

Magnetometria

- na PríF UK v rámci magisterského študijného programu „Aplikovaná a environmentálna geofyzika“
sú v prípade magnetometrie **2 nosné predmety**:

Magnetické metódy (1), 1. roč., LS, povinný predmet, 3/1
základné metodické poznatky (spracovanie, interpretácia)

Magnetické metódy (2), 2. roč, ZS, PV predmet, 3/0
interpretácia + aplikačné oblasti, najmä v geológii

plus niekoľko ďalších výberových predmetov...

Magnetické metódy (1)

- stručná náplň predmetu:

- zemské magnetické pole: vznik ZMP, matem. popis, základné parametre ZMP

spracovanie nameraných údajov do formy poľa ΔT

- základy teórie potenciálu, priama úloha

(výpočet magnetických účinkov jednoduchých a zložitejších telies), Poissonov teorém

- základy interpretácie magnetometrických údajov, obrátená úloha, odhady parametrov anomálnych telies, modelovanie, transformácie poľa poľa ΔT ,

Magnetické metódy (1)

- hodnotenie predmetu (4 kredity):
 - vypracovanie cvičení* (15 %)
 - priebežné písomky (3 sa semester) (25 %)
 - ústna skúška (60 %)

*vypracované cvičenia je potrebné odovzdať do 2 týždňov od dátumu (a hodiny) zadania

e-mailová adresa: roman.pasteka@uniba.sk

(každý deň omeškania znižuje hodnotenie vypracovaného cvičenia o jeden stupeň)

program prednášok

- úvod, repetitórium doterajších poznatkov
- zemské magnetické pole (ZMP)
- variácie ZMP
- definícia a výpočet poľa ΔT
- priama úloha pre jednoduché telesá
- modelovanie účinkov zložitejších telies
- teória obrátenej úlohy
- interpretačné metódy
- transformácie potenciálových polí
- doplňujúce témy (aplikácie)

program cvičení

- metódy určovania normálneho magnetického poľa

... zoznam bude doplňaný počas semestra

Magnetometria – úvod

- historický vývoj
- základné pojmy a veličiny
- prístroje (stručné repetitórium)
- poznámky k prvotnému spracovaniu

Magnetometria – úvod

- magnetometria: zo starogréckeho *magnés lithos* (magnetit) + *metrein* (merať)
- historický vývoj (1/3):
 - 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 – úvod

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. Ampère 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 – úvod

historický vývoj (3/3):

- 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...



Magnetometria – úvod

- historický vývoj
- základné pojmy a veličiny
- prístroje (stručné repetitórium)
- poznámky k prvotnému spracovaniu

Magnetometria – základné pojmy

magnetické pole – 2 dôležité vektorové veličiny:

magnetická intenzita $\mathbf{H}$, [$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$]

magnetická indukcia $\mathbf{B}$, [$\text{T} = \text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$]

medzi nimi platí
vzťah $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$

Alternative names for B and H

B	
name	used by
magnetic flux density	electrical engineers
<u>magnetic induction</u>	electrical engineers
magnetic field	physicists
H	
name	used by
<u>magnetic field intensity</u>	electrical engineers
magnetic field strength	electrical engineers
auxiliary magnetic field	physicists
magnetizing field	physicists

Magnetometria – základné pojmy

Magnetické vlastnosti látok – 2 dôležité skalárne veličiny:

magnetická permeabilita μ , [$\text{H} \cdot \text{m}^{-1} = \text{N} \cdot \text{A}^{-2}$]

magnetická susceptibilita κ , [m^3]

(v praxi sa ale používa tzv. magn. objemová susceptibilita κ_v bezrozmerné číslo, používa sa jednotka [SI unit]).

Existuje aj tzv. relatívna magnetická permeabilita μ_r (bezrozmerné číslo):

$$\mu_r = \mu / \mu_0 \Rightarrow \mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

μ_0 – permeabilita vákua ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$)

Vzťah medzi relat. permeabilitou a objemovou susceptibilitou:

$$\mu_r = 1 + \kappa_v .$$

Magnetometria – základné pojmy

staré vs nové fyzikálne jednotky:

Table 1.1: Conversion between SI and cgs units.

Parameter	SI unit	cgs unit	Conversion
Magnetic moment (m)	Am^2	emu	$1 \text{ A m}^2 = 10^3 \text{ emu}$
Magnetization (M)	Am^{-1}	emu cm^{-3}	$1 \text{ Am}^{-1} = 10^{-3} \text{ emu cm}^{-3}$
Magnetic Field (H)	Am^{-1}	Oersted (oe)	$1 \text{ Am}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ oe}$
Magnetic Induction (B)	T	Gauss (G)	$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$
Permeability of free space (μ_0)	Hm^{-1}	1	$4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1} = 1$
Susceptibility (χ) total ($\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{H}}$)	m^3	emu oe^{-1}	$1 \text{ m}^3 = \frac{10^6}{4\pi} \text{ emu oe}^{-1}$
by volume ($\frac{\mathbf{M}}{\mathbf{H}}$)	-	$\text{emu cm}^{-3} \text{ oe}^{-1}$	$1 \text{ S.I.} = \frac{1}{4\pi} \text{ emu cm}^{-3} \text{ oe}^{-1}$
by mass ($\frac{\mathbf{m}}{m} \cdot \frac{1}{\mathbf{H}}$)	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	$\text{emu g}^{-1} \text{ oe}^{-1}$	$1 \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} = \frac{10^3}{4\pi} \text{ emu g}^{-1} \text{ oe}^{-1}$
$1 \text{ H} = \text{kg m}^2 \text{A}^{-2} \text{s}^{-2}, 1 \text{ emu} = 1 \text{ G cm}^3, B = \mu_o(H + M), 1 \text{ T} = \text{kg A}^{-1} \text{s}^{-2}$			

Magnetometria – základné pojmy

Druhy látok podľa schopnosti zmagnetizovať sa:

Podľa hodnoty rel. permeability μ_r delíme látky na:

diamagnetické ($\mu_r < 1$), zoslabujú magn. pole (napr. voda, organické látky, ale aj niektoré kovy: Cu, Ag, Au, Hg, Bi,)

paramagnetické ($\mu_r > 1$), zosilňujú magn. pole (napr. Al, Mn, Cr, Pt)

feromagnetické ($\mu_r \gg 1$) 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 vtáňované.

Feromagnetické látky si dokážu “zapamätať” magnetické pole – cez tzv. remanentnú magnetizáciu (paramagnetické nie).

Magnetometria – úvod

- historický vývoj
- základné pojmy a veličiny
- prístroje (stručné repetitórium)
- poznámky k prvotnému spracovaniu

Magnetometria – prístroje

Prístroje v magnetometrii - **magnetometre**.

Existujú rôzne rozdelenia:

- skalárne (merajú veľkosť $\mathbf{T}$), vektorové (trojzložkové),
- meranie na jednej úrovni alebo rozdielu $\mathbf{T}$ na dvoch úrovnicach (tzv. gradientové magnetometre),
- spôsob merania – “**stop and go**” alebo “**walking mode**” (samostatná kategória sú letecké magnetometre),
- rôzne fyzikálne princípy (magnetické váhy, fluxgate, protónový, céziový, SQUID).

Magnetometria – prístroje

Najviac používané magnetometre v praxi:

- protónový, fluxgate, céziový.

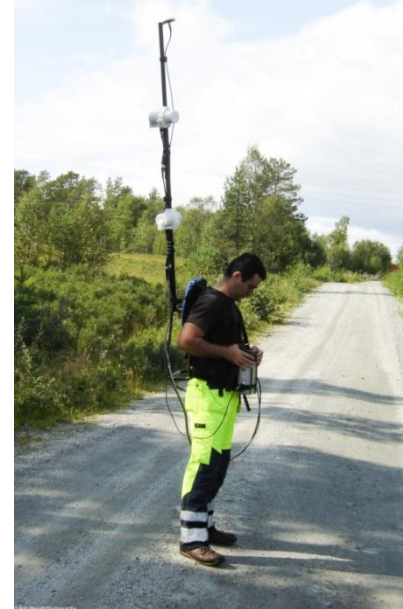


Protónový magnetometer:

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

Vnútoraná presnosť je na úrovni 0.1 nT, vonkajšia niekoľko nT.

Využíva sa najmä pri geologických aplikáciách.



Magnetometer s ferosondou (fluxgate):



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.

"Céziový" magnetometer: (Cs-vapour magnetometer)

Merací čas sú rádovo desatiny až tisíciny sekundy (patrí medzi najrýchlejšie prístroje).

Vnútrotná 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.

Magnetometria - zber dát v teréne

Meria sa buď v nejakom zvolenom lokálnom systéme (pásma, značky) alebo v globálnych súradniciach (GPS).

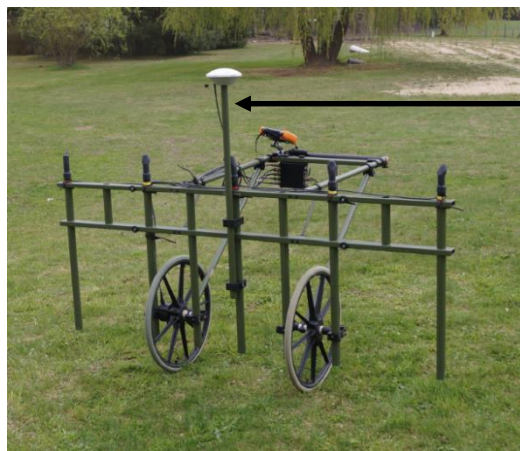
Pri meraní vo walking mode sa poloha registruje:

1. stláčaním gombíku na ráme prístroja pri prechode ponad značky,
2. na základe dĺžky odvinutej bavlnenej nite alebo podľa počtu otáčok pomocného kolesa prístroja (tzv. odometer)
3. pomocou technológie GPS

Chyby v určení polohy – prvé 2 technológie: úroveň $\pm$ dm, GPS: $\pm$ cm).



odometer
(optické snímanie
dĺžky odvinutej nite)



GPS antenna
(snímanie polohy
v reálnom čase
s korekciami
polohy cez GSM
sieť – služba
SKPOS)

Magnetometria – úvod

- historický vývoj
- základné pojmy a veličiny
- prístroje (stručné repetitórium)
- poznámky k prvotnému spracovaniu

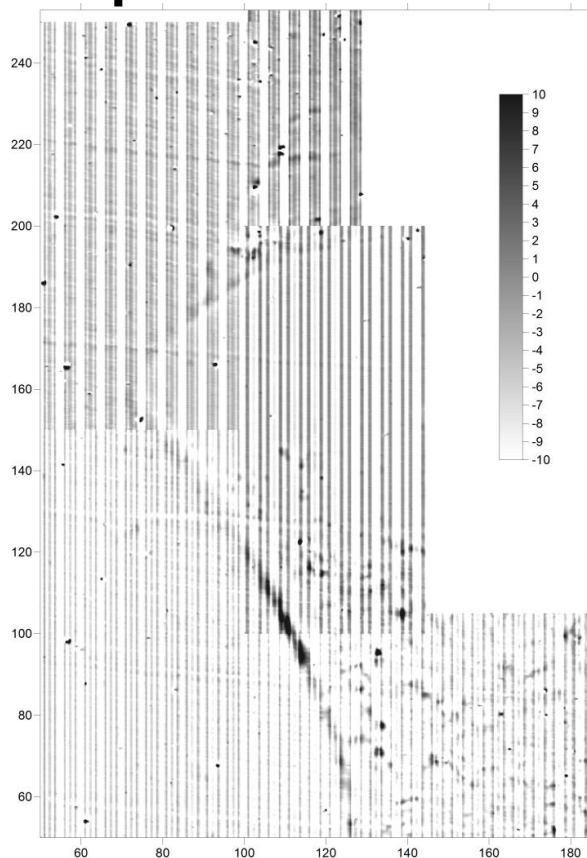
Magnetometria - poznámky ku QC a prvotnému spracovaniu

- opravy o variácie geomagnetického poľa
(variačný magnetometer alebo observatórium alebo filtre)
- odpočítanie tzv. normálneho poľa: výpočet poľa ΔT
(štatistické metódy alebo globálne modely magn.
poľa – napr. IGRF alebo WMM)
- zavedenie špeciálnych opráv na hodnotové posuny
medzi senzormi a iné deformácie zmeraného poľa
(tzv. heading error, herringbone error, atď.)
- interpolácia do máp poľa ΔT a vizualizácia
(farebné alebo ČB tieňované mapy)
- pozn.: niektorí autori zavádzajú aj magnetické terénne
korekcie (nie je to však bežné)

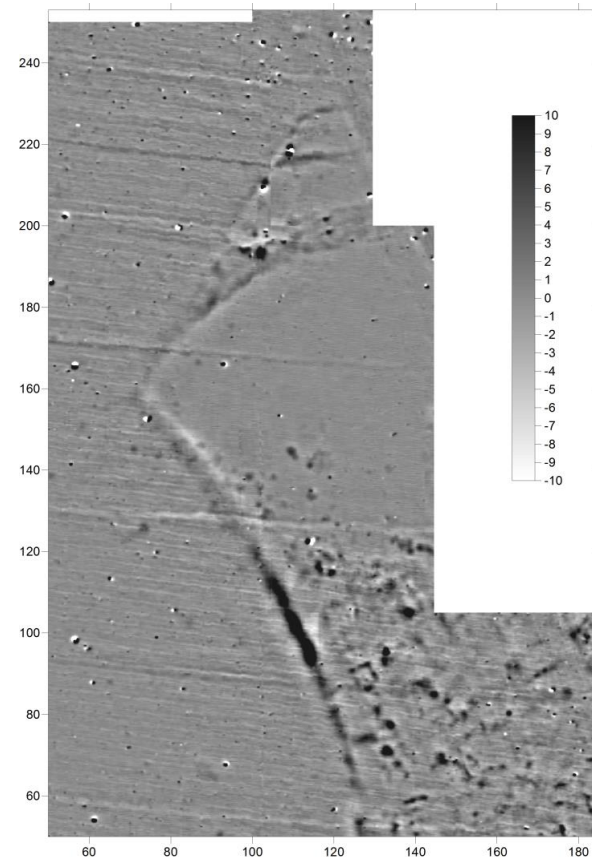
Hodnotové posuny medzi senzormi (tzv. heading error):

Spôsobené skutočnosťou, že na rôzne senzory môžu pôsobiť rôzne konštantné vplyvy – napr. operátor alebo elektronika na ráme prístroja.

pôvodné dáta

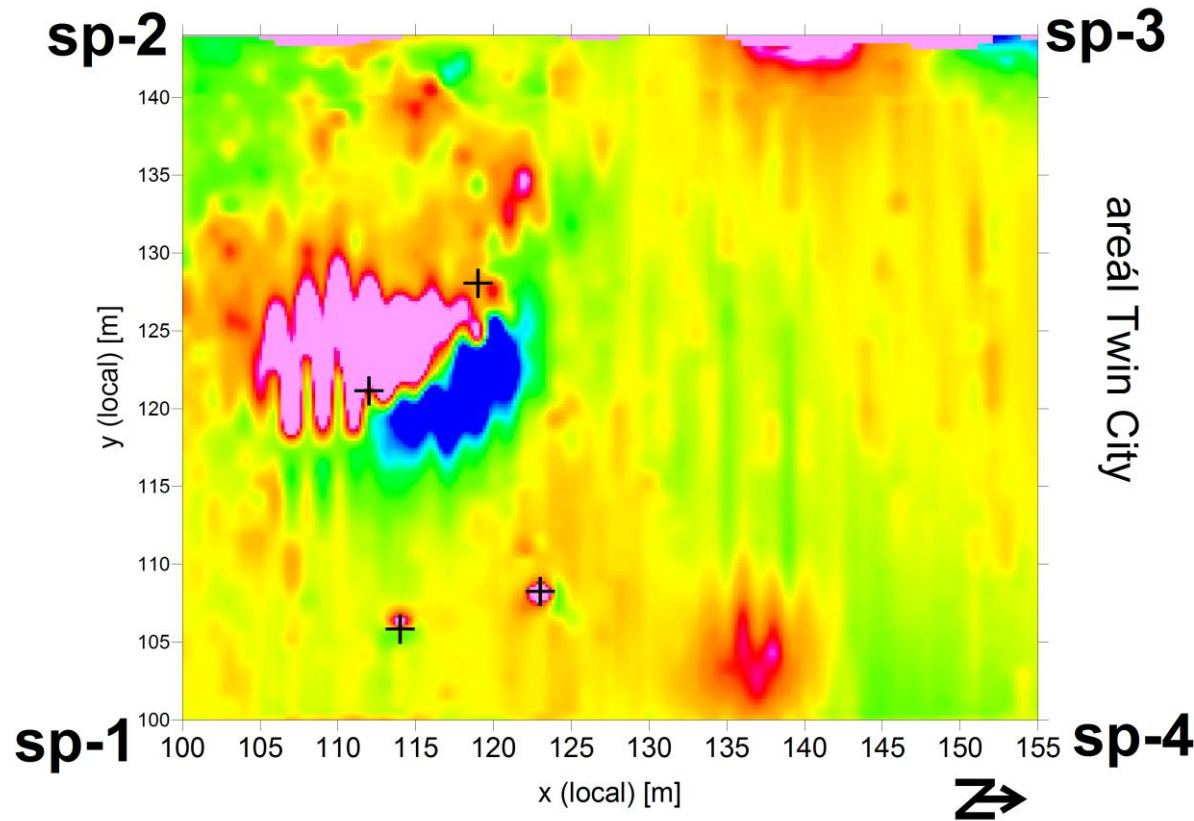


filtrované dáta



Dobré skúsenosti sú s tzv. mediánovými filtrami (každý profil zvlášť je filtrovaný posuvným mediánovým filtrom) alebo postupom, ktorý sa nazýva ako tzv. mikroleveling.

Deformácie pozdĺž profilov merania - tzv. „herringbone“ error (deformácia v tvare rybacej kosti):



Spôsobený nedostatočnou polohovou presnosťou alebo určitým prístrojovým defektom (časovým spomalením pri spracovaní veľmi vysokých hodnôt) – anomálie sú umelo “naťahované” v smere zberu dát.

Dokážu potlačiť jednoduché nízkopriepustné (low-pass, vyhladzujúce) filtre.