



AEB_109

**Geofyzikální
metody v
archeologii**

Cíle předmětu

- Získání základních dovedností pro uskutečnění geofyzikálního průzkumu.
- Získání znalostí potřebných pro rozhodnutí o potřebě geofyzikálního průzkumu pro archeologické účely.

Forma výuky

- teoretické přednášky
- terénní cvičení v pracovních skupinách
 - Řešení praktických otázek - vyhodnocení a interpretace získaných dat a jejich využití při přípravě archeologického výzkumu.

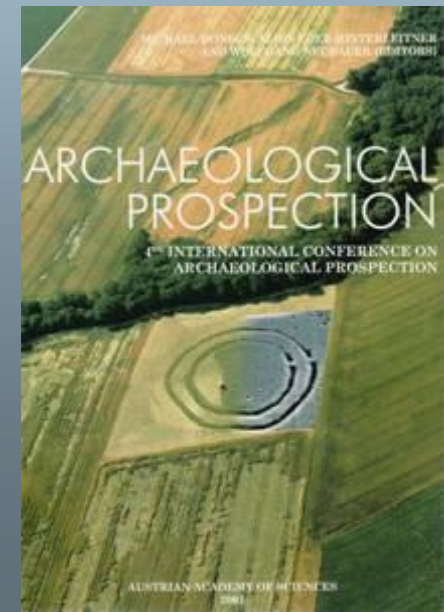
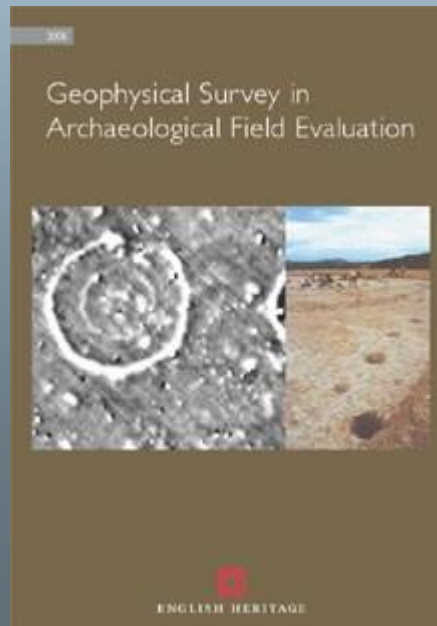
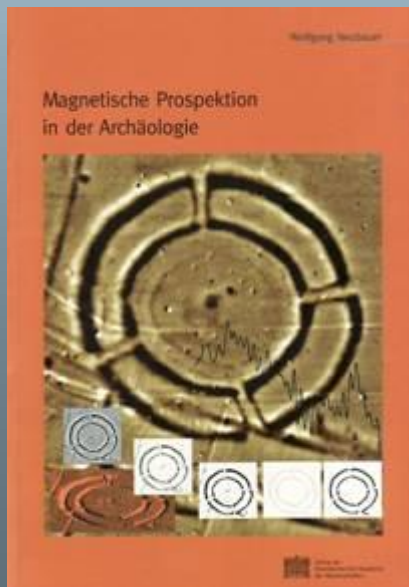
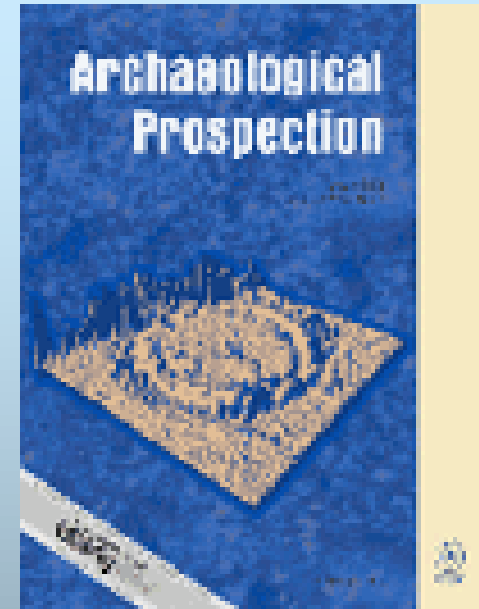
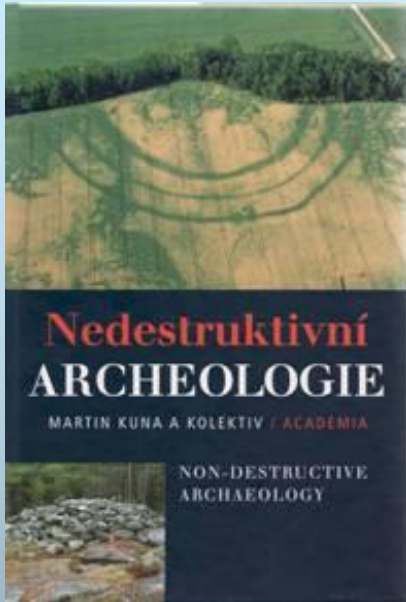
Metody hodnocení

- Hlavním požadavkem pro absolvování předmětu je:
 - účast na teoretických přednáškách
 - aktivní účast při průzkumu v terénu
 - test

Program

- Teoretické přednášky
 - 3. března – 14. dubna (6 x teorie)
- Praktické cvičení
 - 21. dubna – 19. května (každý student 1 x prax)
- Test
 - 14. dubna / během praxe

Literatura



Sběr dat při plánování terénních aktivit

- Studium seznamů evidovaných arch. lokalit
- Studium map, satelitních snímků
- Studium literatury
- Povrchové sběry
- Letecký průzkum
- Geofyzikální prospekce
- Cílená sondáž
- Plošný archeologický výzkum



SAS ČR - grafická část - veřejný přístup - Mozilla Firefox

Soubor Úpravy Zobrazení Historie Záložky Nástroje Nápověda

SAS ČR - Státní archeologický seznam... Významné archeologické lokality - ve... SAS ČR - grafická část - veřejný přístup http://twist.up.npu...client_lang=cz_iso ChronIX Radio ČÚZK: Geoportál

twist.up.npu.cz/tms/arch_public/index.php?&client_type=map_resize&strange_opener=0&interface=tmv&Values=02-32-05/1&Command=SelByFid&Theme=uan&DrawPin=1&Zoom=ToExtent&Project=TMS_ARCH_PUBLIC&DoSel=1&PinColor radio metal


Nejnavštěvovanější Jak začít Přehled zpráv https://www.google.c... http://www.facebook...

Měřítko 1:35000 VYBER MĚŘÍTKO Úvodní stránka Powered by TMAP SERVER


Tematické mapové vrstvy

- Významné archeol. lokality
- SAS Česká republika
 - UAN - Česká republika
 - Archeologické ukazatele
 - UAN I.
 - UAN II.
 - UAN III.
 - UAN IV.
 - Hranice ČR
 - Kraje ČR
 - Okresy ČR
 - Obce s rozšíř. působností ČR
 - Obce s pověř. ob. úřadem ČR
 - Obce ČR
 - Katastrální území ČR
 - Sídla a popisy sídel ČR
 - Klad ZM 1:10 000
- Popisky (NGI)
- II. voj. mapování (NGI)
- DMÚ 25 (NGI)
- Automapy (NGI)
- Vojenské mapy (NGI)
- Základní mapy (ČÚZK)
- Ortofoto (WMS ÚHÚL, ČÚZK)
- WHMS základní mapy ČÚZK
- WHMS ortofoto ČÚZK
- AGS základní mapy ČÚZK

Data © NPU, ČÚZK, ARCDATA PRAHA s.r.o., Úřad MČ Praha 10, SHOCaGis spol. s r.o., Zin, T-MAPY spol. s r.o., Hmapa Králové Dvůr



iii



CS

19:03
středa
13.3.2013

Povrchové sběry

Povrchový sběr:

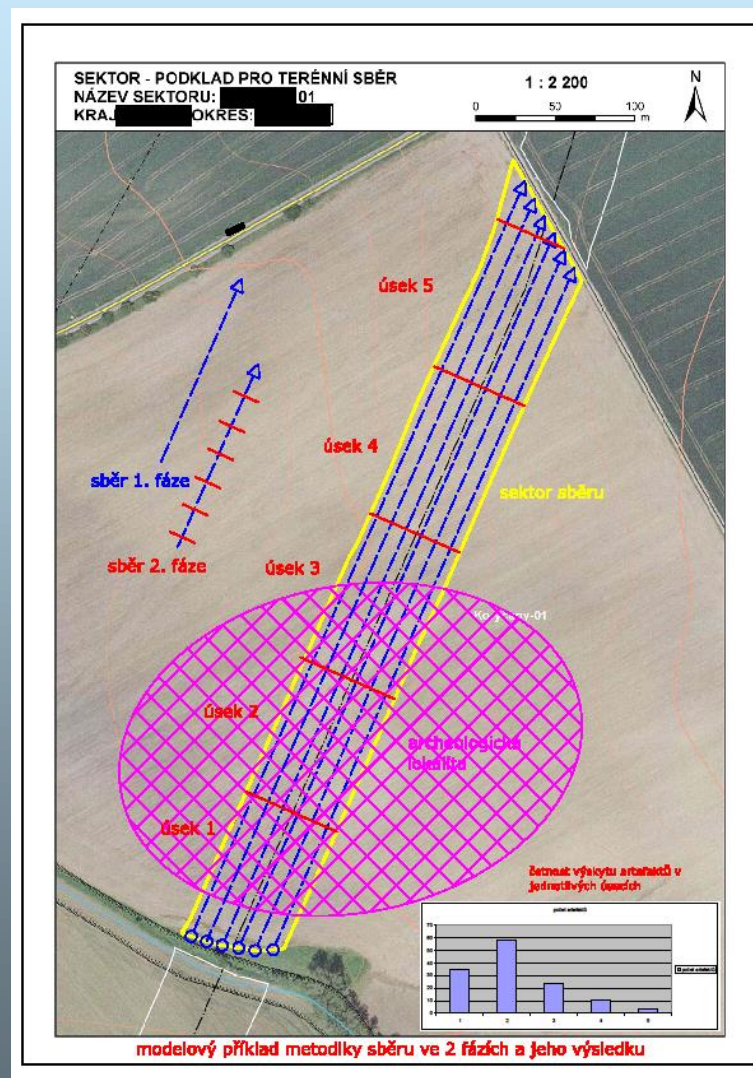
Zjišťuje a zkoumá stopy osídlení prostřednictvím zlomků movitých předmětů, rozptýlených na povrchu terénu

Předměty povrchových sběrů:

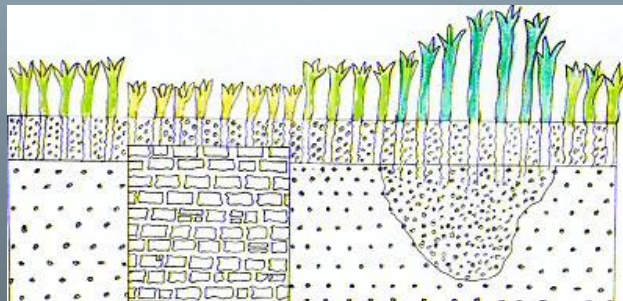
keramika, mazanice, kovy, kamenná industrie (trvanlivost)...

u středověké a novověké keramiky často vývoz s hnojem (!)

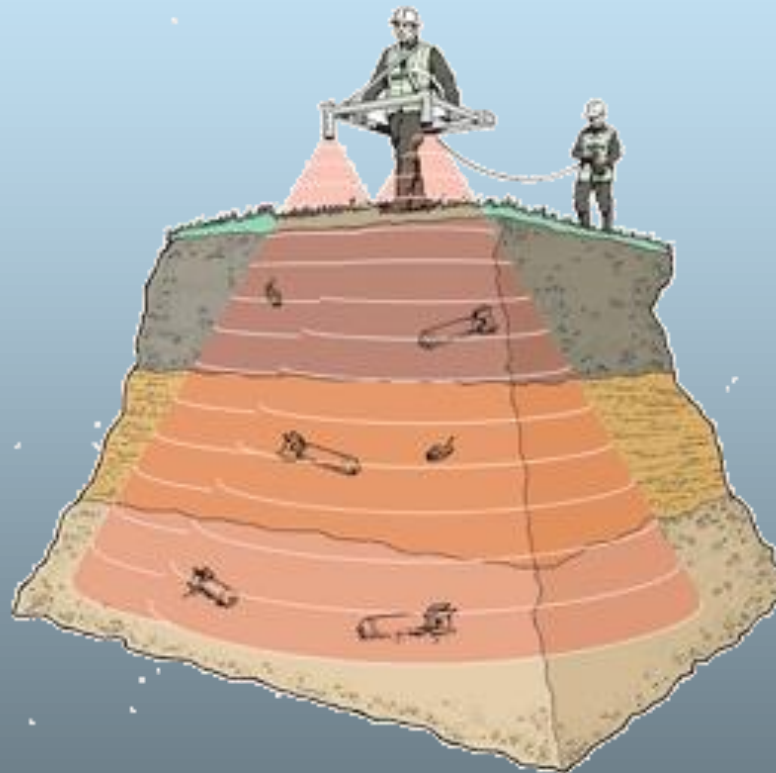
Povrchové sběry



Letecký průzkum



Geofyzikální průzkum



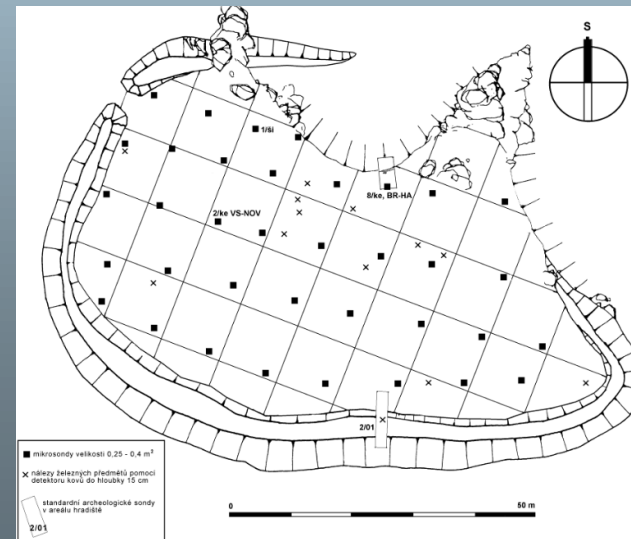
Mikrosondáže

Mikrovryp (mikrosonda) – orientační vzorkování obsahu povrchové vrstvy

- mikrosondy stojí na hranici s nedestruktivními metodami a neměli by přesáhnout rozměry a hloubku 50 cm (Kuna a kol. 2004, 353-362).

- Mikrosondáž je možné provádět v předem vytyčené síti, nebo jednotlivé mikrosondy zaměřit

- maximální dosažená hloubka nemusí znamenat dosažení podloží, nemělo by dojít k vážnějšímu narušení intaktních vrstev



(podle: prezentace K. Šabatová 2009)

Archeologický výzkum

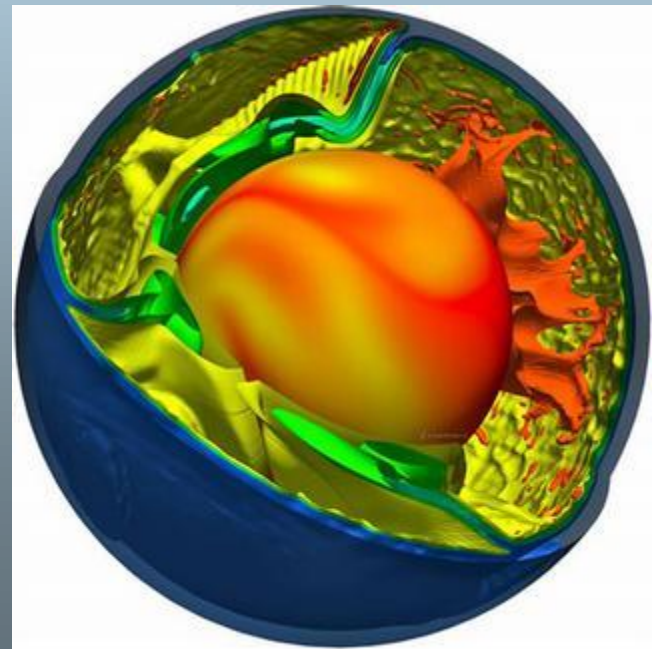


Archeologický výzkum

- **Cena archeologického výzkumu:**
- **naleziště bez kulturních vrstev, tj. s objekty zahloubenými do podloží – kolísá podle množství archeologických objektů (jam, kůlových jam apod.) patrných po skrývce**
- Do plochy 1000 m² – 300000,- až 500000,- Kč
- Plocha 1 ha a víc – 2000000,- až 3500000,- Kč/hektar

Vymedzenie geofyziky

- **geofyzika** patrí do širšej skupiny prírodovedných oborov, ktoré sa zameriavajú na štúdium Zeme.
- hlavnou náplňou geofyziky je štúdium rôznych fyzikálnych polí v zemskom telese a jeho okolí.
- štúdiom hlbinej stavby zemského telesa sa zaoberá **fyzika Zeme**.
- štúdiom fyzikálnych vlastností polí v zemskej kôre a vrchnom plášti zemského telesa sa zaoberá **užitá geofyzika**.
- geofyzika v archeológii patrí do širokej skupiny aplikácií užitej geofyziky.
- stáva sa z nej samostatná kategória a býva nazývaná aj termínom **archeogeofyzika**.



Geofyzikálne metódy využívané v archeológii

Magnetomerie – sledování geomagnetického pole Země (fyzika Země), regionálních i lokálních poruch geomagnetického pole (geologický průzkum, inženýrská, strukturní i ložisková geologie, archeologie), laboratorní magnetometrická měření (paleomagnetický výzkum, archeomagnetický výzkum)

Geoelektrické metody – stejnosměrné metody pro sledování odporových a potenciálových změn (geologický průzkum, strukturní i ložisková geologie, ochrana životního prostředí, archeologie), elektrochemické metody (ložisková geologie), elektromagnetické metody pro bezkontaktní sledování elektromagnetických polí (geologický průzkum, inženýrská, strukturní i ložisková geologie, ochrana životního prostředí, archeologie)

Gravimetrie – sledování tíhového pole Země (geodezie, fyzika Země) a rozložení hmot s rozdílnými hustotami v zemské kůře (geologický průzkum, ložisková geologie), mikrogravimetrická měření (hornictví, archeologie)

Geotermické metody – sledování teplotního pole Země (fyzika Země) a lokálních poruch geotermického pole (strukturní geologie, vulkanologie, hydrogeologie, archeologie)

Seismické metody - sledování průběhu uměle vyvolaných elastických vln (fyzika Země, strukturní geologie), reflexní seismika (geologický průzkum, inženýrská, strukturní i ložisková geologie), refrakční seismika (geologický průzkum, inženýrská a ložisková geologie, hornictví, ochrana životního prostředí, ojediněle archeologie)

Radiometrie – sledování přirozené radioaktivity (geologický průzkum, inženýrská a ložisková geologie, hydrogeologie, ochrana životního prostředí, ojediněle archeologie), měření vzbuzených polí jaderného záření laboratorní radiometrická měření (geologický průzkum, ložisková geologie, hydrogeologie, hornictví, energetika)

Geofyzikální metody ve vrtech (geologický průzkum, hydrogeologie)

Aerogeofyzikální metody (geofyzikální průzkum, strukturní a ložisková geologie)

NEJČASTĚJI SLEDOVANÉ FYZIKÁLNÍ VELIČINY při geofyzikálních měřeních v archeologii

Magnetometrické metody

- absolutní hodnota geomagnetického pole T [nT]
- gradient/lokální geomagnetické pole ΔT [nT/m]
- zdánlivá/objemová magnetická susceptibilita κ [n.10⁻⁴ SI]
- **Geoelektrické metody**

- zdánlivý měrný odpor ρ_z [Ω m]

Elektromagnetické metody

- měrný odpor ρ [Ω m]
- měrná vodivost γ [mS/m]
- intenzita magnetického pole H [A/m]
- magnetická susceptibilita κ [n.10⁻⁴ SI]

Radar

- čas odražených vln v prostředí t [ns]

Gravimetrie

- tíhové zrychlení g [kg/m³]
- hustota ρ [m/s²]
- **Seismické metody**
- rychlost šíření elastických vln v prostředí v [m/s]

Geotermické metody

- teplota t [°C]
- teplotní gradient G [°C/m]

Radiometrické metody

- koncentrace radioaktivních prvků Q u K [%], U [ppm], Th [ppm]

Geofyzikálne metódy využívané v archeológii

Magnetomerie – sledování geomagnetického pole Země (fyzika Země), regionálních i lokálních poruch geomagnetického pole (geologický průzkum, inženýrská, strukturní i ložisková geologie, archeologie), laboratorní magnetometrická měření (paleomagnetický výzkum, archeomagnetický výzkum)

Geoelektrické metody – stejnosměrné metody pro sledování odporových a potenciálových změn (geologický průzkum, strukturní i ložisková geologie, ochrana životního prostředí, archeologie), elektrochemické metody (ložisková geologie), elektromagnetické metody pro bezkontaktní sledování elektromagnetických polí (geologický průzkum, inženýrská, strukturní i ložisková geologie, ochrana životního prostředí, archeologie)

Gravimetrie – sledování tíhového pole Země (geodezie, fyzika Země) a rozložení hmot s rozdílnými hustotami v zemské kůře (geologický průzkum, ložisková geologie), mikrogravimetrická měření (hornictví, archeologie)

Geotermické metody – sledování teplotního pole Země (fyzika Země) a lokálních poruch geotermického pole (strukturní geologie, vulkanologie, hydrogeologie, archeologie)

Seismické metody - sledování průběhu uměle vyvolaných elastických vln (fyzika Země, strukturní geologie), reflexní seismika (geologický průzkum, inženýrská, strukturní i ložisková geologie), refrakční seismika (geologický průzkum, inženýrská a ložisková geologie, hornictví, ochrana životního prostředí, ojediněle archeologie)

Radiometrie – sledování přirozené radioaktivity (geologický průzkum, inženýrská a ložisková geologie, hydrogeologie, ochrana životního prostředí, ojediněle archeologie), měření vzbuzených polí jaderného záření laboratorní radiometrická měření (geologický průzkum, ložisková geologie, hydrogeologie, hornictví, energetika)

Geofyzikální metody ve vrtech (geologický průzkum, hydrogeologie)

Aerogeofyzikální metody (geofyzikální průzkum, strukturní a ložisková geologie)

Metóda

Geomagnetika:

Objekty záujmu

priekopy, jamy, hroby, sídliskové vrstvy, pece, múry z magnetického materiálu.



Metóda

Elektrické odporové merania:

Objekty záujmu

múry, cesty, pece, priekopy, duté priestory, vrstvy.



Metóda

Georadar:

Objekty záujmu

duté priestory, múry, priekopy, vrstvy.



Výhody geofyzikálnej prospekcie:

1) Nedeštruktívna

2) Rýchla

3) Zachytenie plošne rozsiahlych areálov

4) Mnohostranne využiteľná

5) Cenovo výhodná

6) a ...

... and you are your own boss



Nevýhody geofyzikálnej prospekcie:

- 1) Skúsený personál k prevedeniu a vyhodnoteniu meraní.
- 2) Ceny prístrojového vybavenia.
- 3) Výsledky meraní sú ovplyvňované vonkajšími faktormi.
- 4) Geofyzika dokáže odpovedať iba na niektoré archeologické otázky.
- 5) a ...

... and you may lose interest in the work



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Příprava

- **cíl plánovaného/požadovaného geofyzikálního průzkumu**
- dosavadní archeologické informace o lokalitě (výzkumy, sběry, letecké snímky, výsledky jiných metod archeologického průzkumu,...)
- informace o prostředí lokality (geologie oblasti, pedologické poměry, historické mapy, ...)
- informace o současném stavu prostředí na lokalitě i v blízkém okolí (rušivé vlivy, novodobé aktivity na ploše, stav dochování původního terénu, současný reliéf a pokryv ...)
- výběr vhodné metody (metod) geofyzikálního průzkumu

POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Příprava

- cíl plánovaného/požadovaného geofyzikálního průzkumu



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

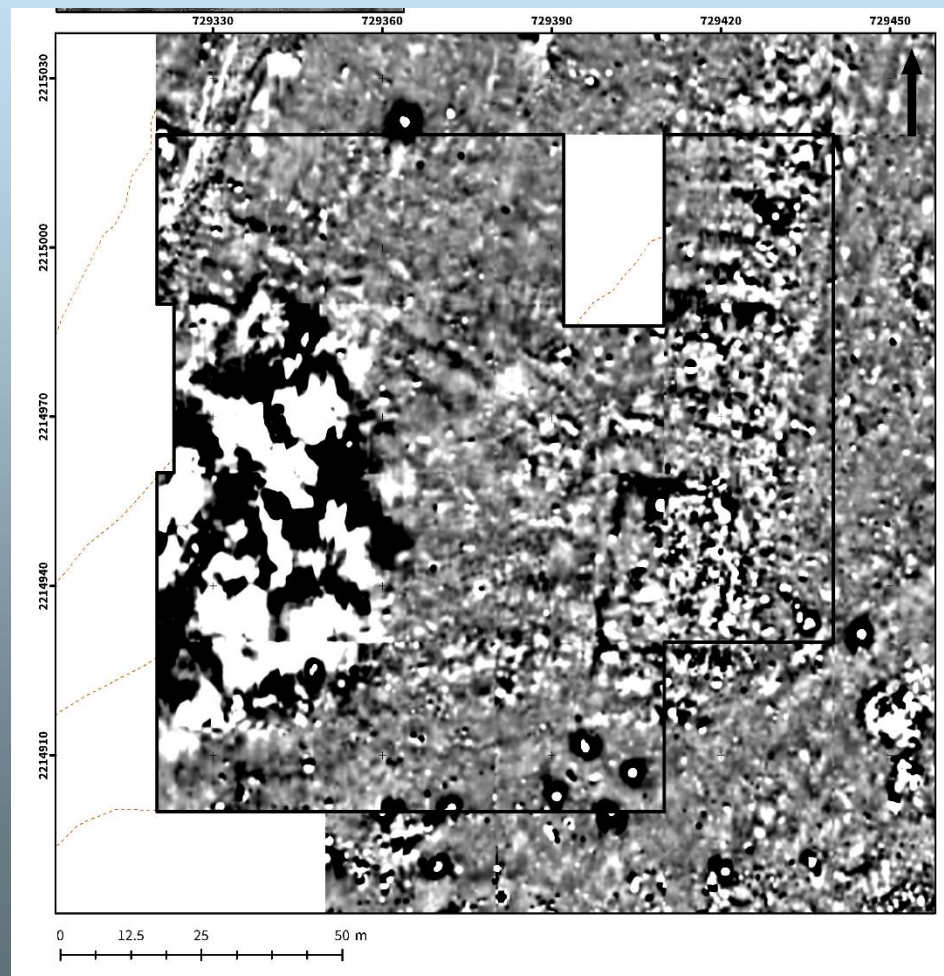
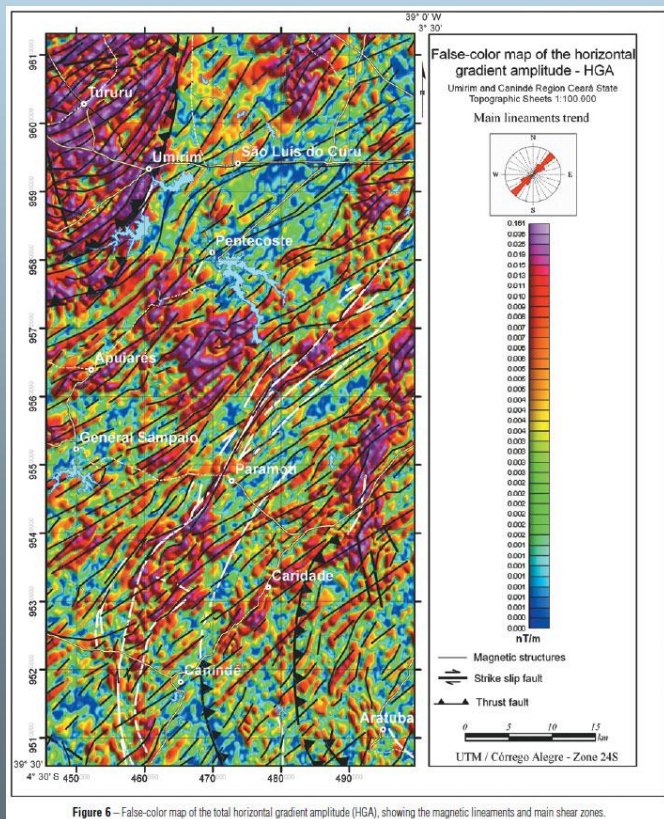
Příprava

- cíl plánovaného/požadovaného geofyzikálního průzkumu
- dosavadní archeologické informace o lokalitě (výzkumy, sběry, letecké snímky, výsledky jiných metod archeologického průzkumu,...)
- informace o prostředí lokality (geologie oblasti, pedologické poměry, historické mapy, ...)
- informace o současném stavu prostředí na lokalitě i v blízkém okolí (rušivé vlivy, novodobé aktivity na ploše, stav dochování původního terénu, současný reliéf a pokryv, ...)
- výběr vhodné metody (metod) geofyzikálního průzkumu

POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Příprava

- informace o prostředí lokality (geologie oblasti, pedologické poměry, historické mapy ...)



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Příprava

- informace o současném stavu prostředí na lokalitě i v blízkém okolí (rušivé vlivy, novodobé aktivity na ploše, stav dochování původního terénu, současný reliéf a pokryv, ...)



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Příprava

- cíl plánovaného/požadovaného geofyzikálního průzkumu
- dosavadní archeologické informace o lokalitě (výzkumy, sběry, letecké snímky, výsledky jiných metod archeologického průzkumu,...)
- informace o prostředí lokality (geologie oblasti, pedologické poměry, historické mapy, ...)
- informace o současném stavu prostředí na lokalitě i v blízkém okolí (rušivé vlivy, novodobé aktivity na ploše, stav dochování původního terénu, současný reliéf a pokryv ...)
- výběr vhodné metody (metod) geofyzikálního průzkumu

POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Příprava

- výběr vhodné metody (metod)
geofyzikálního průzkumu



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

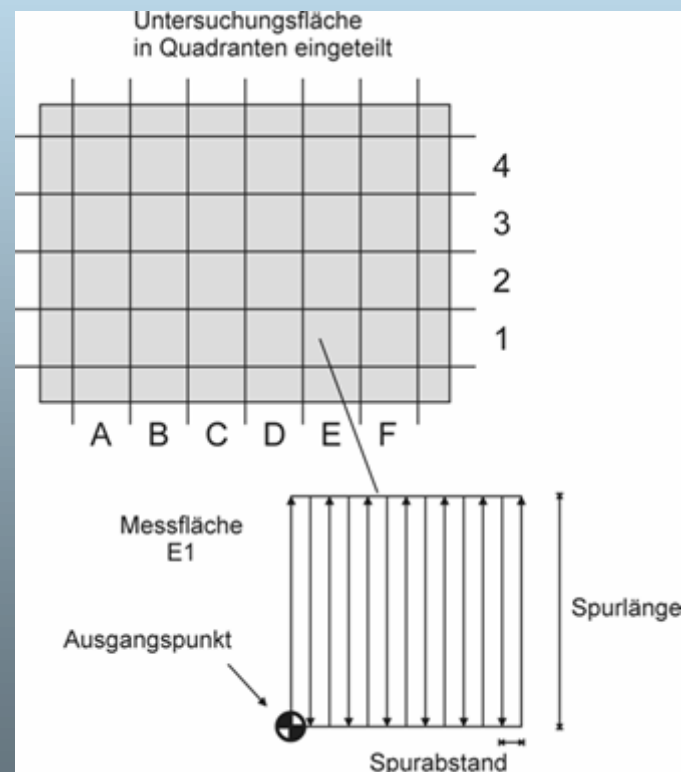
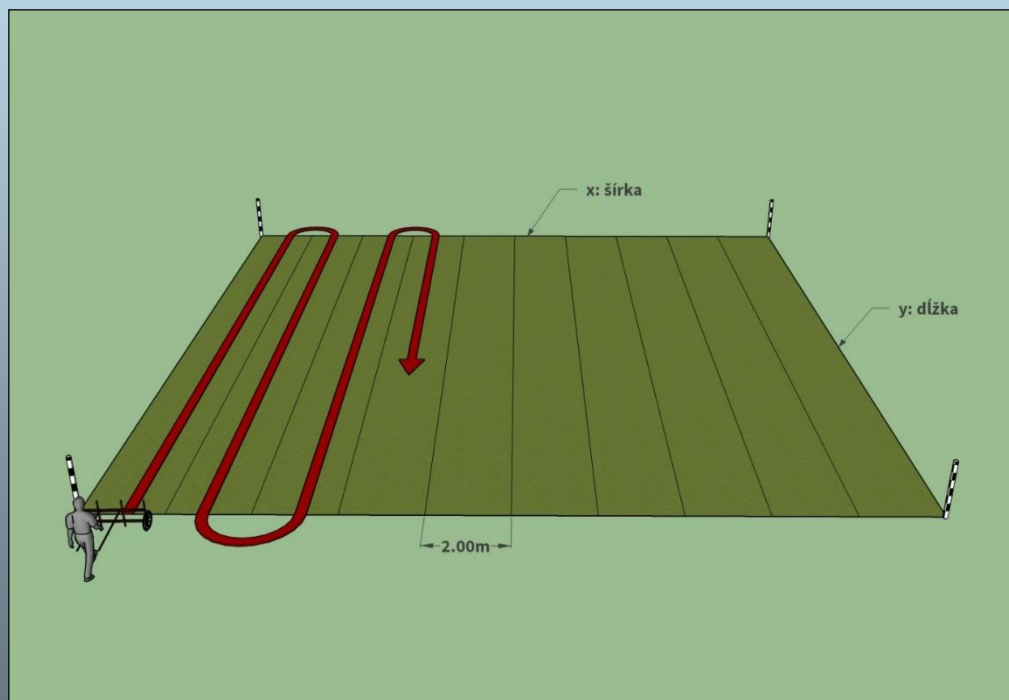
Terénní práce

- výběr vhodné metodiky geofyzikálního průzkumu (orientace profilů, síť měření, hustota měřených bodů)
- vytyčení zájmové plochy (geodetické zaměření, GPS, synchronizace s plány výzkumu, ...)
- testovací geofyzikální měření (úprava metodiky, posouzení rentability průzkumu, ...)
- systematický geofyzikální průzkum (při vícedenních měřeních průběžné dílčí výsledky, ...)
- detailní geofyzikální průzkum/výzkum (opakovaný podrobné měření vybraných částí ploch, nejzajímavější archeologické situace, ...)
- odebírání vzorků pro laboratorní geofyzikální měření

POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Terénní práce

- výběr vhodné metodiky geofyzikálního průzkumu (orientace profilů, síť měření, hustota měřených bodů)



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Terénní práce

- výběr vhodné metodiky geofyzikálního průzkumu (orientace profilů, síť měření, hustota měřených bodů)
- vytyčení zájmové plochy (geodetické zaměření, GPS, synchronizace s plány výzkumu, ...)
- testovací geofyzikální měření (úprava metodiky, posouzení rentability průzkumu, ...)
- systematický geofyzikální průzkum (při vícedenních měřeních průběžné dílčí výsledky, ...)
- detailní geofyzikální průzkum/výzkum (opakovaný podrobné měření vybraných částí ploch, nejzajímavější archeologické situace, ...)
- odebírání vzorků pro laboratorní geofyzikální měření

POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

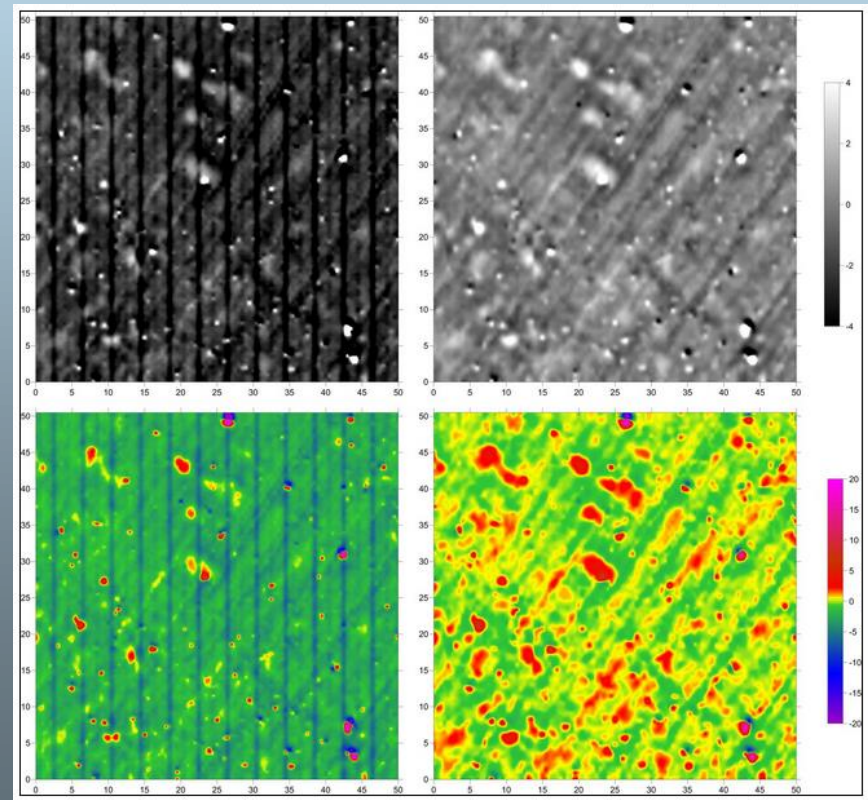
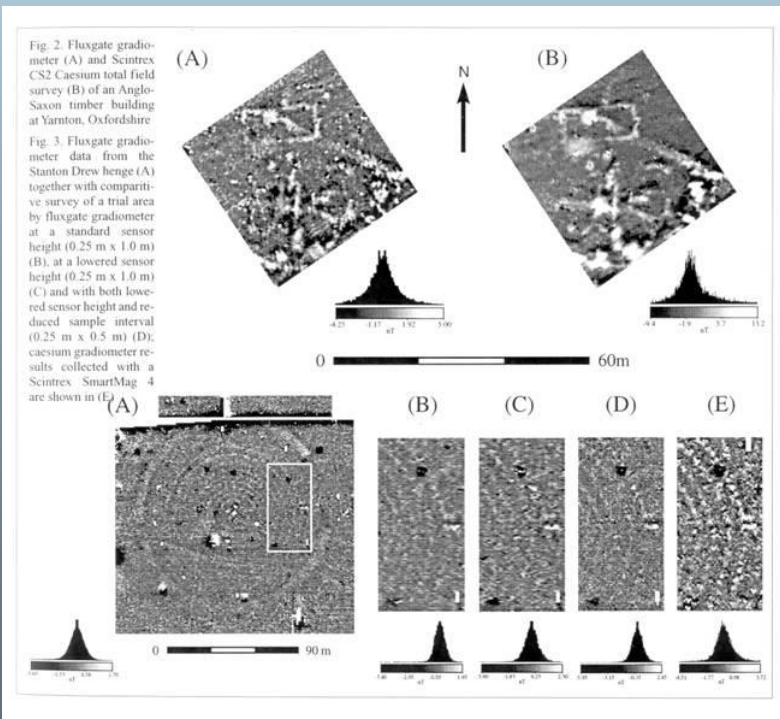
Zpracování dat

- přehrávání dat (zálohování, úpravy dat před zpracováním)
- počítačové zpracování (geofyzikální/geodetické softwary, GIS, ...)
- výstupy (mapy, profily, pseudořezy, 3D, modelování, ...)
- interpretace výsledků (jednoznačnost geofyzikálního výkladu výsledků, nejednoznačnost archeologického výkladu anomálií)

POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Zpracování dat

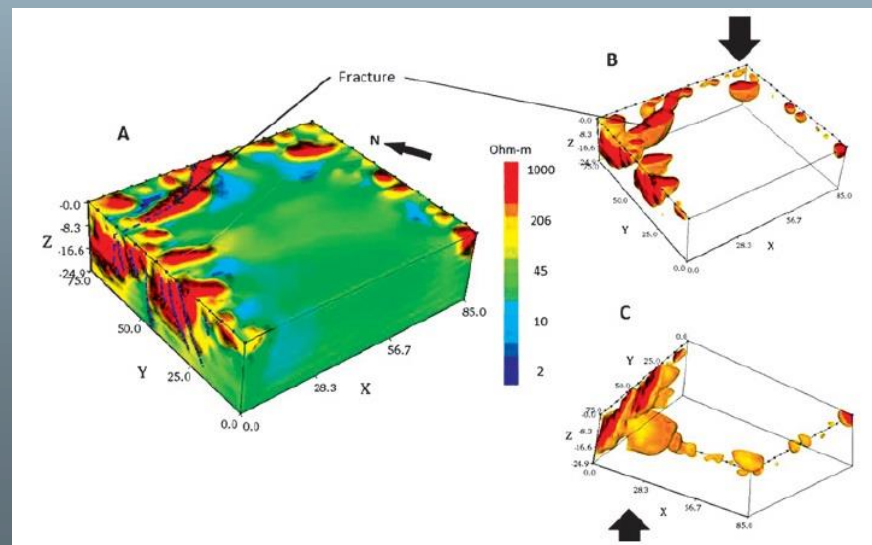
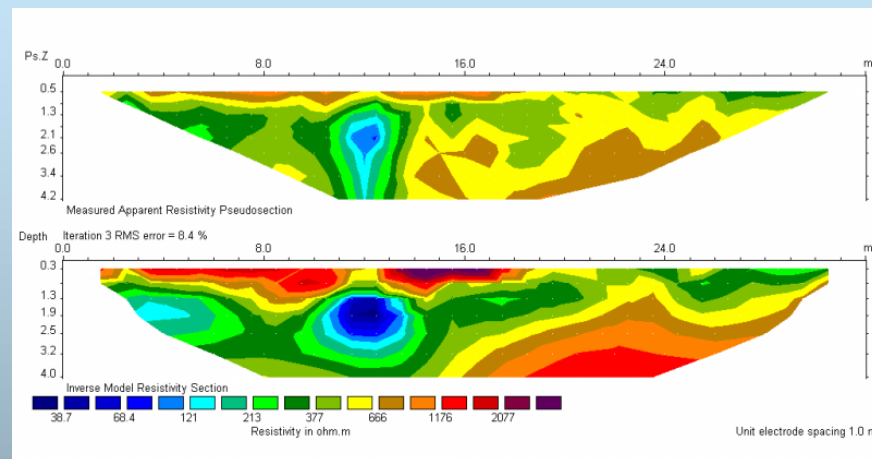
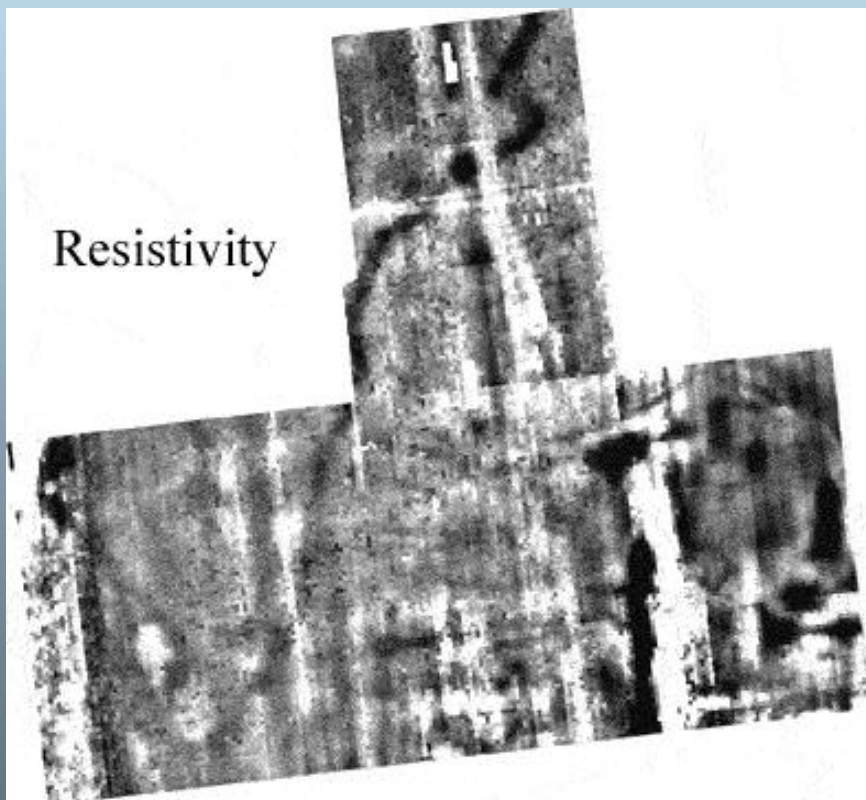
- přehrávání dat (zálohování, úpravy dat před zpracováním)
- počítačové zpracování (geofyzikální/geodetické softwary, GIS, ...)
- výstupy (mapy, profily, pseudořezy, 3D, modelování, ...)
- interpretace výsledků (jednoznačnost geofyzikálního výkladu výsledků, nejednoznačnost archeologického výkladu anomálií)



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Zpracování dat

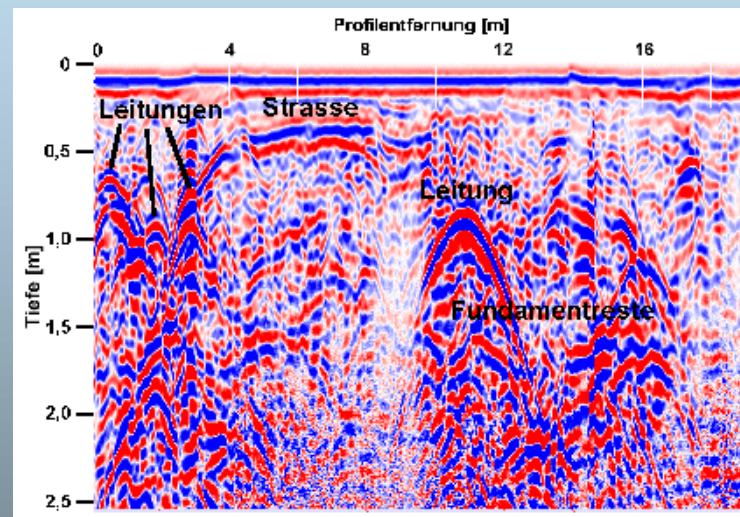
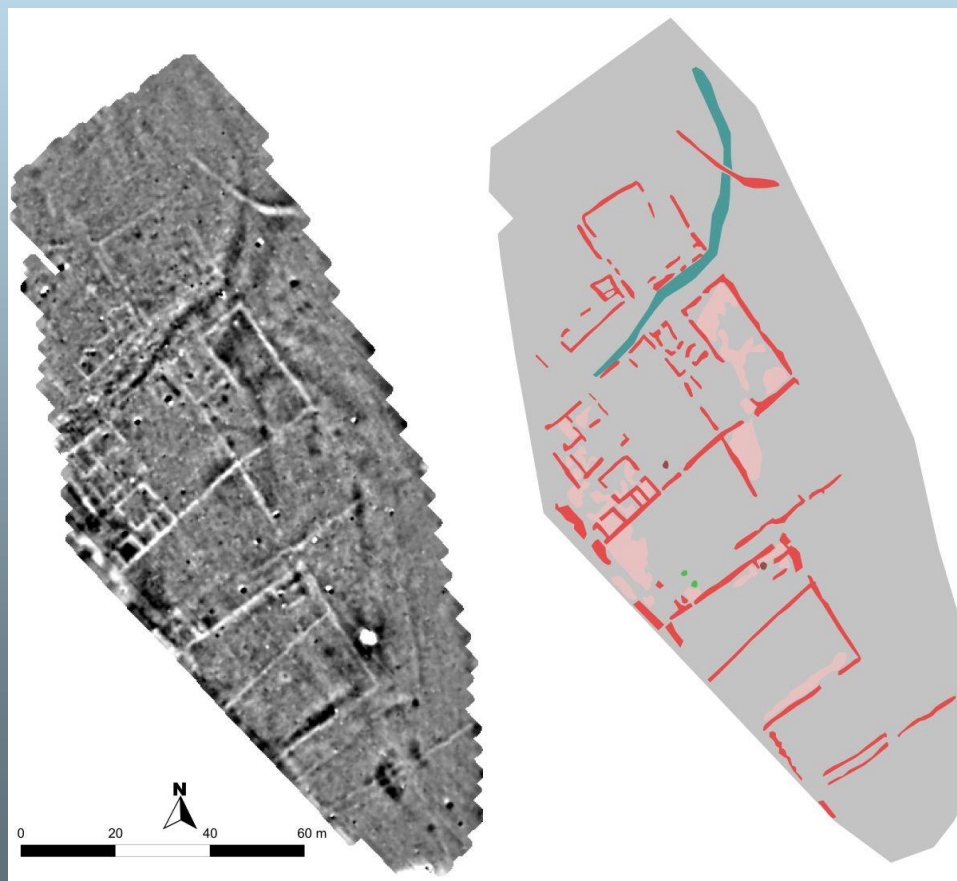
- výstupy (mapy, profily, pseudořezy, 3D, modelování, ...)



POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Zpracování dat

- interpretace výsledků (jednoznačnost geofyzikálního výkladu výsledků, nejednoznačnost archeologického výkladu anomálií)

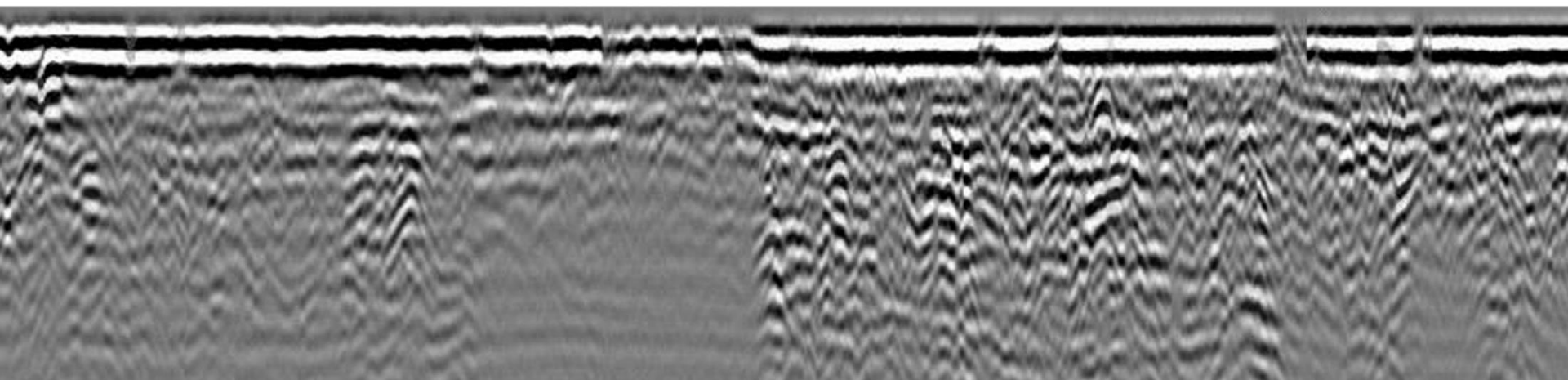


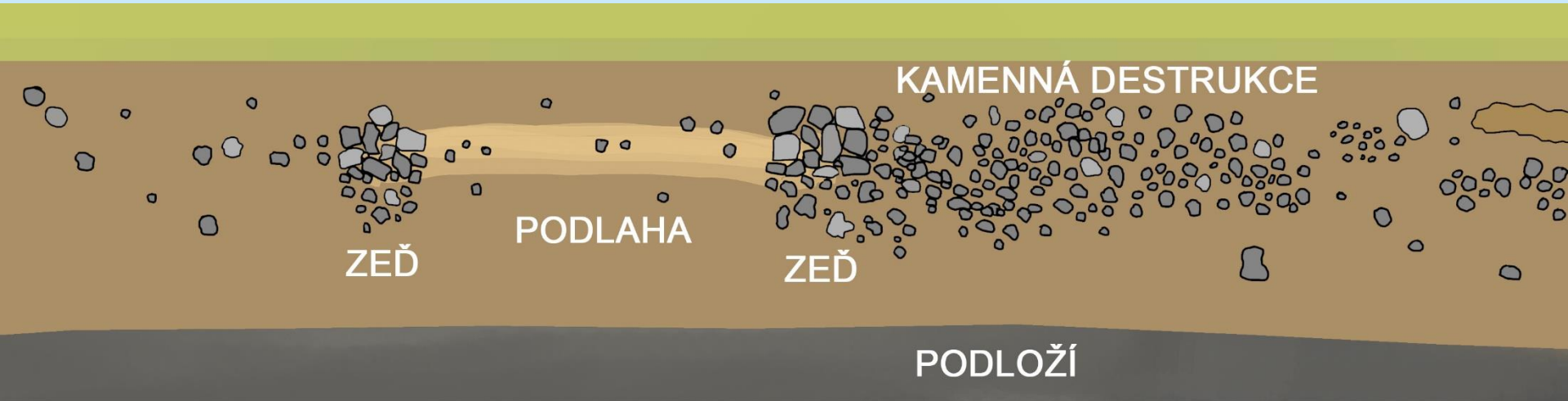
POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Zpracování dat

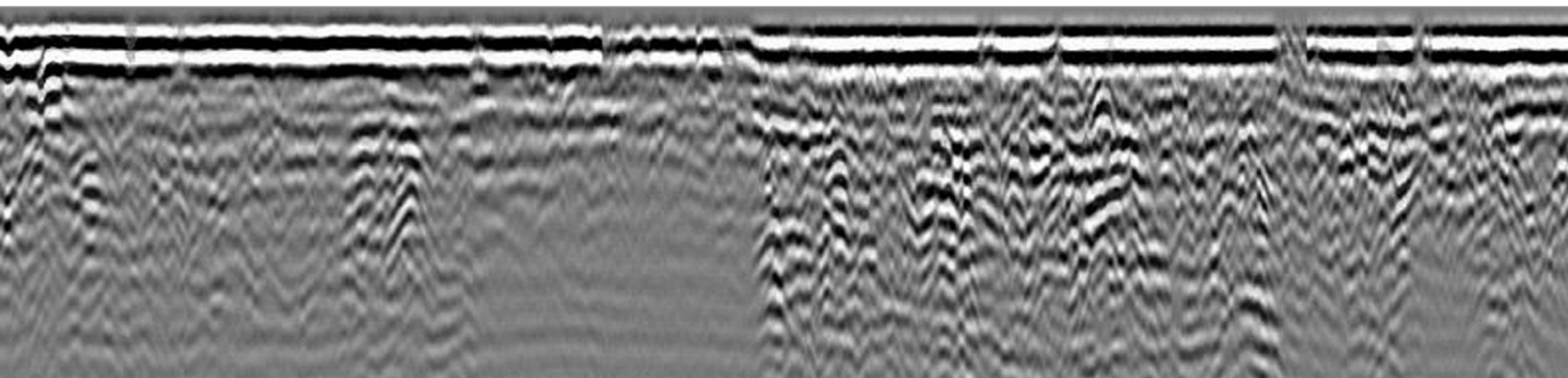
- interpretace výsledků (jednoznačnost geofyzikálního výkladu výsledků, nejednoznačnost archeologického výkladu anomálií)

2D RADAROGRAM





2D RADAROGRAM



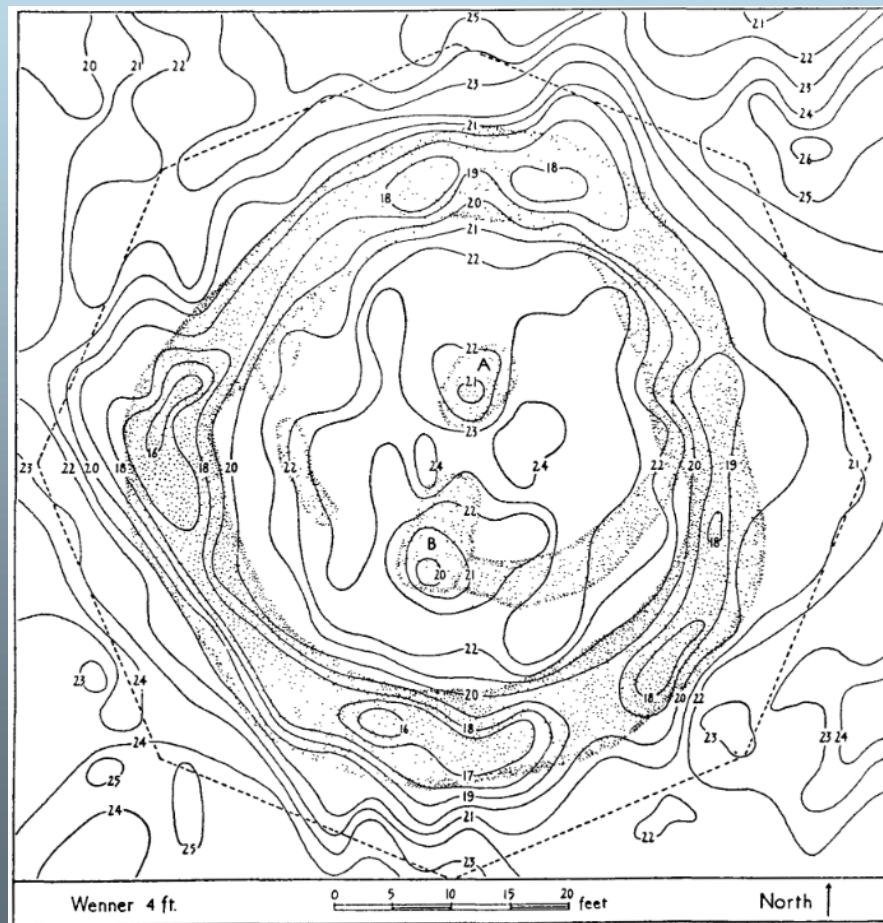
POSTUP PŘI GEOFYZIKÁLNÍCH MĚŘENÍCH v archeologii

Využití výsledků

- samostatné prezentace výstupů (archeologie, památková péče, ...)
- propojení výsledků s dalšími metodami archeologického průzkumu i výzkumu (komplexní výsledky, ověření výsledků, ...)
- návrh dalšího postupu průzkumu lokality (doplňková měření, jiné metody a metodiky průzkumu, ...)

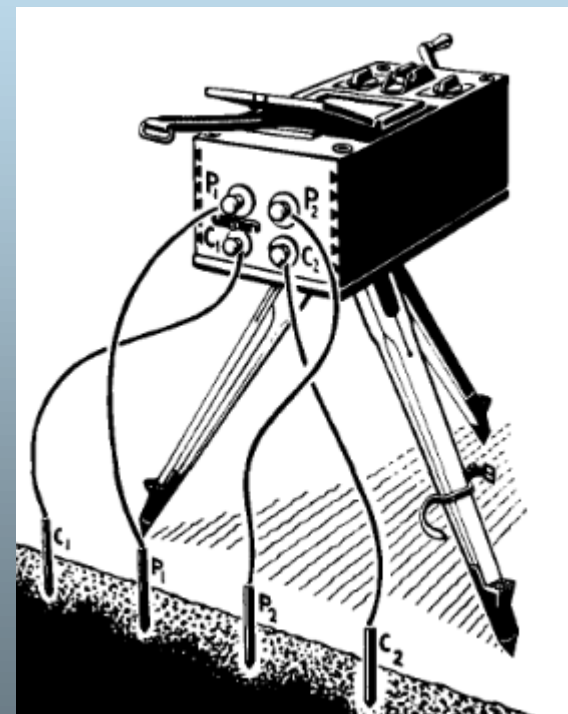
Dejiny geofyzikálneho bádania v archeológii

1946 - Richard Atkinson - prvé geofyzikálne meranie pre potreby archeológie -
geoelektrické odporové meranie na lokalite Dorchester-on-Thames (Anglicko).



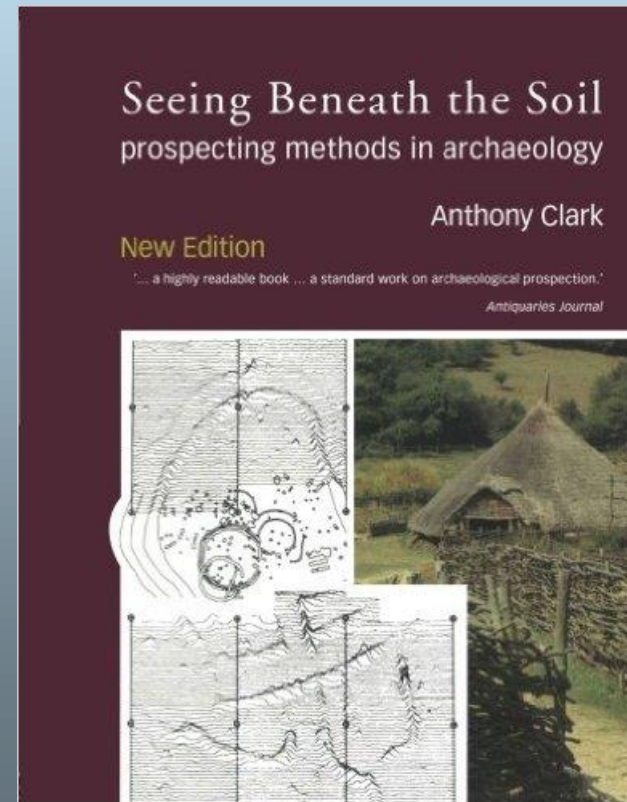
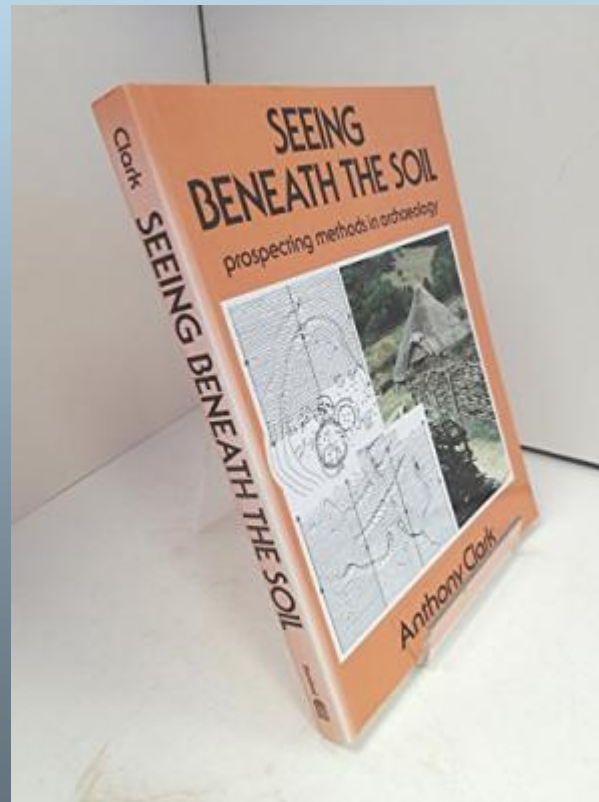
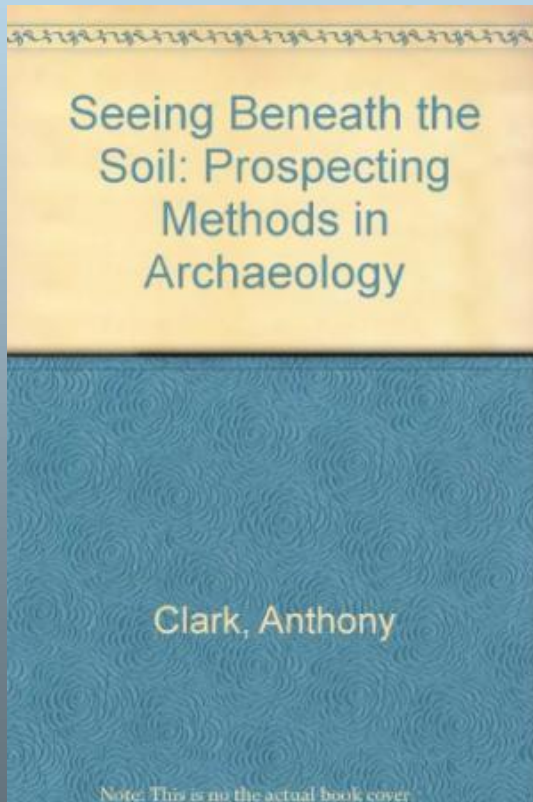
Dejiny geofyzikálneho bádania v archeológii

1956 - Anthony Clark - prvé využitie špeciálne pre prieskum v archeológii vyrobenej geoelektrickej aparatúry - lokalita Cunetio, Wiltshire (Anglicko).



Dejiny geofyzikálneho bádania v archeológii

1956 - Anthony Clark - prvé využitie špeciálne pre prieskum v archeológii vyrobenej geoelektrickej aparatúry - lokalita Curotio, Wiltshire (Anglicko).



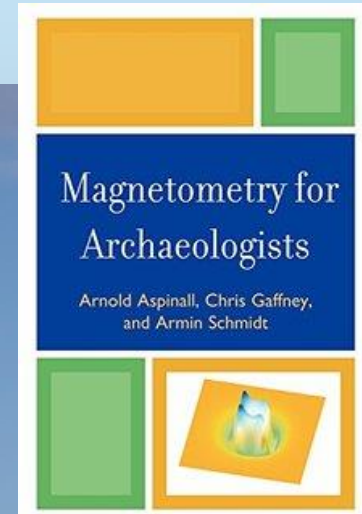
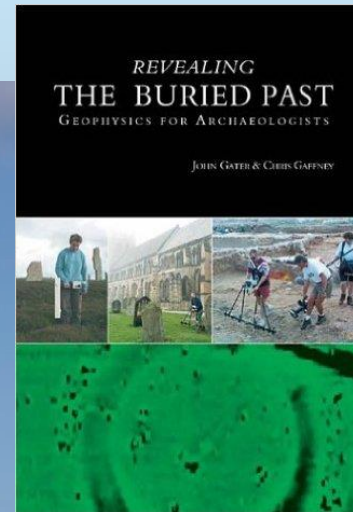
Dejiny geofyzikálneho bádania v archeológii

1958 - **Martin Aitken** - prvé magnetometrické meranie v archeológii – na lokalite Water Newton (Anglicko). Použitou aparatórou boli magnetometre, pracujúce na princípe precesie protónov.



Inštitúcie formujúce smerovanie geofyzikálneho bádania v archeológii (okolité krajiny)

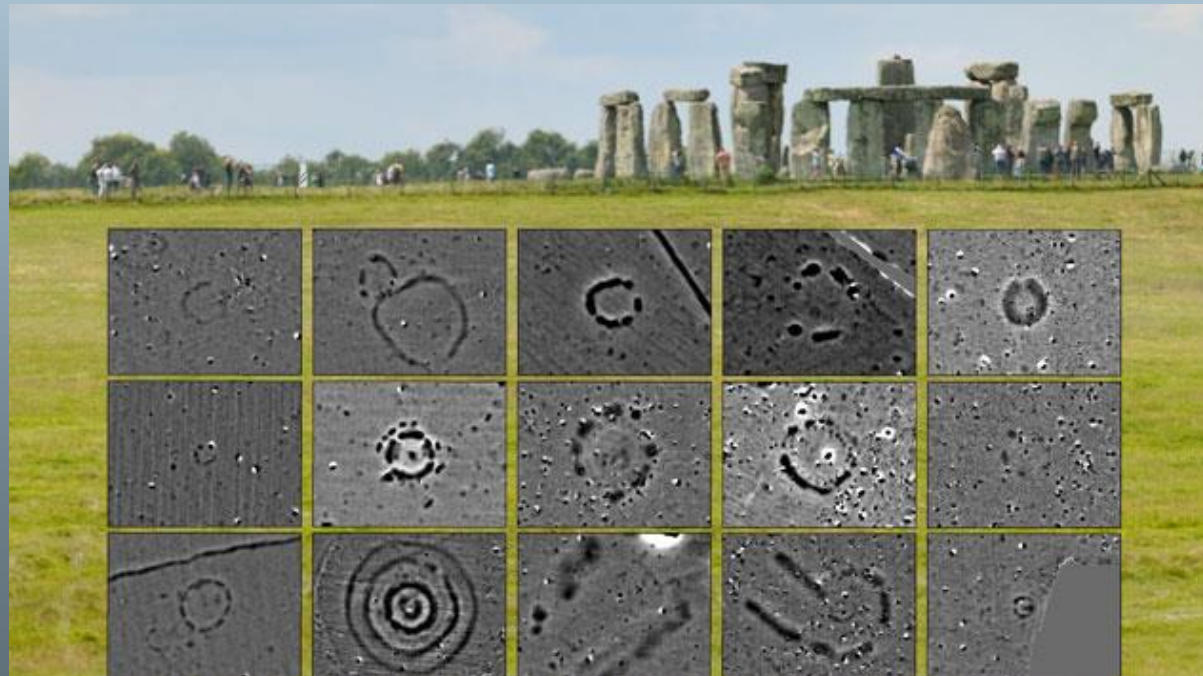
University of Bradford (**Christopher Gaffney**)



Inštitúcie formujúce smerovanie geofyzikálneho bádania v archeológii (okolité krajiny)



Universität Wien (**Wolfgang Neubauer**)



Inštitúcie formujúce smerovanie geofyzikálneho bádania v archeológii (okolité krajiny)

Universität Wien (**Wolfgang Neubauer**)



Inštitúcie formujúce smerovanie geofyzikálneho bádania v archeológii (okolité krajiny)

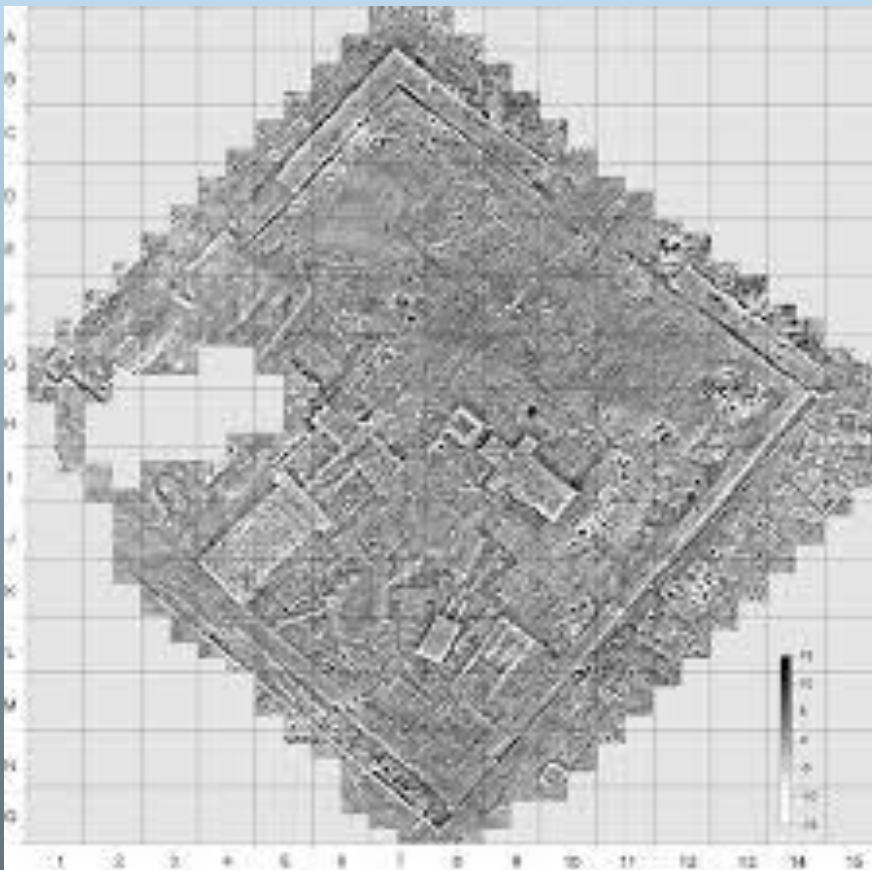


Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege in München
(**Helmut Becker, Jörg. Fassbinder**)



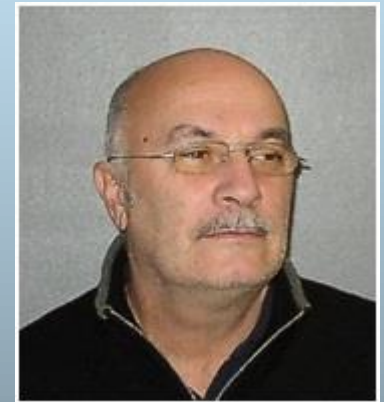
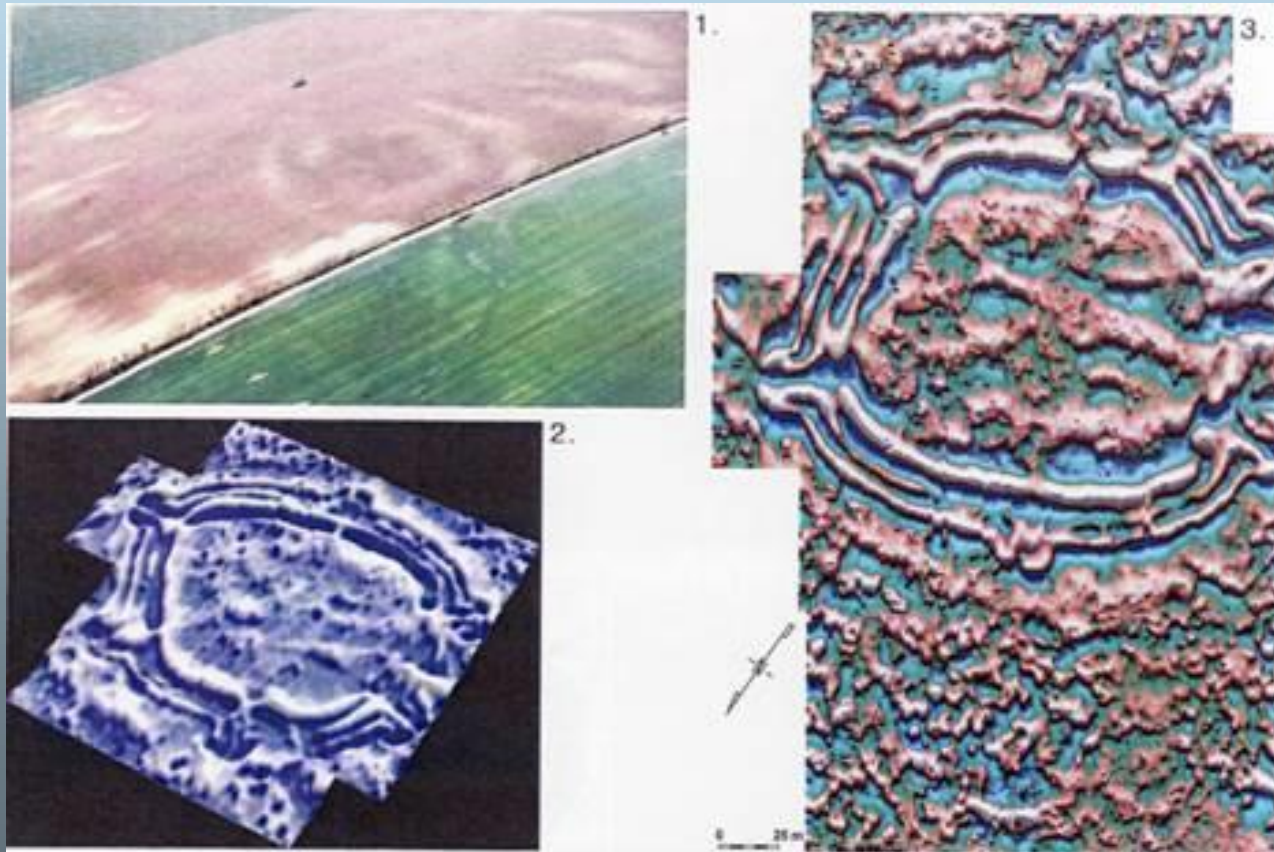
Inštitúcie formujúce smerovanie geofyzikálneho bádania v archeológii (okolité krajiny)

IPAN Warschau (**T. Herbich**)



Inštitúcie formujúce smerovanie geofyzikálneho bádania v archeológii (okolité krajiny)

Univerzita Konštantína Filozofa Nitra (**Ján Tirpák**)



Geofyzika v Čechách a na Morave

Stará Kouřim. V roku 1950 navštívil lokalitu prof. R. Běhounek z pražskej techniky a spolu so skupinou svojich študentov tu za využitia elektrických odporových metód zmerali ideálny rez priekopou stredného valu hradiska (výsledky publikoval Šolle 1978, 95).

60-e roky 20. storočia – počiatky systematického využívania geofyziky v archeológii.

70-e a 80-e roky 20. storočia - spolupráca medzi Katedrou užité geofyziky PŘF UK Praha, firmou Geofyzika Brno, Archeologickým ústavem ČSAV v Praze a Archeologickým ústavem ČSAV v Brně.

Geofyzika v Čechách a na Morave

Vladimír Hašek Geofyzika Brno,
Archeologický ústav Brno, Geodrill
- Egypt, rondely a hradiská na Morave



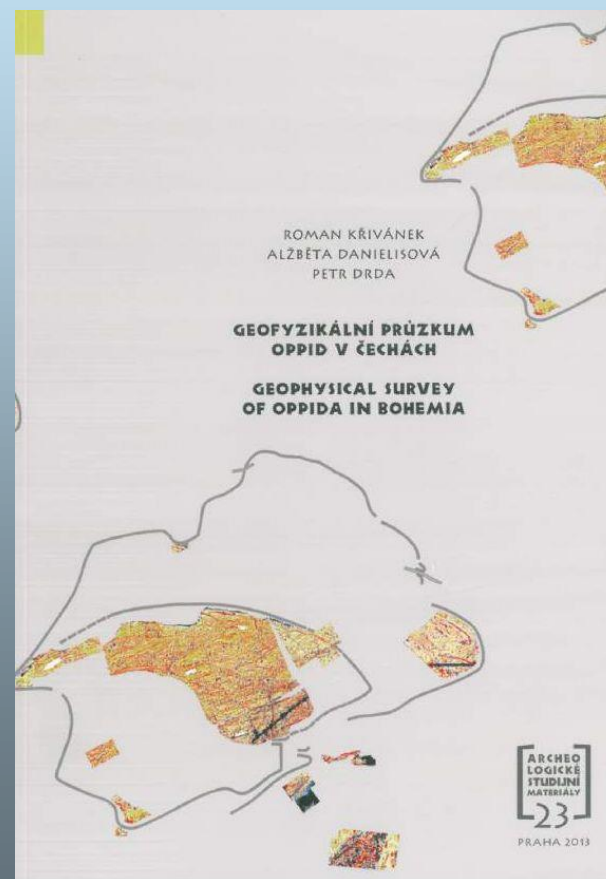
František Marek Ústav hydrogeologie,
inženýrské geologie a užití geofyziky,
Karlova univerzita Praha
*Magnetický, průzkum při hledání
základního kamene pražského ND*



Geofyzika v Čechách a na Morave

90-e roky 20. storočia - vytváranie Geofyzikálního pracoviště při Archeologickém ústavu v Praze

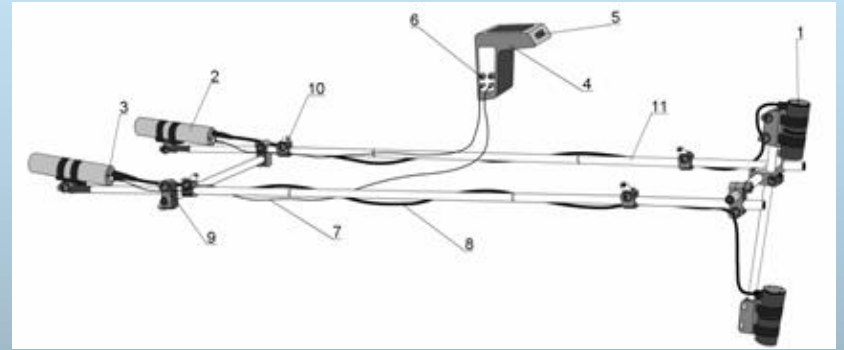
Roman Krivánek Archeologický ústav Praha



Geofyzika v Čechách a na Morave

2007 počátky archeogeofyziky na ÚAM MU Brno

Cs-magnetometer SM-5 Navmag (Scintrex, Kanada)



2010

Georadar Mala X3M (Mala, Švédsko) s 250 MHz, 500 MHz a 800 MHz tienenou anténou.



2010

Geoelektrická aparátúra na meranie elektrických odporov RM Terrameter SAS 1000, ABEM (Švédsko).



Terrameter SAS 1000 / 4000

2011

Fluxgate magnetometer Förster Ferex 4.032 DLG od spoločnosti Förster (Reutlingen, Nemecko). Prístroj je konfigurovaný ako gradiometer so štyrmi senzormi v horizontálnom rozostupe 0,5 m. Hustota meraných bodov je 0,25 x 0,5 m.



FOERSTER

2015

Fluxgate magnetometer LEA D2 od spoločnosti Eastern Atlas (Berlín, Nemecko)



MAGNETOMETRIE

Magnetometrie patří vzhledem k rychlosti, vysoké produktivitě a ekonomičnosti prací k nejčastěji používaným metodám při plošném i detailním nedestruktivním archeologickém průzkumu.

Podstatou metody je **sledování regionálních nebo lokálních poruch normálního geomagnetického pole (magnetických anomálií)**, způsobených různým zastoupením feromagnetických minerálů ve sledovaných objektech a strukturách.

Konfigurace anomálií je ovlivněna parametry nehomogenit: jejich tvarem, rozměry, polohou, hloubkou uložení, petrografickou povahou apod. (Mareš et al. 1990).



Počátky poznání geomagnetismu

Počátky znalostí o magnetismu a geomagnetickém poli sahají daleko před začátek našeho letopočtu.

- Řeční filosofové popisují zvláštní chování magnetitu kolem r. 800 př.n.l.
- Ve 3. st. př.n.l. byl v Číně sestrojen primitivní kompas. Tvořil ho lžícovitý objekt z magnetitu, který se volně otáčel na vyleštěné kamenné podložce.
- V 10. st. n.l. byl rovněž v Číně znám již zavěšený střelkový kompas, který se mohl otáčet kolem své osy a používal se k navigaci. V té době již také Číňané věděli, že kompas neukazuje přímo ke geografickému severu, který byl dán směrem ke vzdáleným hvězdám. Této odchylce říkáme deklinace.
- Od 14. st.n.l. jsou lodě britského námořnictva standardně vybaveny námořním kompasem, který se stal nepostradatelným nástrojem navigace.
- Od 16. st.n.l. jsou v Londýně systematicky zaznamenávány změny magnetické deklinace.

Magnetometrické metody

Magnetika je jedna z nejstarších geofyzikálních disciplín

Sir William Gilbert (1540-1603) „vysvětlil, ako sa magnety priťahujú a odpudzujú. Poukázal aj na to, že Zem je ako obrovský tyčový magnet, a preto strelka kompasu vždy smeruje na sever.

V roce 1600 publikoval Gilbert své stěžejní dílo *De Magnete - Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure, Physiologia Nova* (O magnetu, magnetických tělesech a velkém magnetu Zemi). Gilbert zjistil, že lze třením zelektrizovat např. jantar, diamant, safír, křemen a síru.

Gilbert zavedl termín *elektřina*. Slovo elektřina pochází z řeckého slova elektron (ηλεκτρον) = jantar.



GEOMAGNETICKÉ POLE

Země má vlastní magnetické pole, jehož hlavní část vzniká ve vnějším tekutém jádře. Působení geomagnetického pole jsou vystaveny všechny horniny, geologické i negeologické objekty, které se v tomto poli nacházejí.

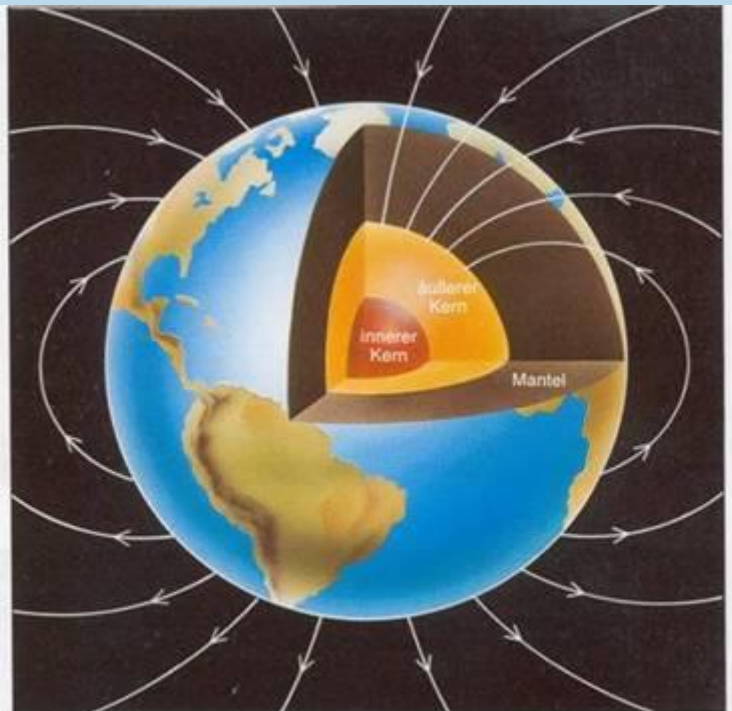


Bild 2: Das Magnetfeld außerhalb des Erdkerns läßt sich durch magnetische Kraftfeldlinien darstellen (links). Die Tangente an eine Feldlinie

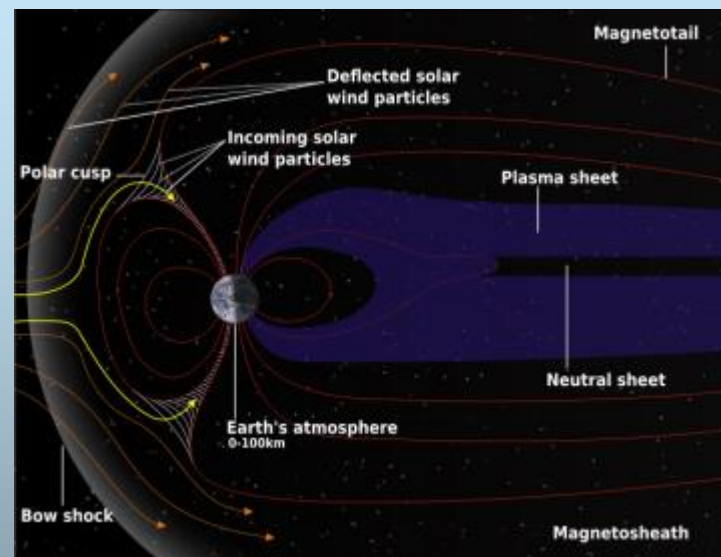
zeigt in die Richtung der vom Magnetfeld ausgeübten Kraft. Die Dichte der Kraftfeldlinien ist ein Maß für die Feldstärke. In der Forschungs-

Geomagnetické pole není stálé, s časem se mění a v geologické časové škále se mění podstatně. Studium změn geomagnetického pole v geologické minulosti Země se zabývá **paleomagnetismus**. Podoborem paleomagnetismu je archeomagnetismus, který studuje změny GMP po dobu trvání lidské civilizace.

Výsledky paleomagnetických výzkumů slouží k datování hornin, k určení konfigurace pevnin a oceánů v geologické minulosti Země a ke studiu dynamiky geologických procesů.

Magnetické pole Zeme je priestor okolo Zeme v ktorom pôsobí magnetická sila. Siahla do vzdialenosti mnoho tisíc až stotisíc kilometrov. Je dôležitým ochranným faktorom pre biosféru

Magnetosféra Zeme nedovoľuje elektricky nabitým časticiam slnečného vetra dostať sa k povrchu. Nabité častice musia pri svojom pohybe sledovať siločiaru magnetického poľa. Plní teda **ochrannú funkciu**, bez ktorej by život na Zemi nebol možný

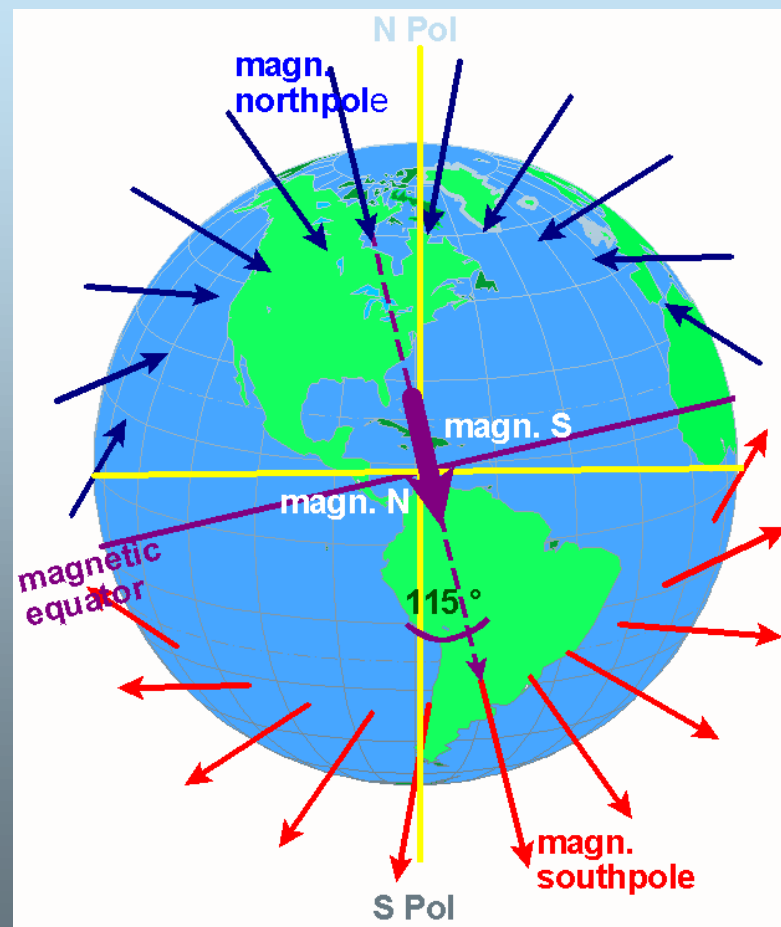


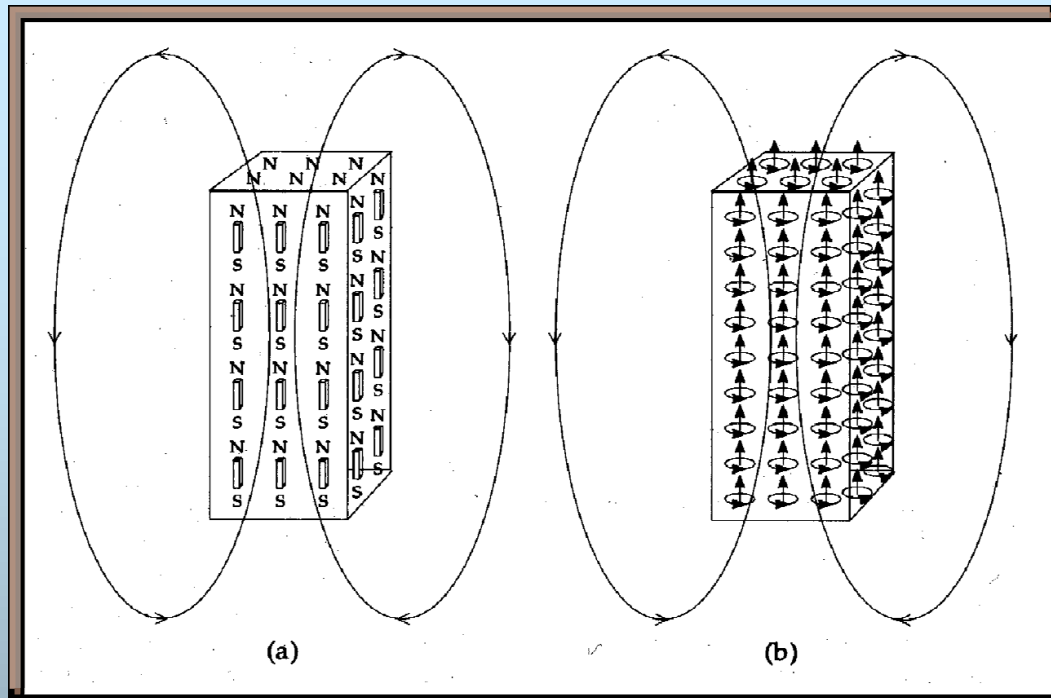
Zem je jednou z dvoch pevných planét, ktoré majú vlastný magnetizmus. Tou druhou je Merkúr, oproti ktorému je ale magnetické pole Zeme oveľa silnejšie. Všetky plynné planéty majú tiež vlastné magnetické polia, ostatné menšie telesá slnečnej sústavy majú len indukovaný magnetizmus, ktorý vzniká pôsobením zmagnetizovaného slnečného vetra.

Magnetické pole Zeme má **dipólový charakter**, to znamená, že rozloženie jeho siločiar je podobné siločiarom v okolí tyčového magnetu. Jeho os neprechádza stredom Zeme, ale asi 520 km od neho. Vytvára sa trením pri rotácii vonkajšieho, zrejme tekutého Zemského jadra o pevné vnútorné jadro. Tento proces funguje ako obrovské hydrodynamické dynamo.

- Historická formulace zákonů magnetismu vycházela z chování tyčového permanentního magnetu a analogie s elektrostatickým polem. Byla tak stanovena fiktivní centra magnetické síly - magnetické póly, které se (na rozdíl od elektrostatického náboje) vyskytují vždy v páru (severní a jižní pól nejdou od sebe oddělit) a tvoří tzv. magnetický dipól.

- Siločáry magnetického pole v tomto pojetí vychází ze severního magnetického pólu tyčového magnetu a vstupují do opačného, jižního pólu magnetu.





Severní a jižní pól magnetu nelze od sebe oddělit. Jestliže tyčový magnet rozdělíme, vzniknou další dva magnety se severním a jižním pólem, atd. Souhlasné póly magnetů se odpuzují, opačné přitahují. Obrázek je převzat z publikace Lowrie (1997).

Fyzikální veličiny používané při popisu magnetického pole

V závislosti na magnetických vlastnostech, některé horniny a objekty primární geomagnetické pole zesilují, jiné zeslabují a způsobují tak místní odchylky od normálního průběhu pole –magnetické anomálie.

Přesným měřením geomagnetického pole a jeho interpretací se dá zjistit tvar, hloubka a rozměry objektů, které anomálie v geomagnetickém poli způsobují.

Jednotkou magnetického pole v soustavě CGS je **Gauss (G)** v soustavě SI **Tesla (T)**. Při geofyzikálních měřeních se v obou soustavách používají menší jednotky. V CGS jednotka **gamma** = 10^{-5} G, v soustavě SI **nanoTesla (nT)** = 10^{-9} T. Platí: 1 gamma = 1 nT.

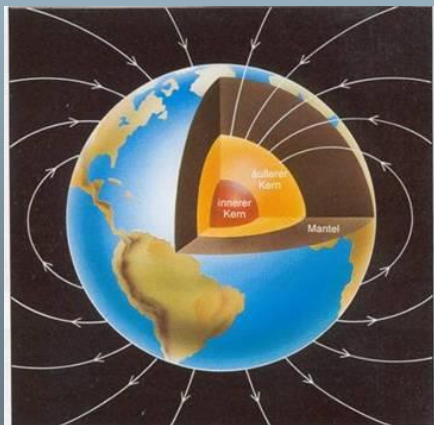


Bild 2: Das Magnetfeld außerhalb des Erdkerns läßt sich durch magnetische Kraftfeldlinien darstellen (links). Die Tangente an eine Feldlinie zeigt in die Richtung der vom Magnetfeld ausgeübten Kraft. Die Dichte der Kraftfeldlinien ist ein Maß für die Feldstärke. In der Forschungs-

jednotka T (=Tesla)

v geofyzike:

nT = nanoTesla

= 0.000 000 001 T

stredná hodnota ~ 50 000 nT

porovnanie:

bazalt ~ 1000 nT

elektrické vedenie ~ 100 nT

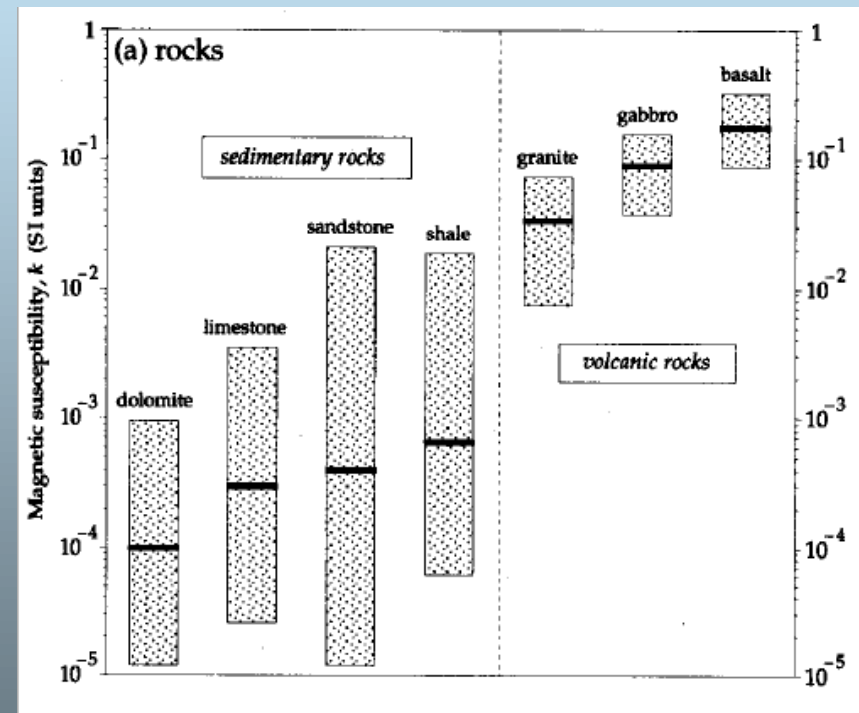
archeológia < 10 nT

Fyzikální veličiny používané při popisu magnetického pole

• **κ –magnetická susceptibilita**, číslo, v SI bezrozměrná veličina. Charakterizuje schopnost látek (např. hornin) magnetizovat se ve vnějším magnetické poli o intenzitě H .

Hodnoty susceptibilit některých běžných typů **hornin**. Široký rozsah susceptibilit je dán proměnlivým obsahem magnetických minerálů ve stejném horninovém typu.

Na celkovou magnetizaci horniny mají největší vliv tmavé feromagnetické minerály, jejichž zastoupení v horninách je jednak malé a jednak proměnlivé. To se projevuje v široké škále susceptibilit, které můžeme zaznamenat u jednoho horninového typu.



Susceptibility hornin a minerálů



Magnetite, Chemical Formula: Fe_3O_4 ,
Iron Oxide
Class: Oxides and Hydroxides

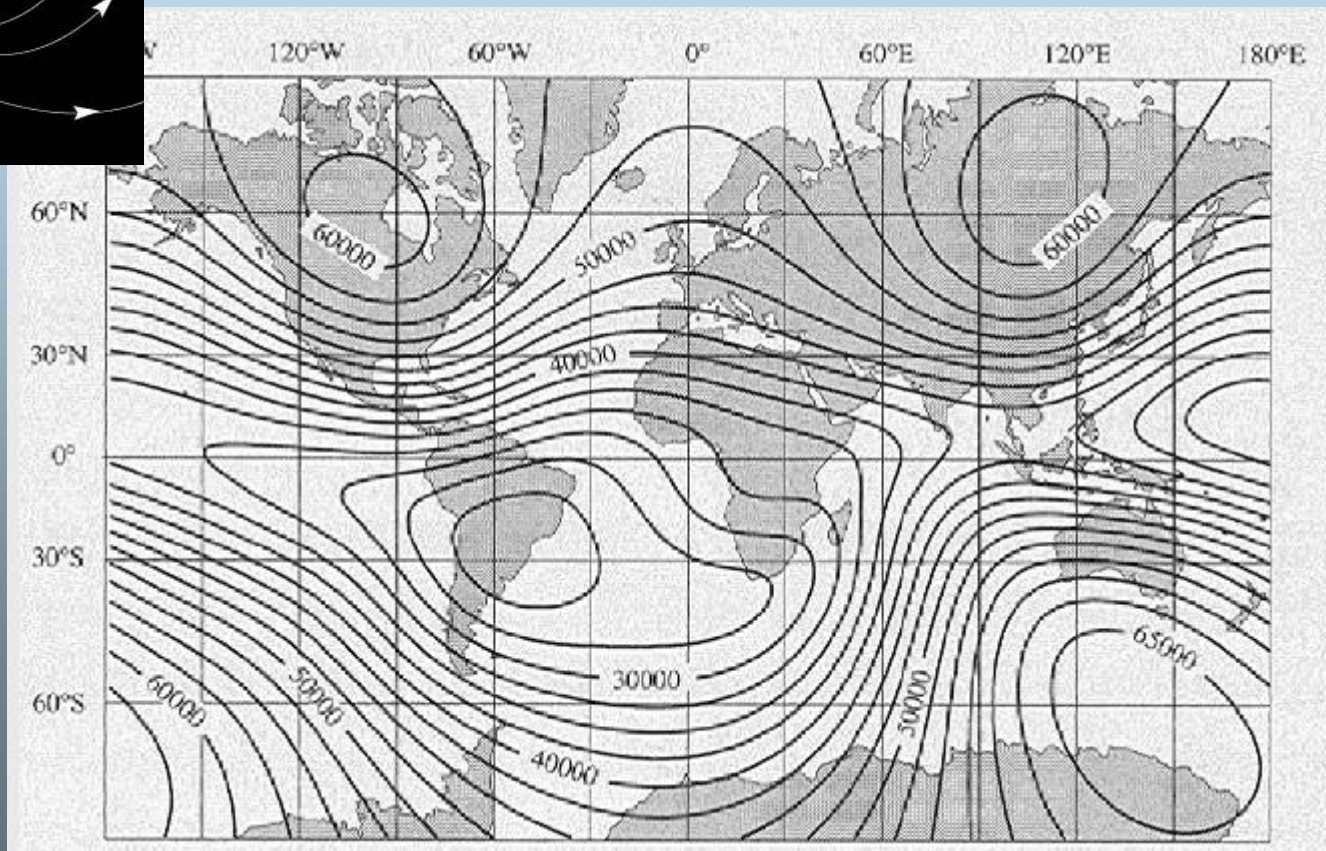
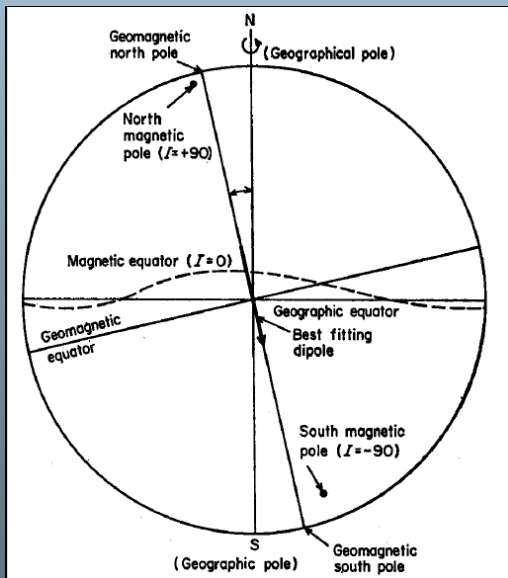
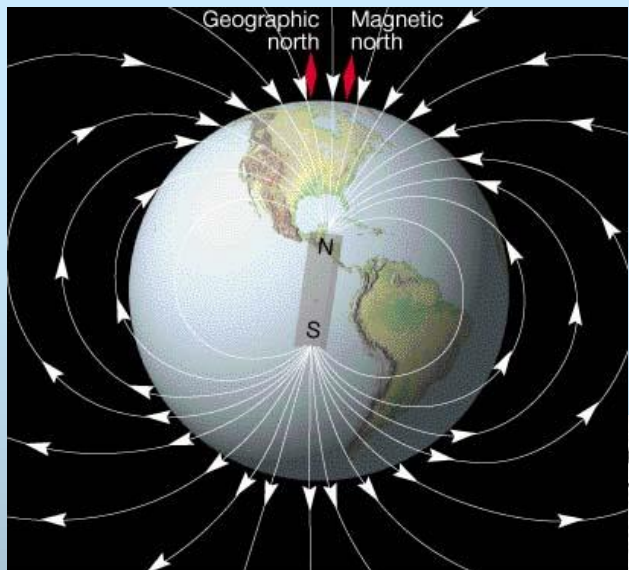


Iron –Nickel, Chemistry:
Fe-Ni, Elemental Iron-nickel
Class: Elements

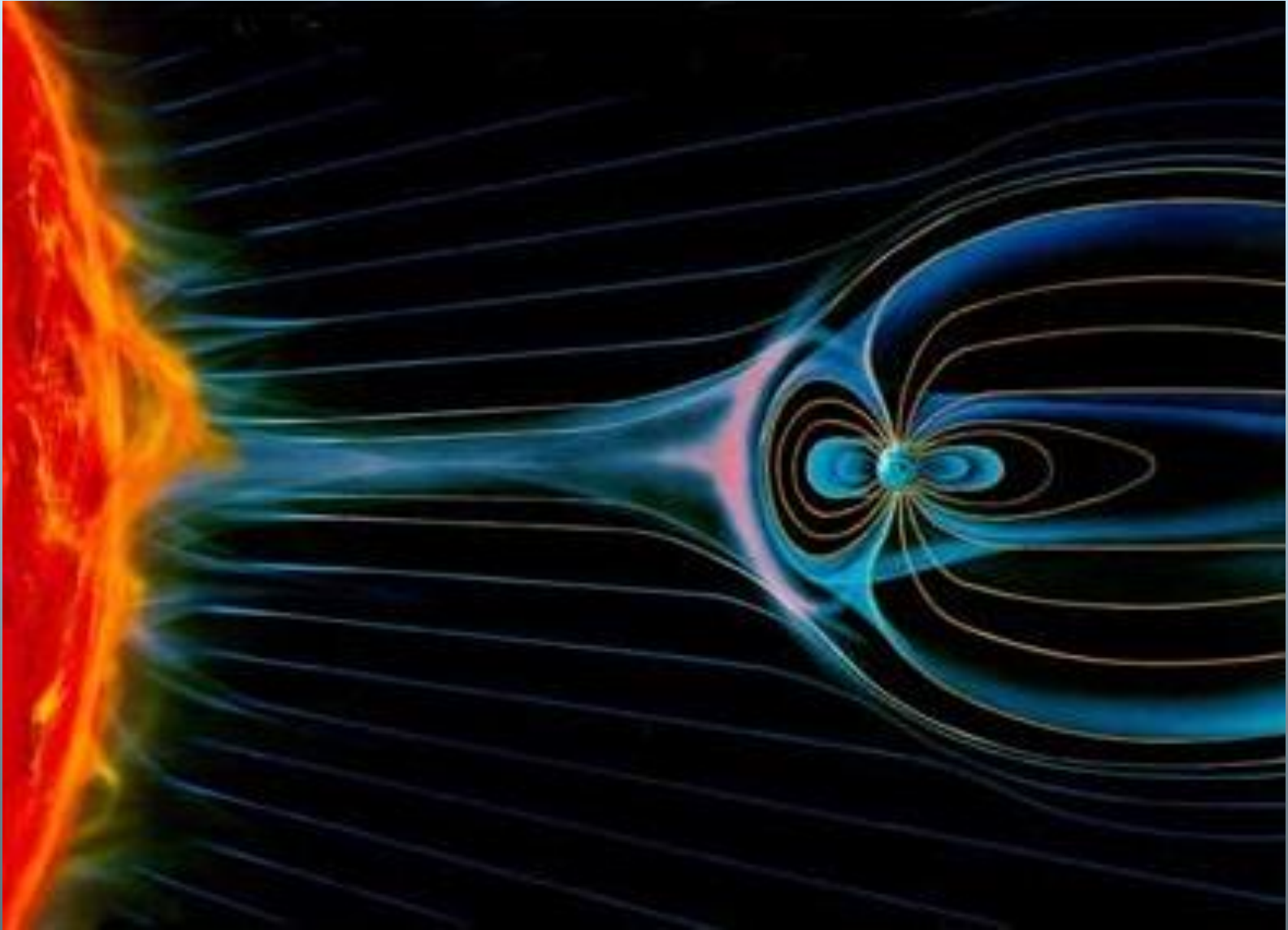


Ilmenite, Chemical Formula: FeTiO_3 ,
Iron Titanium Oxide
Class: Oxides and Hydroxides

Hodnoty magnetického pola



Časové variácie magnetického pola



Časové variace magnetického pola

Časové změny GMP pole můžeme dělit podle délky trvání a také podle toho, zda jsou způsobeny vnitřním či vnějším zdrojem GMP.

Obecně platí, že časové změny GMP, které jsou pozorovány v řádech desítek až miliónů let mají **zdroj uvnitř Země**, kratší variace, které pozorujeme v časovém měřítku dnů až roků, jsou způsobeny **zdroji mimo pevnou část Země**.

Z hlediska délky trvání můžeme časové změny GMP rozdělit do tří základních skupiny:

Krátkodobé variace – vnější zdroj, časová škála pozorování dny až roky.

Sekulární (dlouhodobé) variace – vnitřní zdroj, časová škála pozorování desítky až stovky let.

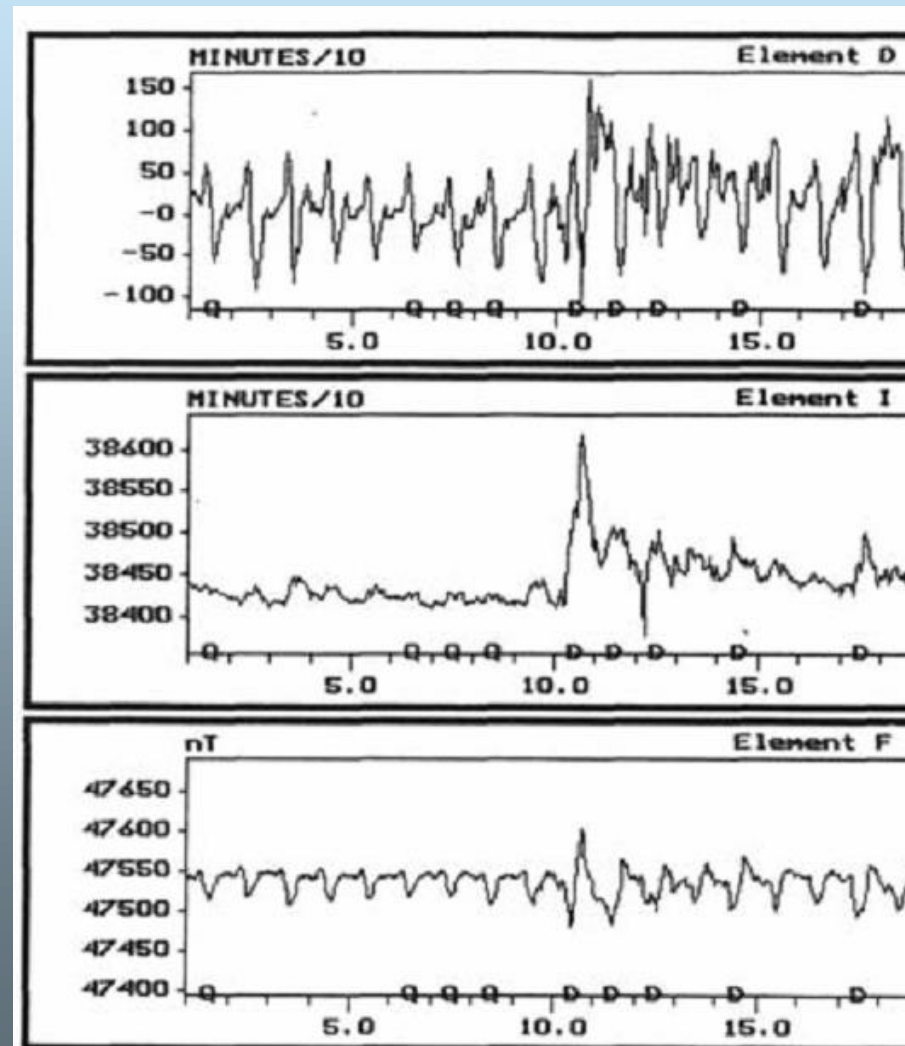
Inverze GMP – vnitřní zdroj, časová škála inverzí je desítky tisíc až milióny let.

Krátkodobé variace Geomagnetického pole

Z hlediska magnetického průzkumu mají z krátkodobých variací největší význam variace denní a magnetické bouře, neboť působí jako rušivý element při magnetických měřeních.

Denní variace musíme registrovat a měření o průběh časových změn opravit. Během magnetických bouří je nutné magnetický průzkum přerušit.

Denní variace GMP se běžně pohybují v rozsahu 10 –30 nT, při magnetických bouřích dosahují rychlé změny GMP amplitud často vyšších než 1000 nT.



Gradient v magnetickej prospekcii

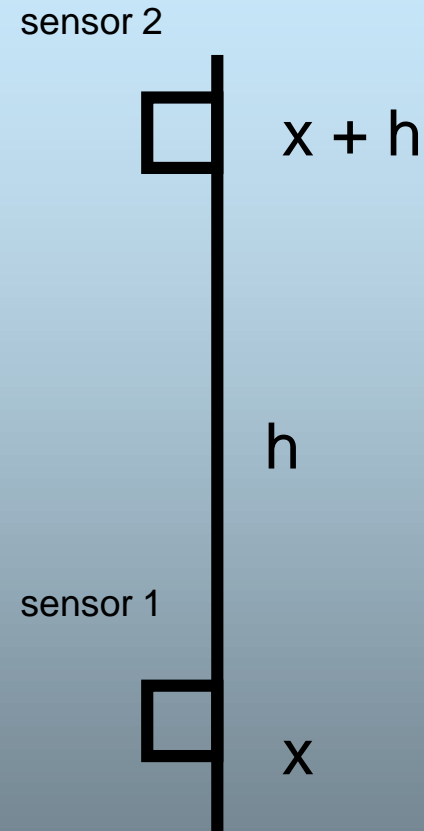
Gradient arrangements

Gradient arrangements in magnetic minimize the effect of daily drift.

Such an arrangement consists of 2 magnetic sensors which are mounted in two vertical positions: one directly above the ground the other in a specific height (e.g. 40, 60, 80 cm or similar).

This is not the true vertical gradient of the field but the approximation of a difference (difference gradient).

The differential gradient approximates the difference gradient if $\Delta h < 1/5 x$ distance of anomaly.



Sekulární variace geomagnetického pole

Pomalé změny GMP, které jsou patrné teprve z pozorování dlouhých desítky až stovky let, nazýváme sekulární (dlouhodobé) variace.

Zdrojem sekulárních variací jsou procesy ve vnějším tekutém jádře.

Inverze geomagnetického pole

V geologické časové škále mění GMP svou polaritu.

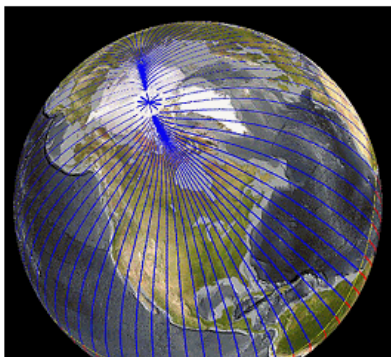
Časový interval, kdy severní magnetický pól je v blízkosti severního geografického pólu (nyní), nazýváme **obdobím normální polarity**. Období, kdy severní magnetický pól je v blízkosti jižního geografického pólu, nazýváme **obdobím inverzní polarity**.

Na možnost inverzí geomagnetického pole poprvé upozornili francouzští vědci P.Davis a J. Brunhes, kteří v letech 1904-6 zkoumali magnetizaci mladých lávových proudů v oblasti Massif Central ve Francii.

Hrozí lidstvu přepólování Země?

pondělí 28. prosinec 2009 20:11

Vědci nedávno potvrdili, že se severní geomagnetický pól **stěhuje** rychlostí 64 km/rok směrem k ruské pevnině. Tedy - ono by na tom zjištění nebylo zase tolik divného, jelikož geomagnetický pól se pohybuje od té doby, co jej James Ross na severním pobřeží Kanady poprvé lokalizoval (magnetická strelka zde míří přímo do středu Země). Ale od roku 1831 se rychlost jeho putování nejméně 3x zvýšila a průměrná intenzita magnetického pole Země současně poklesla o 10%.



Milan Petřík

Aktuality a postřehy ze světa vědy

Astronomie, fyzika



REPUTACE AUTORA:

0,00

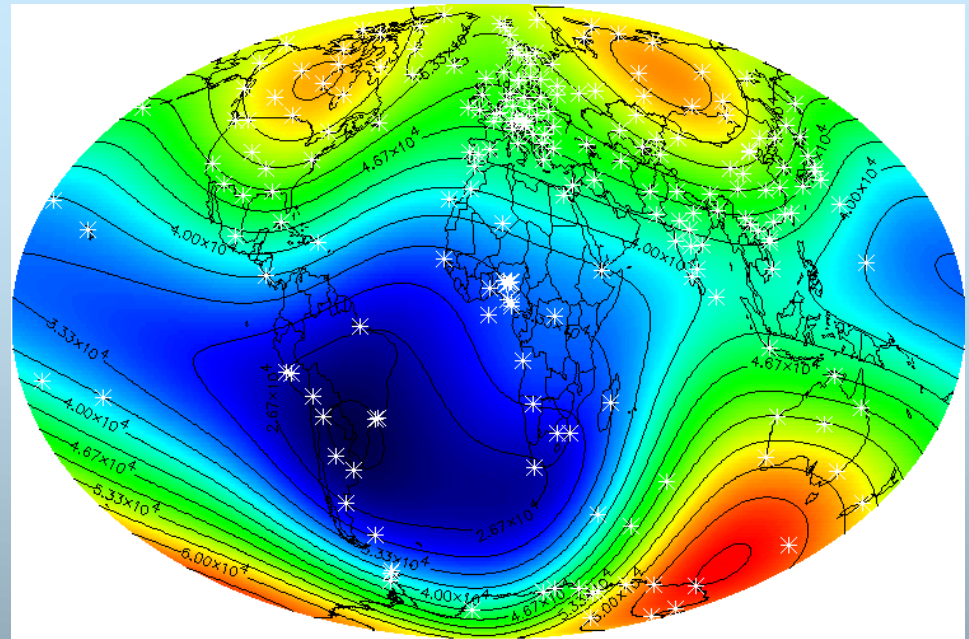
- Seznam rubrik
- Kalendář
- RSS
- Astronomie
- Éterová teorie
- Biologie
- Fyzika
- Chemie
- Společenské vědy, psychologie
- Matematika
- Technologie
- Osobní

Tipy autora

Časové variácie magnetického pola

Geomagnetické pole je **silne premenlivé**, nielen vo svojej sile aj v polarite, ktorá sa minulosti zeme už často menila.

Podľa výskumu paleomagnetizmu hornín sa predpokladá existencia magnetického pola zeme už pred 3,9 miliardami rokov – hadaikum



Severní geomagnetický pól se přesouvá rychlostí 64 km/rok směrem k ruské pevnině.

Od roku 1831 se rychlost jeho putování nejméně 3x zvýšila a průměrná intenzita magnetického pole Země současně poklesla o 10%



Paleomagnetismus:

souhrn účinků zemského magnetického pole v geologické minulosti.

V geologické minulosti často docházelo k inverzím geomagnetického pole, tj. k obrácení polarity (magnetický sever byl při geografickém jihu). Dokazuje to studium některých hornin, jejichž Fe-minerály představují trvalý záznam pozice magnetického pole v době vzniku těchto minerálů. Jsou to především lávy obsahující magnetit (jehož krystaly se orientovaly podle magnetického pole) a červené pískovce a břidlice (jejichž hematitový pigment též nabyt při rekrystalizaci příslušnou orientaci).

Tato přirozená remanentní magnetizace dovoluje určit pozici magnetických pólů v geologické minulosti od dneška až do doby křídové.

Tyto poznatky slouží při korelaci geologických jednotek (dokonce až v mezikontinentálním měřítku) a byly podporou pro teorii rozpínání oceánického dna i pro vysvětlení vzniku a pohybu pevnin

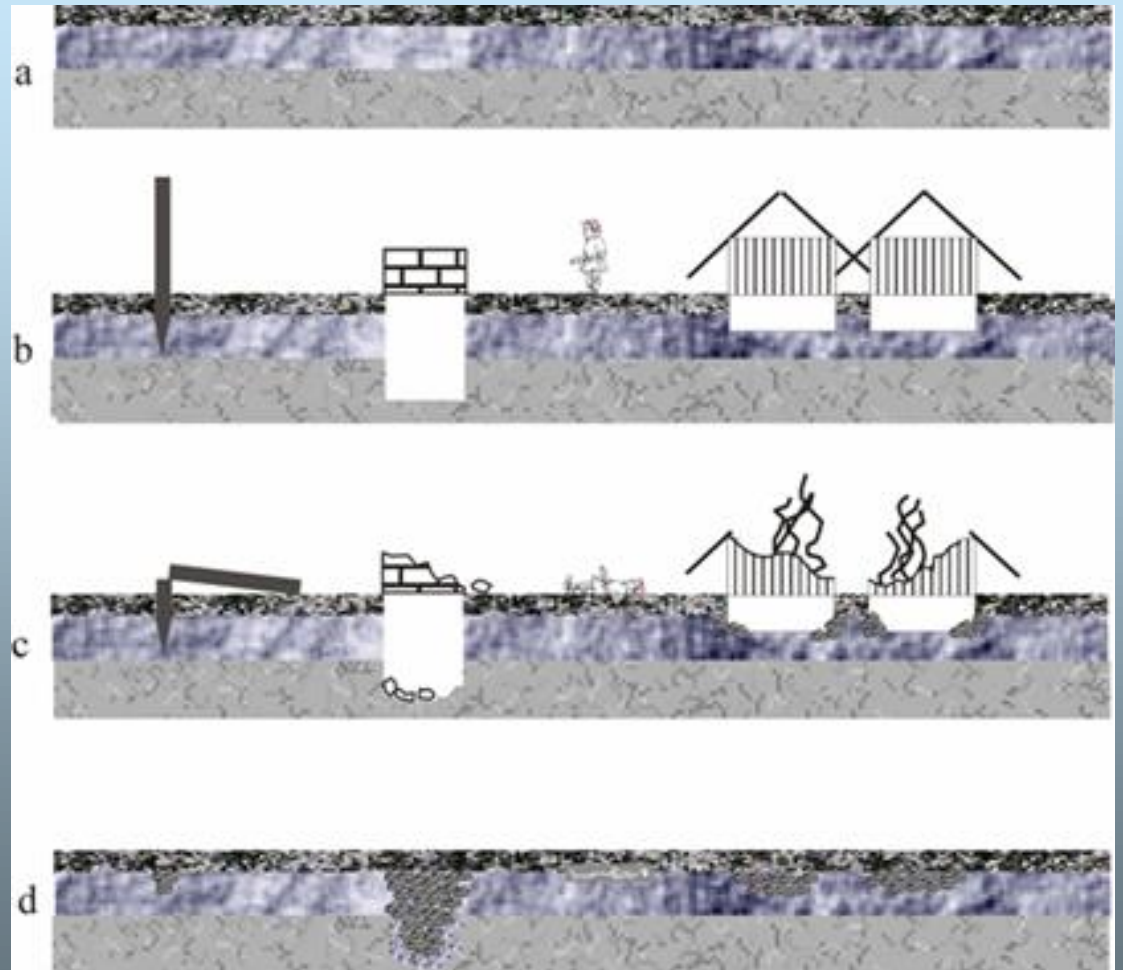
Zdroje anomálií při archeomagnetickém měření

- ohniště, pece, propálené hlíny, požárové vrstvy, střepniska (Struktury, jejichž magnetizace se vytvořila působením geomagnetického pole v podmínkách značných teplotních změn. Jedná se o termoremanentní magnetizaci, vzniklou při silném zahřátí hlín a jílu)

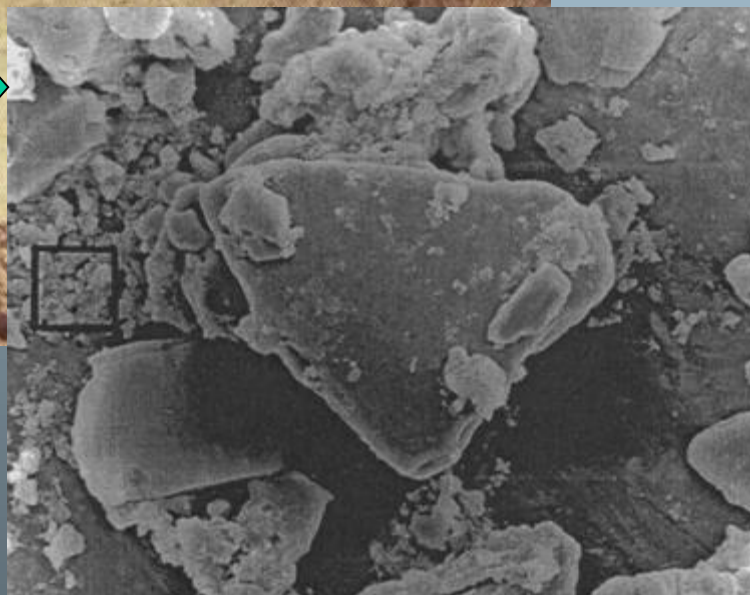
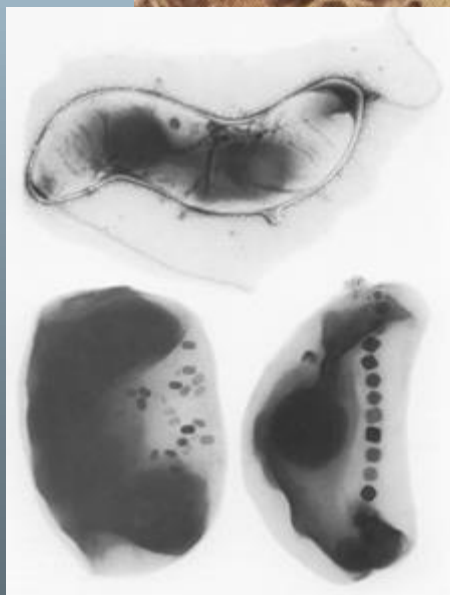
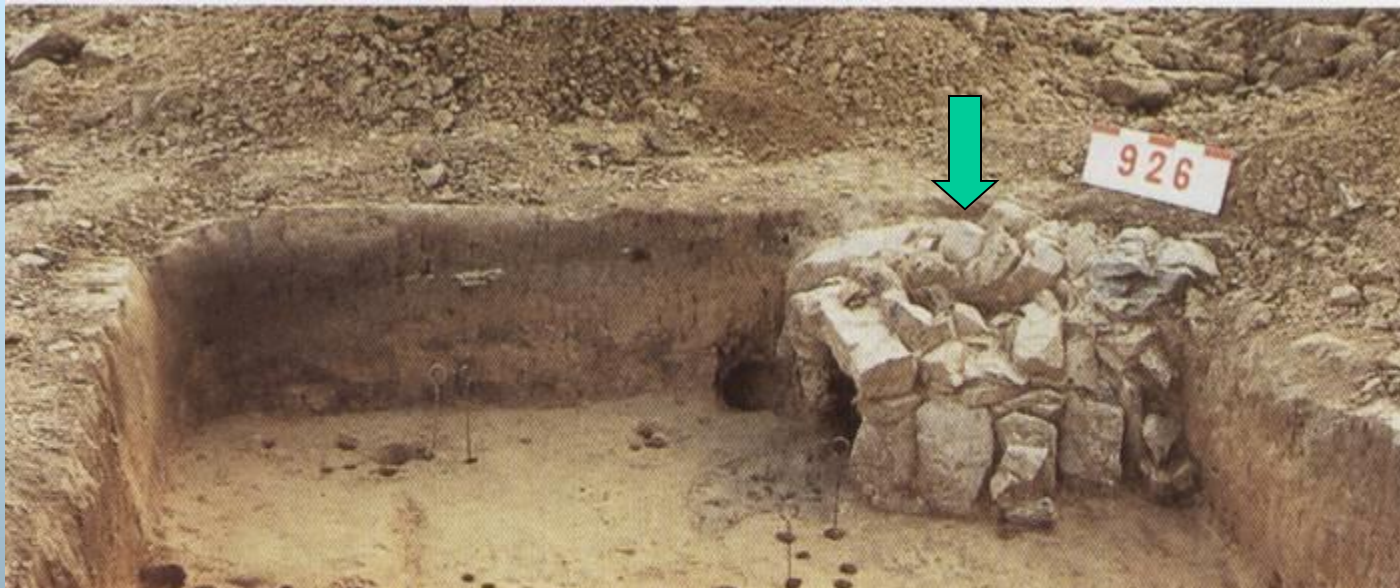
-Fe-předměty

- zahloubeniny, sekundárně vyplněné tmavšími hlínami s organickými zbytky, magnetickými předměty aj. (příkopy, sídelní a sídlištní objekty, hrobové jámy, hliníky atd.)

- kamenné prvky zdí z magneticky aktivních hornin (granodiorit, diorit, gabra, nepálené cihly aj.)



Zdroje anomálií pri archeomagnetickom meraní



V našich geografických podmínkách je magnetické měření vhodné při výzkumu následujících typů objektů:

neopevněná i opevněná sídliště, hradiště, tvrziště, města apod.

vyhledávání a rozlišení zahloubených objektů různých rozměrů; vysledování a podrobný průzkum liniových zahloubených objektů (příkopů, ohrazení, celých systémů opevnění vč. přerušení a bran)
prokázání a rozlišení objektů s teplotně namáhanými (vypálenými) materiály

pohřebiště

vyhledávání a rozlišení zahloubených hrobových jam; vysledování, prokázání a podrobný průzkum zahloubených obvodových příkopů nebo žlábků kolem zahloubených hrobových komor a mohyl
prokázání, vyhledávání a rozlišení žárových objektů (jámy + vypálený materiál)
identifikace a rozlišení magnetických materiálů z výbavy i konstrukce hrobů

výroba železa, sklárny, těžba surovin apod.

prokázání a rozlišení objektů s výrazně teplotně namáhanými (vypálenými) materiály
vyhledávání, přesné rozlišení a vymezení rozsahu, počtu, rozměrů i orientace výrobních objektů na výrobu železa, skla, keramiky, atd. (pece). Vyhledávání, přesné rozlišení a vymezení rozsahu a počtu dalších objektů spojených s výrobou (odpadní haldy).
identifikace kovových předmětů
identifikace novodobých navážek a terénních úprav v místech vytěžených lomů

rondely, vojenská ležení, komunikace, jeskyně, depoty

plošný i podrobný průzkum zahloubených příkopů, ohrazení, včetně přerušení (vstupů)
průzkum sakrálních staveb, pravoúhlých struktur a dalších prvků architektury s cihlovou konstrukcí (kláštery, hrady, zámky)

(Neubauer, 1996)

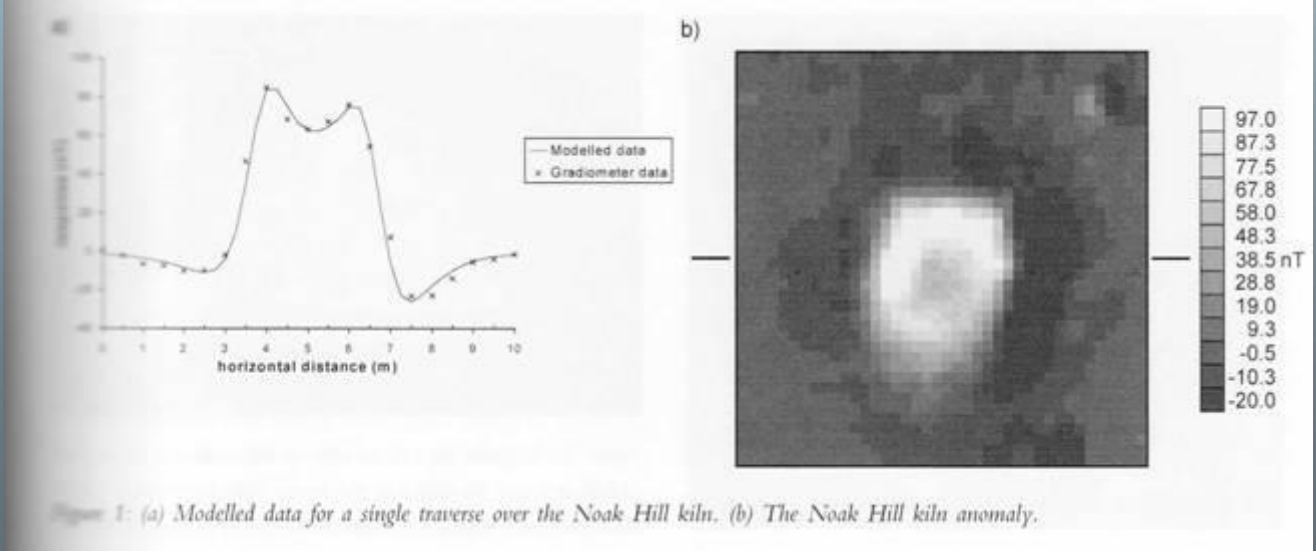
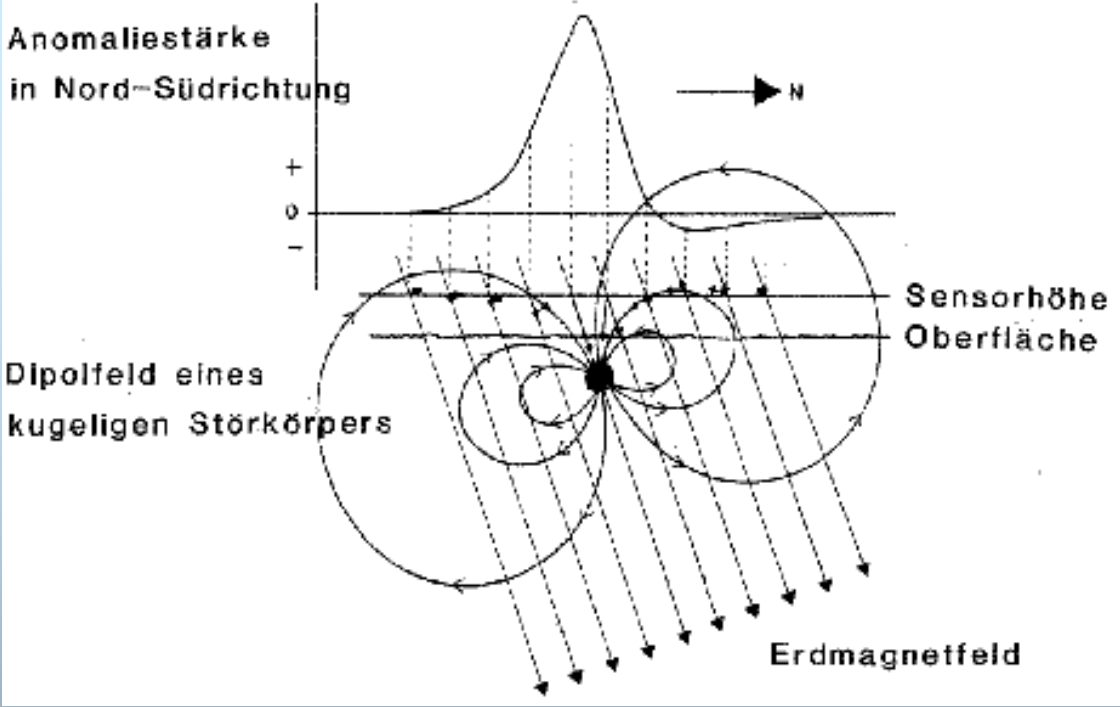
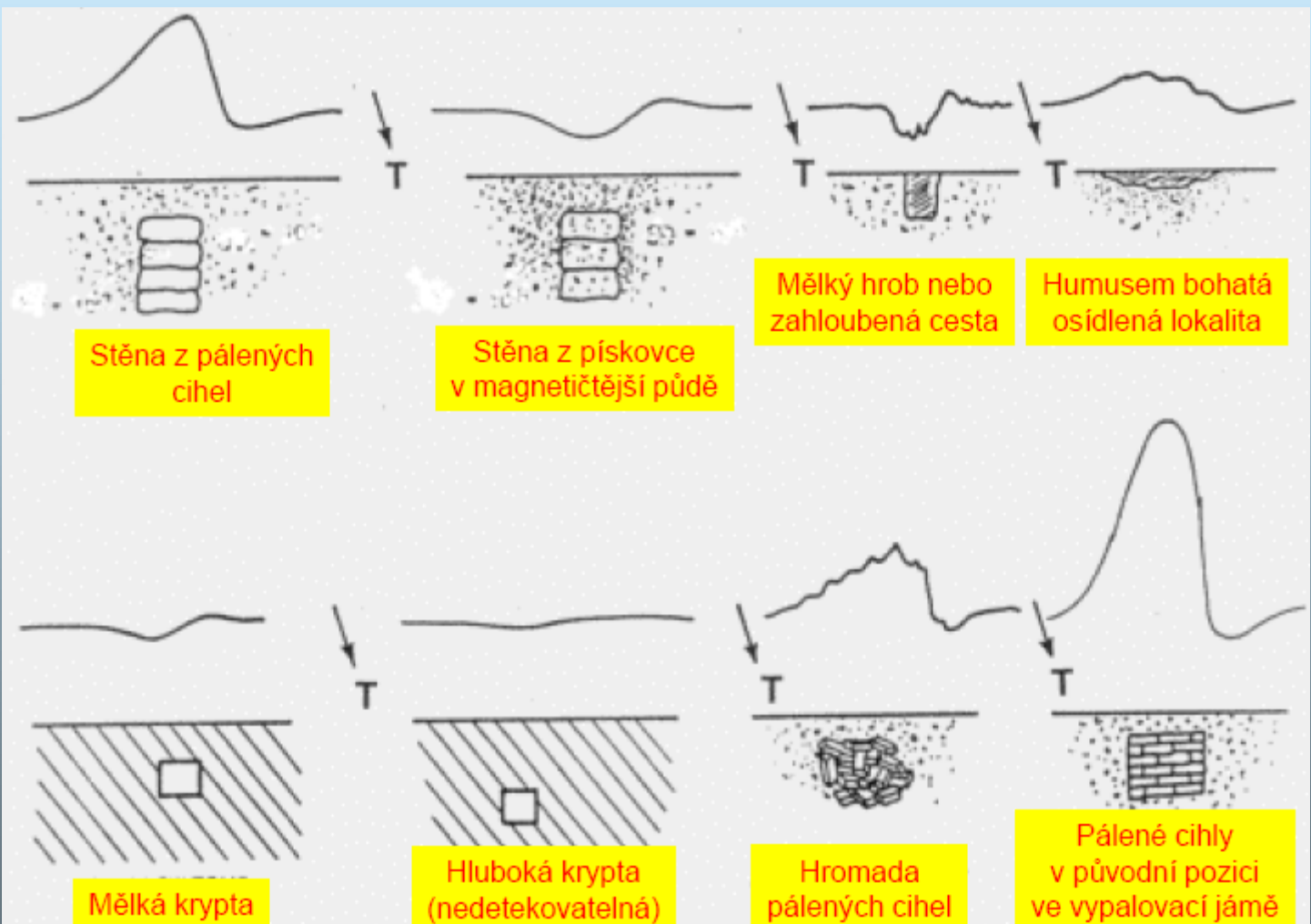


Figure 1: (a) Modelled data for a single traverse over the Noak Hill kiln. (b) The Noak Hill kiln anomaly.



Stěna z pálených cihel

Stěna z pískovce v magnetičtější půdě

Mělký hrob nebo zahloubená cesta

Humusem bohatá osídlená lokalita

Mělká krypta

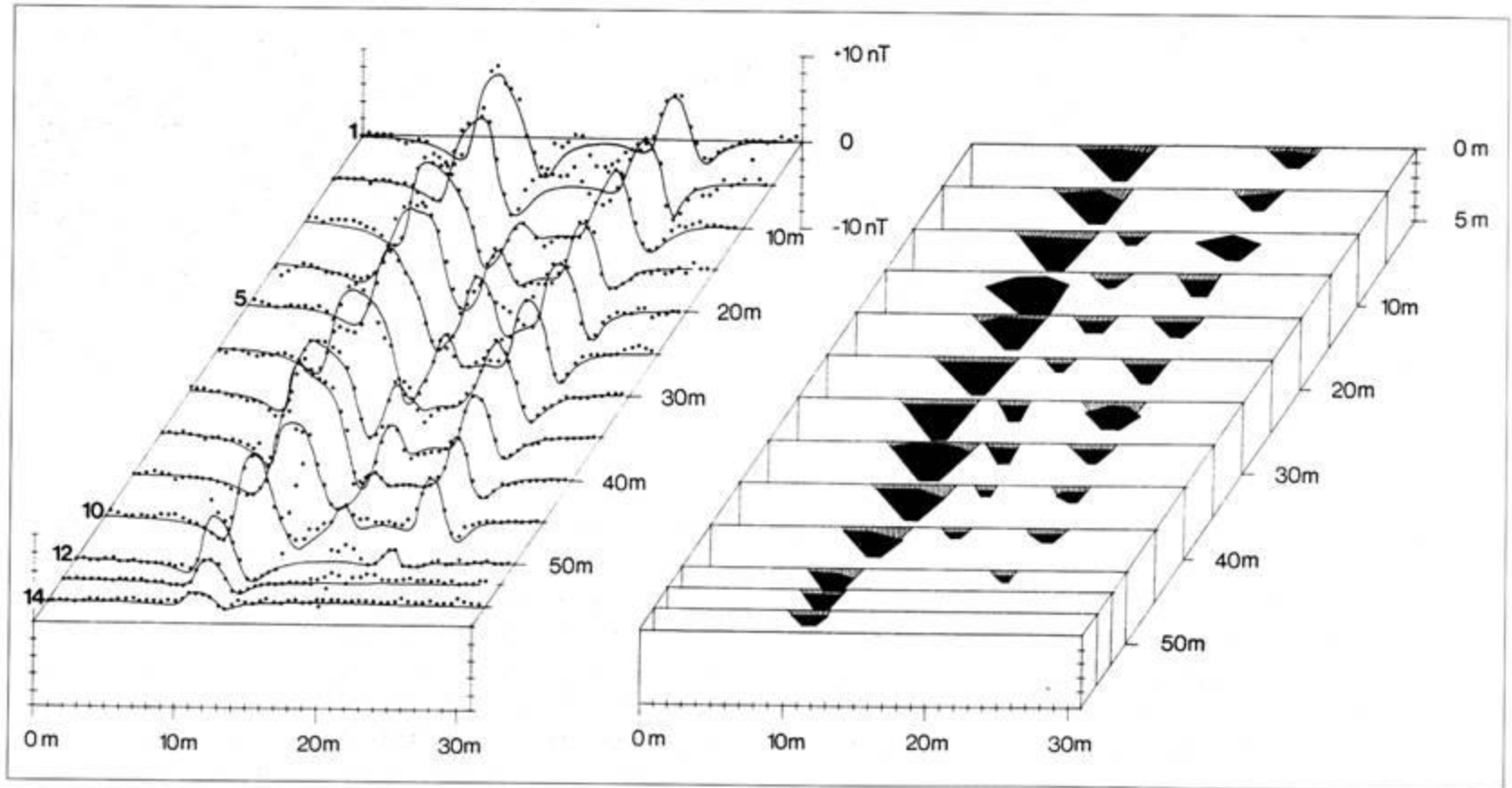
Hluboká krypta (nedetekovatelná)

Hromada pálených cihel

Pálené cihly v původní pozici ve vypalovací jámě

Magnetické pole priekopy

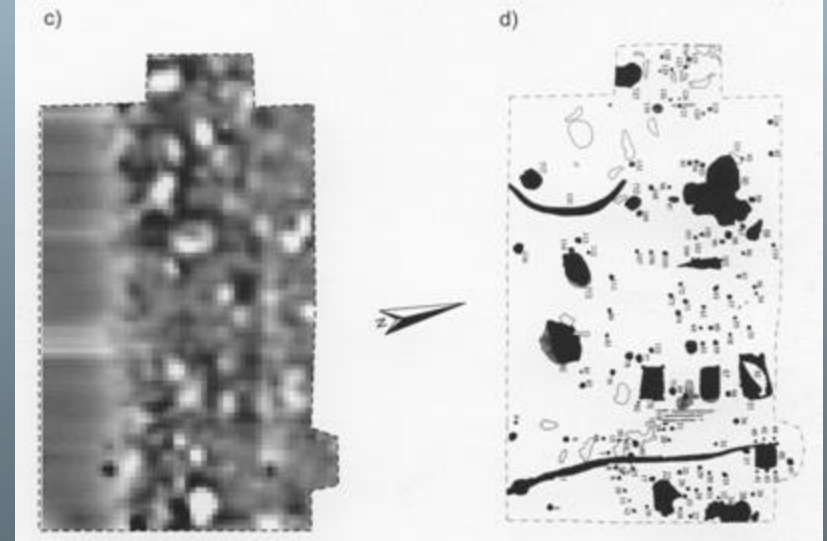
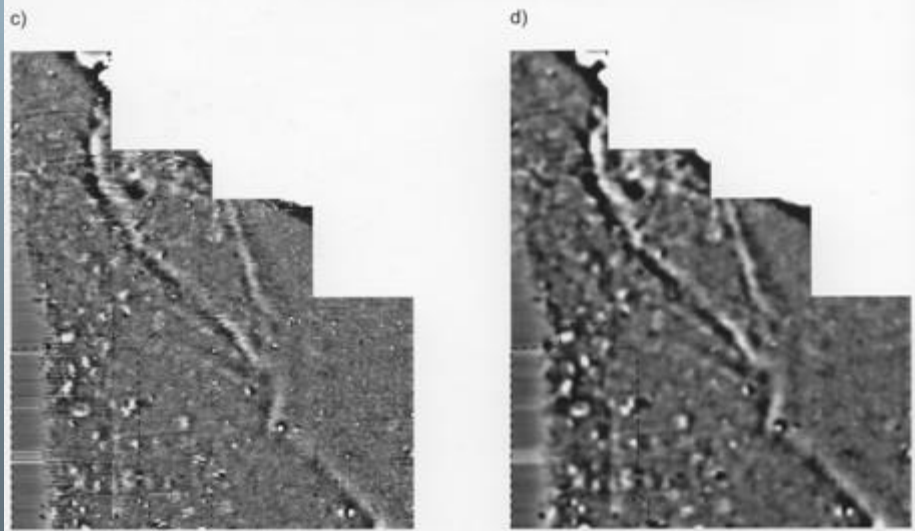
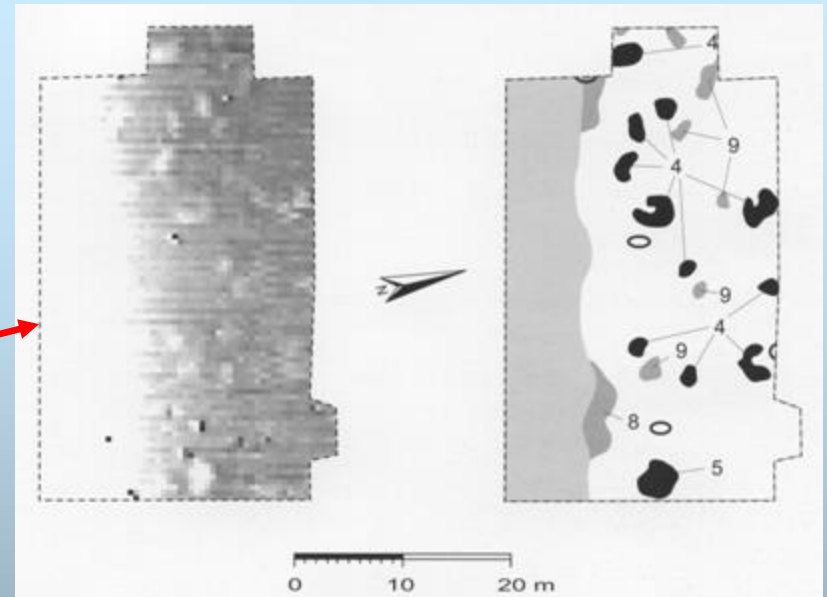
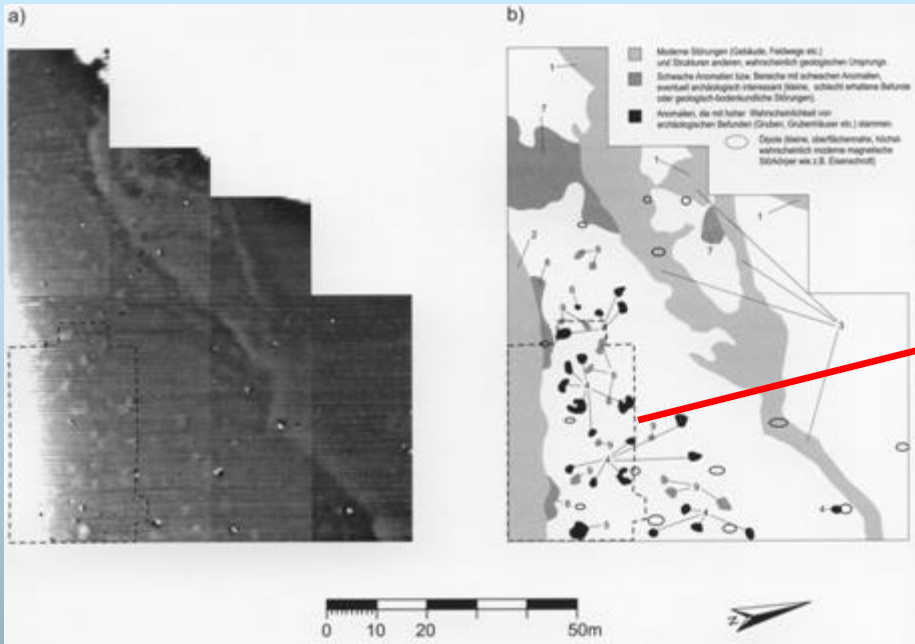
Abb. 2. Bruckberg. Links: Abgriff der Profile 1-14 der magnetischen Störfelder (punktiert zur Berechnung der Grabenprofile (s.rechts) mit den berechneten Modellfeldern (durchgezogene Linie). Rechts: Berechnete Modelle der Gräben zur Abschätzung des Ausmaßes der Erosion eines archäologischen Denkmals. BLfD, Magnetometerprospektion, Mag. Nr. 7538/020-86x.



Magnetická susceptibilita některých archeologických objektů

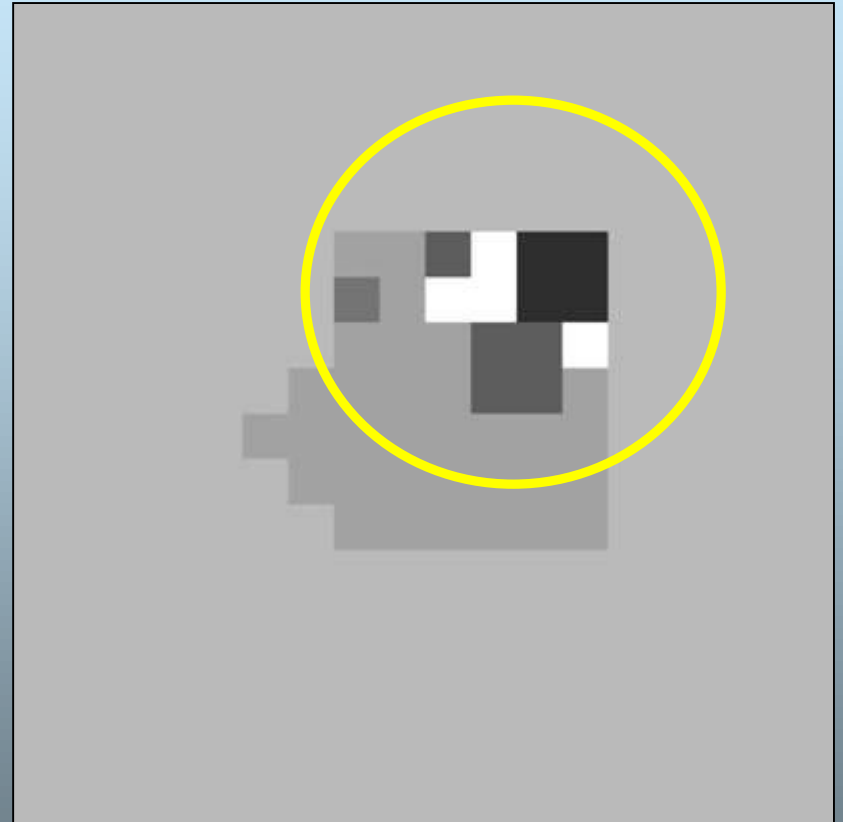
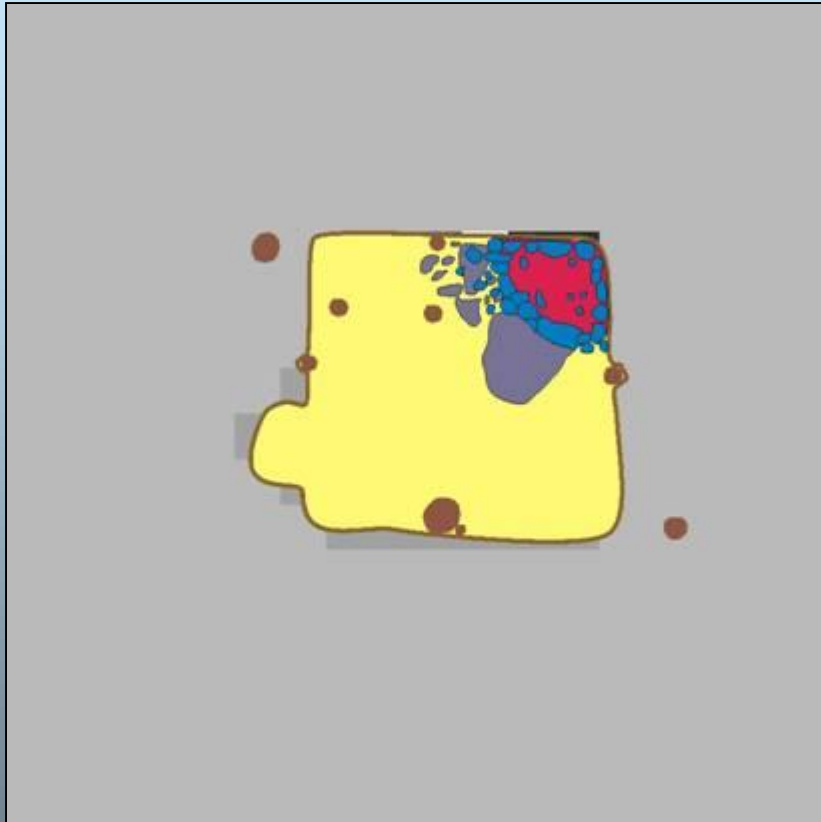
| Objekt výzkumu | Rozsah magnetické susceptibility ($n \cdot 10^{-4}$ SI) |
|--|---|
| <p>Otevřená sídliště</p> <ul style="list-style-type: none"> - zdivo z cihel - shořelé domy s původní hlinito-dřevěnou nebo kamennou konstrukcí - polozemnice, zemnice, zásobní jámy, hliníky - kúlové jámy, obvodové žlaby | <p>67 – 73</p> <p>26 – 265</p> <p>6,9 – 18,7</p> <p>2,2 – 7,5</p> |
| <p>Opevnění</p> <ul style="list-style-type: none"> - dřevohlinité valy, propálené - příkopy | <p>51 – 108</p> <p>6 – 13</p> |
| <p>Pohřebiště</p> <ul style="list-style-type: none"> - hrobové jámy | <p>4 – 10</p> |
| <p>Výrobní objekty</p> <ul style="list-style-type: none"> - ohniště, někdy zaplněná odpadem z vypálené hlíny - pece železářské + předpecí (struska, výmaz) - pece hrnčířské apod. | <p>3,5 – 8,3</p> <p>35 – 640</p> <p>5,6 – 8,9</p> |

Magnetická anomálie = objekt ?



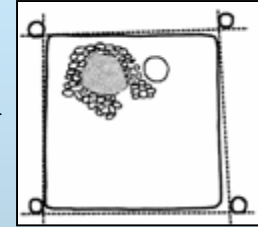
(Buthmann/Posselt/Zickgraf 2000)

Magnetické anomálie archeologických objektů





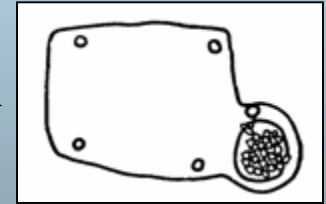
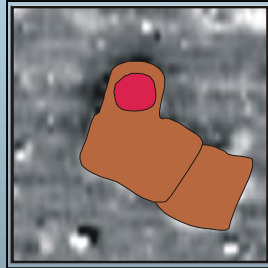
Lukáčovce



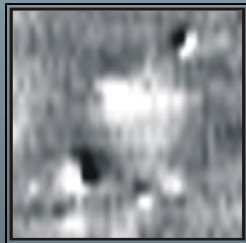
Horodok



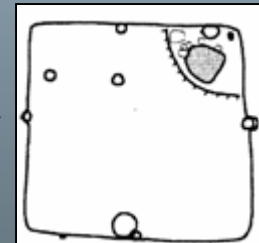
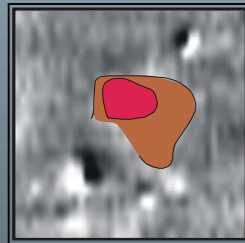
Lukáčovce



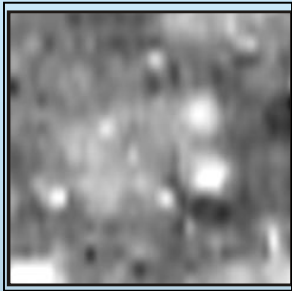
Siladice



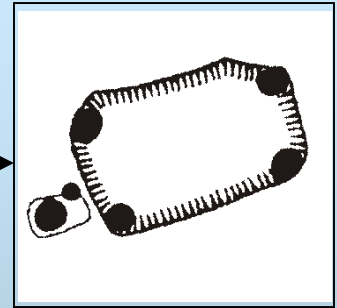
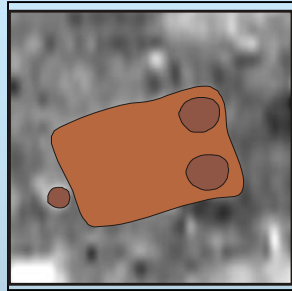
Klitschmar



Čataj



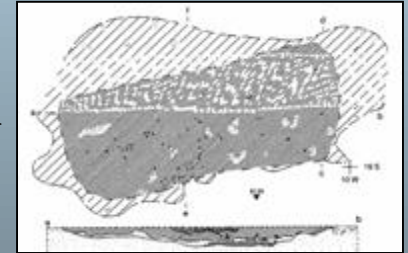
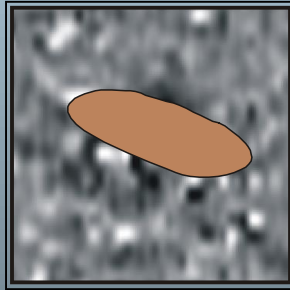
Röttenburg



Burgheim



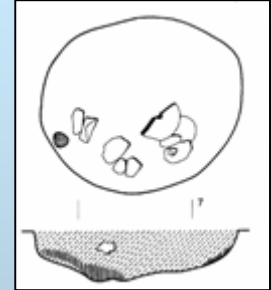
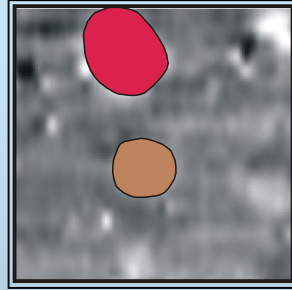
Bocheń



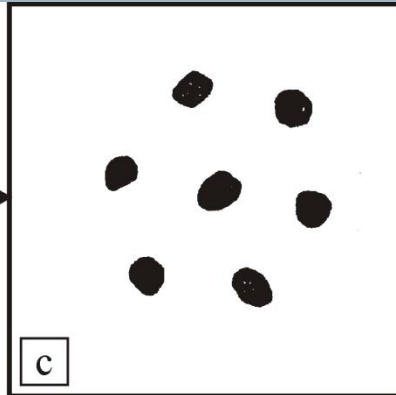
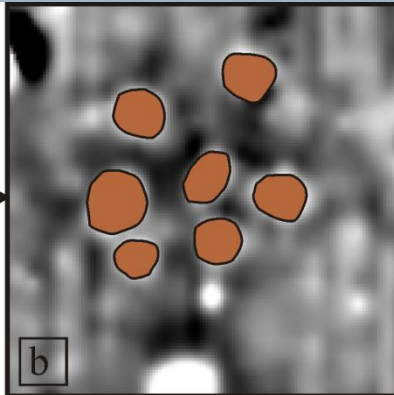
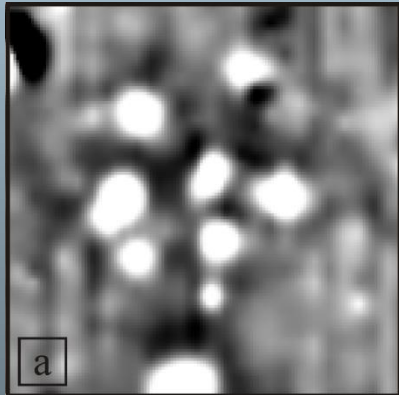
Bocheń



Lukáčovce



Březno bei Louny



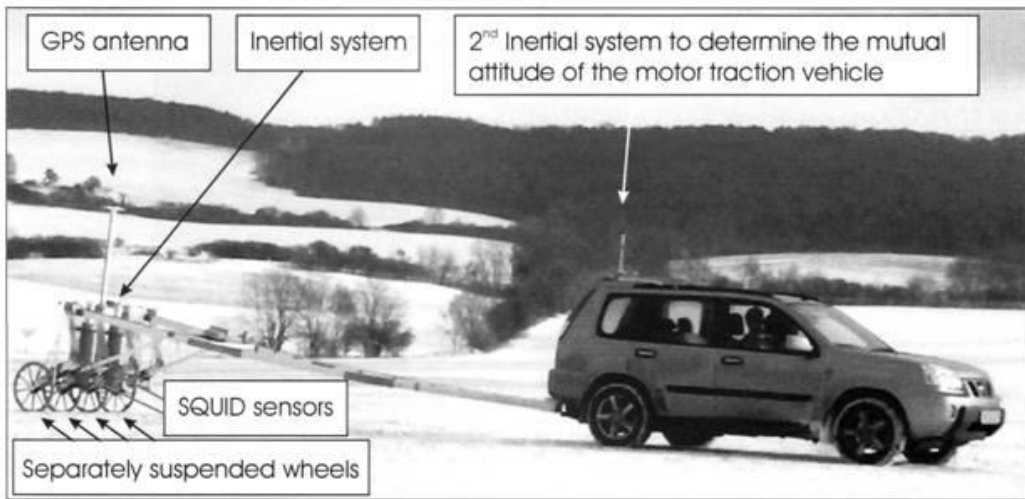
Magnetometrické vybavení



Protonový magnetometr PM-2.
Geofyzika, a.s., Brno.



Magnetometrické vybavení



Metodika práce

Magnetický průzkum možné rozdělit do 3 etap:

- **Měření**

- **Zpracování (post-processing)**

- **Intepretace**

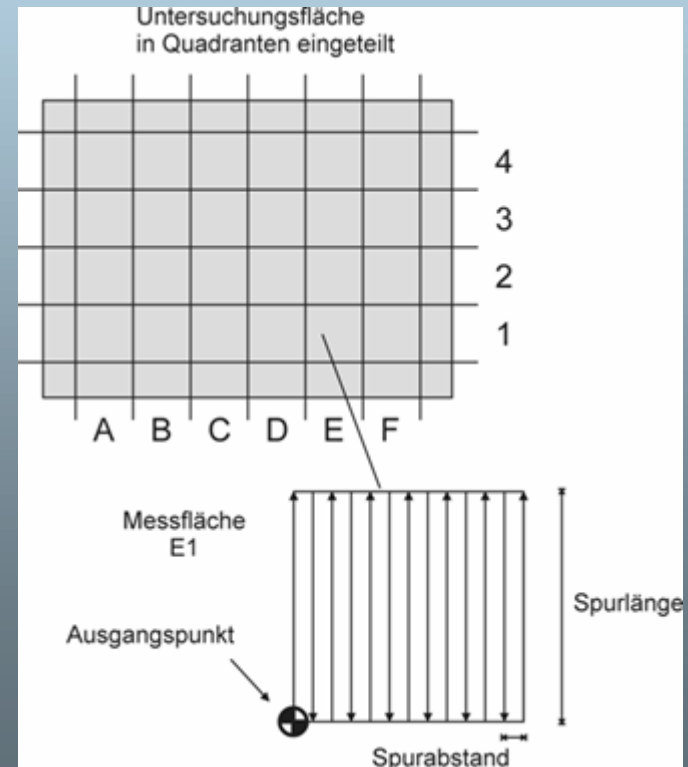
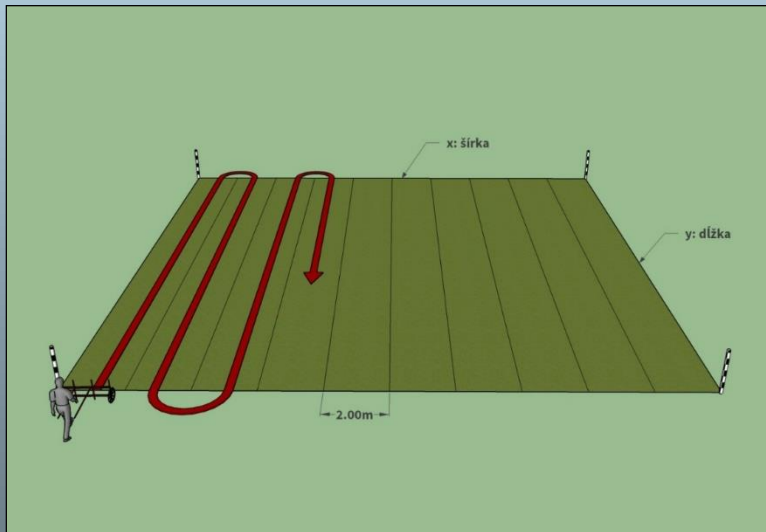
Každá z etap je nesmírně důležitá, i když ne stejně zajímavá. S rozvojem technologií a vývojem nových magnetometrů se čas potřebný na sběr dat neuvěřitelně zkrátil. S nárůstem detailnosti a množství těchto dat se naproti tomu čas potřebný na jejich zpracování a interpretace nezkrátil ani o minutu. Zpracování dat bývá mnohdy komplikovanějším a náročnějším než samotné měření.

Základním předpokladem pro úspěšný průzkum je **eliminace rušivých signálu z okolí**. Je důležité, aby oděv i obuv operátora (osoba obsluhující přístroj) a ostatně i všech členů prospekčního týmu v průběhu prospekce neobsahoval magnetické součásti.

Měření

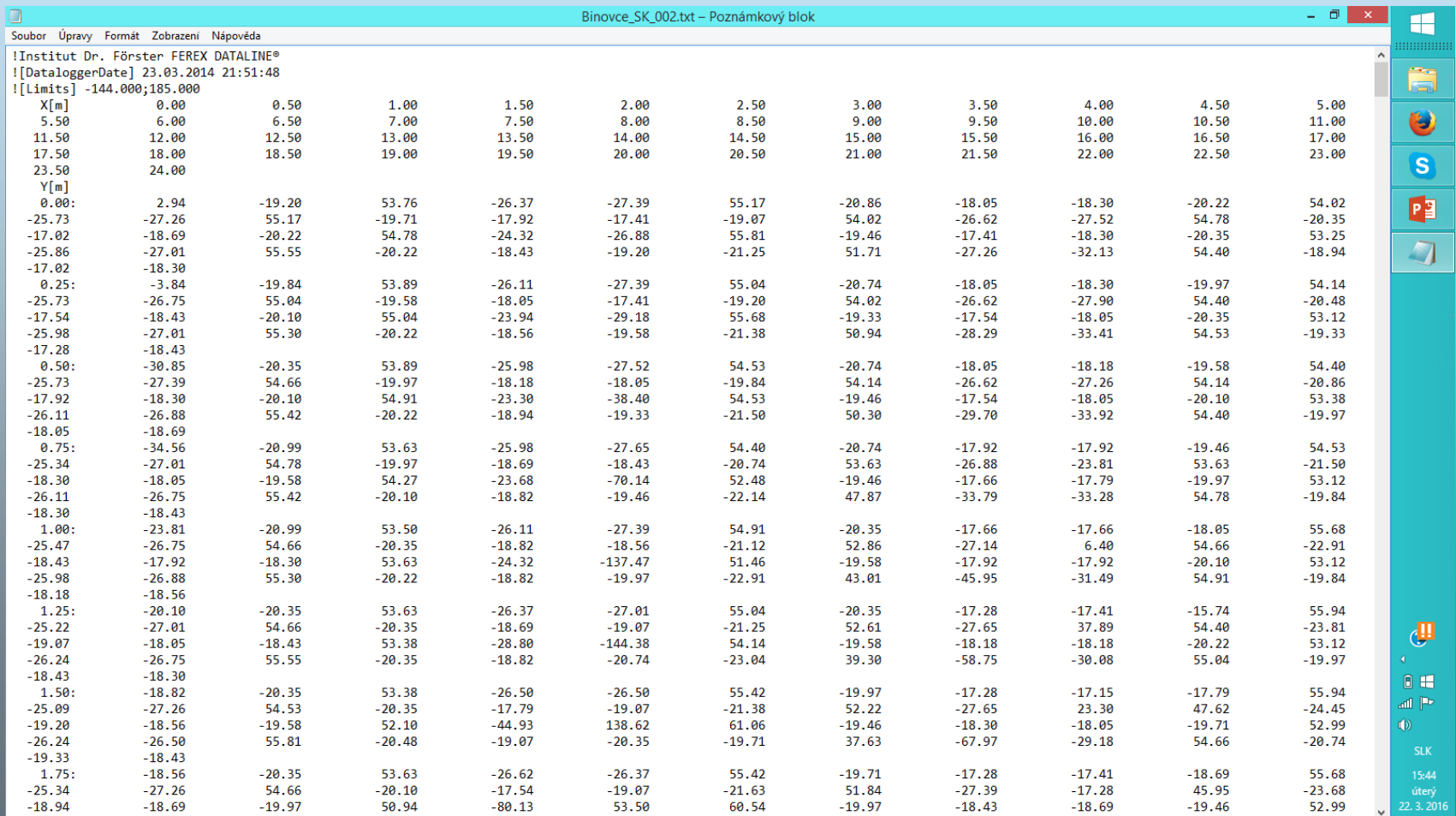
Vlastní měření je prováděno obvykle ve čtvercích 50×50 m (tato výměra je variabilní a je odvislá od potřeb průzkumného záměru) po profilech. Jsou-li očekávány liniové nebo jednosměrně protáhlé objekty, je vhodnější orientovat profily kolmo k nim. Rovněž je nutno brát v úvahu terénní konfiguraci plochy, tj. vliv orby, svážnost atd.)

Rozestup profilů je volen v závislosti na typu a cíli měření. U plošného průzkumu, zaměřeného na dohledání jednotlivých objektů, nebo jejich skupin, výrobních areálů, liniových útvarů, pohřebišť aj., činí tato vzdálenost zpravidla 1 m, při detailním a komplexním průzkumu menších struktur nejčastěji 0,5 m. Počet měření na jednom profilu je odvislý od rychlosti chůze, přičemž automatické kontinuální snímání dat probíhá s frekvencí až 10 záznamů za vteřinu, tj. průměrně 400 až 500 bodů na padesátimetrový profil. Výsledkem je tedy síť naměřených bodů o hustotě až $1 \times 0,1$ m. Sloupec hodnot je rozinterpolován, čímž je dosaženo jejich rovnoměrné distribuce na profilu. Aby byla minimalizována chyba s touto operací spojená, jsou interpolovány hodnoty po pěti metrech (pevná hodnota každého pátého metru je pořízena v průběhu měření).



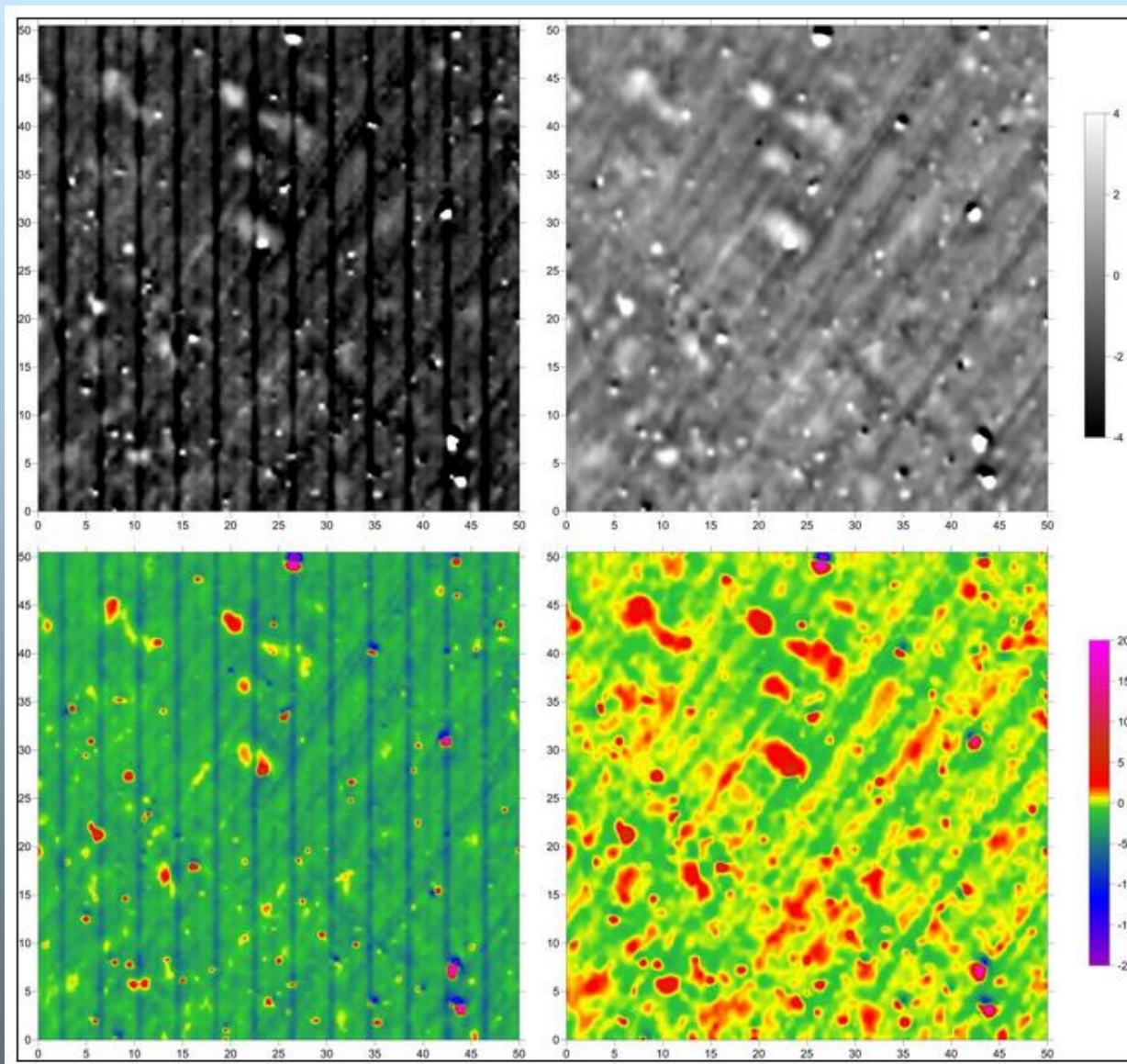
Zpracování dat

Výstupním formátem z magnetometru je textový soubor, obsahující vedle hlavičky (název akce, jméno měřitele, datum, atd.) také sloupce v terénu získaných dat (číslo profilu, stanoviště na profilu, hodnoty prvního a druhého atd. senzoru, popř. souřadnice GPS). Tato data jsou nejprve zbavena všech nežádoucích řádků a buněk (hlavička, markery začátků a konců profilů, aj.).



| Header | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 | |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X[m] | 0.00 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 |
| 5.50 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 | 9.00 | 9.50 | 10.00 | 10.50 | 11.00 |
| 11.50 | 12.00 | 12.50 | 13.00 | 13.50 | 14.00 | 14.50 | 15.00 | 15.50 | 16.00 | 16.50 | 17.00 |
| 17.50 | 18.00 | 18.50 | 19.00 | 19.50 | 20.00 | 20.50 | 21.00 | 21.50 | 22.00 | 22.50 | 23.00 |
| 23.50 | 24.00 | | | | | | | | | | |
| Y[m] | | | | | | | | | | | |
| 0.00: | 2.94 | -19.20 | 53.76 | -26.37 | -27.39 | 55.17 | -20.86 | -18.05 | -18.30 | -20.22 | 54.02 |
| -25.73 | -27.26 | 55.17 | -19.71 | -17.92 | -17.41 | -19.07 | 54.02 | -26.62 | -27.52 | 54.78 | -20.35 |
| -17.02 | -18.69 | -20.22 | 54.78 | -24.32 | -26.88 | 55.81 | -19.46 | -17.41 | -18.30 | -20.35 | 53.25 |
| -25.86 | -27.01 | 55.55 | -20.22 | -18.43 | -19.20 | -21.25 | 51.71 | -27.26 | -32.13 | 54.40 | -18.94 |
| -17.02 | -18.30 | | | | | | | | | | |
| 0.25: | -3.84 | -19.84 | 53.89 | -26.11 | -27.39 | 55.04 | -20.74 | -18.05 | -18.30 | -19.97 | 54.14 |
| -25.73 | -26.75 | 55.04 | -19.58 | -18.05 | -17.41 | -19.20 | 54.02 | -26.62 | -27.90 | 54.40 | -20.48 |
| -17.54 | -18.43 | -20.10 | 55.04 | -23.94 | -29.18 | 55.68 | -19.33 | -17.54 | -18.05 | -20.35 | 53.12 |
| -25.98 | -27.01 | 55.30 | -20.22 | -18.56 | -19.58 | -21.38 | 50.94 | -28.29 | -33.41 | 54.53 | -19.33 |
| -17.28 | -18.43 | | | | | | | | | | |
| 0.50: | -30.85 | -20.35 | 53.89 | -25.98 | -27.52 | 54.53 | -20.74 | -18.05 | -18.18 | -19.58 | 54.40 |
| -25.73 | -27.39 | 54.66 | -19.97 | -18.18 | -18.05 | -19.84 | 54.14 | -26.62 | -27.26 | 54.14 | -20.86 |
| -17.92 | -18.30 | -20.10 | 54.91 | -23.30 | -38.40 | 54.53 | -19.46 | -17.54 | -18.05 | -20.10 | 53.38 |
| -26.11 | -26.88 | 55.42 | -20.22 | -18.94 | -19.33 | -21.50 | 50.30 | -29.70 | -33.92 | 54.40 | -19.97 |
| -18.05 | -18.69 | | | | | | | | | | |
| 0.75: | -34.56 | -20.99 | 53.63 | -25.98 | -27.65 | 54.40 | -20.74 | -17.92 | -17.92 | -19.46 | 54.53 |
| -25.34 | -27.01 | 54.78 | -19.97 | -18.69 | -18.43 | -20.74 | 53.63 | -26.88 | -23.81 | 53.63 | -21.50 |
| -18.30 | -18.05 | -19.58 | 54.27 | -23.68 | -70.14 | 52.48 | -19.46 | -17.66 | -17.79 | -19.97 | 53.12 |
| -26.11 | -26.75 | 55.42 | -20.10 | -18.82 | -19.46 | -22.14 | 47.87 | -33.79 | -33.28 | 54.78 | -19.84 |
| -18.30 | -18.43 | | | | | | | | | | |
| 1.00: | -23.81 | -20.99 | 53.50 | -26.11 | -27.39 | 54.91 | -20.35 | -17.66 | -17.66 | -18.05 | 55.68 |
| -25.47 | -26.75 | 54.66 | -20.35 | -18.82 | -18.56 | -21.12 | 52.86 | -27.14 | 6.40 | 54.66 | -22.91 |
| -18.43 | -17.92 | -18.30 | 53.63 | -24.32 | -137.47 | 51.46 | -19.58 | -17.92 | -17.92 | -20.10 | 53.12 |
| -25.98 | -26.88 | 55.30 | -20.22 | -18.82 | -19.97 | -22.91 | 43.01 | -45.95 | -31.49 | 54.91 | -19.84 |
| -18.18 | -18.56 | | | | | | | | | | |
| 1.25: | -20.10 | -20.35 | 53.63 | -26.37 | -27.01 | 55.04 | -20.35 | -17.28 | -17.41 | -15.74 | 55.94 |
| -25.22 | -27.01 | 54.66 | -20.35 | -18.69 | -19.07 | -21.25 | 52.61 | -27.65 | 37.89 | 54.40 | -23.81 |
| -19.07 | -18.05 | -18.43 | 53.38 | -28.80 | -144.38 | 54.14 | -19.58 | -18.18 | -18.18 | -20.22 | 53.12 |
| -26.24 | -26.75 | 55.55 | -20.35 | -18.82 | -20.74 | -23.04 | 39.30 | -58.75 | -30.08 | 55.04 | -19.97 |
| -18.43 | -18.30 | | | | | | | | | | |
| 1.50: | -18.82 | -20.35 | 53.38 | -26.50 | -26.50 | 55.42 | -19.97 | -17.28 | -17.15 | -17.79 | 55.94 |
| -25.09 | -27.26 | 54.53 | -20.35 | -17.79 | -19.07 | -21.38 | 52.22 | -27.65 | 23.30 | 47.62 | -24.45 |
| -19.20 | -18.56 | -19.58 | 52.10 | -44.93 | 138.62 | 61.06 | -19.46 | -18.30 | -18.05 | -19.71 | 52.99 |
| -26.24 | -26.50 | 55.81 | -20.48 | -19.07 | -20.35 | -19.71 | 37.63 | -67.97 | -29.18 | 54.66 | -20.74 |
| -19.33 | -18.43 | | | | | | | | | | |
| 1.75: | -18.56 | -20.35 | 53.63 | -26.62 | -26.37 | 55.42 | -19.71 | -17.28 | -17.41 | -18.69 | 55.68 |
| -25.34 | -27.26 | 54.66 | -20.10 | -17.54 | -19.07 | -21.63 | 51.84 | -27.39 | -17.28 | 45.95 | -23.68 |
| -18.94 | -18.69 | -19.97 | 50.94 | -80.13 | 53.50 | 60.54 | -19.97 | -18.43 | -18.69 | -19.46 | 52.99 |

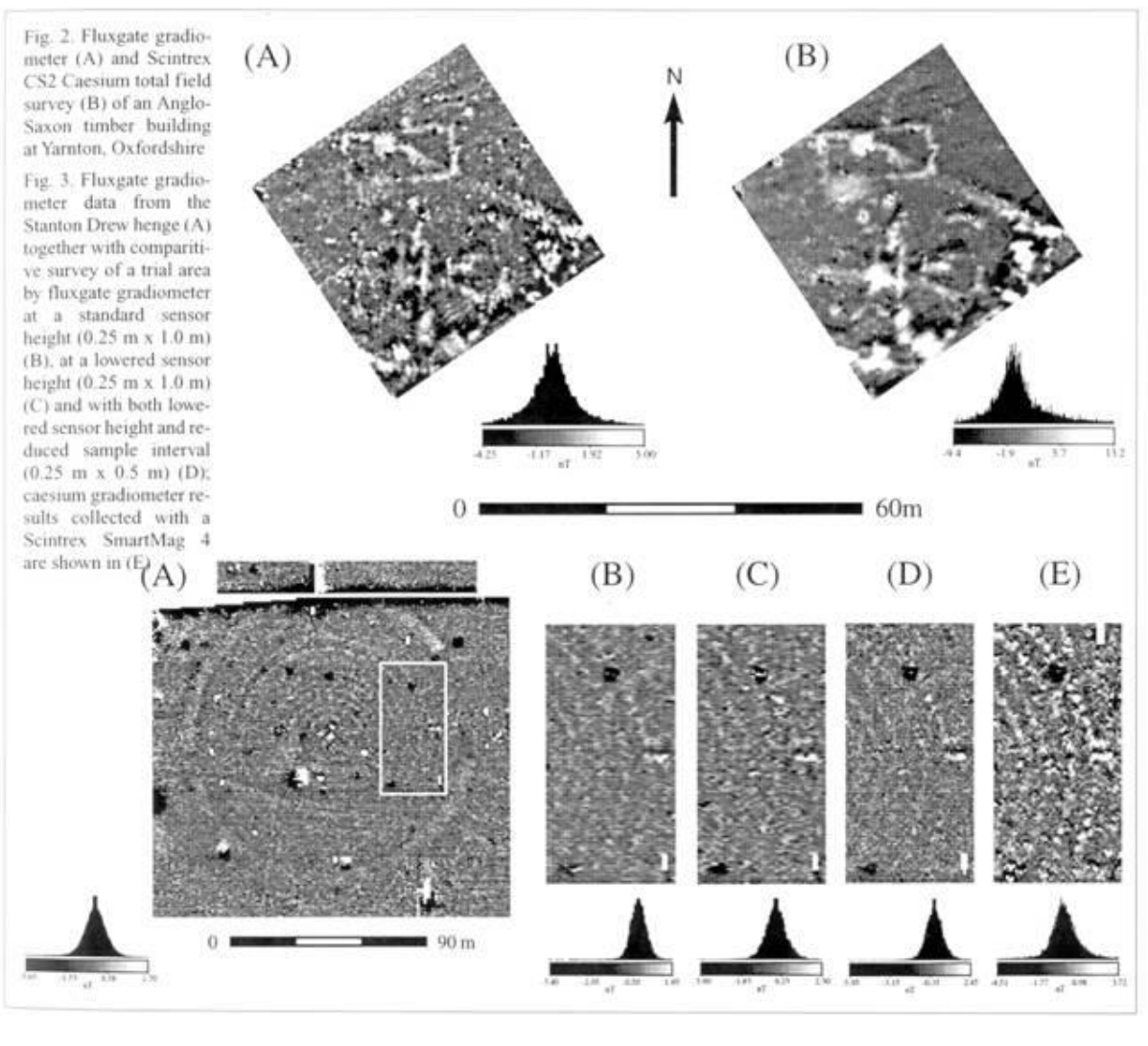
Zpracování dat



Zpracování dat

Fig. 2. Fluxgate gradiometer (A) and Scintrex CS2 Caesium total field survey (B) of an Anglo-Saxon timber building at Yarnton, Oxfordshire

Fig. 3. Fluxgate gradiometer data from the Stanton Drew henge (A) together with comparative survey of a trial area by fluxgate gradiometer at a standard sensor height (0.25 m x 1.0 m) (B), at a lowered sensor height (0.25 m x 1.0 m) (C) and with both lowered sensor height and reduced sample interval (0.25 m x 0.5 m) (D); caesium gradiometer results collected with a Scintrex SmartMag 4 are shown in (E)



Interpretace

Nejdůležitější fází prospekce je její interpretace.

Interpretace je často nejnáročnější částí, a je i časově nejdelší.

Interpretací se snažíme o odlišení magnetických anomálií způsobených antropogenní činností od ostatních.

Musíme mít na paměti, že magnetická anomálie není archeologický objekt.

Často se na magnetogramech objevují anomálie způsobené pozdější činností člověka (pozůstatky orby, inženýrské sítě či archeologické výkopy), ty musí být náležitě označeny, aby nedošlo k její špatné interpretaci. Neméně časté jsou i geologické anomálie (ledové klíny, geologické poruchy či paleo řečiště)

Interpretace je odvislá od empirie.

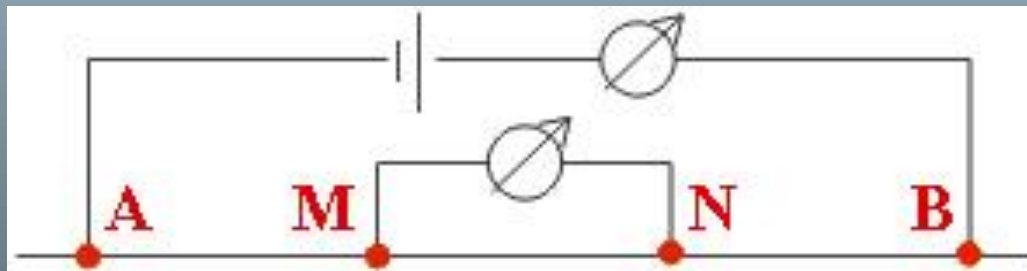
Neexistence magnetických anomálií neznamena neexistenci archeologického objektu. Je potřebné tento stav náležitě vysvětlit a případně do průzkumu zapojit i jiné metody.

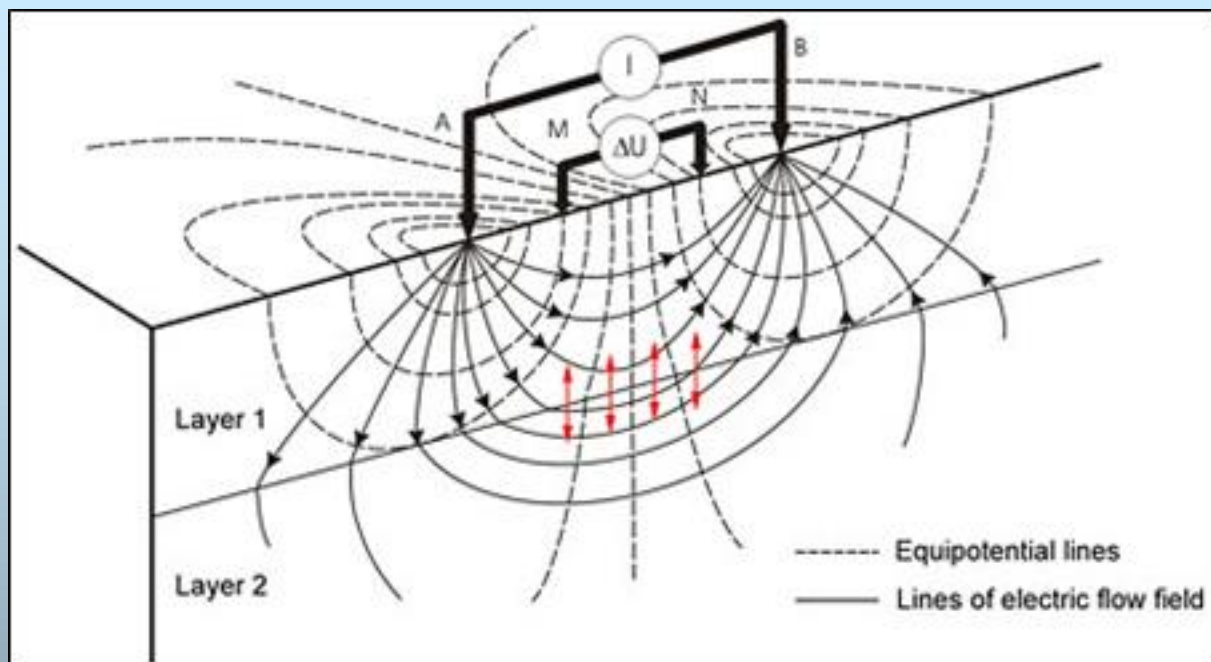
Elektrické odporové metody



Jednotky: el. proud I [A, Amper], el. napětí V nebo U [V, Volt], el. odpor $R = U/I$ [Ω , Ohm]

Jako stejnoseměrné metody označujeme ty geoelektrické metody, které **zkoumají rozložení elektrického potenciálu nebo gradientu potenciálu stejnosměrného proudu**. Nejrozšířenější metodou je metoda odporová. Při terénním měření zavádíme proudovými elektrodami A a B do země proud I , mezi měřicími elektrodami M a N měříme potenciálový rozdíl ΔV . Pokud se nemění rozestupy elektrod a s uspořádáním se pohybuje po profilu, hovoříme o odporovém profilování. Zůstává-li střed uspořádání elektrod na místě a mění se rozestup elektrod, hovoříme o vertikálním elektrickém sondování.

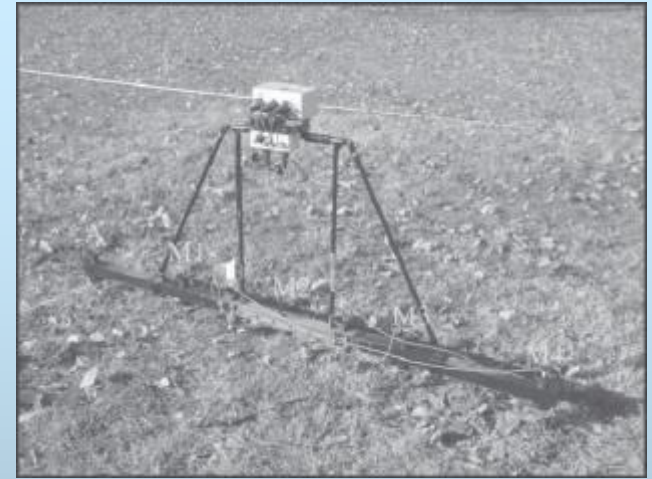




K měření se používají 4 elektrody (ocelkové trny) o různém zapojení. Pomocí proudových elektrod je vytvořeno napěťové pole ve tvaru polokoule (Neubauer). Pro příklad jedno z nejběžnějších zapojení: **Wennerovo uspořádání**: proudová elektroda (A), měřící elektroda (M), měřící elektroda (N), proudová elektroda (B). Všechny elektrody jsou ve stejné vzdálenosti a uspořádání je symetrické. **Bod zápisu se nachází uprostřed mezi měřícími elektrodami M a N.**

Špecifický odpor rôznych materiálov m Ω

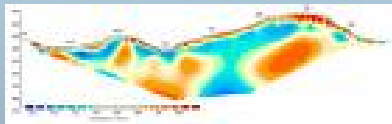
| Materiál | m Ω |
|---------------------|------------|
| Hlina, íl | 2 - 50 |
| Humus | 50 - 100 |
| Vlhký piesok | 100 - 300 |
| Suchý piesok | 300 - 1000 |
| Štrk | - 8000 |
| pieskovec | - 4000 |
| vápenec | - 10000 |
| Granit | - 1000000 |



ABEM

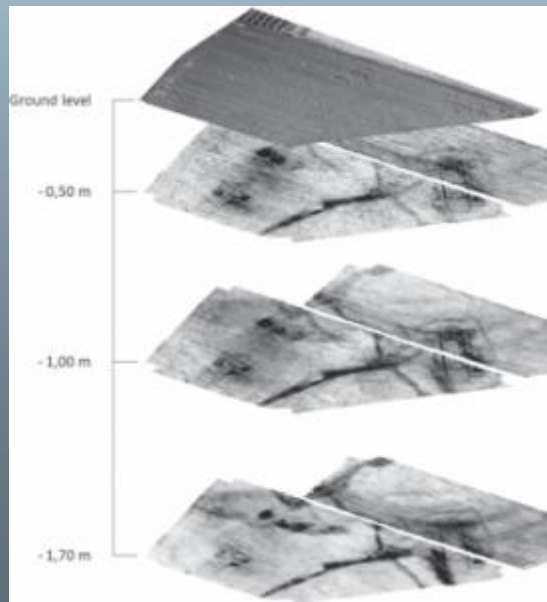
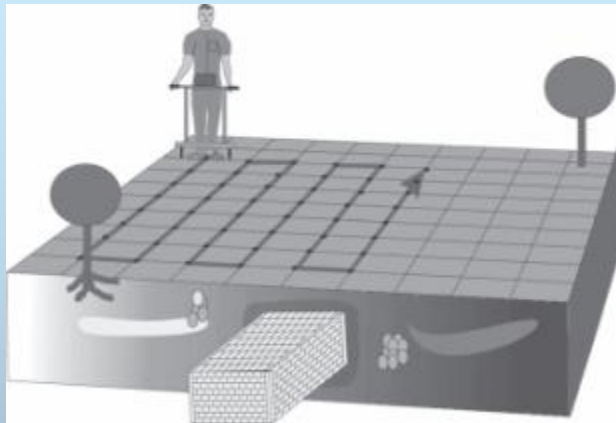


RM15TM resistivity meter of Geoscan Research Ltd

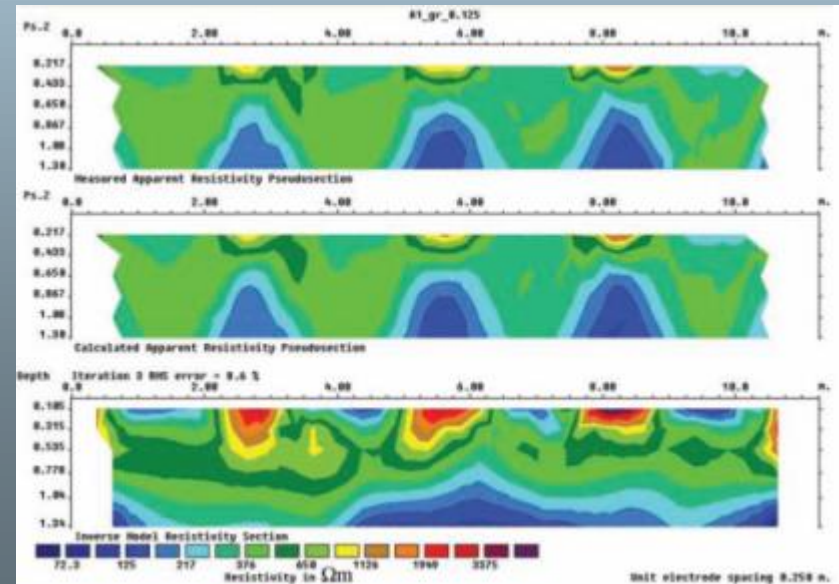
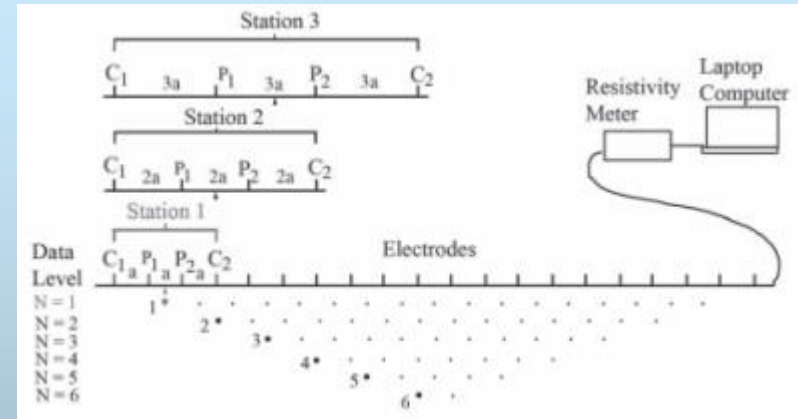


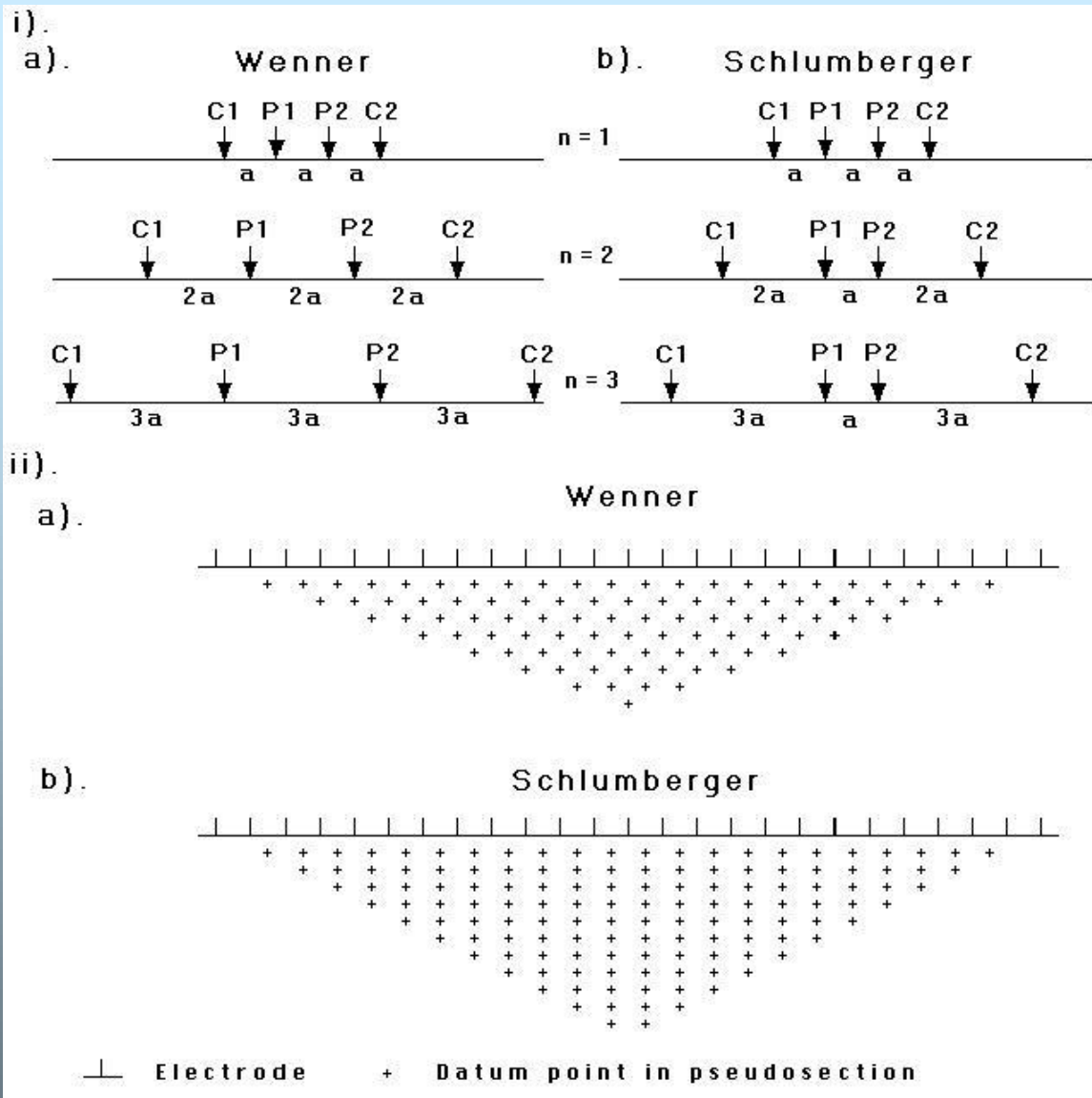
systems ARP07 and ARP08

Odporové profilování



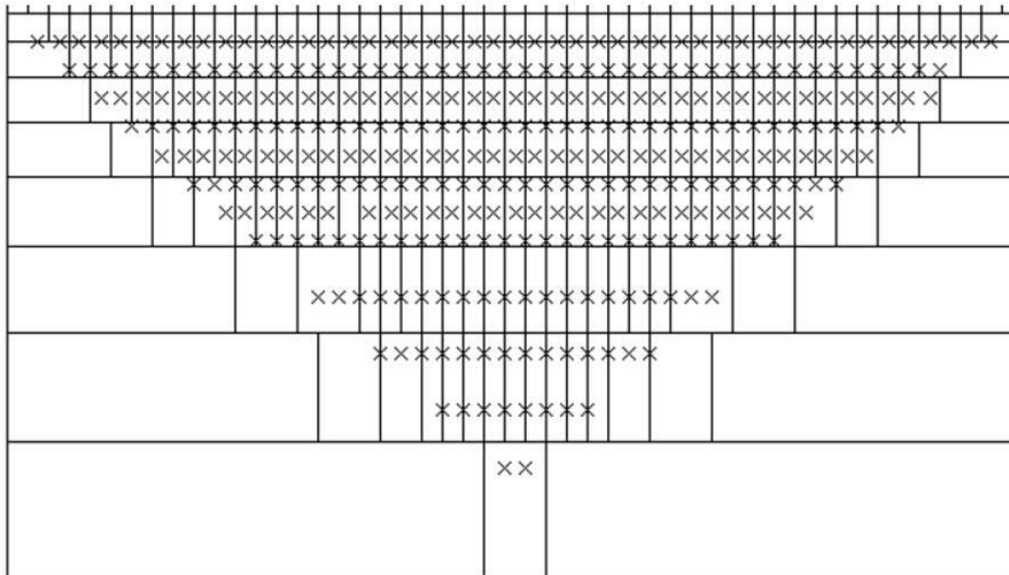
Vertikální elektrické sondování





Dva základní typy rozložení elektrod při archeogeofyzikální prospekci. Wenner a Schlumberger (C1= A, C2 = B, P1 = M, P2 = N).

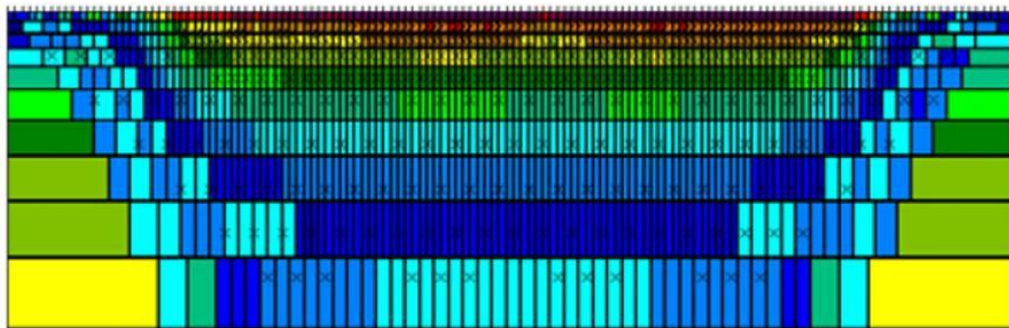
ARRANGEMENT OF MODEL BLOCKS AND APPARENT RESISTIVITY DATUM POINTS



MODEL BLOCK
 x DATUM POINT

d).

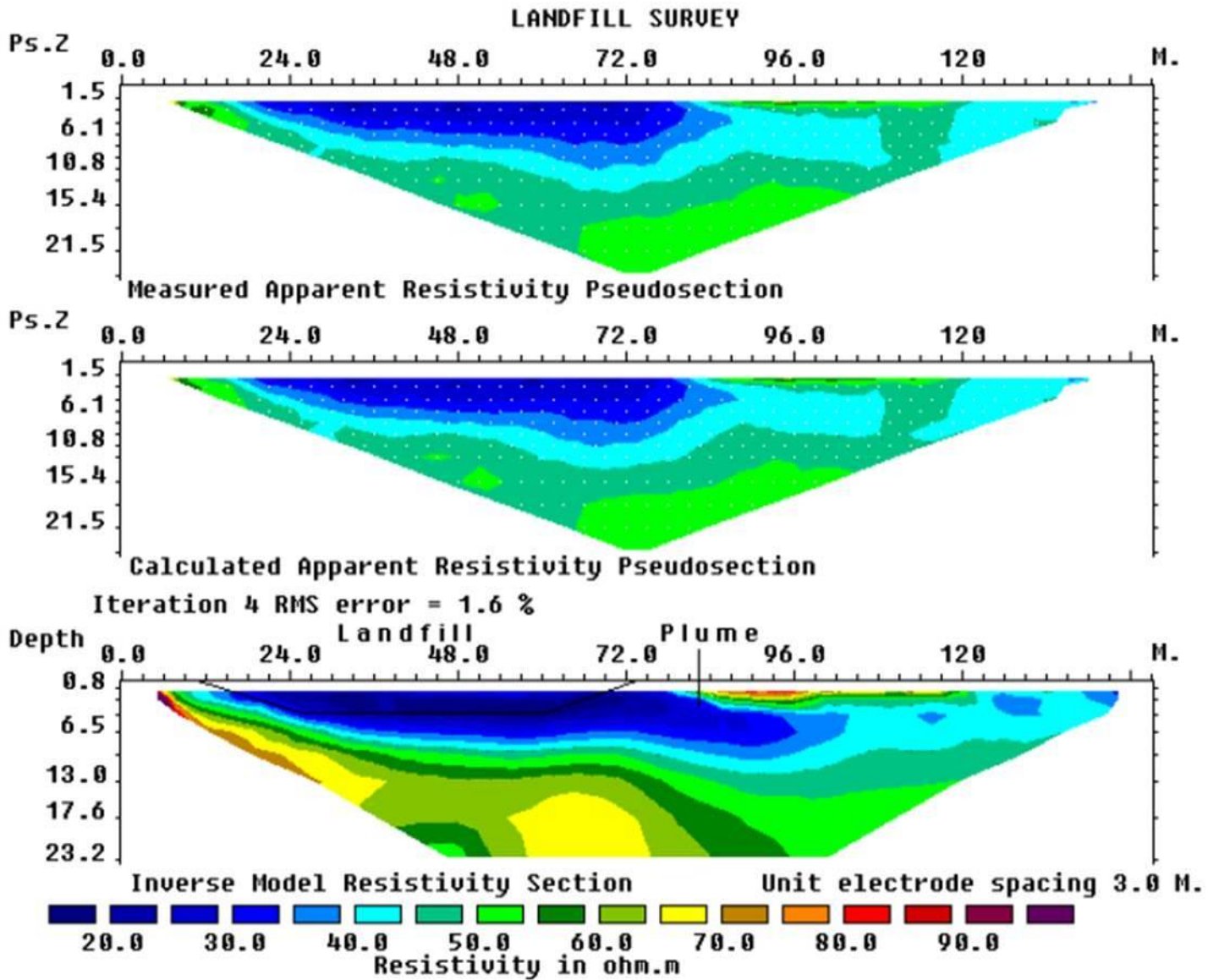
Relative sensitivity of model blocks



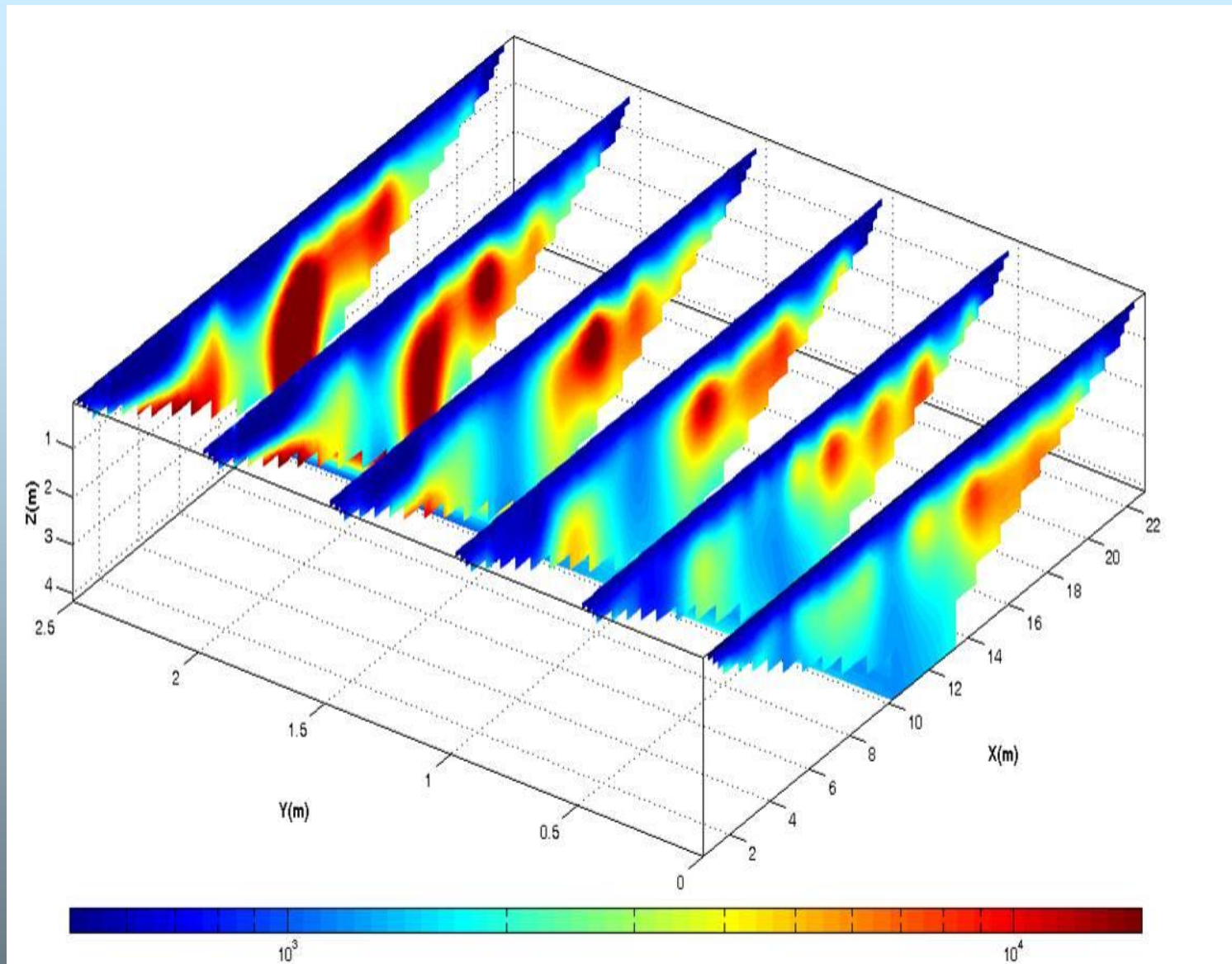
Model block
 Number of model blocks 1071
x Datum point
Number of datum points 447
 Number of model layers is 10
 Unit electrode spacing is 5.0

 0.16 0.26 0.41 0.65 1.0 1.7 2.6 4.2
 Relative sensitivity values

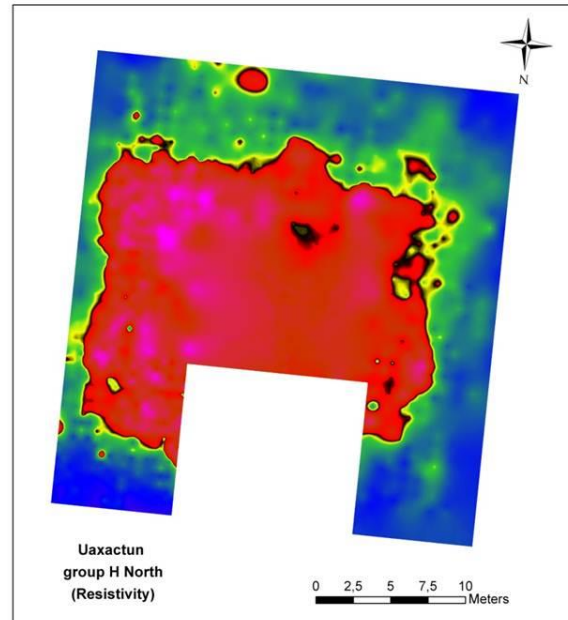
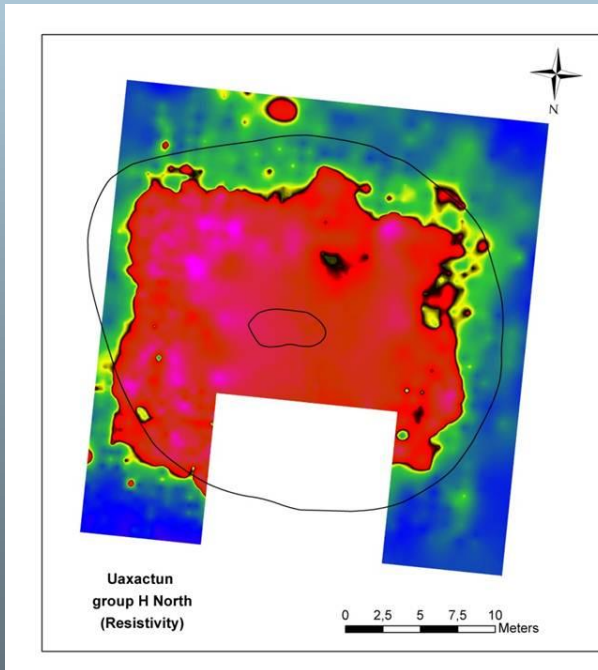
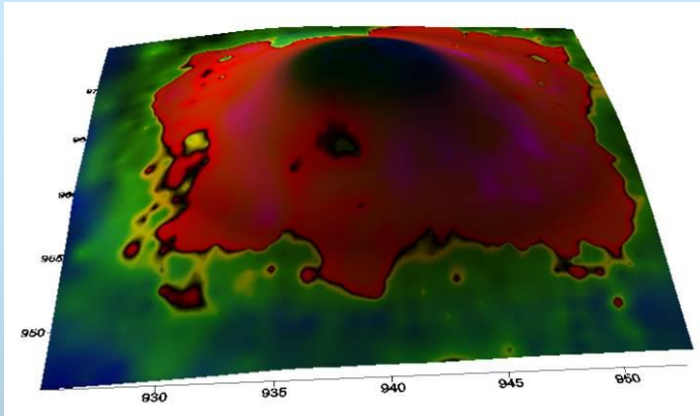
Z naměřených hodnot je vytvořen pseudoprofil. Numerickým hodnotám je přiřazena barevná škála.



Ukázka výsledného pseudoprofilu.



Z několik pseudoprofilů je možné poskládat obraz znázorňující podpovrchovou situaci v 3D zobrazení.



Multikabel: sběr geoelektrických dat mnohaelektrodivým systémem

Multikabel umožňuje získávat data s větší hustotou i kvalitou než u klasických postupů. V zásadě se jedná o stejný princip jako při používání jenom 4 elektrod. Při měření je ale využito desítek elektrod, které jsou rozmístěny podél měřené linie. Elektrody jsou propojeny kabelovými sekcemi a celý systém je řízen aparaturou, která podle zadaného schématu postupně spíná jednotlivé elektrody jako proudové a potenční. To umožňuje postupně získat data pro běžné vertikální elektrické sondování, čtyřelektrodivé profilování i pro méně obvyklá schémata jako je mnohaelektrodivé profilování, různé profilové i sondovací kombinace pólů a dipólů atd. (obr. 11). Není teda nutné, pohybovat se s aparaturou po profilu a jednotlivé elektrody pracně přemísťovat. Vše probíhá naráz, při jedné akci sběru dat.

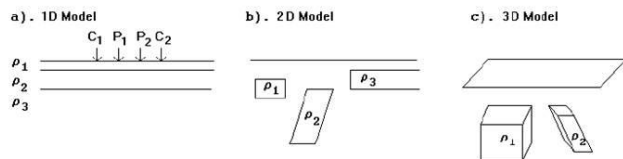
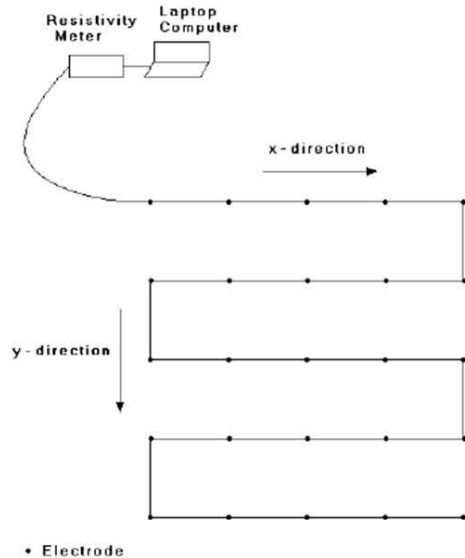
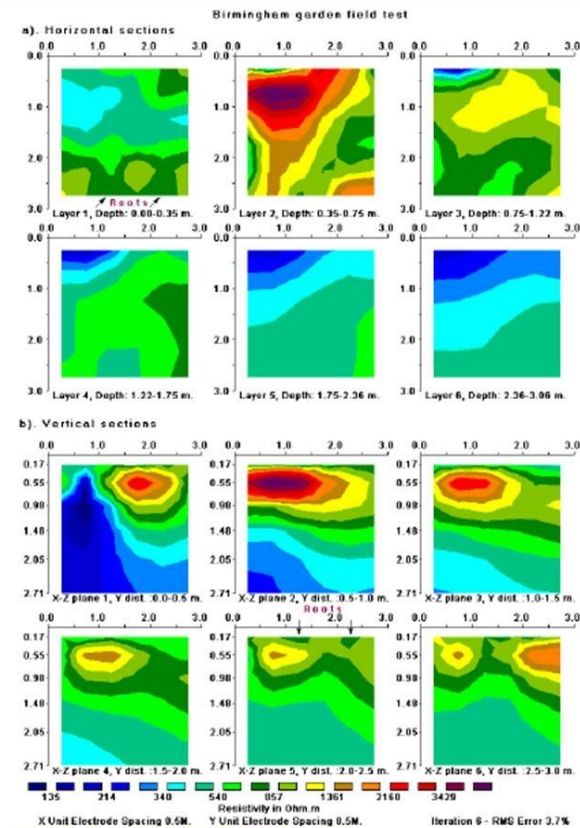


Figure 3. The three different models used in the interpretation of resistivity measurements.



The arrangement of the electrodes for a 3-D survey.



Horizontal and vertical cross-sections of the model obtained from the inversion of the Birmingham field survey data set. The location of observed tree roots on the ground surface are also shown.

Využití geoelektrických odporových metod v archeologii

Geoelektrické odporové metody je možné použít při různých typech archeologických památek. Nejsou však vhodné pro všechny druhy objektů. Nemá význam je provádět například na sídlištích s předpokládanými dřevozemními stavbami. Kúlové jámy, různé sídlištní jámy, zásobnice, žlábký či zemnice bez kamenných konstrukcí jsou v zásadě pro geoelektrické odporové metody neviditelné. Neobjeveny zůstanou taky pohřebiště s jednoduchými plochými hroby nebo výrobní objekty menších rozměrů bez kamenných konstrukcí.

Sídlištní lokality, hradiště a města:

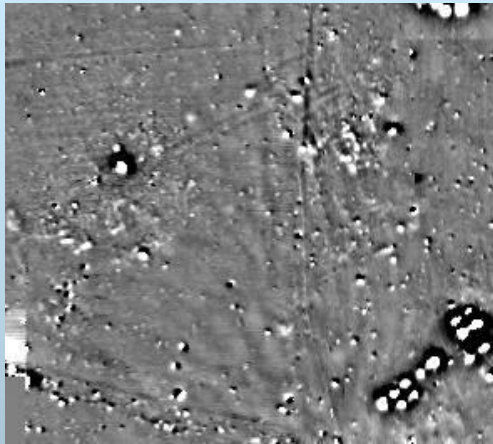
- vyhledávání a rozlišení objektů zděných a s kamennou konstrukcí
- rozlišení zahloubených objektů větších rozměrů
- liniové zahloubené útvary (příkopy)
- liniové systémy opevnění s kamennou konstrukcí (zdi, hradby)
- vyhledávání podpovrchově nezaplňených objektů a dutých prostor
- průzkum komunikací/ploch i terénních elevací s kam. konstrukcí
- rozlišení a průzkum sakrálních staveb a dalších prvků architektury s kamennou konstrukcí
- podpovrchové nezaplňené objekty a prostory s kamennou konstrukcí (sklepy, chodby, studny)

Pohřebiště:

- prokázání a podrobný průzkum mohyl s kamennou konstrukcí, kamenným pláštěm či hrobovou komorou
- vyhledávání podpovrchových zděných hrobek
- ověření a průzkum zahloubených hrobů s kamenným obložím
- vyhledávání skřínkových hrobů

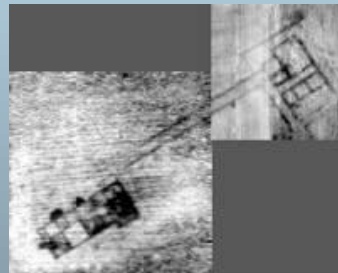
Výrobní a exploatační areály:

- identifikace novodobých navážek a terénních úprav v místech vytěžených lomů
- vyhledávání a rozlišení zaniklých povrchově i podpovrchově těžných prostor
- vyhledávání podpovrchově částečně zaplněných objektů či dutých prostor důlních děl
- výrobní objekty s kamennou konstrukcí
- velké výrobní objekty, kamenné pece a ohniště

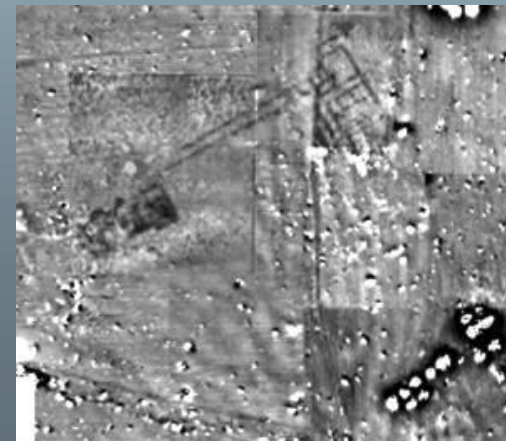


Magnetogramm – rímska villa rustica z:
Altheim / Weirading. [-3.9/3.3] nT

Digitálne zobrazenie
odporových meraní



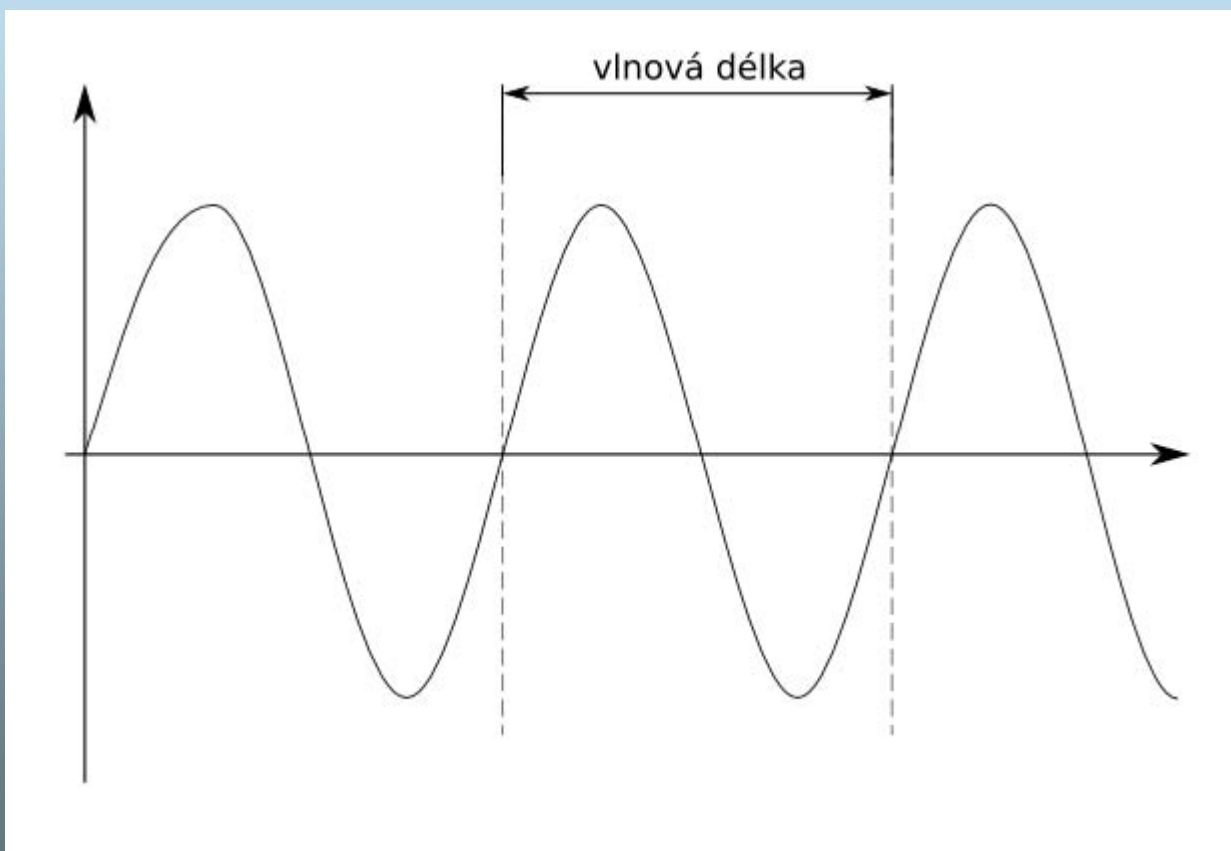
Kombinácia magnetických a odporových meraní



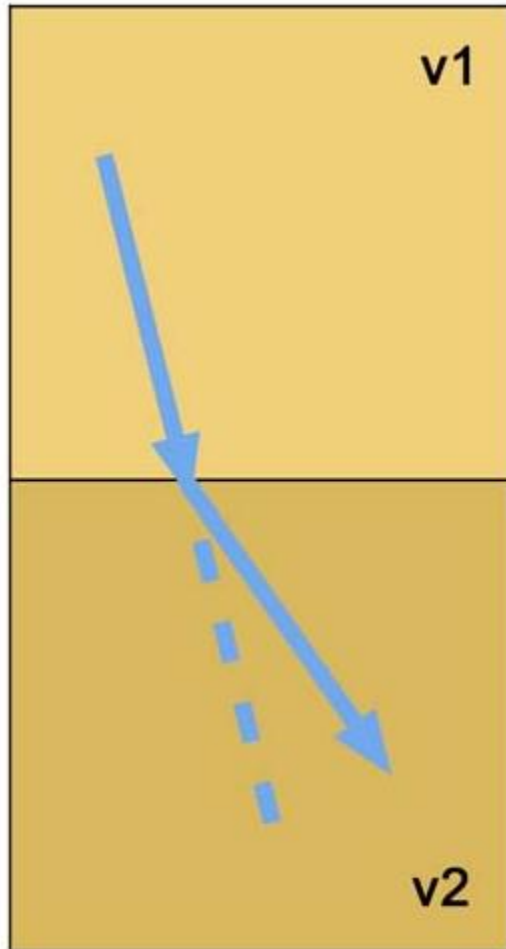
Základní fyzikální veličiny a pojmy využitě u GPR

- **Vlnění** – je jev, při kterém dochází k šíření kmitavého rozruchu (energie) od zdroje směrem do okolního prostoru.
- **Frekvence** (kmitočet) - vyjadřuje počet opakování (počet kompletních cyklů) periodického děje za jednotku času. Souvislý interval frekvencí se nazývá kmitočtové (frekvenční) pásmo.
- **Šířka pásma (bandwidth)** – je rozdíl mezi horní a dolní mezní frekvencí kmitočtového pásma. Udává také frekvenční rozsah GPR vysílače.
- **Amplituda** - (výkmit anebo rozkmit) je maximální hodnota periodicky měnící se veličiny. Spolu s frekvencí a počáteční fází je jedním ze základních parametrů periodických dějů.
- **Relativní permitivita** (ϵ_r) – též dielektrická konstanta, udává, kolikrát se elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem prochází místo vakuem látkovým prostředím. Její hodnota je definována podílem permitivity prostředí (ϵ) a permitivity vakua - vzduchu (ϵ_0). Za předpokladu, že je dielektrická konstanta úměrná vzduchu a představuje vlnovou rychlost vzduchu (v_{air}), potom má obecná **vlnová rychlost** (v) materiálu relativní permitivitu (ϵ_r) a je definována rovnicí:

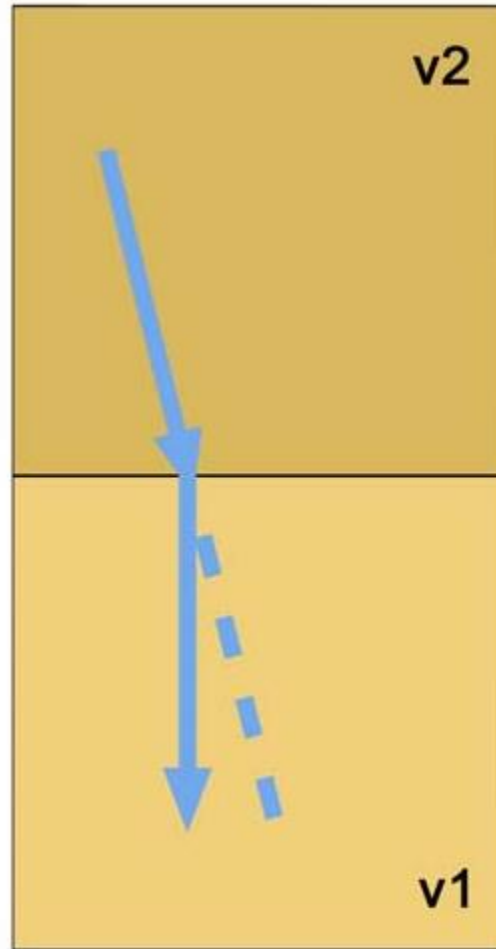
• **Vlnová délka** (λ) – je nejkratší vzdálenost dvou částic, které spolu kmitají sinusovým průběhem ve stejné fázi (Obr. 1).



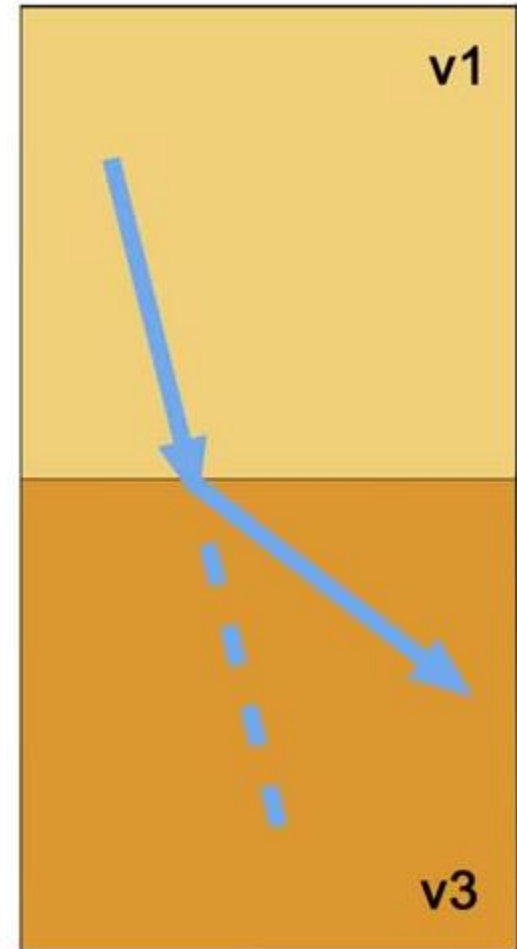
•**Zákon lomu vln** – uplatňuje se v případě, že dojde ke změně tras (paprsků) šířícího se signálu. K tomu dochází na rozhraní dvou prostředí s odlišnou permitivitou, tedy kdykoliv, kdy vlna přejde z jednoho prostředí s určitou vlnovou rychlostí do prostředí, které má vlnovou rychlost odlišnou (tzv. lom na kolmici a od kolmice).



A



B



C

•**Anténa** - zařízení na transformaci elektrické energie/signálu na elektromagnetické (EM) vlny, které vyzařuje do volného prostoru (vysílací režim z tzv. transmitteru -Tx) a zároveň tyto EM vlny zpětně přeměňuje na elektrickou energii (přijímací režim tzv. receiverem - Rx). Pracují recipročně, tedy přijímají i vysílají zároveň.

1.Nízkofrekvenční antény – pracují na frekvencích 20 – 250 MHz. Mají velký hloubkový dosah, ale dokážou zachytit pouze velké struktury či anomálie (v řádu jednotek metrů). Vhodné jsou spíše pro geologická, glaciální, popř. hydrologická měření.

2.Vysokofrekvenční antény – více než 250 MHz (až 1500 MHz). Disponují menším hloubkovým dosahem, ale mají větší rozlišení. Jsou tak schopny zobrazit i menší předměty (v desítkách centimetrů). Jejichž použití je více univerzální. Nejčastěji jsou využívány právě v archeologii a ve stavebním inženýrství (kontrola kvality betonu apod.).

Antény

| CENTRÁLNÍ FREKVENCE ANTÉNY (MHz) | VERTIKÁLNÍ ROZLIŠENÍ ($v = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$; $\lambda / 4$ v cm) | MAXIMÁLNÍ DOSAH (m) |
|----------------------------------|--|---------------------|
| 25 | 100 | 50 |
| 50 | 50 | 40 |
| 100 | 25 | 25 |
| 200 | 12,5 | 12 |
| 250 | 10 | 8 |
| 500 | 5 | 6 |
| 800 | 3 | 2,5 |
| 1000 | 2,5 | 1,5 |
| 1200 | 2,1 | 1 |
| 1600 | 1,6 | 0,5 |
| 2000 | 1,3 | 0,4 |

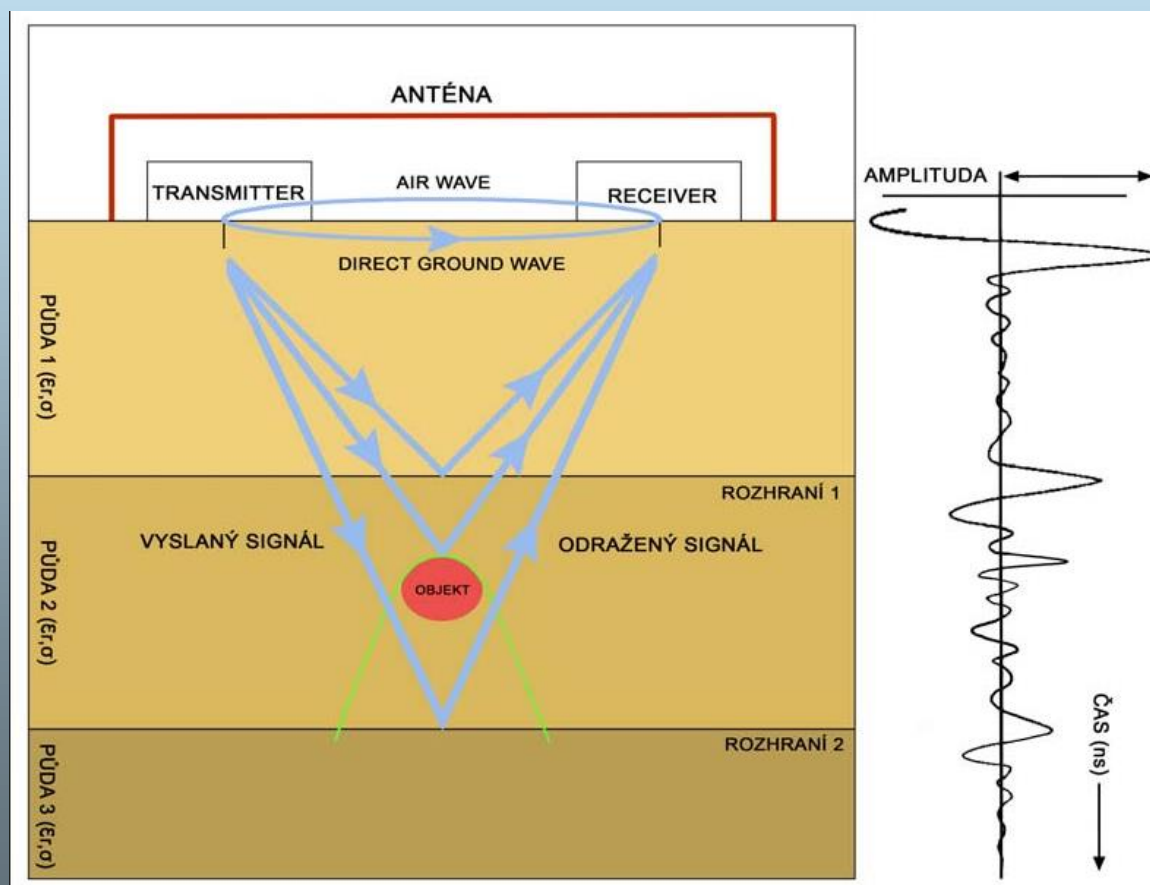
- **Sample point - vzorek** - jednotlivý bod signálu amplitudy zaznamenaný v konkrétním místě a čase.
- **Profile - profil** - podélná linie ve směru georadarového měření.
- **Radarogram** - podélný profil (řez) složený z jednotlivých GPR stop.

Metoda

Základní princip GPR

Metoda GPR funguje na principu sledování změn fyzikálních veličin v prostoru měřeného prostředí, tzn. materiální rozdílnosti podloží (permitivit) a měrných odporů jednotlivých vrstev (nehomogenit). Je založena na principu opakovaného vysílání elektromagnetických impulsů (až 100 000/s) vysoké frekvence (od 10 MHz do 4 GHz) do zkoumaného prostředí a na zpětném příjmu jejich odezvy.

GPR anténa se pohybuje v trase měřeného profilu, přičemž vzdálenost mezi jednotlivými profilemi závisí na hloubce očekávaných těles, jejich rozměrech, umístění v prostoru a na zvolené frekvenci použité antény.



Přístrojové vybavení



Stíněné a nestíněné antény





Ukázka GPR techniky od švédské společnosti GEOSCIENCE MALÅ, kterou disponuje ÚAM FF MU: 1 – konzole pro vizualizaci, ukládání a předběžnou práci naměřených dat; 2 – vozík na umístění antény; 3 – GPR antény (vlevo anténa o frekvenci 500 MHz s připojenou centrální jednotkou, vpravo anténa o frekvenci 800 MHz).

Využití GPR v archeologii

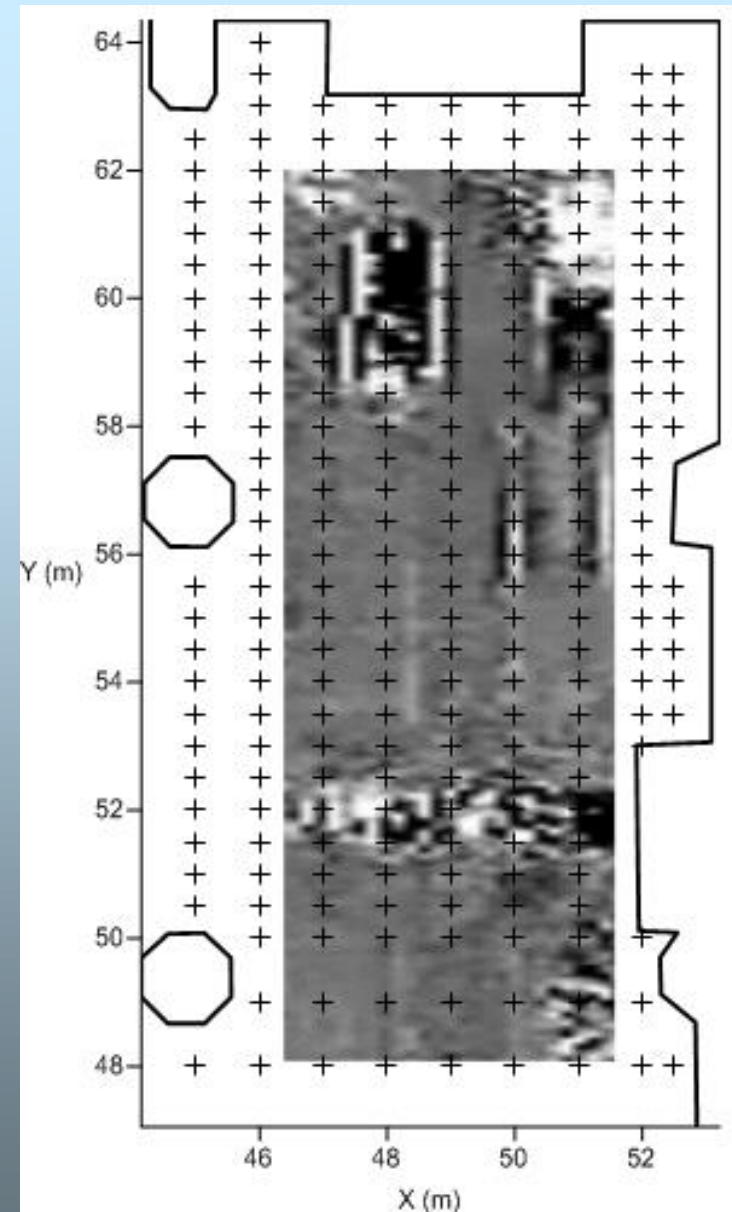
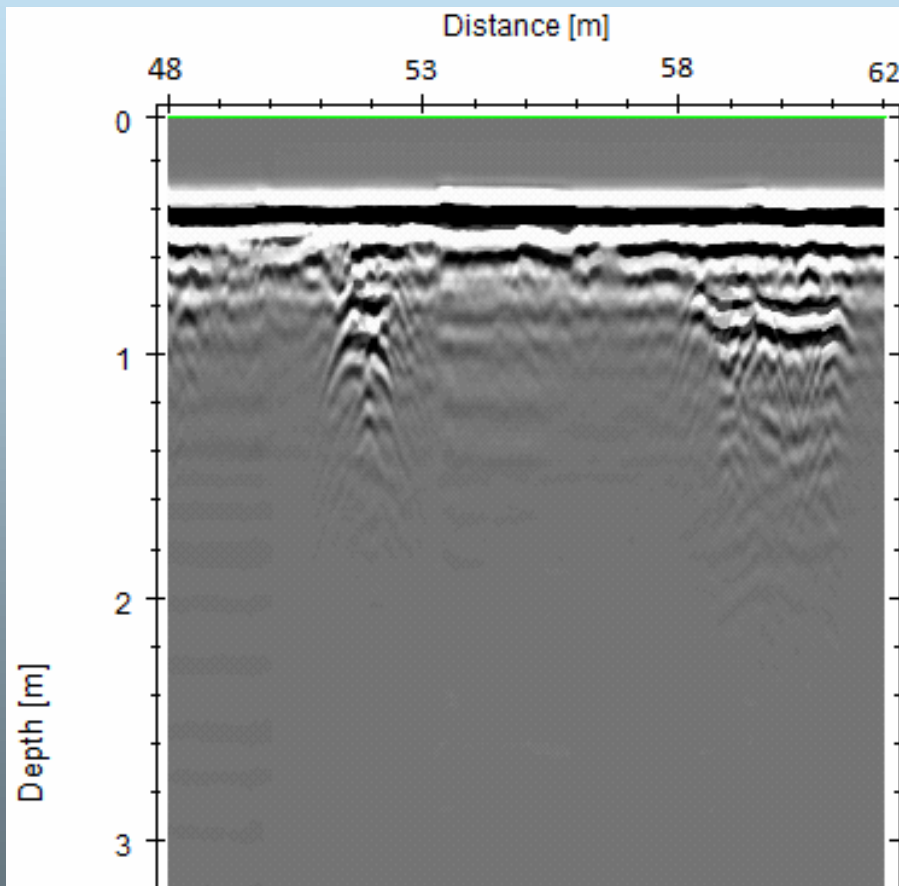
Neopevňená i opevňená sídliště, hradiště, tvrziště, hrady, města, sakrální stavby apod.:

- vyhledávání a rozlišení objektů **zděných a s kamennou konstrukcí**
- prokázání a průzkum **sídlíštních objektů** či **reliéfu podloží** ve **vícevrstevné složité archeologické situaci** hradů a měst
- rozlišení a průzkum sakrálních staveb, pravoúhlých struktur a dalších prvků **architektury s kamennou konstrukcí** (kláštery, hrady)



Pohřebiště

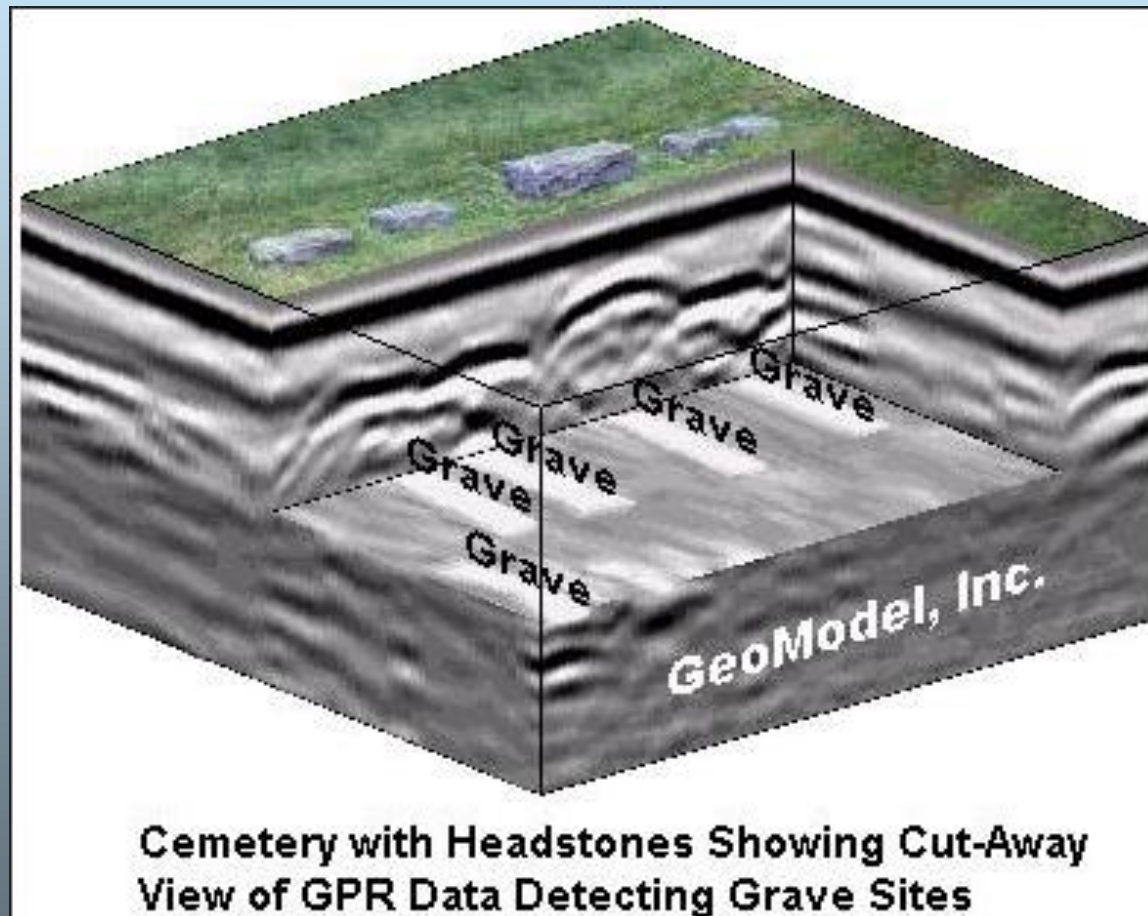
vyhledávání, podrobný průzkum a vymezení podzemních **zděných hrobek** (dutých i zasypaných) s efektivní možností průzkumu ve vícevrstevné složité archeologické situaci



Sv. Jur: Krypta v kostele Sv. Juraja vo Svätom Jure – Horizontální časový řez – 70 cm (použitá anténa o frekvenci 500 MHz).

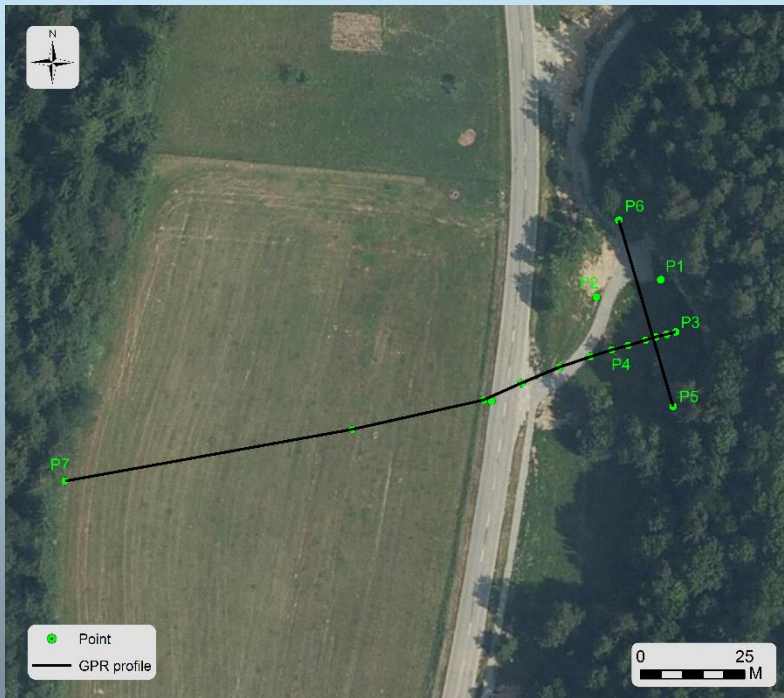
Pohřebiště

- průzkum **mohyl** s výraznou nadzemní částí, kamennou konstrukcí či očekávanou komorou
- identifikace a lokalizace **hrobů**



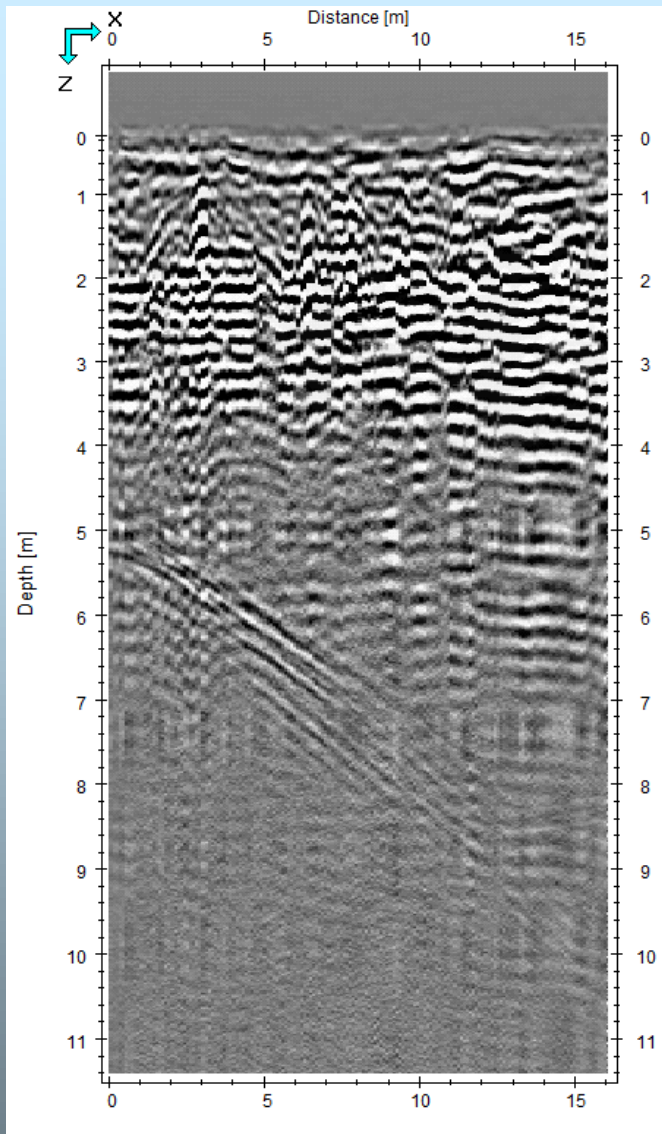
vyhledávání podpovrchově nezaplňených objektů (jeskyně) a dalších dutých prostor



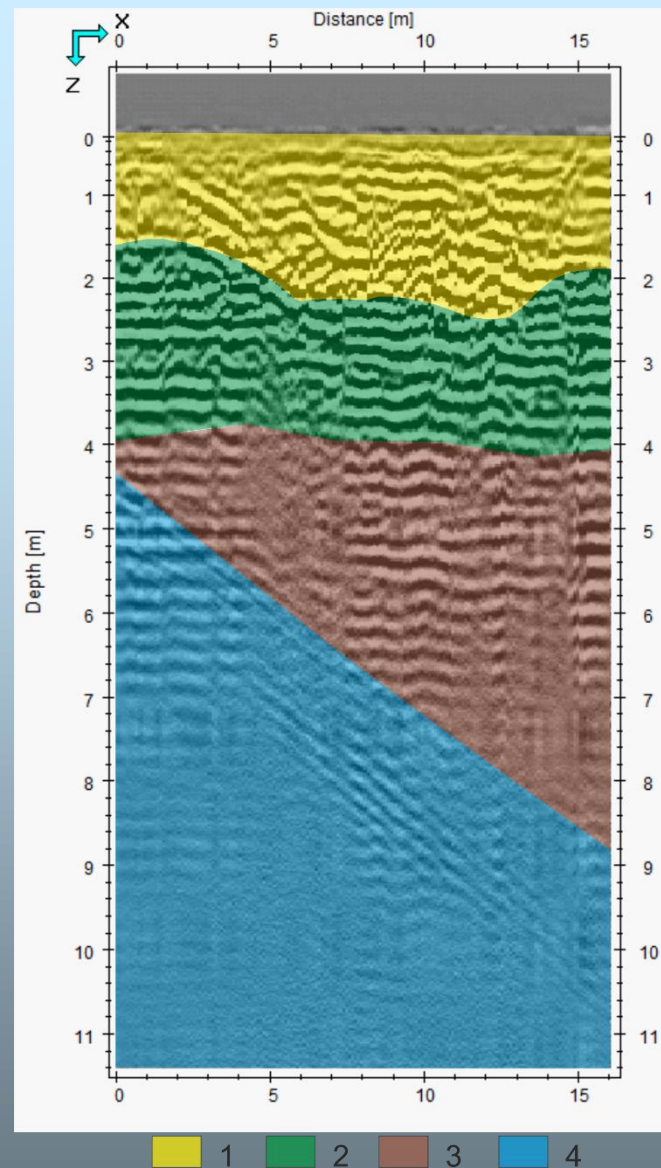
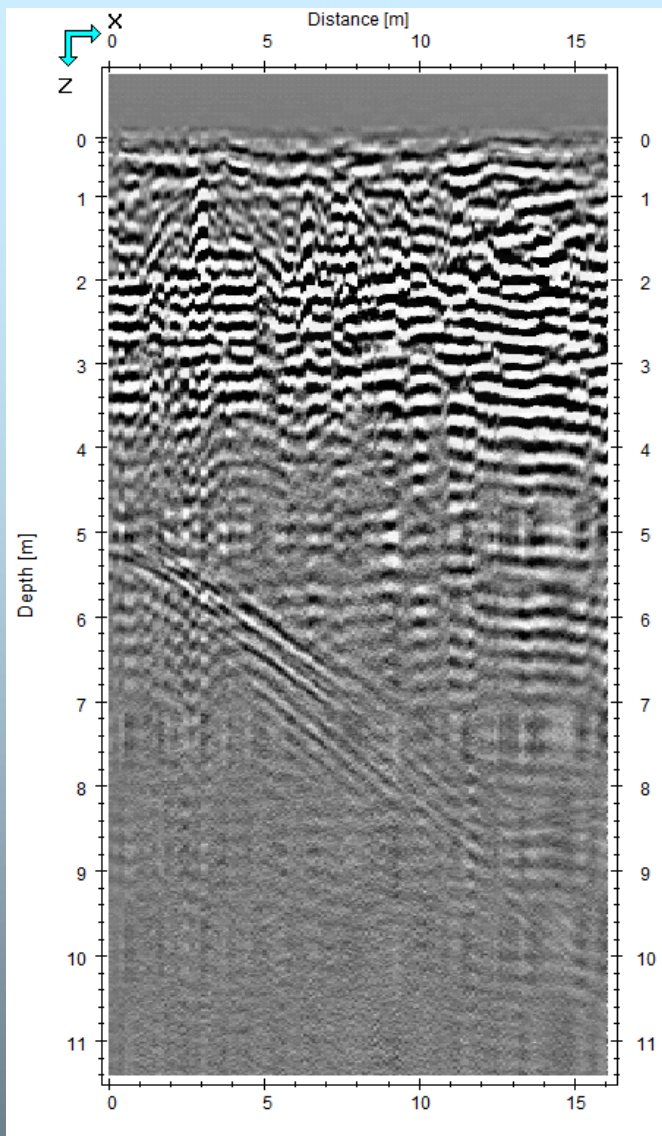


***Kůlna.** Poloha geodetických bodov a GPR profilov*

***Kůlna.** Priestor pred vchodom do jaskyne.*



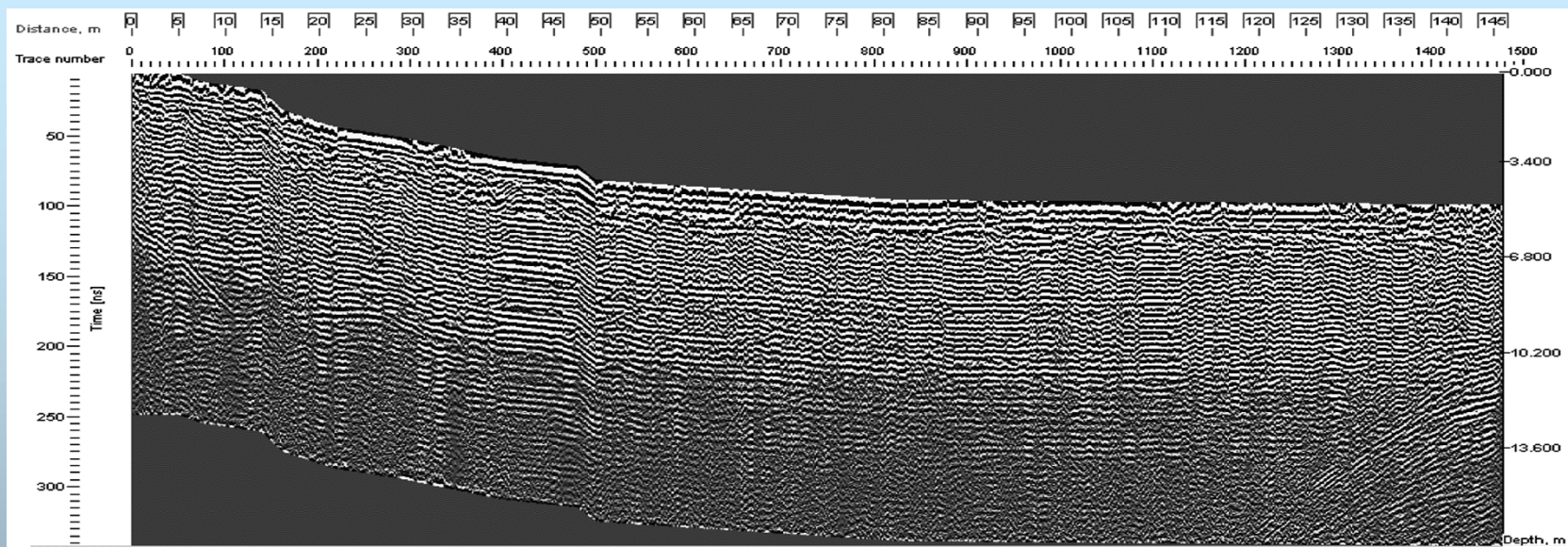
Kůlna. Radarogram na poli 1, profil 13 m.



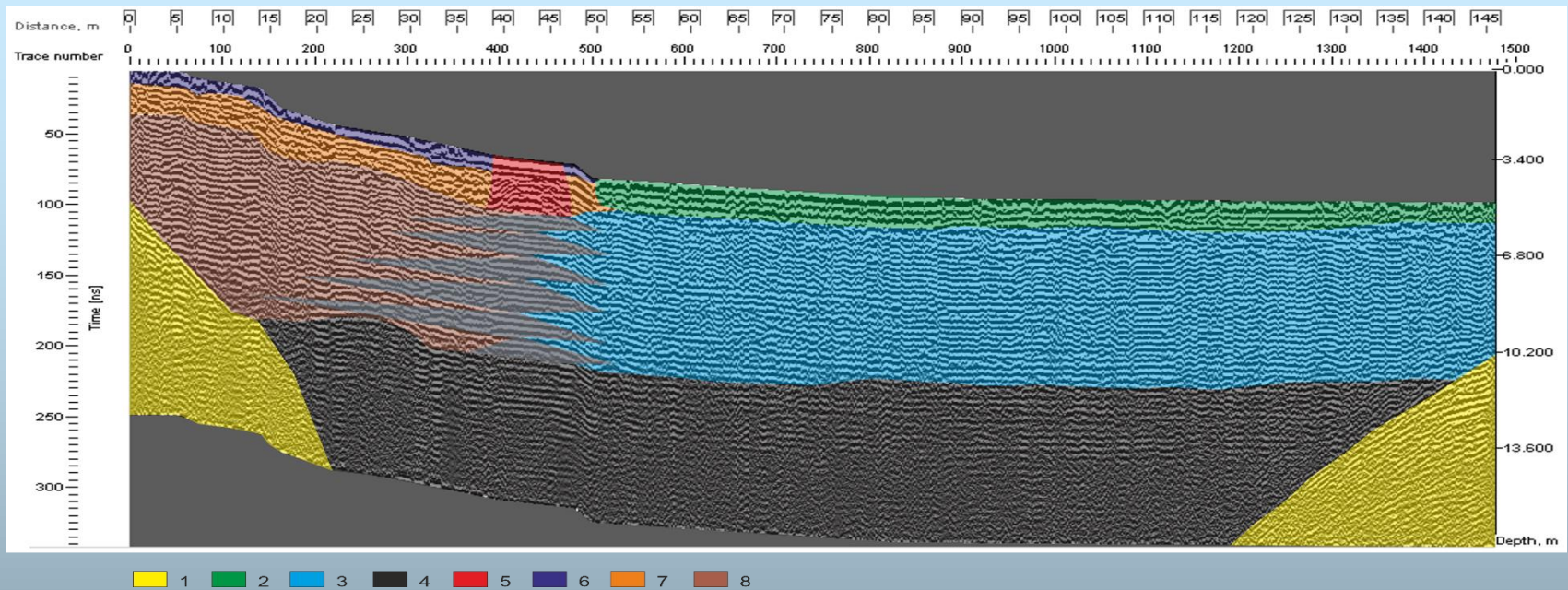
1 2 3 4

Kůlna. Radarogram na poli 1, profil 13 m.

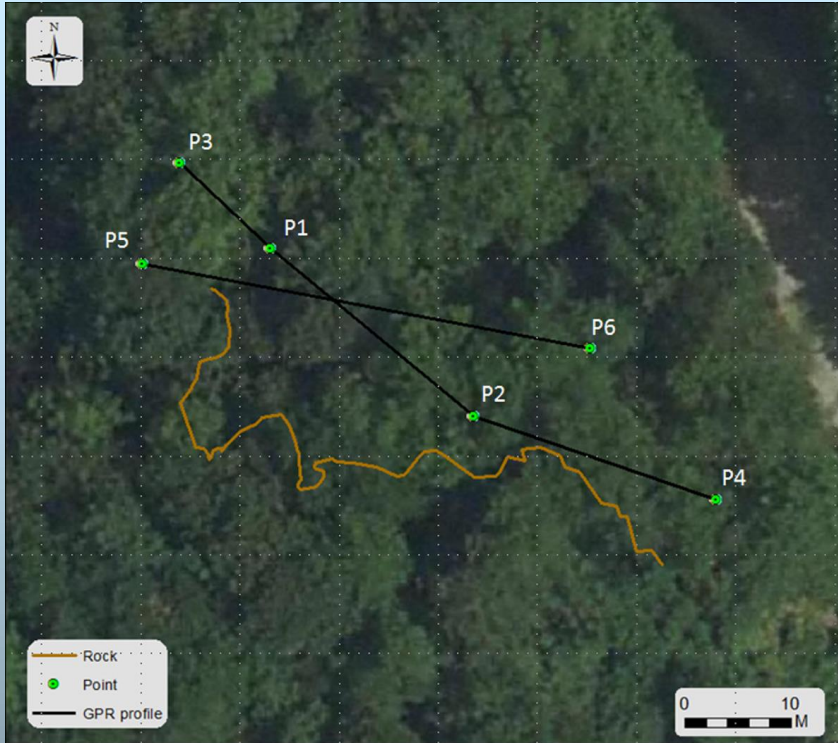
Kůlna. Interpretácia radarogramu na poli 1, profil 7 m. 1. mladé redeponované sedimenty, 2. eolické sedimenty s výrazným podielom vápencovej sute, 3. fluviálny sediment, 4. vápencový skalný masív.



Kůlna. Radarogram na profile P3 – P7 upravený podľa konfigurácie terénu.



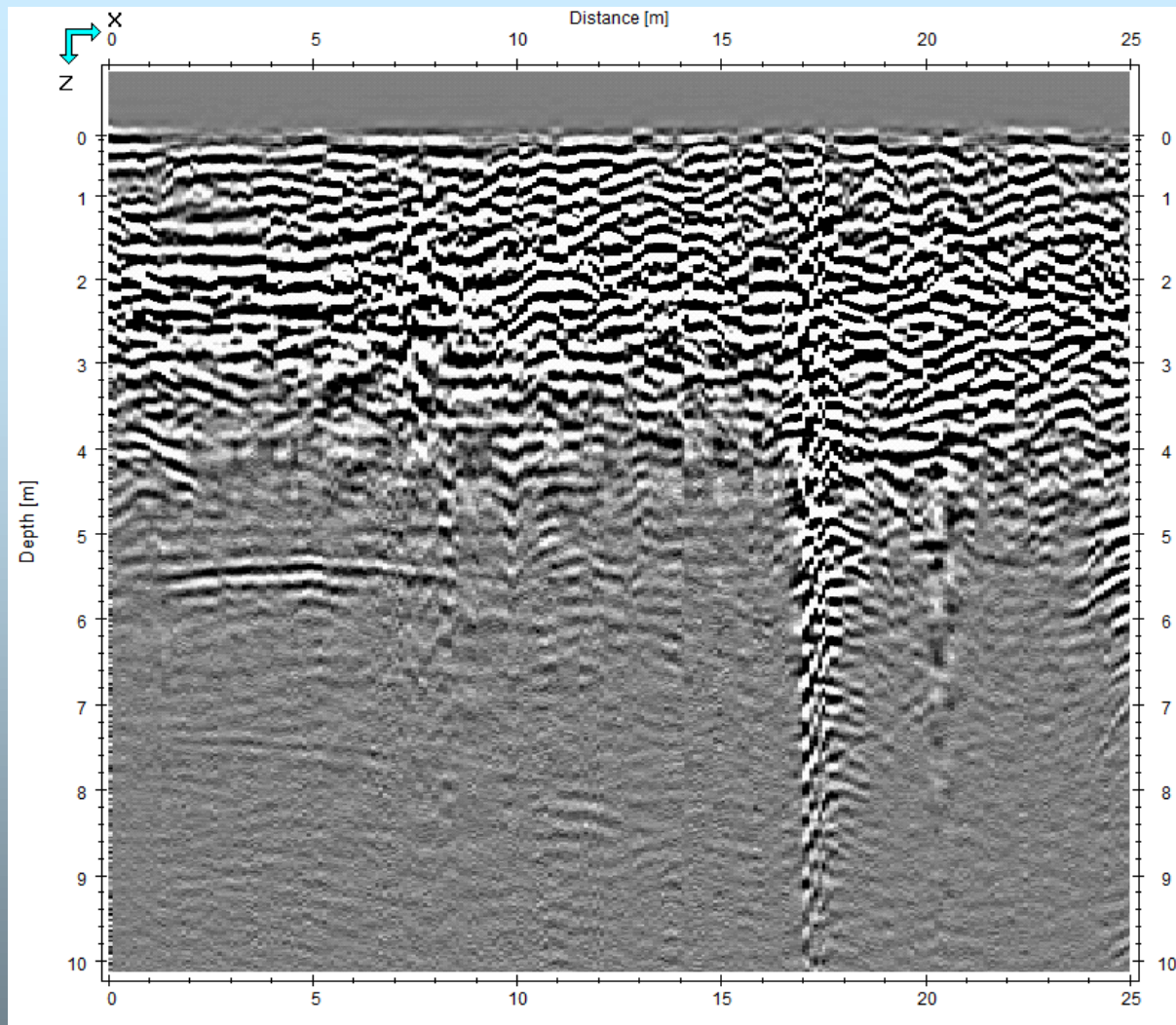
Kůlna. Interpretácia radarogramu na profile P3 – P7. 1. podložný vápencový masív 2. mladé, jemné fluviálne sedimenty, 3. fluviálne sedimenty s veľkým obsahom droby a kremeňa, 4. Spodné fluviálne sedimenty, 5. recentná asfaltová cesta, 6. mladé navážky, 7. recentne premiešaná suť, 8. vrstva tvorená zbytkami fluviálnych sedimentov a sute s početnými rôzne veľkými úlomkami rozpadnutých hornín.



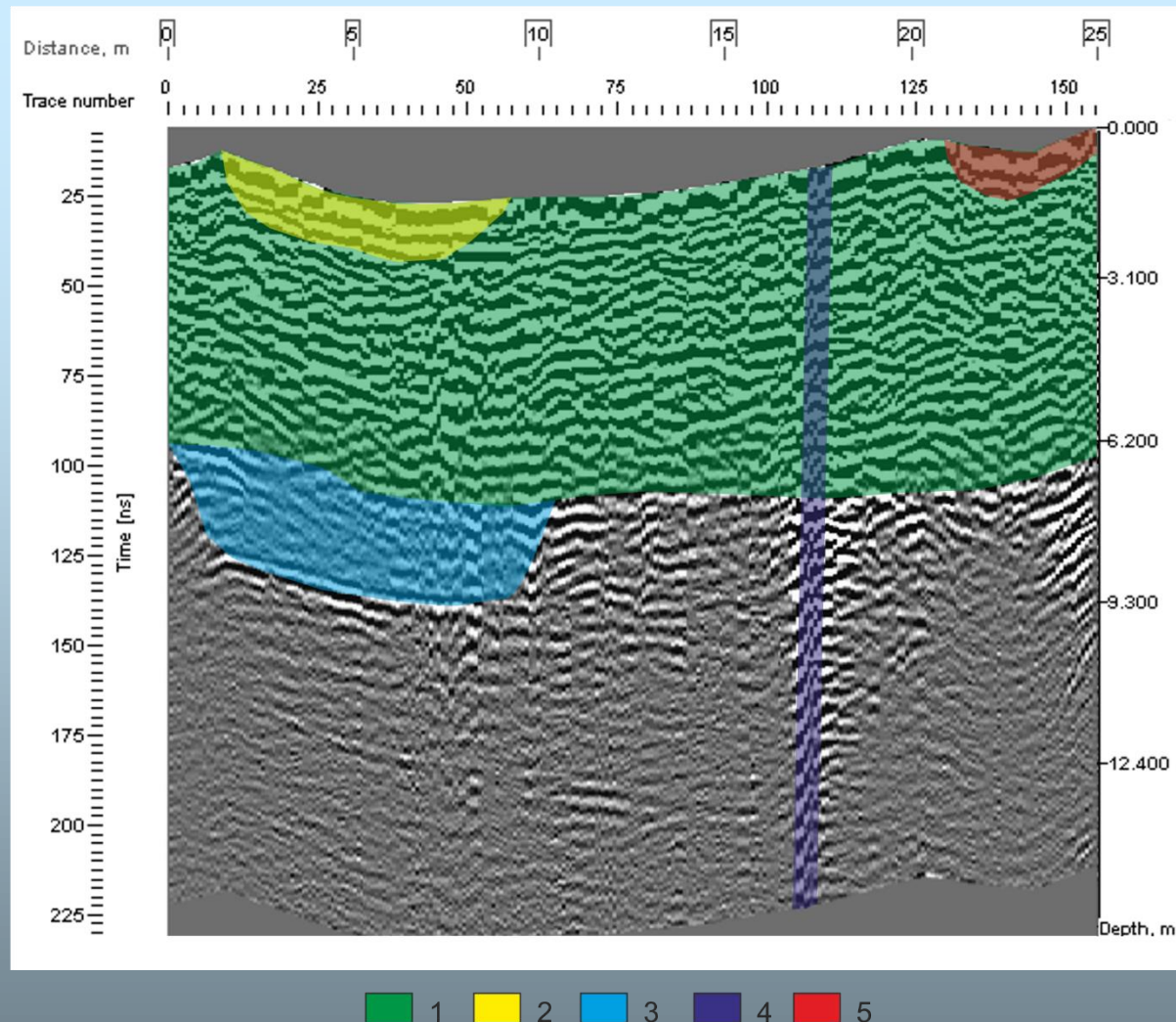
Výpustek. Poloha geodetických bodov, VES a GPR profilov.



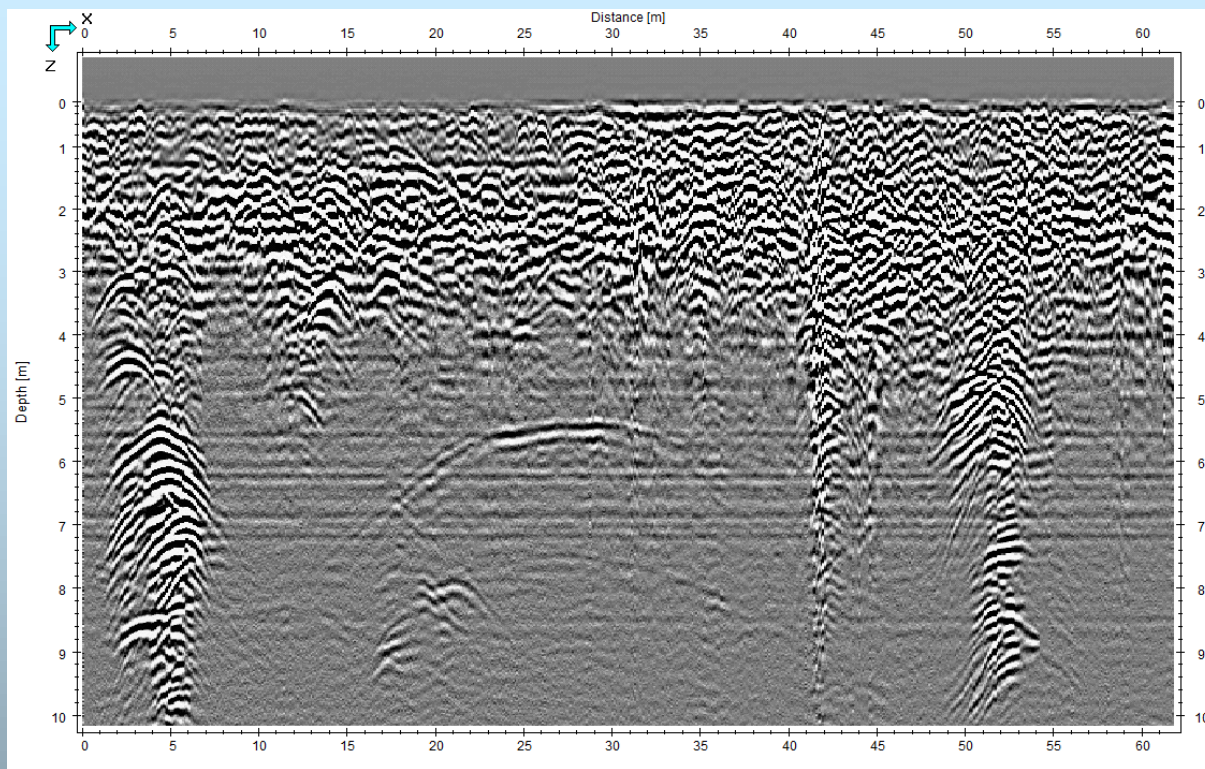
Výpustek. Bočný vchod do jaskyne, pri ktorom sa uskutočnil geofyzikálny prieskum.



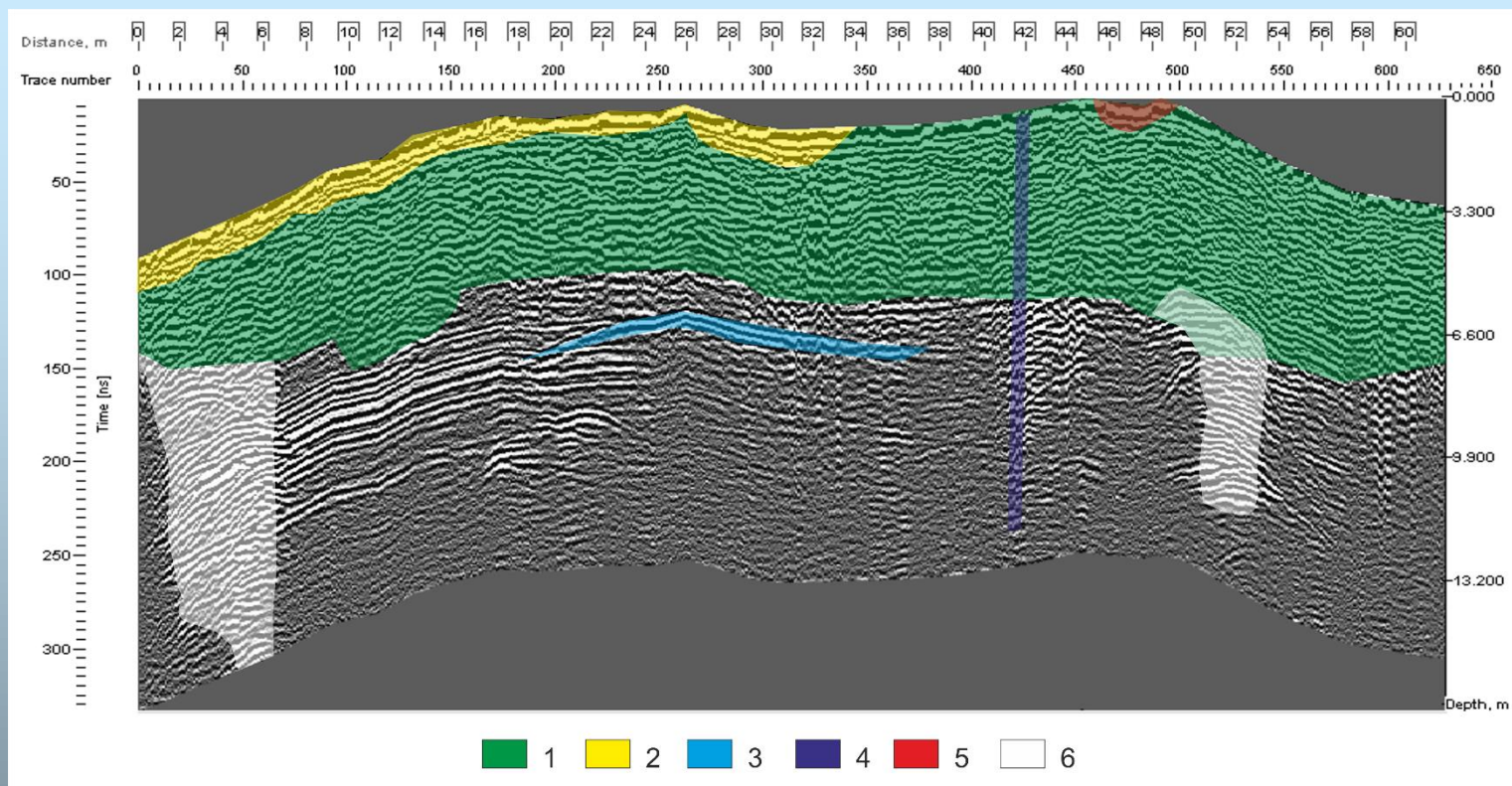
Výpustek. Pôvodný radarogram na profile P2 – P1.



Výpustek. Interpretácia radarogramu na profile P2 – P1. 1. redeponované sedimenty na báze eolických spraší s veľkým množstvom rôzne veľkých vápencových klastov, 2. najmladšia vrstva s homogénnym zásypom, 3. rozhranie dvoch vrstiev, štrbina?, 4. elektrické vedenie, 5. guľometné hniezdo z obdobia 2. svetovej vojny.



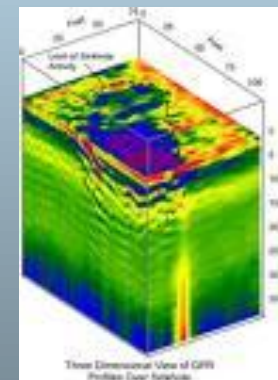
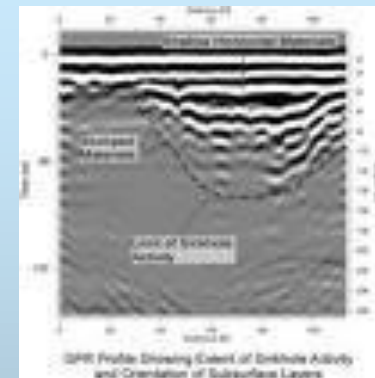
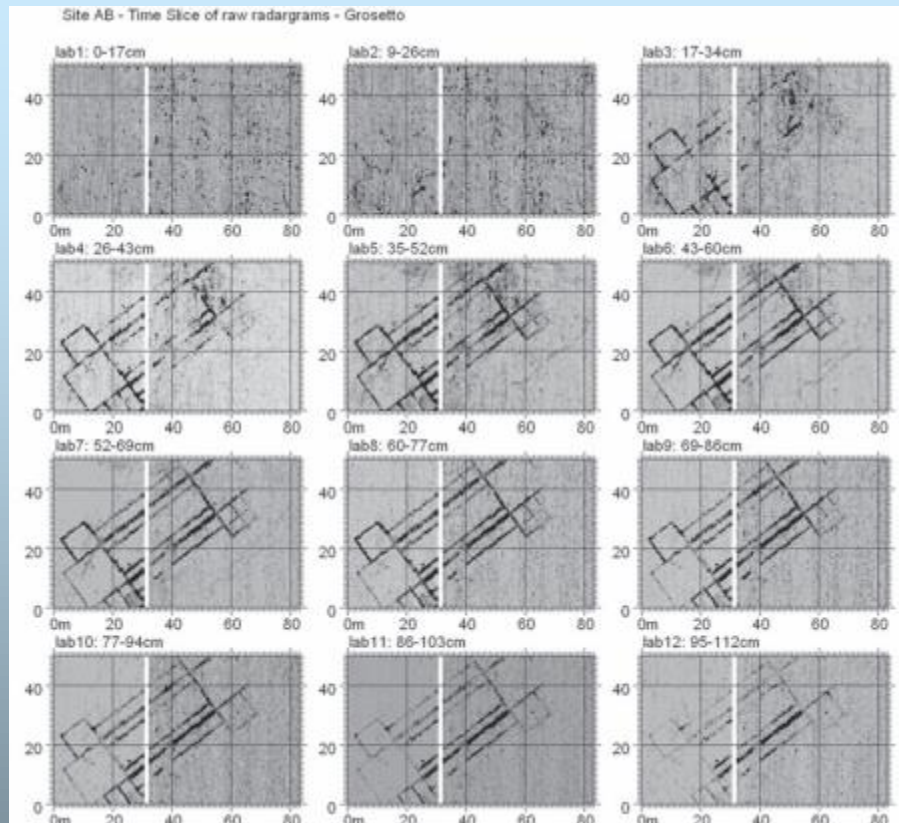
Výpustek. Pôvodný radarogram na profile P4 – P3.



Výpustek. Interpretácia radarogramu na profile P4 – P3. 1. redeponované sedimenty na báze eolických spraší s veľkým množstvom rôzne veľkých vápencových klastov, 2. najmladšia vrstva s homogénnym zásypom, 3. rozhranie dvoch vrstiev, štrbina?, 4. elektrické vedenie, 5. guľometné hniezdo z obdobia 2. svetovej vojny, 6. tektonické pukliny.



Výpustek. Poloha zaznamenaných tektonických puklín a ich predpokladaný priebeh na ploche pred bočným vchodom do jaskyne.



400 MHz GPR time slices - radargram z lokalít A a B Aiali (Grosseto).