

***Geofyzikálne aparatury a
metodika terénnych meraní***

-

časť MAGNETOMETRIA

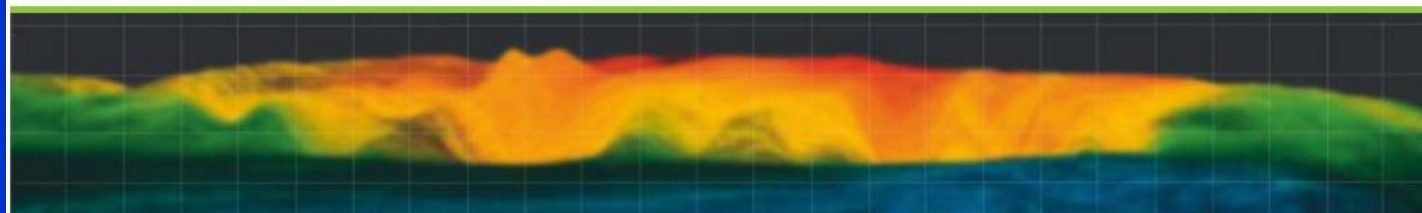
(metodika terénnych meraní)

Prezentácie z prednášok vo forme PDF:

<http://www.kaeg.sk>

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave

Katedra aplikovanej a environmentálnej geofyziky



[Domov](#)

[Štúdium](#)

[Katedra](#)

[História](#)

[Zamestnanci](#)

[Výskum](#)

[Fotogaléria](#)

[Súbory](#)

Aktuálne témy Bakalárskych a Diplomových prác na našej katedre (šk. rok 2017/2018)

Napísal Roman Pašteka, 21. novembra 2017 v Aktuality

Milé študentky, milí študenti.

V pripojených súboroch nájdete aktualizované témy BP a DP na našej katedre.

V prípade záujmu o niektorú z nich kontaktujte uvedeného učiteľa alebo vedúceho katedry.

[BakTemy17](#)

[DiplTemy17](#)

[Čítať ďalej »](#)

XII. Slovenská Geofyzikálna konferencia

Napísal Roman Pašteka, 7. apríla 2017 v Aktuality

SGK XII. SLOVENSKÁ GEOFYZIKÁLNA
KONFERENCIA
28. - 29. SEPTEMBER 2017
BRATISLAVA

Hľadať

Rýchla navigácia

[Fotogaléria](#)

[História](#)

[Katedra](#)

[Štúdium](#)

[Učebné texty](#)

[Súbory](#)

[Výskum](#)

[Projekt APVV](#)

■ Project
APVV-0194-10
„Bouguer_NG“

MAGNETOMETRIA – zber dát v teréne

Obsah prednášky:

- základné pojmy, jednotky
- magnetické pole Zeme a jeho zložky
- repetitórium - prístroje
- realizácia meraní v teréne
- spracovanie meraní
- vizualizácia výsledkov (mapy anomálneho magn. poľa ΔT)
- poznámky ku interpretácii a oblastiam aplikácií

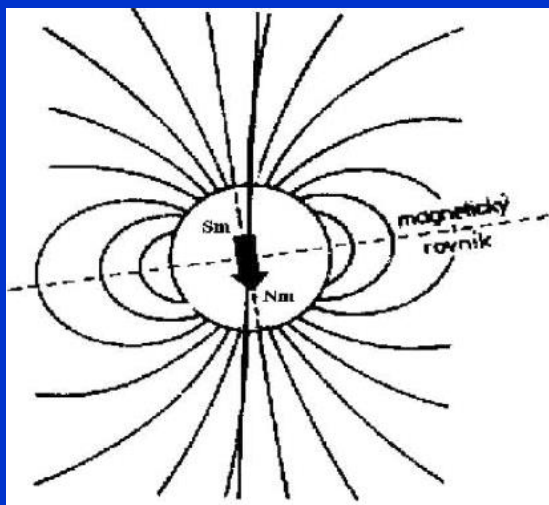
MAGNETOMETRIA

**magnetometria sa zaoberá meraním,
spracovaním a interpretáciou
magnetického poľa Zeme
(poľa magnetickej indukcie)**

***súčasťou magnetometrie sú aj permanentné
merania v observatóriách a laboratórne merania
paleomagnetických vlastností hornín (vzoriek)***

MAGNETOMETRIA – história

Meranie, vyhodnocovanie a interpretácia anomálneho magnetického poľa Zeme



William Gilbert – v knihe „De Magnete“ v roku 1600 opisuje Zem ako veľký permanentný magnet

základné pojmy

magnetické pole – 2 dôležité vektorové veličiny:

magnetická intenzita $\mathbf{H}$ [$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$], magnetická indukcia $\mathbf{B}$ [nT]
(intenzita $\approx$ budiace pole, indukcia $\approx$ vybudené pole)

staré a nové jednotky:

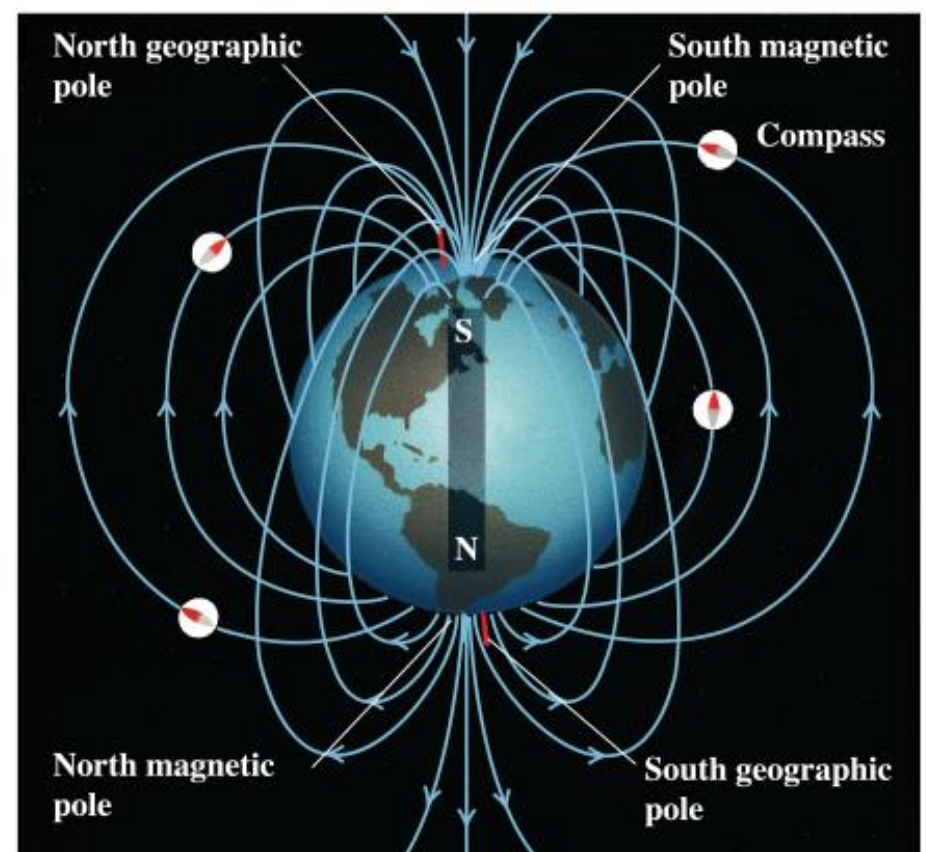
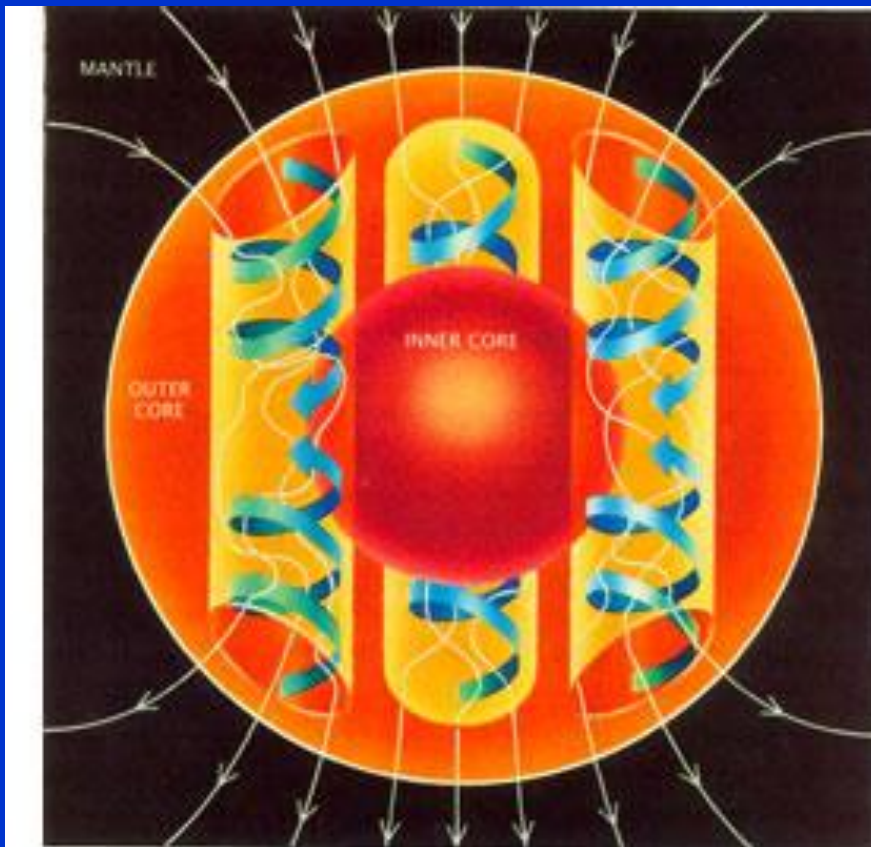
Table 1.1: Conversion between SI and cgs units.

Parameter	SI unit	cgs unit	Conversion
Magnetic moment ($\mathbf{m}$)	Am^2	emu	$1 \text{ A m}^2 = 10^3 \text{ emu}$
Magnetization ($\mathbf{M}$)	Am^{-1}	emu cm^{-3}	$1 \text{ Am}^{-1} = 10^{-3} \text{ emu cm}^{-3}$
Magnetic Field ($\mathbf{H}$)	Am^{-1}	Oersted (oe)	$1 \text{ Am}^{-1} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ oe}$
Magnetic Induction ($\mathbf{B}$)	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 ($\frac{\mathbf{m}}{m} \cdot \frac{1}{\mathbf{H}}$)	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	$\text{emu g}^{-1} \text{ oe}^{-1}$	$1 \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} = \frac{10^3}{4\pi} \text{ emu g}^{-1} \text{ oe}^{-1}$
$1 \text{ H} = \text{kg m}^2 \text{A}^{-2} \text{s}^{-2}, 1 \text{ emu} = 1 \text{ G cm}^3, B = \mu_o(H + M), 1 \text{ T} = \text{kg A}^{-1} \text{s}^{-2}$			

magnetické pole Zeme

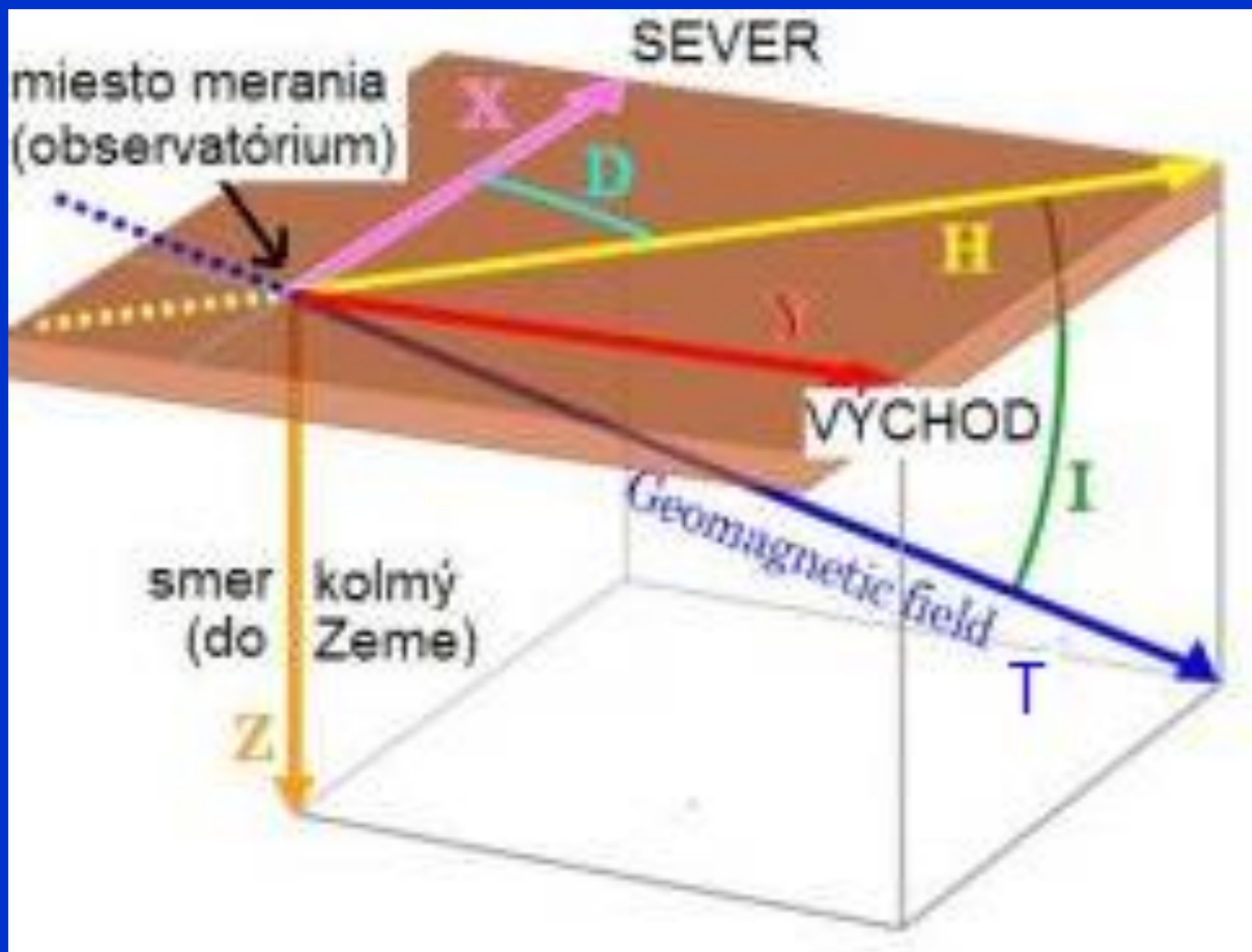
Vznik geomagnetického pole:

Základem jeho generovania je pohyb vodivých hmôt (elektricky nabitých částic) vo vonkajšom jadre – tzv. hydromagneto dynamické javy.



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

magnetické pole Zeme



Rozklad vektora totálnej magnetickej indukcie (T) na zložky H , X , Y a Z . Dôležité sú tiež uhly I (inklinácia) a D (deklinácia).

magnetické pole Zeme

Tab.3-1.Približná veľkosť elementov ZMP v μT

	Póly	Rovník	SR
H	0	30-40	20
Z	60-70	0	43
T	60-70	30-40	47
I	$\pm 90^\circ$	0°	65°
D	neurč.	$+10^\circ$ až -20°	0°

= 20000 nT

= 43000 nT

= 47000 nT

Existujú tzv. kalkulačky parametrov geomagn. poľa, napr:
<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>

Magnetic Field Calculators

Declination

U.S. Historic Declination

Magnetic Field

Magnetic Field Component Grid

Magnetic Field Estimated Values

Magnetic field is calculated using the most recent [World Magnetic Model \(WMM\)](#) or the [International Geomagnetic Reference Field \(IGRF\)](#) model. For 1590 to 1900 the calculator is based on the [gufm1](#) model. A smooth transition from gufm1 to IGRF was imposed from 1890 to 1900. The calculator provides an easy way for you to get results in HTML, XML, or CSV programmatically (API). For more information click the information button above.

Calculate Magnetic Field

Latitude: ☐ S ☒ N

Longitude: ☒ W ☐ E

Elevation: ☐ GPS ☒ Mean sea level

Model: ☒ WMM (2014-2019) ☐ IGRF (1590-2019)

Start Date: Year Month Day

End Date: Year Month Day

Step size:

Result format: ☒ HTML ☐ XML ☐ CSV

Calculate

Lookup Latitude / Longitude

Either enter a zip code, select a country/city, or [search for an address at USGS Earth Explorer](#).

U.S. Zip Code:

- OR -

Country:

City:

Get & Add Lat / Lon

Magnetic Field Calculators

Declination

U.S. Historic Declination

Magnetic Field

Magnetic Field Component Grid

Magnetic Field Estimated Values

Magnetic field is calculated using the most recent [World Magnetic Model \(WMM\)](#) or the [International Geomagnetic Reference Field \(IGRF\)](#) model. For 1590 to 1900 the calculator is based on the [gufm1](#) model. A smooth transition from gufm1 to IGRF was imposed from 1890 to 1900. The calculator provides an easy way for you to get results in HTML, XML, or CSV programmatically (API). For more information click the information button above.

Calculate Magnetic Field

Lookup Latitude / Longitude

Magnetic Field

Model Used: WMM2015

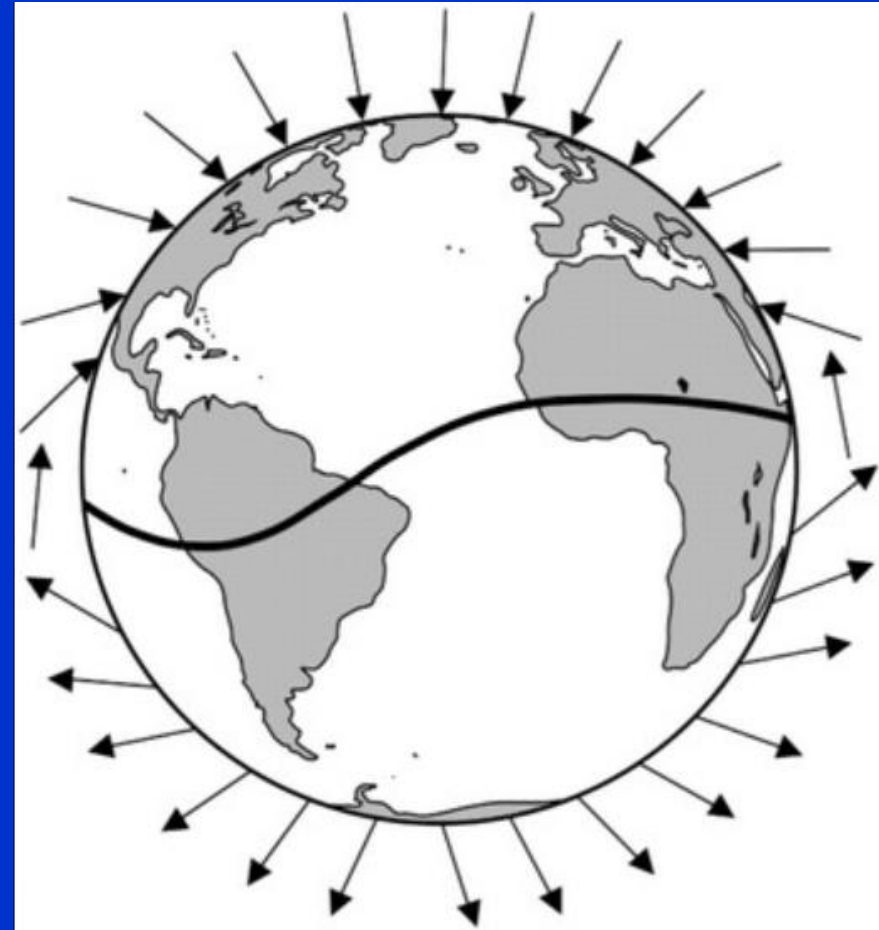
Latitude: 48.15° N

Longitude: 17.15° W

Elevation: 0.0 km Mean Sea Level

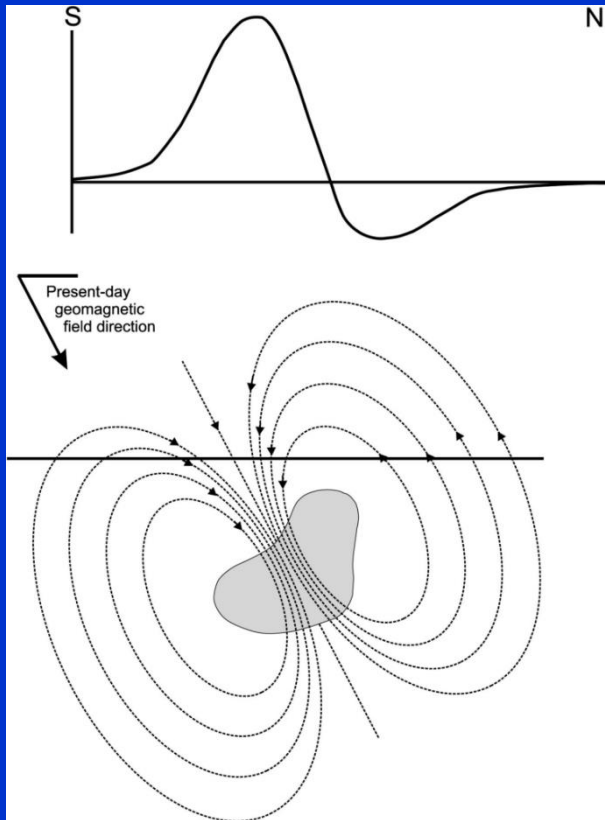
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2017-12-11	-6.3534°	63.2194°	21,434.6 nT	21,302.9 nT	-2,372.0 nT	42,469.0 nT	47,571.6 nT
Change/year	0.1633°/yr	-0.0280°/yr	24.3 nT/yr	30.9 nT/yr	58.0 nT/yr	-3.3 nT/yr	8.0 nT/yr
Uncertainty	0.35°	0.22°	133 nT	138 nT	89 nT	165 nT	152 nT

magnetické pole Zeme

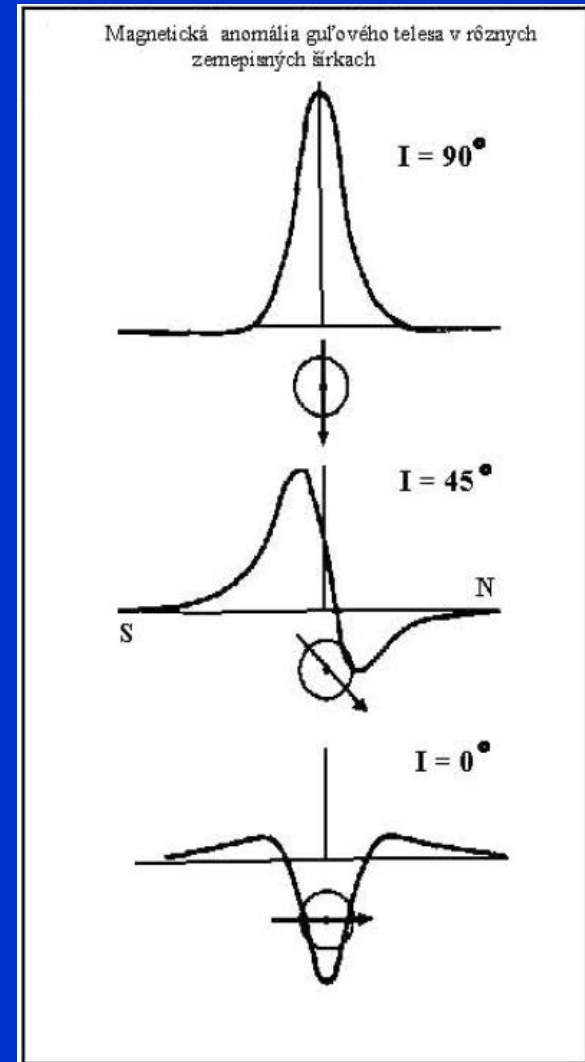


S týmito parametrami geomagn. poľa súvisí aj tvar a amplitúda magn. anomálií na rôznych miestach na zemskom povrchu.

magnetické pole Zeme



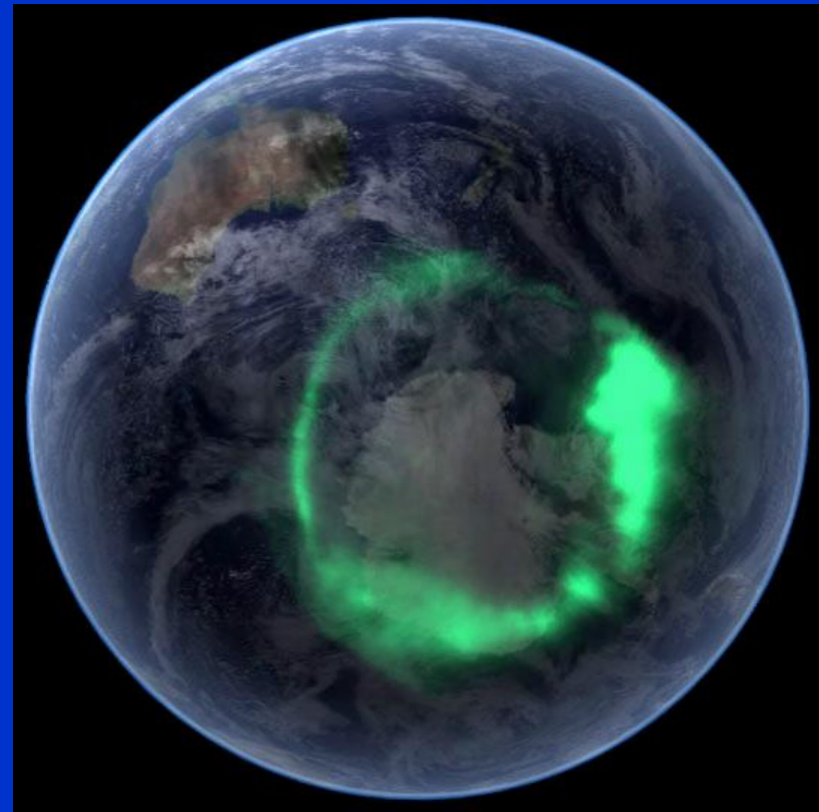
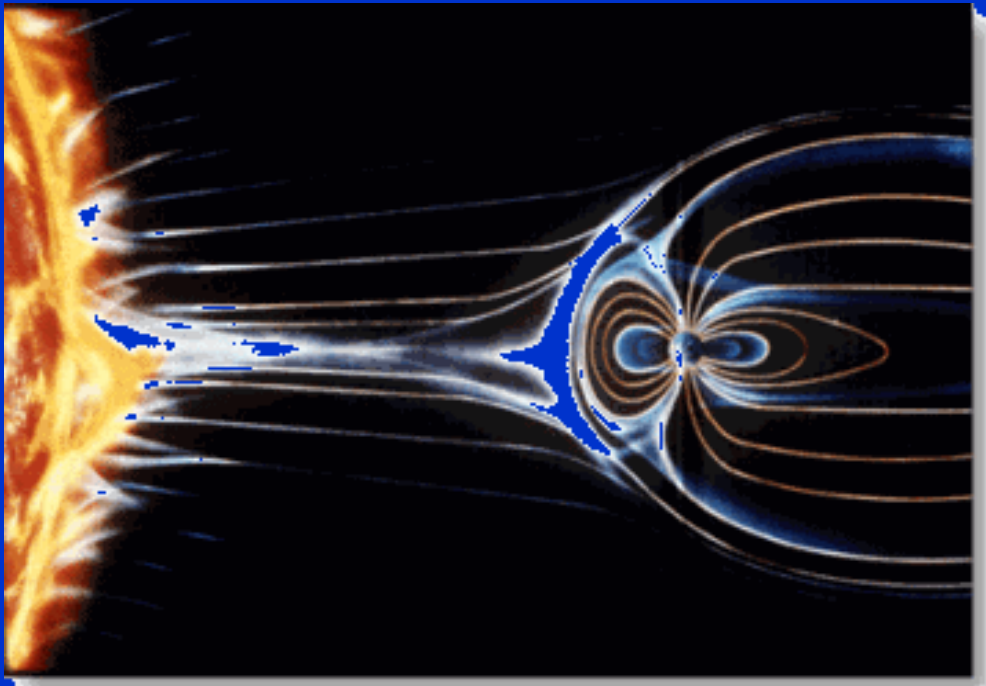
telesá s určitými petrofyzikálnymi vlastnosťami sa zmagnetizujú (niektoré sa potom stanú “magnetmi”)



s parametrami indukčného magnetického poľa súvisí aj tvar a amplitúda magnetických anomálií

magnetické pole Zeme

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).



meranie v magnetometrii

**prístroje na meranie magnetickej
indukcie sa nazývajú magnetometre**



Ich rozmanitosť je omnoho väčšia, ako je tomu v gravimetrii.

prístroje v magnetometrii

Prístroje v magnetometrii - **magnetometre**.

Existujú rôzne rozdelenia:

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

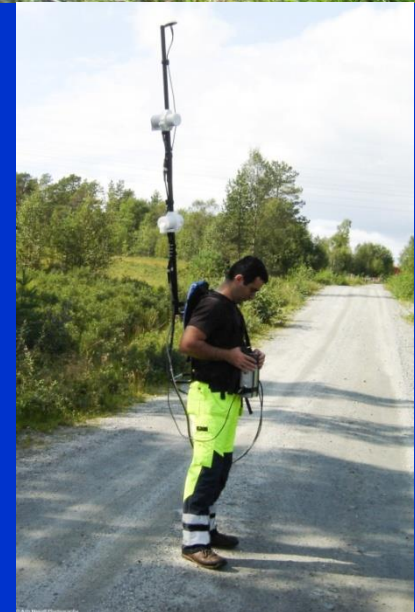
prístroje v magnetometrii

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.



prístroje v magnetometrii

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.

prístroje v magnetometrii

"Céziový" magnetometer: (Cs-vapour magnetometer)

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

Vnútročná 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.

prístroje v magnetometrii

Magnetometer SQUID:

(Superconducting Quantum Interference Device)

Je to vysoko presný magnetometer, využívajúci jemné magnetické polia okolo supravodičov, využívajúc tzv. Josephsonov jav.

Vyžaduje chladenie tekutým dusíkom.

Väčšinou laboratórne prístroje, existujú už však aj terénne verzie. Presnosti už pod 0.001 nT.



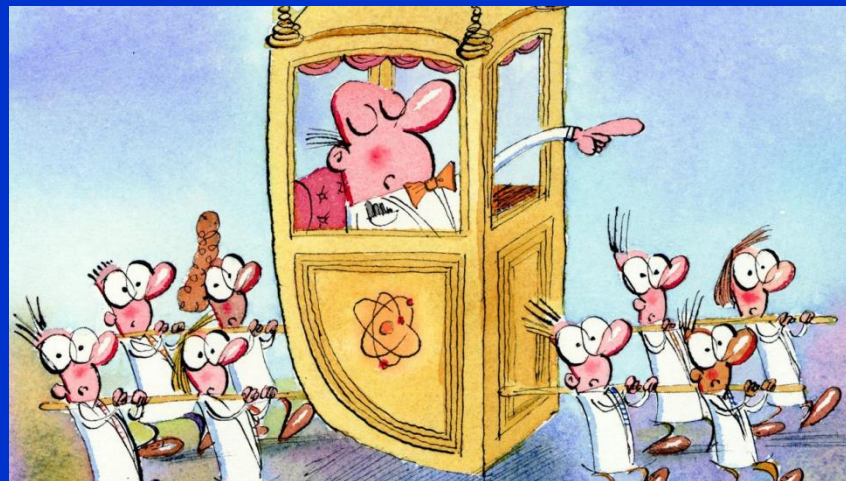
prístroje v magnetometrii

letecké magnetometre:
(väčšinou céziové)



Príprava na terénne práce v magnetometrii:

- obrovský rozdiel oproti gravimetrii,
- magnetometre netreba kalibrovať ani nijako špecificky kontrolovať (v podstate stačí skontrolovať stav batérií),
- plánovanie rozmiestnenia bodov v podstate odpadá...
- niektorí odborníci berú do úvahy predpoved' magnetických búrok
(napr. služba NOAA – 3 day geomagnetic forecats),



Meranie a základné spracovanie dát v magnetometrii:

- zber dát v teréne - samotné meranie s prístrojmi
- oprava o variácie geomagnetického poľa
- 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
- 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)

zber dát v teréne:

Magnetometria je spomedzi geofyzikálnych metód na úplnom vrchole, čo sa týka hustoty zberu údajov (krok zberu dát dokáže byť na úrovni iba **niekoľkých cm** a vzdialenosť medzi profilmi **niekoľkých dm**).

Z tohto hľadiska sa zvykne vraviť aj o tzv. HD magnetometry (high-definition).

Meria sa ručne alebo pomocou štvorkoliek, budúcnosťou budú určite drony. Všade ide o tzv. walking mode, kedy sa meria plynulo bez zastavenia. Detto platí samozrejme aj o leteckej magnetometrii.



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: prvé dve technológie – úroveň $\pm\text{dm}$, posledná $\pm\text{cm}$)



odometer
(optické snímanie
dĺžky odvinutej nite)

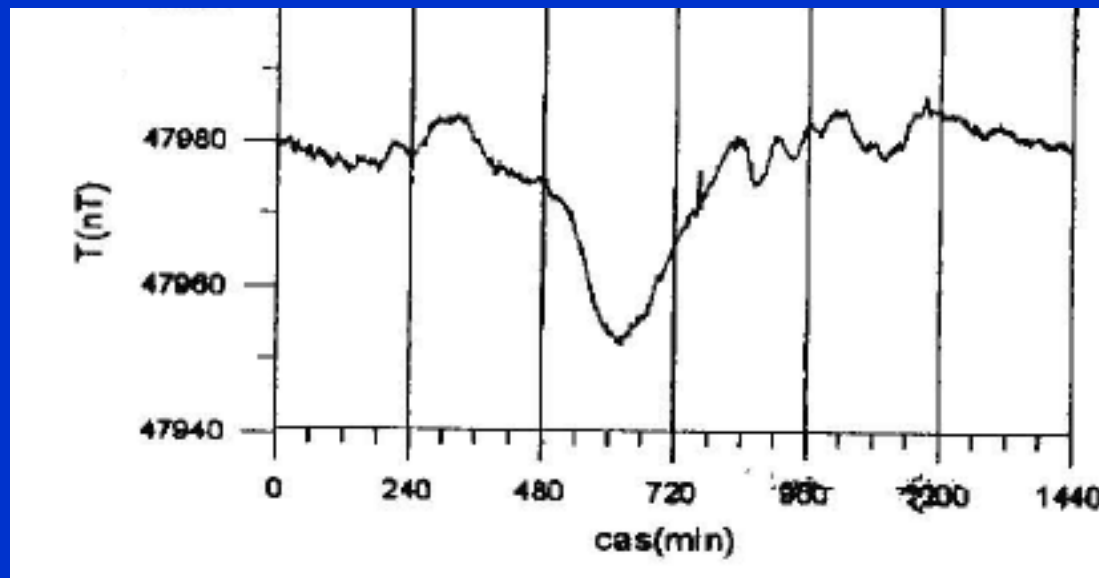
variácie geomagnetického poľa – časové zmeny:

dlhodobé:

sekuárne – procesy vo vnútri zemského telesa (500 rokov);
zmeny aktivity Slnka – 11.5 ročná periodicitá

krátkodobé:

denné a poldenné variácie (súvisia s rotáciou Zeme)
magnetické búrky – nepravidelné (súvisia so slnečnou činnosťou)



Sú registrované v observatóriách alebo v teréne tzv. variačným (staničným) magnetometrom. Niekedy sa z dát odstraňujú pomocou špeciálnych filtrov.

modely geomagnetického poľa (normálne pole)

International Geomagnetic Reference Field (IGRF) – je matematický model geomagnetického poľa na základe riešenia Laplaceovej rovnice vo sférických súradniciach

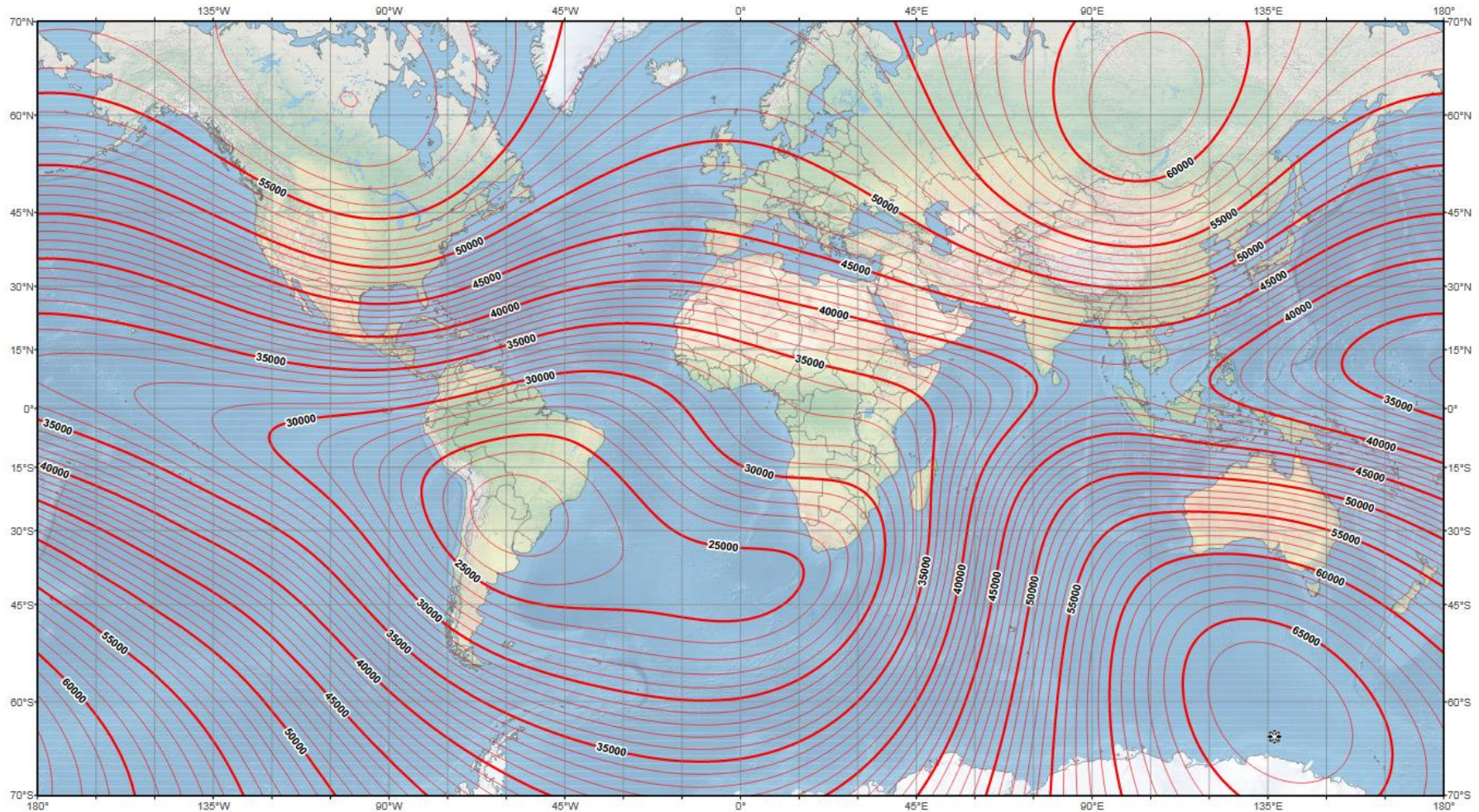
v súčasnosti sa používa tzv. verzia IGRF-12

(existujú internetovské kalkulačky a stiahnuteľné programy)

World Magnetic Model (WMM) – upresnený model, používaný najmä v USA, inovovaný každých 5 rokov, (taktiež existujú internetovské kalkulačky a stiahnuteľné programy)

modely geomagnetického poľa (normálne pole)

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2015.0 Main Field Total Intensity (F)

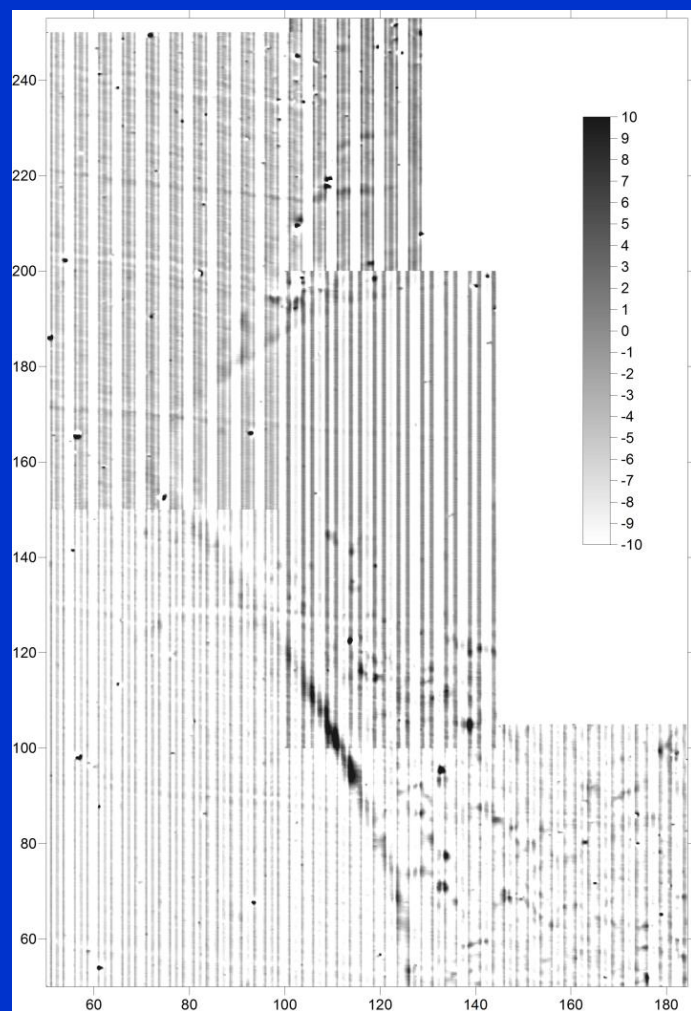


Main Field Total Intensity (F)
Contour interval: 1000 nT.
Mercator Projection.
☉: Position of dip poles

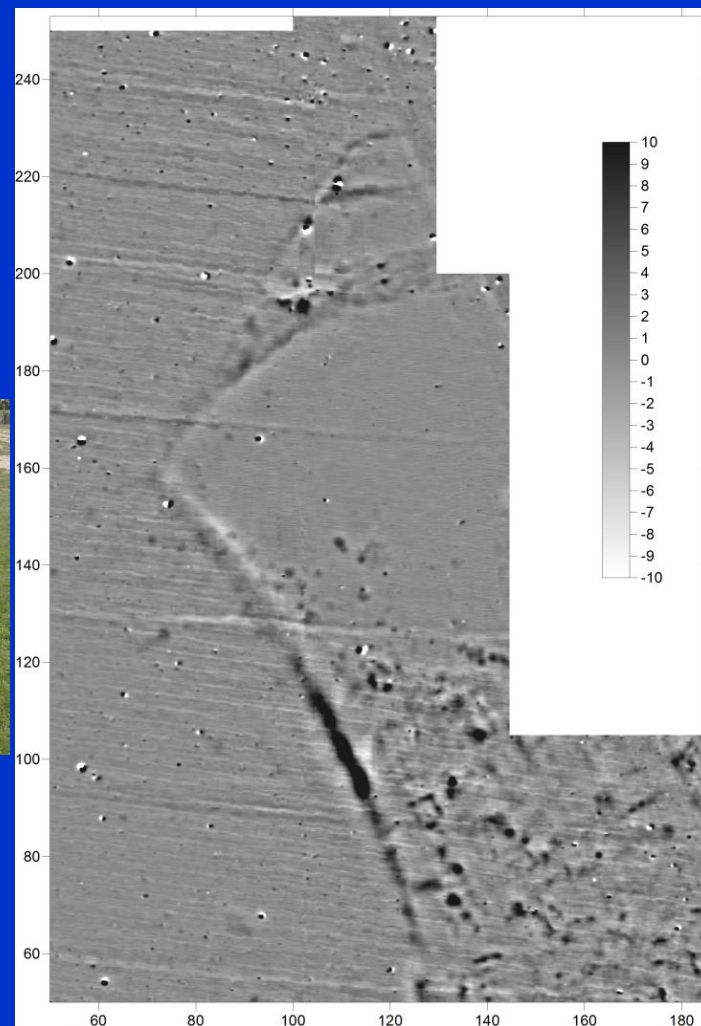
Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMF>
Map reviewed by NGA and BGS
Published December 2014

hodnotové posuny medzi senzormi (tzv. heading error):

pôvodné dáta

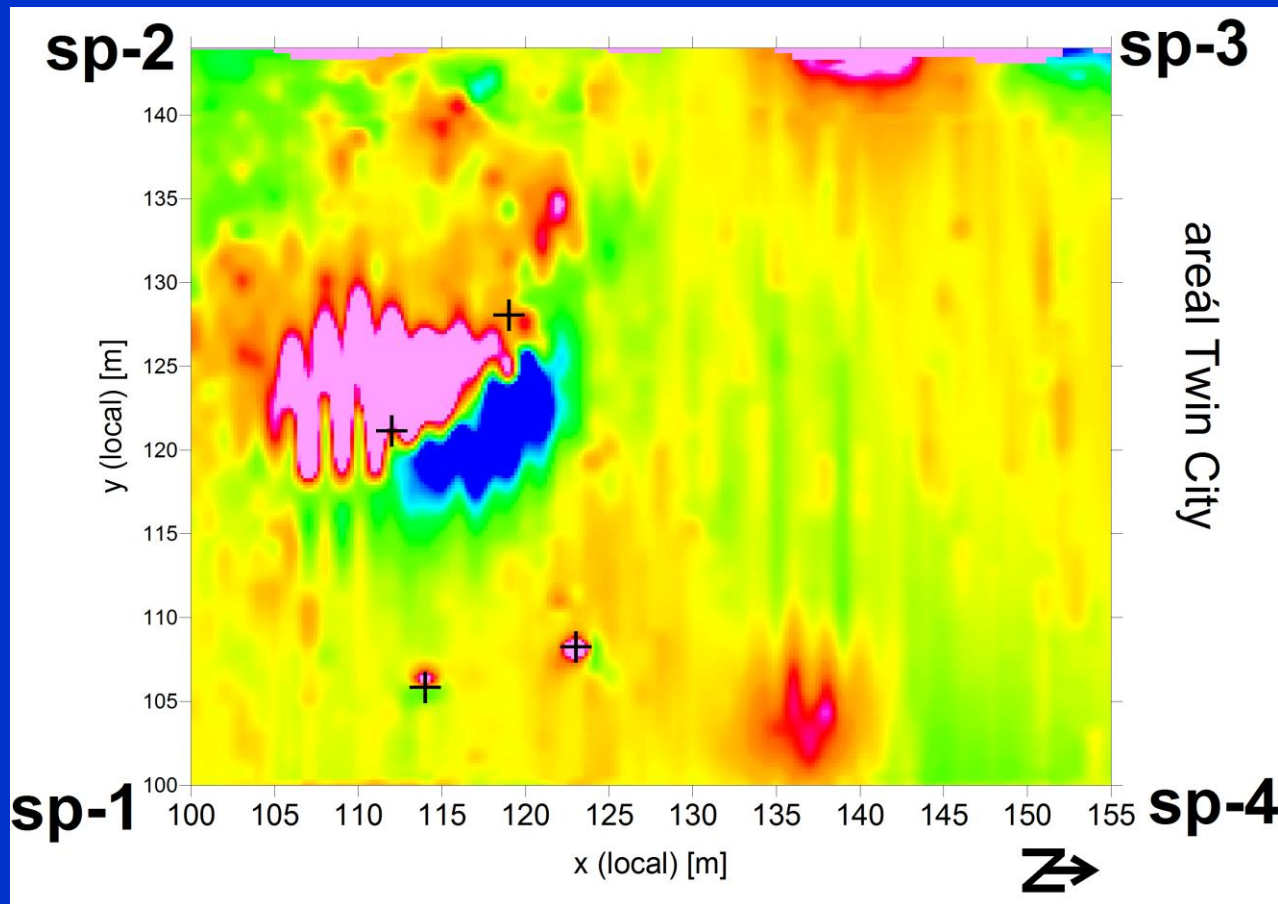


filtrované dáta



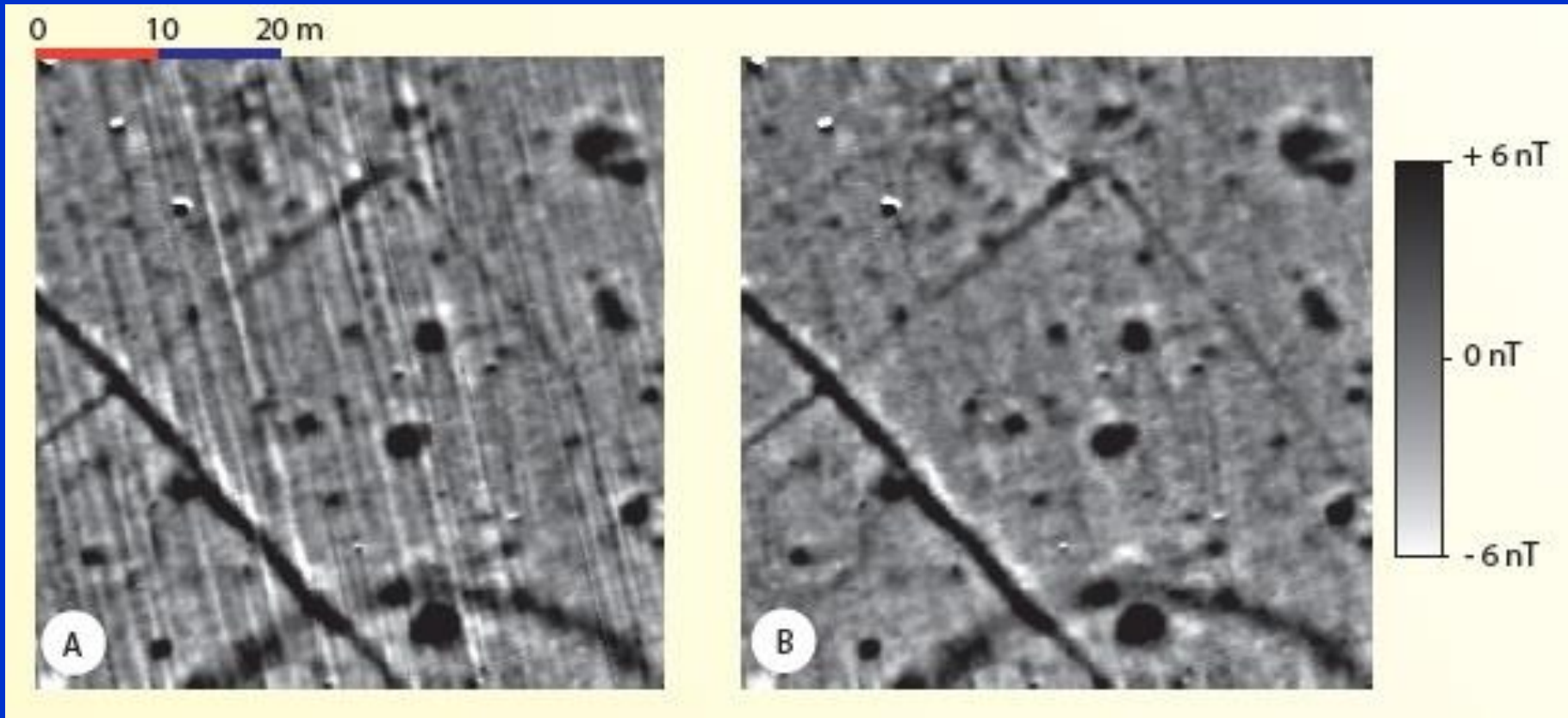
Dobré skúsenosti sú s tzv. mediánovými filtrami alebo postupom, ktorý sa nazýva ako tzv. mikroleveling.

Deformácie pozdĺž profilov merania - tzv. „heringbone“ error (tvar rybacej kosti):



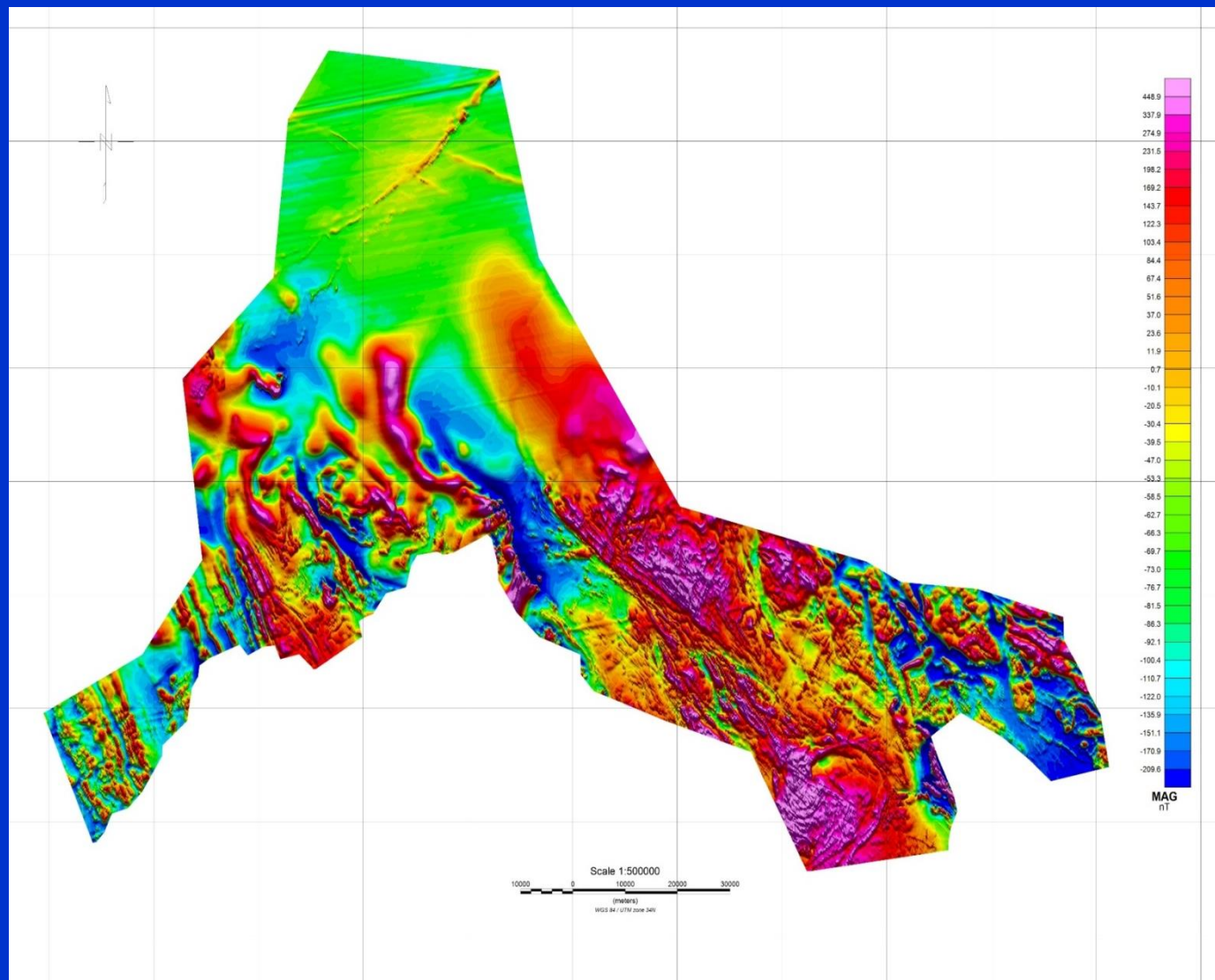
Spôsobený nedostatočnou polohovou presnosťou alebo určitým prístrojovým defektom (časovým spomalením pri spracovaní veľmi vysokých hodnôt).
Dokážu potlačiť jednoduché nízko-priepustné filtre.

Deformácie v dôsledku rušivých vplyvov – napr. orba:



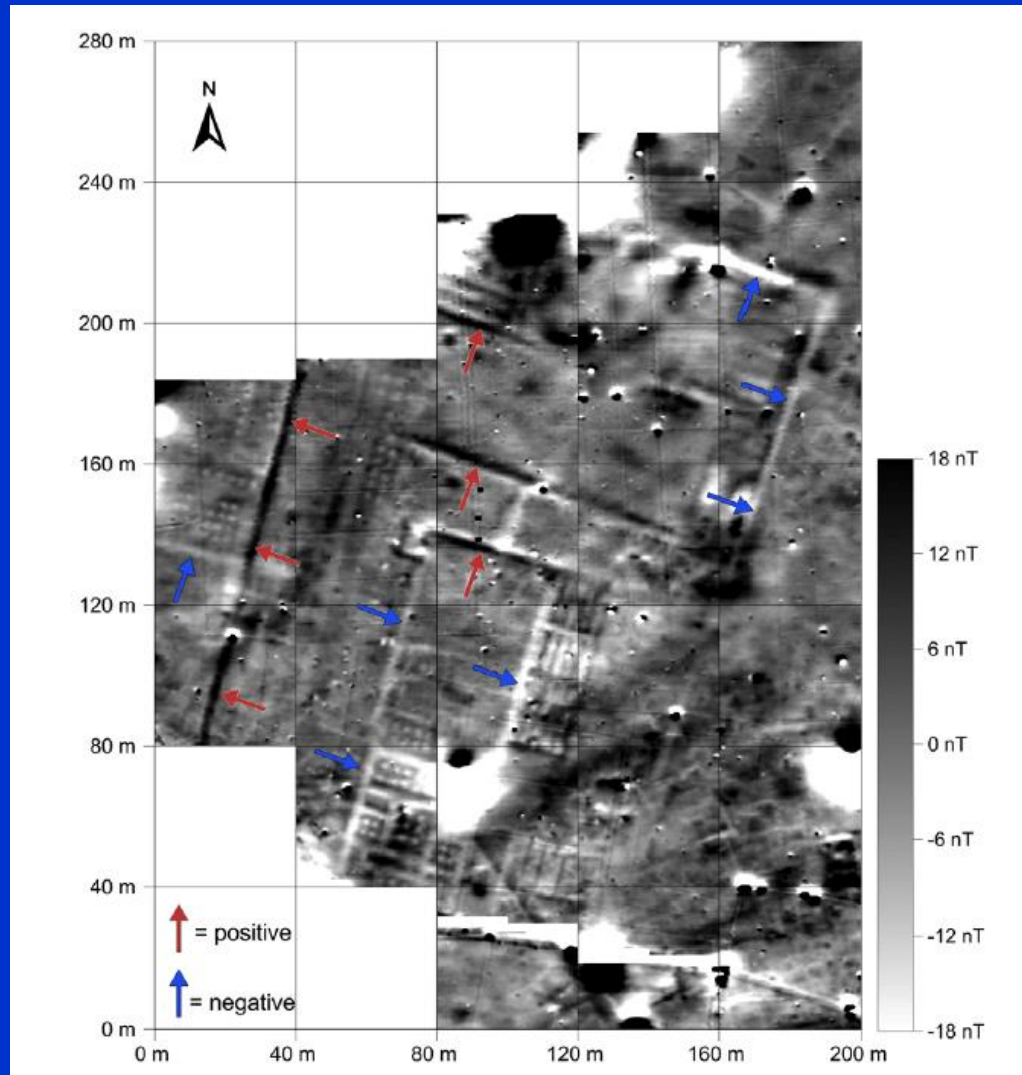
Dá sa odstrániť pomocou špeciálnych filtrov
(tzv. smerové filtre).

príklad interpolácie výsledných hodnôt ΔT do mapy:
(pole ΔT sa niekedy v anglickej literatúre označuje ako TMI)



oblasť severného Nórska (zdroj: NGU), časť plochy je offshore

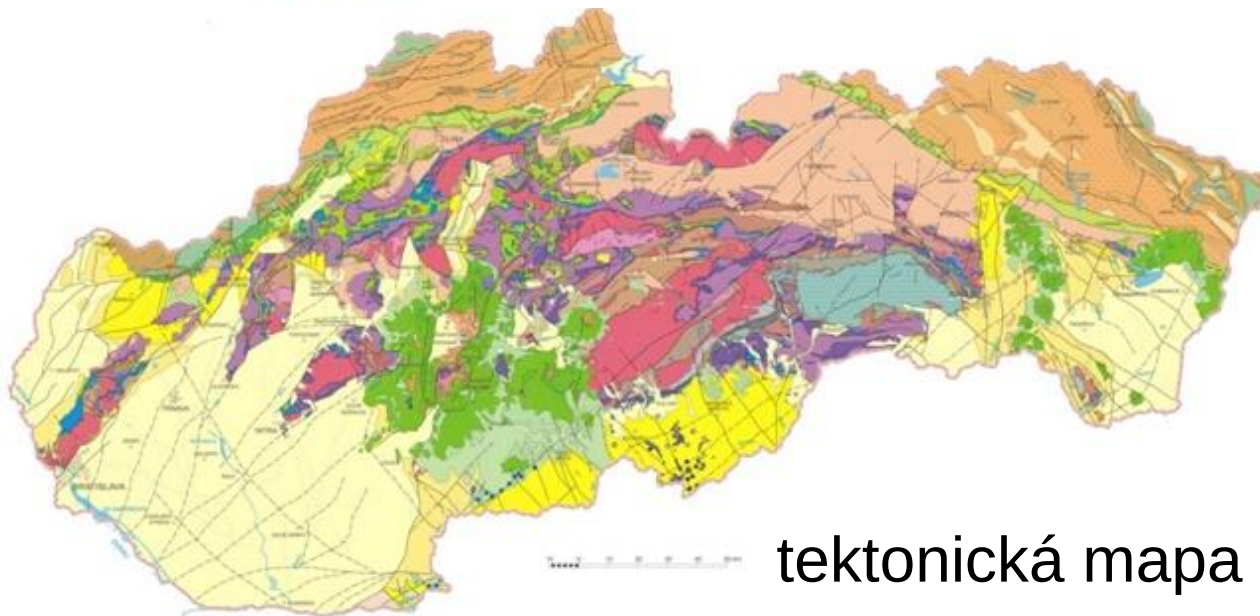
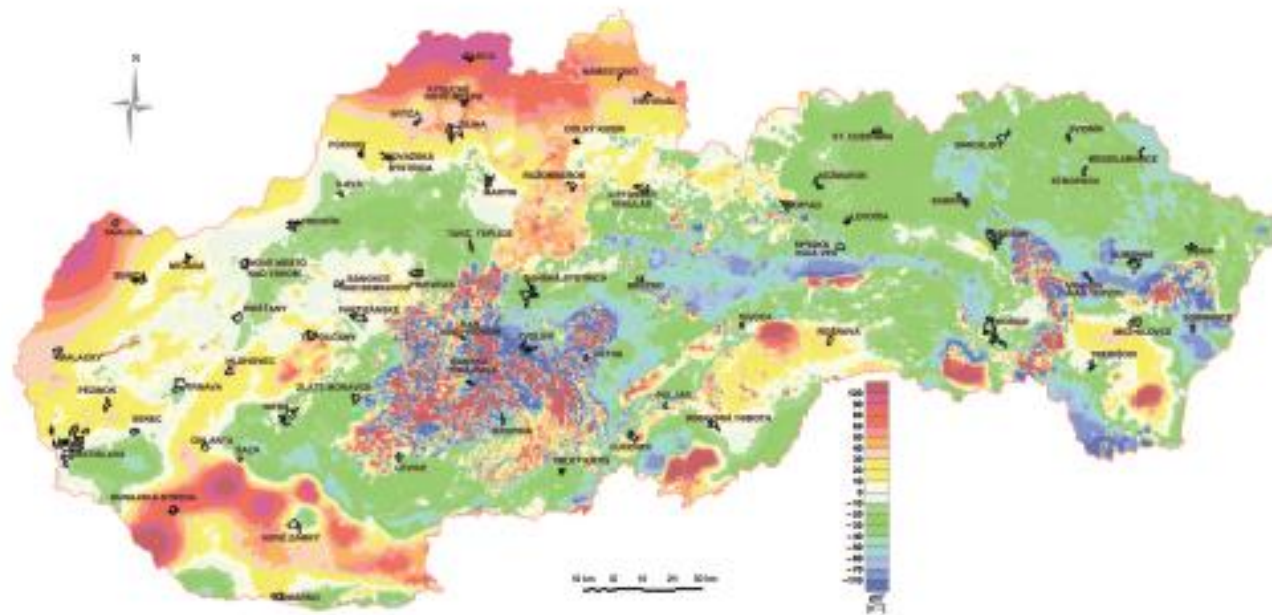
príklad interpolácie výsledných hodnôt ΔT do mapy:
(pole ΔT sa niekedy v anglickej literatúre označuje ako TMI)



pozn.: Aj pri takýchto slabých archeo-geof. anomáliách si treba všimnúť dipólový charakter anomálií

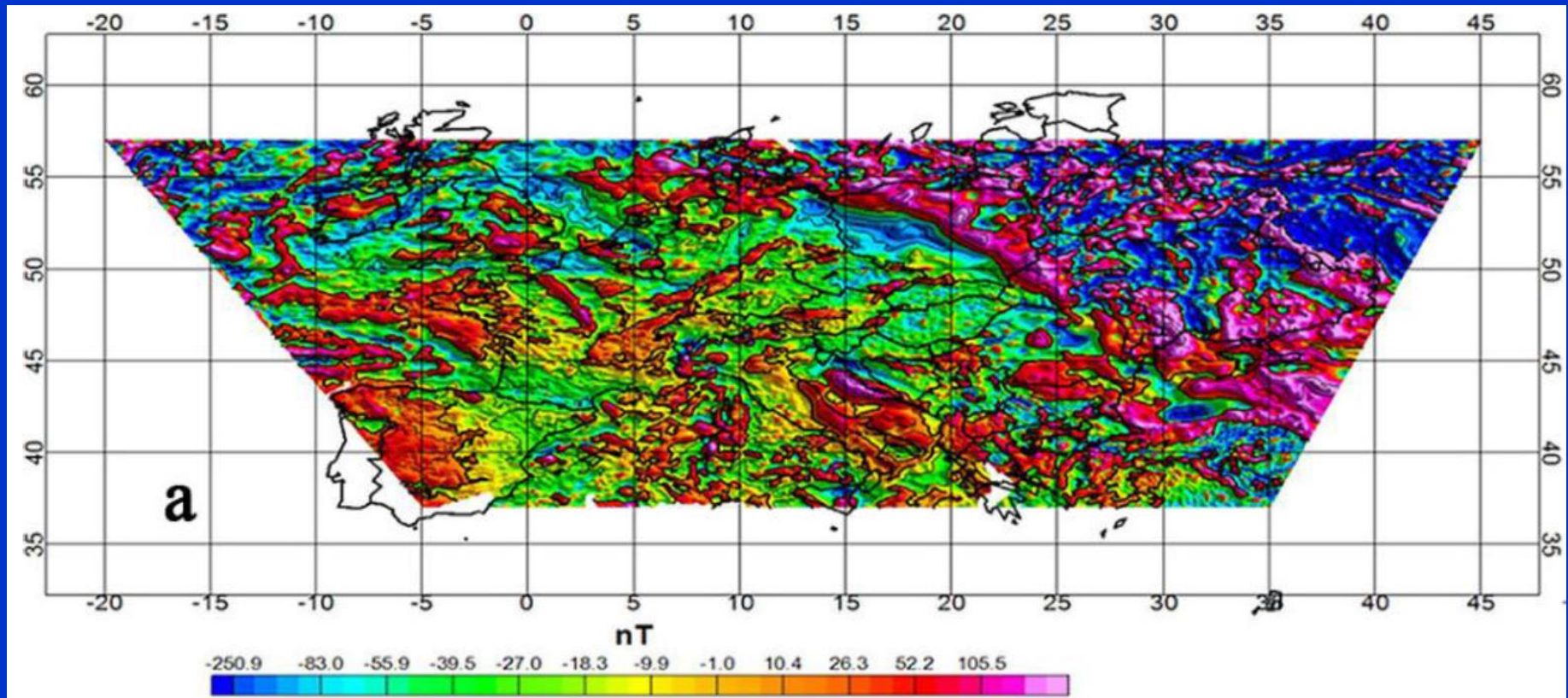
Egypt, palác faráona Ramsesa II. (zdroj: Fassbinder, 2015)

mapa ΔT – územie Slovenska



tektonická mapa

mapa ΔT – stredná Európa
(European and Mediterranean Magnetic Project, 2011)

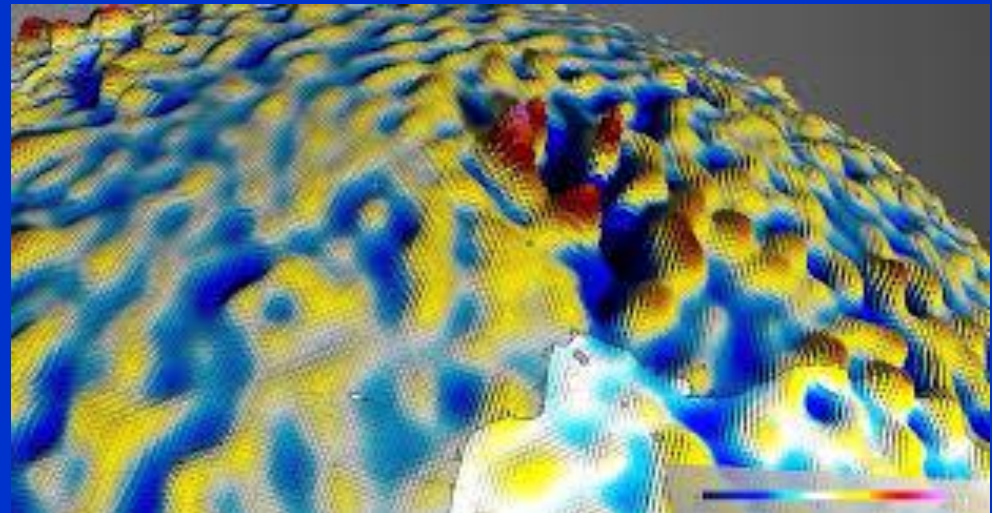
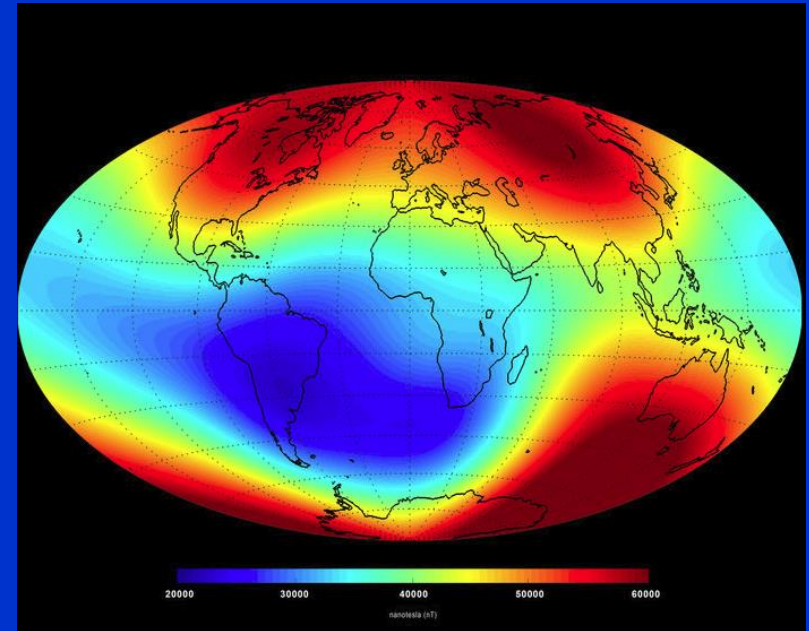


Poznámka: satelitné merania

system 3 satelitov: SWARM (ESA)

okrem samotného magnetického poľa sú
merané aj jeho vyššie gradienty

začiatok misie: rok 2013



interpretácia v magnetometrii

INTERPRETÁCIA –

kvalitatívna/kvantitatívna

kvalitatívna – opisuje kvalitatívne pole ΔT

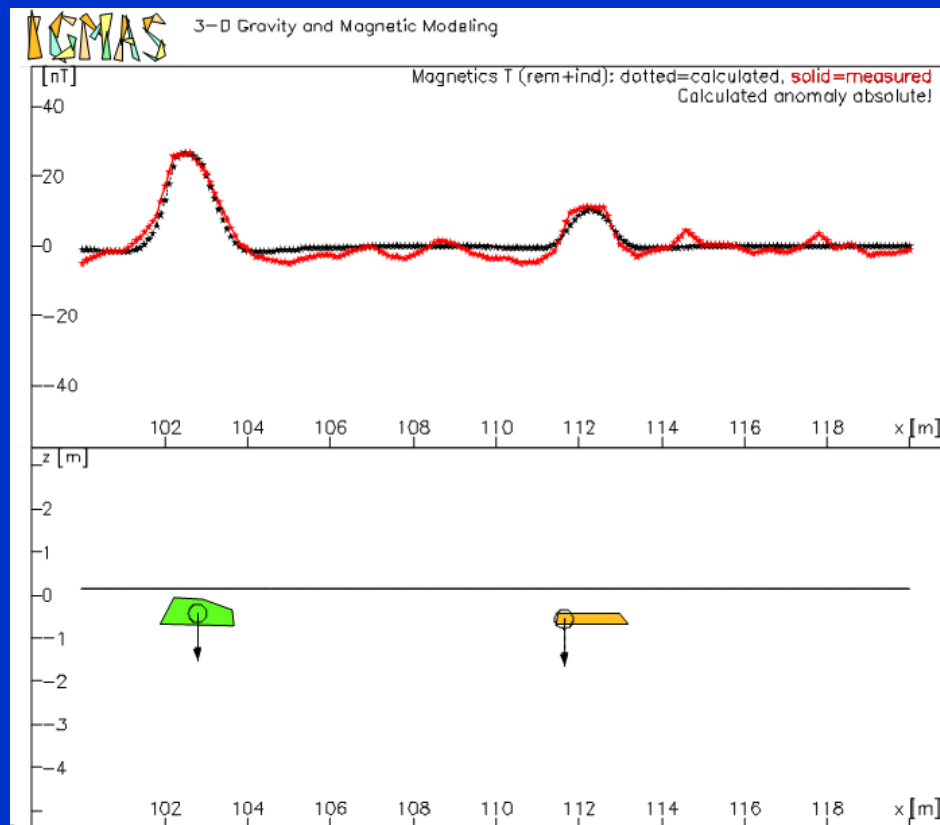
kvantitatívna – určuje hĺbkové, rozmenrové, tvarové a hustotné parametre študovaných geologických objektov

dôležité pojmy:

- a) priama úloha* – pri zadaných parametroch telies vypočítať ich magnetický efekt (tzv. modelovanie)
- b) obrátená úloha* – opačná úloha (náročnejšia)

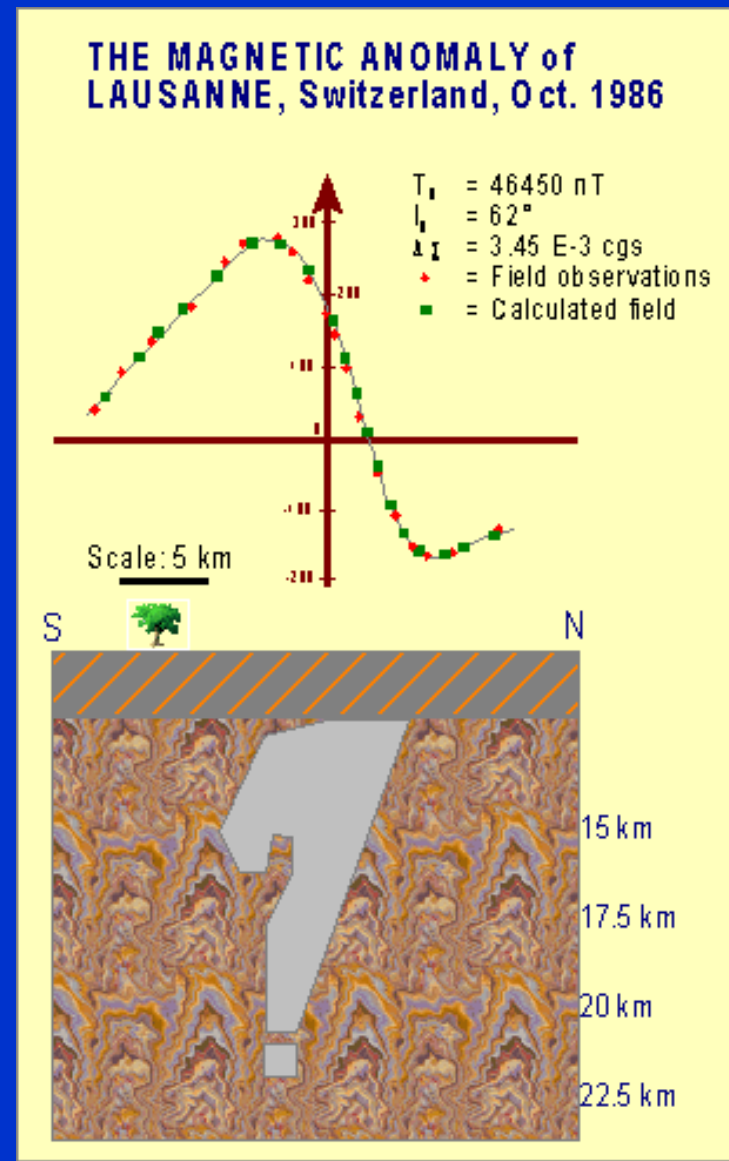
Aj tu zostáva v platnosti nejednoznačnosť riešenia obrátenej úlohy.

interpretácia v magnetometrii



Výstup modelovania magnetického anomálneho poľa od plytko uložených telies.

Aj tu zostáva v platnosti nejednoznačnosť riešenia obrátenej úlohy.



využitie magnetometrie

- v regionálnej a štruktúrnej geológii
- v ložiskovom a ropnom prieskume
- detekcia archeologických objektov
- detekcia nevybuchnutej munície
(UXO = UneXploded Ordnance)
- atď.