Juraja vo Svätom Juri pri Bratislave (2010)



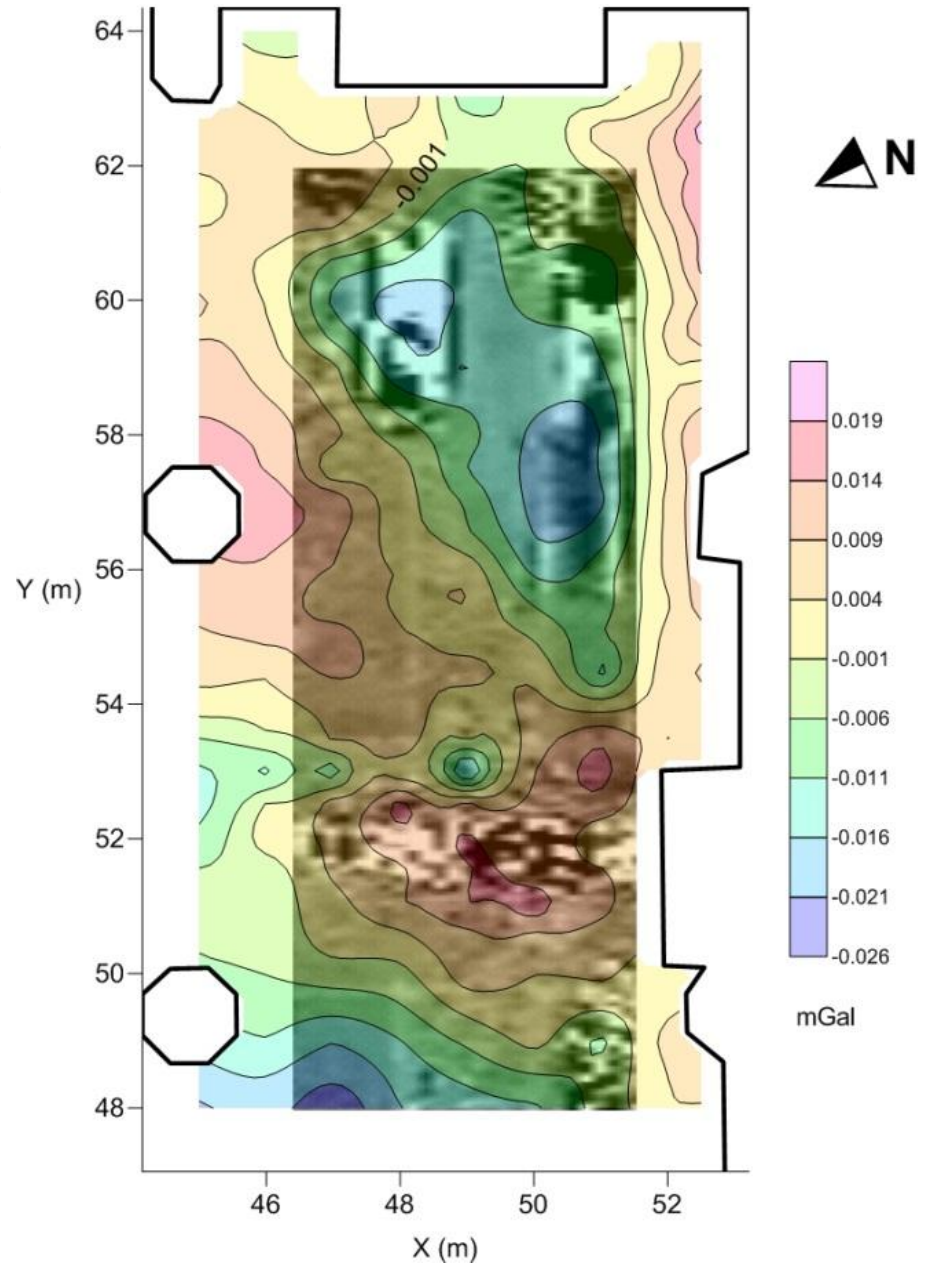
GPR – hĺbka cca 0.1 m

GPR – hĺbka cca 0.5 m

GPR – hĺbka cca 0.8 m

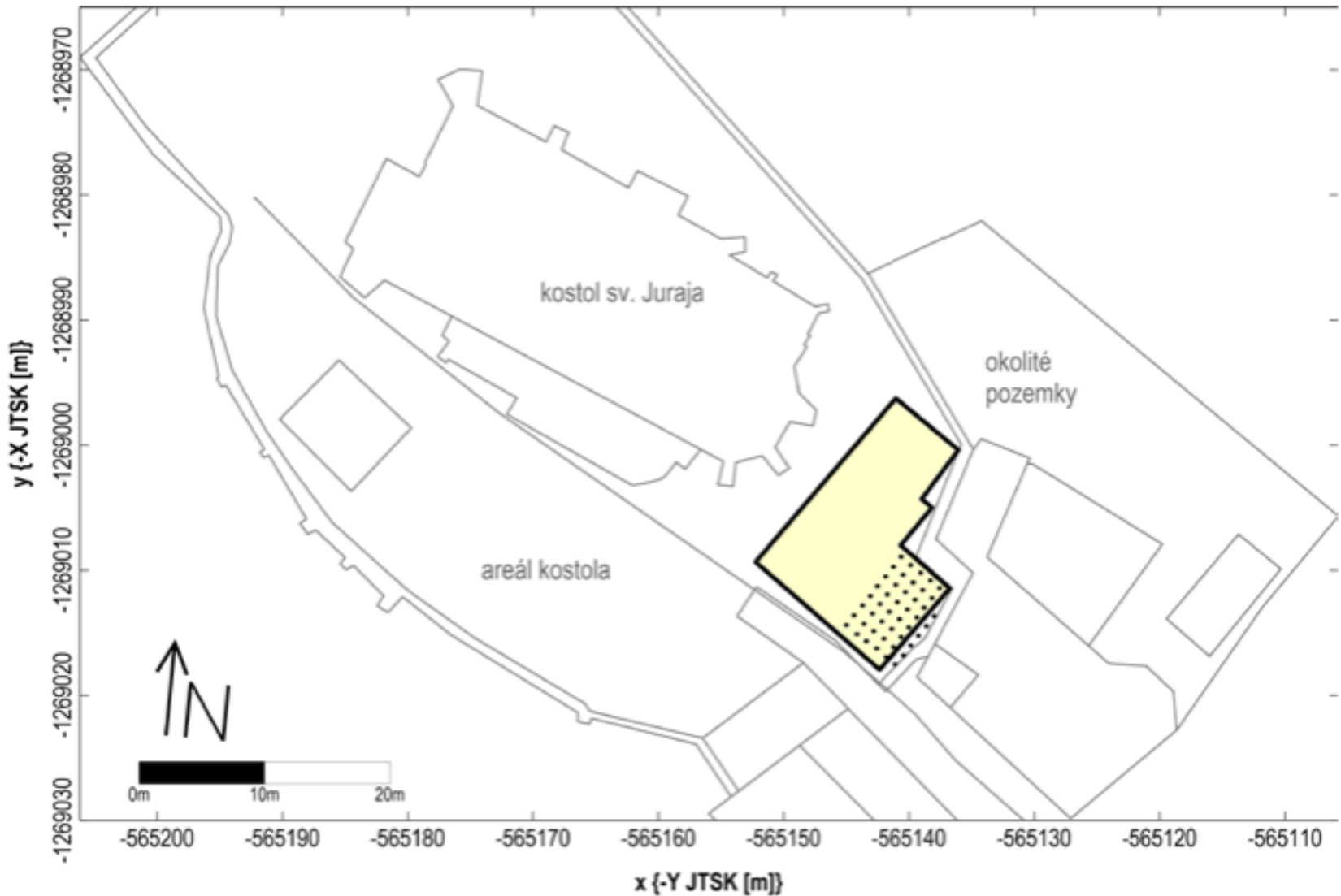


mikrogravimetria



mikrograv. + GPR (0.6 m)

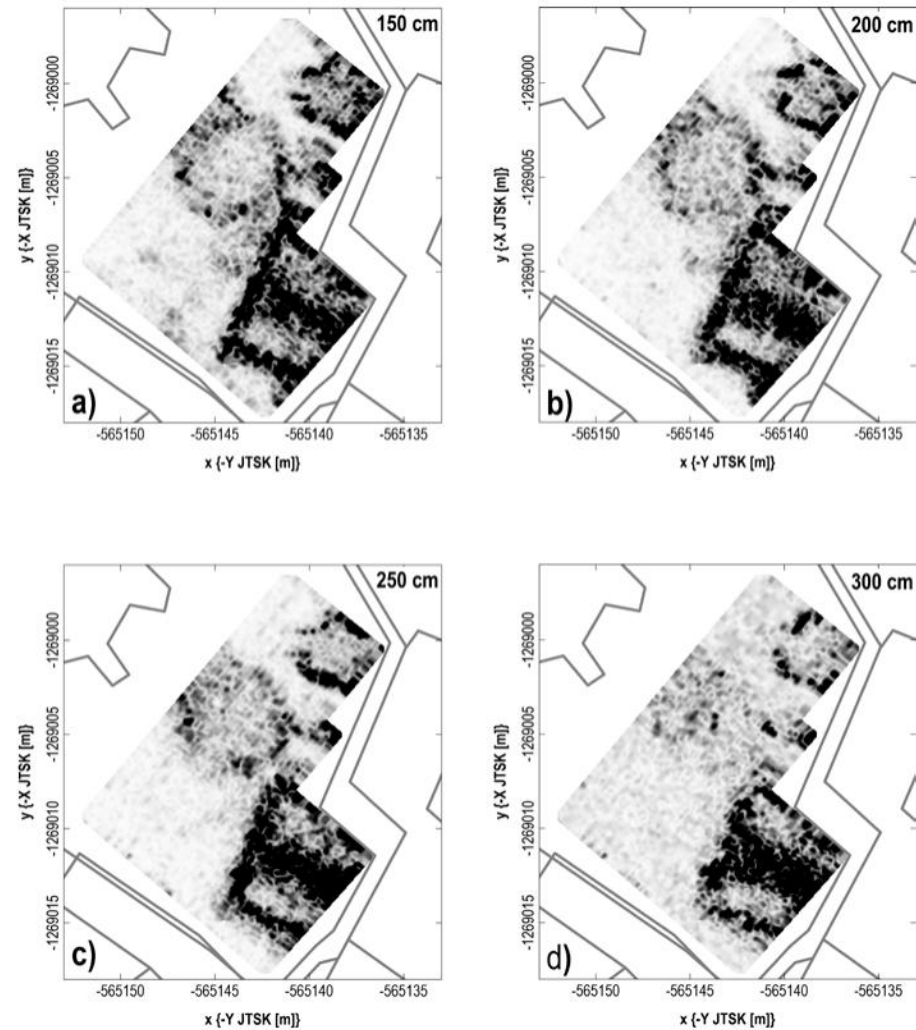
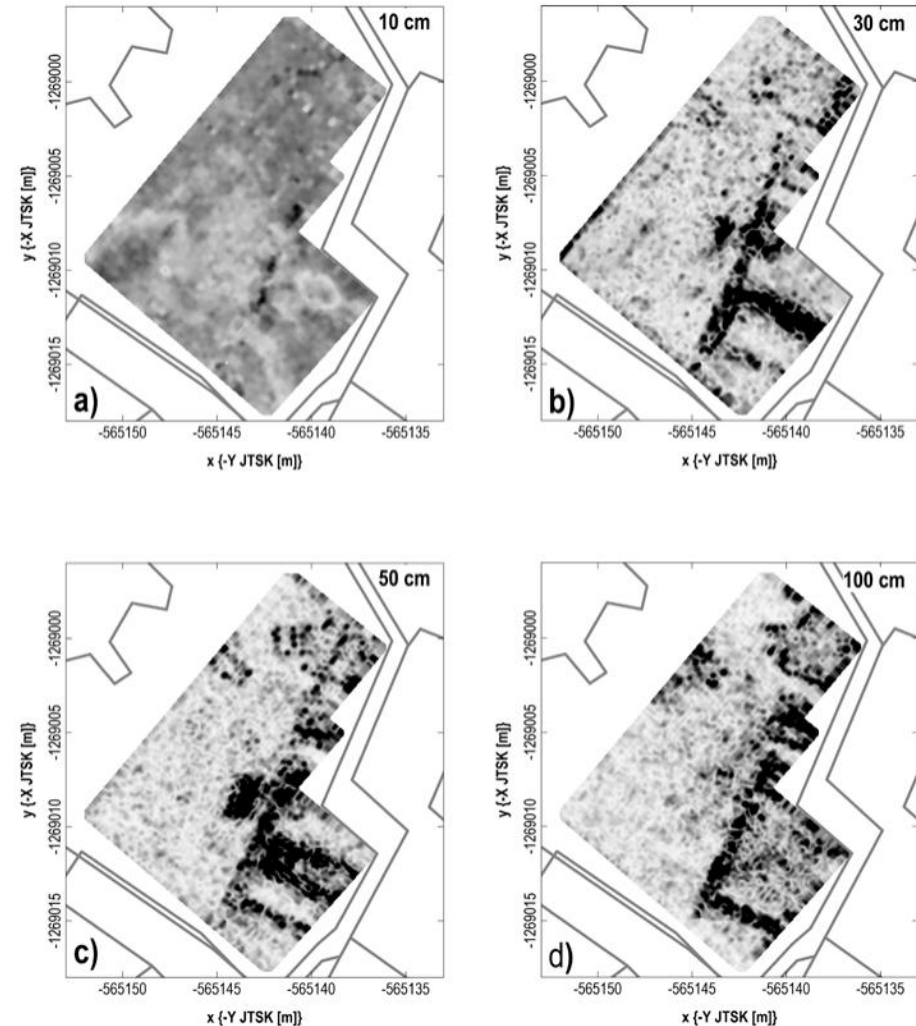
Georadarový a mikrogravimetrický prieskum okolia kostola sv. Juraja vo Svätom Juri pri Bratislave (2018)



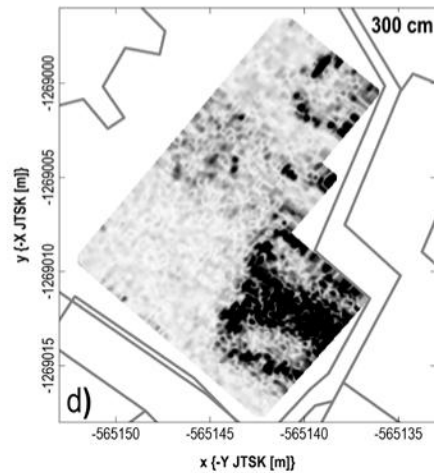
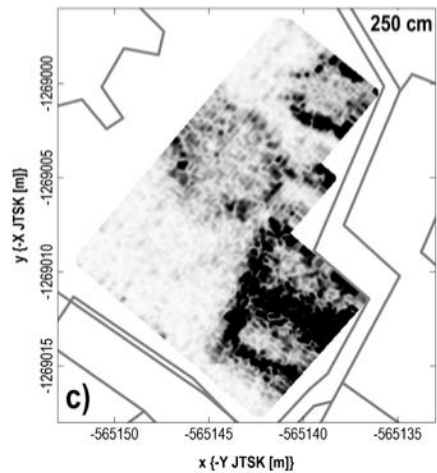
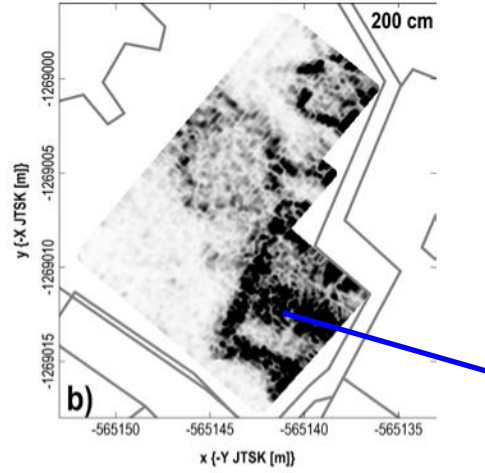
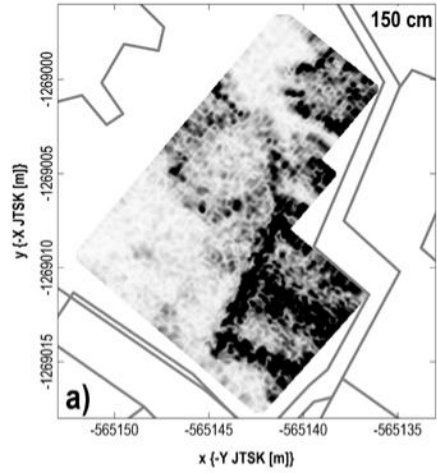
Georadarový a mikrogravimetrický prieskum okolia kostola sv. Juraja vo Svätom Juri pri Bratislave (2018)

výsledky GPR – plytšie úrovne

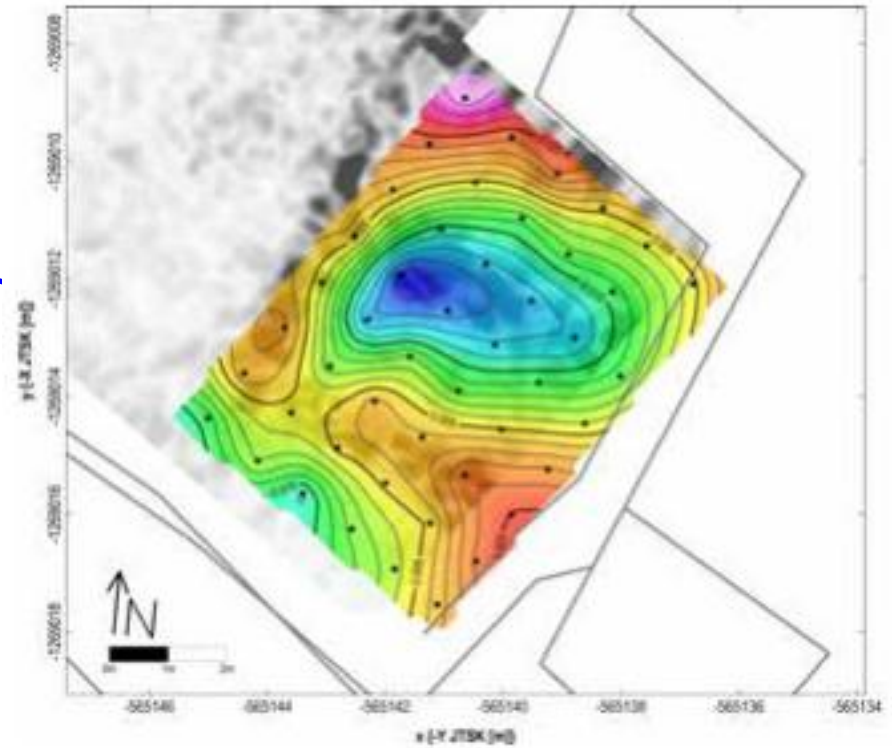
výsledky GPR – hlbšie úrovne



Georadarový a mikrogravimetrický prieskum okolia kostola sv. Juraja vo Svätom Juri pri Bratislave (2018)



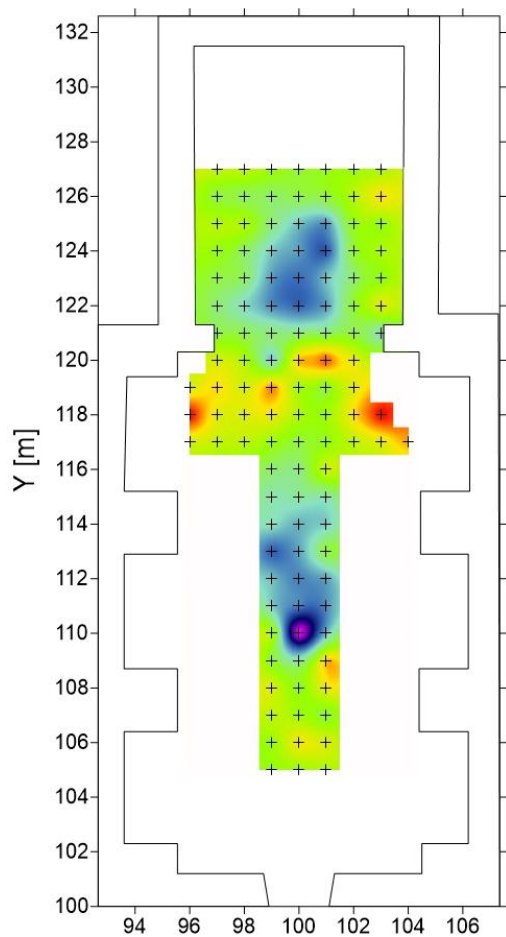
mikrogravimetria



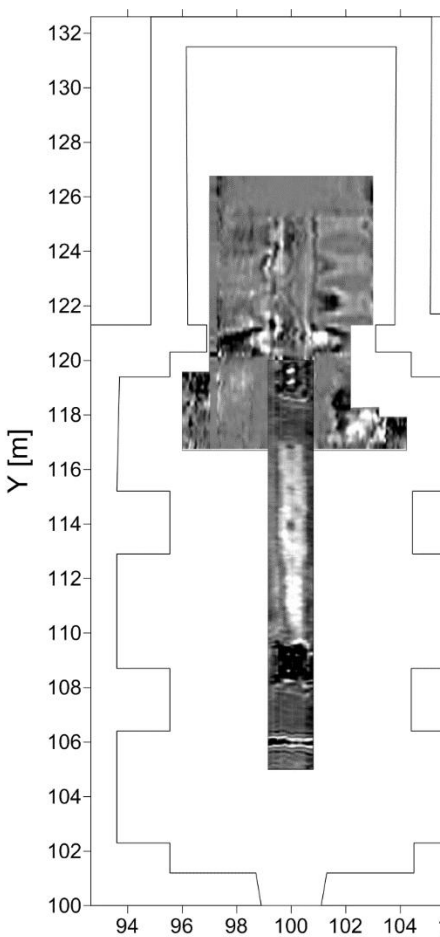
Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola

sv. Jozefa pestúna v Beckove

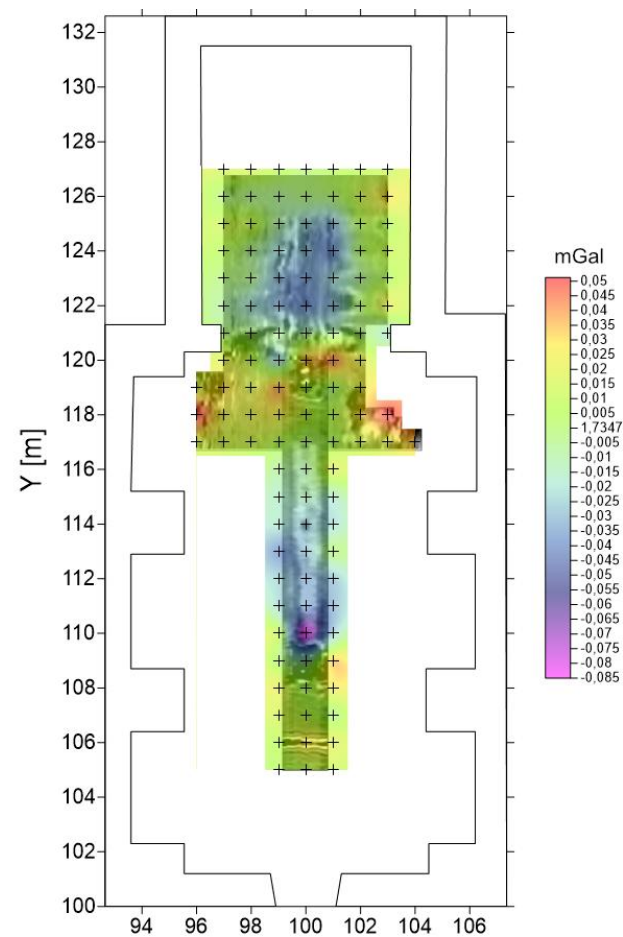
Georadarový a mikrogravimetrický prieskum (2018)



X [m]
mikrogravimetria



X [m]
GPR – hĺbka cca 0.7 m



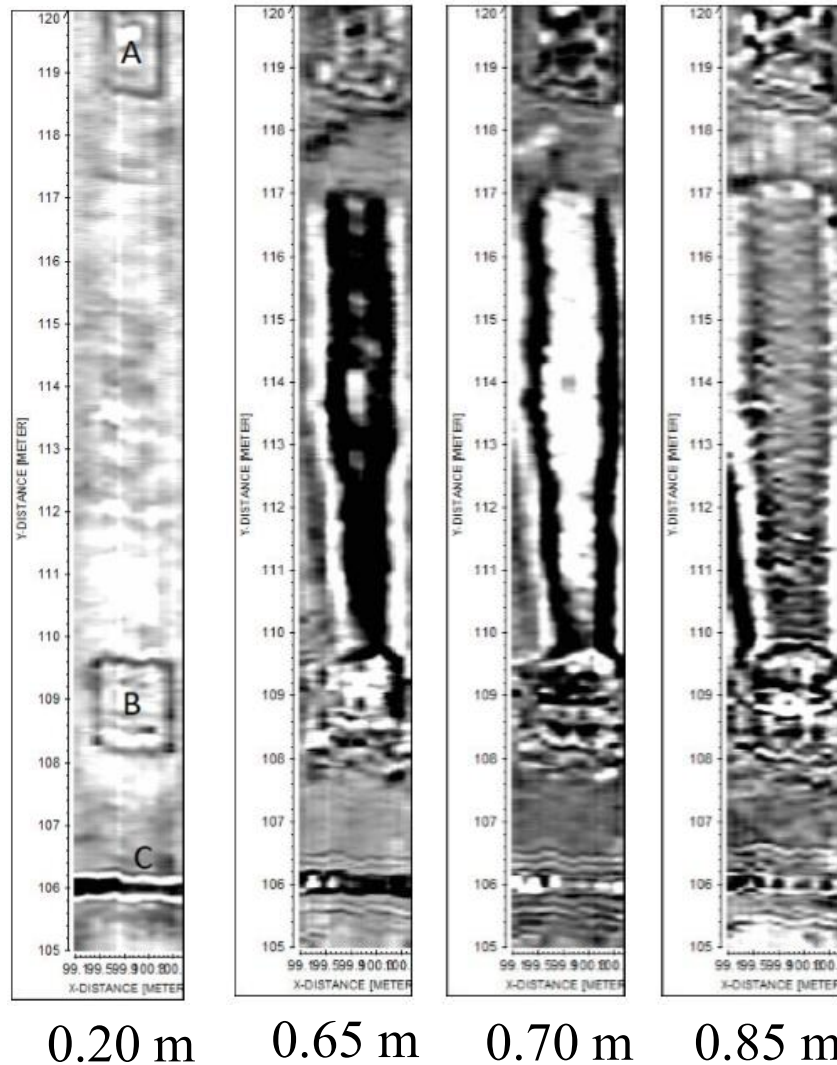
X [m]
spolu

Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola sv. Jozefa pestúna v Beckove

Georadarový a mikrogravimetrický prieskum (2018)

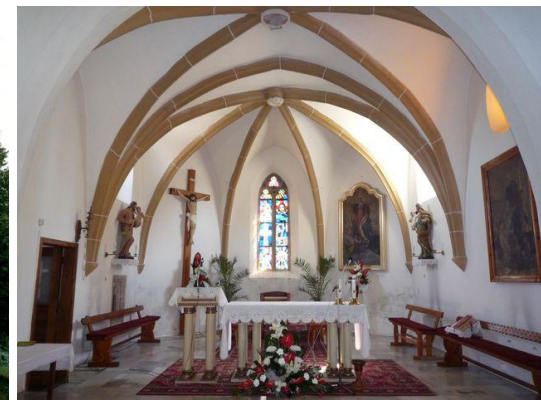


GPR – priestor medzi lavicami



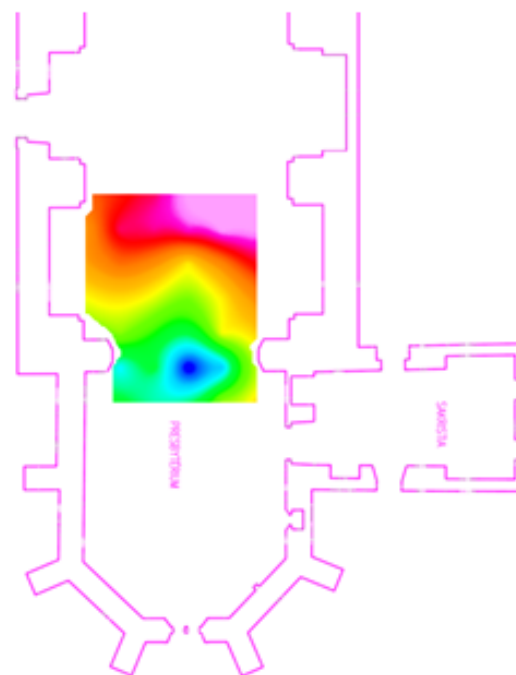
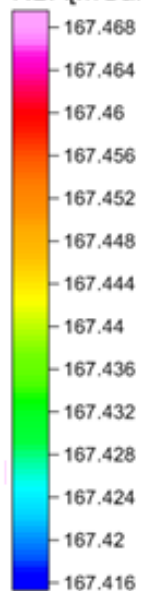
Mikrogravimetrický a georadarový prieskum kostola Nanebovzatia Panny Márie v Dolnom Dubovom (pri Trnave)

Georadarový a mikrogravimetrický prieskum (2014/2015)



GPR – hĺbka cca 1.5 m

NBA[mGal]

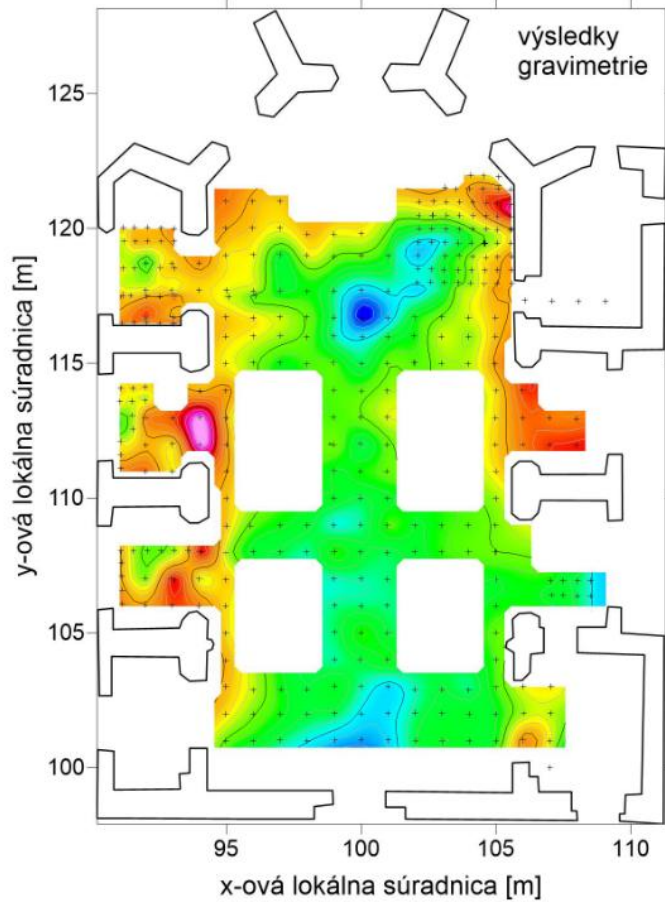


mikrogravimetria

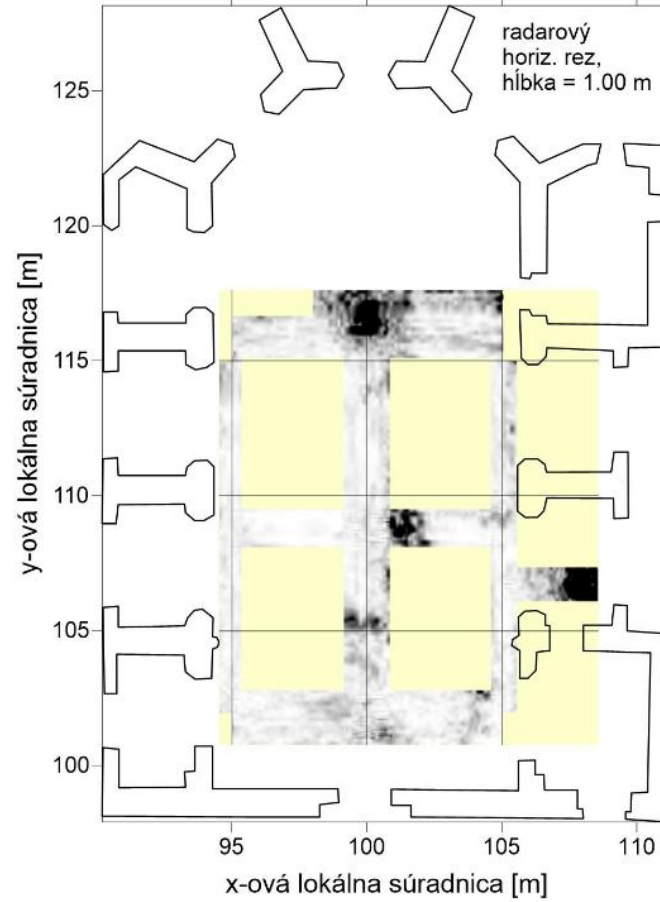
georadarový a mikrogravimetrický prieskum „kostol sv. Kataríny, BŠ“

gravimetria – Scintrex CG-5

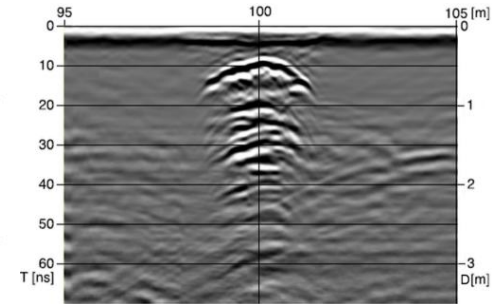
GPR – GSSI 400 MHz



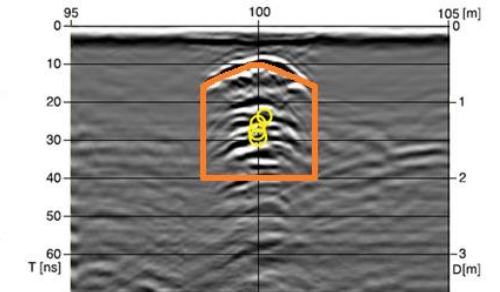
neúplná Bouguerova anomália (2.0 g.cm^{-3})



GPR horiz. amplitúdový rez



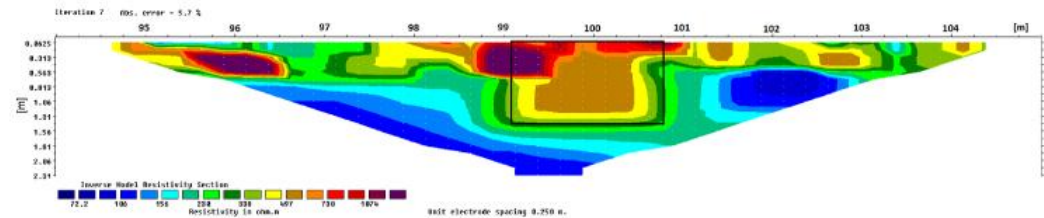
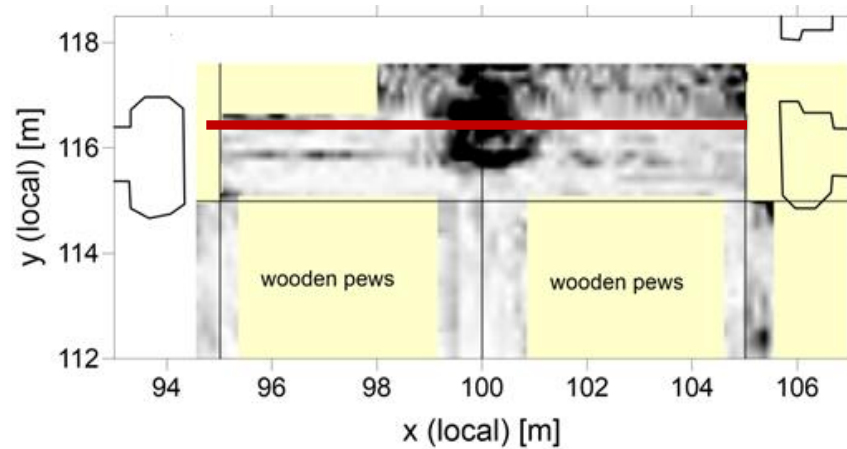
GPR vert. rez (originál)



GPR vert. rez (interpret.)

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

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



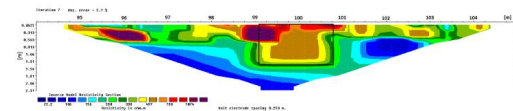
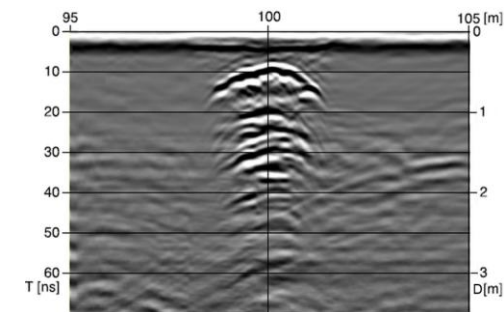
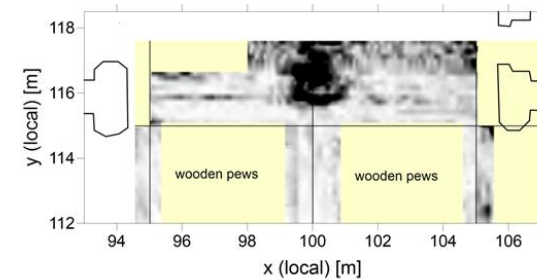
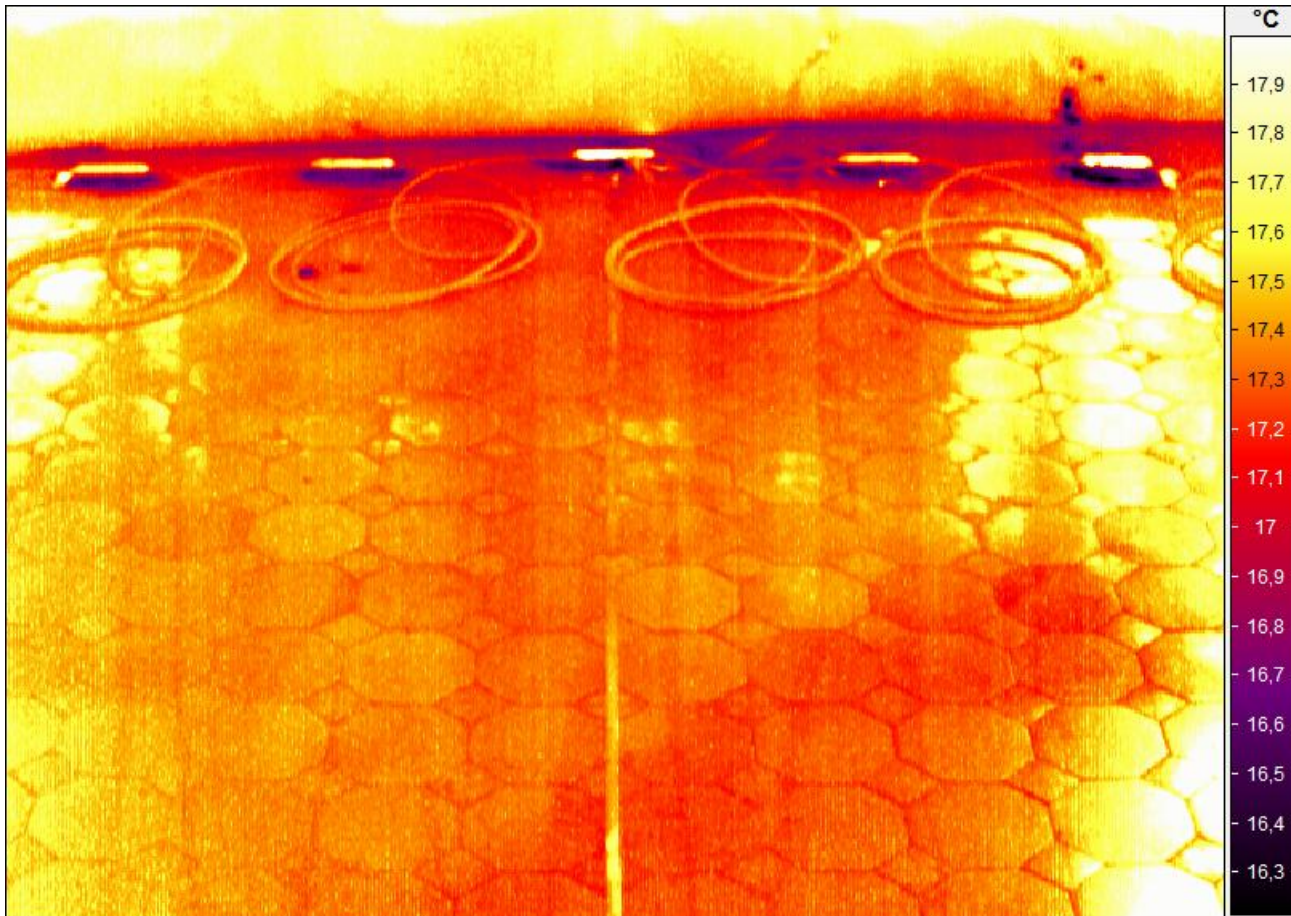
zatiaľ archeologicky neoverené

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

zaujímavosť:

fotka z infračervenej kamery (termografia),

doba snímania – 1 hodina:



kláštor a kostol

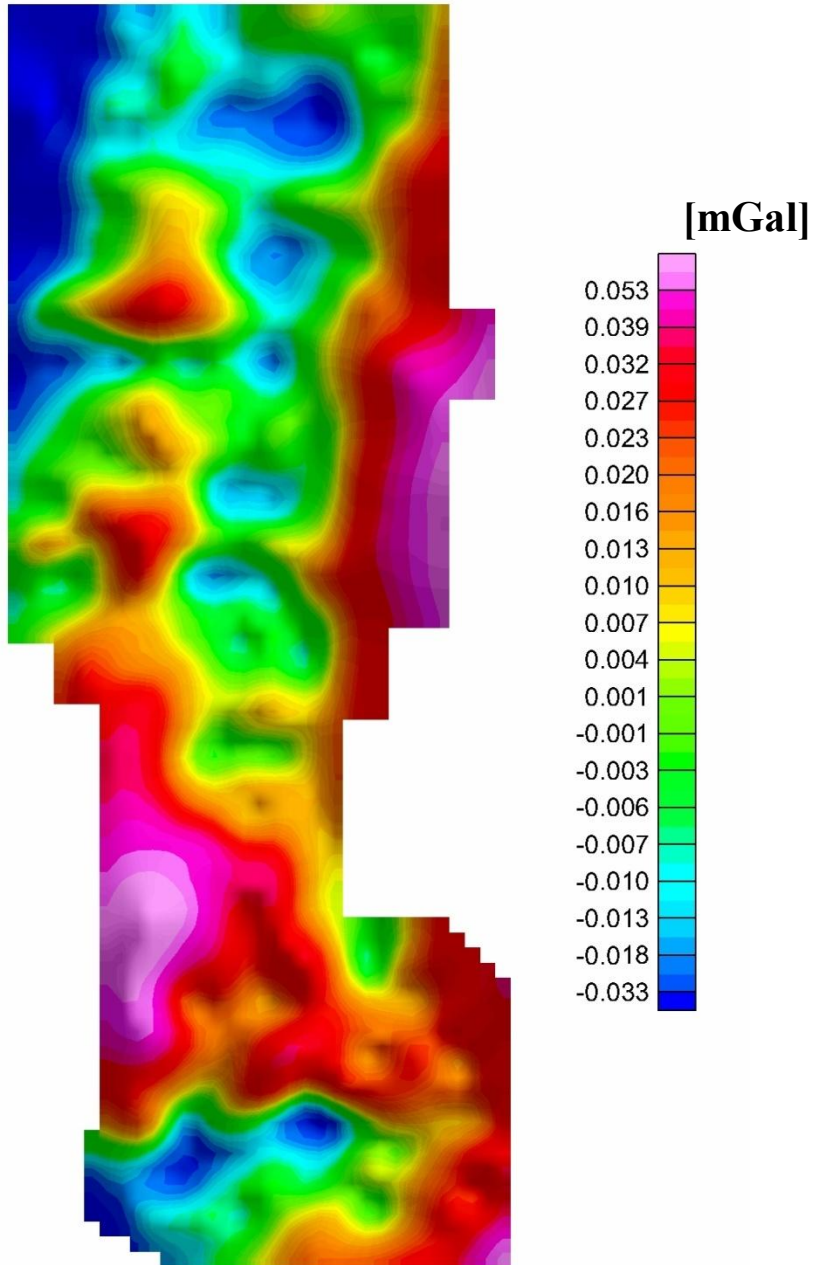
KATARÍNKA

***VÝSLEDKY DRUHEJ VÝZNAMNEJ ETAPY
GEOFYZIKÁLNEHO PRIESKUMU***

(2009 - 2012)

(v spolupráci s univerzitou v Kiel)





rok 1998:

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

geoelektrické merania zemskej vodivosti

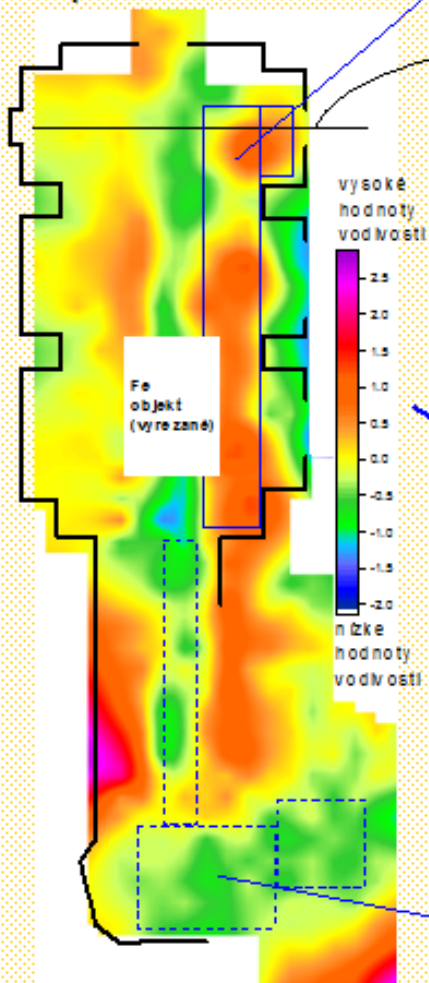
1998:



princípy merania

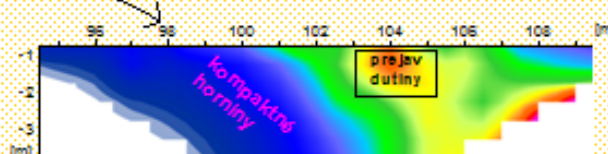


namerané pole vodivosti stĺpca hornín do 6 m



prejav pásu vodivého prejavu krypt

rez vodivosti do 4 m



výsledky merania vodivosti z oblasti lode kostola

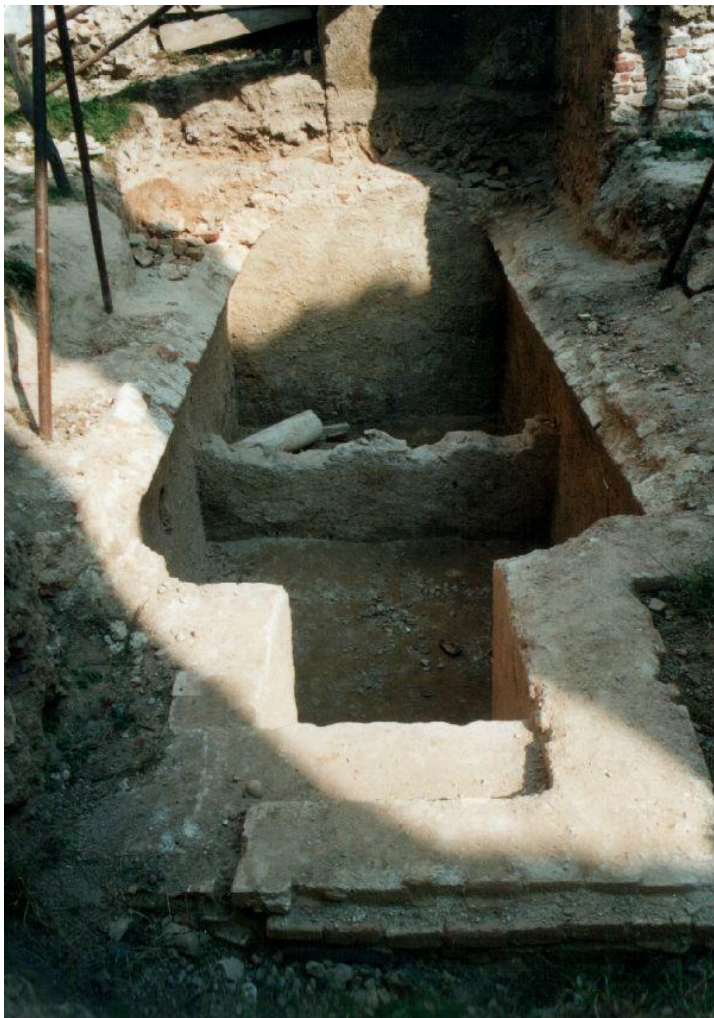


praktické meranie v teréne



prejavy výskytu prítomnosti nevodivých dutín (v skale)

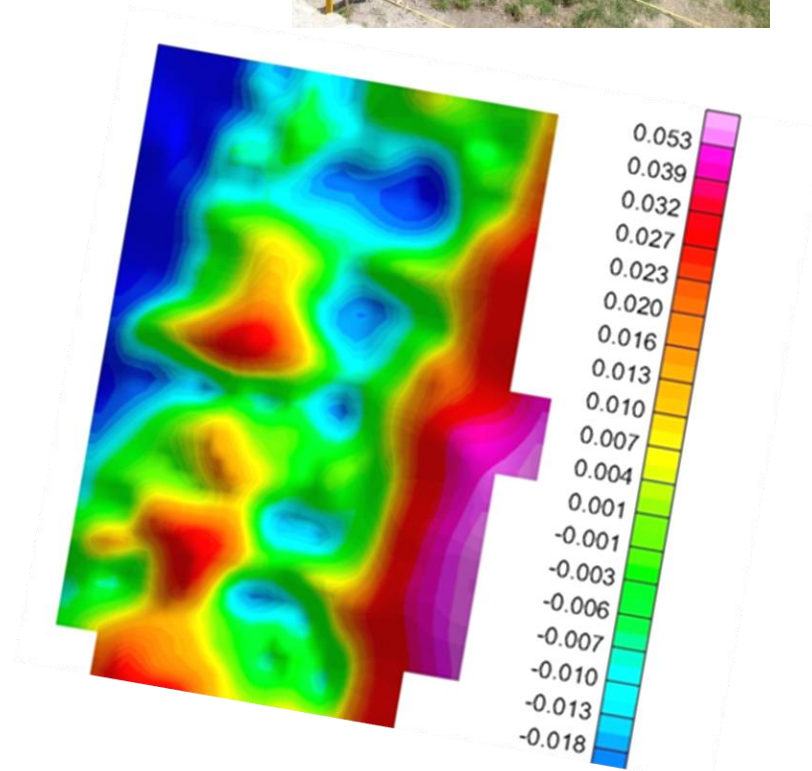
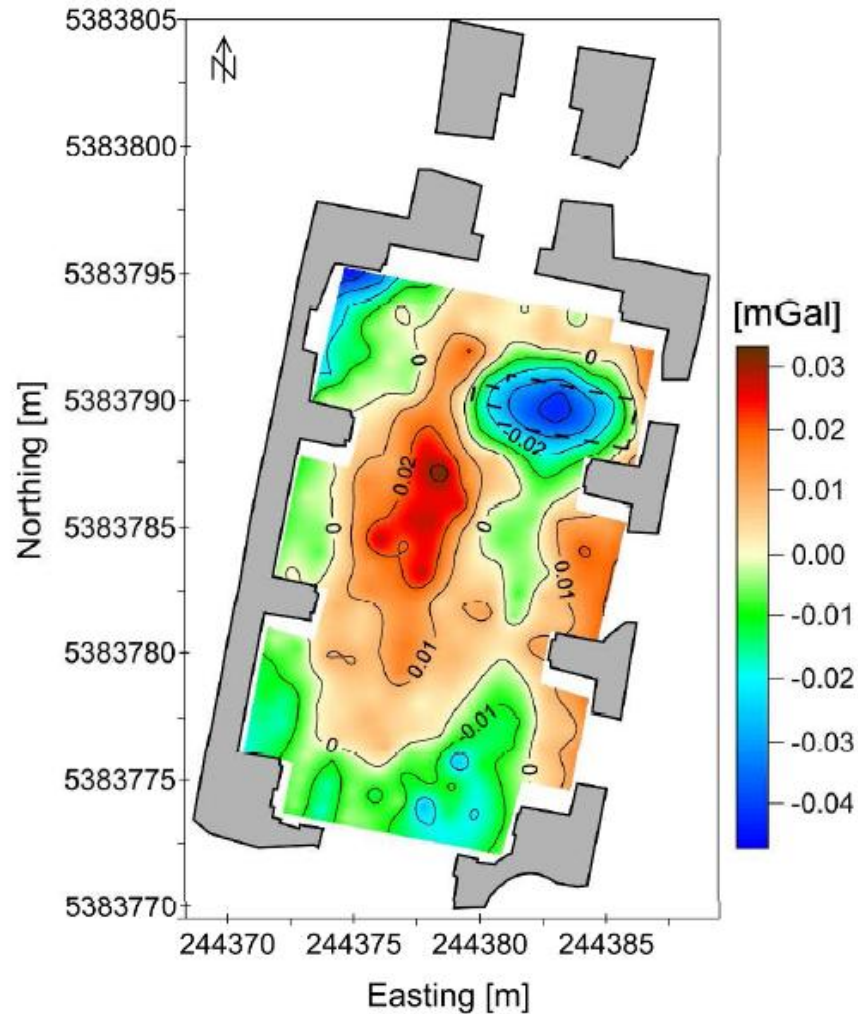
otvorenie 1. krypty - leto 2001



uzavretie 1. krypty - leto 2001

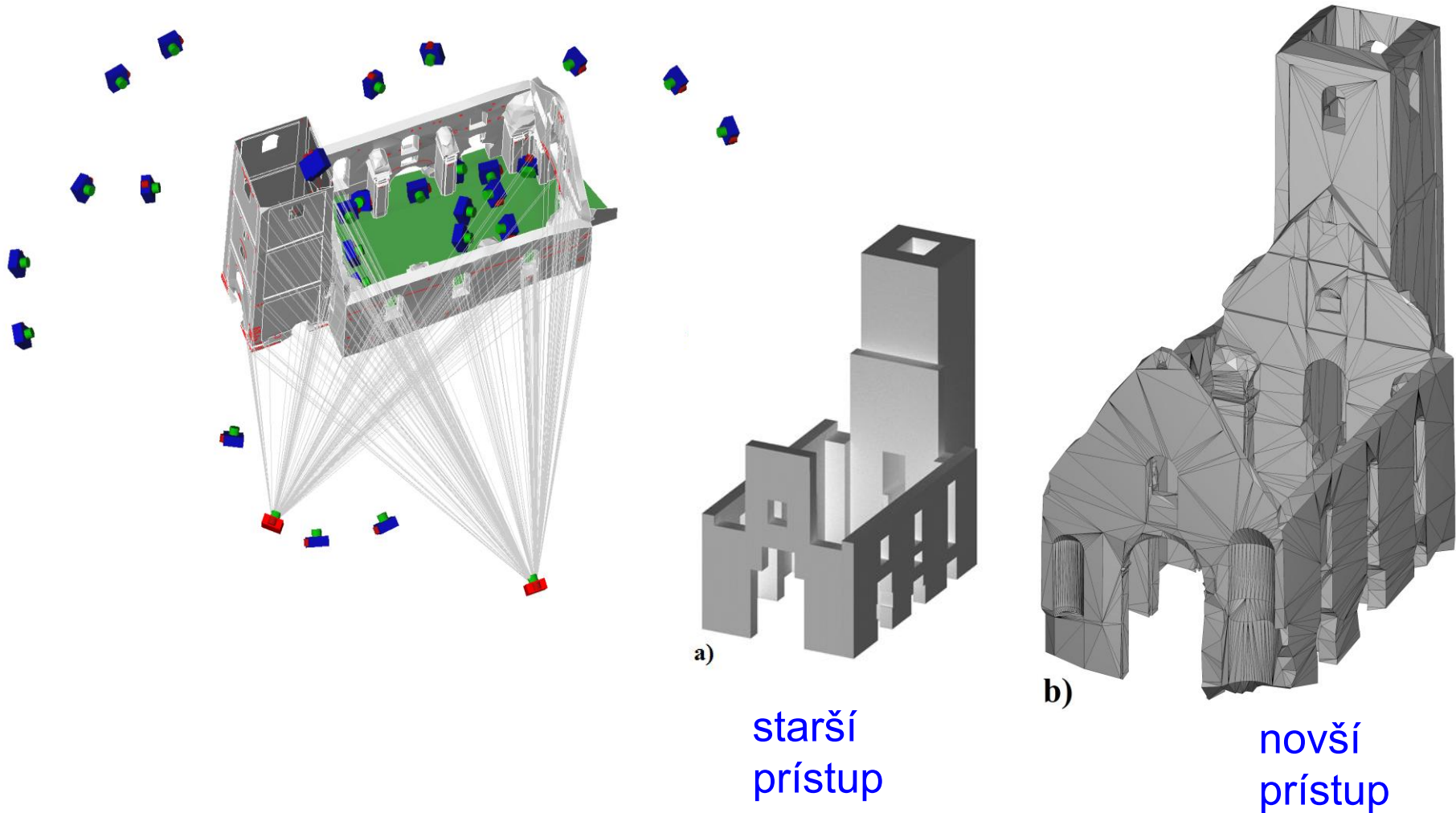


opätovné premeranie v rámci letnej školy archeo-geofyziky v rokoch 2009 - 2012



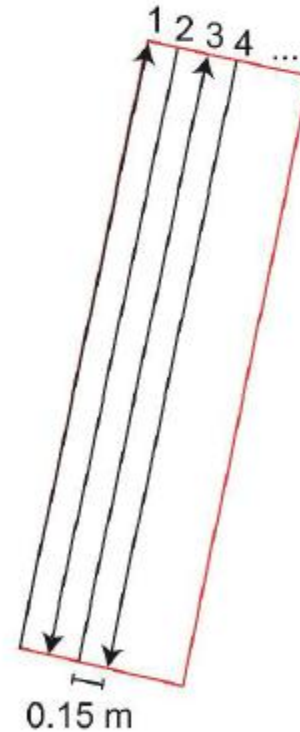
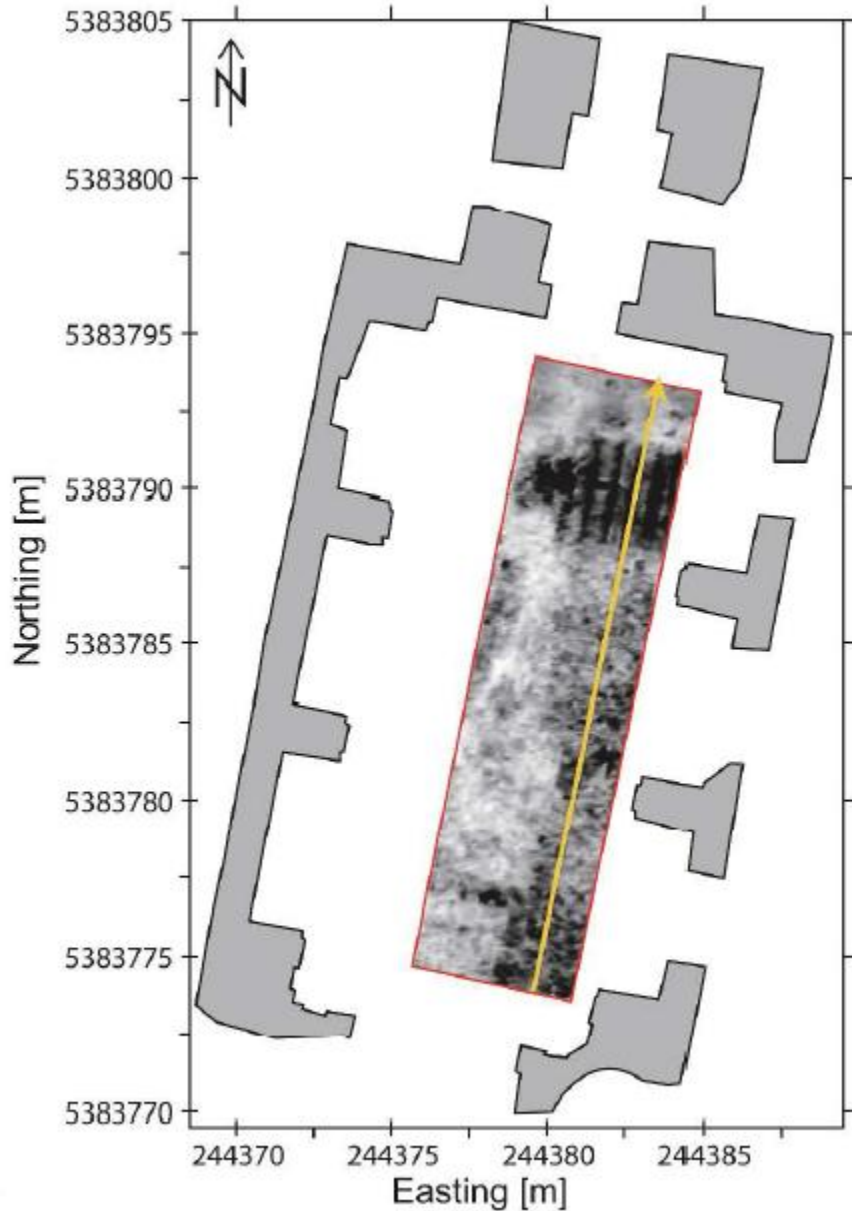
na porovnanie –
- výsledok z 1998

opätovné premeranie v rámci letnej školy archo-geofyziky v rokoch 2009 - 2012



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

opätovné premeranie v rámci letnej školy archo-geofyziky v rokoch 2009 - 2012

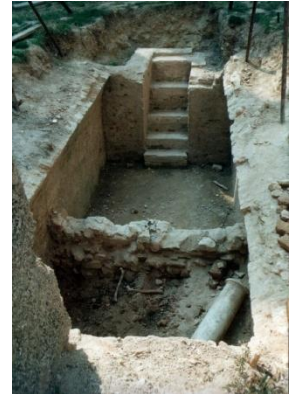
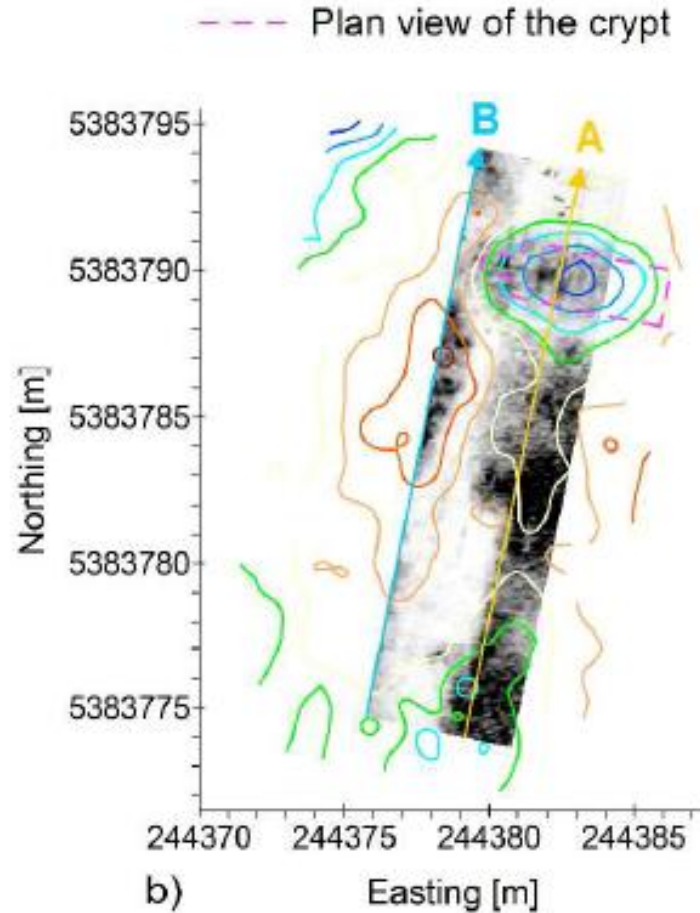
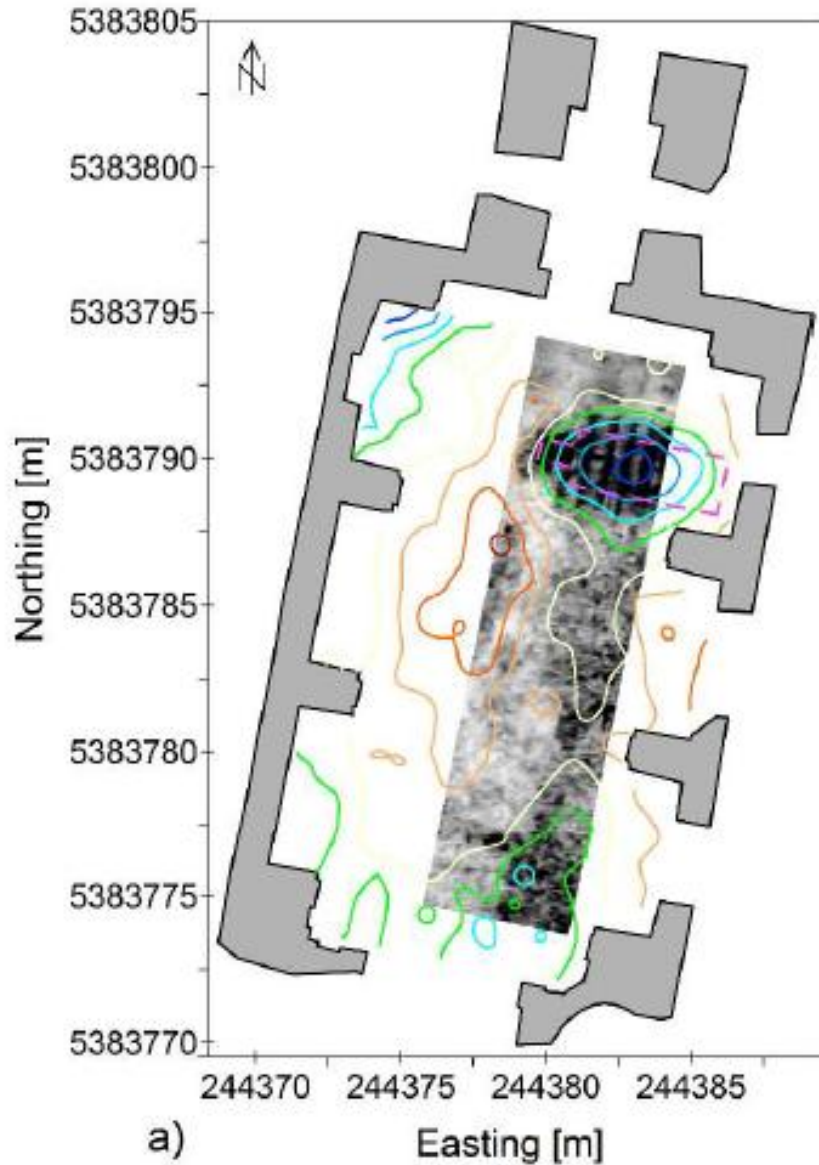


Georadar:
GSSI SIR-20



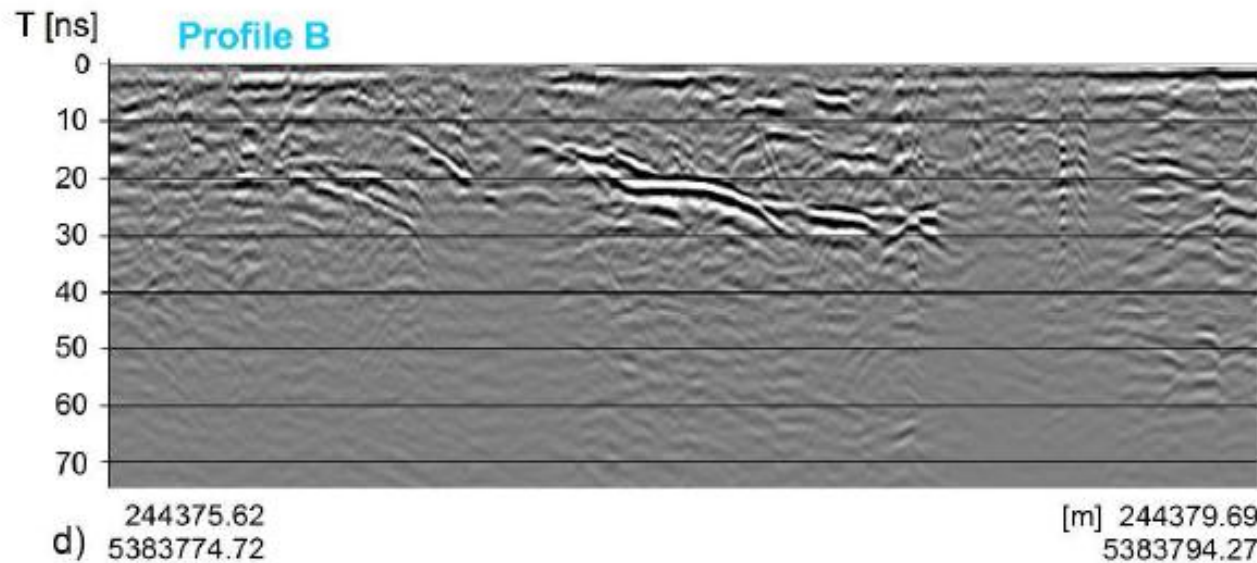
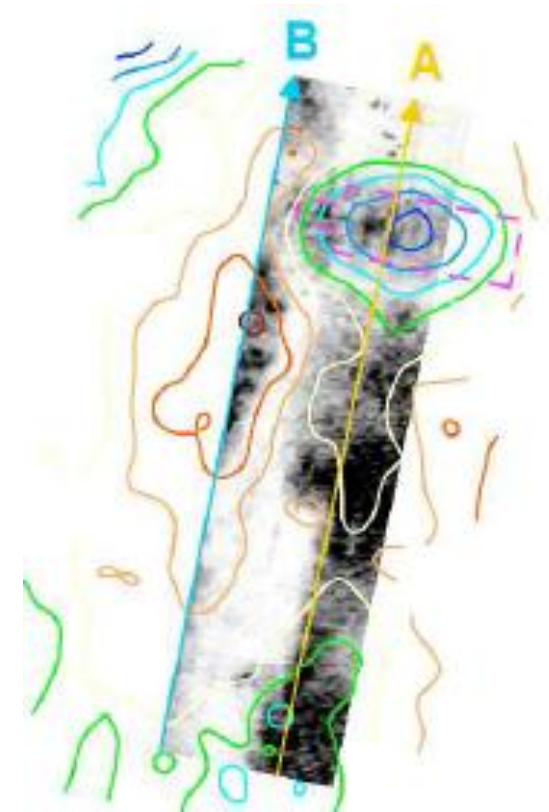
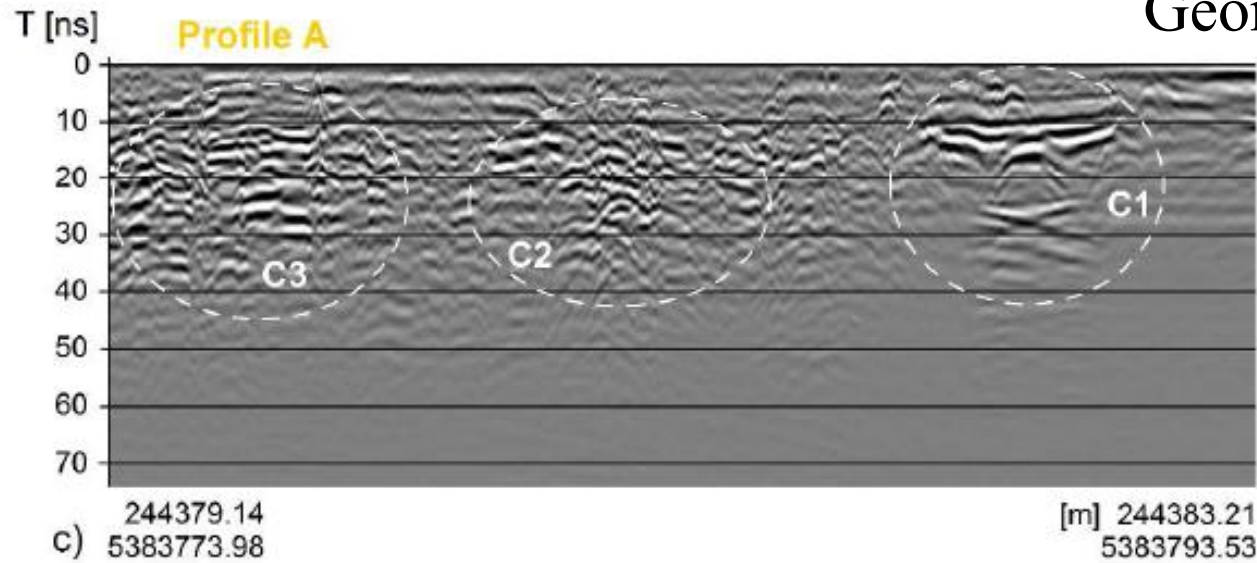
opätovné premeranie v rámci letnej školy archo-geofyziky v rokoch 2009 - 2012

Georadar: GSSI SIR-20

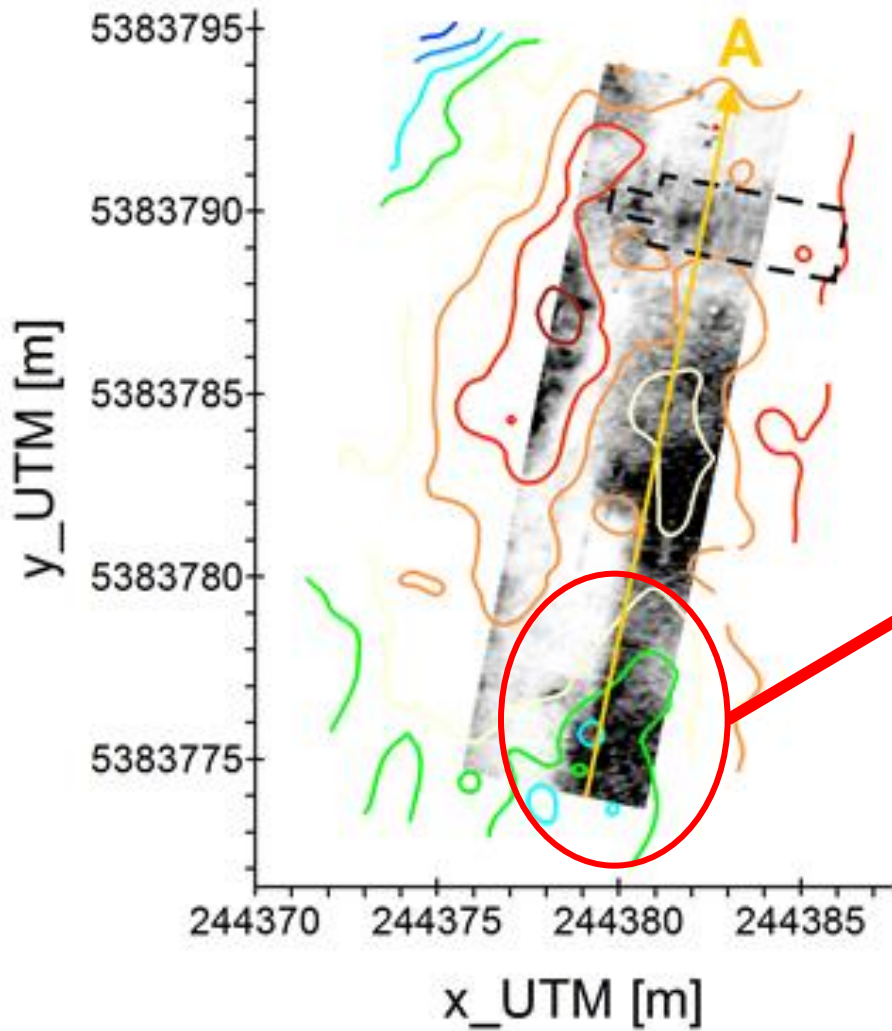


opätovné premeranie v rámci letnej školy archeo-geofyziky v rokoch 2009 - 2012

Georadar: GSSI SIR-20



opätovné premeranie v rámci letnej školy archeo-geofyziky v rokoch 2009 - 2012



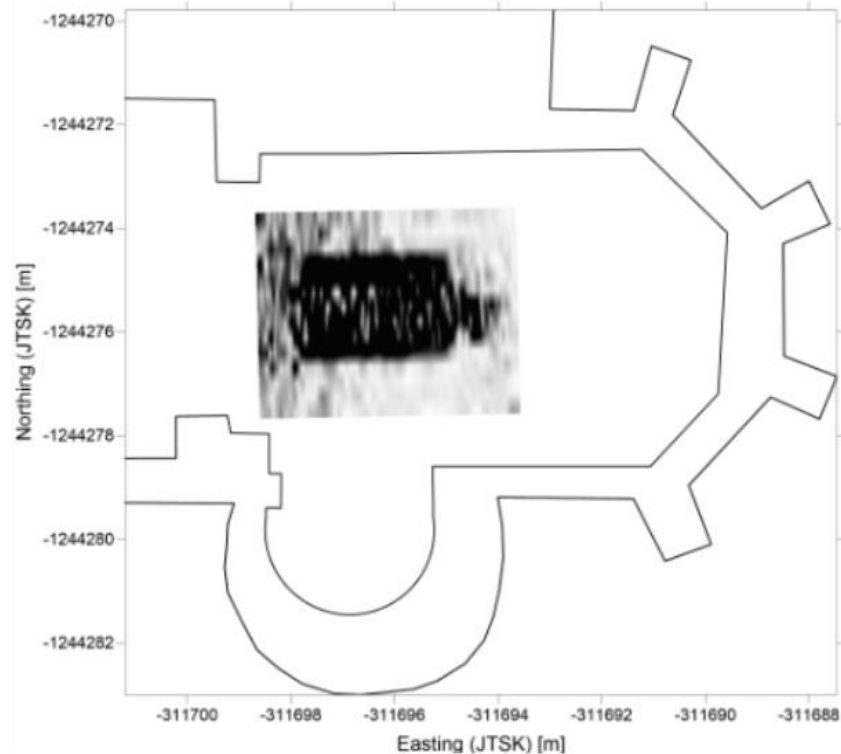
rok 2013 - 2014:
otvorenie krypty

Georadarový a mikrogravimetrický prieskum kostola Všetkých svätých v Krásnohorskom podhradí

Georadar. a mikrograv.
prieskum (2025)



typický vertikálny radargram
(prechádzajúci stredom krypty)

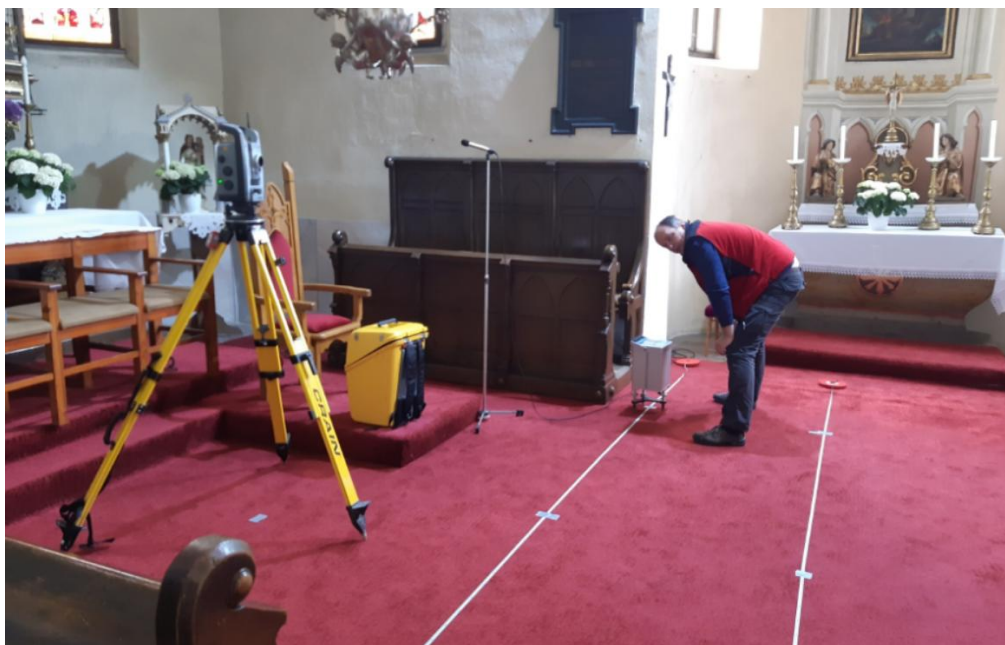
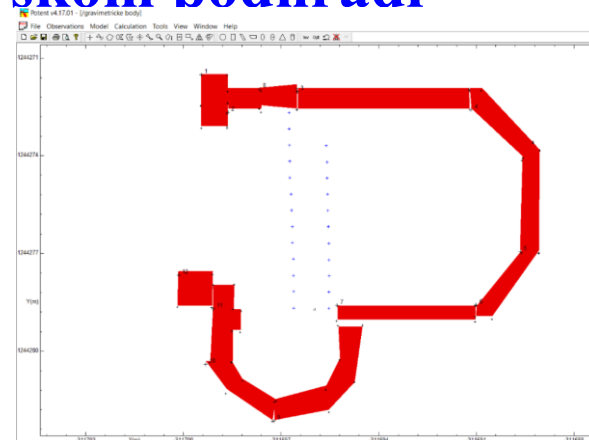


horizontálny amplitúdový rez
– hĺbka cca 1.1 m

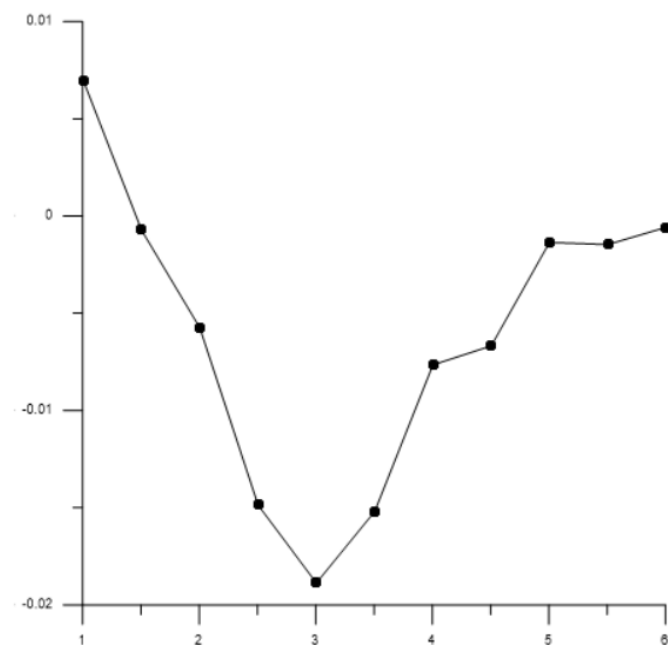
Georadarový a mikrogravimetrický prieskum kostola Všetkých svätých v Krásnohorskom podhradí

Georadar. a mikrograv. prieskum (2025)

model múrov ->
(softvér potent)



meranie s gravimetrom Scintrex CG-5



neúplná Bouguerova anomália
(profil PF. 2)

Iznik , (georadar +iné metódy)



Iznik
(bývalá Nicaea)

výsledky získané počas letnej školy INCA2008 pre študentov archeológie a geofyziky (Nemecko, Turecko, Slovensko)

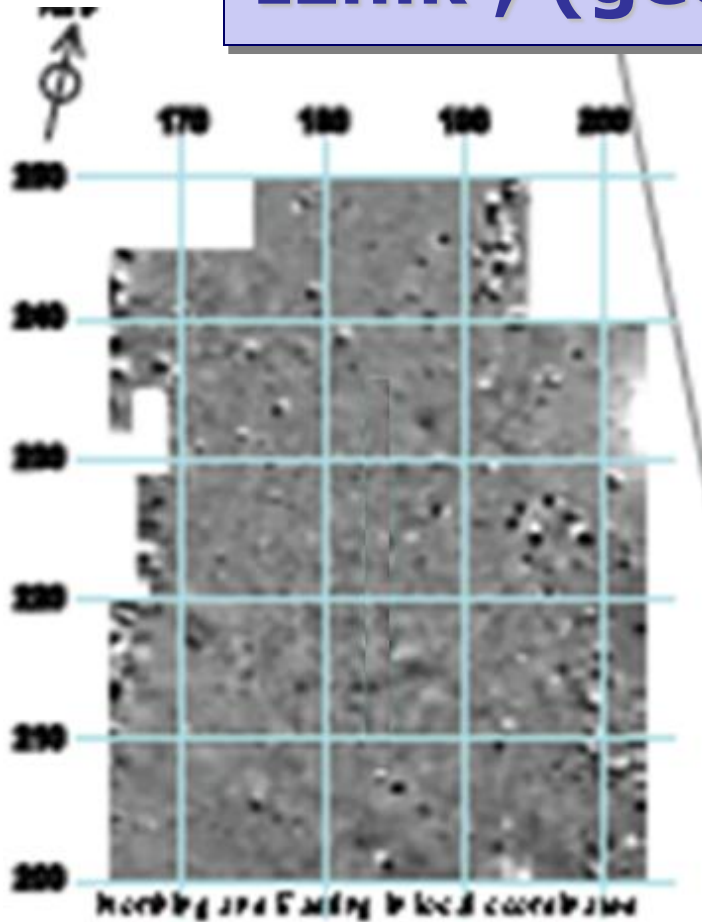
**INCA = International Course on ArcheoGeophysics
(LLP Erasmus Intensive Programme)**

Iznik , (georadar +iné metódy)

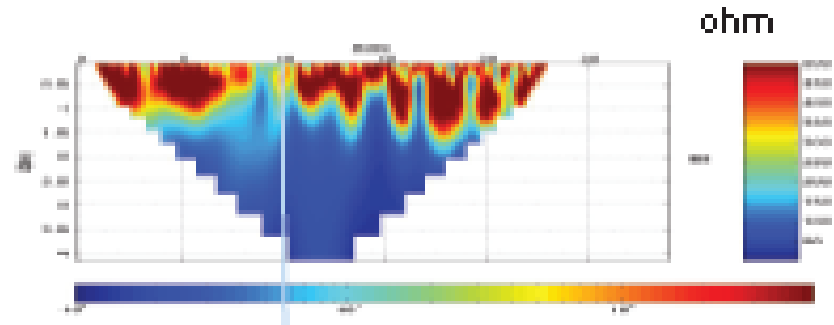


**jedna z lokalít - plocha fungovala prednedávnom
aj ako skládka odpadu**

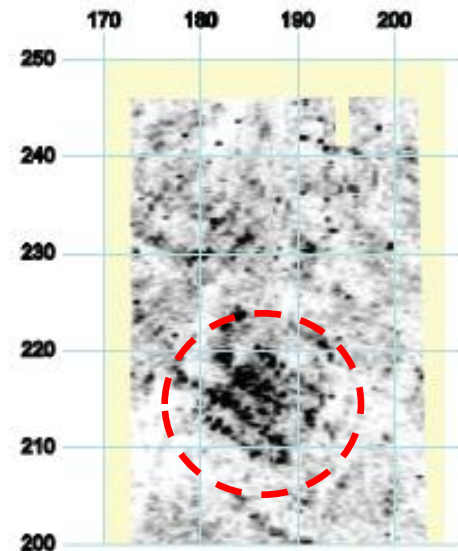
Iznik , (georadar + iné metódy)



anomálne magnetické pole
(výsledné anomálne pole
bolo veľmi porušené)

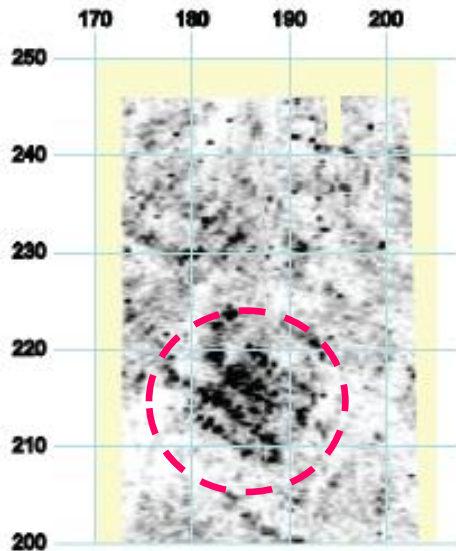


výsledok geoelektriky:
multielektródový vertikálny rez
(elektrického odporu)

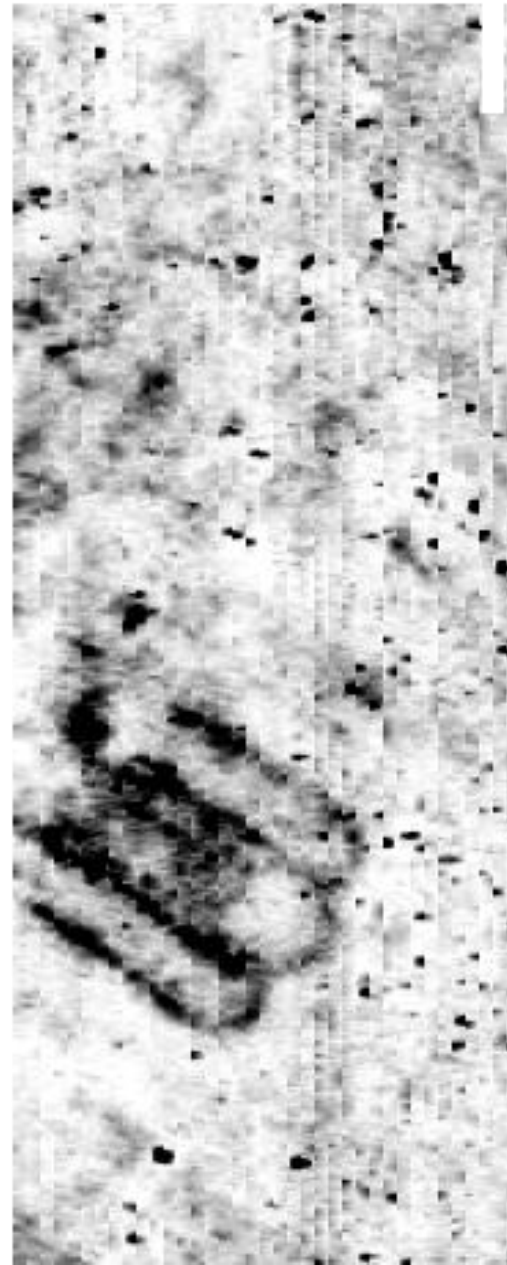


až použitie radaru (200 MHz anténa) ukázalo
prvé náznaky existencie základov budovy

Iznik , (georadar + iné metódy)

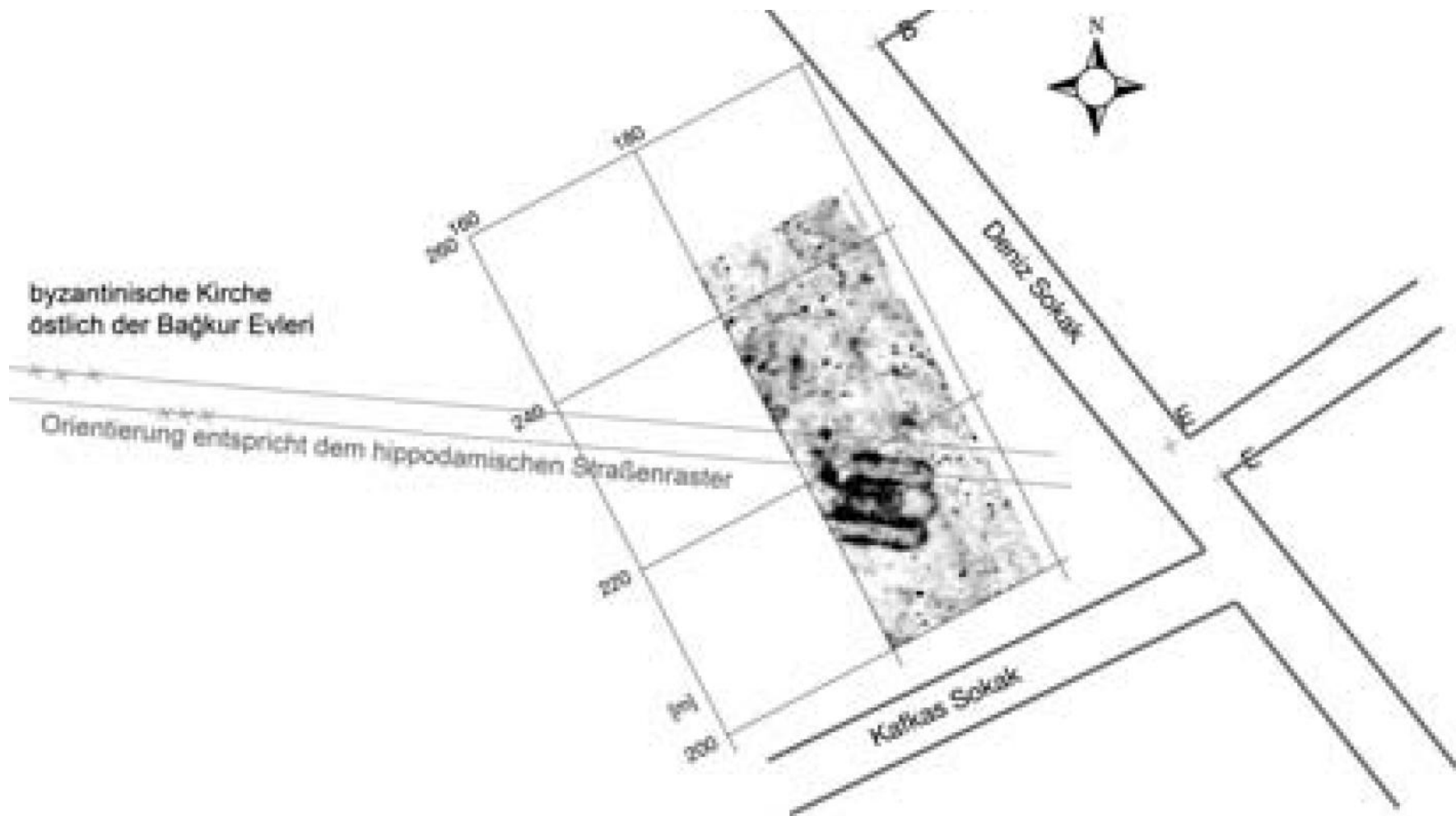


zistené náznaky existencie
základov budovy boli potvrdené
použitím 400 MHz antény



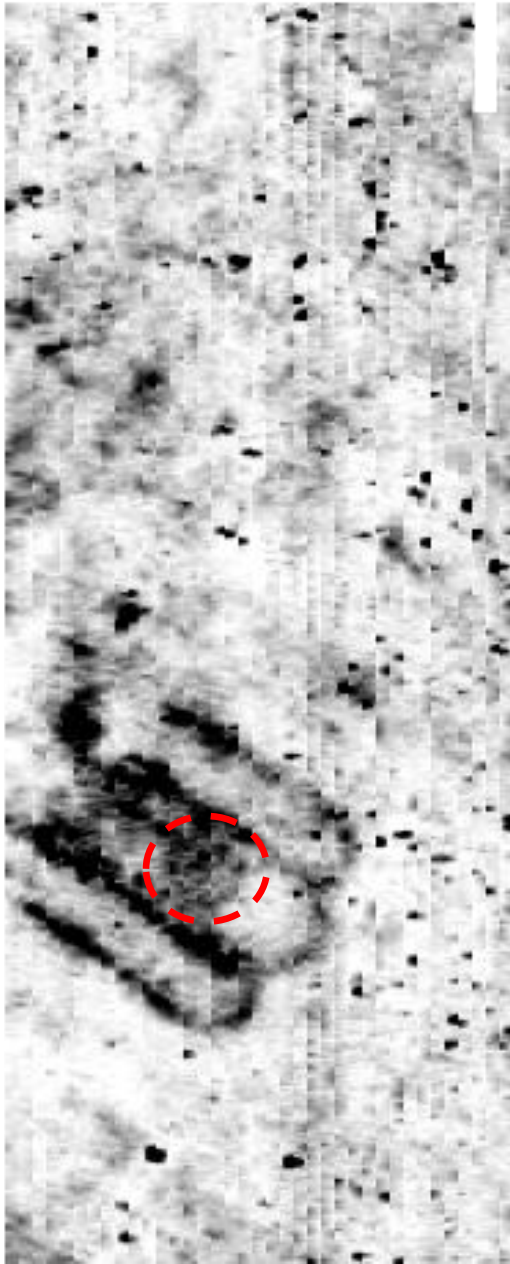
trojlod'ová
ranno-byzantská
bazilika
(je možné, že
bola súčasťou
známeho
1. Níkejského
koncilu)

Iznik , (georadar +iné metódy)



georeferencovanie so súčasným a bývalým priebehom ulíc

Iznik , (georadar + iné metódy)

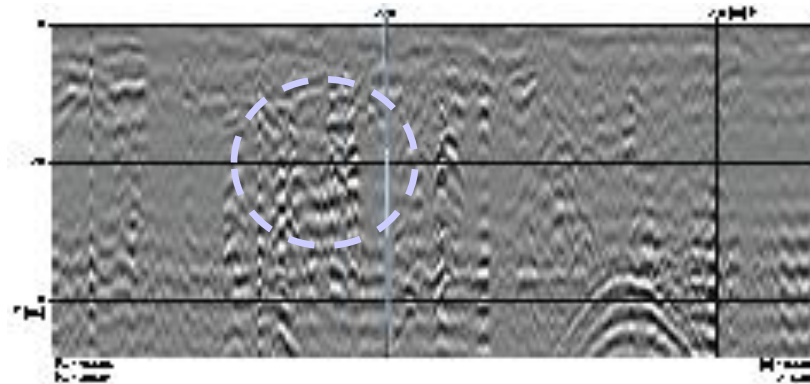


vzniknutá otázka

(ktorá min. jednému účastníkovi kurzu nedala spať):

mohla sa v takomto type sakrálnej stavby nachádzať aj krypta?

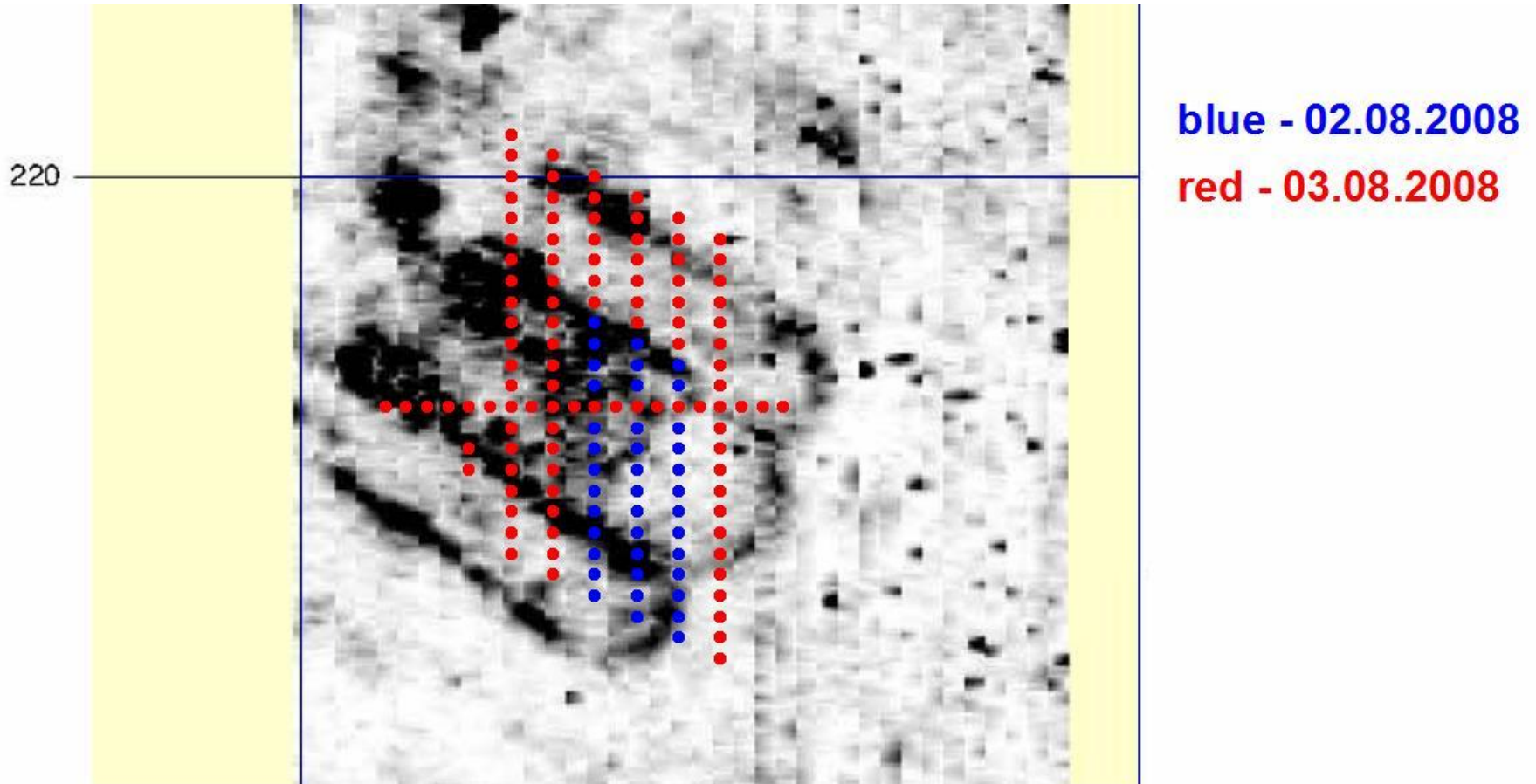
určité náznaky v niektorých radarogramoch:



riešenie (?):

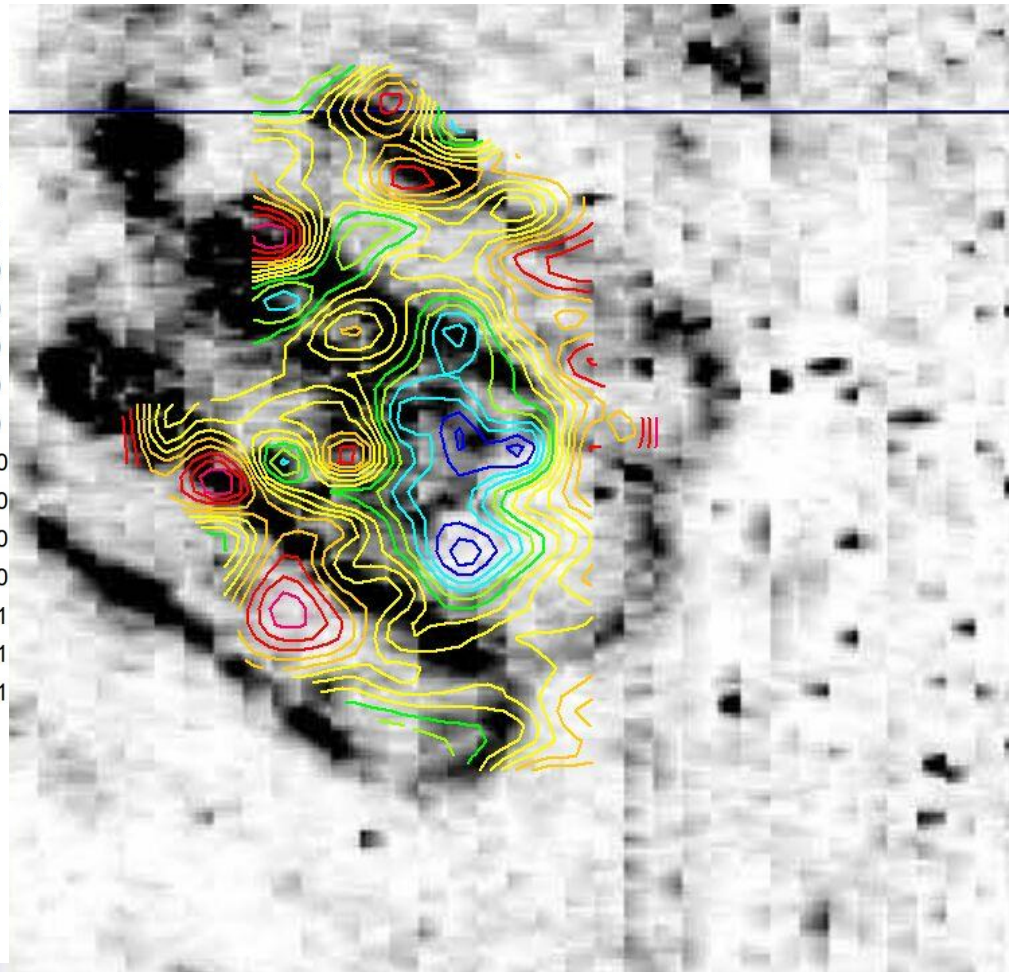
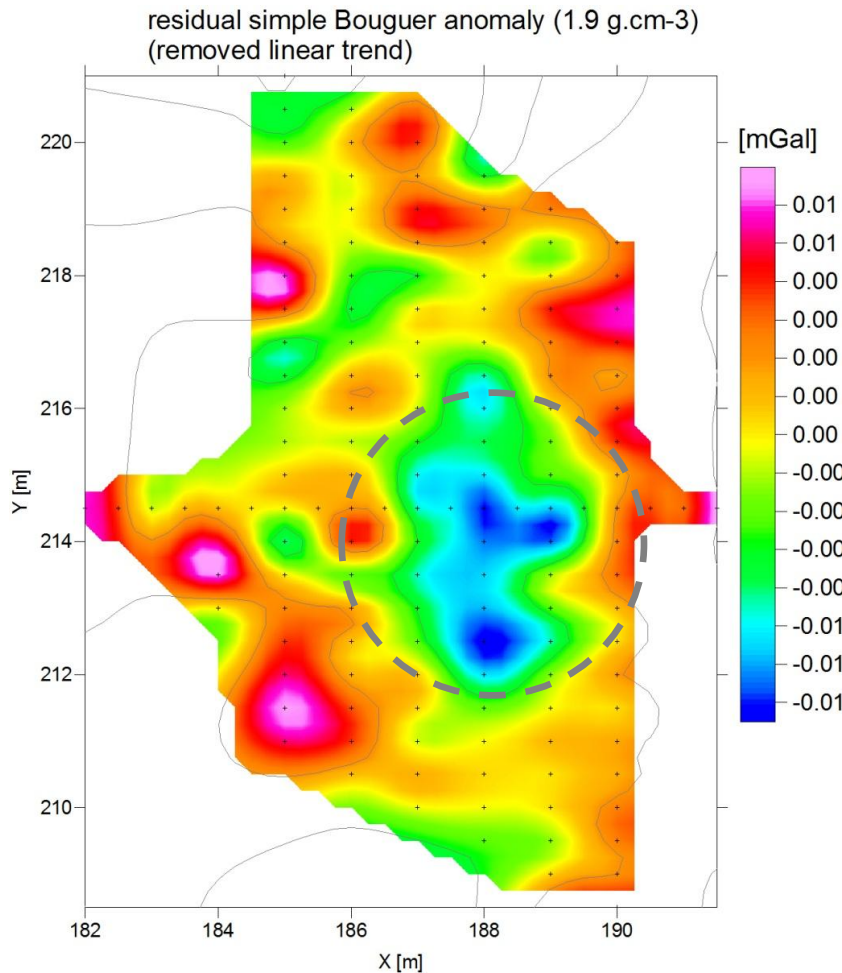
nástup mikrogravimetrickej „čaty“

Iznik , (georadar +iné metódy)



zmeraných 157 bodov, prístroj: Scintrex CG-5

Iznik , (georadar + iné metódy)



**výsledok – možnosť prítomnosti krypty (asi zavalenej)
sa ukazuje ako pravdepodobná**

Príkladové štúdie (case-studies) z archeo-geofyziky (mikrogravimetria + GPR)

Sumár:

- veľmi dobrá zhoda (GPR a mikrogravimetria),**
- vzájomné potvrdenie takmer 90% anomálií,**
- časovo je mikrogravimetria asi 2-3 krát náročnejšia
(v porovnaní s GPR)**
- správanie sa poľa GPR v prípade dutín je potrebné
metodicky analyzovať**