

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta

Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky

**Príspevok geofyziky pri lokalizácii archeologických
objektov**

prof. RNDr. Roman Pašteka, PhD.

*Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky
Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave*

TEXT K PREDNÁŠKE

2022

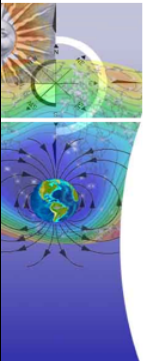
Realizované v rámci projektu KEGA 065UK-4/2021

Úvod

Geofyzika je typická interdisciplinárna veda, ktorá sa zaoberá meraním a vyhodnocovaním prirodzených fyzikálnych polí Zeme a interakciou umelých fyzikálnych polí s horninovým a pôdnym prostredím. Na základe zistených anomálií geofyzikálnych polí je možné vyhľadávať rôzne objekty pod zemským povrchom – tieto môžu byť prírodného, ale aj antropogénneho charakteru. Medzi takto vyhľadávané objekty môžu patriť aj skryté archeologické a historické predmety a útvary.

geofyzika

zdroje fyzikálnych polí Zeme:

 <p>prirodzené magnetické pole Zeme tiažové pole Zeme búrky, zemetrasenia ...</p>	<p>umelé vysielače el-mag. vln odpaly, mechanické údery, rádioaktívne zdroje ...</p>
---	--

okrem zdrojov polí sú dôležité tiež fyzikálne vlastnosti horninového (antropogénneho) prostredia, ktoré tieto polia deformujú (vytvárajú anomálie geofyzik. polí)

cieľom je aplikovanej geofyziky je interpretovať deformácie (anomálie) týchto polí za účelom detekcie záujmových objektov

Fyzikálne polia (prirodzené alebo umelé) sú deformované v dôsledku prítomnosti objektov a štruktúr pod zemským povrchom. Geofyzici merajú tieto polia pomocou rôznych prístrojov, ktoré sú vo väčšine prípadov založené na registrácii poľa v špeciálnom senzore, ktoré s ním interaguje na základe určitého fyzikálneho princípu (často na atómovej, dokonca až kvantovej úrovni). Takto získané údaje fyzikálnych polí sa spracovávajú a zobrazujú pomocou špeciálnych postupov. Zobrazujú sa pozdĺž profilov (grafy) alebo na plochách (mapy). Pri mapách sa často používa čierno-biela škála, nakoľko odtiene šedej dokážu v sebe odrážať rôzne jemné heterogenity skúmaného fyzikálneho poľa.

V prípade použitia geofyzikálnych metód v archeológii sú geofyzikálne metódy často podporované výsledkami z metód diaľkového prieskumu Zeme – ako sú letecké snímkovanie z lietadiel a dronov, a v ostatnom čase najmä laserové skenovanie z lietadiel (metóda LiDAR: "Light Detection And Ranging").

prístroje a princípy merania:

postavené na rôznych mechanizmoch interakcie fyzikálneho poľa s určitým senzorom

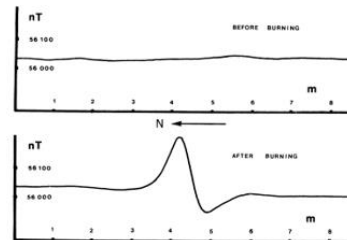
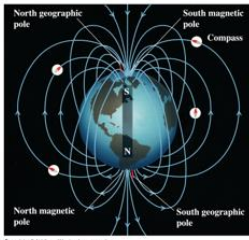


Geofyzikálne metódy

Geofyzikálne metódy sa delia na rôzne druhy – podľa toho, že aké fyzikálne pole sa meria a vyhodnocuje. Tak poznáme tzv. magnetometriu, gravimetriu, geoelektriku, seizmiku, geotermiku, rádiometriu, atď. V prípade nedeštruktívneho archeologického prieskumu sa využíva najviac magnetometria a geoelektrika (jej súčasťou je aj georadar). Ako doplnkové metódy sú seizmika, gravimetria, rádiometria geotermika. V nasledujúcich niekoľkých obrázkoch sú zhrnuté fyzikálne princípy týchto metód.

magnetometria

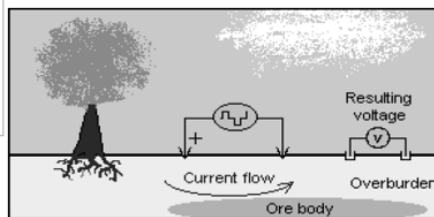
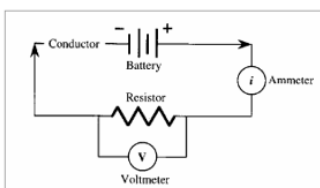
- založená na presnom meraní magnetického poľa Zeme
- princípy prístrojov (magnetometre) sú založené na rôznych efektoch pôsobenia vonkajšieho magnetického poľa na správanie sa atómov



- meraná veličina
 - indukcia (jednotka: Tesla)
- anomálie sú detekované nad objektami s vyššou magnetizáciou (susceptibilitou)

geoelektrika

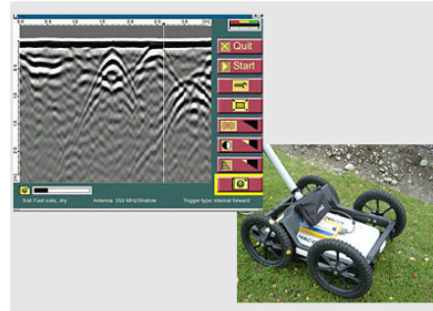
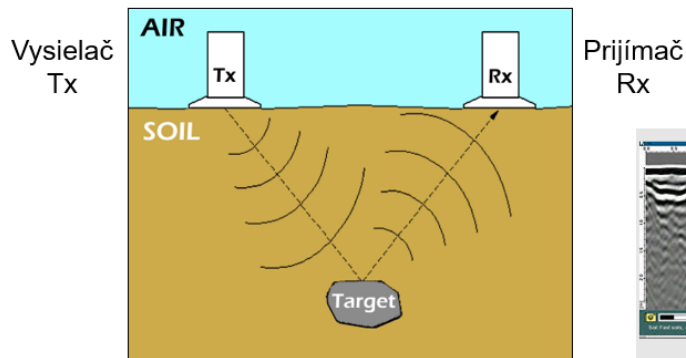
- založená na meraní efektu jednosmerného elektrického prúdu zavedeného do horninového prostredia
- princíp merania: meraný elektrický prúd a napätie



- hodnoty sú prepočítané na tzv. zdanlivý merný elektrický odpor (jednotka: $\Omega \cdot m$)
- anomálie sú detekované nad objektami s rôznou elektrickou vodivosťou/odporom

georadar

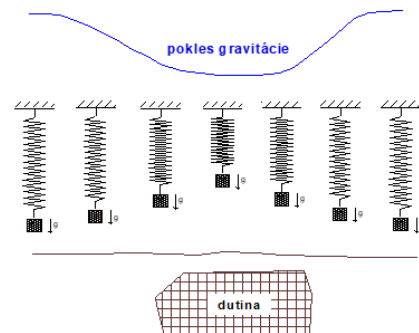
- založená na registrovaní odrazených el-mag. vln od podpovrchových objektov (frekvencia: rádovo stovky MHz)
- hĺbkový dosah: 5-6 m



- výsledkom sú tzv. radarogramy
- anomálie sú detekované nad objektami s rôznou elektrickou vodivosťou/odporom

gravimetria

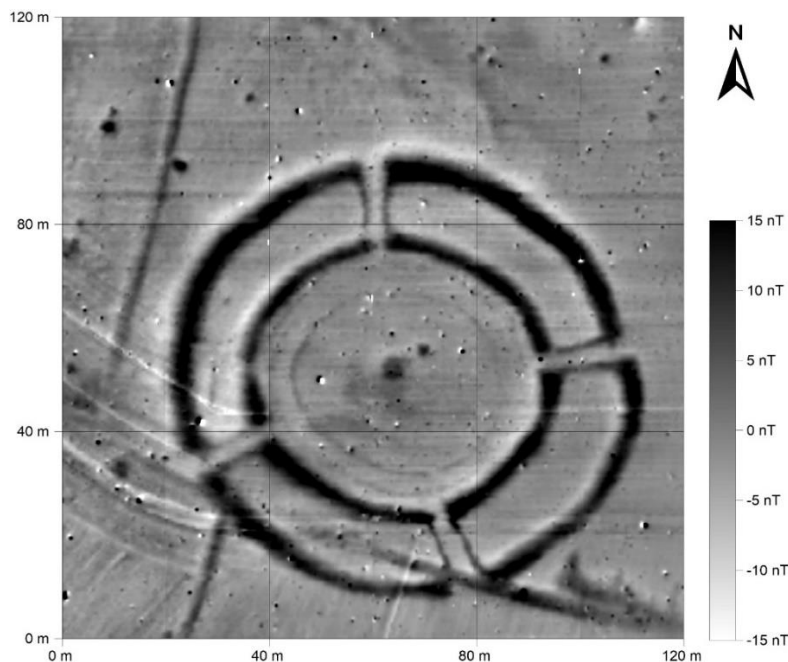
- založená na presnom meraní tiažového zrýchlenia Zeme
- prístroje (gravimetre) sú založené na princípe veľmi presných váh (kremenná pružinka sa natiahne úmerne tiaž. zrýchleniu)
- nad hustotne deficitnými objektami (napr. dutinami) je registrované nižšie tiažové zrýchlenie (spôsobené úbytkom hmoty)
- treba odstrániť všetky „neužitočné“ vplyvy



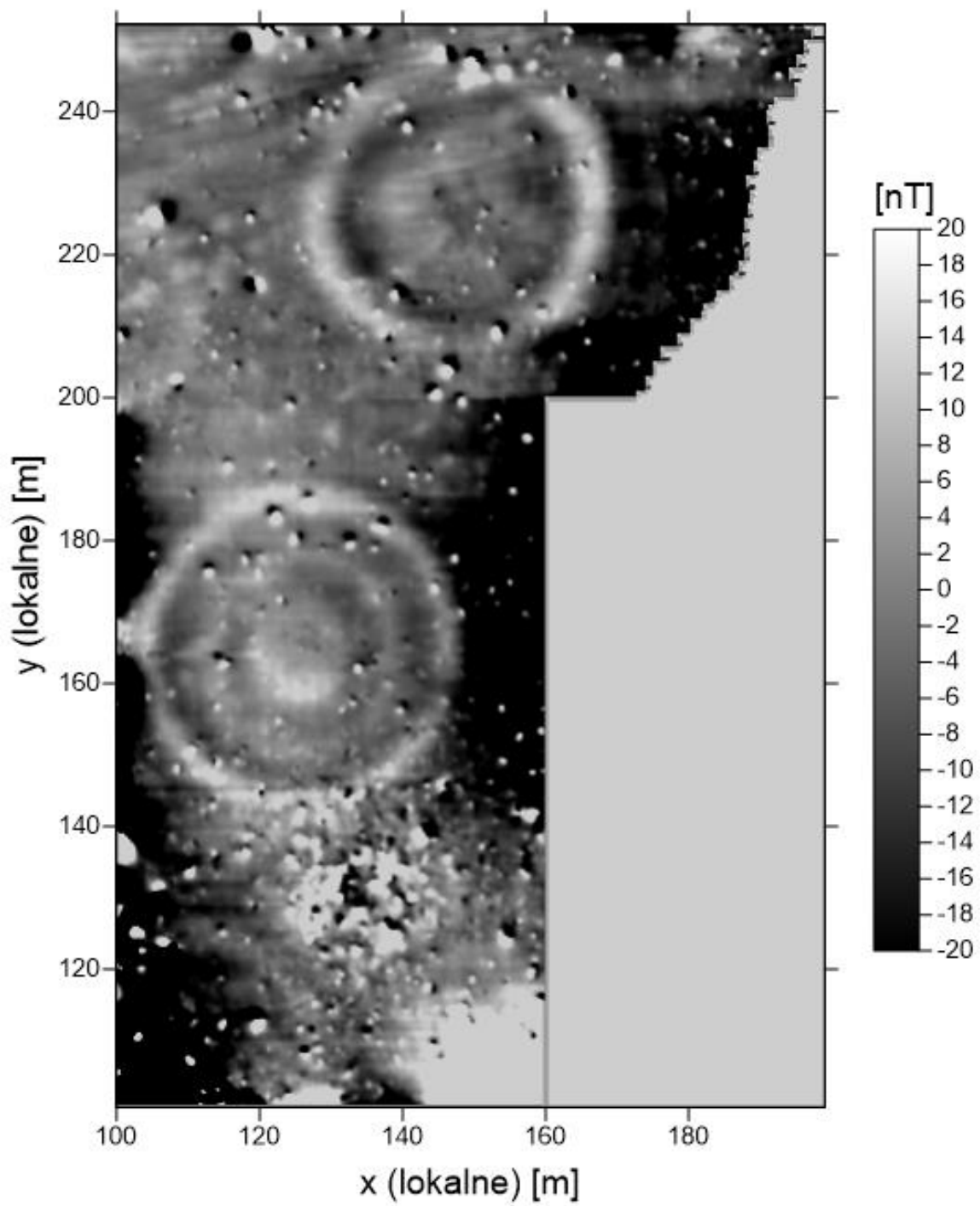
Príklady použitia geofyzikálnych metód v nedeštruktívnom archeologickom prieskume

V samotnej prednáške je prezentované množstvo príkladov použitia geofyzikálnych metód v nedeštruktívnom archeologickom prieskume. V tomto materiály uvádzam iba niekoľko vybraných príkladov:

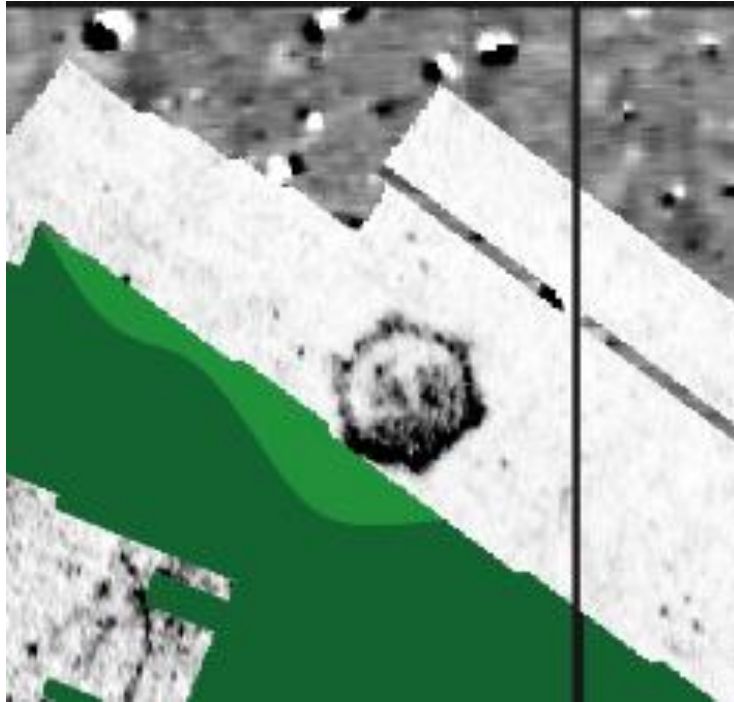
1. Na obrázku je zobrazená mapa anomálneho poľa nad archeologickou štruktúrou, budovanou dvoma kruhovými priekopami (tzv. rondel) na lokalite Steinabrunn v Rakúsku. Priestor bývalých priekop je vyplnený humusom, ktorý má zvyčajne vyššiu hodnotu magnetickej susceptibility v porovnaní s bežnými horninami a pôdami (vďaka činnosti tzv. magnetotaktických baktérií).
2. Na obrázku je opäť zobrazená mapa anomálneho poľa nad bývalými mohylami halštatského veku na lokalite Biely Kostol pri Trnave. Rôzne konštrukčné prvky mohýl sa prejavujú rôznou úrovňou magnetizácie materiálu.
3. Na obrázku sa nachádza tzv. horizontálny georadarový amplitúdový rez nad základmi kaplnky so šesťuholníkovým pôdorysom – lokalita Katarínka pri Trnave. Takýto horizontálny rez sa dá získať s vertikálnych radargramov pomocou špeciálneho 3D spracovania.
4. Nachádzajú sa tu 2 mapky: ľavá je horizontálny georadarový amplitúdový rez a pravá je mapa anomálneho tiažového zrýchlenia, vnútro kostola Narodenia Panny Márie v Horných Krškanoch pri Nitre. Na mapkách sa prejavuje prítomnosť dvoch krypt pod podlahou kostola.



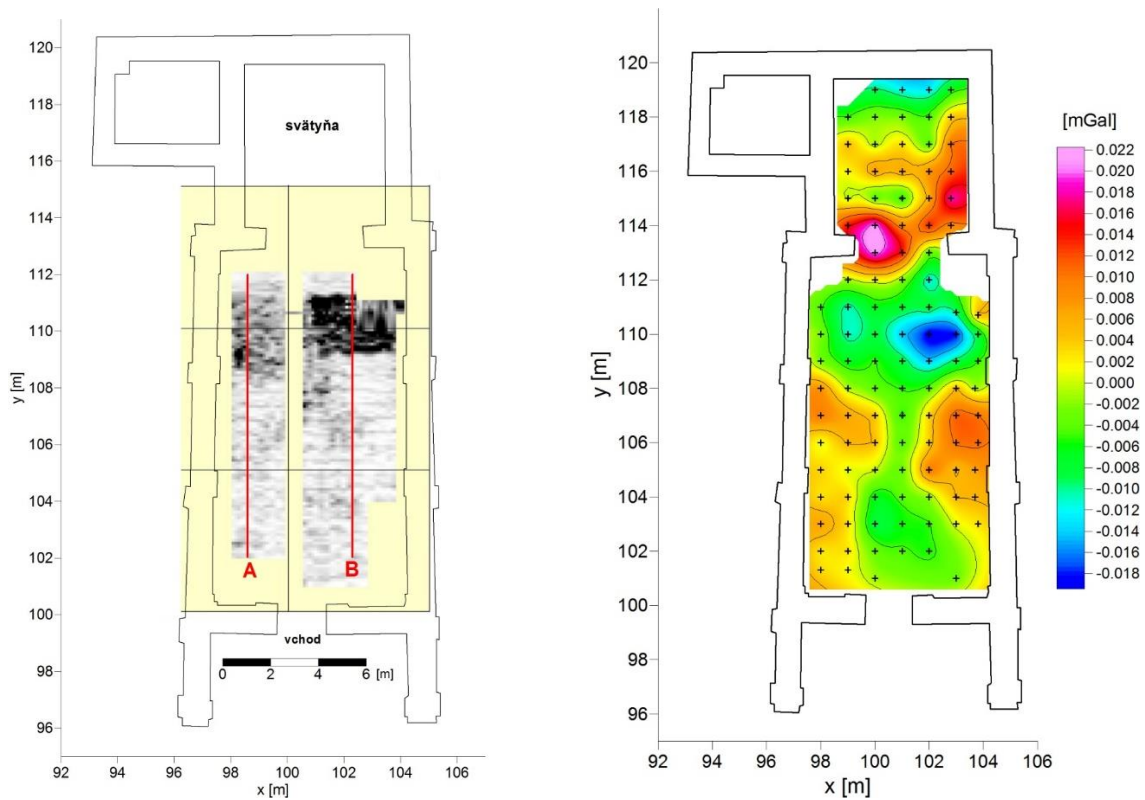
1. Mapa anomálneho magnetického poľa z lokality Steinabrunn, Rakúsko (poskytol nemecký kolega J. Fassbinder).



2. Mapa anomálneho magnetického poľa z lokality Biely Kostol, Slovensko.



3. Horizontálny amplitúdový georadarový rez, lokalita Katarínka, Slovensko.



4. Horizontálny amplitúdový georadarový rez (vľavo), mapa anomálneho tiažového poľa (vpravo), lokalita Horné Krškany, Slovensko.

Záver

V prípade nedeštruktívneho archeologického prieskumu sa využíva najviac magnetometria a geoelektrika (jej súčasťou je aj georadar). Ako doplnkové metódy niekedy seizmika, gravimetria, rádiometria a geotermika.

Magnetometria je najvhodnejšia na vyhľadávanie nasledujúcich objektov:

- Detekcia železných objektov – vhodná je kombinácia s elektromagnetickými detektormi (tzv. „mínohľadačkami“), nakoľko tieto detegujú všetky kovy. Železo vykazuje veľmi vysokú magnetickú susceptibilitu a aj tzv. remanentnú (zapamätanú) magnetizáciu.
- Vyhľadávanie miest s dlhodobým pôsobením ohňa: žiarovísk, pecí. Pri pôsobení tepla strácajú minerály v pôde a horninách svoje magnetické vlastnosti, po vychladnutí ich však opätovne získajú – a vďaka usporiadaniu sa tzv. magnetických domén do smeru aktuálneho zemského magnetického poľa je výsledná magnetická anomália dominantná voči svojmu okoliu. – zatiaľ u nás na Slovensku nemáme veľa príkladov tohto typu aplikácie magnetometrie v archeologickom prieskume.
- Detekcia bývalých priekop, jám, zemlianok, atď. – v tomto prípade je vhodná kombinácia s leteckým snímkovaním a s geoelektrickými metódami. Výplne týchto útvarov sú často tvorené humusom, ktorý je vo väčšine prípadov magnetickejší ako okolité pôdy a horniny (vďaka činnosti tzv. magnetostatických baktérií, ktoré koncentrujú železo z chlorofylu do drobných nano-kryštálikov magnetických minerálov). U nás na Slovensku bolo pomocou kombinácie leteckého prieskumu a magnetometrie objavených pomerne veľké množstvo útvarov s kruhovými priekopami (tzv. rondely).
- Magnetometrická metóda nie je až taká vhodná na detekciu zakrytých zvyškov múrov (vhodnejšia je geoelektrická metóda/radar). Ak sú však zvyšky múrov vybudované zo stavebného materiálu, ktorý má vysokú magnetickú susceptibilitu (napr. čadiče), tak je šanca jej úspešného použitia veľmi vysoká.

Geoelektrické metódy (vrátane georadaru) sú najvhodnejšia na vyhľadávanie zvyškov múrov a dutín. Sú však omnoho pomalšie, ako je to v prípade magnetometrickej metódy.

Gravimetria je vhodná na vyhľadávanie dutín (najmä v sakrálnych objektoch), veľmi dobrá jej kombinácia s georadarom. Je však časovo veľmi náročná – v podstate najpomalšia metóda zo všetkých tu menovaných geofyzikálnych metód.

Celkovo však platí, že najlepšie je použiť kombináciu rôznych geofyzikálnych metód – jednotlivé výsledky z nich sa navzájom buď podporujú alebo vyvracajú (príklad: použitie kombinácie georadaru a gravimetrie pri vyhľadávaní podpovrchových dutín). Použitie geofyzikálnych metód v archeológii je u nás zatiaľ iba čiastočne rozšírené, ale situácia sa výrazne zlepšila v priebehu ostatných rokov – mnohé stavebné úrady predpisujú v rámci stavebného povolenia popri archeologickom prieskume aj použitie geofyziky (na lokalitách, ktoré sú potencionálne archeologicky a historicky zaujímavé).

Použitá a doplňková literatura:

- Clark A., 1990: Seeing Beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology. Batsford, 196 p.
- Felcanová Z., Felcan M., Lieskovský T., 2021: Archeológia neviditeľného: Prípady nedeštruktívneho výskumu v archeológii. Chronos, Bratislava, 160 s.
- Gaffney C., Gater J., 2003: Revealing the Buried Past: Geophysics for Archaeologists. Tempus, 192 p.
- Kuna M., a kol., 2004: Nedeštruktivní ARCHEOLOGIE. Academia Praha, 556 s.
- Pašteka R., Pánisová J., Zahorec P., Papčo J., Mrlina J., Fraštia M., Vargemezis G., Kušnirák D., Zvara I., 2020: Microgravity method in archaeological prospection: methodical comments on selected case studies from crypt and tomb detection. Archaeological Prospection 27, 415–431
- Smekalova T.N., Voss O., Smekalov S.L., 2005: Magnetic survey in Archaeology: 10 years of using of Overhauser GSM-19 gradiometer. Publishing house of Polytechnic University, Saint Petersburg, 66 s.