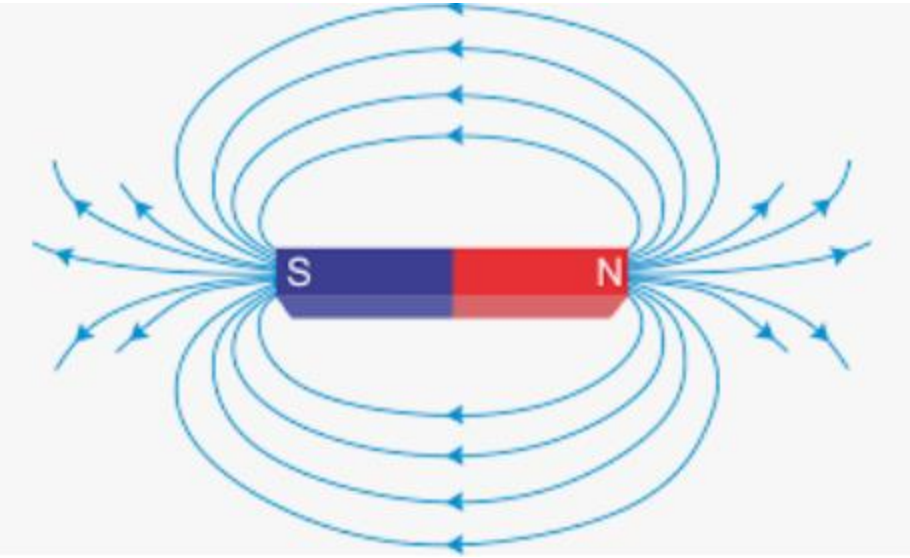
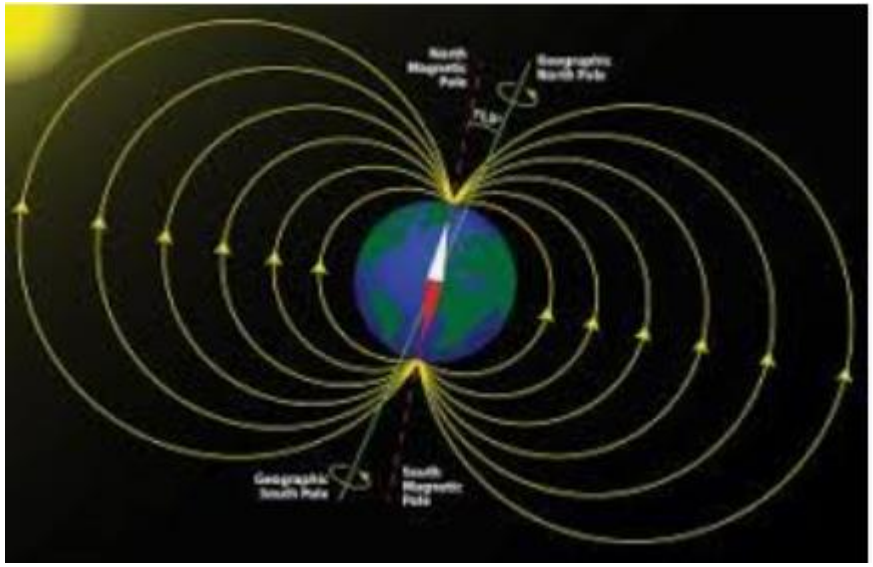




Metódy archeo-geofyzikálneho výskumu – Magnetometria

Meranie magnetického poľa Zeme
s cieľom detekcie archeologických objektov

Magnetometria

Obsah:

- úvod do teórie magnetického poľa,

- magnetické vlastnosti látok,

- základy magnetometrie,

- prístroje na meranie magnetického poľa,

- spracovanie a interpretácia magnetom. údajov.

Magnetometria – historický vývoj (1/3)

- magnetometria:

  zo starogréckeho *magnés lithos* (magnetit)

  + *metrein* (merať)

- pojem "magnet" pravdepodobne pochádza z diela starého rímskeho autora Plínia (*Natural history*), ktorý popisuje príbeh pastiera Magnesa, ktorý si všimol, že železné špičky na nohách oviec sa "lepia" sa určitý druh horniny (silne obohatenej o magnetit),
- na tento druh interakcie upozorňoval Tháles (624–546 p.K)
- kompas sa používal už v starovekej Číne,
- prvá zmienka o kompase v Európe pochádza zo 4. stor.

Magnetometria – historický vývoj (2/3)

- William Gilbert: prvé úvahy o Zemi ako o slabom magnete,
- Carl Friedrich Gauss: prvý matematický opis ZMP
- Hans Christian Oersted: prvý si všimol vzťah medzi el. a mg. poľom
- André M. Ampére a Michael Faraday: dôležité pokusy a zákony
- mnohí mnohí ďalší…

William Gilbert (1540-1603)

Carl F. Gauss (1777-1855)

Hans Ch. Oersted (1777-1851)

Andre M. Ampere (1775-1836)

Michael Faraday (1791-1869)

Magnetometria – historický vývoj (3/3)

- žiaľ najviac využitia – vo vojenskom prieskume
- viacerí geofyzici od 50.- 60. rokov 20. storočia sa pokúšali o využitie magnetometrov (pôvodne vyvinutých na vojenské účely) v geologickom a archeologickom prieskume
- mená ako Martin Aitken, John Stanley, a mnohí ďalší…

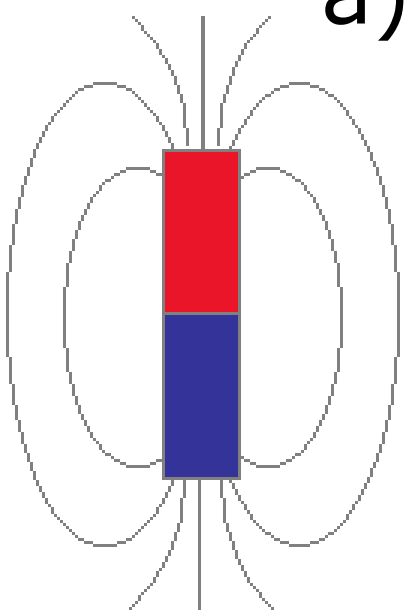
Čo je to magnetické pole?

Magnetické pole vplýva na iné magnety a vzniká v okolí:

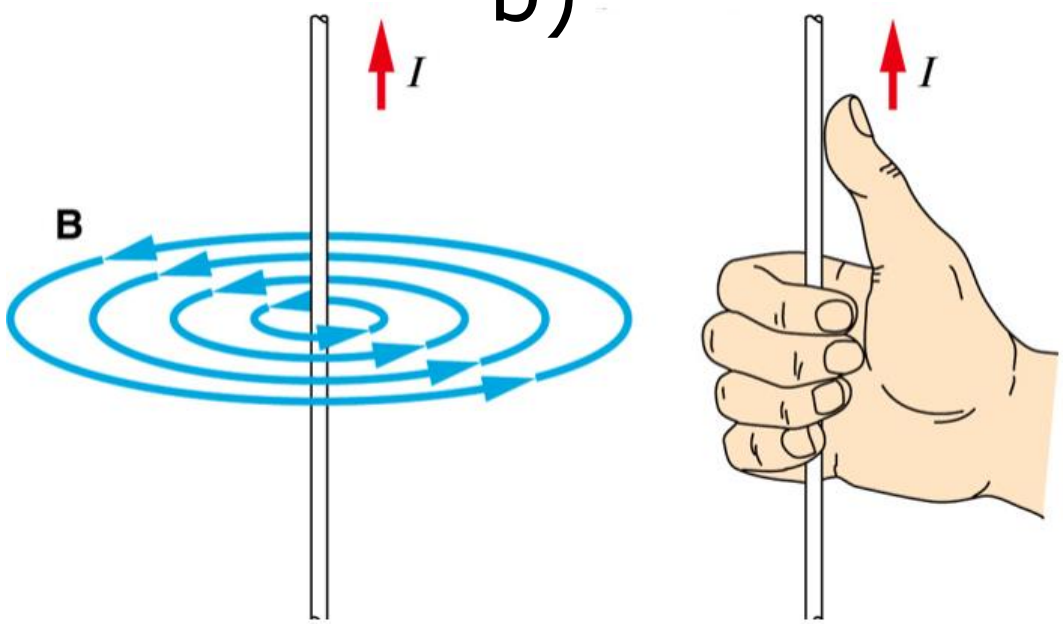
a) premanentných magnetov a

b) vodičov vedúcich elektrický prúd.

a)



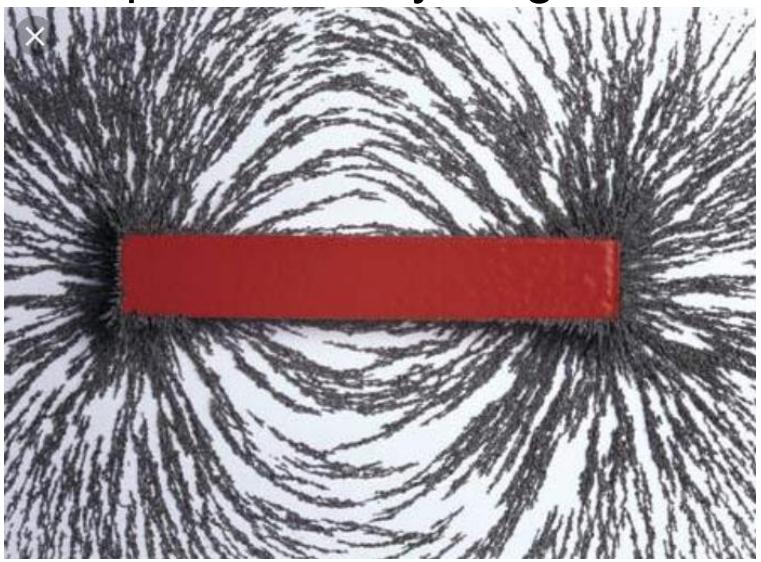
b)



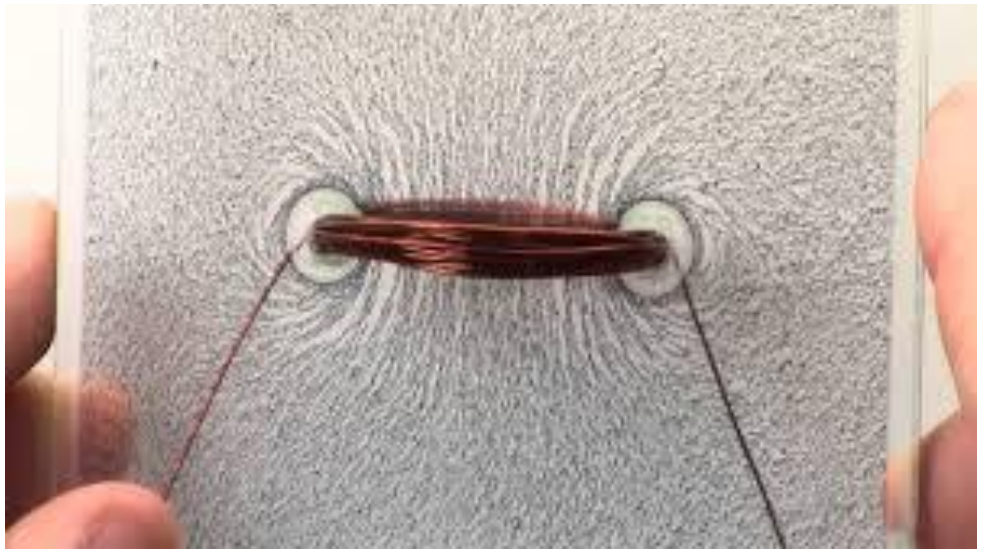
… a pôsobí tzv. magnetickou silou F_M – obdobnou, ako je aj mechanická sila (dokáže rozpohybovať rôzne telesá).

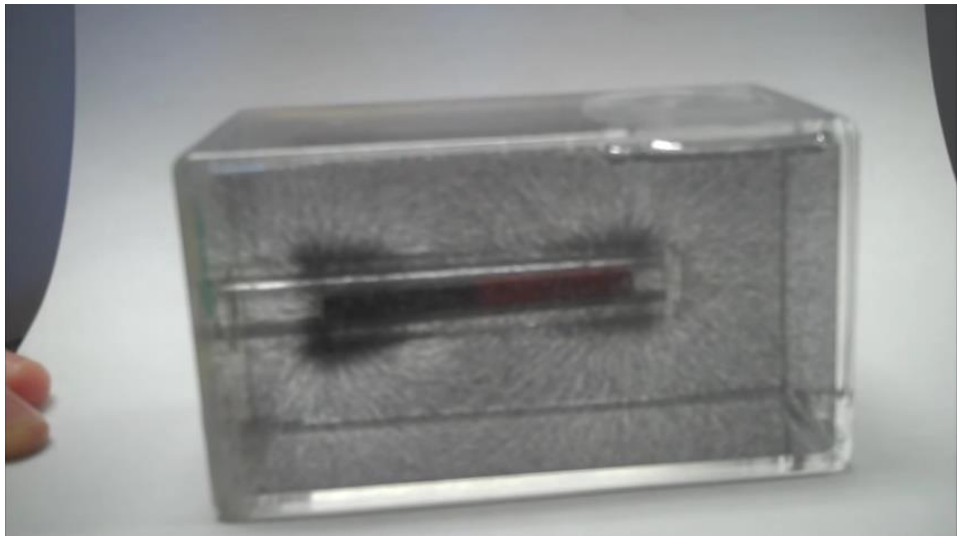
pokusy so železnými pilinami

permanentný magnet



vodič s elektr. prúdom

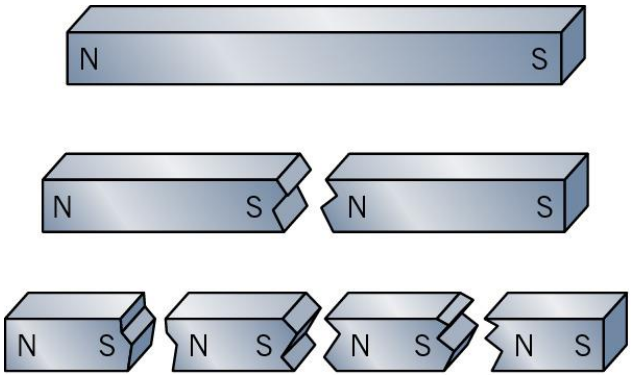


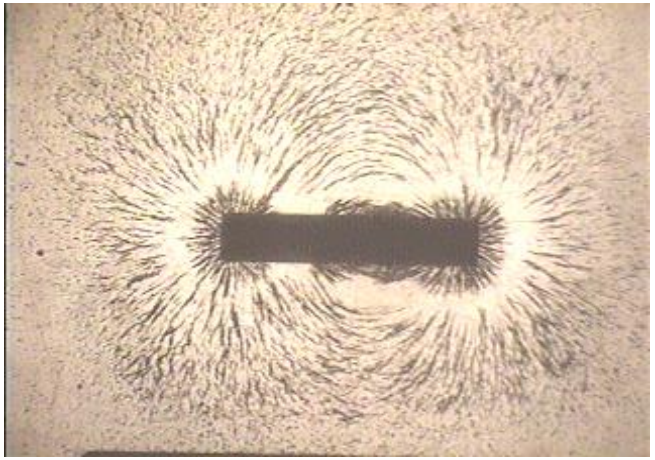


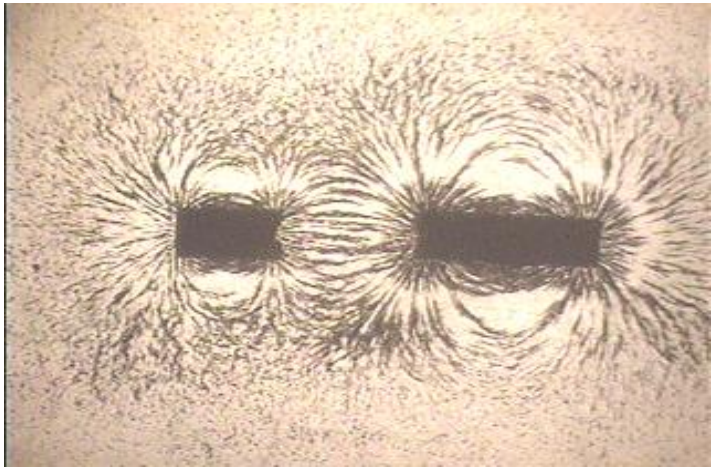
video: https://www.youtube.com/watch?v=8llkHQtaOlg

Magnety majú za každých okolností vždy 2 póly:
kladný a záporný = severný a južný (N a S),

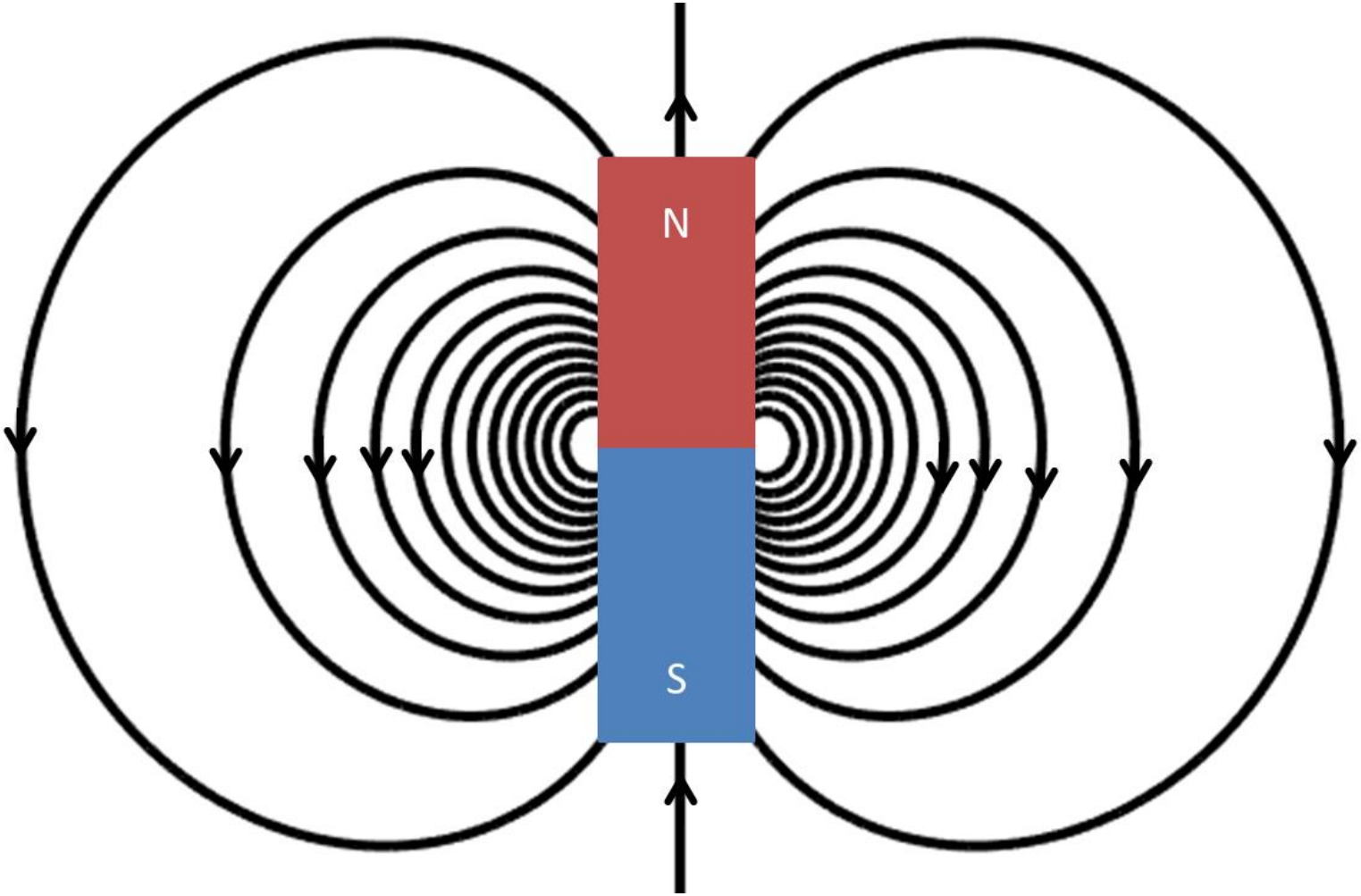
vravíme, že magnetické pole má tzv. <u>dipólový charakter</u>







Magnetické pole pôsobí na určitú vzdialenosť (aj cez nemagnetické látky).



dipólový charakter magnetického poľa

magnetické pole

V okolí permanentných magnetov a elektrických vodičov vzniká magnetické pole. Popisujeme ho 2 veličinami.

Magnetická intenzita **H** (vektorová veličina, jednotka, [$A \cdot m^{-1}$]).
Popisuje mieru silových účinkov magnetického poľa.
Nezahŕňa reakciu látky, ale iba účinok „vonkajších" zdrojov poľa.

Magnetická indukcia **B** (vektorová veličina, [T]).
Charakterizuje silové účinky magnetického poľa na látku, pričom v sebe zahŕňa jej reakciu na vonkajšie pole (jej zmagnetizovanie alebo pôsobenie proti nemu).

V geofyzikálnom prieskume meriame vždy veličinu **B**.
Ale označujeme ju často ako **T**. ;-)
Používaná jednotka: [nT].

Alternative names for *B* and *H*

B	
name	**used by**
magnetic flux density	electrical engineers
magnetic induction	electrical engineers
magnetic field	physicists
H	
name	**used by**
magnetic field intensity	electrical engineers
magnetic field strength	electrical engineers
auxiliary magnetic field	physicists
magnetizing field	physicists

magnetické pole

Keď sa objekt zmagnetizuje vo vonkajšom magnetickom poli, tak sa stane “novým magnetom”. Hovoríme vtedy o tzv. indukovanej magnetizácii.

Po zrušení vonkajšieho magnetizujúceho poľa sa táto magnetizácia taktiež zruší. Ak však zostane (“zapamätaná”), ide o tzv. remanentnú magnetizáciu.

magnetické vlastnosti látok

reakcie materiálov na magnetické pole

Rôzne materiály (objekty) reagujú na pôsobiace magnetické pole rôzny, spôsobom – buď sa bránia jeho vplyvu alebo sa ním nechajú zmagnetizovať.

Schopnosť látky zmagnetizovať sa vyjadruje parameter, ktorý nazývame ako magnetická susceptibilita (κ - kappa).

V sústave jednotiek SI má magnetická susceptibilita tzv. bezrozmernú jednotku, uvádza sa to ako [jedn. SI] alebo skrátene iba [SI].

Hodnoty magnetickej susceptibility dosahujú pre bežné materiály veľmi veľké rozpätia - od 0.000001 po 20 [SI].

reakcie materiálov na magnetické pole

Podľa tejto vlastnosti delíme látky na:

diamagnetické, zoslabujú magn. pole (napr. voda, organické látky, ale aj niektoré kovy: Cu, Ag, Au, Hg, Bi,)

paramagnetické, zosilňujú magn. pole (napr. Al, Mn, Cr, Pt)

feromagnetické, výrazne zosilňujú magn. pole

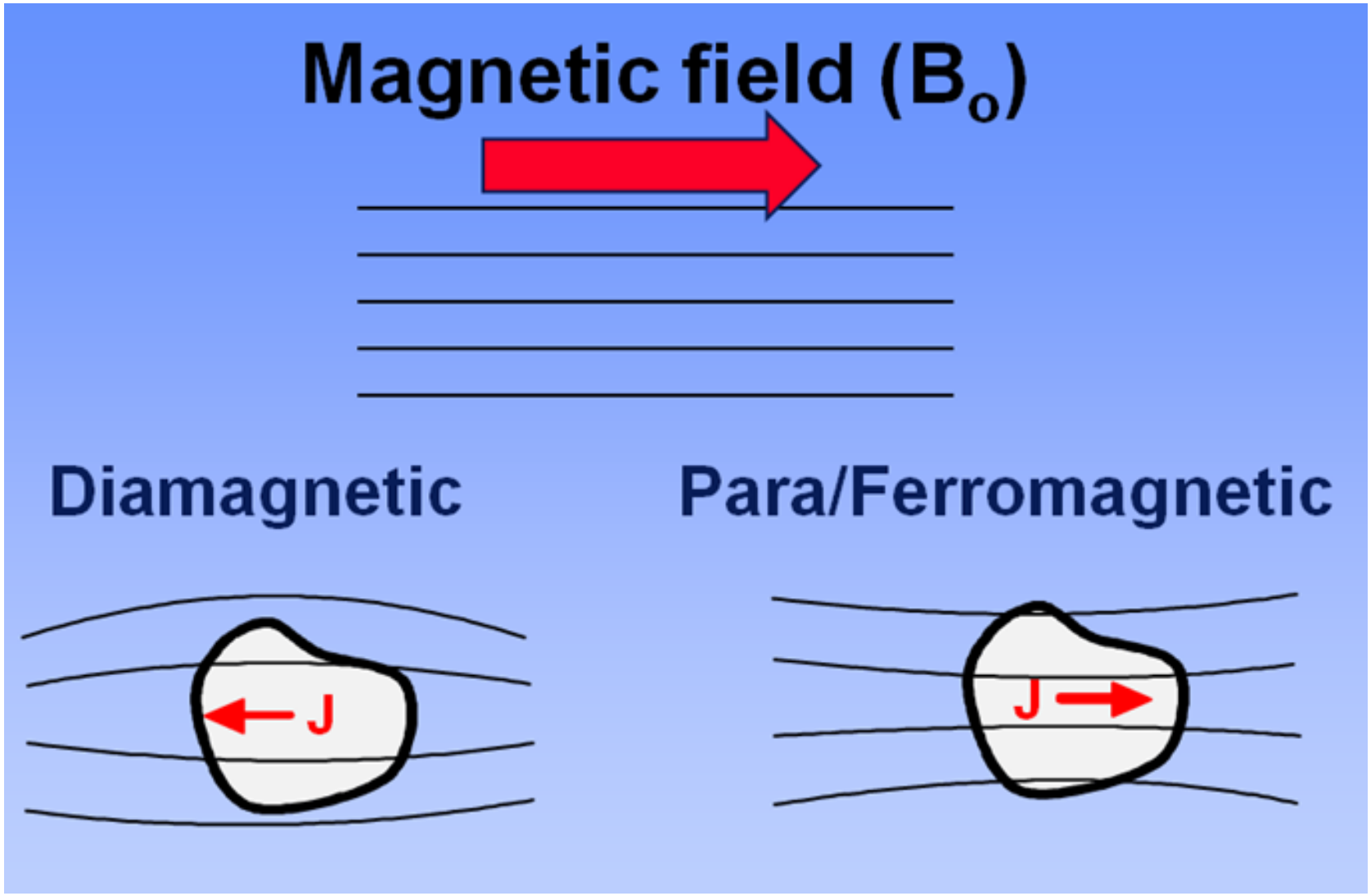
(4 kovy: Fe, Ni, Co, Gd).

Diamagnetické látky sú z magnetického poľa vypudzované, paramagnetické a feromagnetické sú naopak do magnetického poľa vťahované (pohyb smerom do miesta s najvyššou intenzitou poľa).

Feromagnetické látky sú schopné si magnetizáciu „zapamätať“ – zostáva im aj po „vypnutí“ vonkajšieho indukujúceho poľa.

Takáto zapamätaná magnetizácia sa nazýva ako tzv. remanentná magnetizácia.

reakcie materiálov na magnetické pole



reakcie materiálov na magnetické pole

$\kappa < 0$ – <u>diamagnetické látky</u> (minerály),
hodnoty: -10^{-6} až -10^{-5} [SI], napr.: kremeň,
vápenec, živce, grafit, sádrovec, halit, galenit

$\kappa > 0$ – <u>paramagnetcké látky</u> (minerály),
hodnoty: 10^{-5} až 10^{-3} [SI], napr. pyroxén, olivín,
amfibol, biotit, pyrit, siderit, muskovit,..

$\kappa >> 0$ – <u>feromagnetcké látky</u> (minerály),
hodnoty: 10^{-2} až 10^{+2} [SI], napr. magnetit,
titanomagnetit, maghemit, ulvöspinel,
hematit, ilmenit, göthit, …

Feromagnetické minerály sa nachádzajú v rudách, horninách, ale aj v pôde, dokonca sú výrazne koncentrované v humuse.

reakcie materiálov na magnetické pole

Paramagnetické materiály vytvárajú tzv. indukovanú magnetizáciu ($\mathbf{M}_i$) .

Feromagnetické materiály tzv. remanentnú magnetizáciu ($\mathbf{M}_r$) – “zapamätanú” alebo “vpálenú”.

Pomer $\mathbf{M}_i$ a $\mathbf{M}_r$ sa nazýva tzv. Königsbergerov koeficient ($Q = M_r/M_i$).

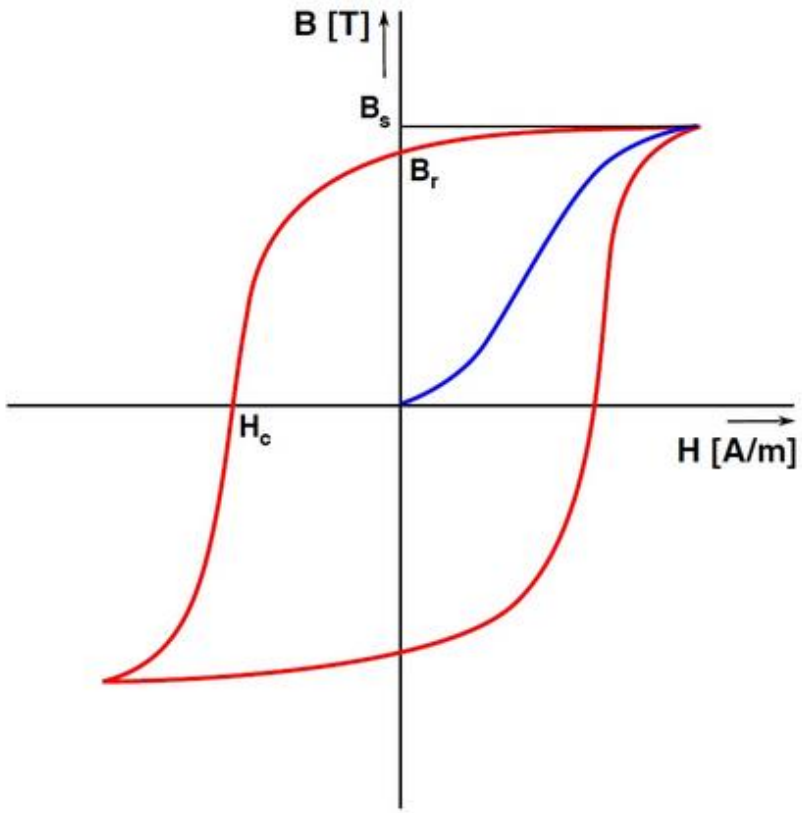
Pri niektorých materiáloch môže odsiahnuť až desiatky (dokonca aj stovky).

reakcie materiálov na magnetické pole

Paramagnetickým látkam nezostáva po „vypnutí“ vonkajšieho magnetického poľa jednotný magnetický moment.

V prípade feromagnetických je to rozdielne – zostávajú zmagnetizované. Hovoríme o tzv. remanentnej magnetizácii.

Tento jav opisuje magnetická hysterézia (slučka, krivka):

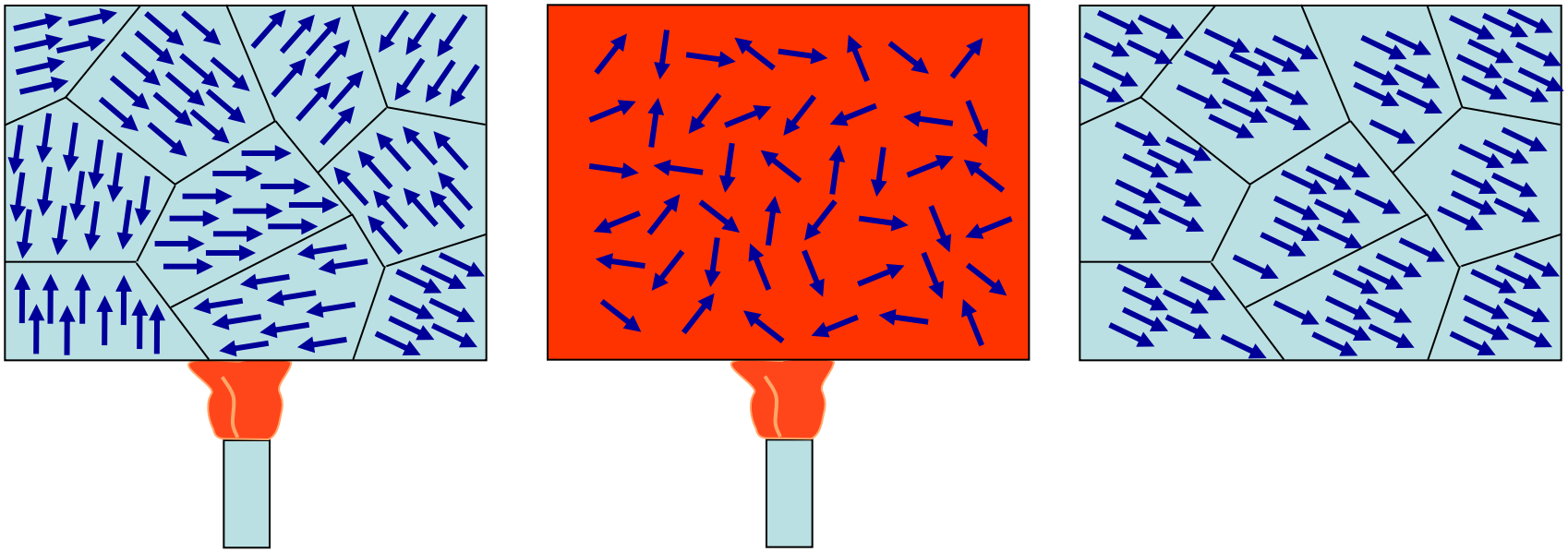


B_S – stav nasýtenia (max. hodnota B),
B_r – remanetná magnetizácia,
H_C – koercitívna intenzita,

Podľa veľkosti H_C delíme feromagnetické látky na magneticky mäkké (malá H_C) a tvrdé (veľká H_C)

feromagnetické látky

Pri zohriatí feromagnetickej látky na určitú teplotu (**Curieho teplota** – napr. pre magnetit cca. 580°C) sa látka zmení na paramagnetickú. Keď teplota poklesne, látka sa znova stane feromagnetickou a obnoví sa doménové usporiadanie.



Pozn.: Uvedená vlastnosť sa prejavuje aj pri vzniku magnetizácie pôd v miestach s pôsobením ohňa (ohniská, pece).

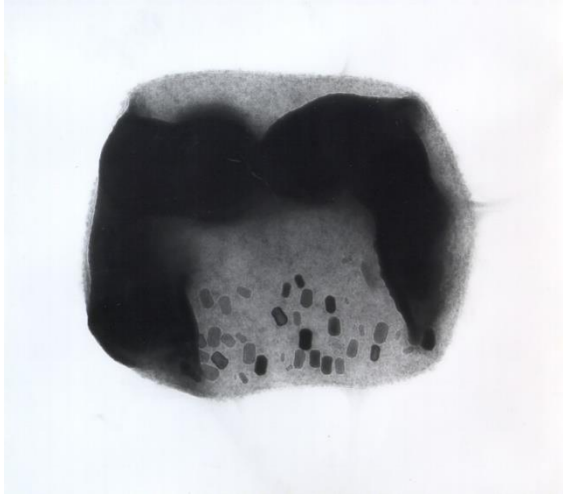
Curieho teplota:

Mineral	Composition	Magnetic Order	T_c(°C)	σ_s (Am^2/kg)
Oxides				
Magnetite	Fe_3O_4	ferrimagnetic	575-585	90-92
Ulvospinel	Fe_2TiO_2	AFM	-153	
Hematite	αFe_2O_3	canted AFM	675	0.4
Ilmenite	$FeTiO_2$	AFM	-233	
Maghemite	γFe_2O_3	ferrimagnetic	~600	~80
Jacobsite	$MnFe_2O_4$	ferrimagnetic	300	77
Trevorite	$NiFe_2O_4$	ferrimagnetic	585	51
Magnesioferrite	$MgFe_2O_4$	ferrimagnetic	440	21
Sulfides				
Pyrrhotite	Fe_7S_8	ferrimagnetic	320	~20
Greigite	Fe_3S_4	ferrimagnetic	~333	~25
Troilite	FeS	AFM	305	
Oxyhydroxides				
Goethite	$\alpha FeOOH$	AFM, weak FM	~120	<1
Lepidocrocite	$\gamma FeOOH$	AFM(?)	-196	
Feroxyhyte	$\delta FeOOH$	ferrimagnetic	~180	<10

magnetické minerály
(magnetit: 580 ºC)

magnetické minerály v pôde

Niektoré druhy baktérií (ktoré rozkladajú zelenú rastlinnú hmotu) Produkujú feromagnetické minerály (magnetit, maghemit), ktoré sa potom koncentrujú v humuse.



snímky z elektrónového mikroskopu

magnetické minerály v pôde (v humuse)

Niektoré druhy baktérií (ktoré rozkladajú zelenú rastlinnú hmotu) Produkujú feromagnetické minerály (magnetit, maghemit), ktoré sa potom koncentrujú v humuse.

stratigrafický rez vo výkope

magnetické minerály v pôde (v humuse)

Niektoré druhy baktérií (ktoré rozkladajú zelenú rastlinnú hmotu) Produkujú feromagnetické minerály (magnetit, maghemit), ktoré sa potom koncentrujú v humuse.

odkrytie výplne priekopy vo výkope

magnetické minerály v pôde (pôsobenie ohňa)

Niektoré druhy minerálov zvýraznia svoje koncentrácie a orientáciu v miestach, kde pôsobí oheň (ohniská, pece,…).

meranie s tzv. kappametrom v ohnisku

Magnetometria

Obsah:

- úvod do teórie magnetického poľa,
- magnetické vlastnosti materiálov,
- základy magnetometrie,
- prístroje na meranie magnetického poľa,
- spracovanie a interpretácia magnetom. údajov.

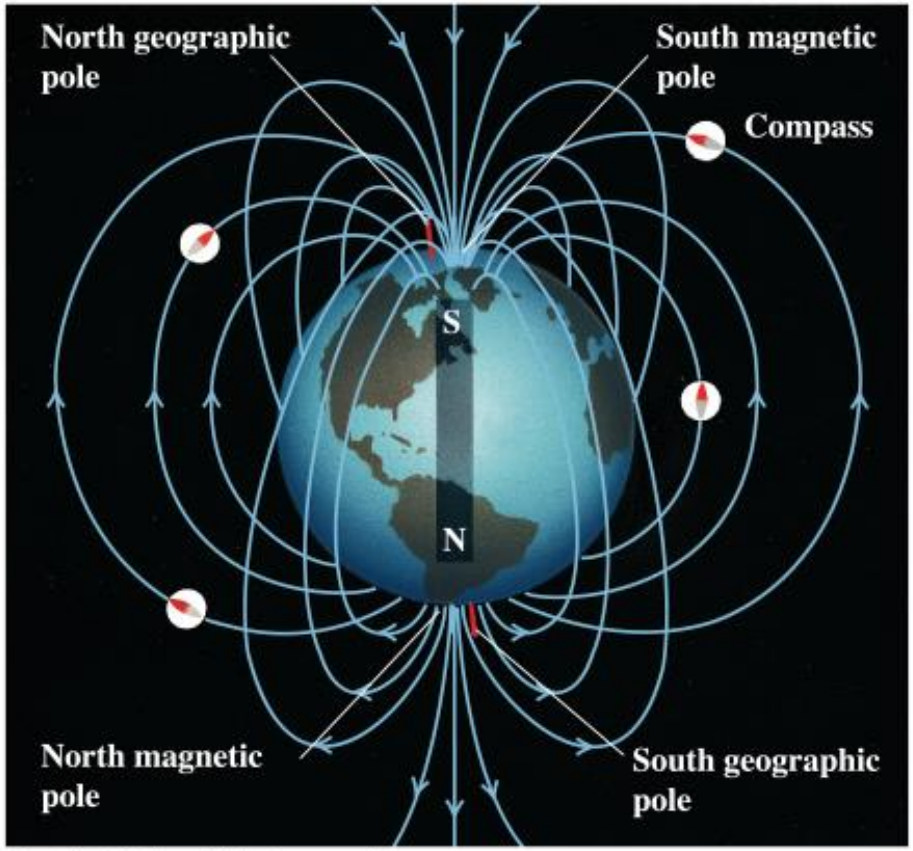
Základy magnetometrie

Úvodné poznámky:

- Patria medzi najstaršie geofyzikálne metódy
- Magnetické pole slúžilo najprv na navigáciu
- Prvým magnetickým prístrojom bol kompas (využívaný Číňanmi už od r.2637 pred n.l.)
- Spolu s geoelektrickými metódami sa najviac používa v archeológii
- Pravidelné merania ZMP prebiehajú už od r.1540

Zemské magnetické pole (ZMP)

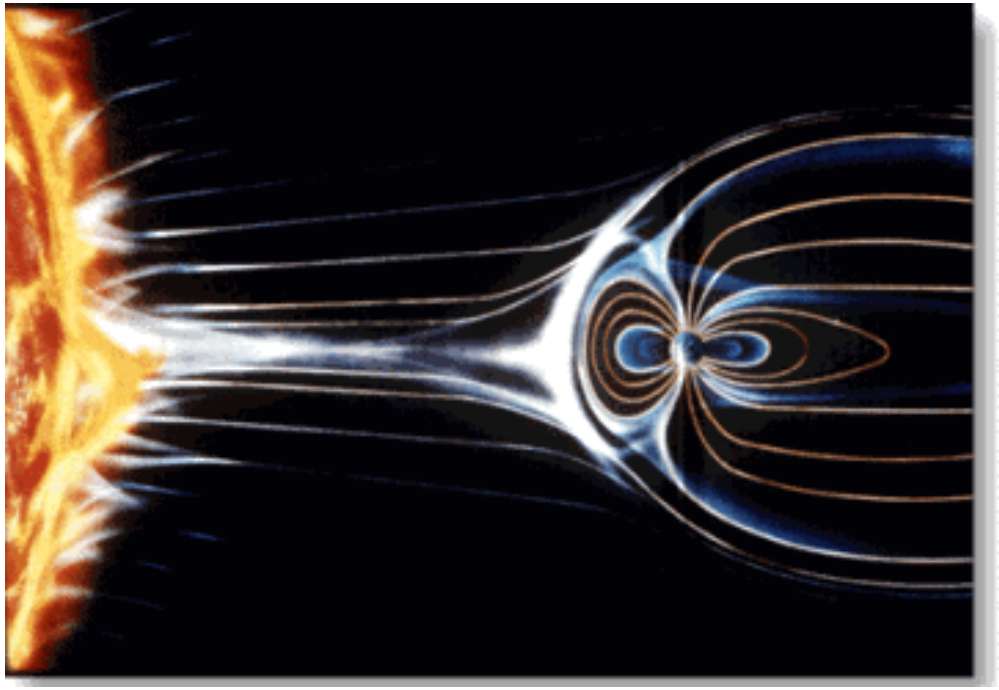
Základom jeho generovania je pohyb vodivých hmôt (elektricky nabitých častíc) vo vonkajšom jadre – tzv. hydromagneto-dynamické javy.

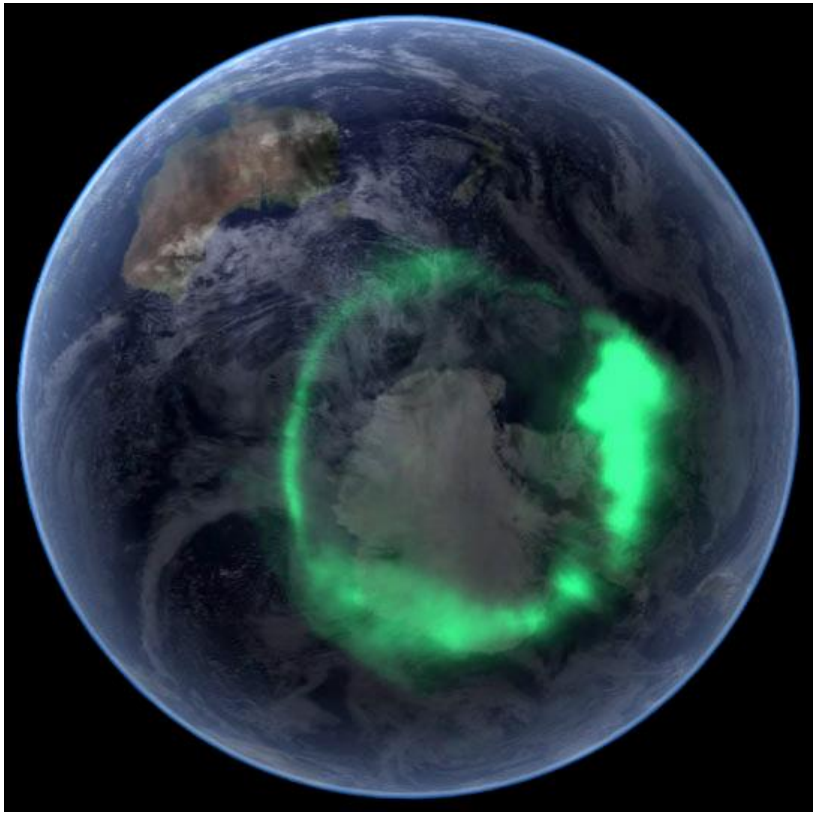


Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

Zemské magnetické pole (ZMP)

Z celoplanetárneho hľadiska sa zvykne hovoriť o magnetosfére – ktorá tvorí ochranný „štít“ Zeme pred tzv. slnečným vetrom (prúd vysoko energetických častíc, ktoré sú emitované z povrchu Slnka).





ZMP – časové zmeny

Príčina je vo vnútri Zeme:

- **Inverzia polarity**
(per. státisíce rokov, hlbinné procesy)

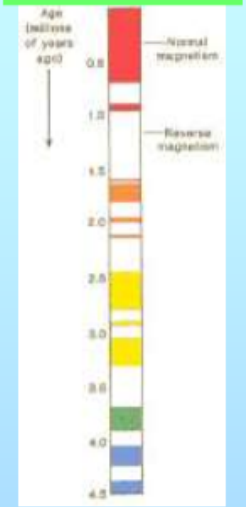
- **Sekulárne variácie.**
(per. ~ 500r, hlbinné procesy, až stovky nT)

Príčina je mimo Zeme:

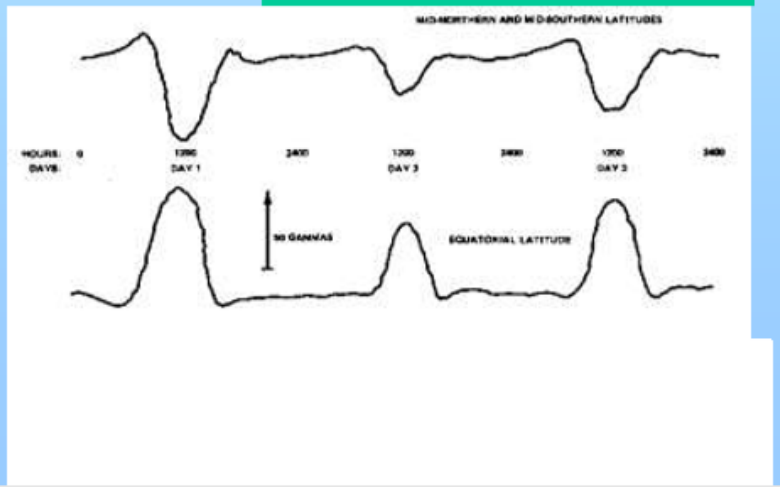
- **Denné v.**
(per. 1 deň, slnečná aktivita, desiatky nT)

- **Magnetické búrky**
(neperiodické, slnečné erupcie, až tisícky nT)

Inverzia ZMP

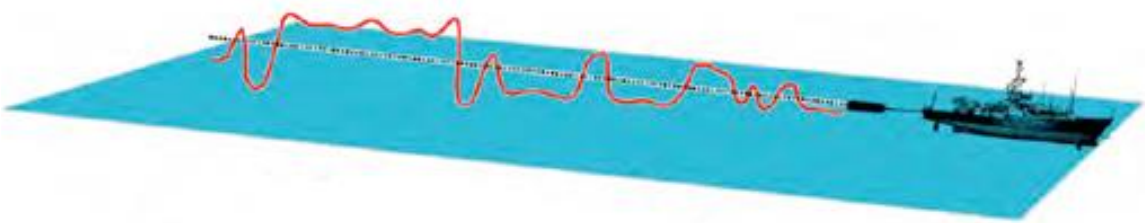


Denné variácie

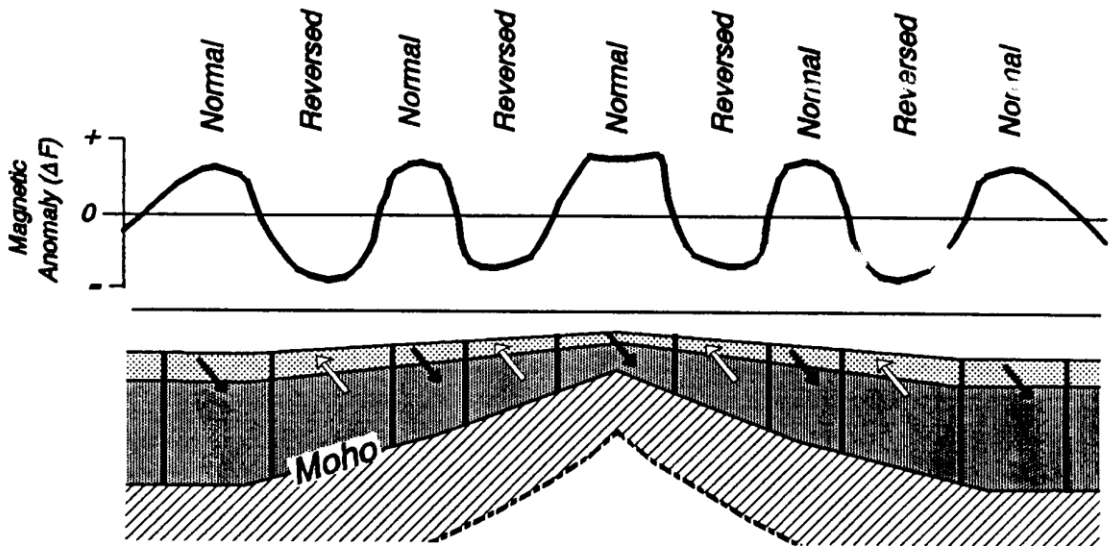


ZMP – časové zmeny

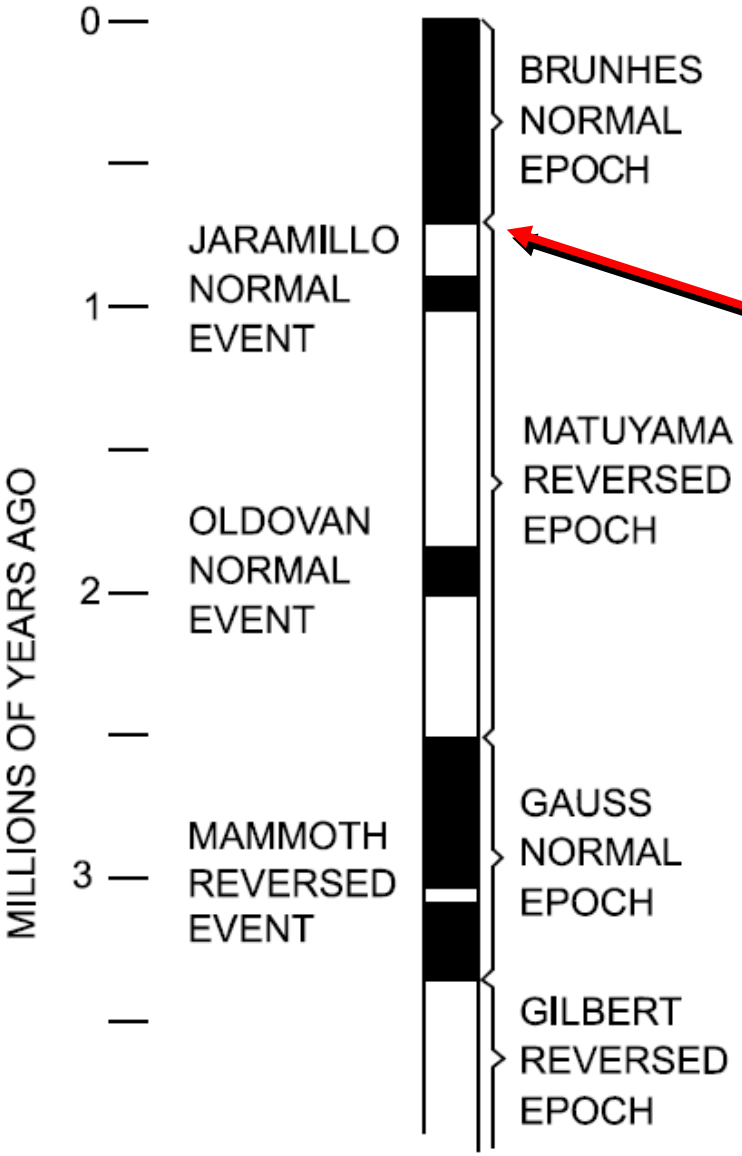
V priebehu historických dôb došlo ku niekoľkonásobnému prepólovaniu magnetických pólov – ku tzv. inverzii.



merania v priestore Atlantického oceánu (Rald and Mason, 1961)



Zemské magnetické pole (ZMP)



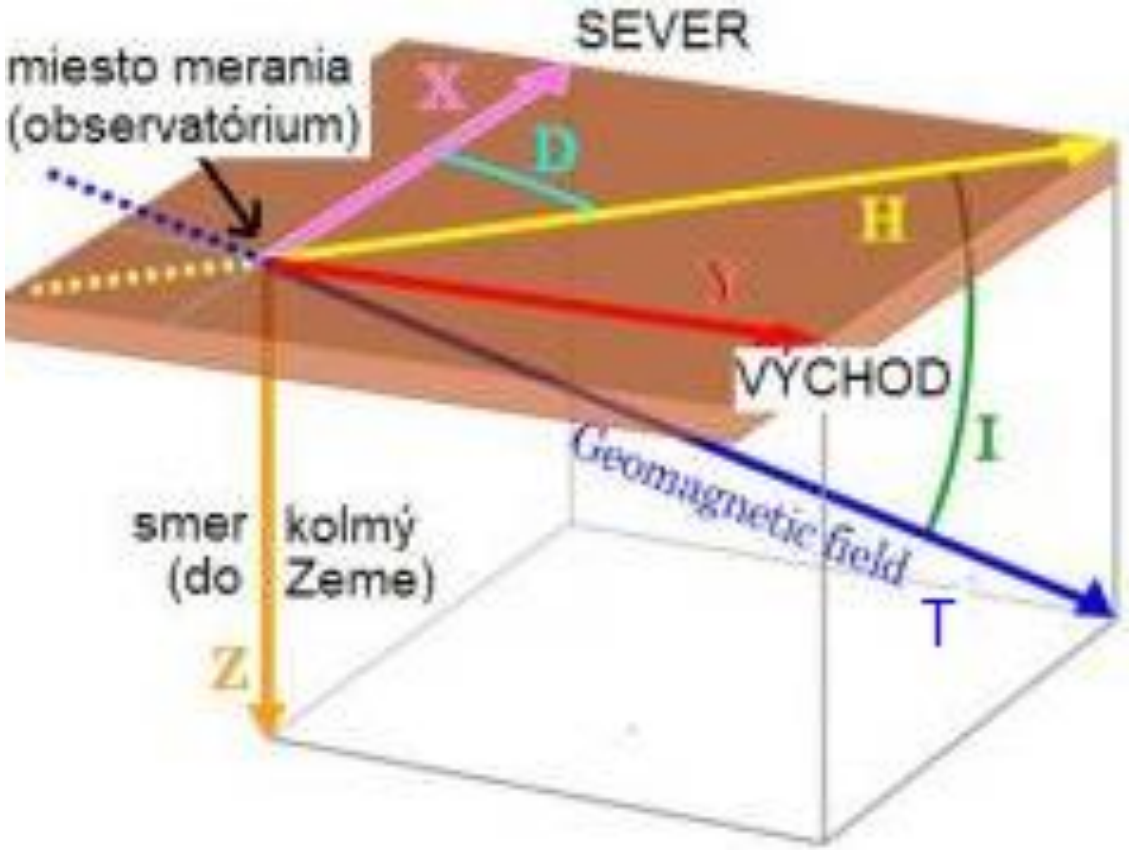
- perióda prepólovania sa pohybuje v rozmedzí hodnôt rádovo tisíce rokov až milóny rokov – v priemere 250.000 rokov,

- v súčasnosti sa nachádzame v tzv. Brunhesovej normálnej epoche, ktorá začala pred cca 780.000 rokmi,

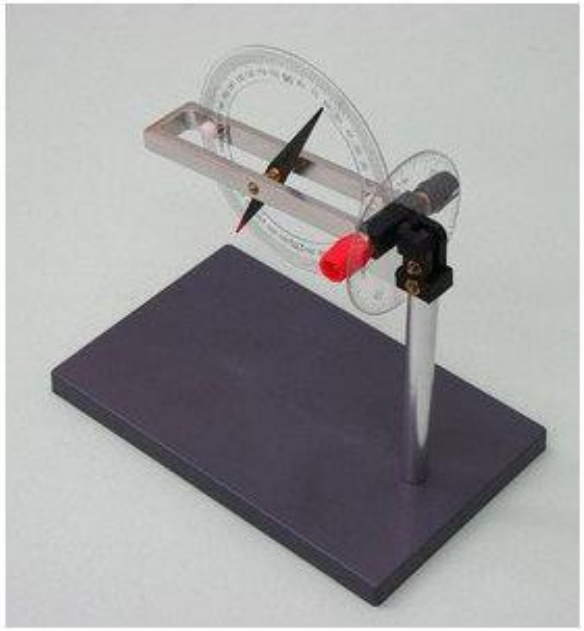
samostatné odvetvie geofyziky – paleomagnetizmus a archeomagnetizmus

Zemské magnetické pole (ZMP)

GEOGRAF.



MAGN.
SEVER



<u>Hlavné parametre (veličiny) ZMP:</u>

T – totálny vektor magnetickej indukcie

H, X, Y, Z – sú jeho zložky

I – inklinácia, D – deklinácia (dôležité uhly)

magnetometria – prístroje

sú založené na rôznych fyzikálnych princípoch:

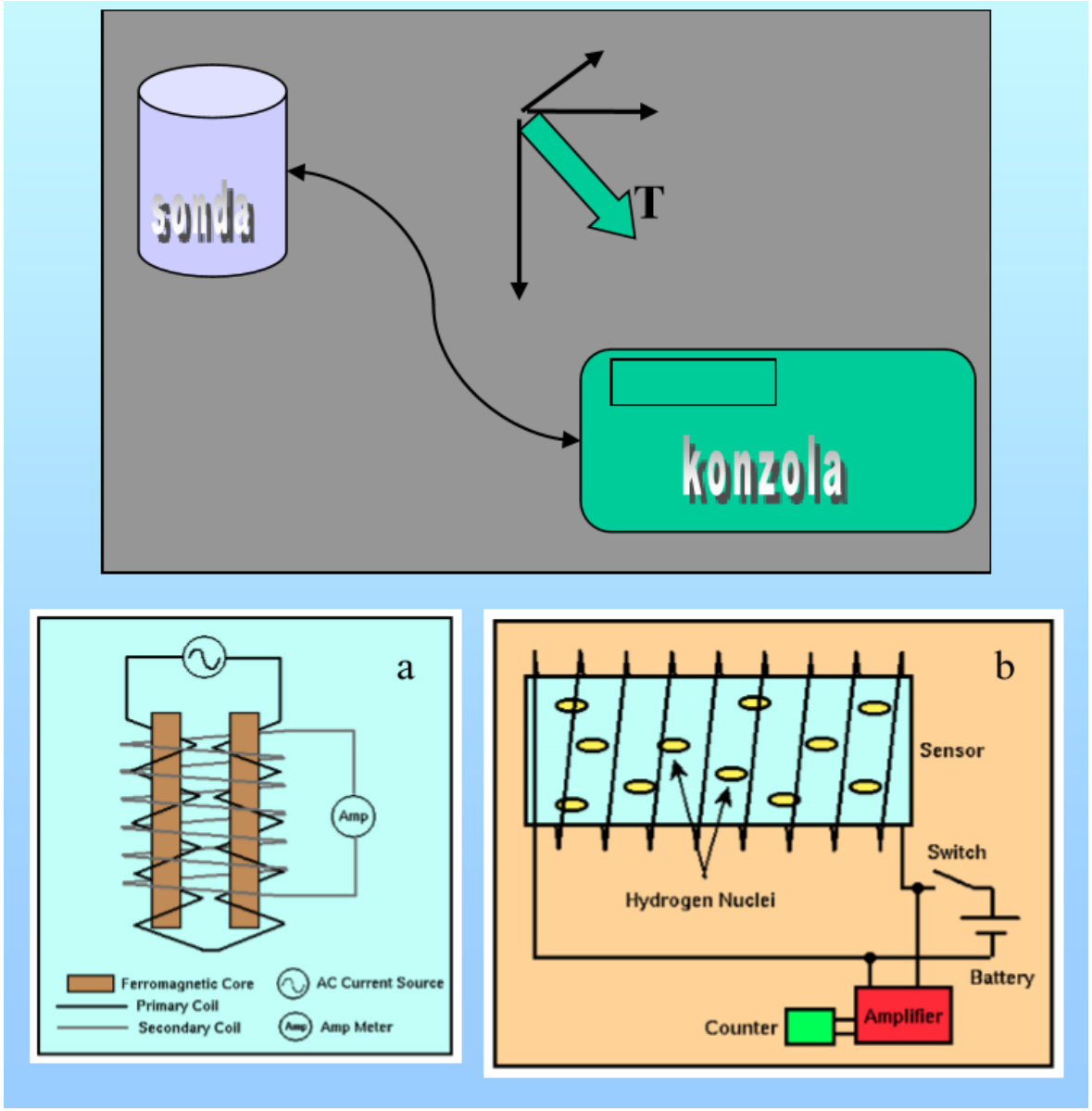
- kappa-metre: meranie magnetickej susceptibility,
- magnetometre: veľkosť totálneho vektora magn. indukcie
- gradientometre: rozdiely vo veľkosti vektoru magn. indukcie

magnetometre a gradientometre

Existujú rôzne rozdelenia magnetometrov:

- skalárne (merajú veľkosť **T**), vektorové (trojzložkové),
- meranie na jednej úrovni (magnetometre)
  alebo rozdielu **T** na dvoch úrovnicach (gradientometre),
- spôsob merania – tzv. “stop and go” alebo “walking mode”
  (v archeogeofyzike sa používa najmä “walking mode”)
- samostatná kategória sú letecké magnetometre (aj drony),
- rôzne fyzikálne princípy (magnetické váhy, flux-gate,
  protónový, céziový, SQUID).

fyzikálny princíp – reakcia súčastí senzora na vonkajšie magnetické pole (príklad: tzv. protónový magnetometer)



magnetometre a gradientometre

Protónový magnetometer:

Merací čas sú rádovo sekundy, príp. zlomky sekundy (patrí medzi pomalšie prístroje).

Vnútorná presnosť je na úrovni 0.1 nT, vonkajšia niekoľko nT. Využíva sa najmä pri geologických aplikáciách.

magnetometre a gradientometre

Magnetometer s ferosondou (flux-gate):

Často používané v archeológii, v tzv. gradientovom prevedení (pole je merané v 2 úrovniach) a v multi-senzorovom usporiadaní.

Presnejšie a najmä rýchlejšie ako protónové magnetometre.

magnetometre a gradientometre

”Céziový” magnetometer: (Cs-vapour magnetometer)

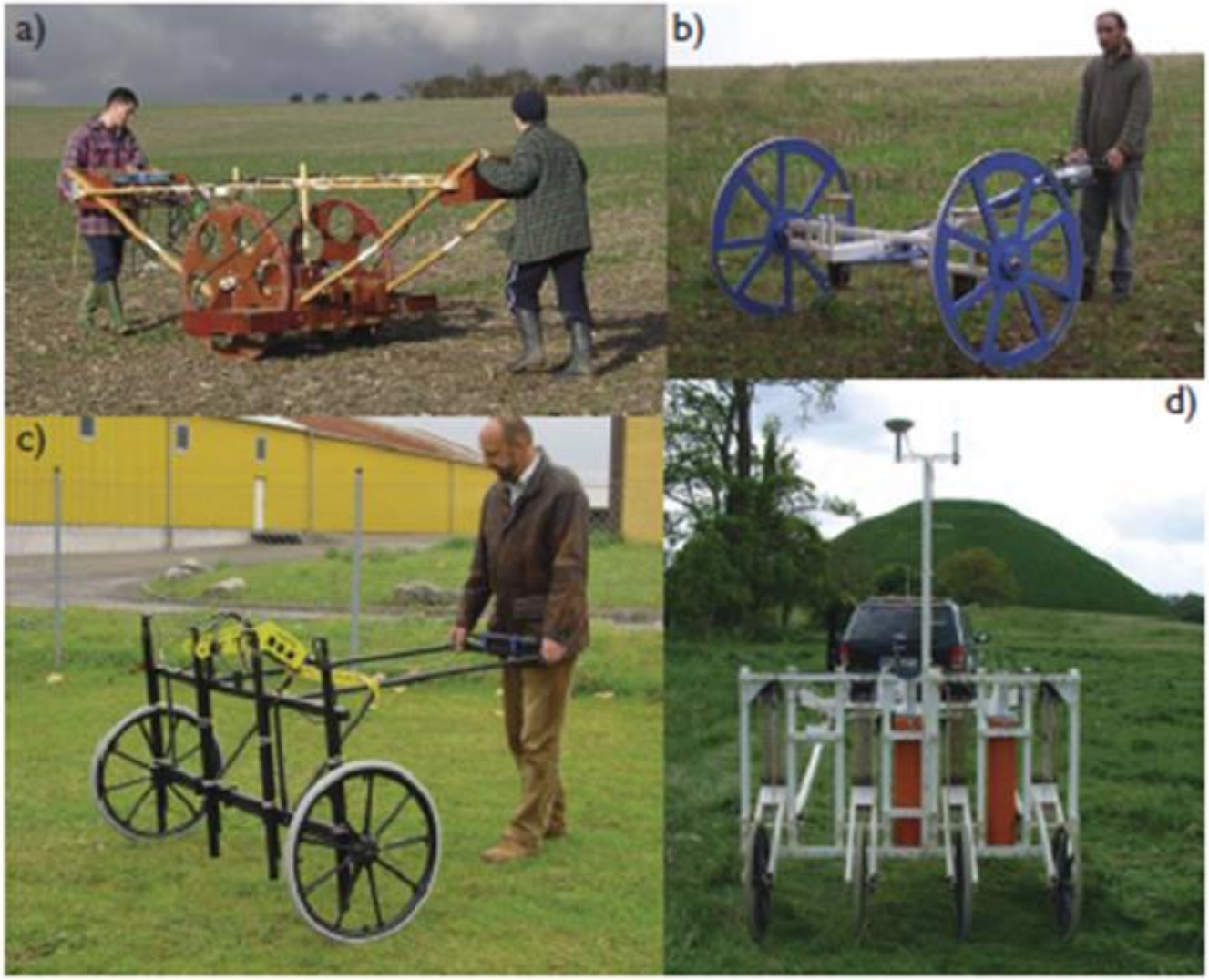
Merací čas sú rádovo desatiny až tisíciny sekundy (patrí medzi najrýchlejšie prístroje, ale aj najdrahšie).

Vnútorná presnosť je na úrovni 0.01 nT, vonkajšia ±1 nT.
Pozor – má tzv. mŕtvy uhol pri meraní (kedy nemeria správne).
Využíva sa najmä pri UXO, geol. a archeol. aplikáciách.

Niekedy sa používajú aj v gradientových usporiadaniach.

rôzne systémy magnetometrov a gradientometrov (ručne nesené)

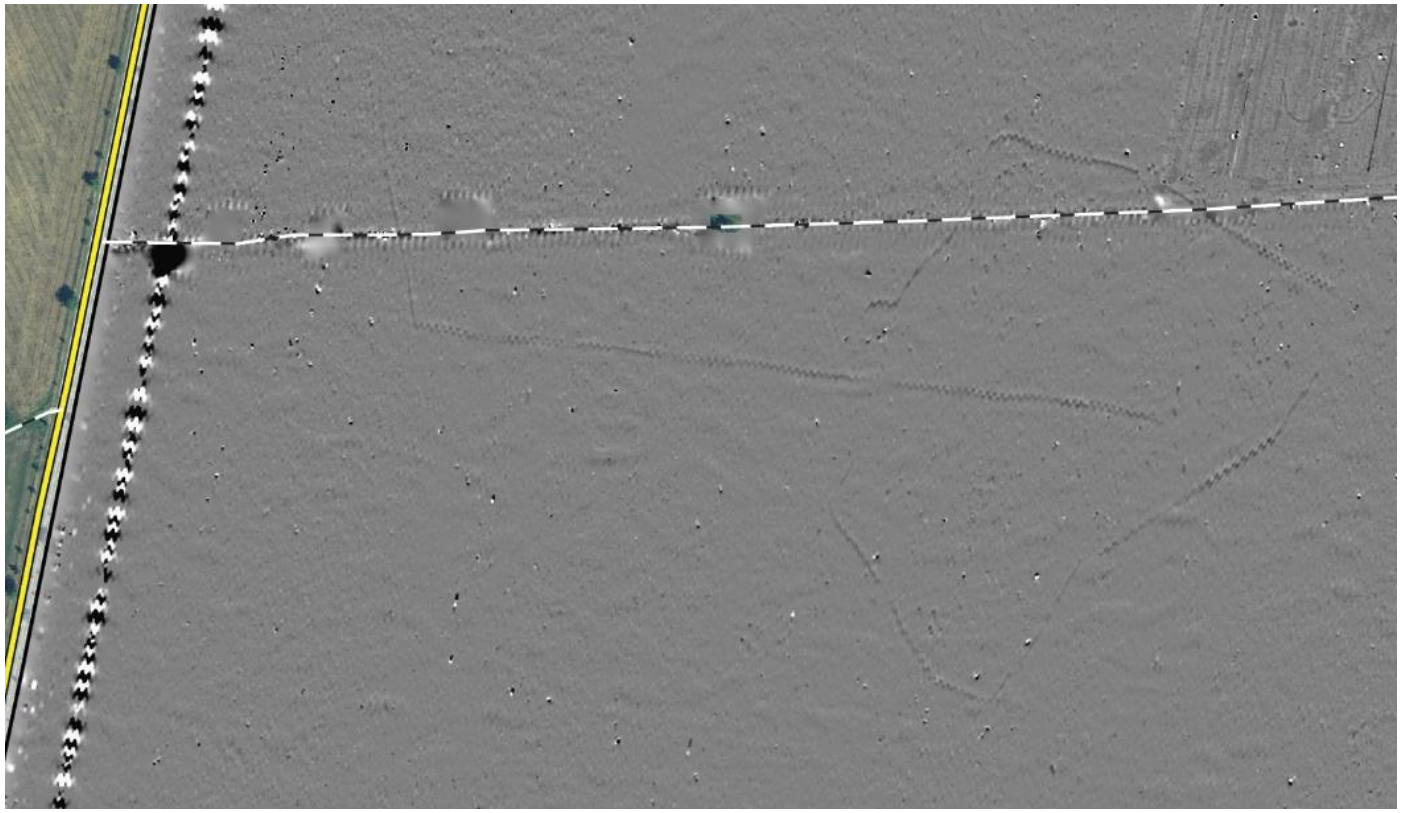
rôzne systémy magnetometrov a gradientometrov (ručne tlačené)



rôzne systémy magnetometrov a gradientometrov (ťahané za vozidlom)

senzory: 0.25 m od seba, vzorkovanie pozdĺž meraných profilov: 0.1 m

rôzne systémy magnetometrov – nesené na drone



lokalita Šurany

Magnetometria

Obsah:

- úvod do teórie magnetického poľa,
- magnetické vlastnosti materiálov,
- základy magnetometrie,
- prístroje na meranie magnetického poľa,
- spracovanie a interpretácia magnetom. údajov.

Meranie a základné spracovanie dát v magnetometrii:

- príprava terénu (plánovanie profilov odpadá, meria sa vždy plošne)

- zber dát v teréne - samotné meranie s prístrojmi (min. 1 m medzi profilmi)
  (poloha väčšinou snímaná pomocou GPS)

- oprava o variácie geomagnetického poľa (netreba robiť pri gradientoch)
  (hodnoty z druhého magnetometra alebo pomocou filtrov)

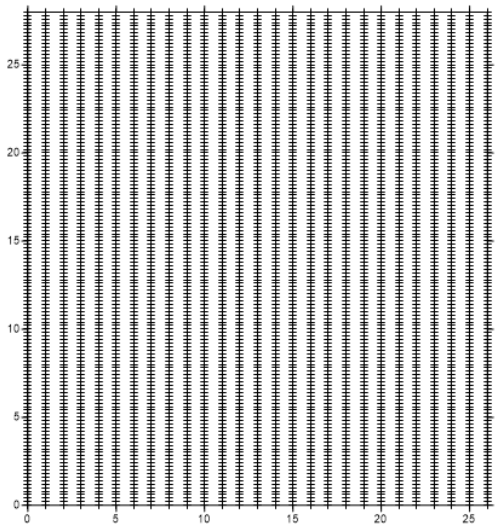
- odpočítanie tzv. normálneho poľa: výpočet poľa ΔT (netreba pri gradientoch)
  (štatistické metódy alebo globálne modely magn. poľa
  – napr. IGRF alebo WMM)

- interpolácia do máp poľa ΔT a vizualizácia
  (farebné alebo ČB tieňované mapy – v archeológii nazývané ako magnetogramy)

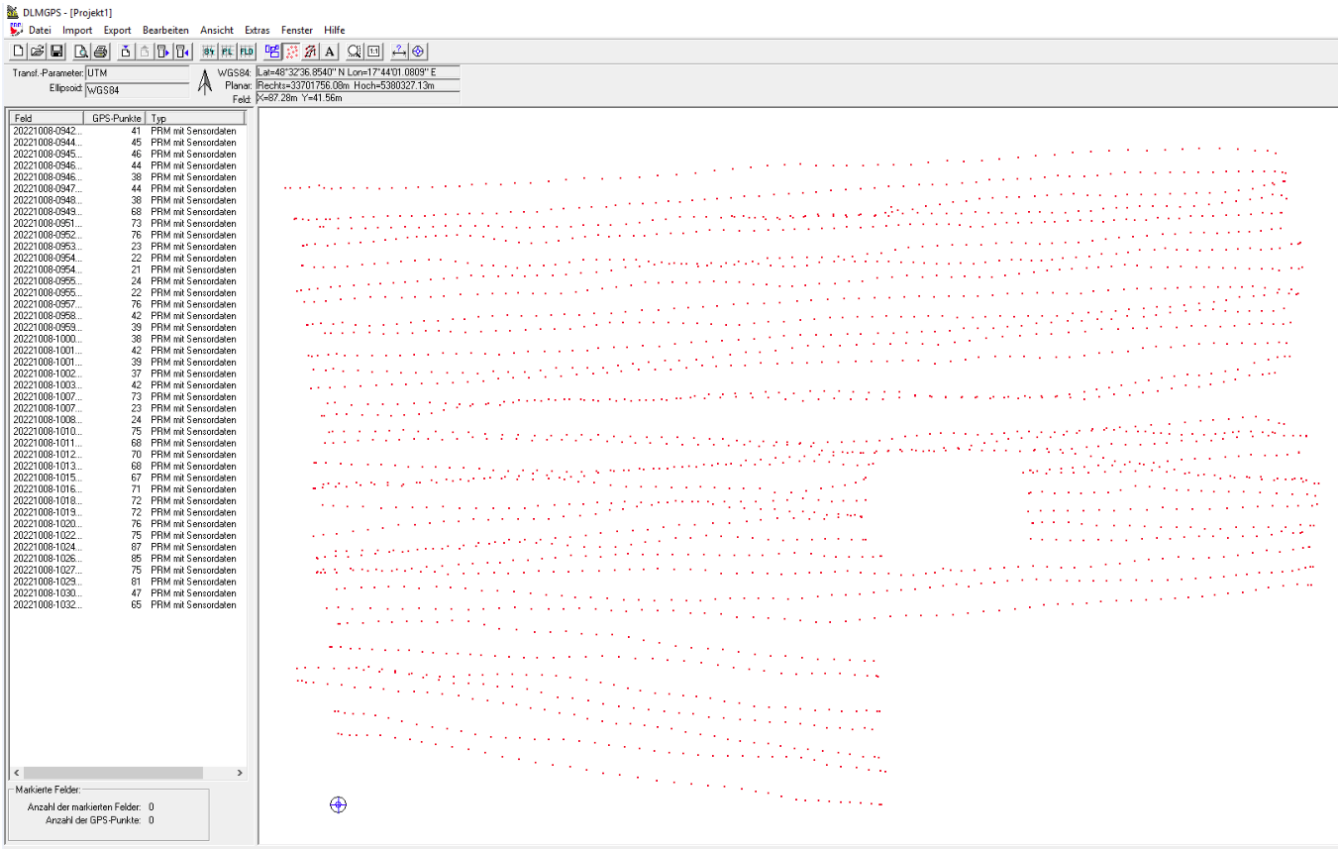
- zavedenie špeciálnych opráv na hodnotové posuny
  medzi senzormi (tzv. “heading error”) a iné deformácie zmeraného poľa

používame lokálne alebo globálne (najviac systém S-JTSK) súradnic

lokálne súradnice



globálne súradnice (merané s GPS)



Meranie a základné spracovanie dát v magnetometrii:

- príprava terénu (plánovanie profilov odpadá, meria sa vždy plošne)

- zber dát v teréne - samotné meranie s prístrojmi (min. 1 m medzi profilmi)
  (poloha väčšinou snímaná pomocou GPS)

- oprava o variácie geomagnetického poľa (netreba robiť pri gradientoch)
  (hodnoty z druhého magnetometra alebo pomocou filtrov)

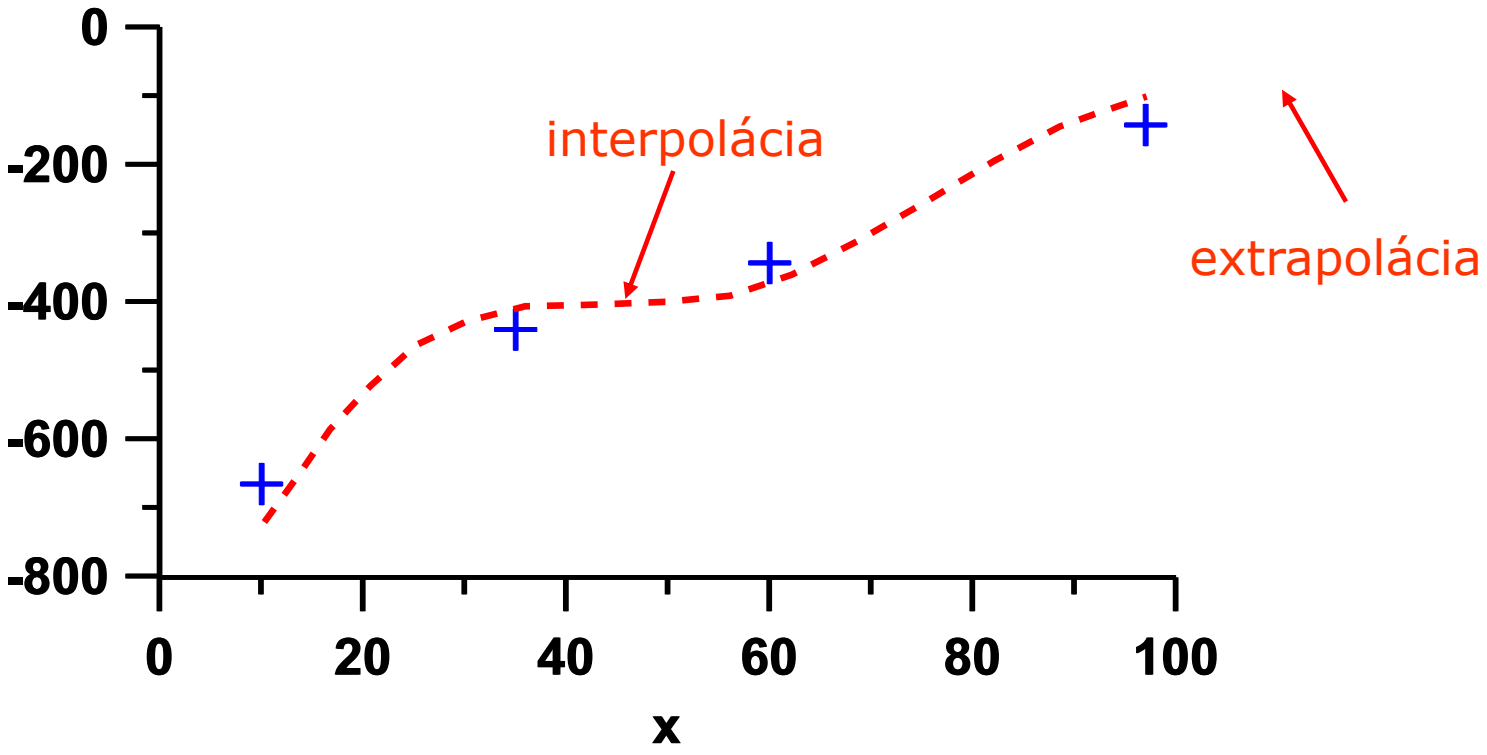
- odpočítanie tzv. normálneho poľa: výpočet poľa ΔT (netreba pri gradientoch)
  (štatistické metódy alebo globálne modely magn. poľa
  – napr. IGRF alebo WMM)

- interpolácia do máp poľa ΔT a vizualizácia
  (farebné alebo ČB tieňované mapy – v archeológii nazývané ako magnetogramy)

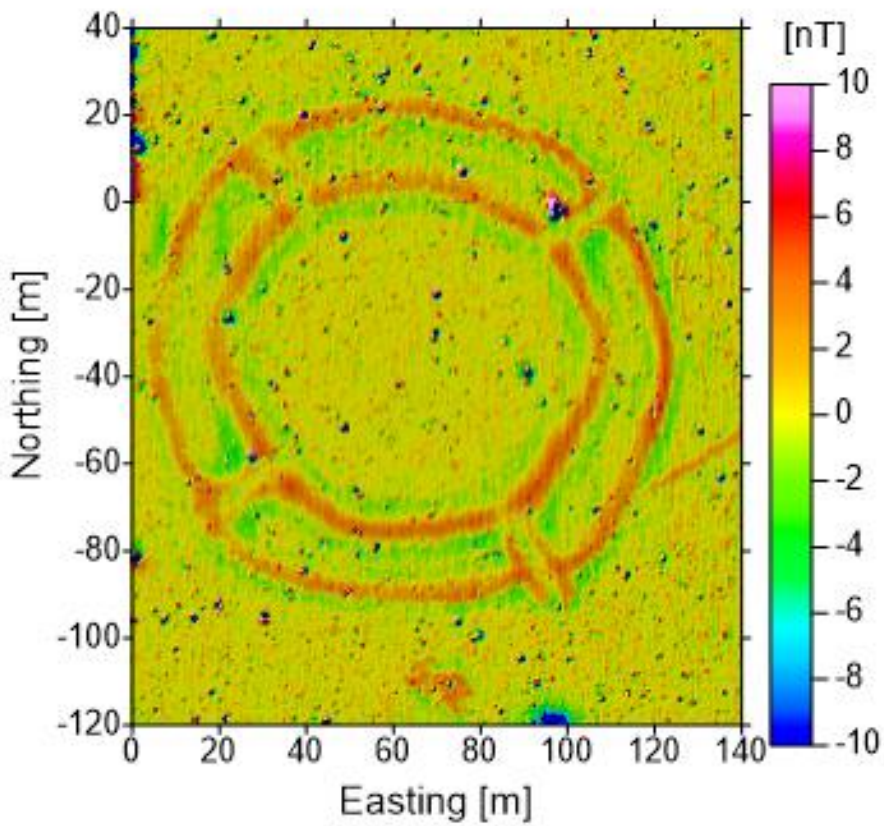
- zavedenie špeciálnych opráv na hodnotové posuny
  medzi senzormi (tzv. “heading error”) a iné deformácie zmeraného poľa

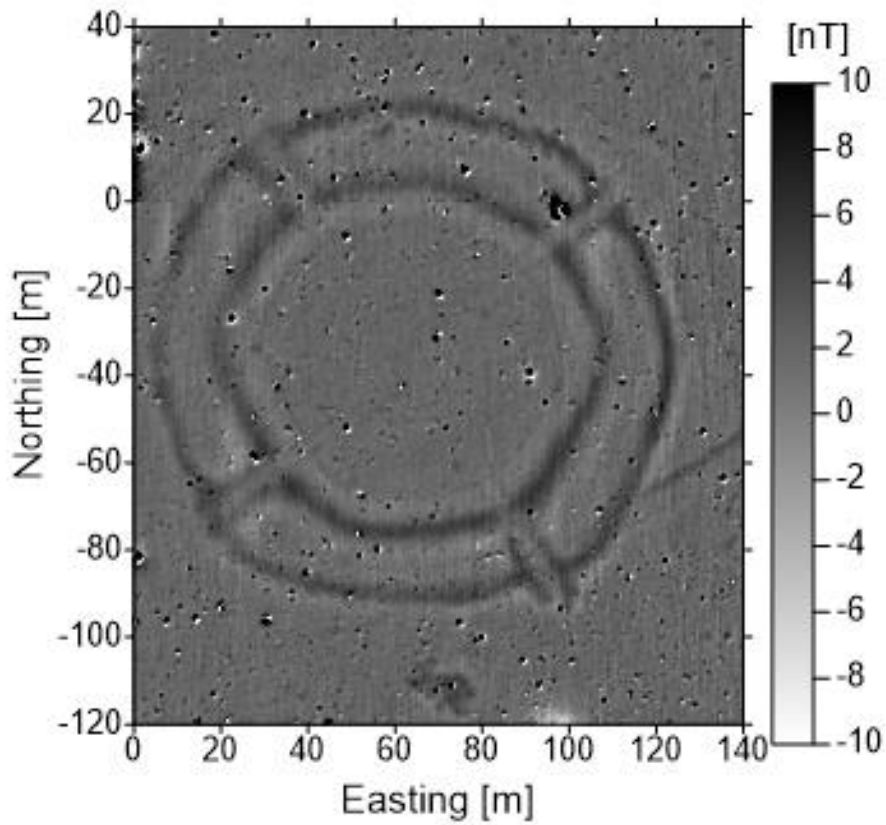
„výroba máp – tzv. interpolácia

- merané údaje majú svoje polohy v určitých nepravidelných vzdialenostiach od seba – treba ich prepočítať do pravidelných mriežok (tzv. gridov) pomocou niektorej z tzv. interpolačných metód (minimum curvature, Kriging, ... atď)
- používa sa väčšinou veľkosť bunky 0.2 x 0.2 m (niekedy aj 0.1 x 0.1 m)
- rôzne softvéry: Golden Software Surfer, Geosoft Oasis Montaj, QGIS

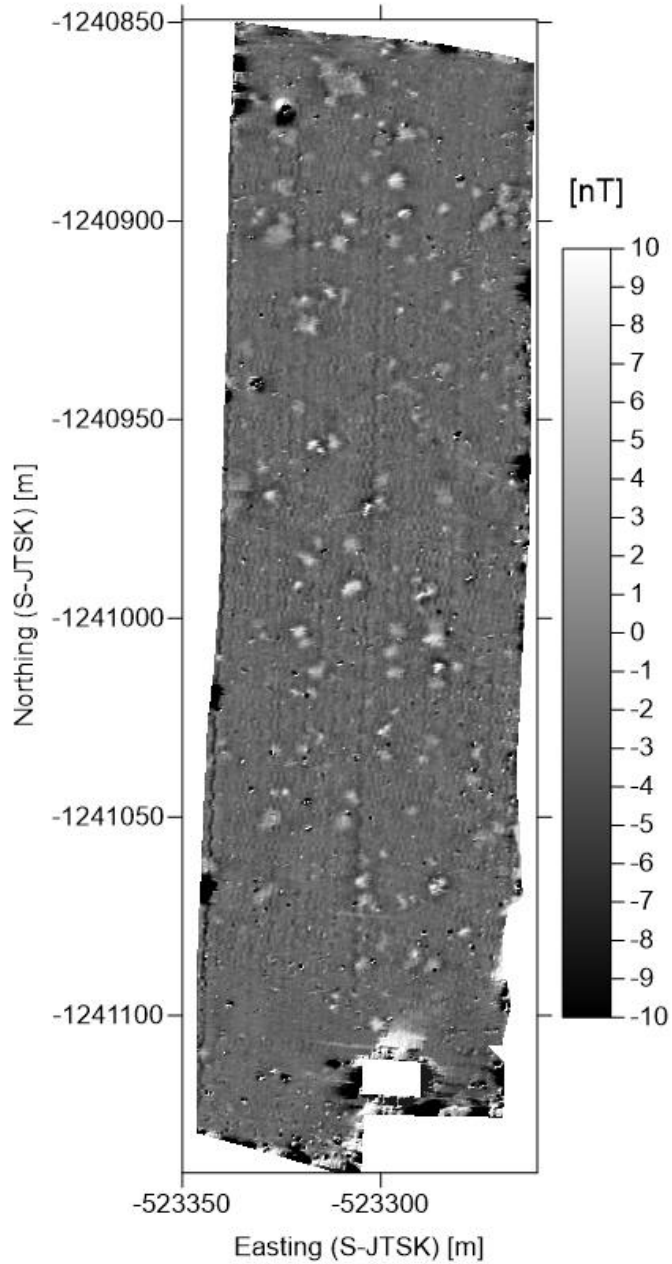


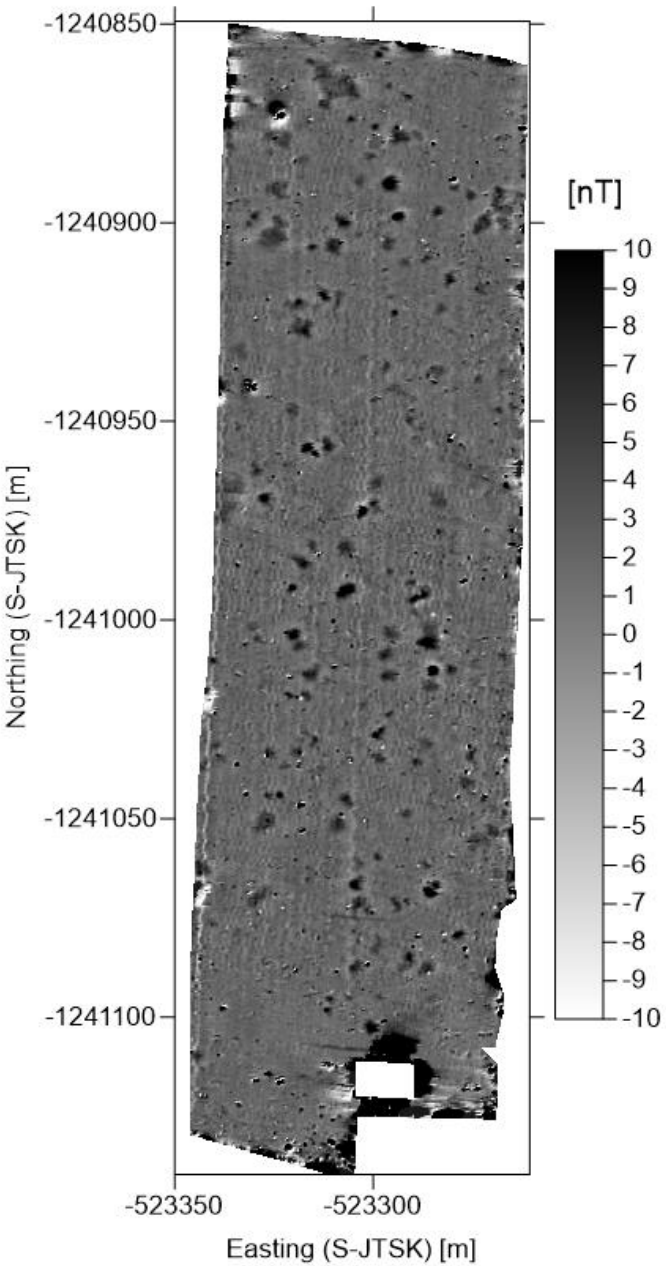
výsledna mapa anomálneho magnetického poľa
(tzv. magnetogram) - použite farebnej a ČB škály





použtie ČB škály (prevrátené farebné extrémy)





Meranie a základné spracovanie dát v magnetometrii:

- príprava terénu (plánovanie profilov odpadá, meria sa vždy plošne)

- zber dát v teréne - samotné meranie s prístrojmi (min. 1 m medzi profilmi)
  (poloha väčšinou snímaná pomocou GPS)

- oprava o variácie geomagnetického poľa (netreba robiť pri gradientoch)
  (hodnoty z druhého magnetometra alebo pomocou filtrov)

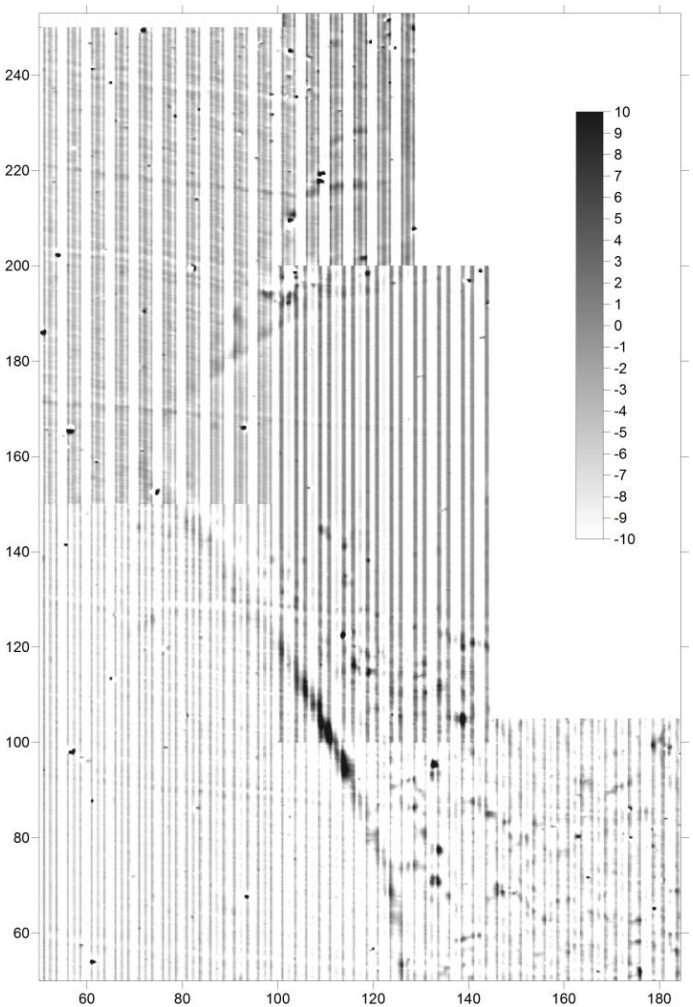
- odpočítanie tzv. normálneho poľa: výpočet poľa ΔT (netreba pri gradientoch)
  (štatistické metódy alebo globálne modely magn. poľa
  – napr. IGRF alebo WMM)

- interpolácia do máp poľa ΔT a vizualizácia
  (farebné alebo ČB tieňované mapy – v archeológii nazývané ako magnetogramy)

- zavedenie špeciálnych opráv na hodnotové posuny
  medzi senzormi (tzv. “heading error”) a iné deformácie zmeraného poľa

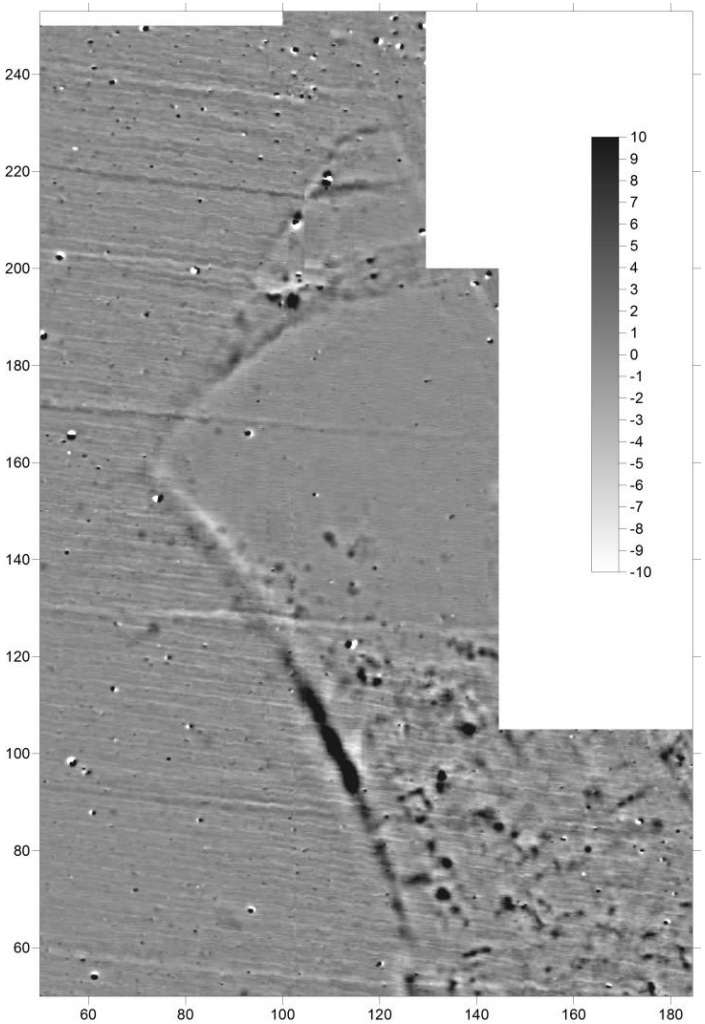
pri spracovaní dát s viacerých paralelne nesených (tlačených) senzorov vzniká tzv. “heading error”, ktorý sa prejavuje “umelými pásikami”

pôvodné dáta



rieši sa pomocou tzv. <u>mediánových filtrovi</u> alebo postupom, ktorý sa nazýva ako tzv. mikroleveling.

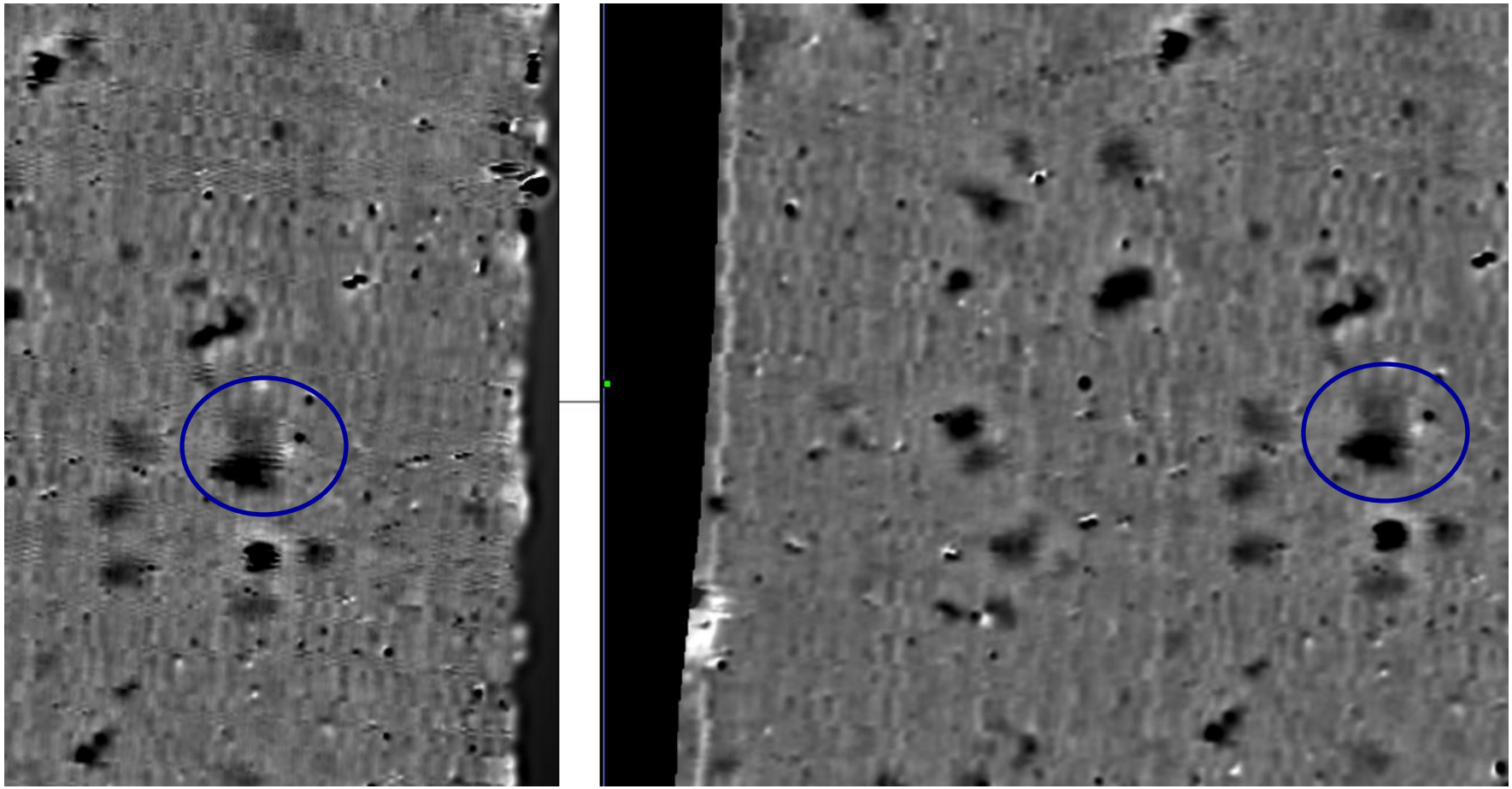
filtrované dáta



pri spracovaní dát sa často prejavuje určitý šum alebo iné drobné nepresnosti v získaných údajov – rieši sa nízko-pásmovou filtráciou

pôvodné dáta

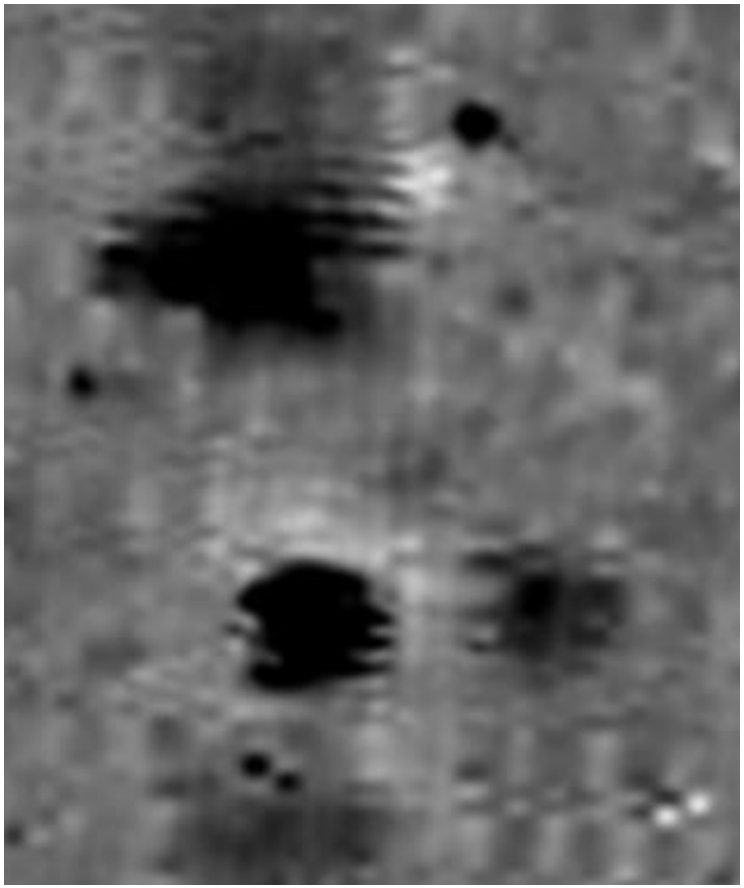
filtrované dáta



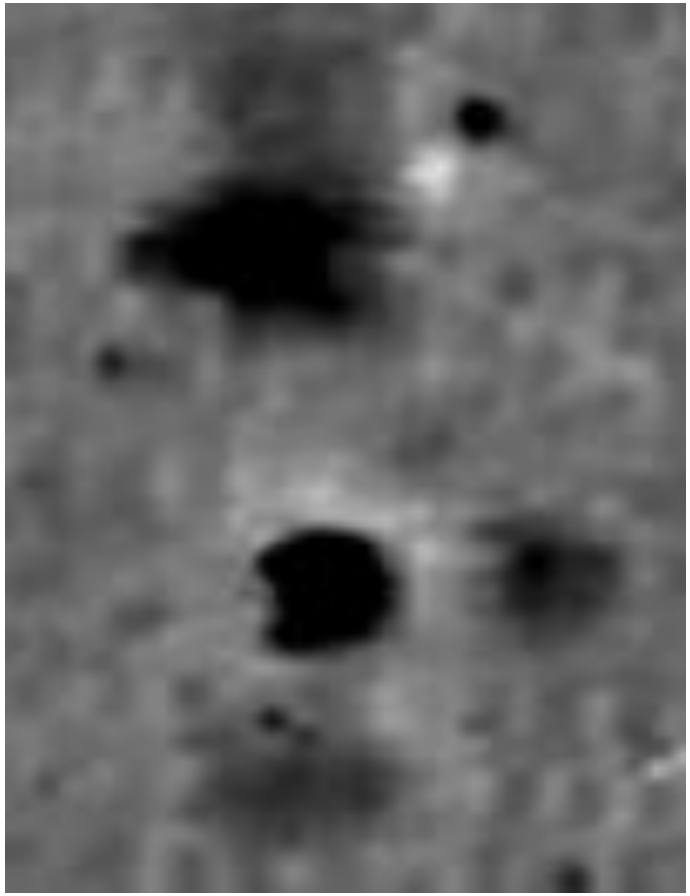
rieši sa pomocou tzv. Gaussovho filtra (vyhladzujúci priemer)

pri spracovaní dát sa často prejavuje určitý šum alebo iné drobné nepresnosti v získaných údajov – rieši sa nízko-pásmovou filtráciou

pôvodné dáta



filtrované dáta



rieši sa pomocou tzv. Gaussovho filtra (vyhladzujúci priemer)

Interpretácia dát v magnetometrii:

tvary získaných anomálií - závisia od:

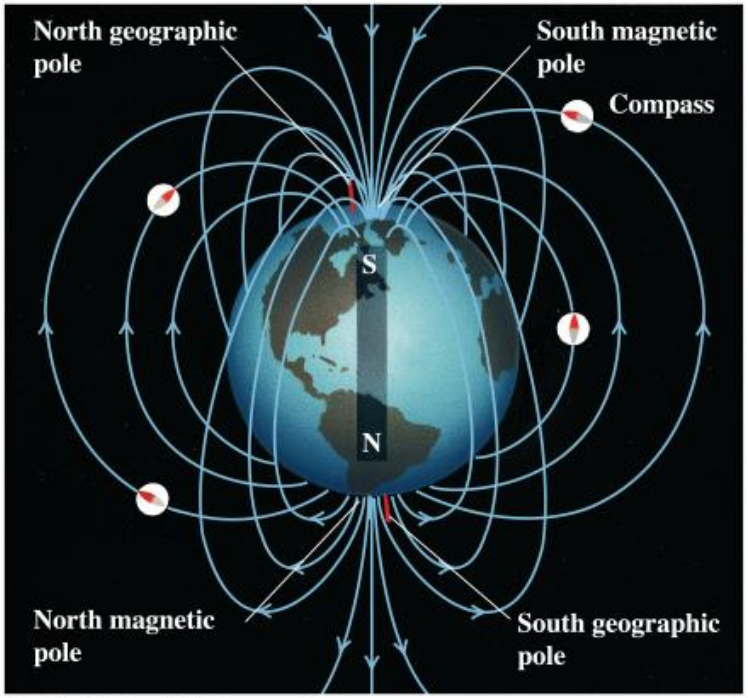
1. zemepisnej šírky (najmä pri indukovanej magn.),
2. magnetických vlastností objektu,
3. hĺbke uloženia a rozmerov objektu,
4. tvare objektu a orientácii jeho dlhšej osi,
5. pri zobrazovaní vo forme kriviek na profiloch – aj od orientácie daného profilu.

Interpretácia sa delí na kvalitatívnu (polohy objektov a ich približné rozmery) a kvantitatívnu (hĺbka uloženia, susceptibilia). Pri archeologických aplikáciách dominuje kvalitatívna interpr.

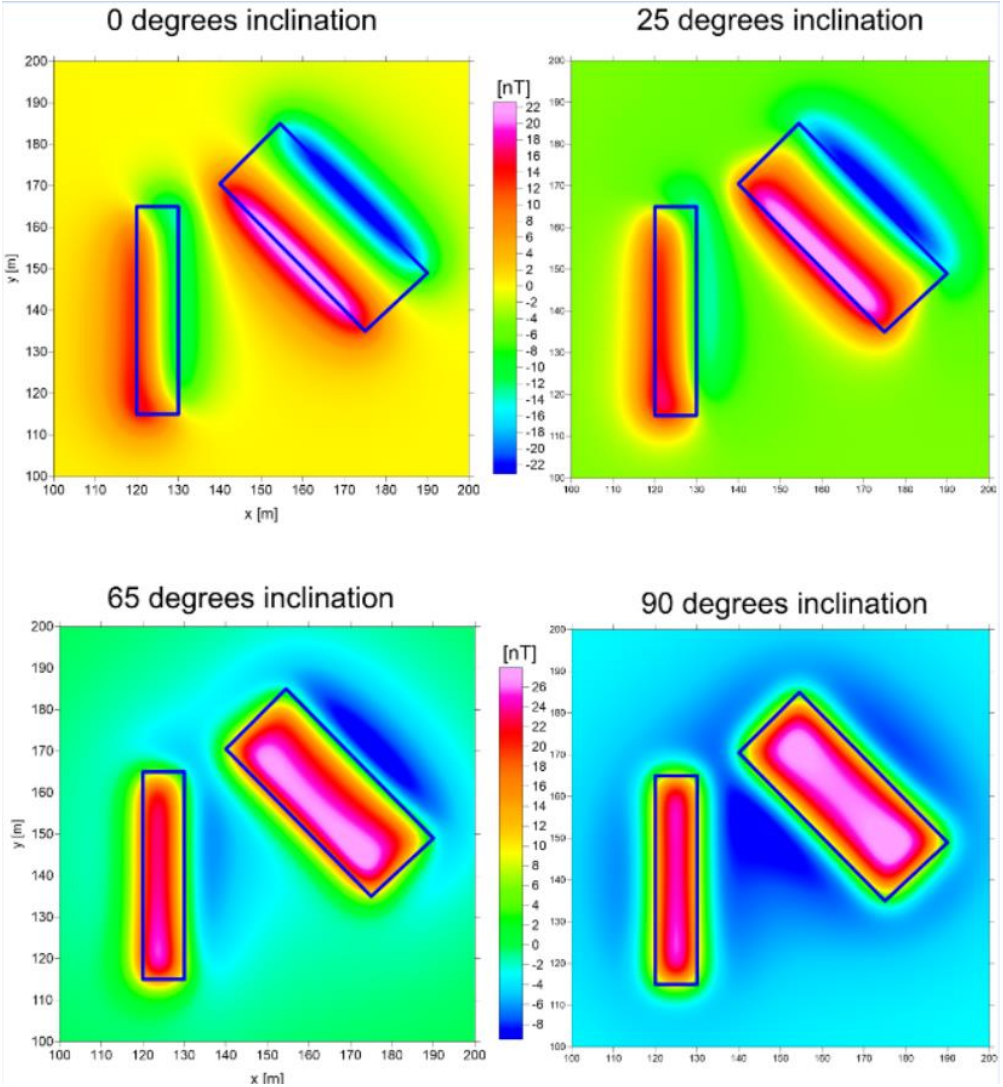
Interpretácia dát v magnetometrii:

tvary získaných anomálií (závislosť od zemepisnej šírky)

pre rôzne zemepisné šírky platí iný uhol (inklinácia) indukujúceho magn. poľa



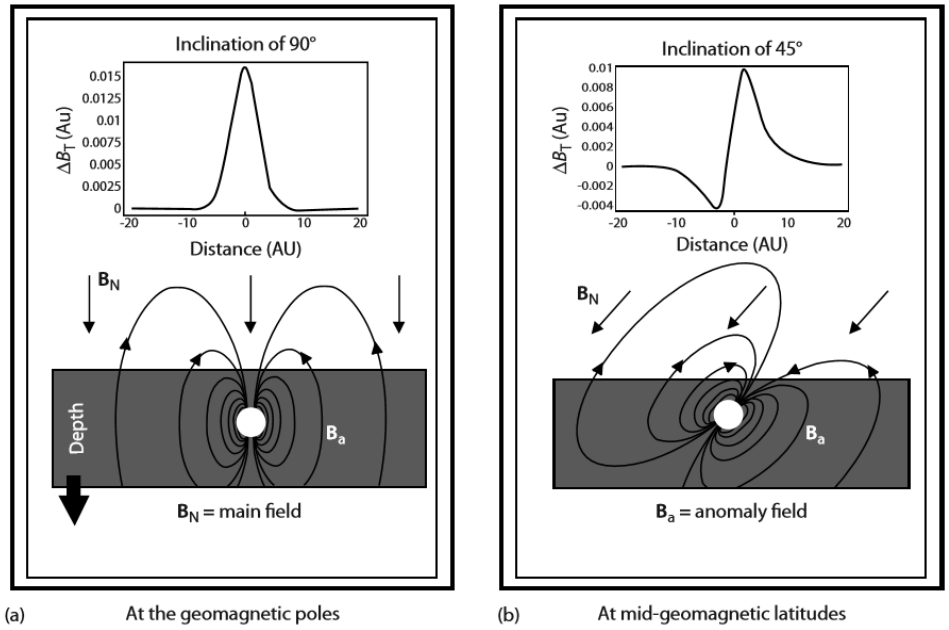
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



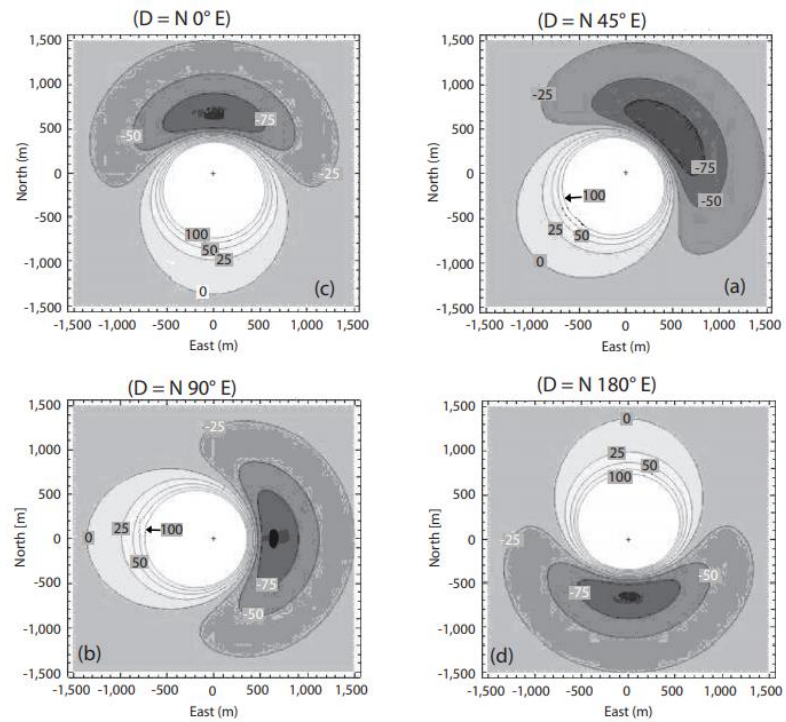
Interpretácia dát v magnetometrii:

tvary získaných anomálií (závislosť od zemepisnej šírky)

tvar na profiloch

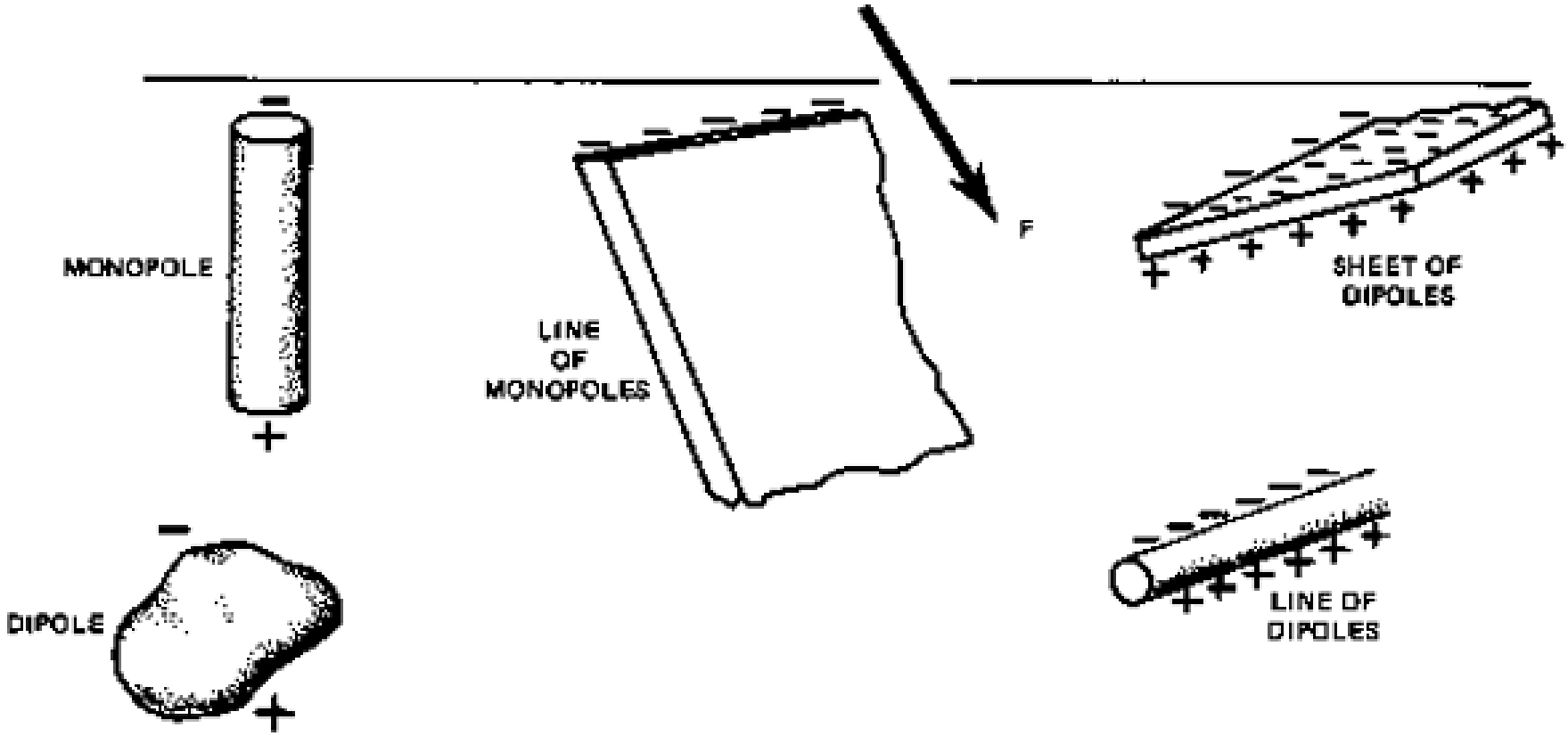


tvar v mapách



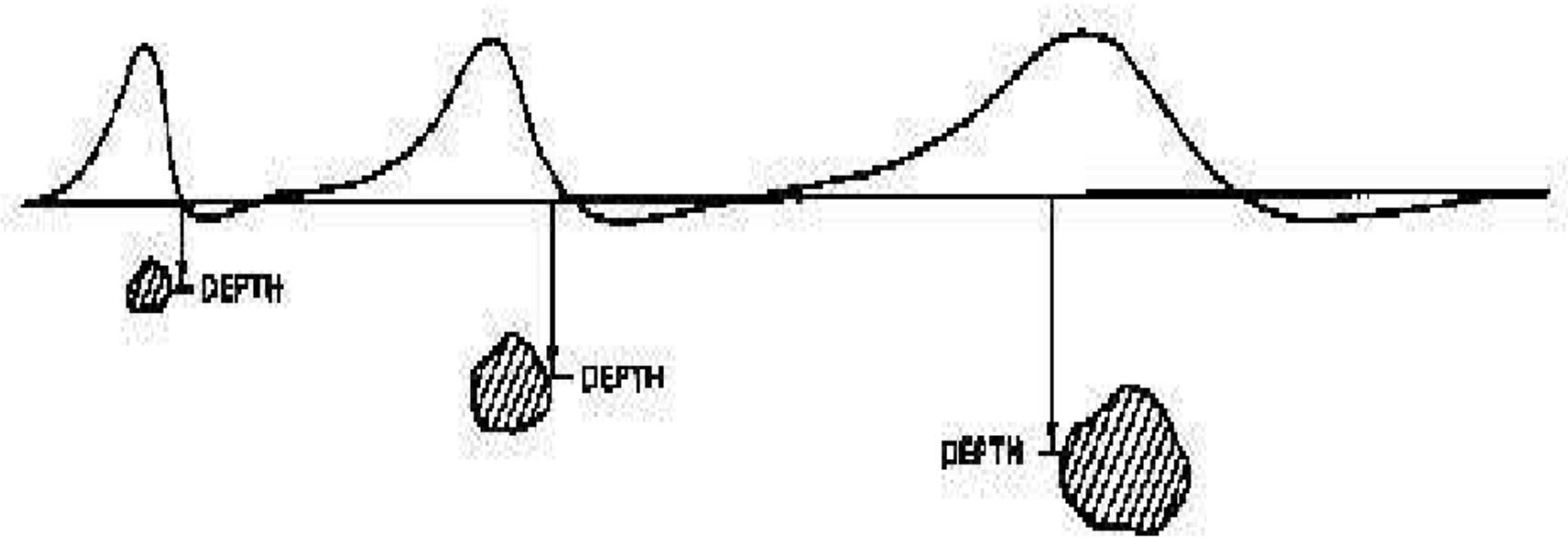
Interpretácia dát v magnetometrii:

tvary získaných anomálií (tvar objektu)



Interpretácia dát v magnetometrii:

tvary získaných anomálií (hĺbka uloženia)



hlavné oblasti použitia magnetometrie v archeológii

<u>hlavné oblasti použitia magnetometrie v archeológii:</u>

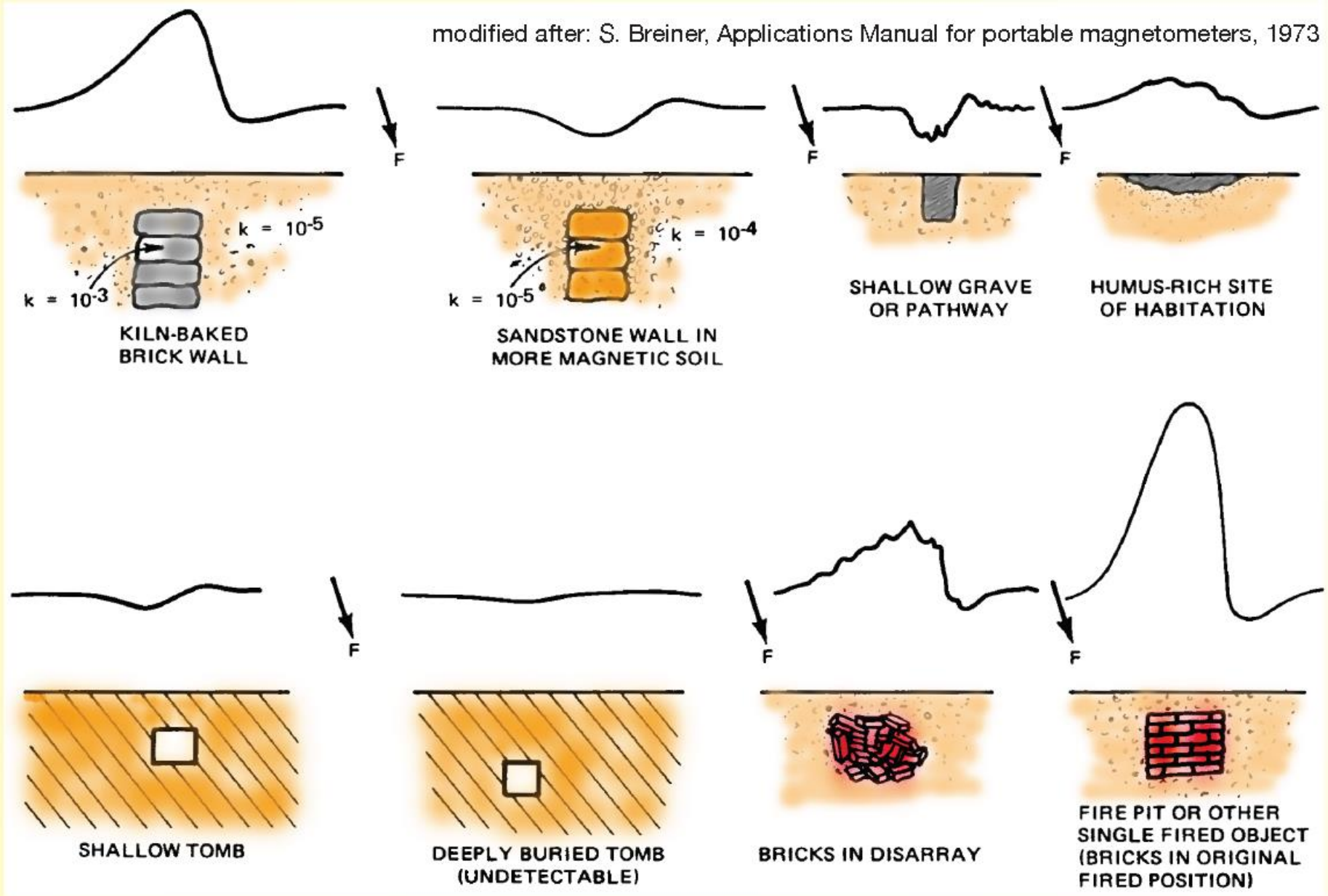
1. **vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie) (vysoká susceptibilita železa + reman.)**
2. **vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.**

   (dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)
3. **detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu**

   (vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky) – sídliská, pohrebiská, rondely, hradiská (valy)
4. **detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)**

   funguje, ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek

rôzne objekty a ich prejavy v anomálnom magnetickom poli



hlavné oblasti použitia magnetometrie v archeológii:

1. **vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie) (vysoká susceptibilita železa + reman.)**
2. **vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.**

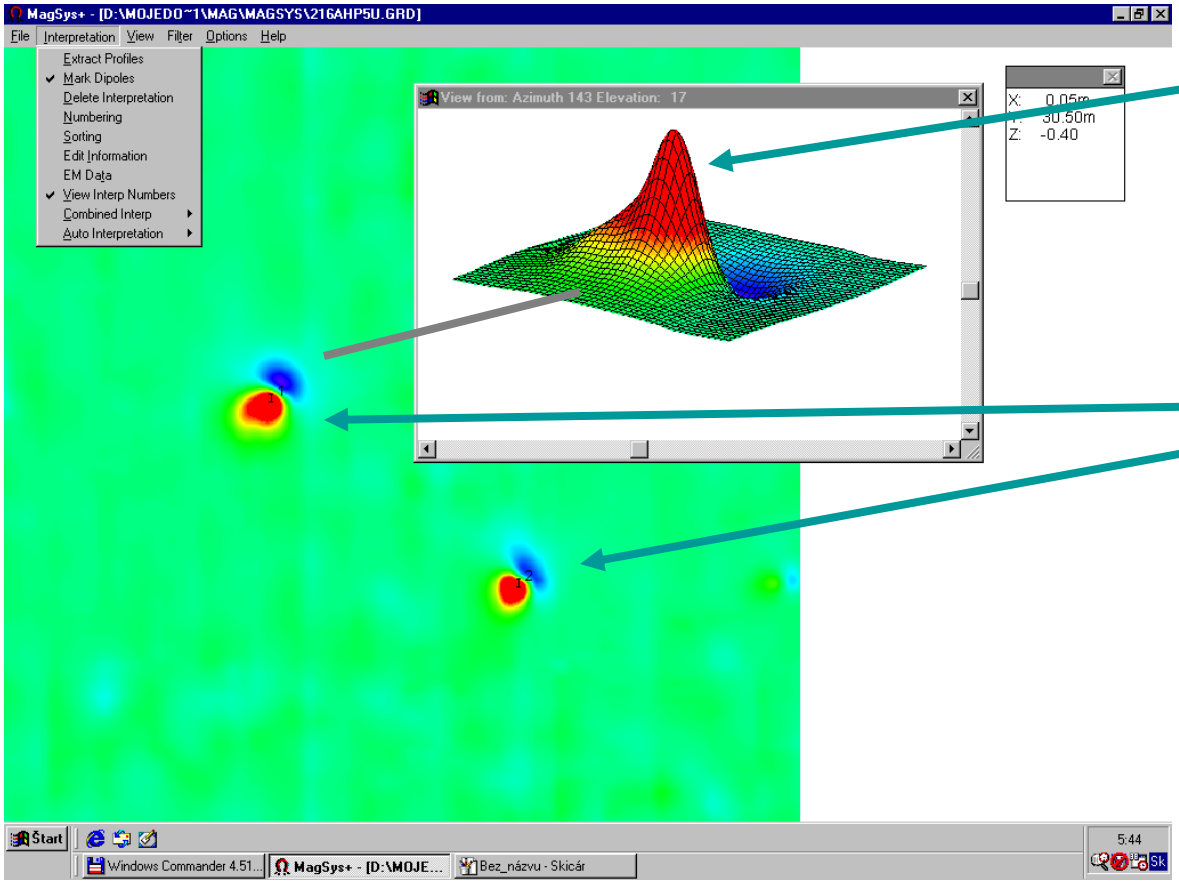
   (dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)
3. **detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu**

   (vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky) – sídliská, pohrebiská, rondely, hradiská (valy)
4. **detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)**

   funguje, ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek

železné predmety

nevybuchnutá munícia – tanková strelnica pri Rohožníku (Záhorie)

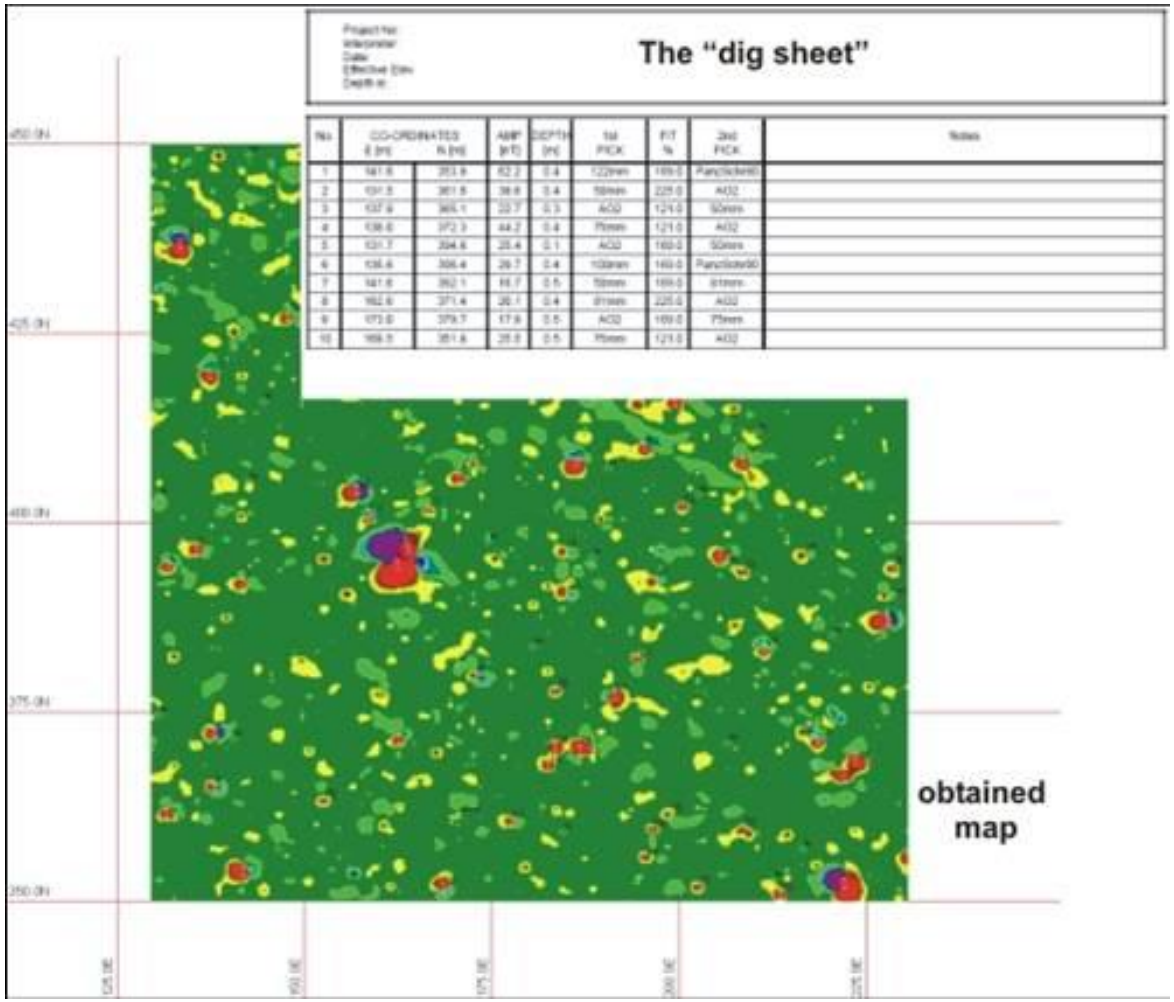


typický dipólový prejav

objekty nevybuchn. munície (100 mm projektily)

výrazné amplitúdy anomálií (stovky [nT])

nevybuchnutá munícia z obdobia 2. sv. vojny, lokalita Železná Studienka, Bratislava



vykopané objekty
(mínometné granáty 81 mm)

časť premeranej plochy so zoznamom objektov na exktrakciu

hlavné oblasti použitia magnetometrie v archeológii:

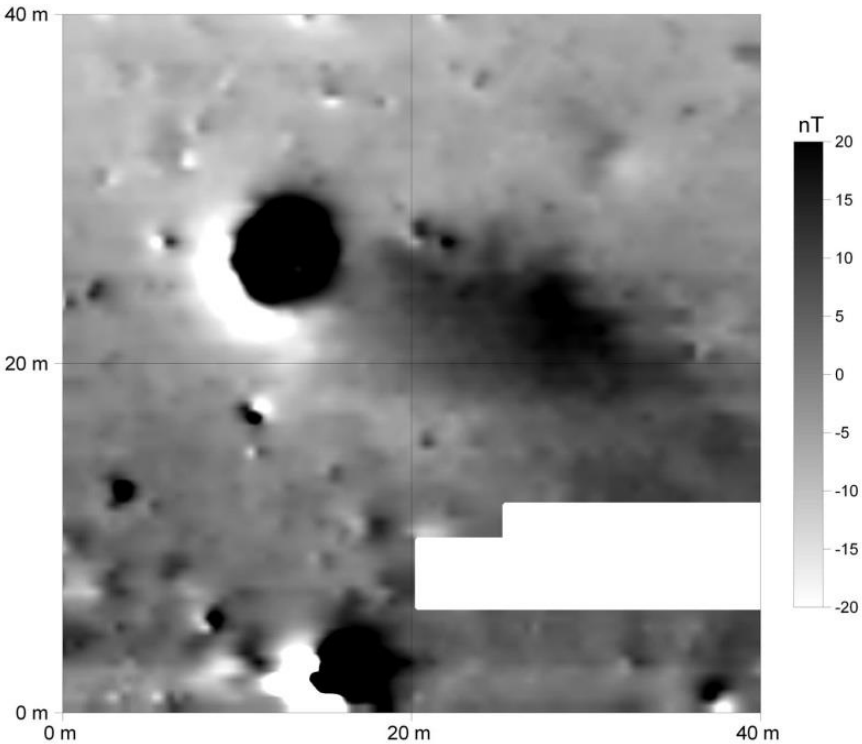
1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie) (vysoká susceptibilita železa + reman.)
2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

   (dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)
3. detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu

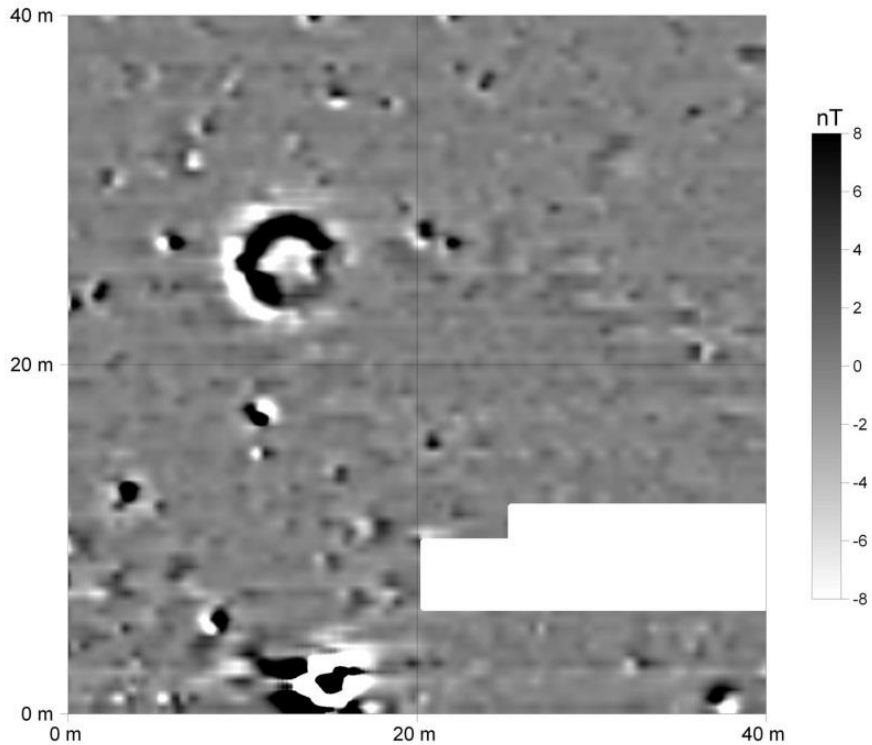
   (vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky) – sídliská, pohrebiská, rondely, hradiská (valy)
4. detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)

   funguje, ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek

žiaroviská, pece (termické zariadenia)



mapa magn. poľa

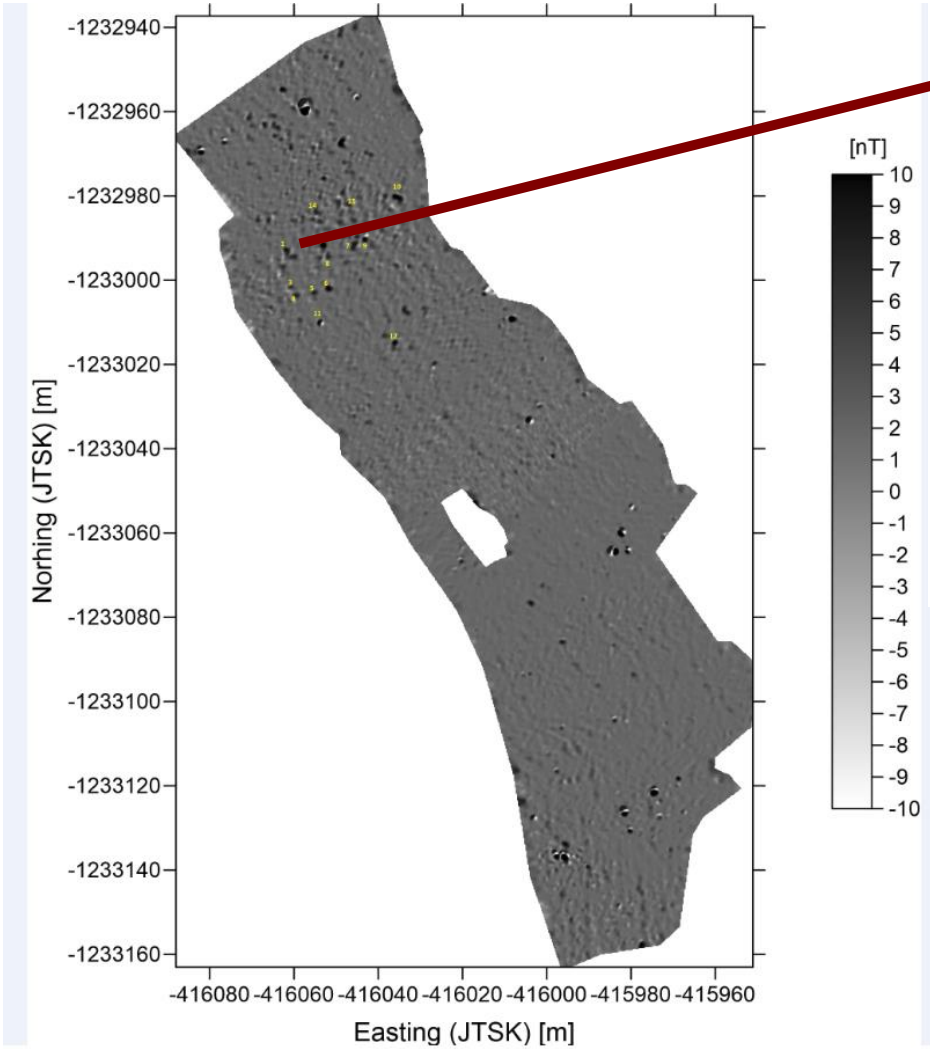


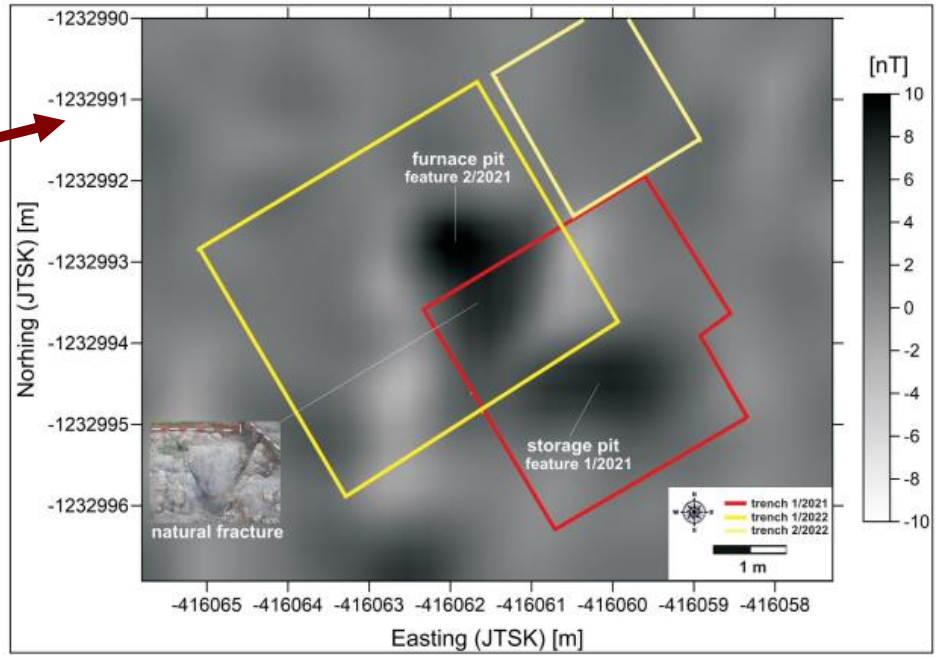
mapa vert. gradientu mag. poľa

loklaita Großprüfening, Nemecko

žiaroviská, pece (termické zariadenia)

vybrané anomálie na overenie:





lokalita Hájny diel, Horná Mičiná

jamové pece s natavenou medenou rudou
(zvyšky tetraedritovej medi – starší eneolit)

žiaroviská, pece (termické zariadenia)

lokalita Hájny diel, Horná Mičiná

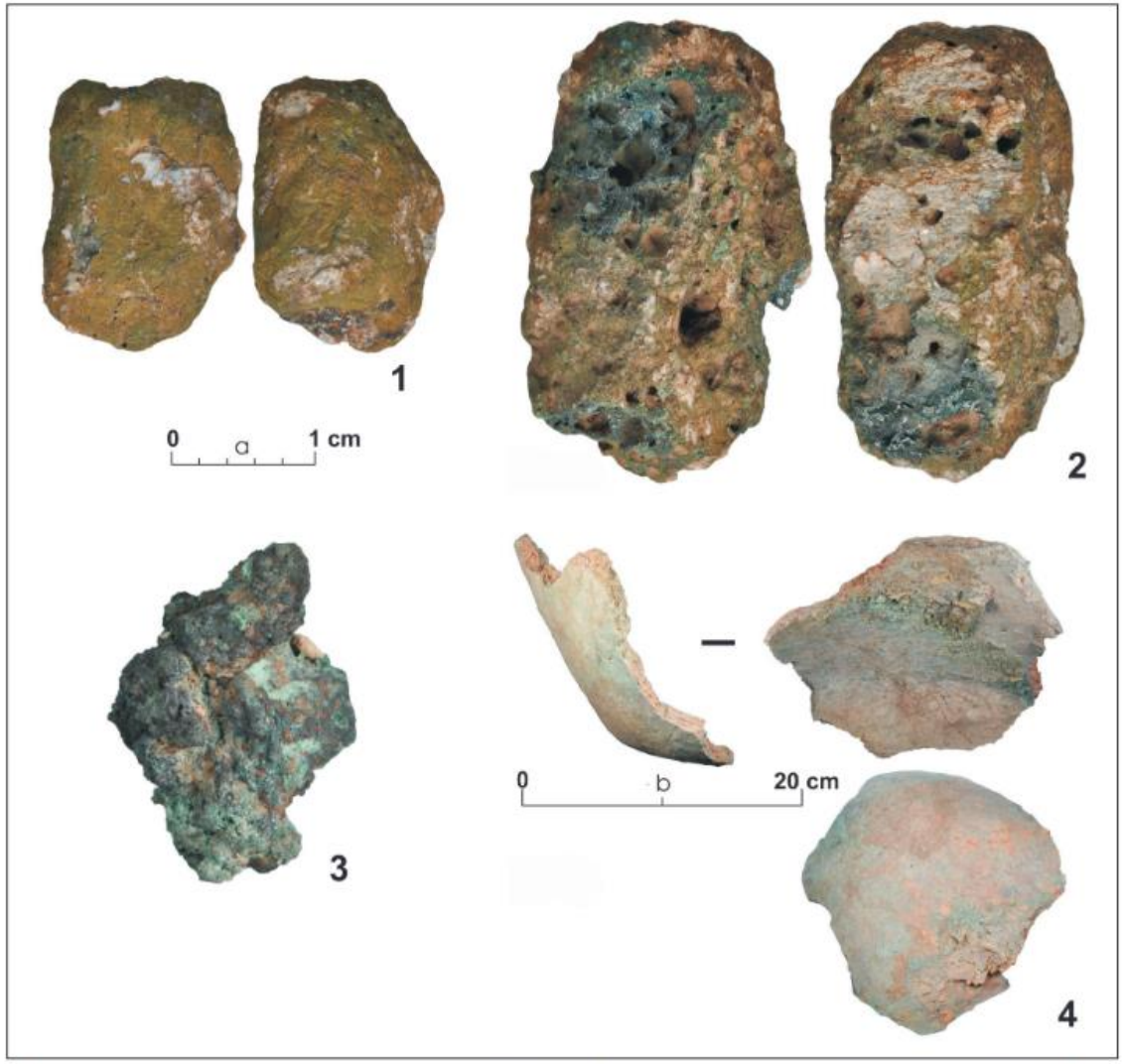
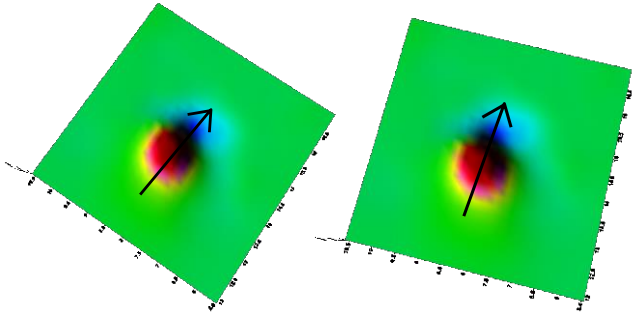
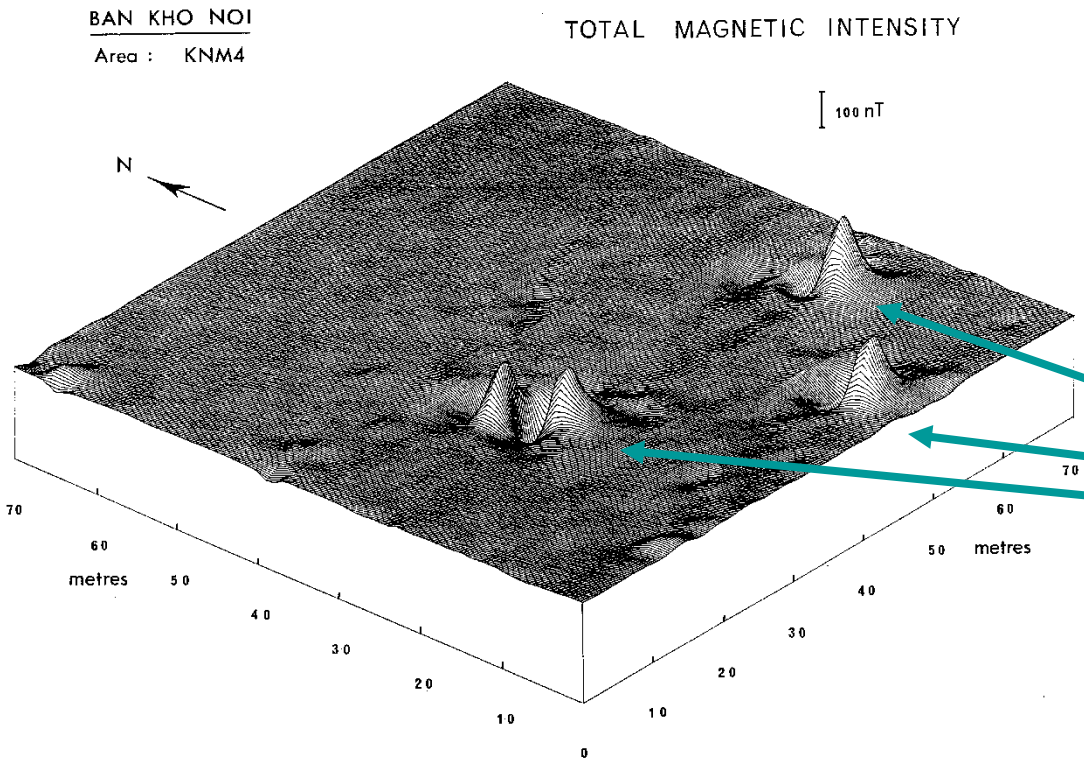


Fig. 5. Horná Mičiná – Hájny diel. Copper ore (1, 2) and slag (3) from trench 1/2021. Fragment of metallurgical vessel (4) from the furnace pit (feature 2/2021). Scale: a – 1–3, b – 4 (author: T. Zachar, J. Bartík).

Obr. 5. Horná Mičiná – Hájny diel. Medená ruda (1, 2) a troska (3) zo sondy 1/2021. Zlomok metalurgickej nádoby (4) z jamovej pece (objekt 2/2021). Mierka: a – 1–3, b – 4 (autor: T. Zachar, J. Bartík).

žiaroviská, pece (termické zariadenia)



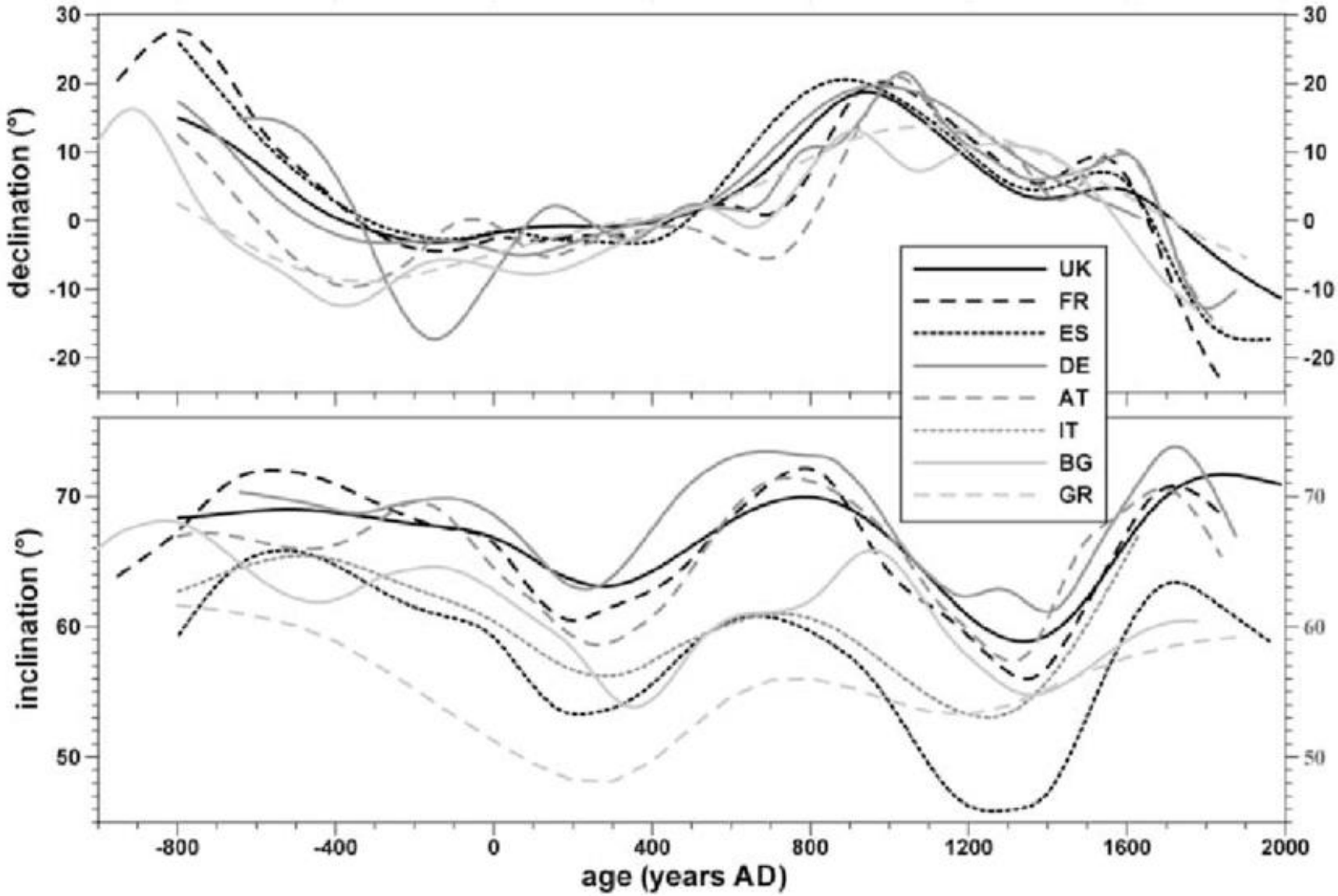


rozdiel v smerovaní (deklinácii) niekoľko stupňov môže znamenať niekoľko desaťročí

prejavy starých pecí na pálenie keramiky

lokalita Ban Kho Noi, Thajsko

z odobratých vzoriek a ich paleomagnetického rozboru boli zistené dávne deklinácie remanentnej magnetizácie – keďže bol vek niektorých pecí určený na základe prítomnosti úlomkov čínskeho porcelánu, bolo možné porovnaním deklinácií približne odhadnúť ich vek (12. stor.).



tzv. archeomagnetická referenčná krivka

(laboratórne metódy určovania parametrov historickej magnetizácie)

hlavné oblasti použitia magnetometrie v archeológii:

1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie) (vysoká susceptibilita železa + reman.)
2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

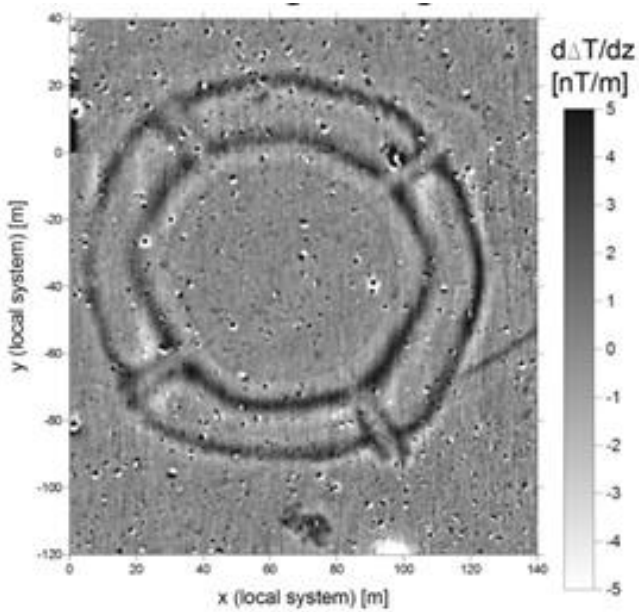
   (dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)
3. detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu

   (vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky) – sídliská, pohrebiská, rondely, hradiská (valy)
4. detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)

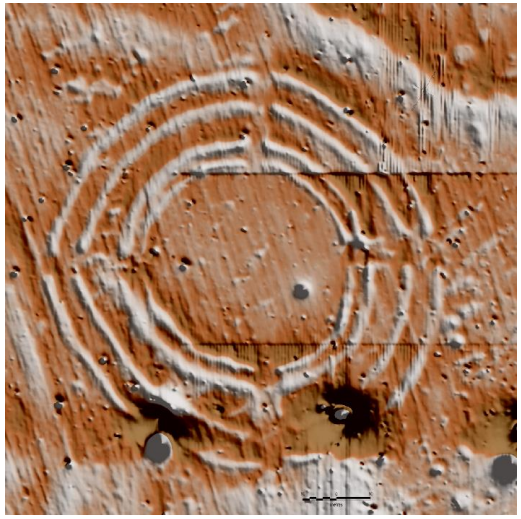
   funguje, ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek

rôzne príklady:

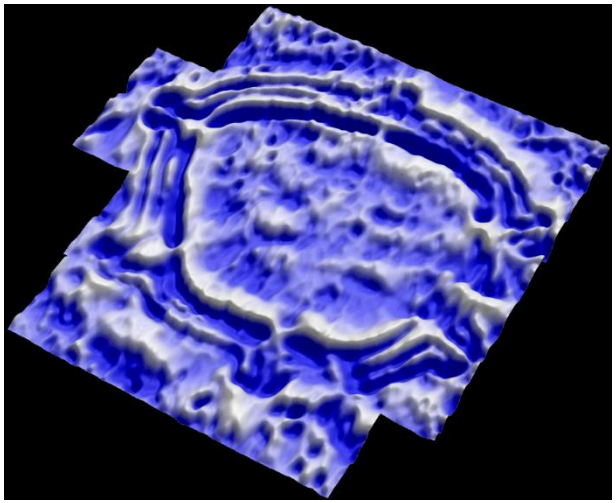
rondely



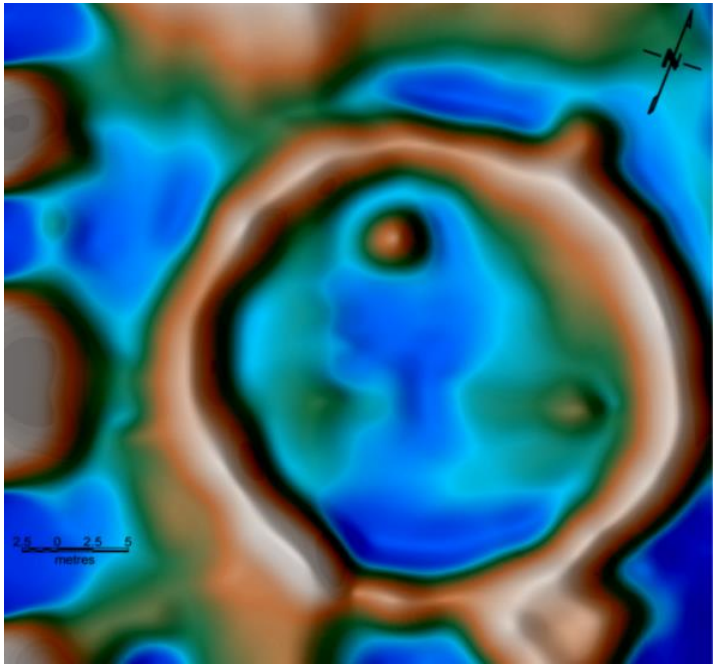
Milovice (ČR)



Cífer (SK)



Golianovo (SK)

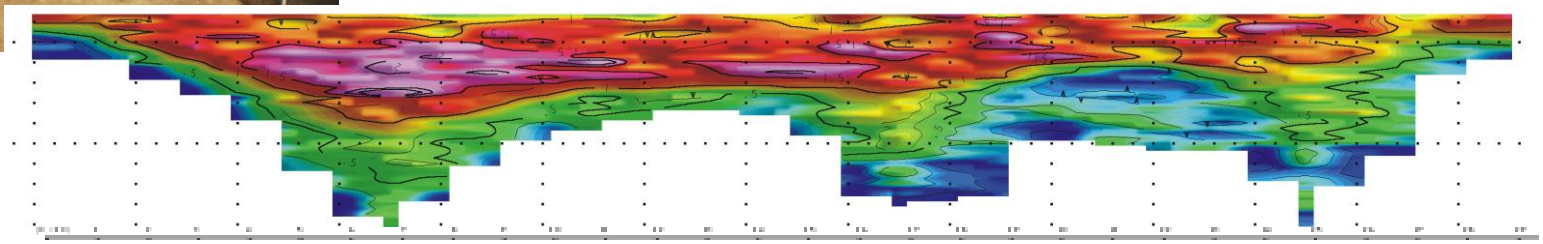


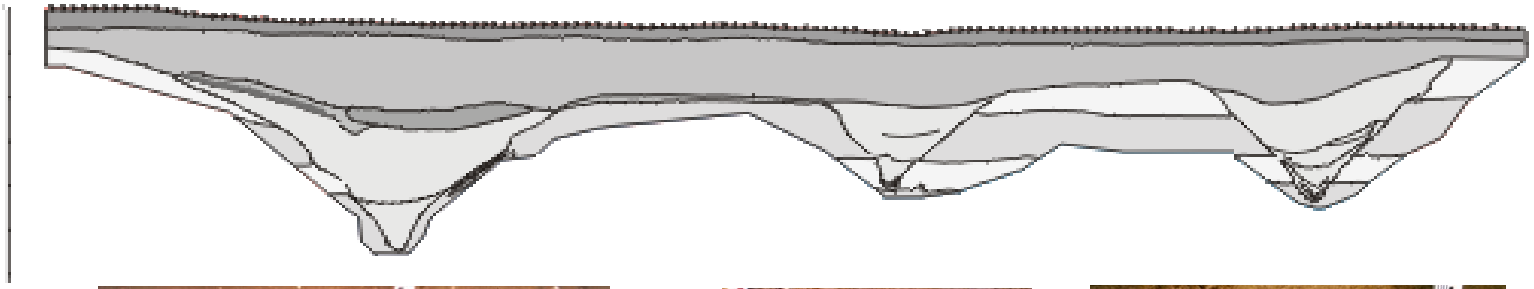
BRANČ, okr. Nitra, obdobie: doba bronzová – 18. stor. p.n.l.

rôzne príklady:

rondely

GOLIANOVO, okr. Nitra
archeologická sonda
vertikálny rez hodnôt magnetickej susceptibility
západný profil rezu priekopami

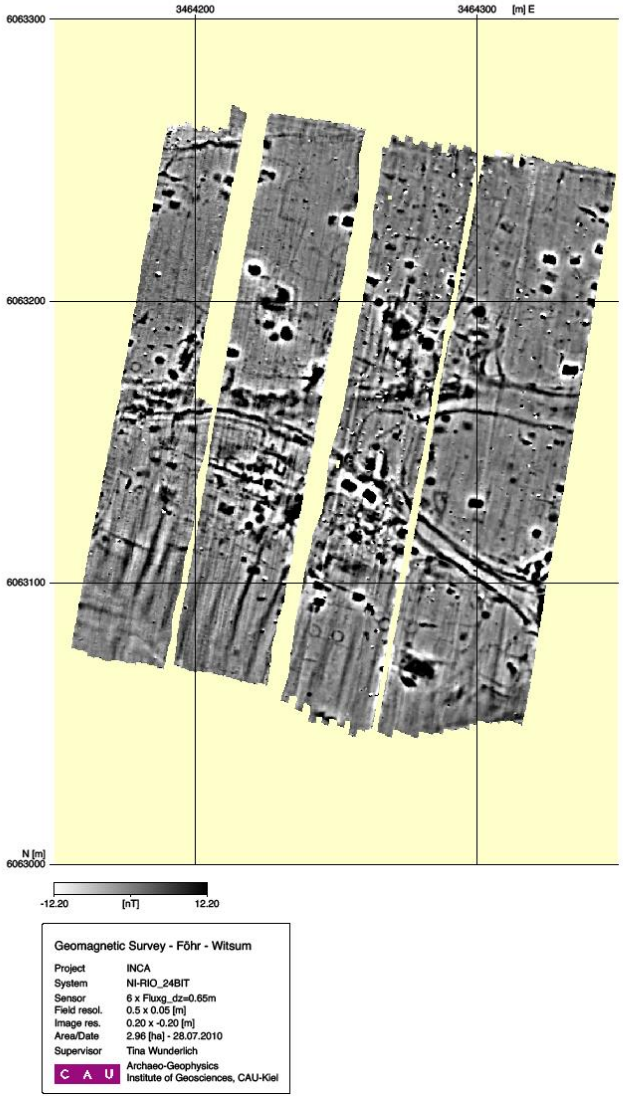




rôzne príklady:

sídliská

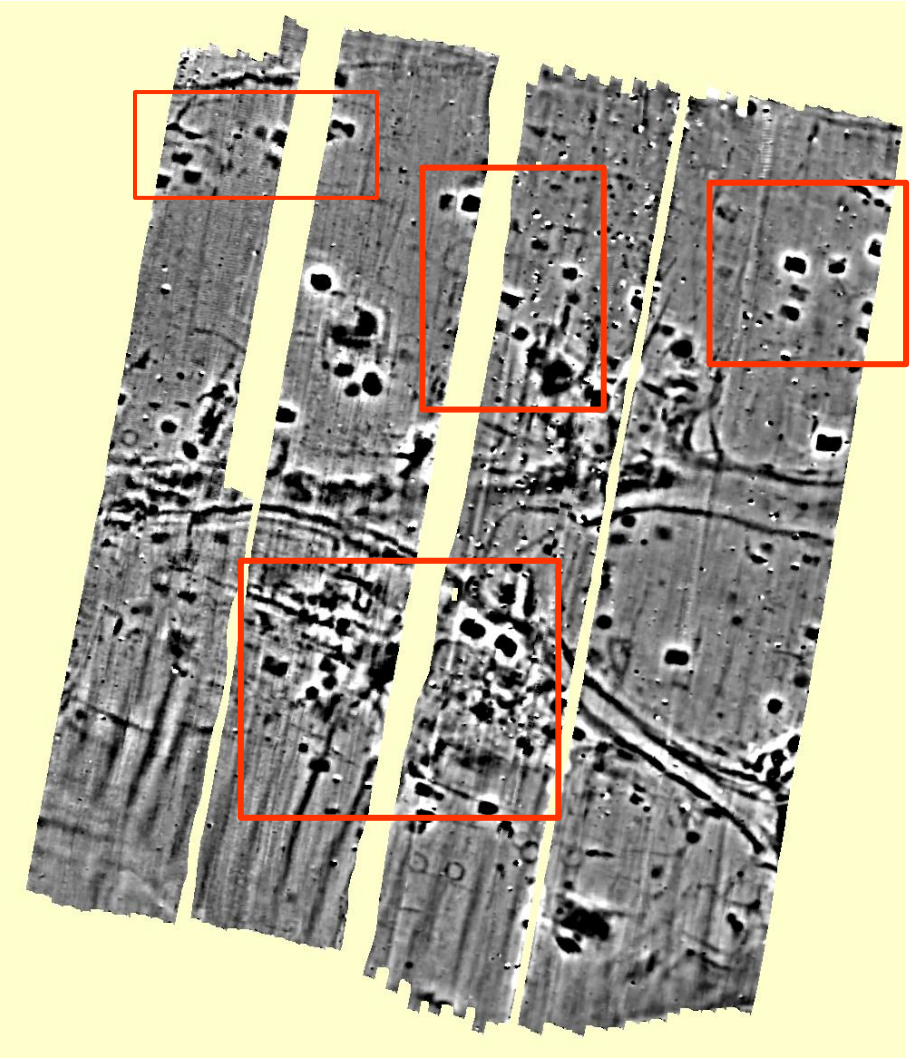
letecká snímka

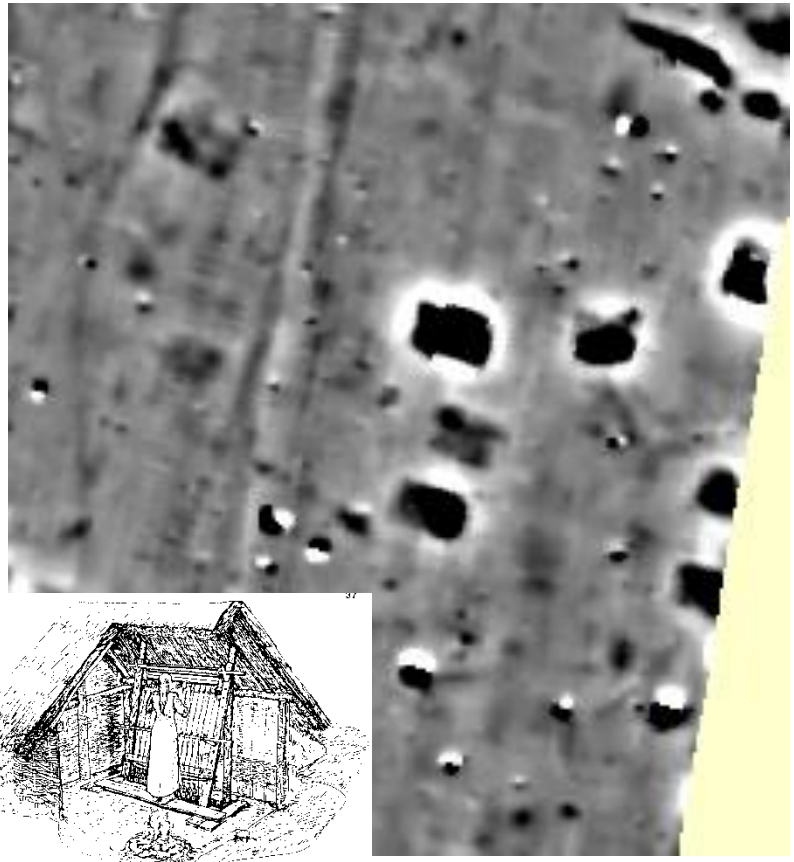


ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné Nemecko) (priekopy, zemlianky, domy)

rôzne príklady:

pithouses (zemlianky)





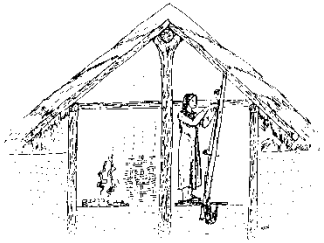
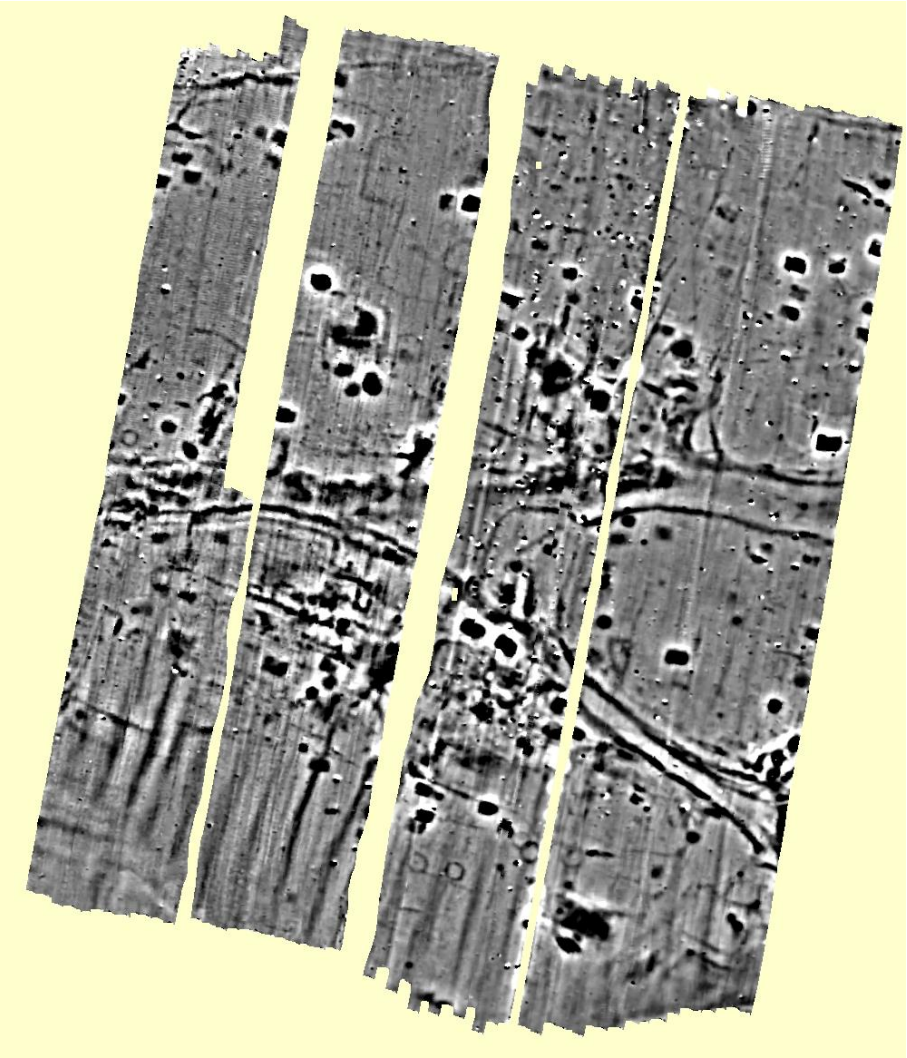


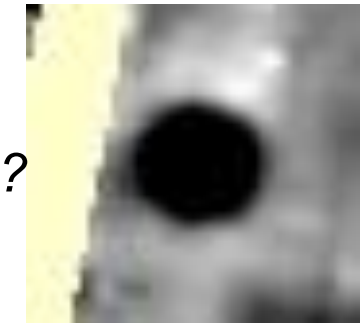
Abb. 7
Wittorf, Stadt Vissel-hövede, Fp. 28
Rekonstruktionsversuch des Grubenhauses 2
mit Webstuhl, der jüngeren Nutzungsphase.

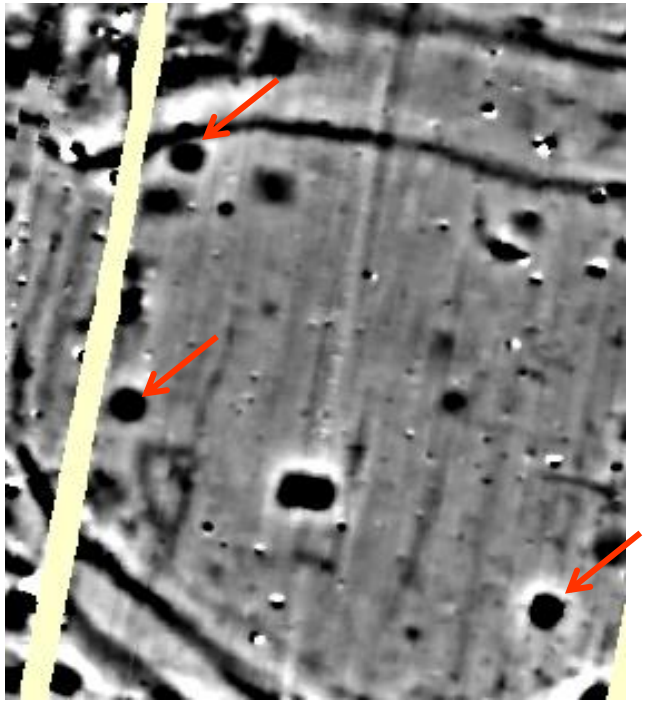
ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné Nemecko) (priekopy, zemlianky, domy)

rôzne príklady:



wells (studne)?

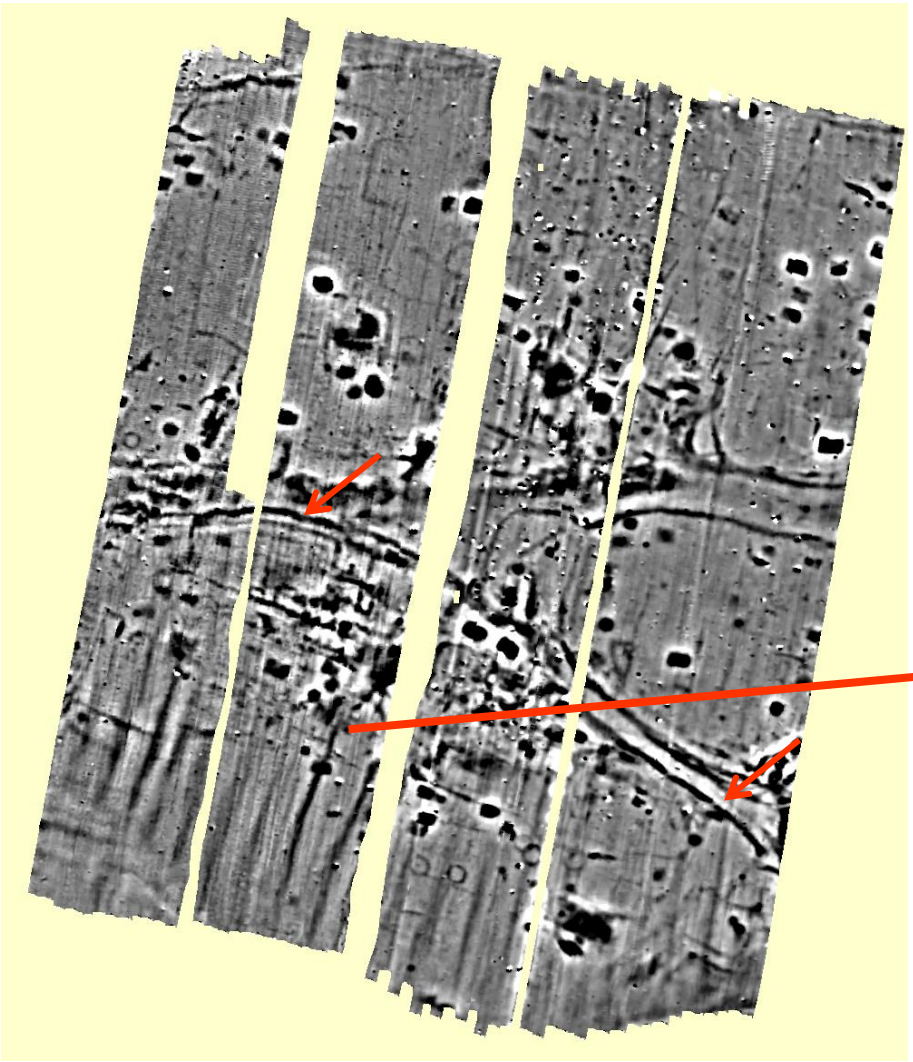


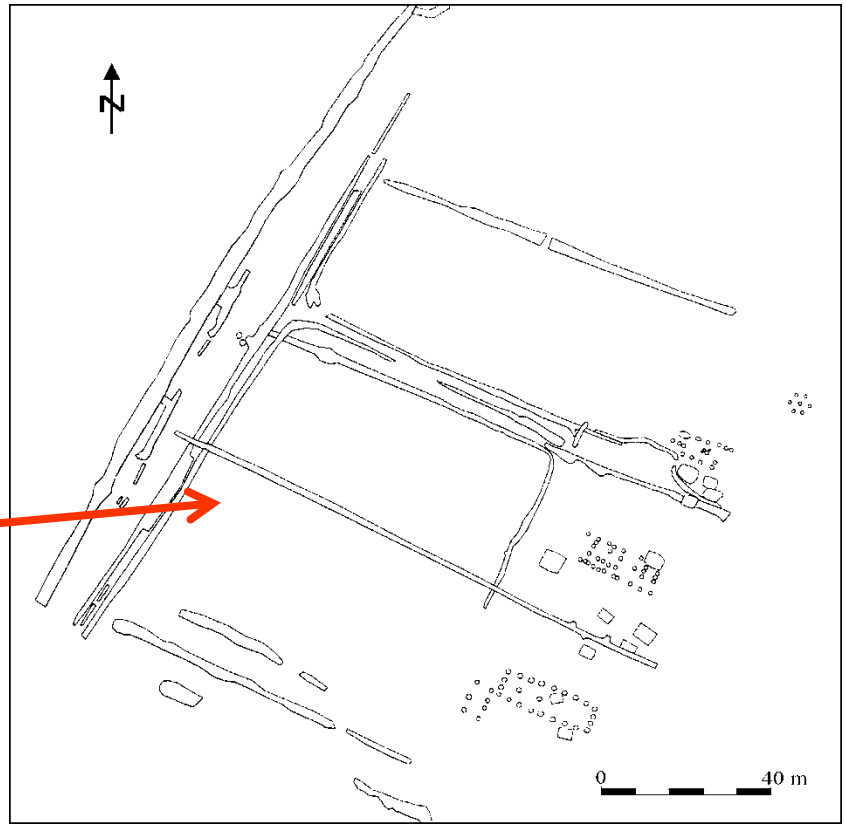


ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné Nemecko) (priekopy, zemlianky, domy)

rôzne príklady:

ditches (priekopy)
boundaries of fields ?(hranice polí?)

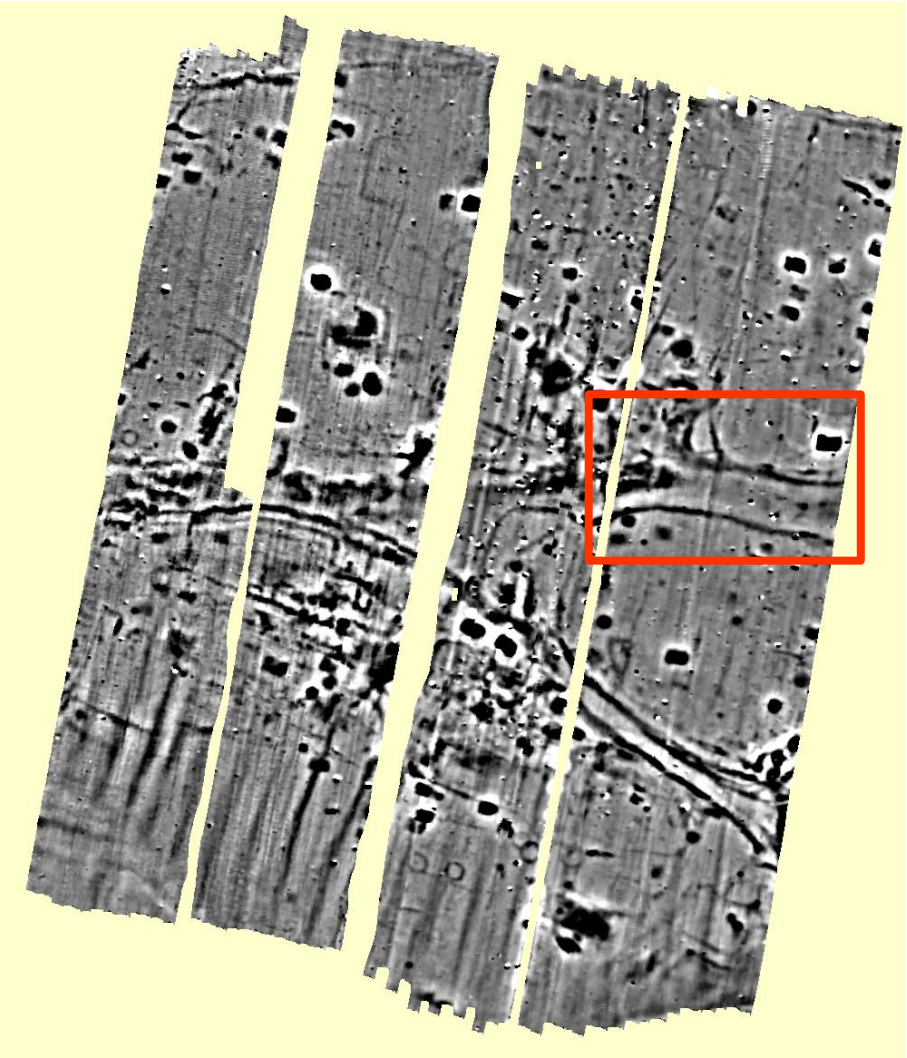


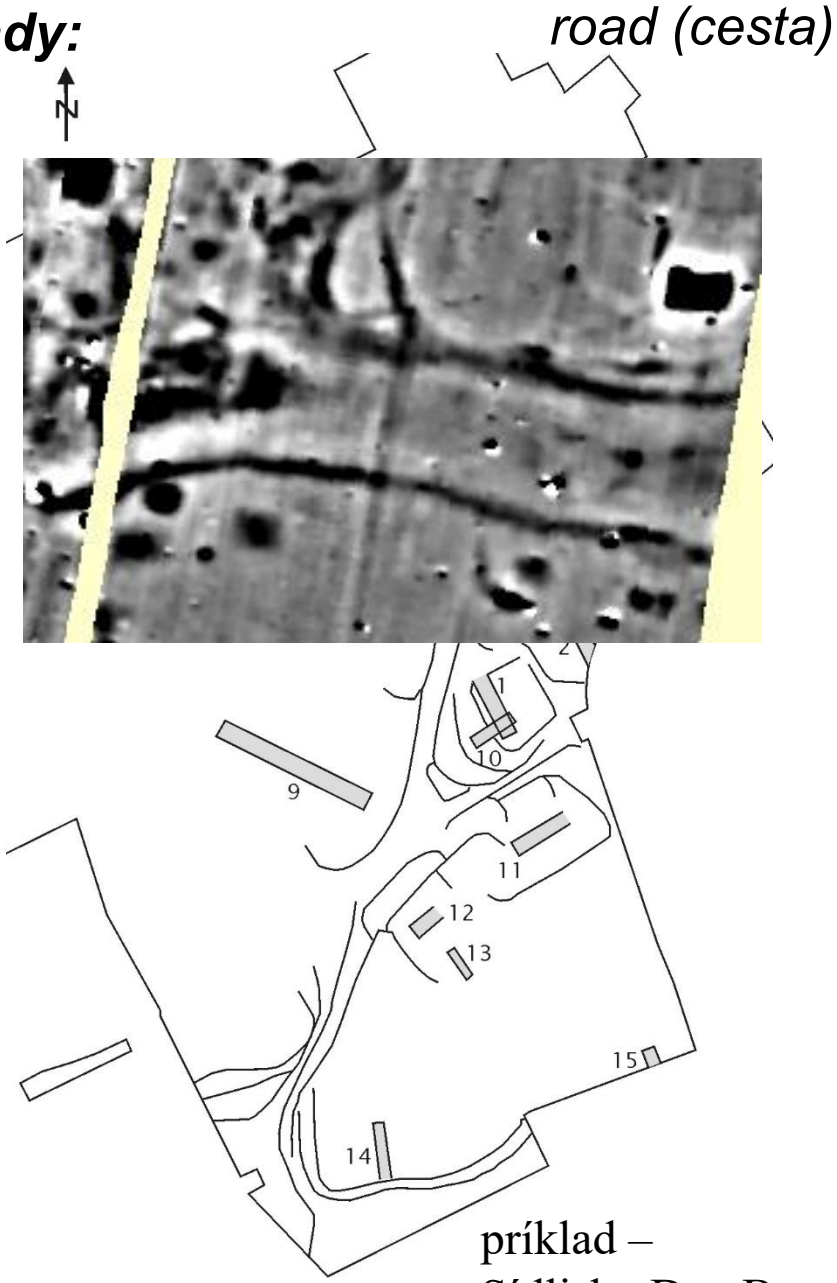


príklad: sídlisko Oelde

ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné Nemecko) (priekopy, zemlianky, domy)

rôzne príklady:

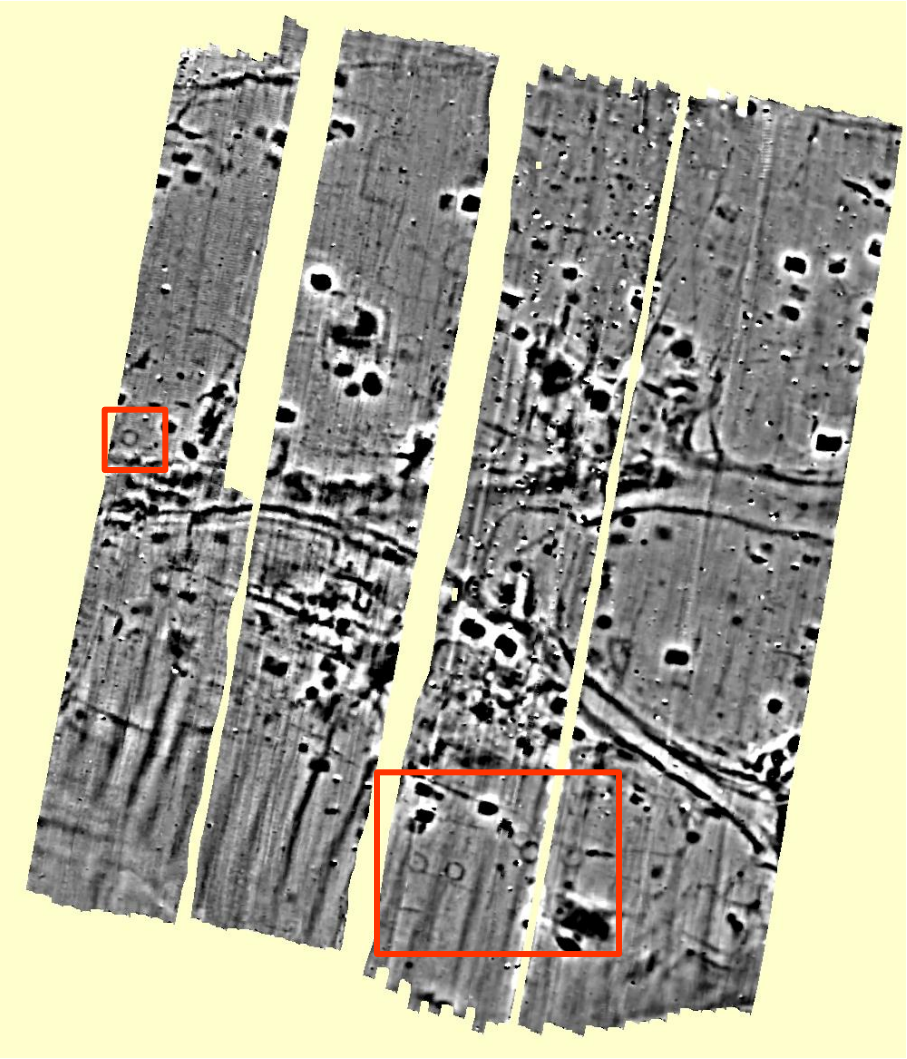




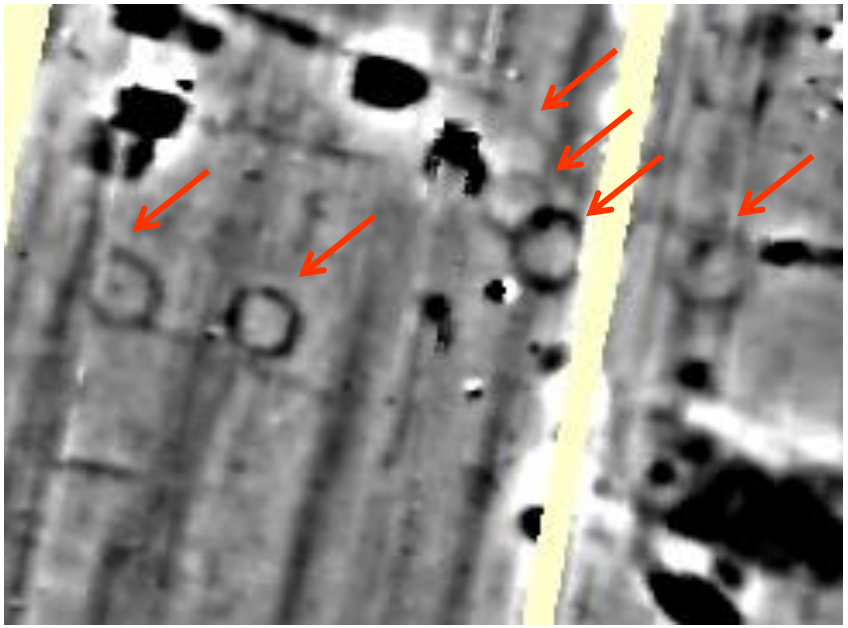
príklad –
Sídlisko Den Burg

ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné Nemecko) (priekopy, zemlianky, domy)

rôzne príklady:



graves, small mounds? (hroby, malé mohyly?)



ranno-stredoveké sídlisko, ostrov Witsum (severné Nemecko) (priekopy, zemlianky, domy)

hlavné oblasti použitia magnetometrie v archeológii:

1. vyhľadávanie železných objektov (výrazné dipólové anomálie) (vysoká susceptibilita železa + reman.)
2. vyhľadávanie starých žiarovísk, pecí, ohnísk, atď.

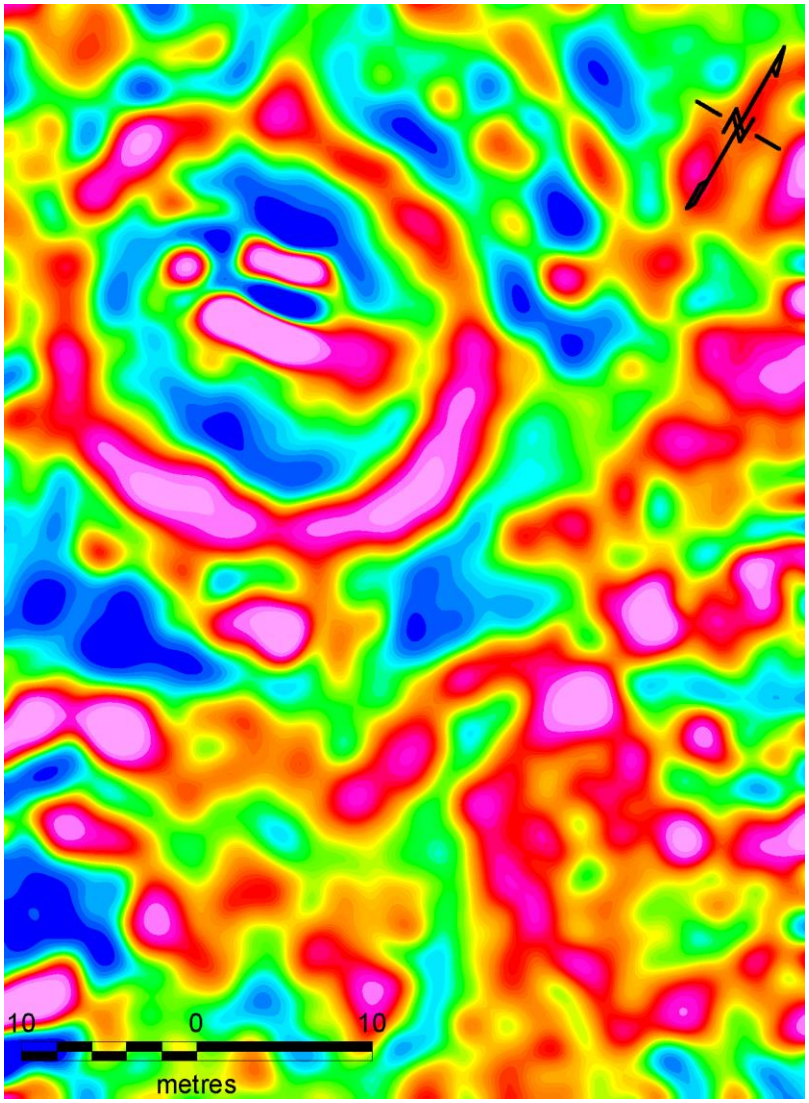
   (dlhšie pôsobiaci oheň zmagnetizuje podložné horniny – dodá im tzv. remanentnú magnetizáciu - „vpáli do nich aktuálne pole“)
3. detekcia bývalých priekop, jám, atď. – vyplnené objekty hlinou s vyšším obsahom humusu

   (vyššia susceptibilita hlín s prítomnosťou humusovej zložky) – sídliská, pohrebiská, rondely, hradiská (valy)
4. detekcia zakrytých múrov (vhodnejšia sú geoel. metódy a radar)

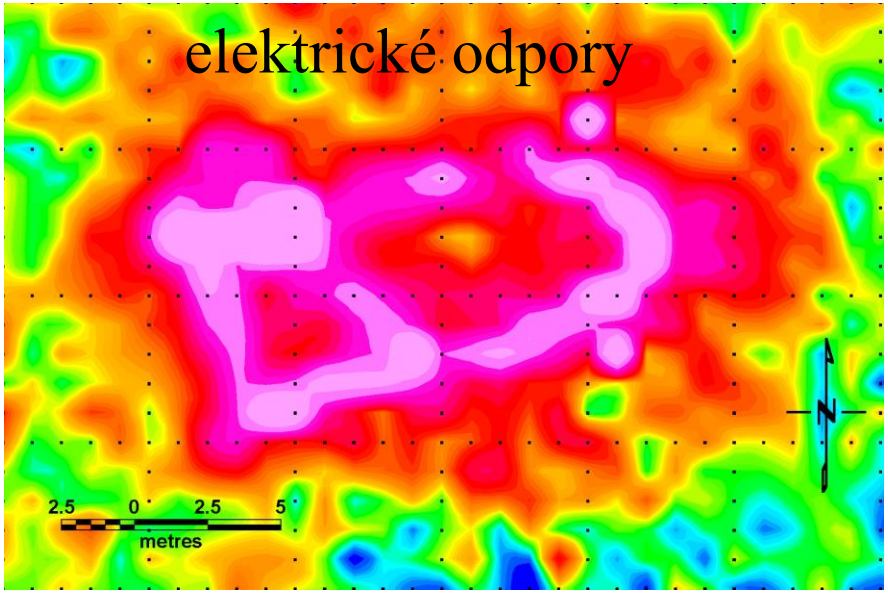
   funguje, ak sú z magnetickejších hornín alebo vytvárajú vhodný kontrast k okolitým hlinám s vyšším obsahom humusových zložiek

letecké snímky

magnetometria (väčšie okolie)

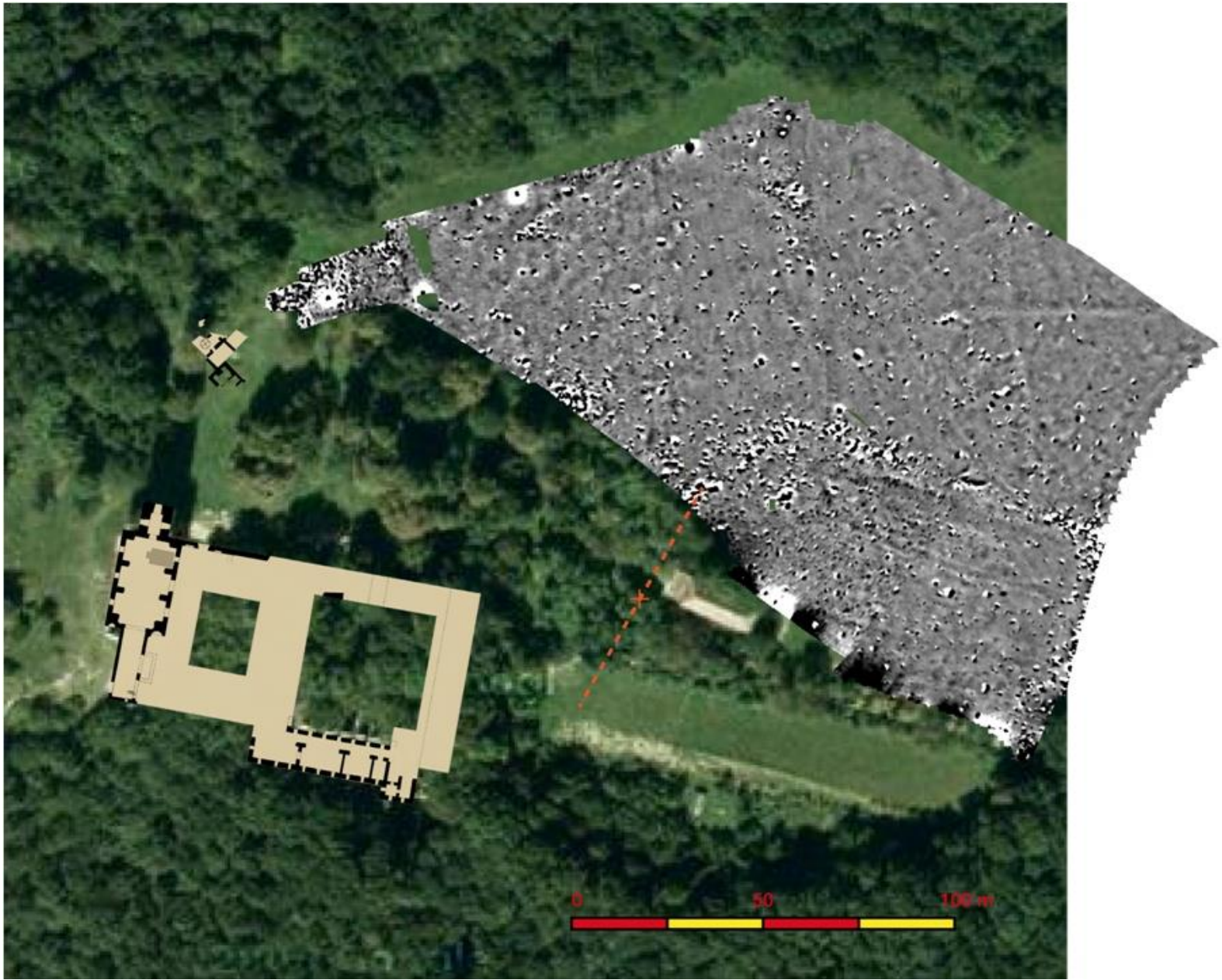


elektrické odpory

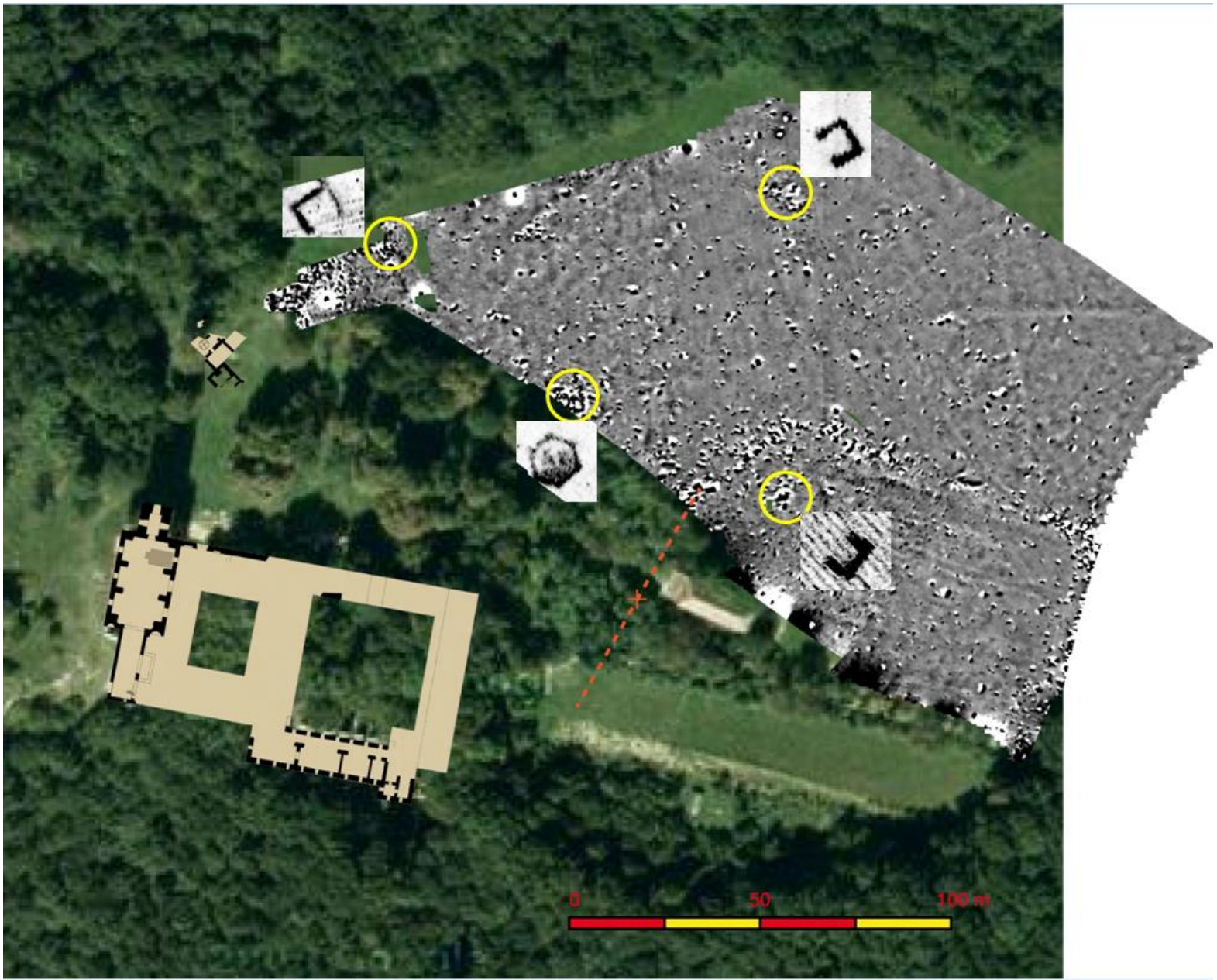


POĽNÝ KESOV, okr. Nitra, obdobie: stredovek - 11. - 13. stor.

ukážka použitia magnetometrie a radaru pri detekcii zvyškov múrov (lokalita Katarínka, JZ Slovensko)

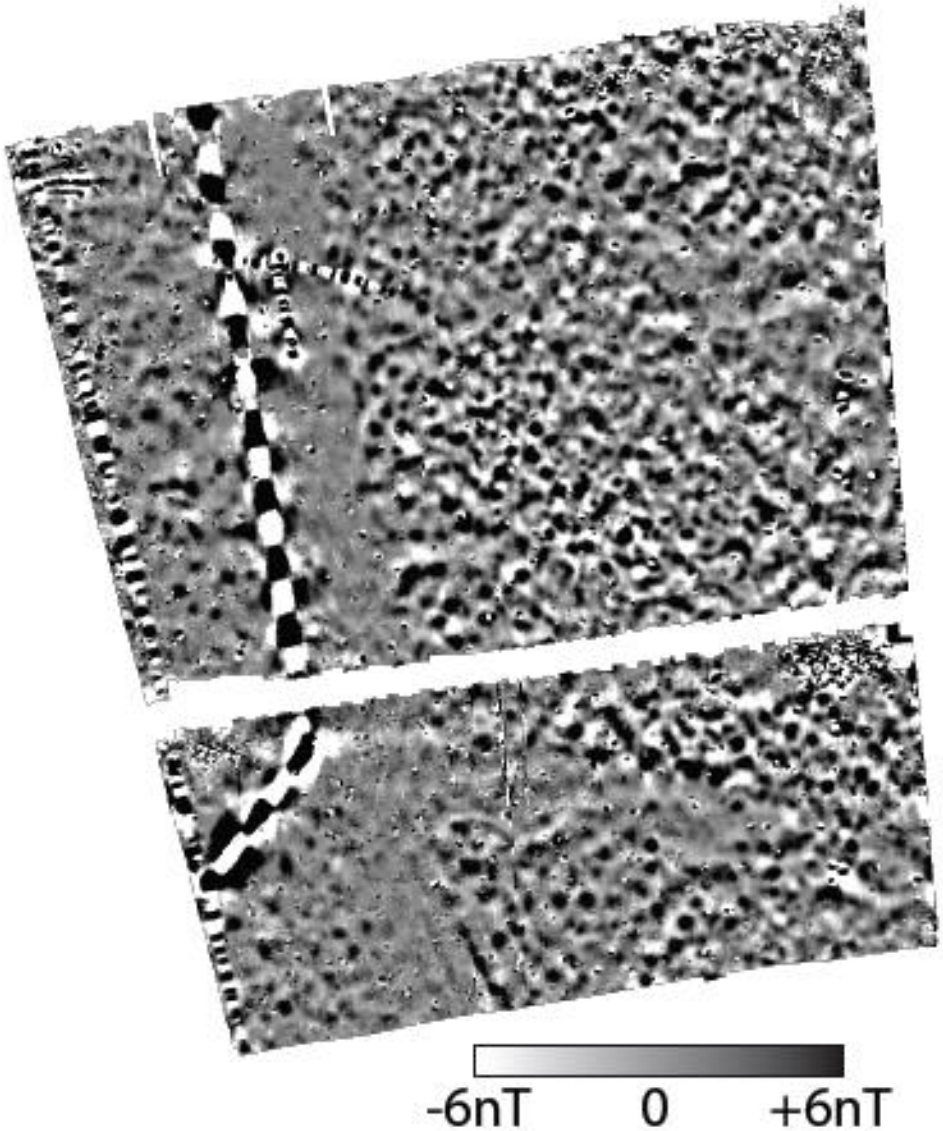


ukážka použitia magnetometrie a radaru pri detekcii zvyškov múrov (lokalita Katarínka, JZ Slovensko)



zopár poznámok na záver

falošné anomálie (oceľové potrubia)

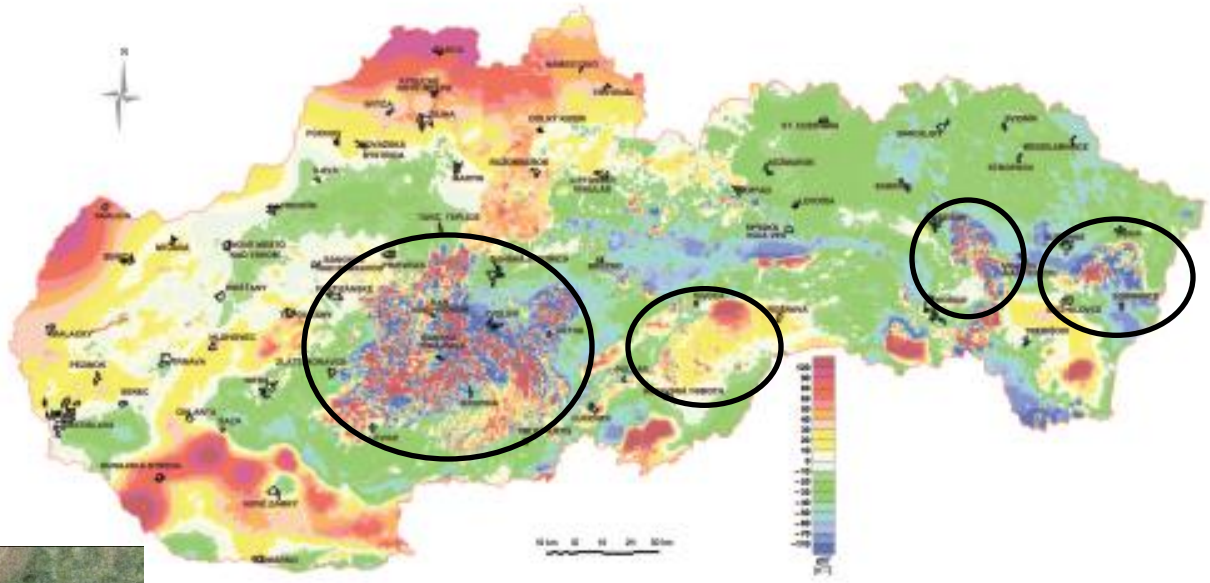


sekvencia po sebe idúcich dipólových anomálií

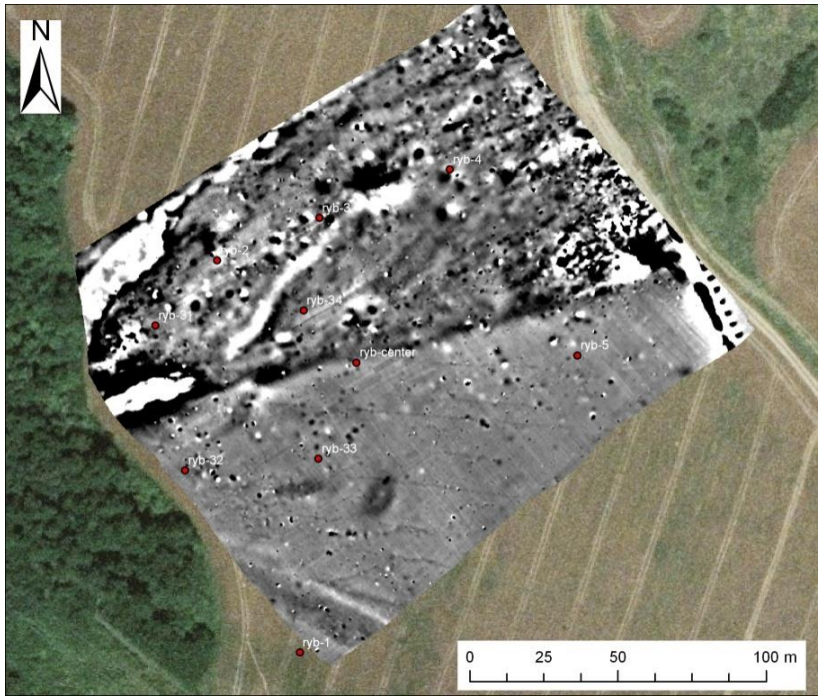
falošné anomálie (oceľové potrubia)

sekvencia po sebe idúcich dipólových anomálií

falošné anomálie (vplyv geologického podložia)



lokalita Rybník
(stredné Slovensko)



problém s vulkanickými horninami (sú často magnetické),

(Štiavnické vrchy, Kremnické vrchy, Poľana, Javorie, Vtáčnik, Pohronský Inovec, Krupinská planina, Slanské vrchy, Vihorlat)

magnetometria - zhrnutie

- vyhľadávanie železných objektov – vhodná je kombinácia s elektromagnetickými detektormi („mínohľadačkami“), nakoľko tieto detekujú všetky kovy

- vyhľadávanie žiarovísk, pecí – zatiaľ u nás nie je veľa aplikácií

- detekcia bývalých priekop, jám, zemných prác atď. – vhodná je kombinácia s leteckým snímkovaním a s geoelektrickými metódami (u nás najmä rondely)

- magnetometrická metóda nie je až taká vhodná na detekciu zakrytých zvyškov múrov (vhodnejšia je geoelektrická metóda/radar)

  (vhodná je iba ak sú z magnetických hornín – napr. čadičov)