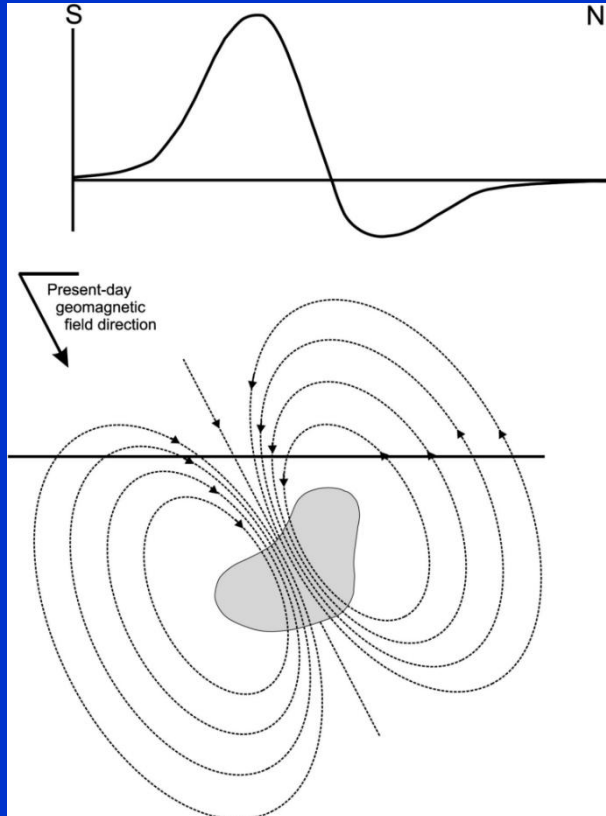


# ZÁKLADY APLIKOVANEJ GEOFYZIKY - MAGNETOMETRIA



Magnetometria: odvetvie aplikovanej geofyziky, ktoré sa zaoberá meraním, spracovaním a interpretáciou anomálií zemského magnetického poľa.

skriptá: webstránka našej katedry: [www.kaeg.sk](http://www.kaeg.sk)

→ vpravo v strede (učebné texty)

Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave

Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky  
Oddelenie aplikovanej geofyziky



O nás   Novinky   Zaujímavosti   Výskum   Zamestnanci   Súborny   Fotogaléria

## O nás

Aplikovaná geofyzika je súčasťou vied, ktoré merajú a vyhodnocujú fyzikálne polia Zeme a zameriava sa na ich štúdium s cieľom riešenia stavby litosféry – od prvých centimetrov pod zemským povrchom až do hĺbok rádovo stoviek kilometrov. Jej úlohou je detekcia a popis rôznych podpovrchových objektov – ide najmä o geologické, pedologické, hydrogeologické, ložiskové, archeologické a antropogénne štruktúry.

Strategický význam má aplikovaná geofyzika najmä pri prieskume rudných a nerudných surovín, ďalej pri vyhľadávaní ropy a plynu, nezastupiteľnú úlohu pri štúdiu hlbinej (globálnej) a regionálnej stavbe, využíva sa aj v hydrogeológii a inžinierskej geológii. Jej významný podiel je tiež v ekológii a environmentálnej geológii, najmä pri určovaní a mapovaní seizmogénnych zón, neotektoniky recentnej dynamiky a pri určovaní antropogénnych vplyvov na životné prostredie, najmä vplyvov znečistenia, tiež skládok odpadu a najmä úložísk rádioaktívneho odpadu.

Študijný program *Aplikovaná a environmentálna geofyzika* ako nedeliteľná súčasť geologických vied je krajiným odborom, s nepriamym určovaním širokého spektra geologických štruktúr na základe fyzikálnych vlastností horninového prostredia a ich odrazu v geofyzikálnych poliach.

Podľa skúmaného fyzikálneho parametra využíva metódy:

- seizmiku, geoelektriku a elektromagnetiku,
- gravimetriu, magnetometriu,
- rádiometriu a metódy jadrovej geofyziky,
- karotáž (meranie vo vrtoch),
- geotermiku,
- štúdium petrofyzikálnych vlastností.



Naša katedra/oddelenie je jediným školiacim pracoviskom aplikovanej a environmentálnej geofyziky v Slovenskej Republike v rámci dvoch vyšších stupňoch VŠ vzdelania – v rámci magisterského a doktorandského štúdia. Zabezpečuje výuku metód poznávania fyzikálnych prejavov horninového prostredia: gravimetrie, magnetometrie, geoelektriky, seizmiky, rádiometrie, termometrie a

Slovenčina  
Angličtina

Hľadať

Q zadajte výraz...

Rýchla navigácia

Fotogaléria  
História  
Novinky  
O nás  
Súborny

- Učebné texty

Výskum

- Projekty APW
  - Project APW-0194-10 Bouguer, NG\*

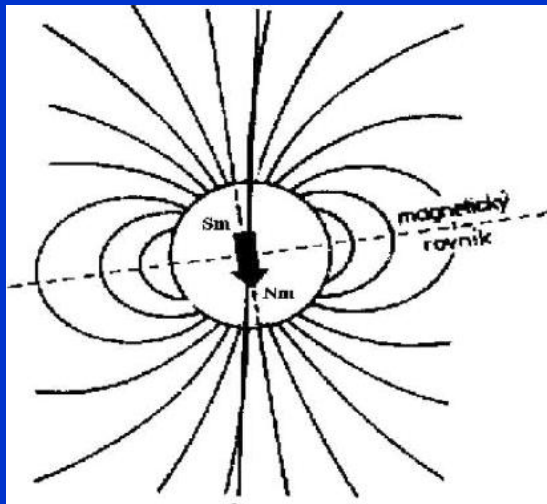
# **ZÁKLADY APLIKOVANEJ MAGNETOMETRIE**

## **Obsah prednášky:**

- základné pojmy
- zemské magnetické pole (ZMP) a jeho zložky
- meranie magnetickej indukcie (prístroje)
- magnetická susceptibilita (minerálov a hornín)
- spracovanie meraní (mapy anomálneho magn. poľa  $\Delta T$ )
- interpretácia
- príklady využitia magnetometrie

# MAGNETOMETRIA

Meranie, vyhodnocovanie a interpretácia anomálneho magnetického poľa Zeme



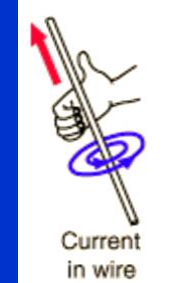
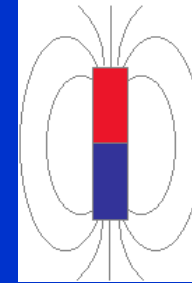
William Gilbert – v knihe „De Magnete“ v roku 1600 opisuje Zem ako veľký permanentný magnet.

# základné pojmy – magnetické pole

Magnetické pole sa nachádza v okolí:

- permanentného magnetu,
- vodiča, cez ktorý tečie elektrický prúd.

Prejavuje sa pôsobením na železné predmety a ďalšími elektromagnetickými javmi.



Popisujeme ho 2 dôležitými vektorovými veličinami:

magnetická intenzita **H** (primárne pole), [ $\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

magnetická indukcia **B** (vyvolané pole), [T], používané [nT]

medzi nimi platí dôležitý vzťah:  **$B = \mu H$**

kde  $\mu$  – magnetická permeabilita, ktorá udáva mieru magnetizácie látky v dôsledku pôsobenia magn. poľa, jednotka [ $\text{H}\cdot\text{m}^{-1} = \text{N}\cdot\text{A}^{-2}$ ].

Používame aj tzv. relatívnu magnetickú permeabilitu

(bezrozmerné číslo):  $\mu_r = \mu/\mu_0 \Rightarrow \mu = \mu_r \cdot \mu_0$

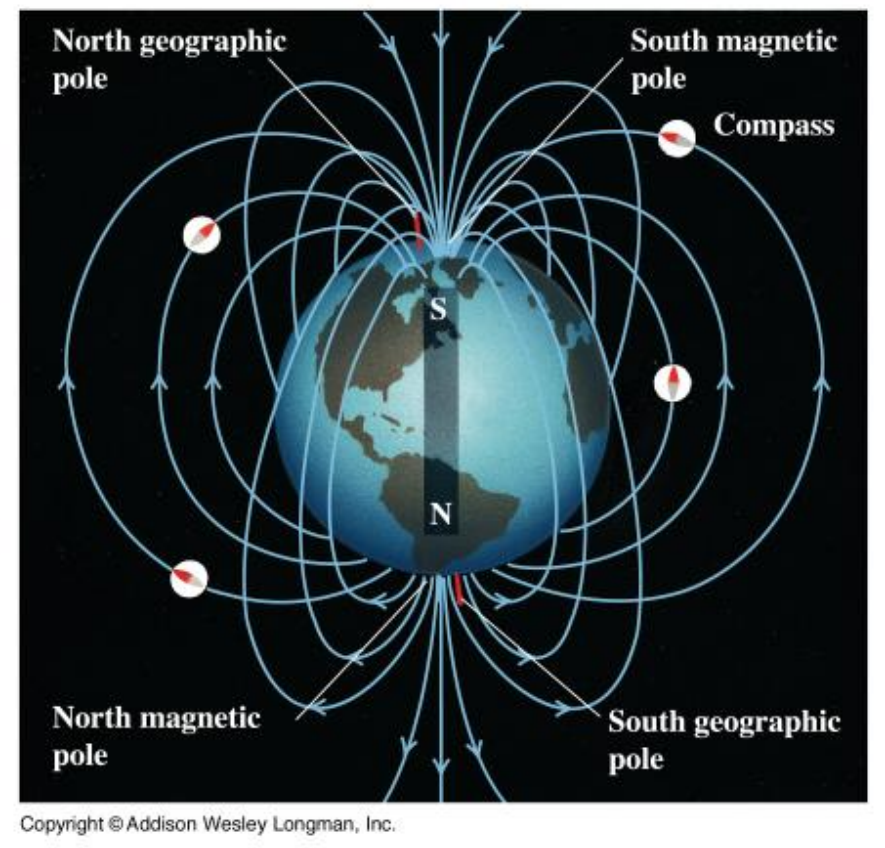
$\mu_0$  – permeabilita vákua ( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$ )

A používame aj tzv. objemovú magnetickú susceptibilitu ( $\kappa$ ):  $\mu_r = 1 + \kappa$

# *základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)*

Vznik zemského magnetického poľa:

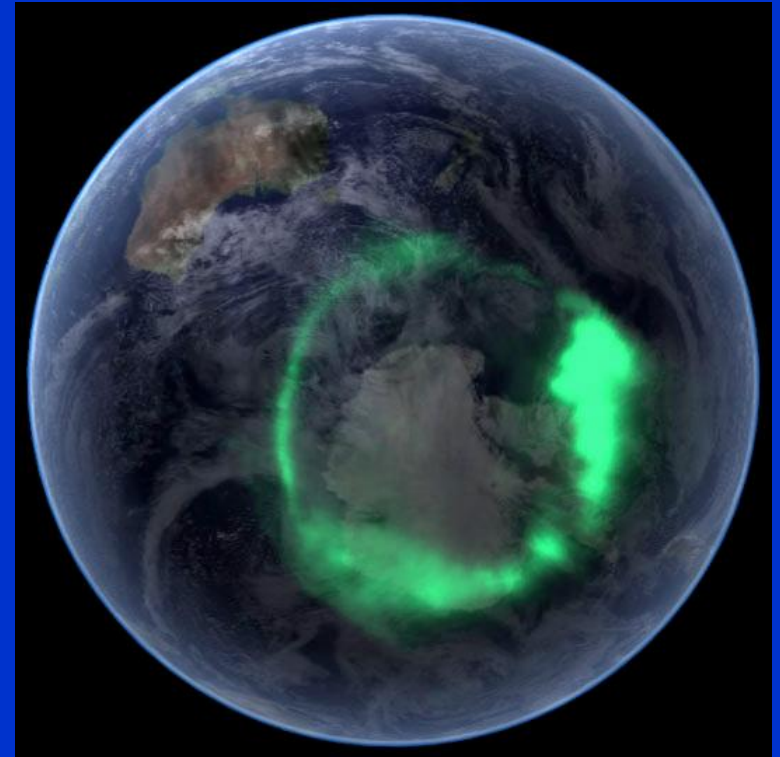
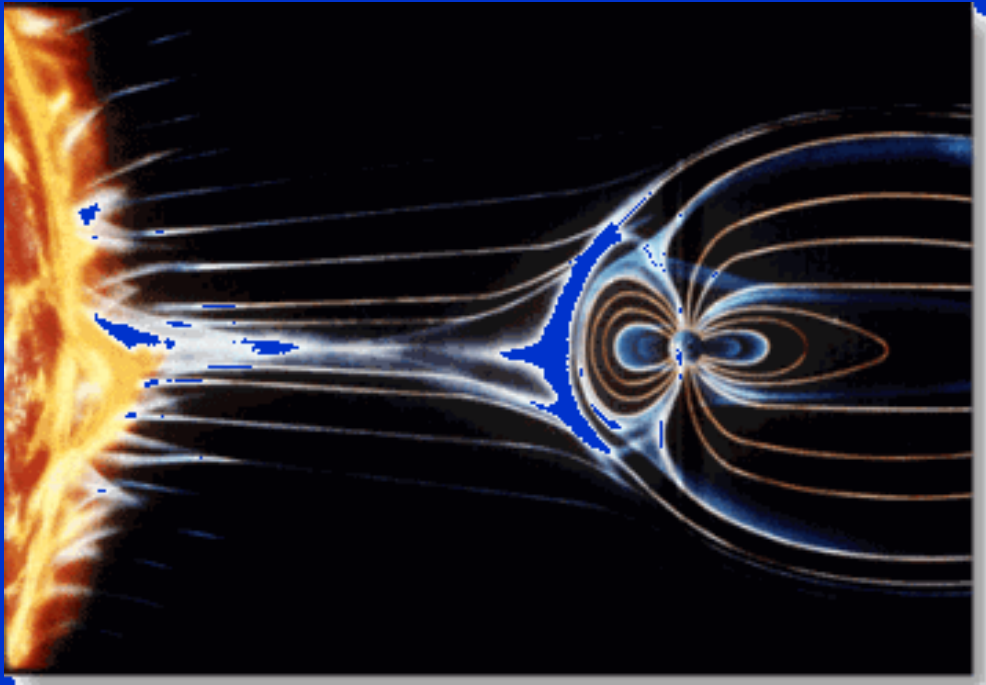
Základom jeho generovania je pohyb vodivých hmôt (elektricky nabitých častíc) vo vonkajšom jadre – tzv. hydromagneto dynamické javy.



V súčasnosti sa nachádza **severný magnetický pól** v blízkosti južného geografického pólu a **južný magnetický pól** pri severnom geografickom póle.

## ***základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)***

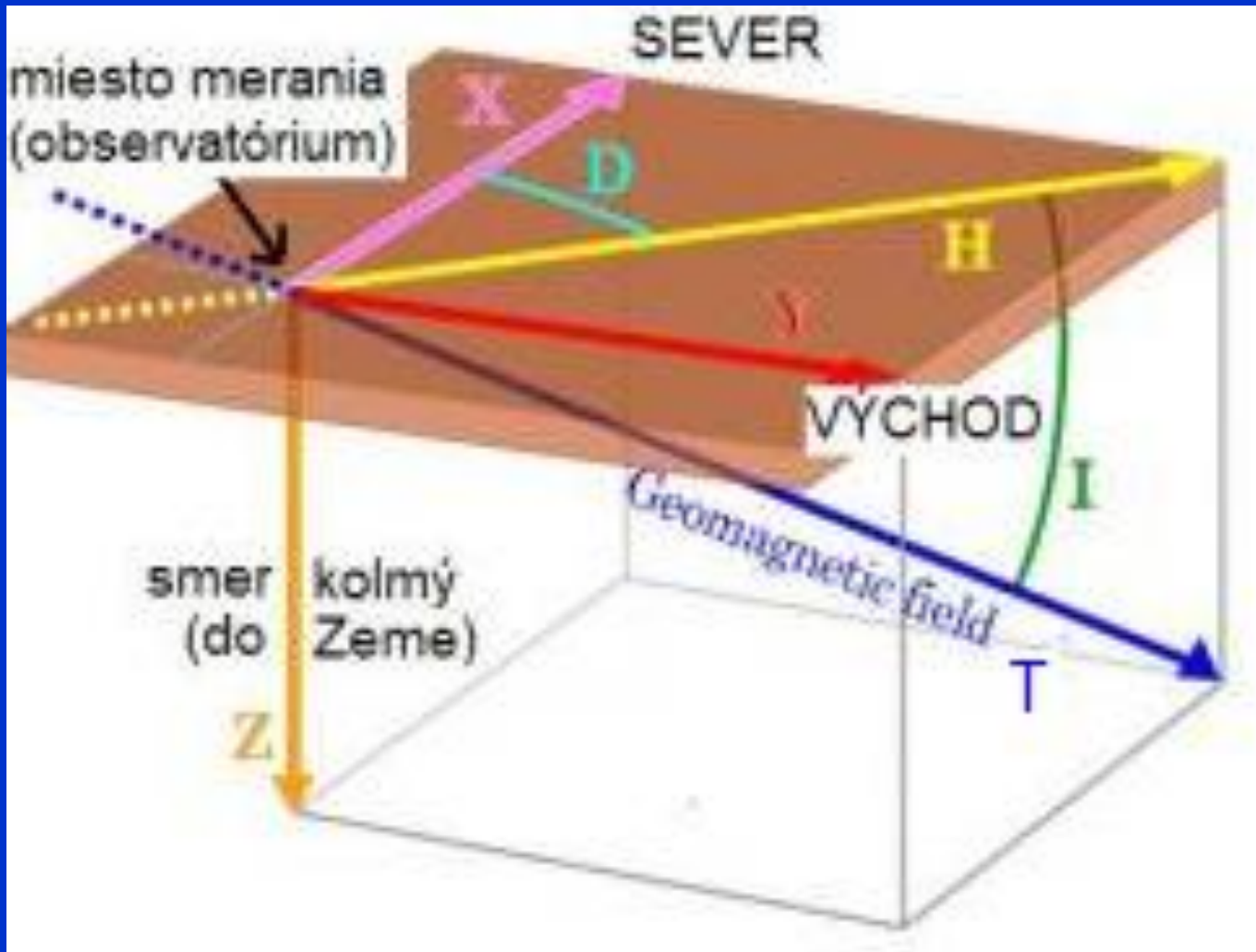
Z celoplanetárneho hľadiska sa zvykne hovoriť o magnetosfére – ktorá tvorí ochranný „štít“ Zeme pred tzv. slnečným vetrom (prúd vysoko energetických častíc, ktoré sú emitované z povrchu Slnka).



**Kyslík:** Produkuje najčastejšiu zelenožltú farbu (vo výške cca 100 – 200 km), ale pri vyšších polohách môže spôsobovať aj červenú farbu.

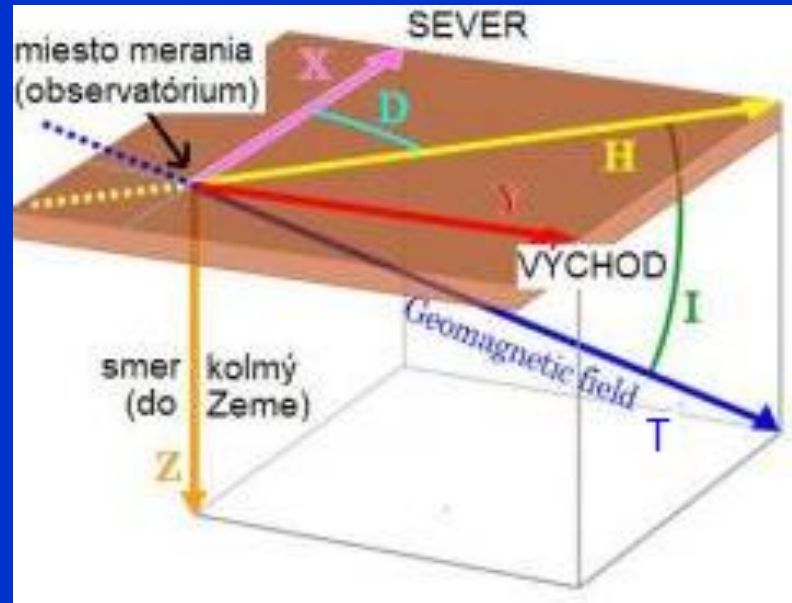
**Dusík:** Spôsobuje modré, fialové alebo ružové odtiene.

## základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



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

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



Podľa jednoduchých goniometrických funkcií platí  
( $X$ ,  $Y$ ,  $H$ ,  $Z$ ,  $T$  sú veľkosti vektorov  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Y}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{Z}$ ,  $\mathbf{T}$ ):  
 $Z = T \cdot \sin I$ ,  $H = T \cdot \cos I$ ,  $X = H \cdot \cos D$ ,  $Y = H \cdot \sin D$ .

Celý vektor  $\mathbf{T}$  vieme vyskladať z jeho zložiek:

$$\mathbf{T} = \mathbf{H} + \mathbf{Z} = \mathbf{X} + \mathbf{Y} + \mathbf{Z} = T(\mathbf{i} \cdot X + \mathbf{j} \cdot Y + \mathbf{k} \cdot Z),$$

$$\mathbf{T} = T(\cos I \cdot \cos D \cdot \mathbf{i} + \cos I \cdot \sin D \cdot \mathbf{j} + \sin I \cdot \mathbf{k}),$$

kde  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ ,  $\mathbf{k}$  sú elementárne vektory v smere osí  $x$ ,  $y$  a  $z$ .

## ***základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)***

Približná veľkosť elementov ZMP v $\mu\text{T}$			
	<b>Póly</b>	<b>Rovník</b>	<b>SR</b>
<b>H</b>	0	30-40	20
<b>Z</b>	60-70	0	44
<b>T</b>	60-70	30-40	49
<b>I</b>	$\pm 90^\circ$	$0^\circ$	$65^\circ$
<b>D</b>	neurč.	$+10^\circ$ až $-20^\circ$	$5^\circ$

= 20000 nT

= 44000 nT

= 49000 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:

### 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

Correct My Compass

Registration

## Magnetic Field Estimated Values

Magnetic field is calculated using the most recent [World Magnetic Model \(WMM\)](#), [World Magnetic Model High Resolution \(WMMHR\)](#), 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 [Enhanced Magnetic Model \(EMM\)](#) is a research model compiled from satellite, marine, aeromagnetic and ground magnetic surveys which attempts to include crustal variations in the magnetic field too fine to appear in the World Magnetic Model. The calculator provides an easy way for you to get results in HTML, XML, CSV, or JSON programmatically (API). **Registration is required to access this service.** Please register using the API registration link on the top right.

Calculate Magnetic Field

Lookup Latitude / Longitude

### Magnetic Field

Model Used: IGRF2025  
Latitude: 48.2° N  
Longitude: 17.1° E  
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
2026-05-05	5.4753°	64.8406°	20,928.2 nT	20,832.7 nT	1,996.9 nT	44,556.7 nT	49,226.9 nT
<b>Change/year</b>	0.1039°/yr	0.0200°/yr	5.6 nT/yr	1.9 nT/yr	38.3 nT/yr	52.3 nT/yr	49.7 nT/yr

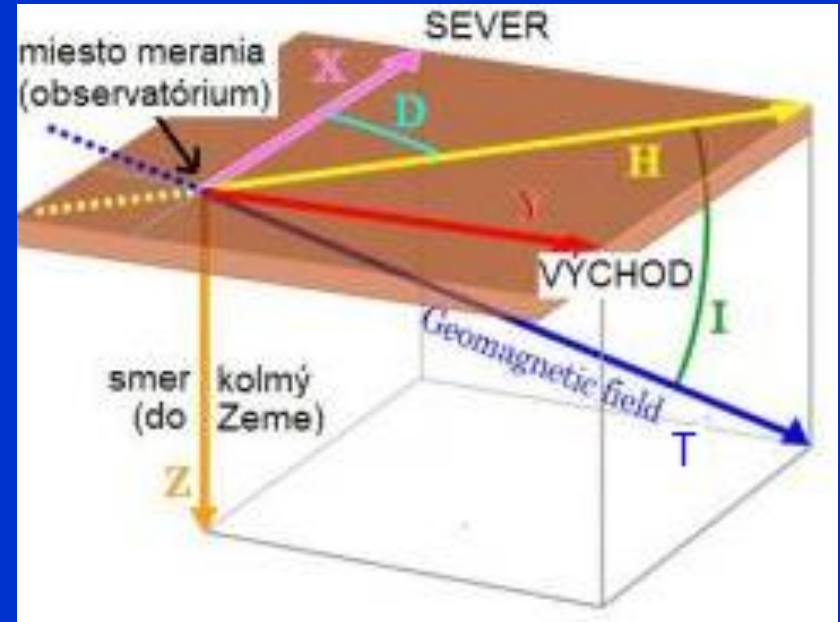
# **základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)**

Tieto hodnoty (zložiek ZMP) sa menia v čase a z tohto dôvodu sa ich hodnoty (mapy) uvádzajú vždy pre určitú **epochu** (napr. 2019.0, 2019.5).

Existuje niekoľko matematických modelov (matematický aparát inokedy) Zemského magnetického poľa:

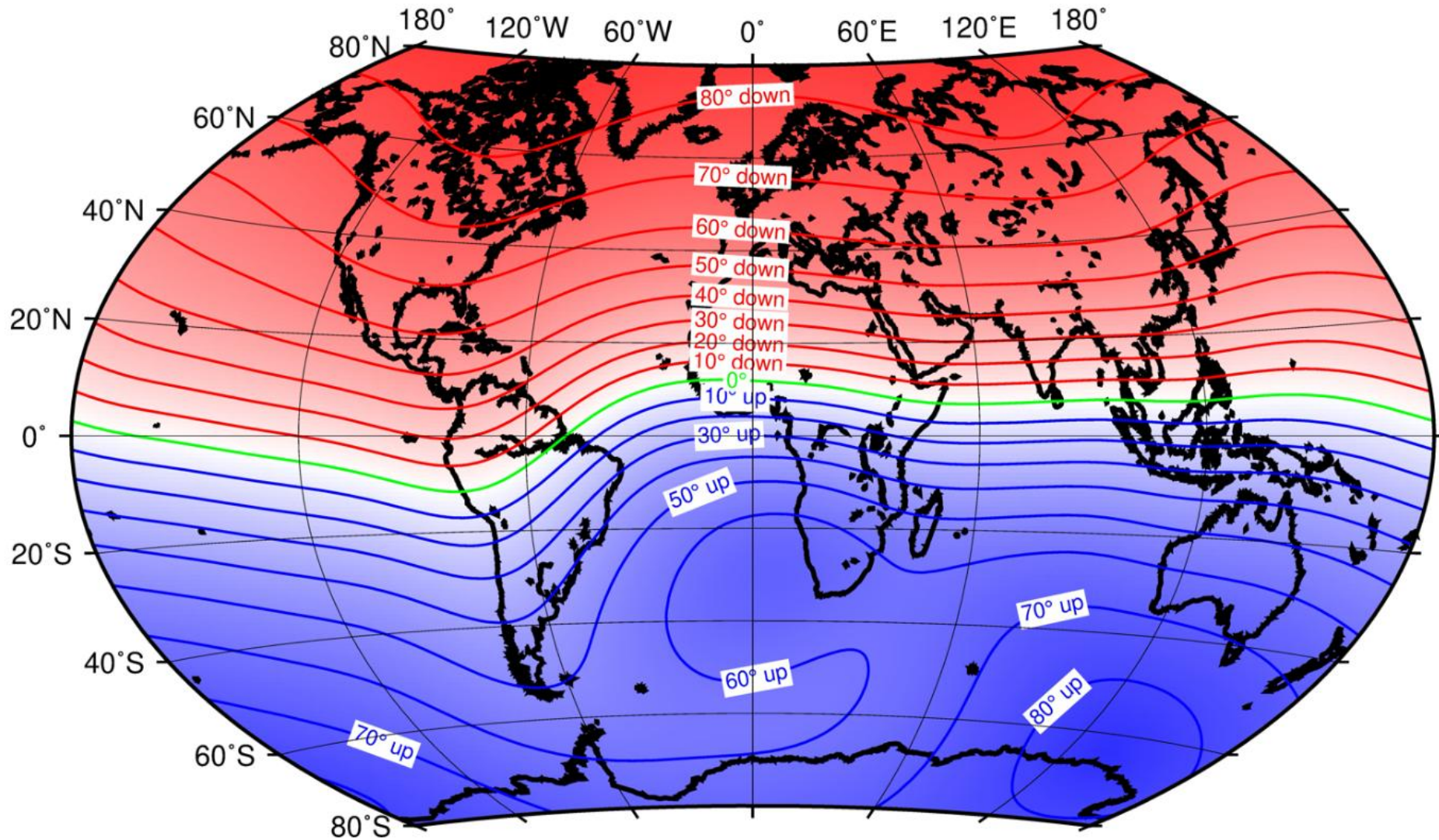
- **IGRF = International Geomagnetic Reference Field** (spravuje od roku 1965 asociácia IAGA = International Association of Geomagnetism and Aeronomy), súčasťou viacerých geof. softvérov (napríklad Geosoft Oasis Montaj)
- **WMM = World Magnetic Model** (spravovaný U.S. National Geophysical Data Center (NGDC), British Geological Survey (BGS) a National Geospatial-Intelligence Agency (NGA))
- **EMM = Enhanced Magnetic Model** (spravovaný National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), na základe aj satelitných dát, posledná verzia EMM2017 platí pre periódy 2020.0 až 2022.0

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



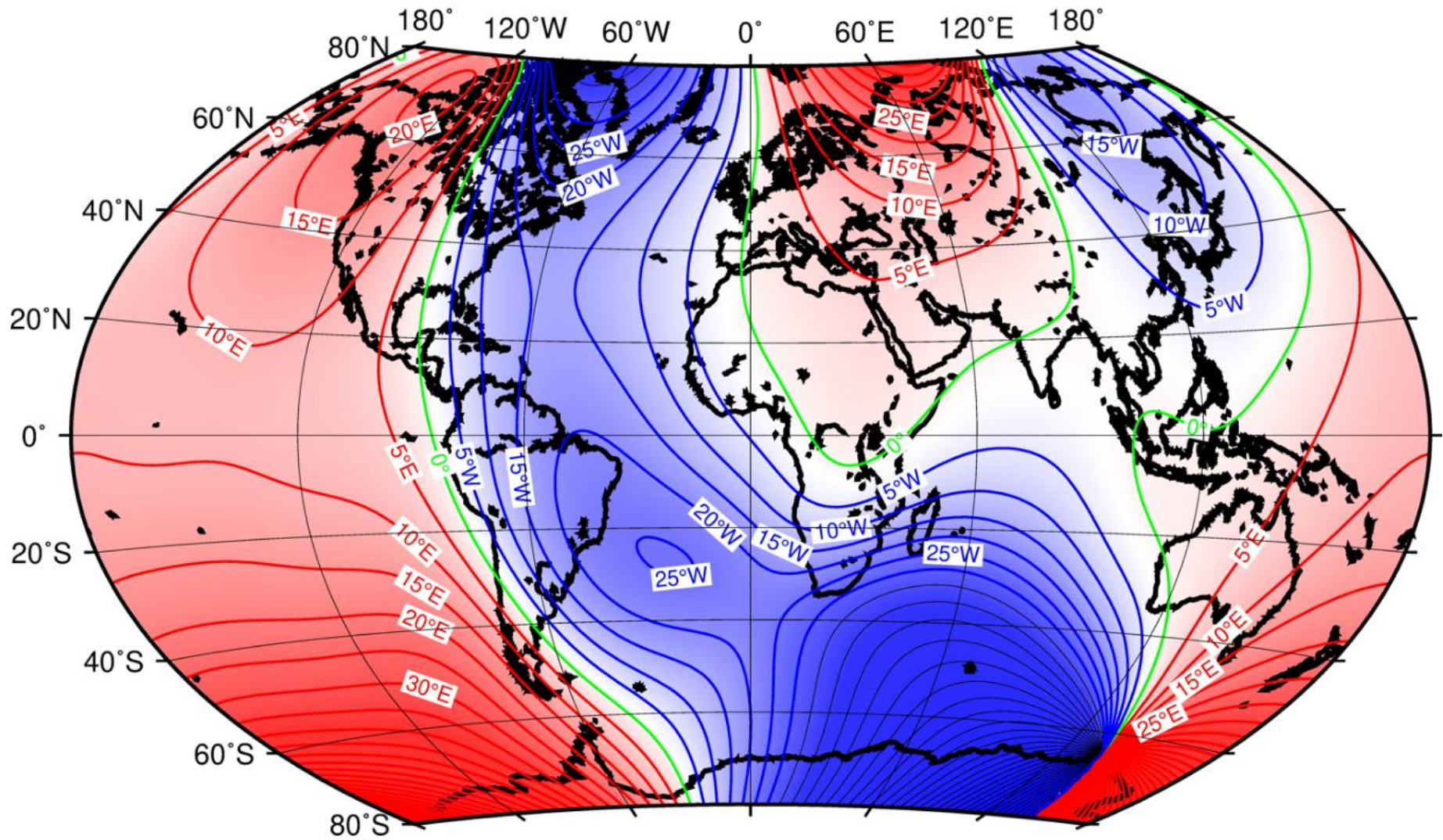
S týmito parametrami geomagn. poľa súvisí aj tvar a amplitúda magn. anomálií na rôznych miestach na zemskom povrchu.

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



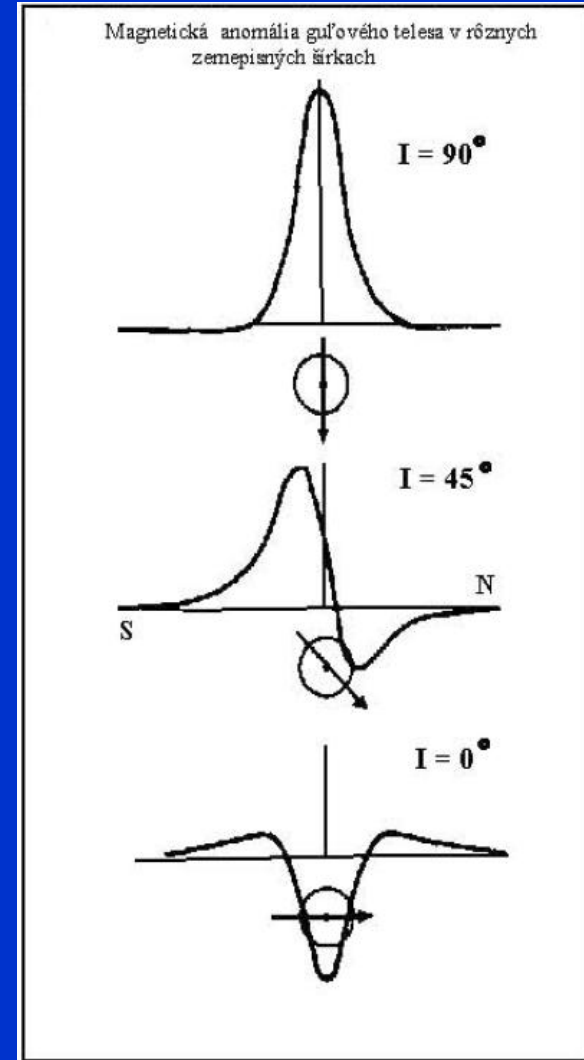
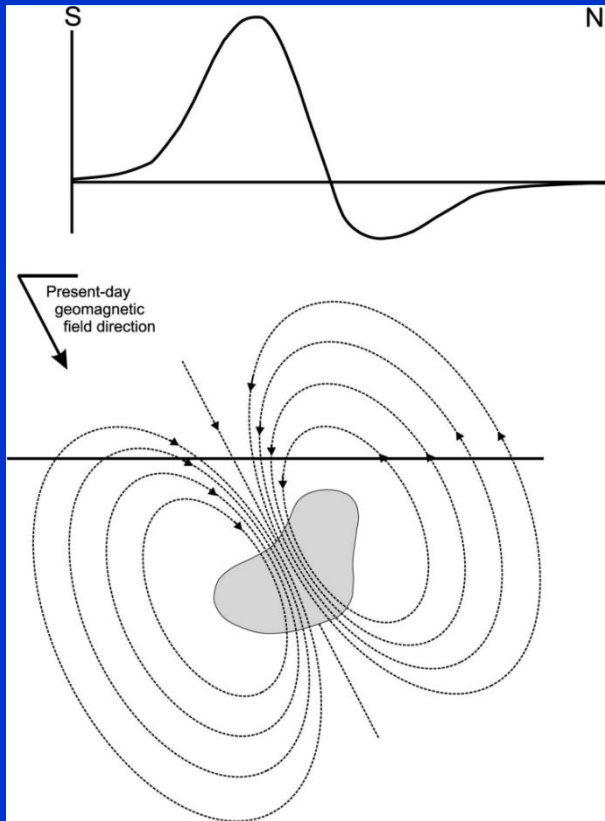
svetová mapa, izolínie inklinácie = tzv. izokliny  
(pre epochu 2020.0), zdroj: British Geological Survey

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



svetová mapa, izolínie deklinácie = tzv. izogóny  
(pre epochu 2020.0), zdroj: British Geological Survey

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)

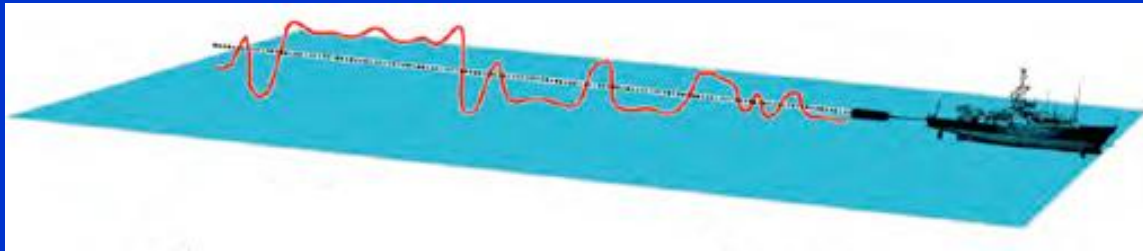


telesá s určitými petrofyzikálnymi vlastnosťami sa zmagnetizujú (niektoré sa potom stanú "magnetmi")

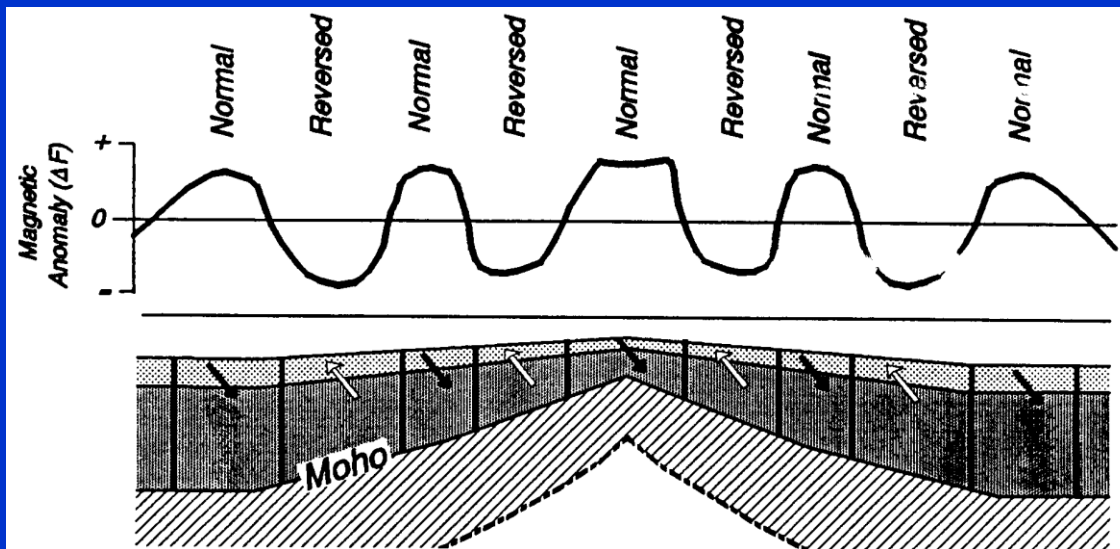
s parametrami indukujúceho magnetického poľa súvisí aj tvar a amplitúda magnetických anomálií

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)

V priebehu historických dôb došlo ku viacnásobnému prepólovaniu magnetických pólov.

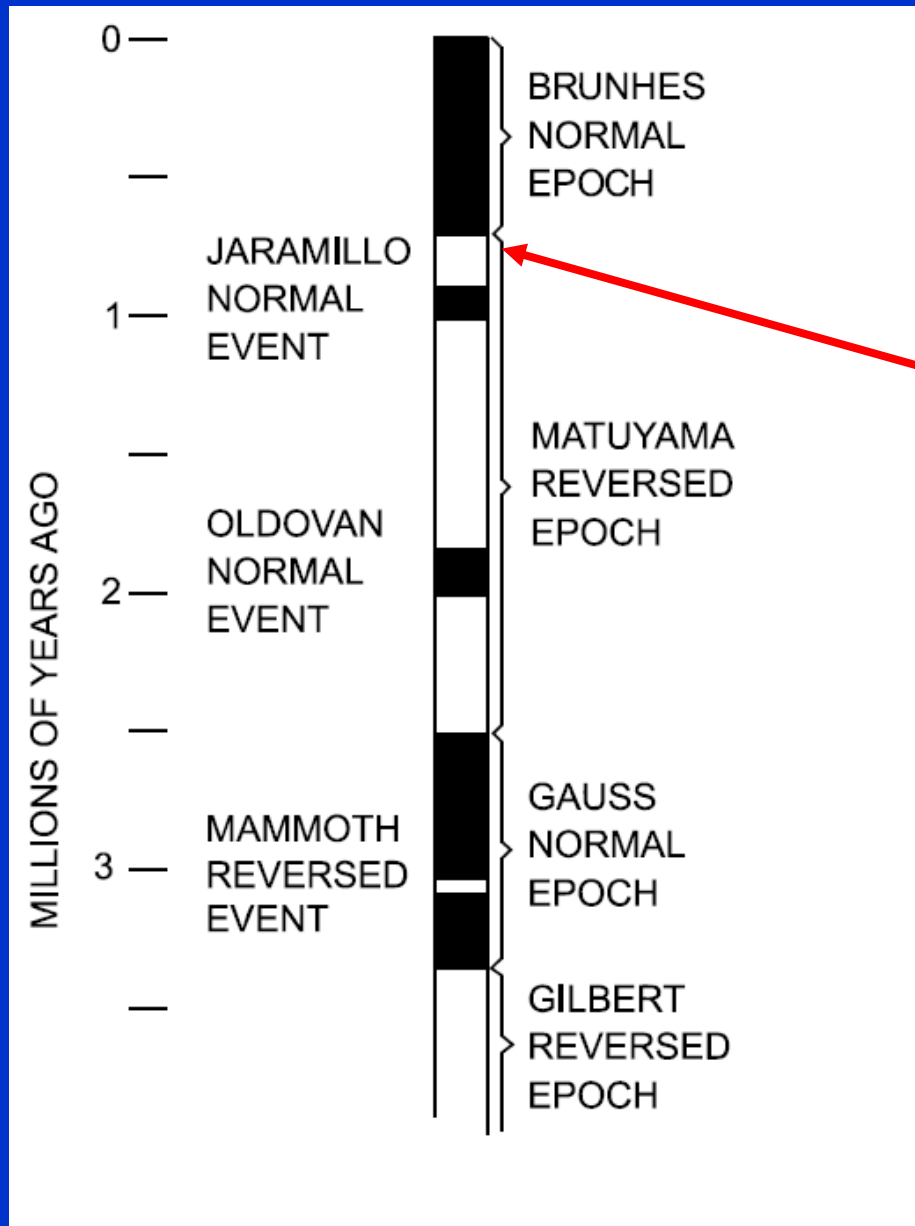


merania v priestore Atlantického oceánu  
(Rald and Mason, 1961)



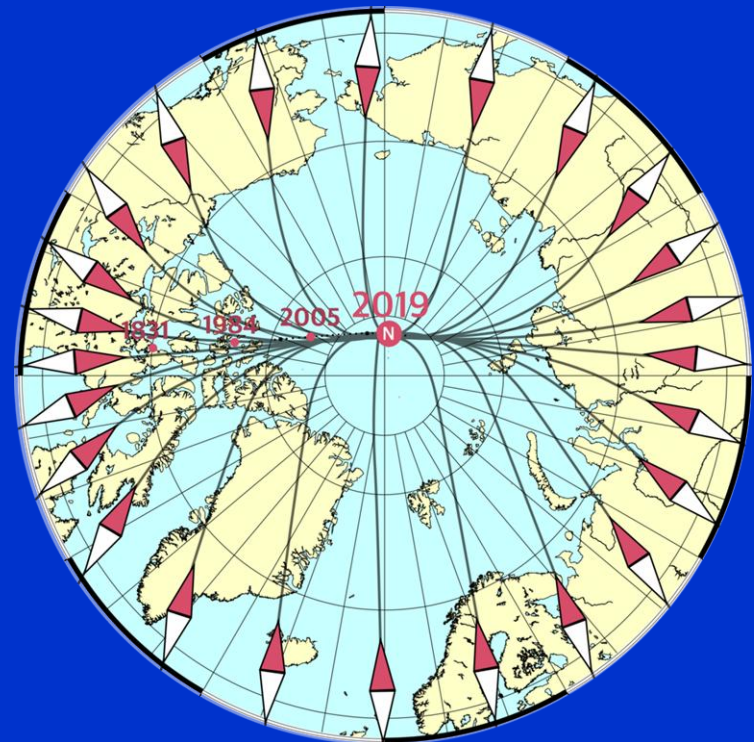
odvetvie geofyziky – paleomagnetizmus a archeomagnetizmus

# základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



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

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



# *prístroje 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 sa nazývajú **magnetometre**.

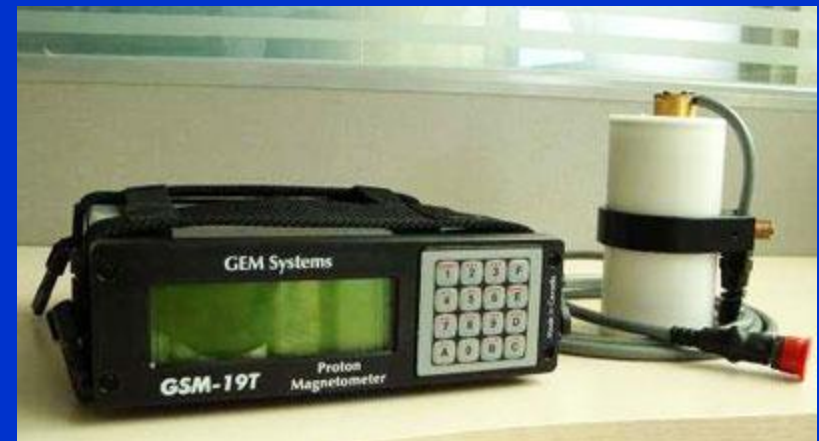
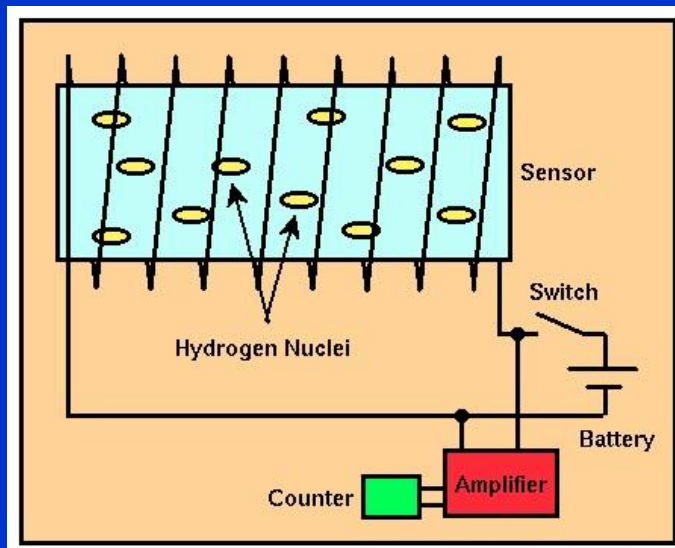
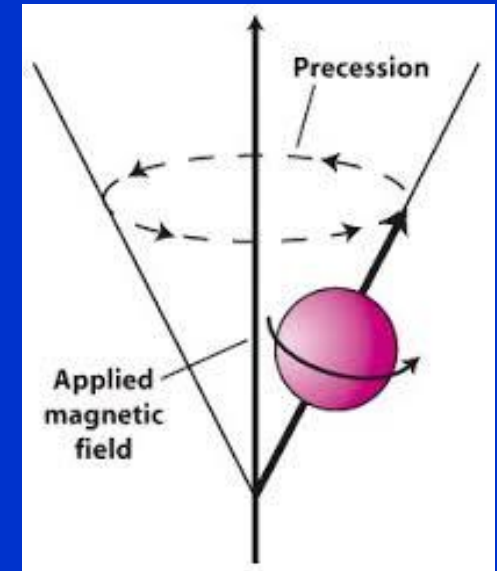
Existujú rôzne rozdelenia:

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

# prístroje v magnetometrii

## Protónový magnetometer:

Založený na štúdiu precesie protónov vo vonkajšom magnetickom poli. (ako medium sa používa kvapalina bohatá na vodíkové atómy - voda, alkohol).



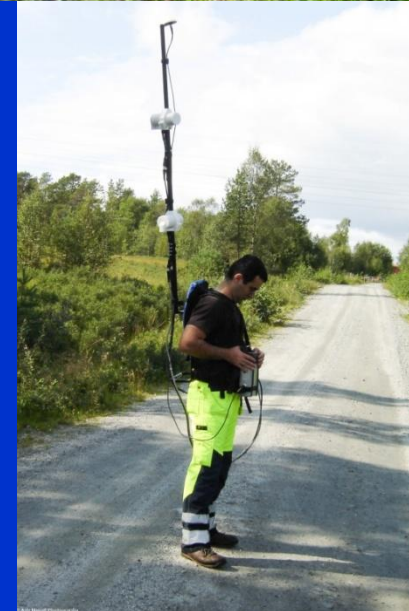
# prístroje v magnetometrii

## 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.

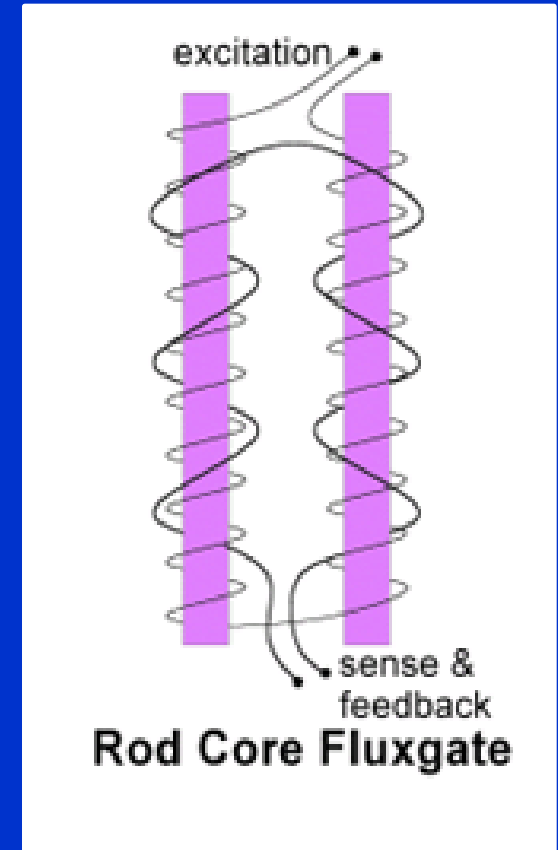
Využíva sa najmä pri geologických aplikáciách.



# *prístroje v magnetometrii*

## **Magnetometer s ferosondou (flux-gate):**

Založený na indukčnom princípe v permaloyovom jadre, ktorý je ovplyvňovaný vonk. magn. poľom.



# prístroje v magnetometrii

## Magnetometer s ferosondou (flux-gate):



Merací čas: zlomky sekundy.  
Často používané v archeológii  
v tzv. gradientovom prevedení  
(pole je merané v 2 úrovniach)  
a v multi-senzorovom usporiadaní.

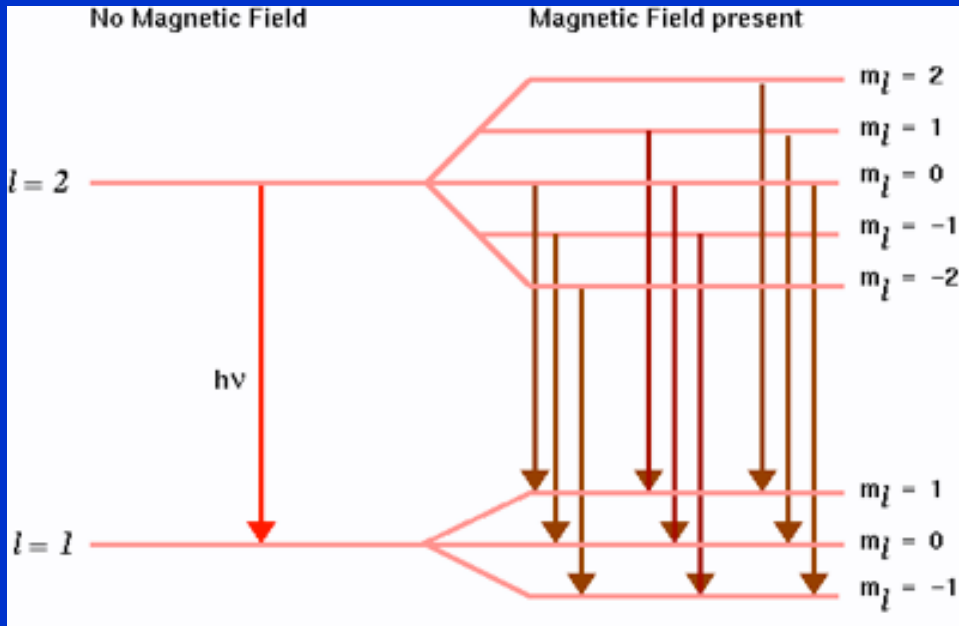


Presnejšie a najmä rýchlejšie ako protónové magnetometre.

# prístroje v magnetometrii

## Magnetometer s tzv. optickým pumpovaním:

Využíva tzv. Zeemanov efekt štiepenia energetických hladín elektrónov vo vonkajšom magn. poli.



Tento jav sa sleduje vo výparoch cézia alebo draslíka, ktoré sú nasvecované monochrom. svetlom alebo laserom (opt. pumpovanie).

# *prístroje v magnetometrii*

## **”Céziový” magnetometer: (Cs-vapour magnetometer)**

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

Vnútoraná presnosť je na úrovni 0.01 nT, vonkajšia  $\pm 1$  nT. Využíva sa najmä pri UXO, geol. a archeol. aplikáciách.



# *prístroje v magnetometrii*

## **”Céziový” magnetometer: (Cs-vapour magnetometer)**

Niekedy sa používajú aj v gradientových usporiadaniach.



vo väčšine prípadov používaný ako letecký prístroj

**magnetické vlastnosti látok –  
magnetická permeabilita a susceptibilita**

# magnetické vlastnosti látok – permeabilita

Podľa hodnoty  $\mu_r$  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).

Pozn.: Prvok Neodymium (Nd) je paramagnetický a jeho vlastnosti sa zosilňujú iba v zlúčenách s Fe a B.

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 si dokážu magnetizmus aj “zapamätať” (tzv. **remanentná magnetizácia**).

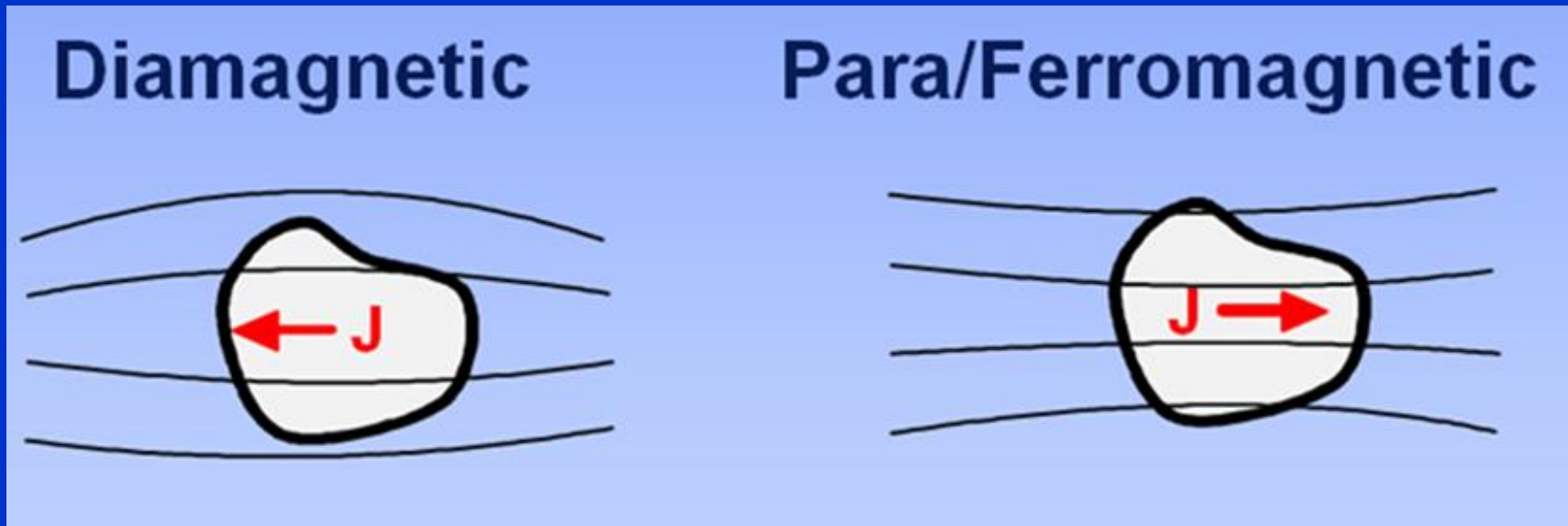
# magnetické vlastnosti látok – permeabilita

Podľa hodnoty  $\mu_r$  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).



Siločiar magn. poľa sú buď vytláčané alebo vťahované do telesa.

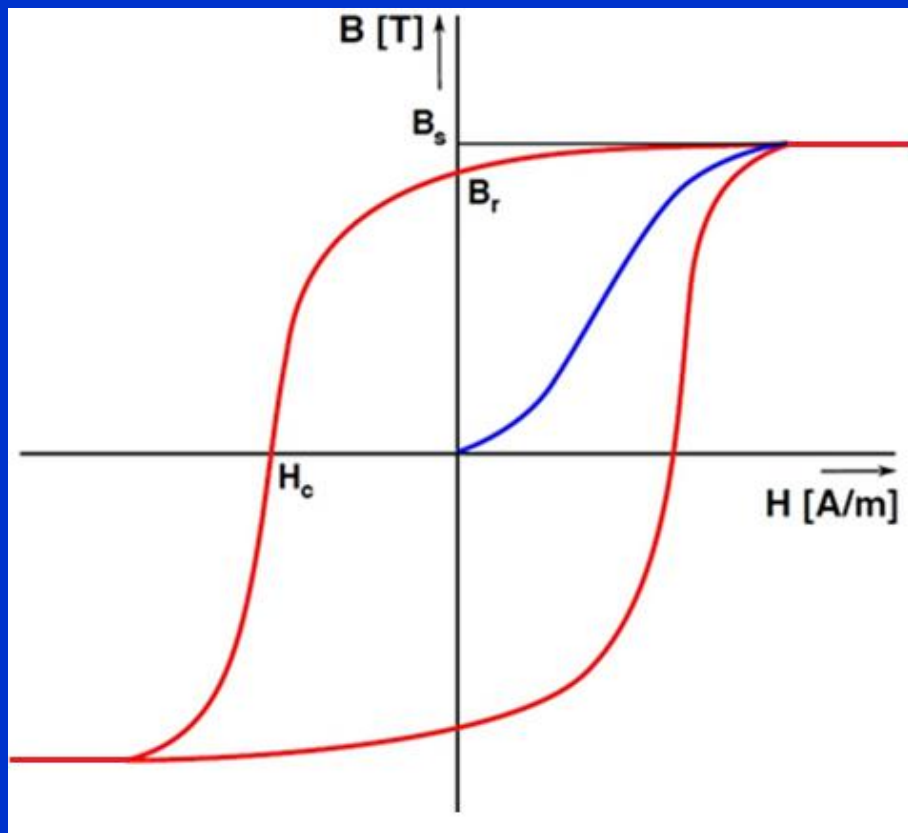
# magnetické vlastnosti látek – permeabilita

<b>Materiál</b>	$\mu_r$
Permalloy	50 000 - 140 000
Železo	300 - 10 000
Kobalt	80 - 200
Hliník	1,000 023
Kapalný kyslík	1,003 620
Plynný kyslík	1,000 001 86
Platina	1,000 264
Měď	0,999 990
Voda	0,999 991

# magnetické vlastnosti látok – základné pojmy

Paramagnetickým látkam nezostáva po „vypnutí“ vonkajšieho magnetického poľa magnetický moment, v prípade feromagnetických je to rozdielne – zostávajú zmagnetizované.

Tento jav opisuje **magnetická hysterézia** (krivka):



$B_s$  – stav nasýtenia  
(max. hodnota  $B$ ),  
 $B_r$  – remanentná  
magnetizácia,  
 $H_c$  – koercitívna  
intenzita,

Podľa veľkosti  $H_c$   
delíme  
feromagnetické látky  
na magneticky mäkké  
(malá  $H_c$ ) a tvrdé  
(veľká  $H_c$ ).

# magnetické vlastnosti látok – základné pojmy

Paramagnetickým látkam nezostáva po „vypnutí“ vonkajšieho magnetického poľa magnetický moment, v prípade feromagnetických je rozdielne – zostávajú zmagnetizované.

Rozpoznávame tzv. **indukovanú** magnetizáciu a **remanentnú** magnetizáciu.

Remanentná magnetizácia (NRM):

- termoremanentná (pri pôsobení vonk. magn. poľa po tom, ako klesne teplota horniny pod Courierov bod)
- chemická (pri kryštalizácii minerálov z chem. roztokov)
- detritická (pri sedimentácii úlomkov feromagn. hornín)
- viskózna (pri dlhodobom pôsobení poľa, prejavuje sa najmä pri magneticky mäkkých látkach)
- izotermálna (krátkodobé pôsobenie, napr. úder blesku)
- dynamická (pri tektonických procesoch)

# magnetické vlastnosti látok – susceptibilita

V magnetometrii sa okrem permeability používa aj susceptibilita, pričom platí jednoduchý vzťah:

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

$\kappa$  – susceptibilita, ide o bezrozmerné číslo, používajú sa však tzv. [SI jednotky]; vo vákuu platí  $\kappa = 0$ ,

Susceptibilita je podobná v analógii na hustotu v gravimetrii a vraví, ako silno sa daná látka zmagnetizuje vo vonkajšom magn. poli.

# magnetické vlastnosti látek – susceptibilita

$\kappa < 0, \mu_r < 1$  – **diamagnetické látky** (minerály),

hodnoty:  $-10^{-6}$  až  $-10^{-5}$  [SI], napr.: kremeň,

kalcit, živce, grafit, sádrovec, halit, galenit

$\kappa > 0, \mu_r > 1$  – **paramagnetické látky**,

hodnoty:  $10^{-5}$  až  $10^{-3}$  [SI], napr. pyroxén, olivín,

amfibol, biotit, pyrit, siderit, muskovit,..

$\kappa \gg 0, \mu_r \gg 1$  – **feromagnetické látky**,

hodnoty:  $10^{-2}$  až  $10^{+2}$  [SI], napr. magnetit,

titanomagnetit, ulvöspinel, hematit, ilmenit

# magnetické vlastnosti minerálov

Pri celkovej magnetizácii hornín sa najviac prejavujú feromagnetické minerály, ktoré sú v naprostej väčšine rudnými minerálmi – **oxidy, hydroxidy, sulfidy**.

Napriek tomu, že sú často v horninách vedľajšími alebo dokonca akcesorickými zložkami, postačuje to na to, aby sa celá hornina chovala feromagneticky.



magnetit

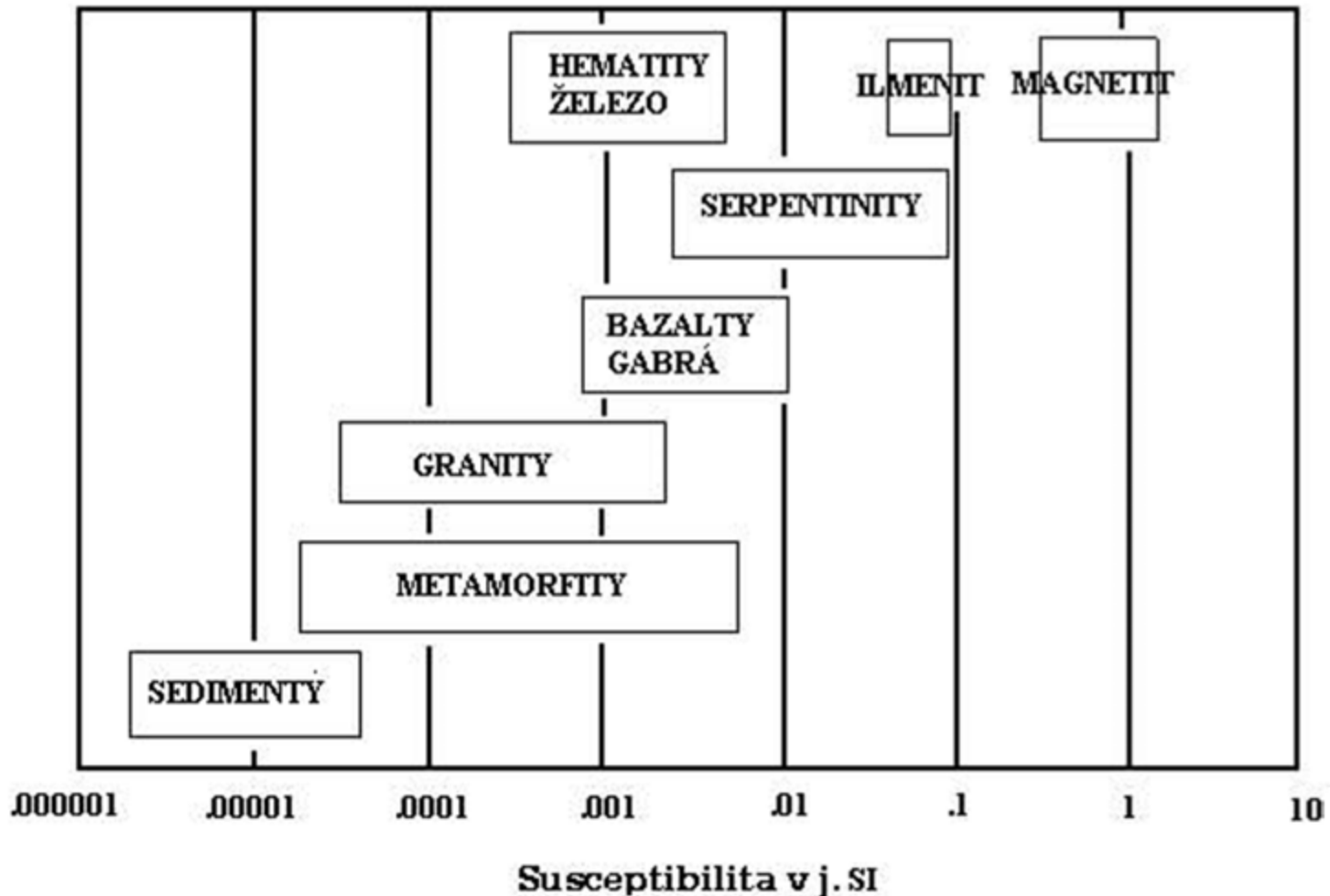


hematit



limonit

# magnetické vlastnosti hornín

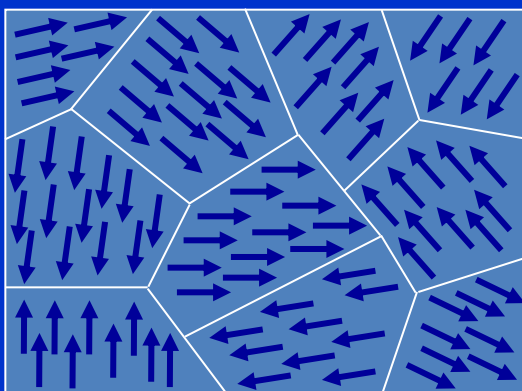


Najmenej “magnetické” horniny sú sedimenty, najviac sú (okrem rúd železa a niklu) ultrabázické horniny.

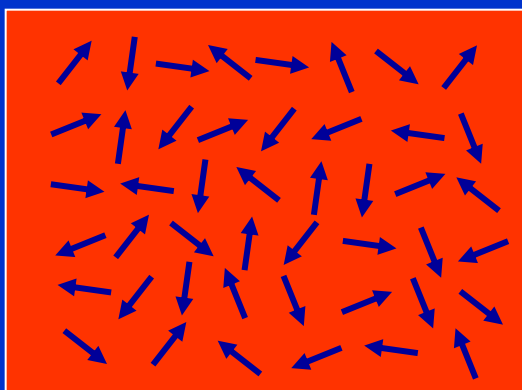
# magnetické vlastnosti látok – Curieho teplota

Pri zahriatí látok nad určitú teplotu sa strácajú ich magnetické vlastnosti.

pred  
nahriatím



po  
nahriatí



Mineral	Composition	Magnetic Order	T <sub>c</sub> (°C)
<b>Oxides</b>			
Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	ferrimagnetic	575-585
Ulvospinel	Fe <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub>	AFM	-153
Hematite	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	canted AFM	675
Ilmenite	FeTiO <sub>2</sub>	AFM	-233
Maghemite	γFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ferrimagnetic	~600
Jacobsite	MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ferrimagnetic	300
Trevorite	NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ferrimagnetic	585
Magnesioferrite	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ferrimagnetic	440
<b>Sulfides</b>			
Pyrrhotite	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	ferrimagnetic	320
Greigite	Fe <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	ferrimagnetic	~333
Troilite	FeS	AFM	305
<b>Oxyhydroxides</b>			
Goethite	αFeOOH	AFM, weak FM	~120
Lepidocrocite	γFeOOH	AFM(?)	-196
Feroxyhyte	δFeOOH	ferrimagnetic	~180

magnetické minerály

## Meranie a základné spracovanie dát v magnetometrii:

- samotné meranie s prístrojom v teréne
- oprava o variácie geomagnetického poľa
- odpočítanie tzv. normálneho poľa: výpočet poľa  $\Delta T$  (štatistické metódy alebo globálne modely – tzv. IGRF alebo WMM)
- zavedenie špeciálnych opráv na hodnotové posuny medzi senzormi
- interpolácia do máp poľa  $\Delta T$  a vizualizácia (farebné alebo ČB tieňované mapy)
- pozn.: niektorí autori zavádzajú aj magnetické terénne korekcie (nie je to však bežné)

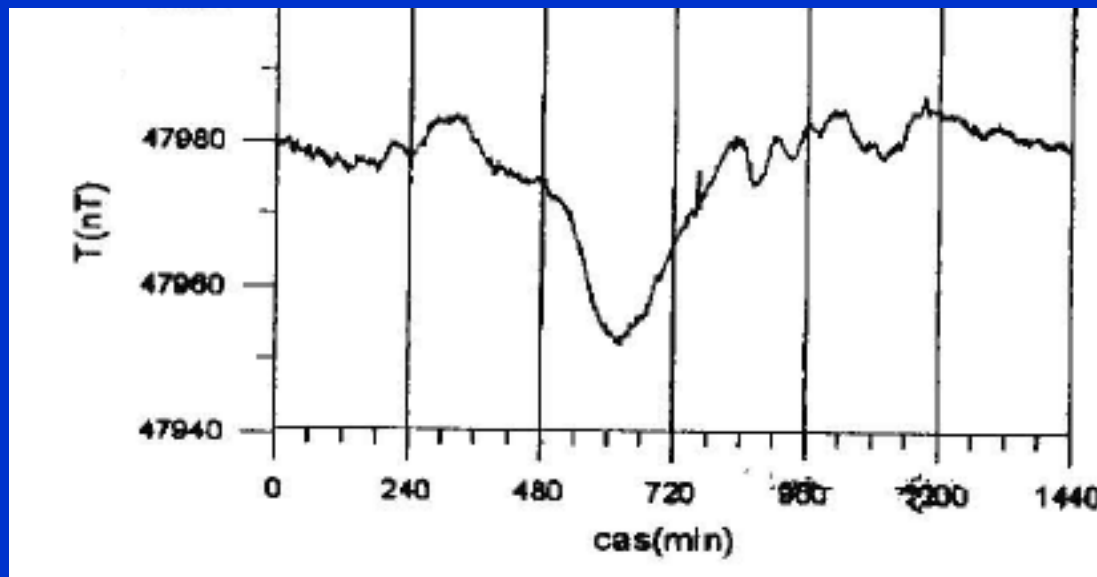
# variácie geomagnetického poľa – časové zmeny:

## dlhodobé:

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

## krátkodobé:

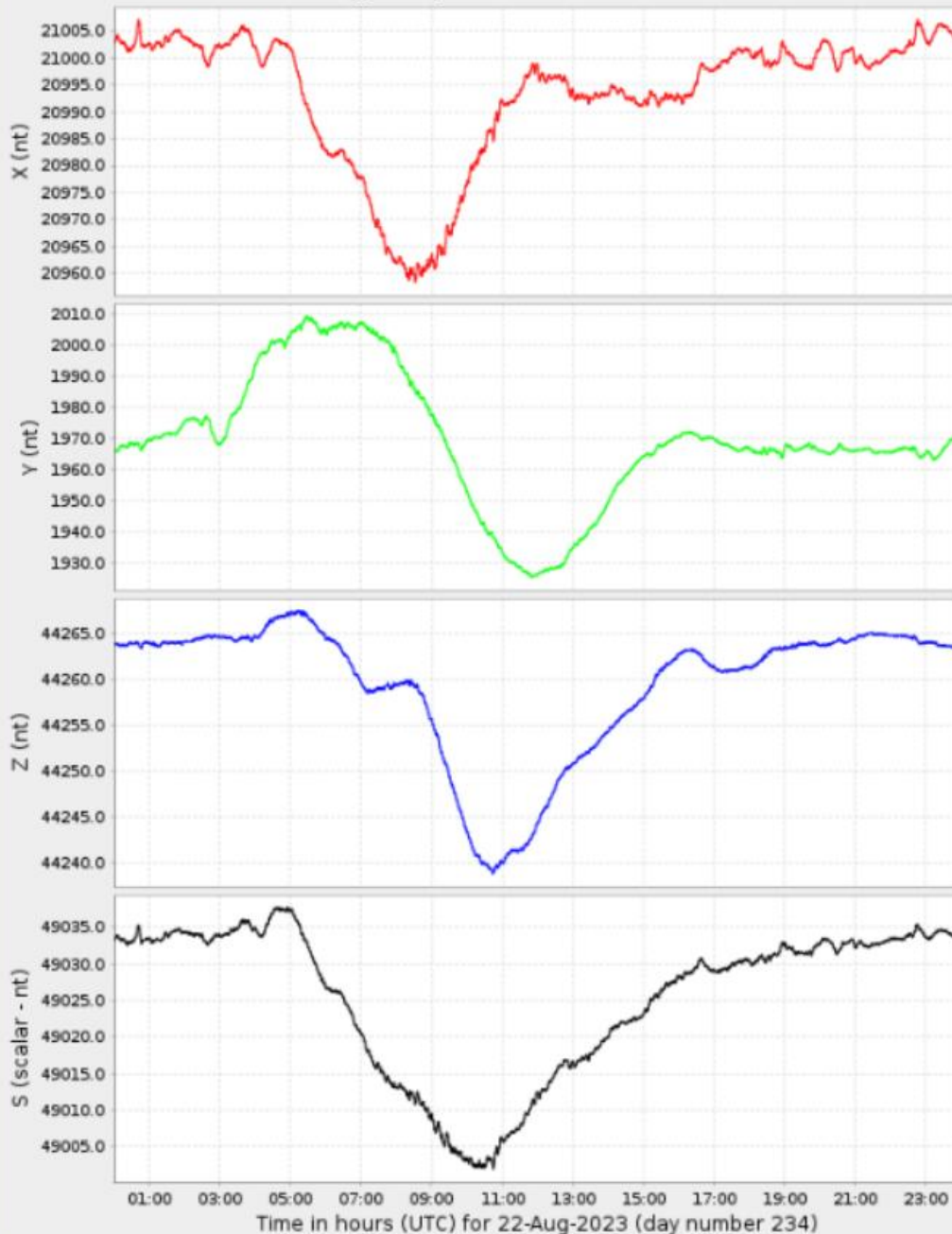
denné a poldenné variácie (súvisia s rotáciou Zeme)  
magnetické búrky – nepravidelné (súvisia so slnečnou činnosťou)



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

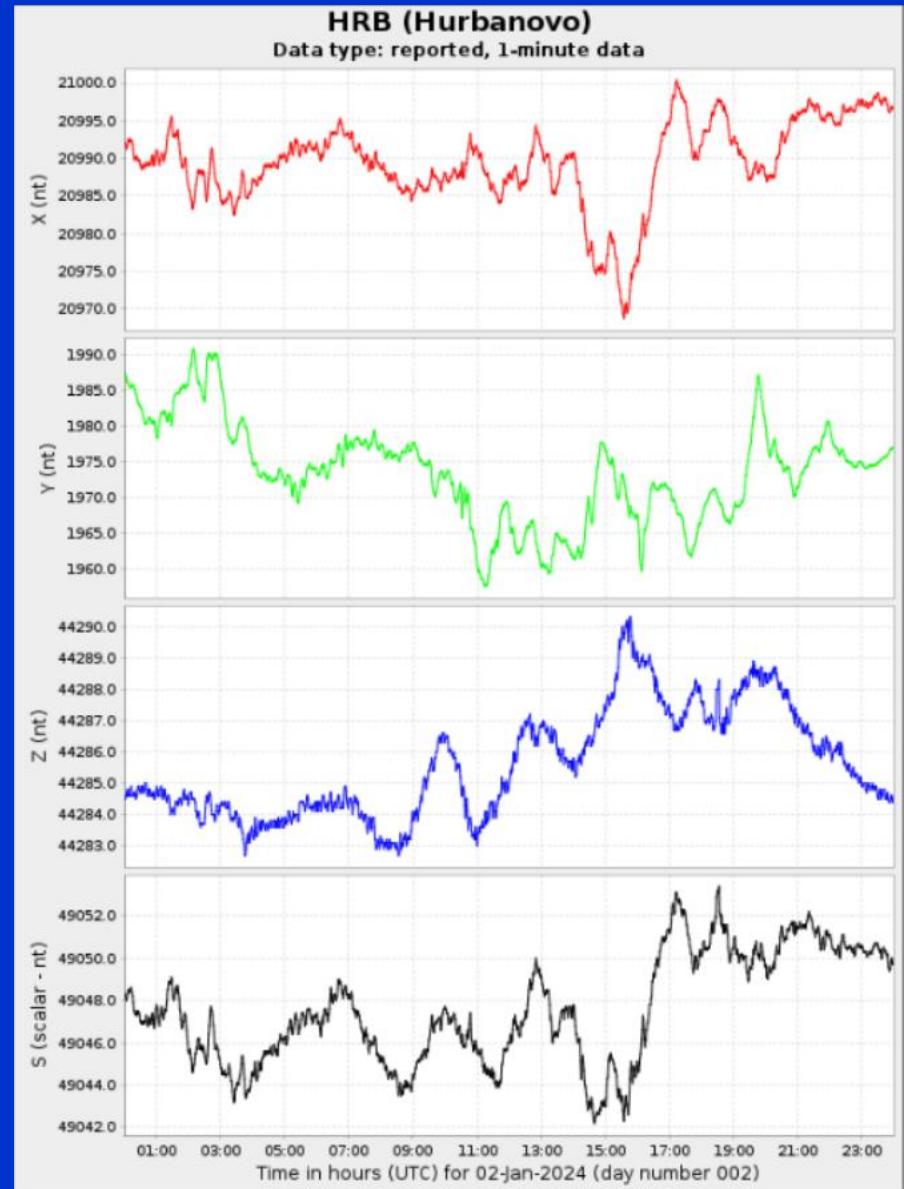
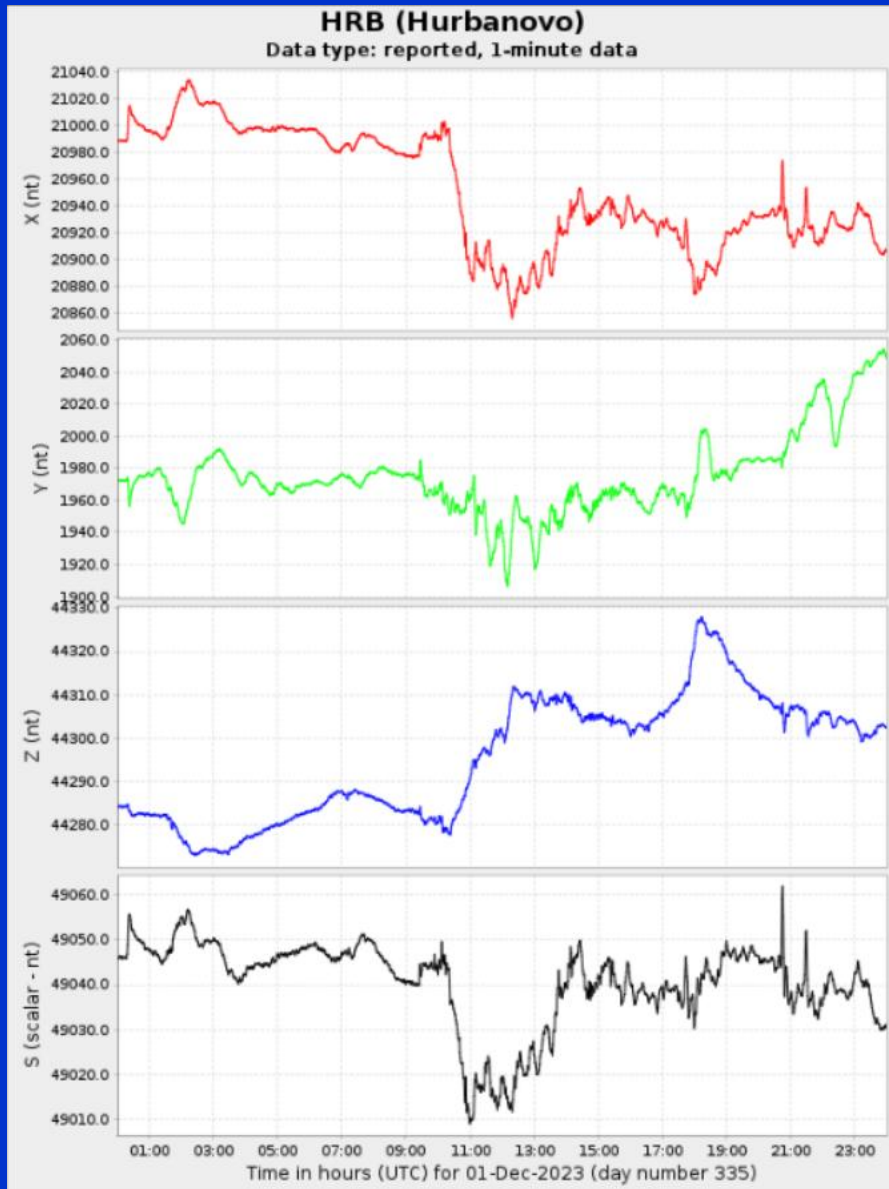
# HRB (Hurbanovo)

Data type: reported, 1-minute data



grafický záznam  
z observatória HRB  
zo dňa 22.8.2023

(pozor, zložka T je  
označená ako S)



záznam z observatória HRB zo dní 01.-02.12.2023 (prejav slabšej magn. búrky)

## 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.

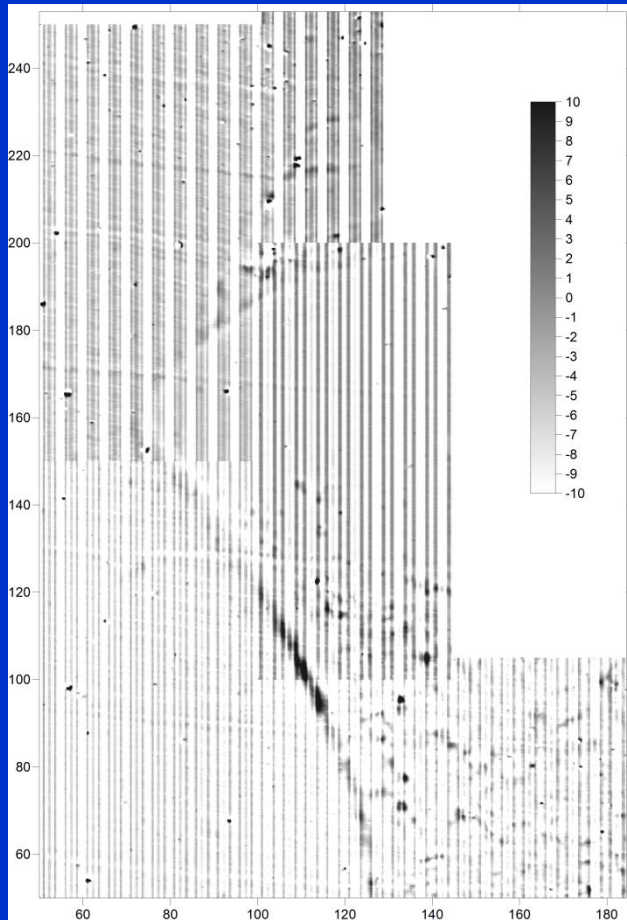




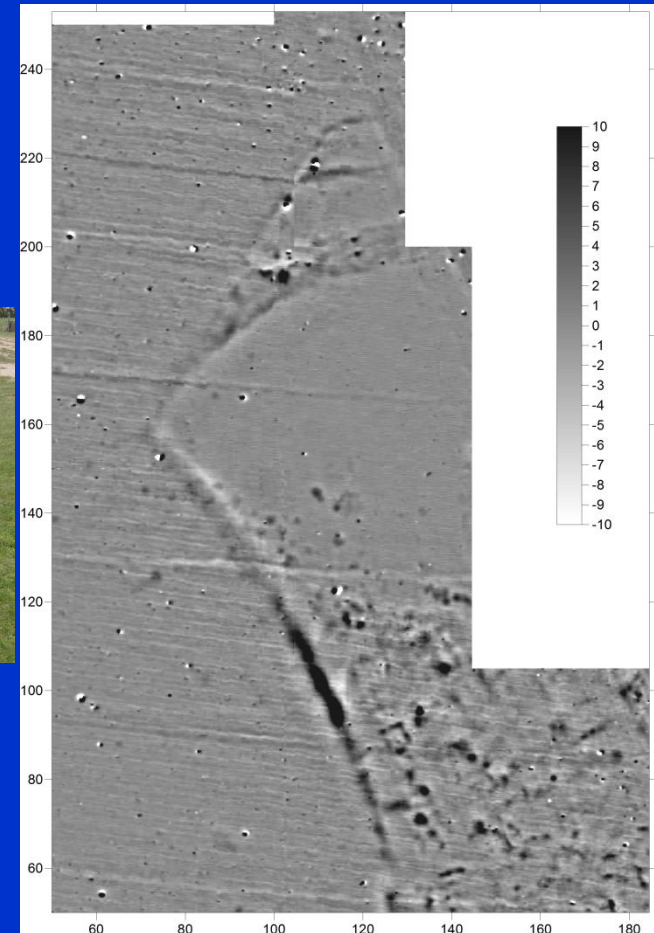
najnovšie trendy – drony a AUV  
(zatiaľ nedoriešené: väčšia vzdialenosť od objektov a  
nestabilita vo výške letu)

# hodnotové posuny medzi senzormi (tzv. heading error):

pôvodné dáta

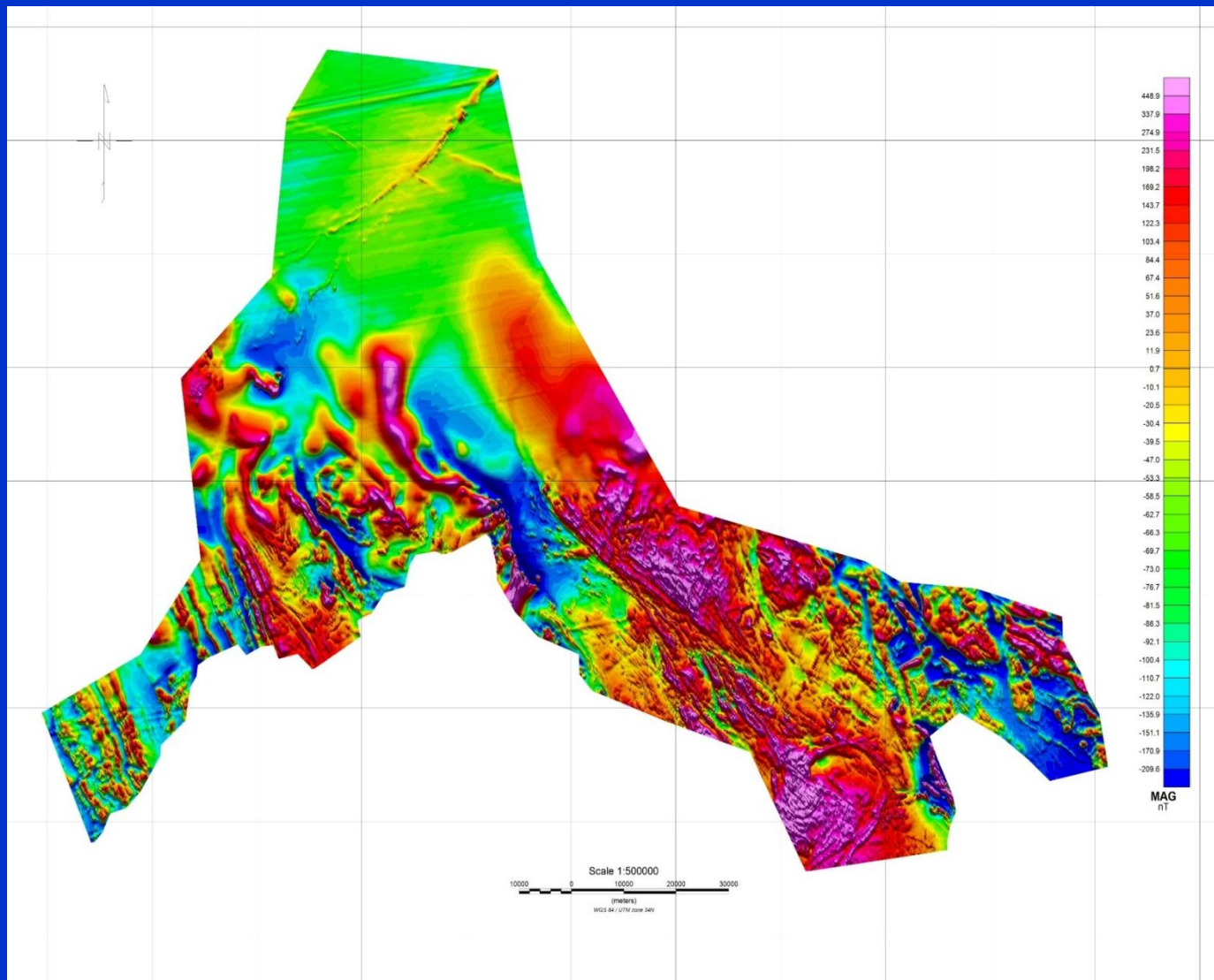


filtrované dáta



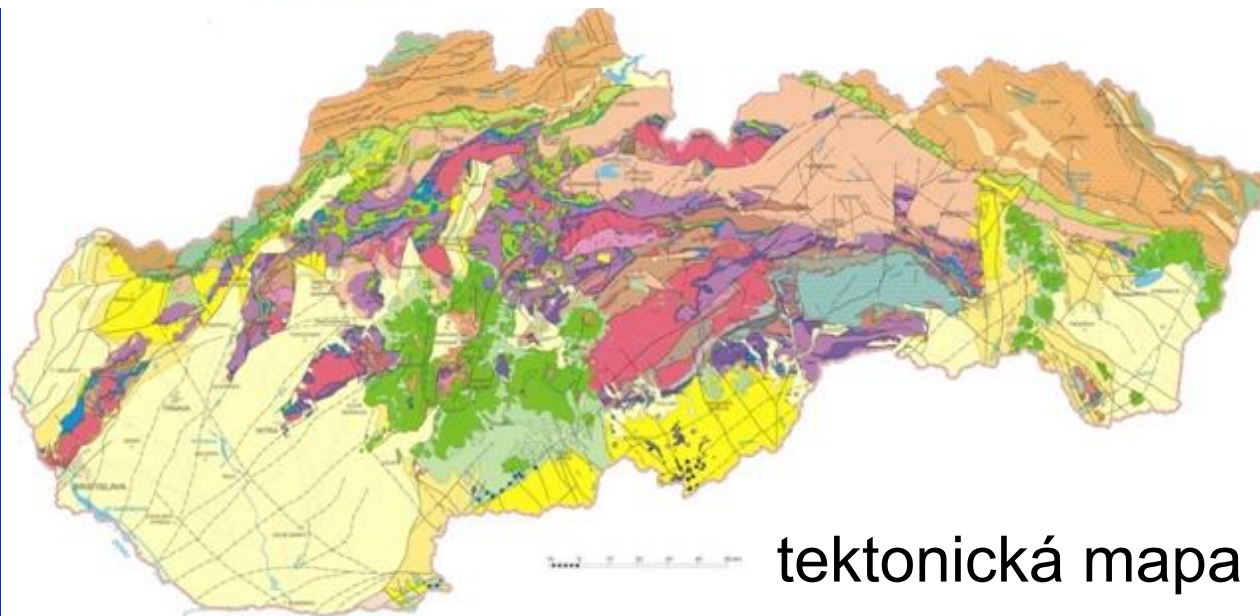
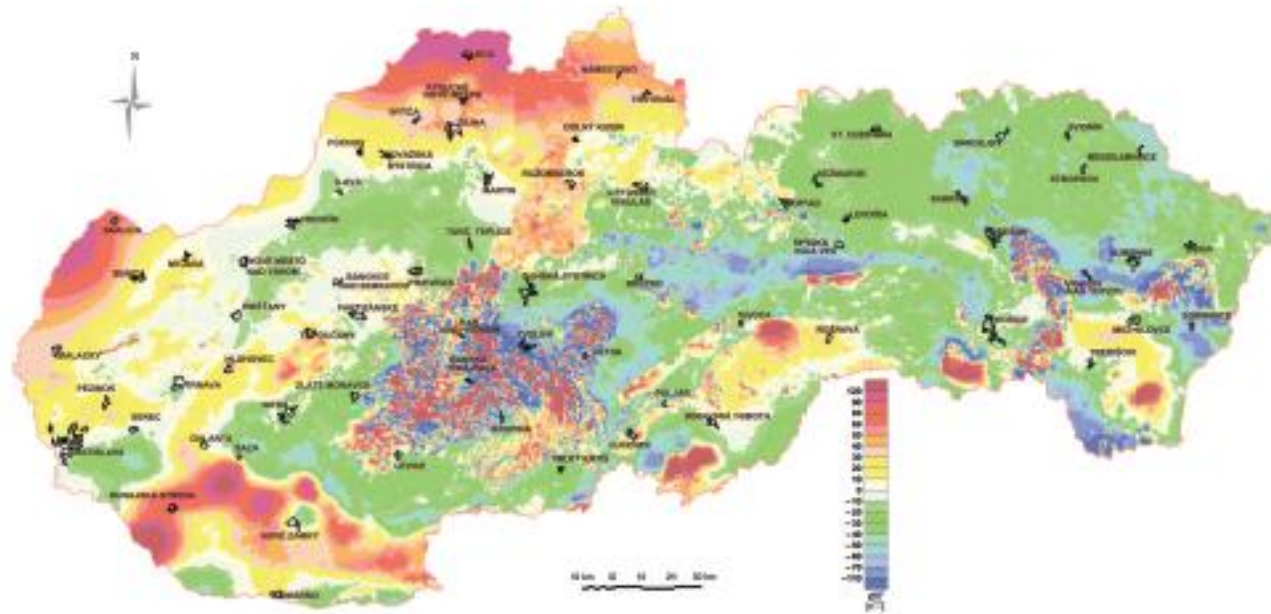
Dobré skúsenosti sú s tzv. mediánovými filtrami alebo postupom, ktorý sa nazýva ako tzv. mikroleveling.

príklad interpolácie výsledných hodnôt  $\Delta T$  do mapy:  
(pole  $\Delta T$  sa niekedy v anglickej literatúre označuje ako TMI)



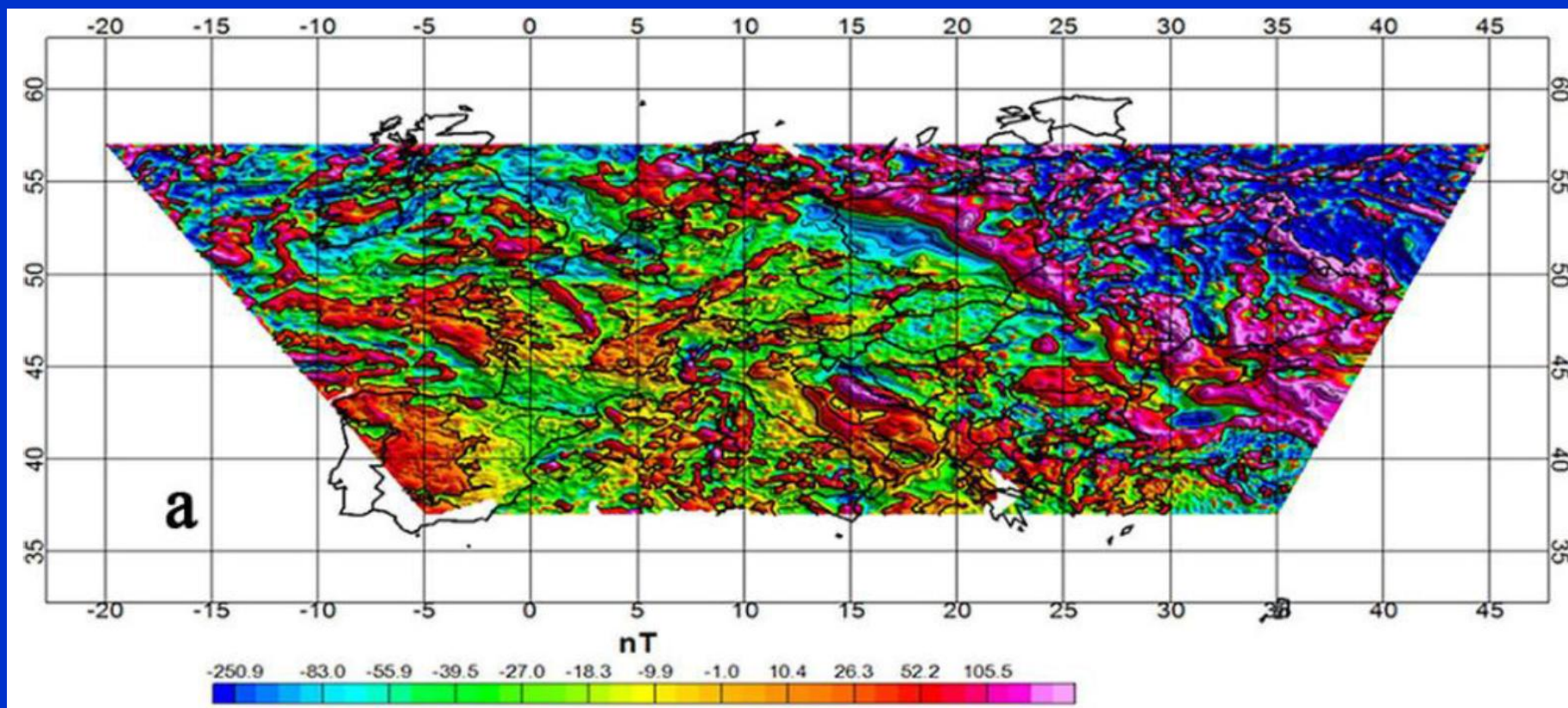
oblasť severného Nórska (zdroj: NGU), časť plochy je offshore

# mapa $\Delta T$ – územie Slovenska



tektonická mapa

# mapa $\Delta T$ – stredná Európa (European and Mediterranean Magnetic Project, 2011)

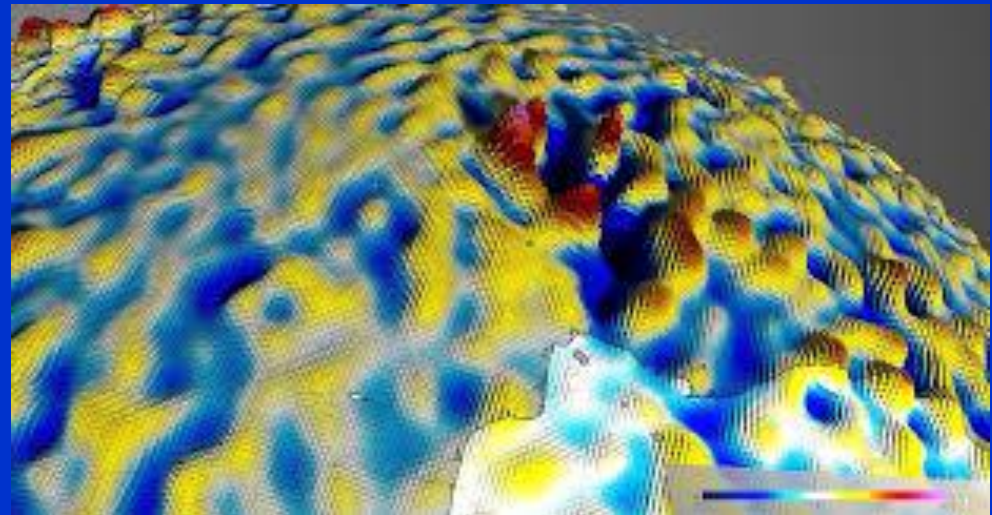
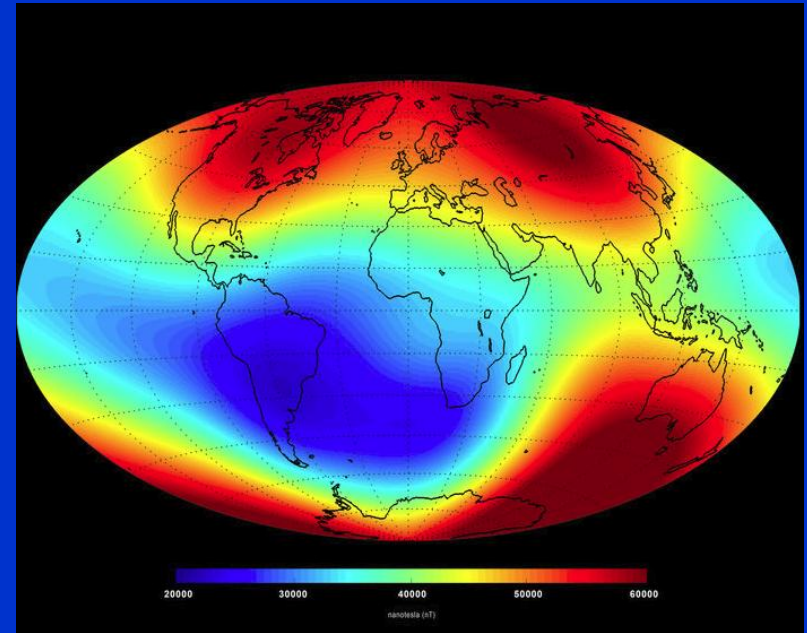


# Poznámka: satelitné merania

**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  $\Delta T$**

**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)*

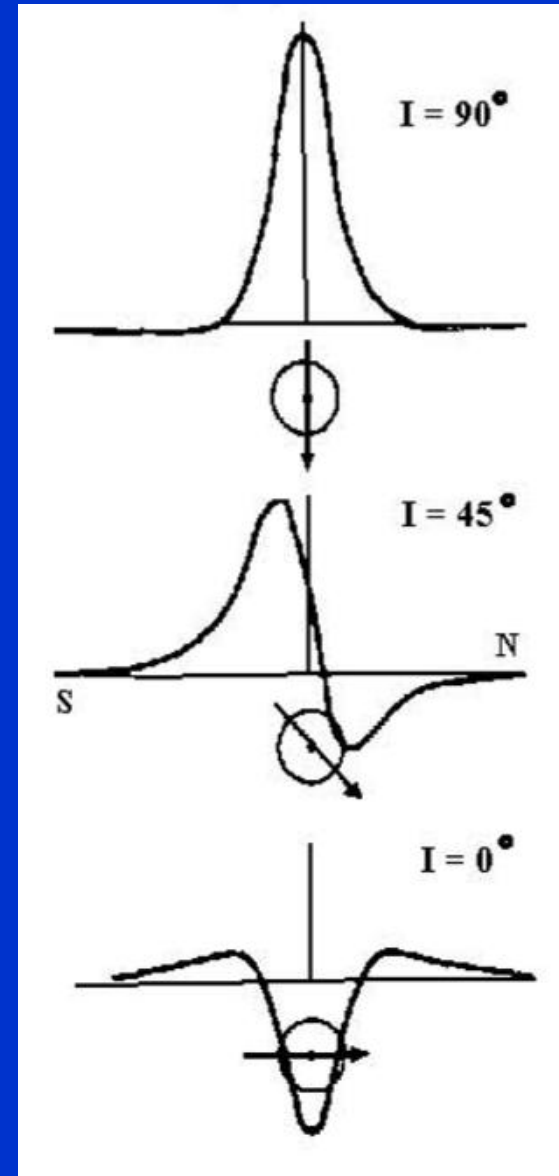
Aj tu (ako v prípade gravimetrie) zostáva v platnosti nejednoznačnosť riešenia obrátenej úlohy.

# interpretácia v magnetometrii

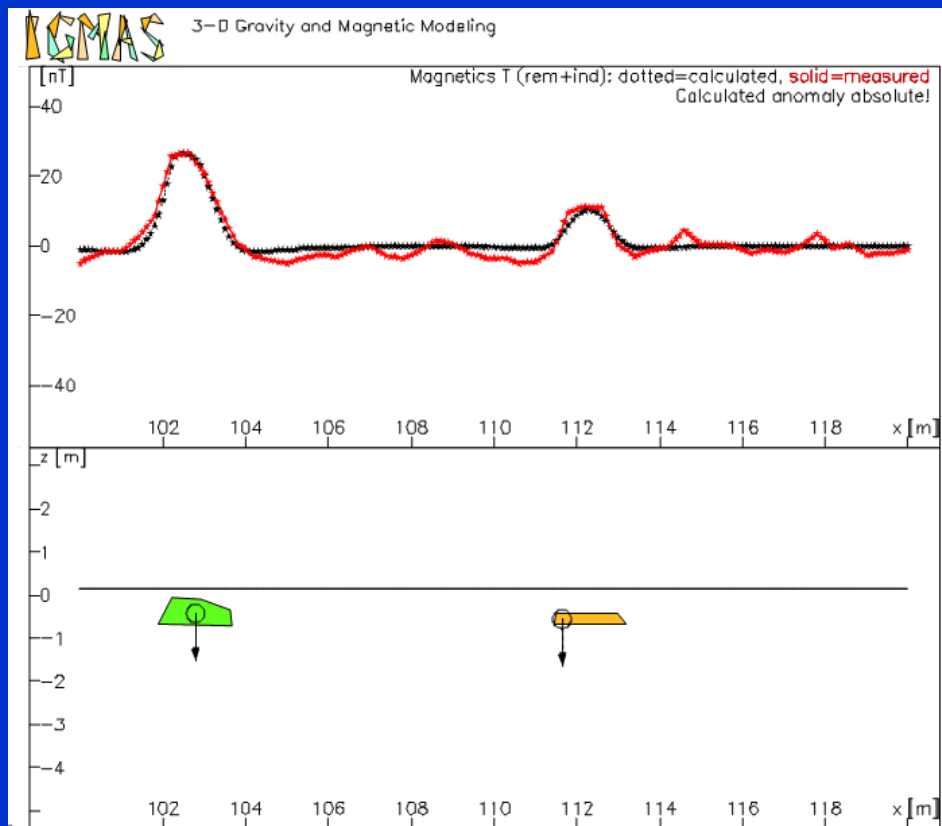
Anomálie od zmagnetizovaných objektov majú vždy dipólový charakter.

Tvar anomálie a jej amplitúda závisí od viacerých faktorov:

- smer vektora magnetizácie (v prípade iba indukovanej magnetizácie – zemepisná šírka),
- tvar telesa (natiahnutie v smere magnetizácie),
- hĺbka uloženia telesa,
- magnetická susceptibilita.

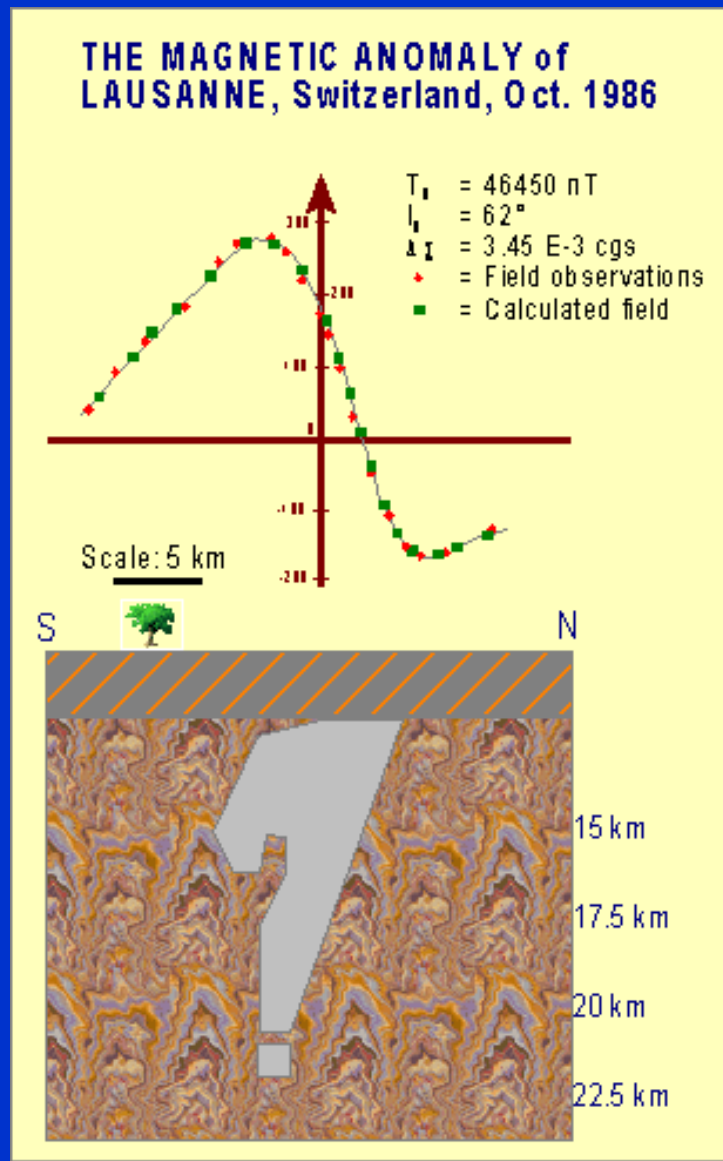


# interpretácia v magnetometrii



Výstup modelovania magnetického anomálneho poľa od plytko uložených telies.

Aj tu zostáva v platnosti nejednoznačnosť riešenia obrátenej úlohy.



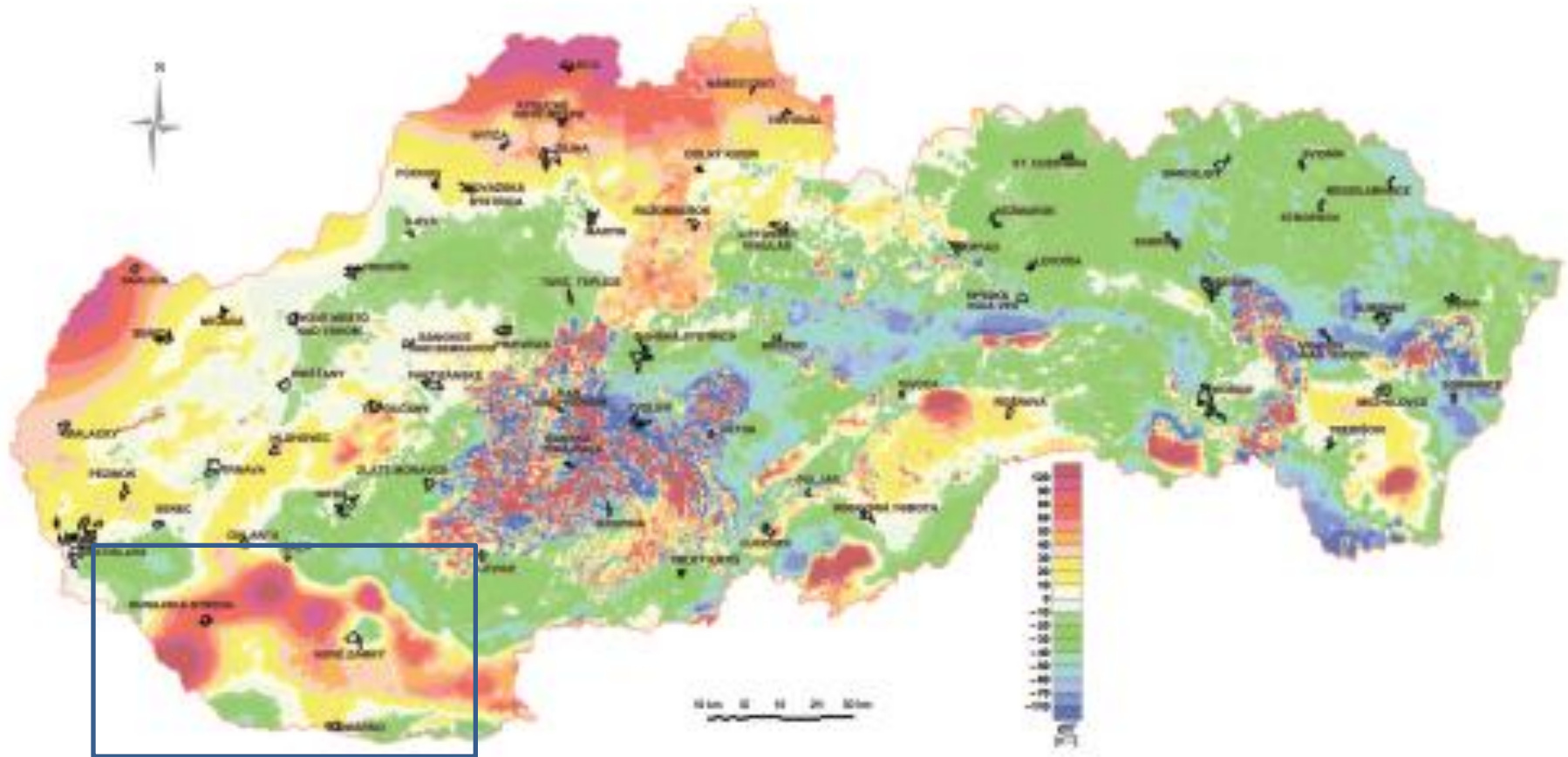
# využitie magnetometrie

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

*aplikácie magnetometrie*

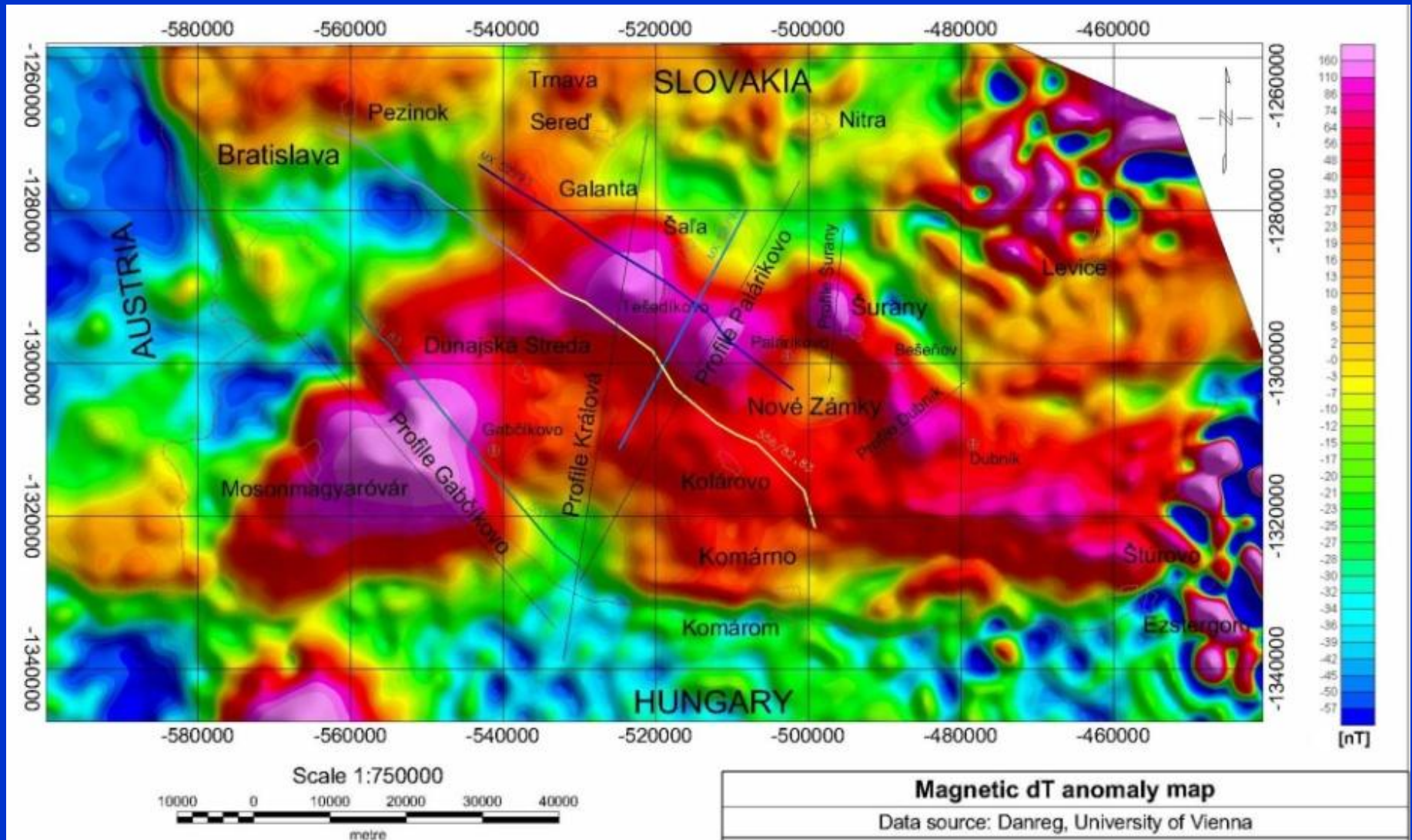
**niekoľko príkladov**

# aplikácie magnetometrie



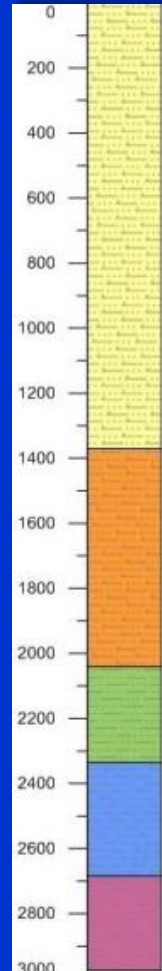
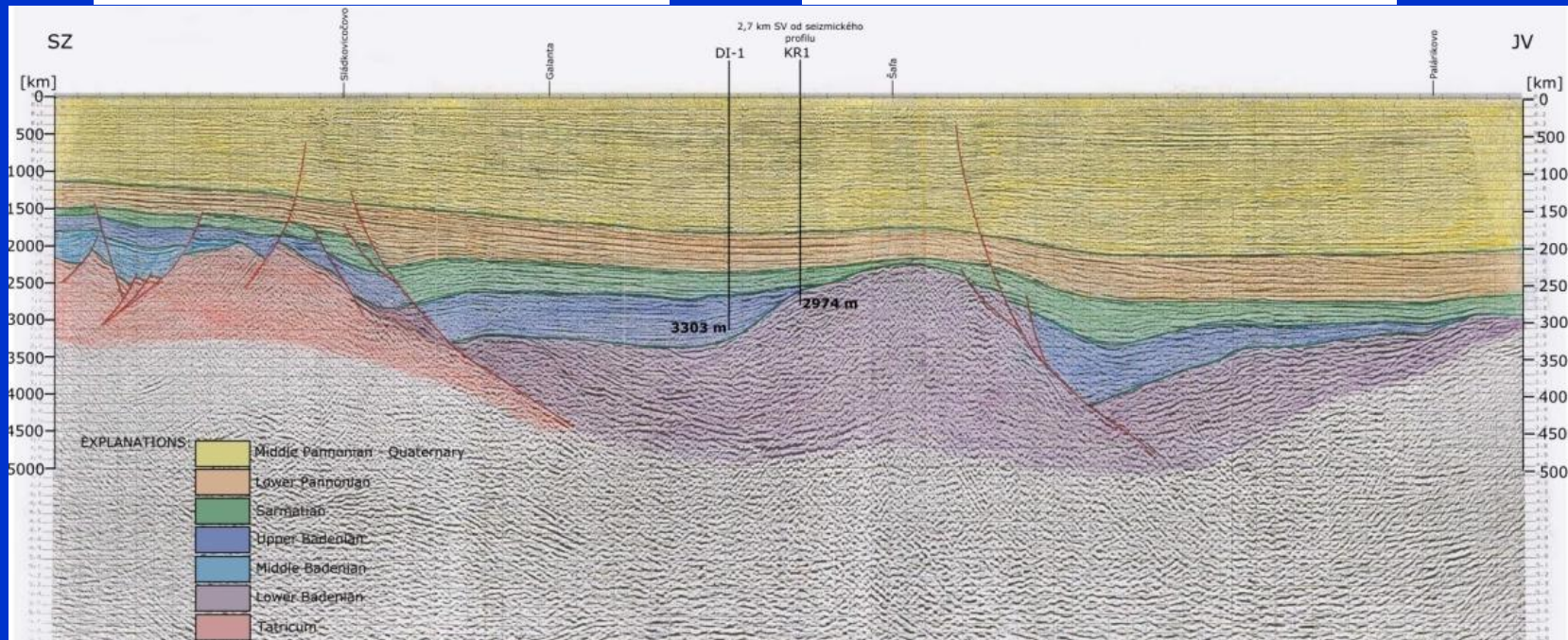
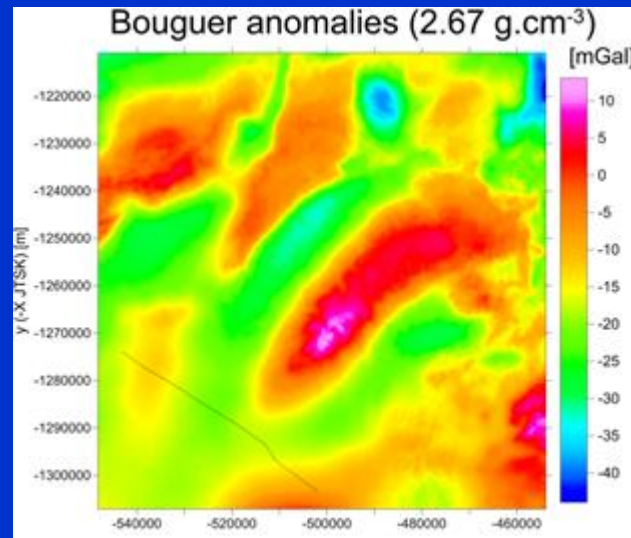
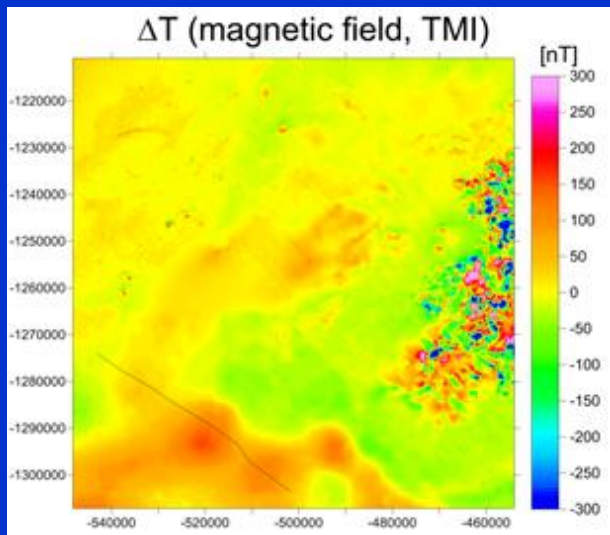
príklad – anomálne magnetické pole (magnetická indukcia) SR –  
- detail v obdĺžniku bude zobrazený na ďalšom snímku

# aplikácie magnetometrie



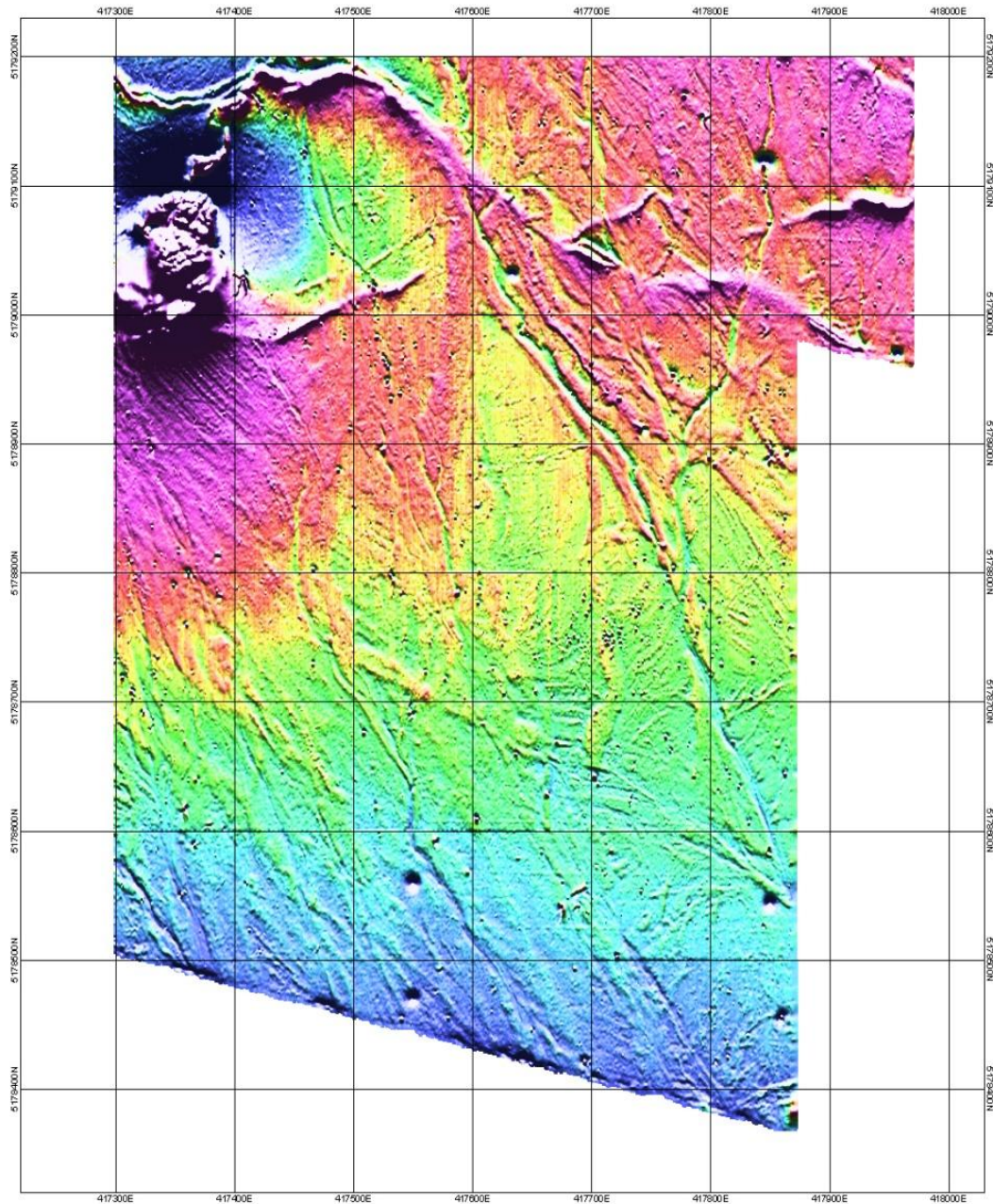
príklad – detail: anomálne magnetické pole (magnetická indukcia) z pohraničia SR, Maďarska a Rakúska.

# magnetická anomália pochovaného stratovulkánu Kráľová



interpretovaný seizmický rez MXS2

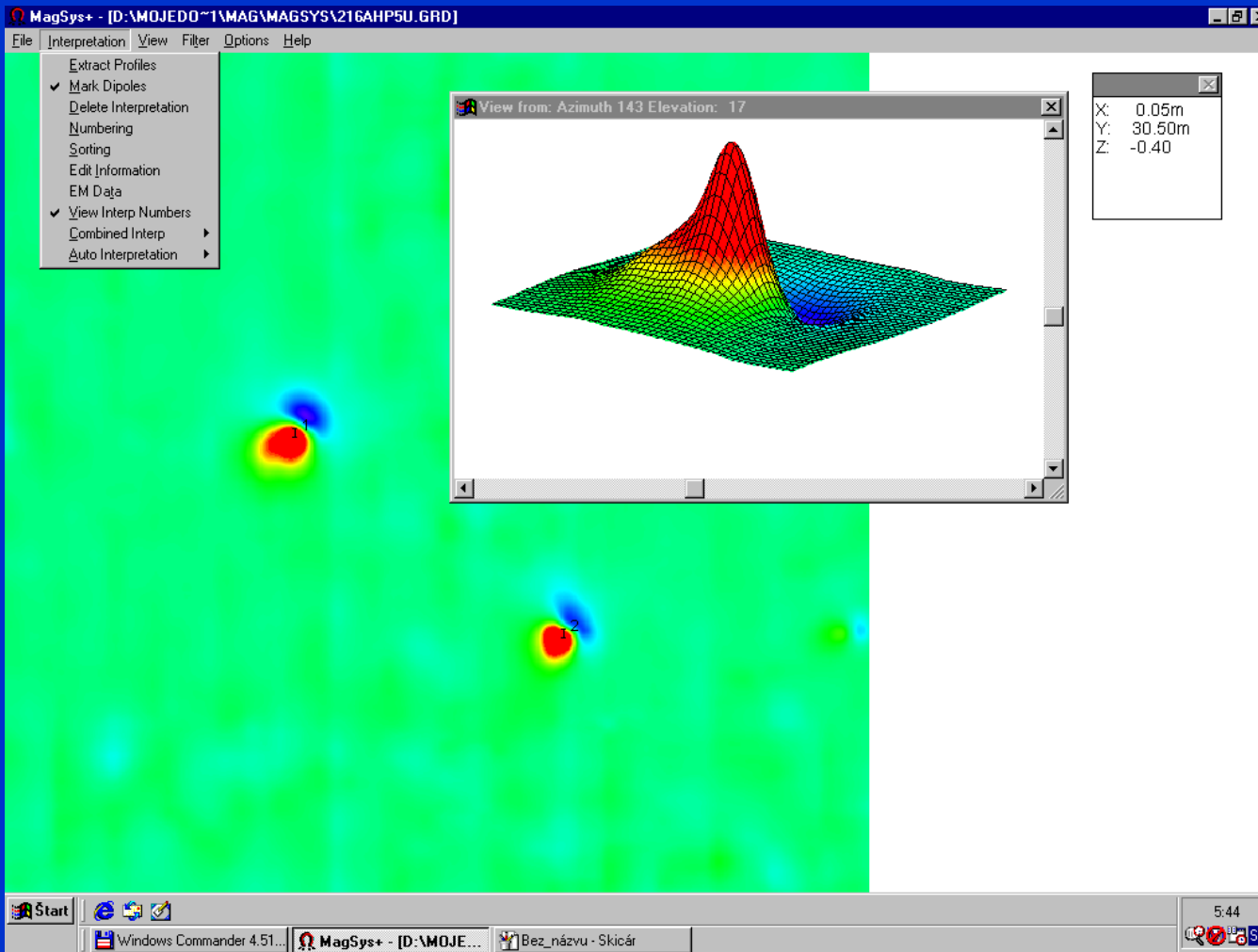
profil vrtu  
Diakovce



Colour Image of Total Magnetic Intensity  
Chevalier Ranch  
Surveyed for the Montana Army National Guard

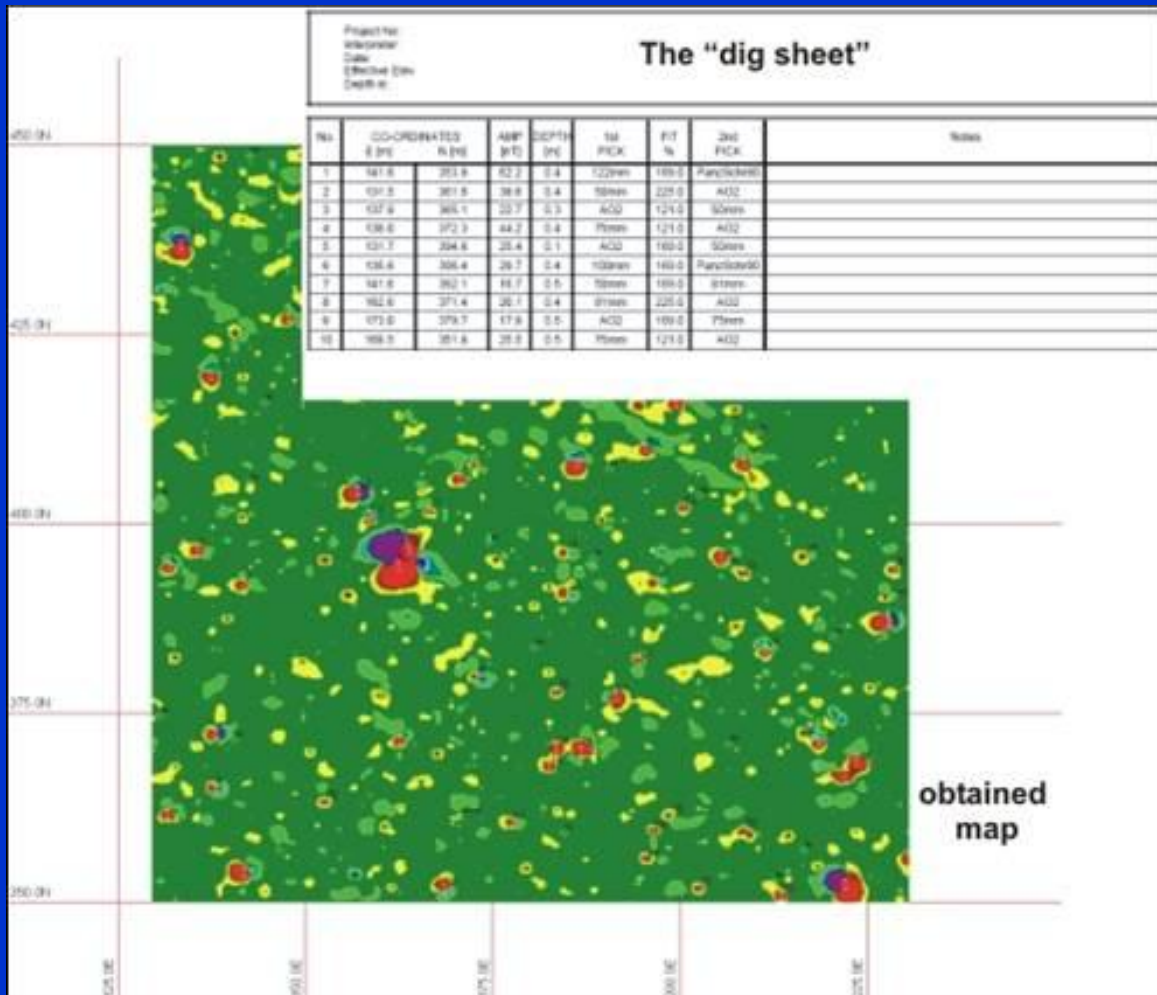
príklad : anomálne  
magnetické pole  
(magnetická indukcia),  
zmerané  
nad bazaltovým  
sopečným aparátom  
(plocha cca 0.6x0.8 km),  
  
lokalita Chevalier ranch,  
Montana, USA

# aplikácie magnetometrie – UXO detekcia



Príklad – typické dipólové anomálie namerané nad objektmi nevybuchnutej munície – UXO (železné projektily).

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



vykopané objekty  
(mínometné granáty 81 mm)

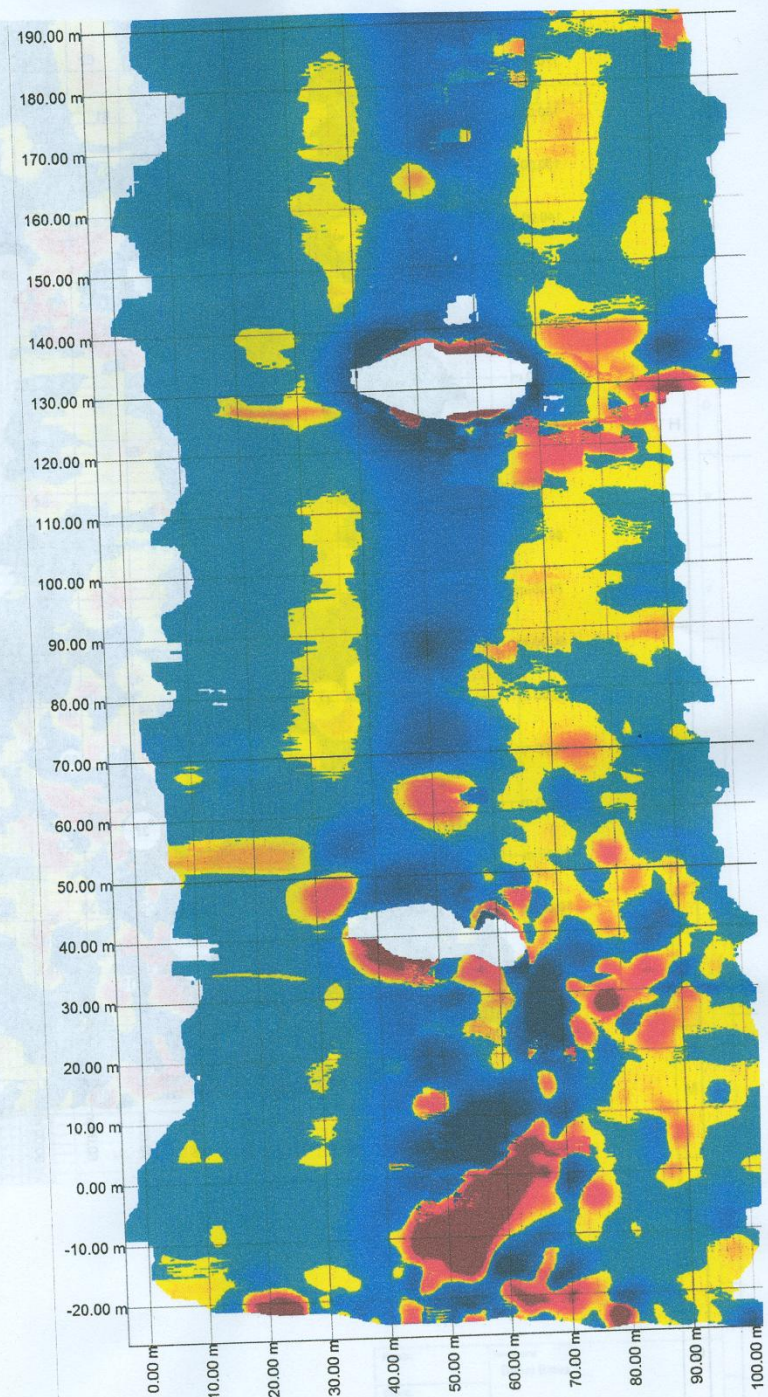


časť premeranej plochy so zoznamom objektov na extrakciu



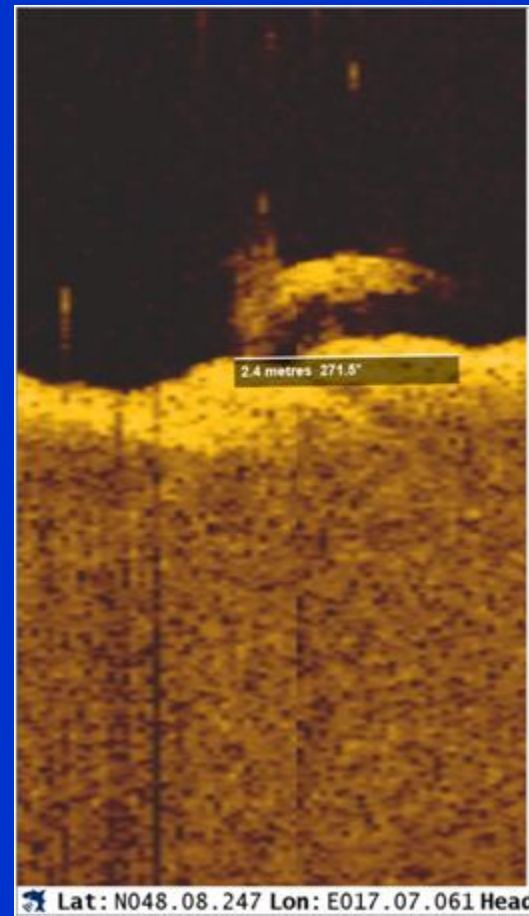
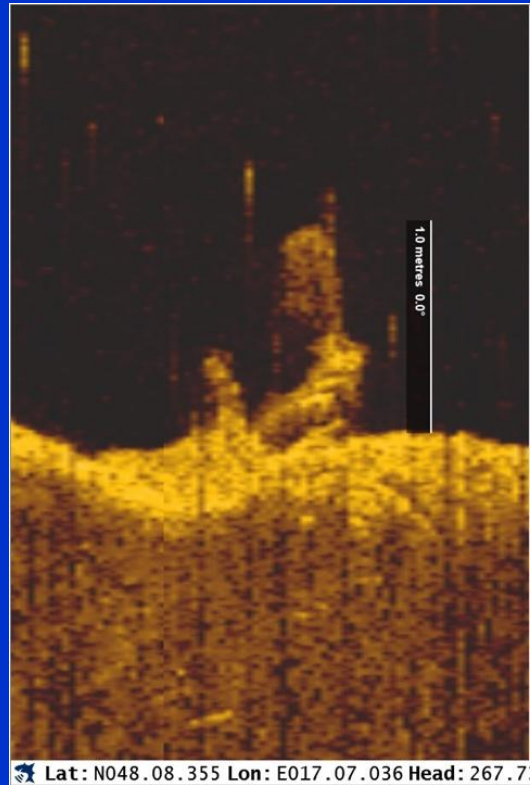
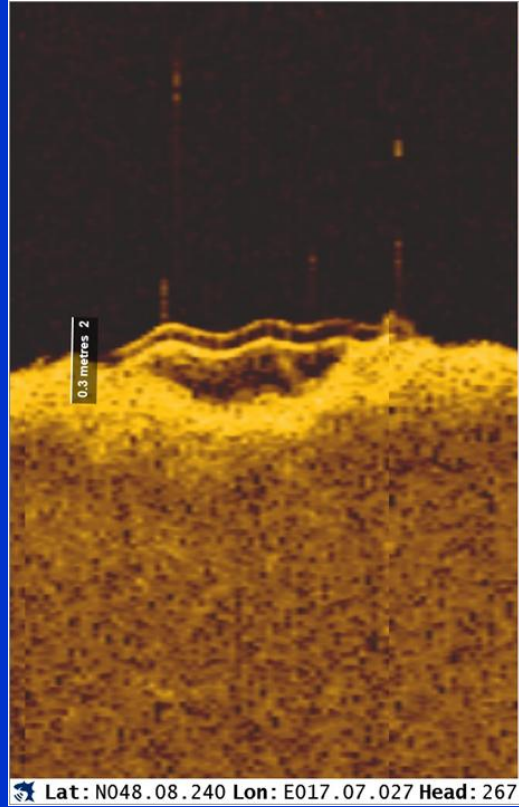
**prieskum riečneho dna –  
stavba Starého mosta:  
(nevybuchnutá munícia)**

Získaná mapa anomálneho magnetického poľa poukazuje na relatívne veľké množstvo železných objektov na dne rieky.

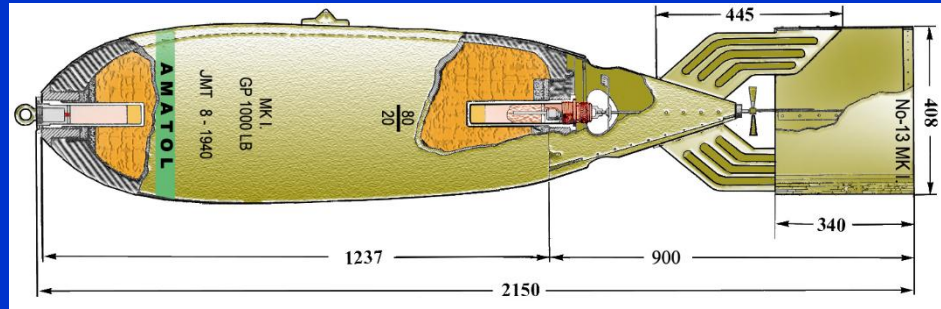


# prieskum riečného dna – stavba Starého mosta:

Objekty neboli overované fyzicky, ale na základe výsledkov sonarového prieskumu.



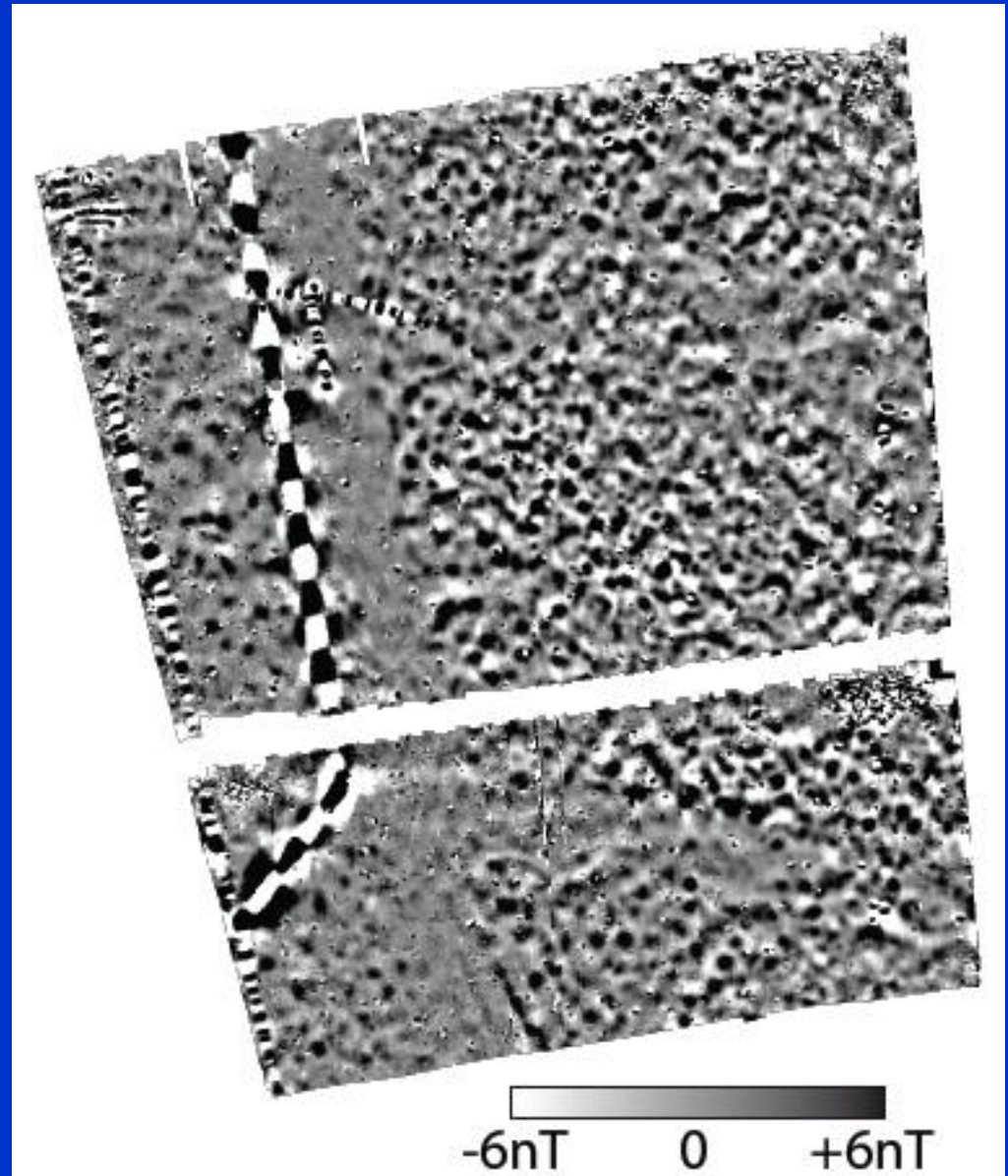
# Problém detekcie nevybuchnutej munície v BA (bývalá Apolka):



# *aplikácie magnetometrie*

Príklad – prejav oceľového potrubia (typické spojenie dipólových anomálií od jednotlivých častí potrubia)

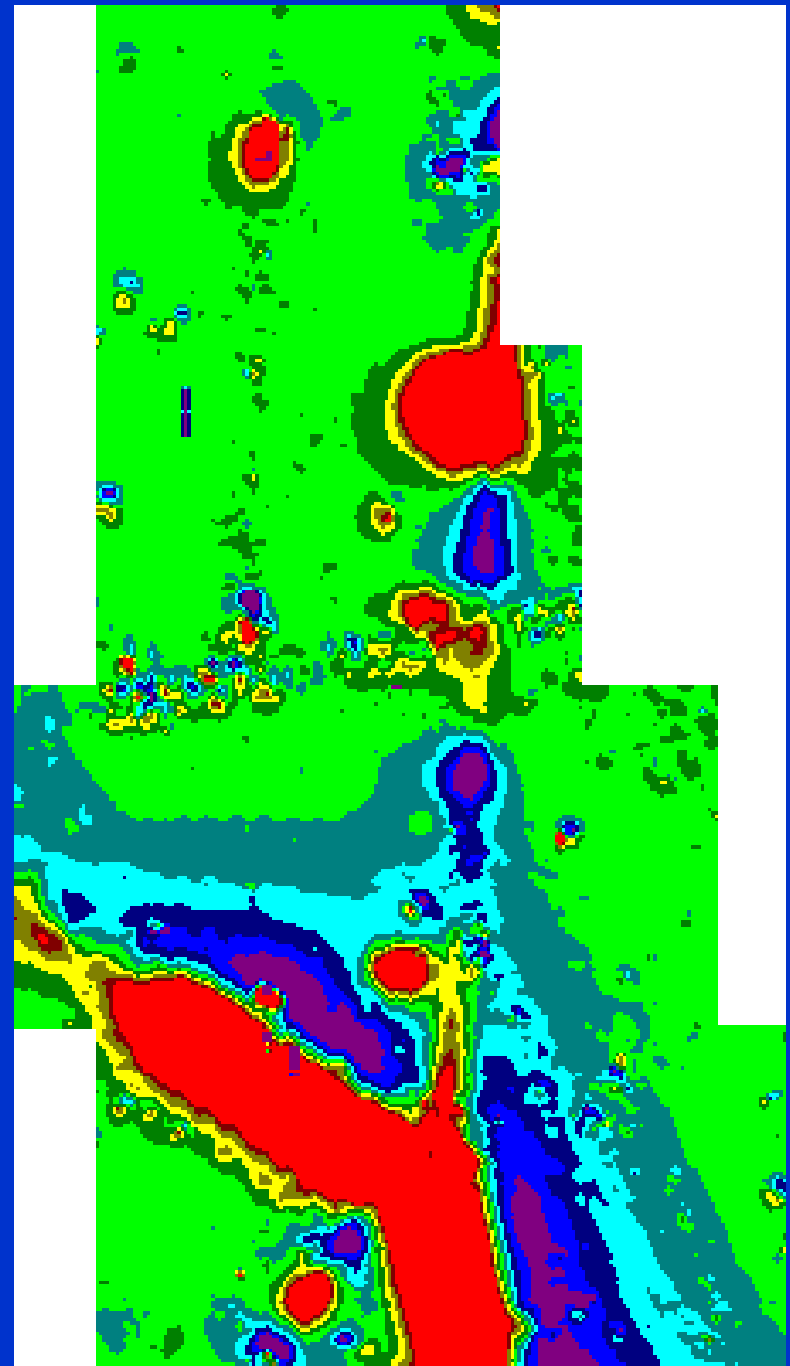
lokality: Kiel, severné  
Nemecko



# *aplikácie magnetometrie*

Príklad – prejav  
železobetónového krytu  
kanalizácie a oceľového  
potrubia

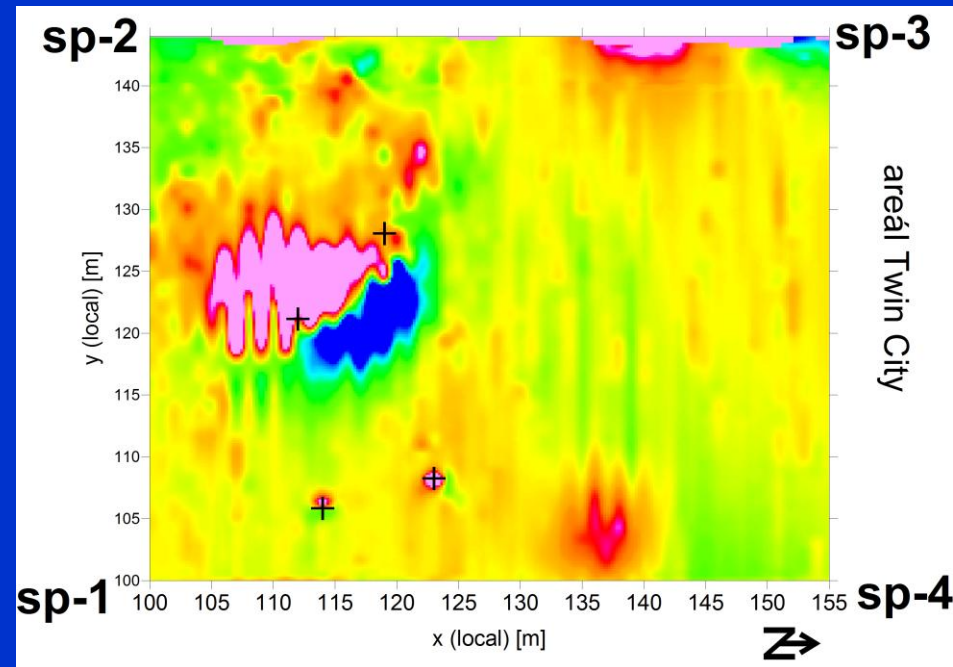
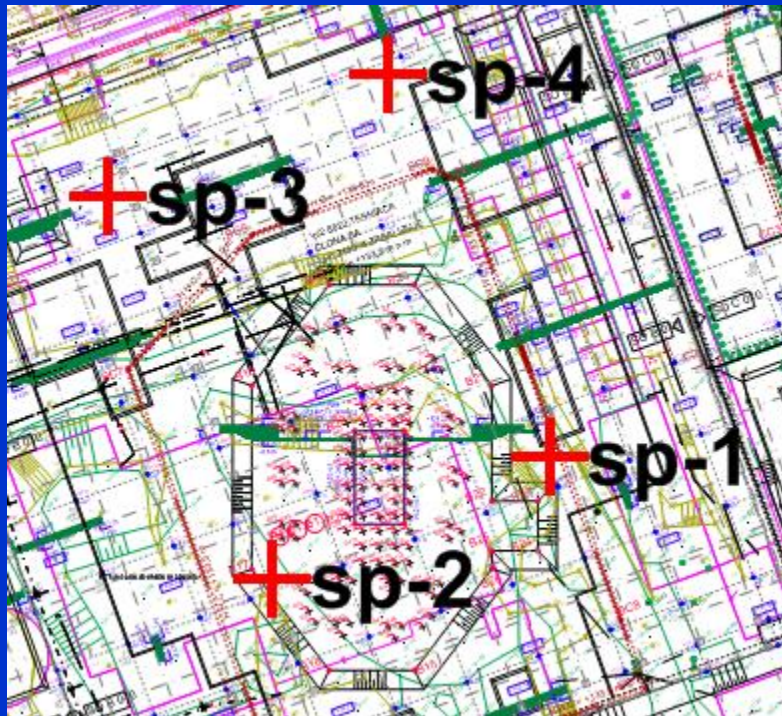
lokalita: Draždiak,  
Bratislava



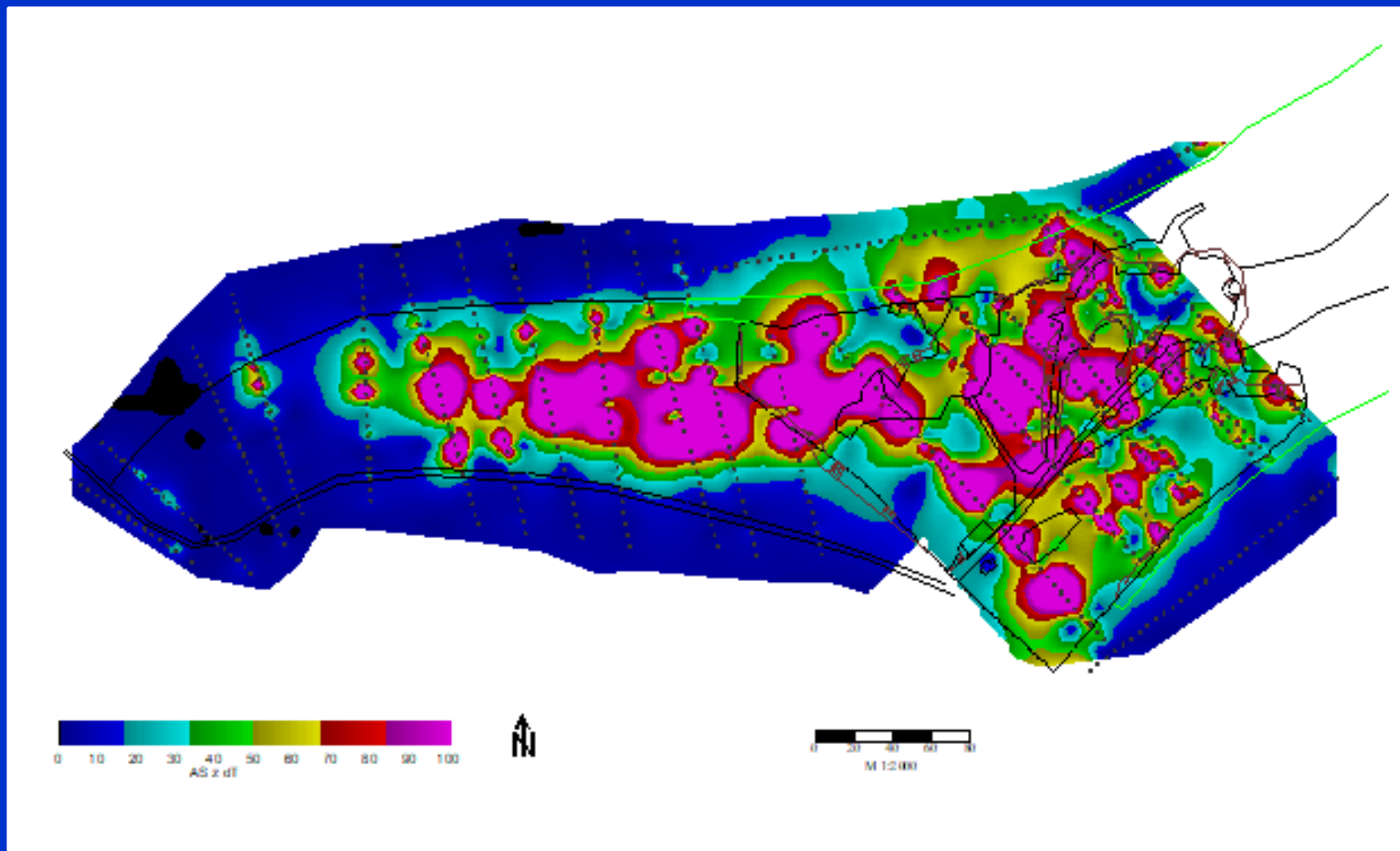
# aplikácie magnetometrie

Príklad – prejav zvyšku  
železobetónovej platne.

lokalita: stavenisko Skypark,  
Bratislava

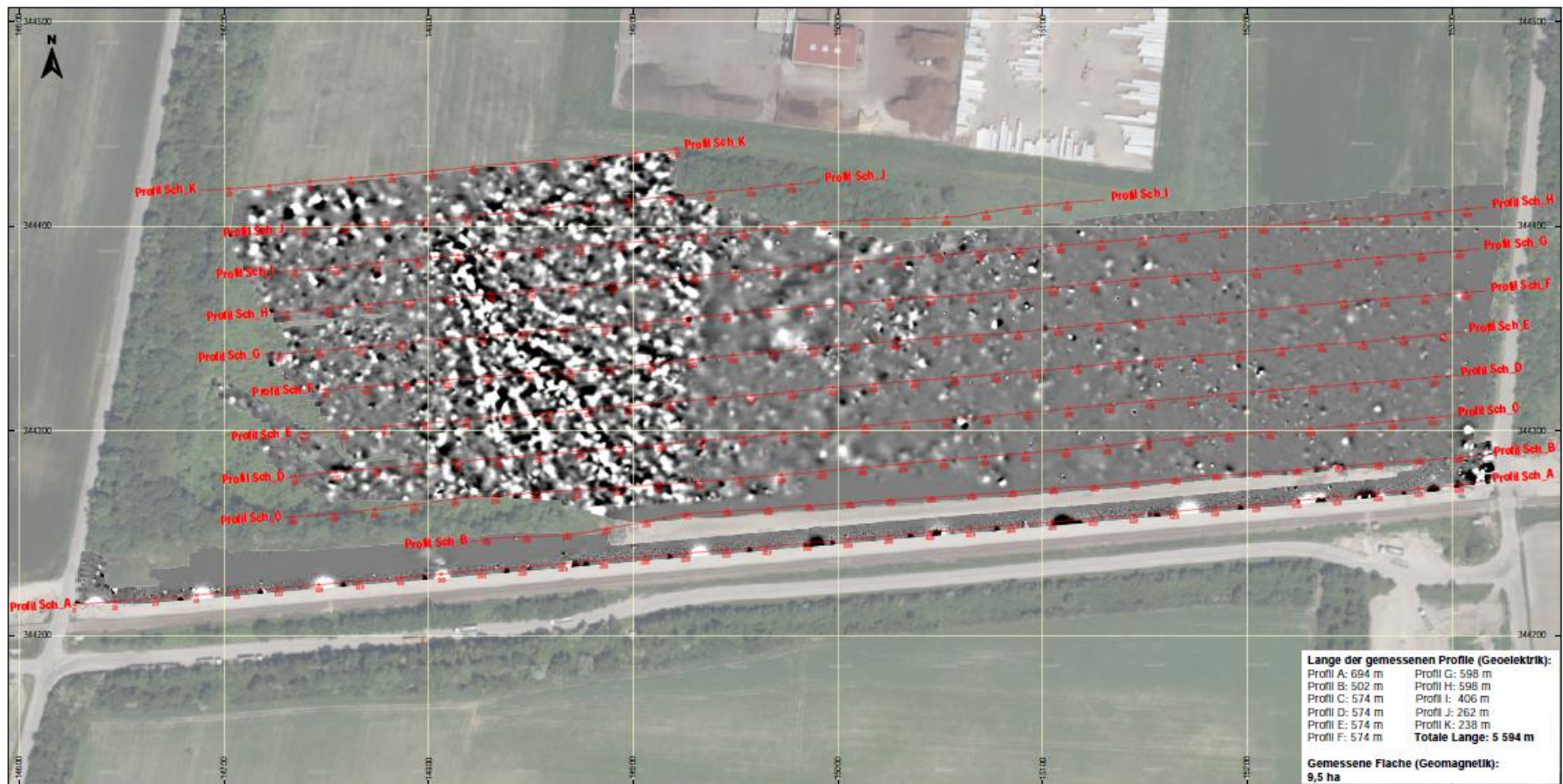


## aplikácie magnetometrie – environmentálne problémy



Vymapovanie zasypaných železobetónových blokov na starej skládke (Uzovská Panica).

# aplikácie magnetometrie – environmentálne problémy



## Legende:

Gemessene Profile Geoelektrik:



Profilmeter:



Geomagnetischer Gradient [nT/m]

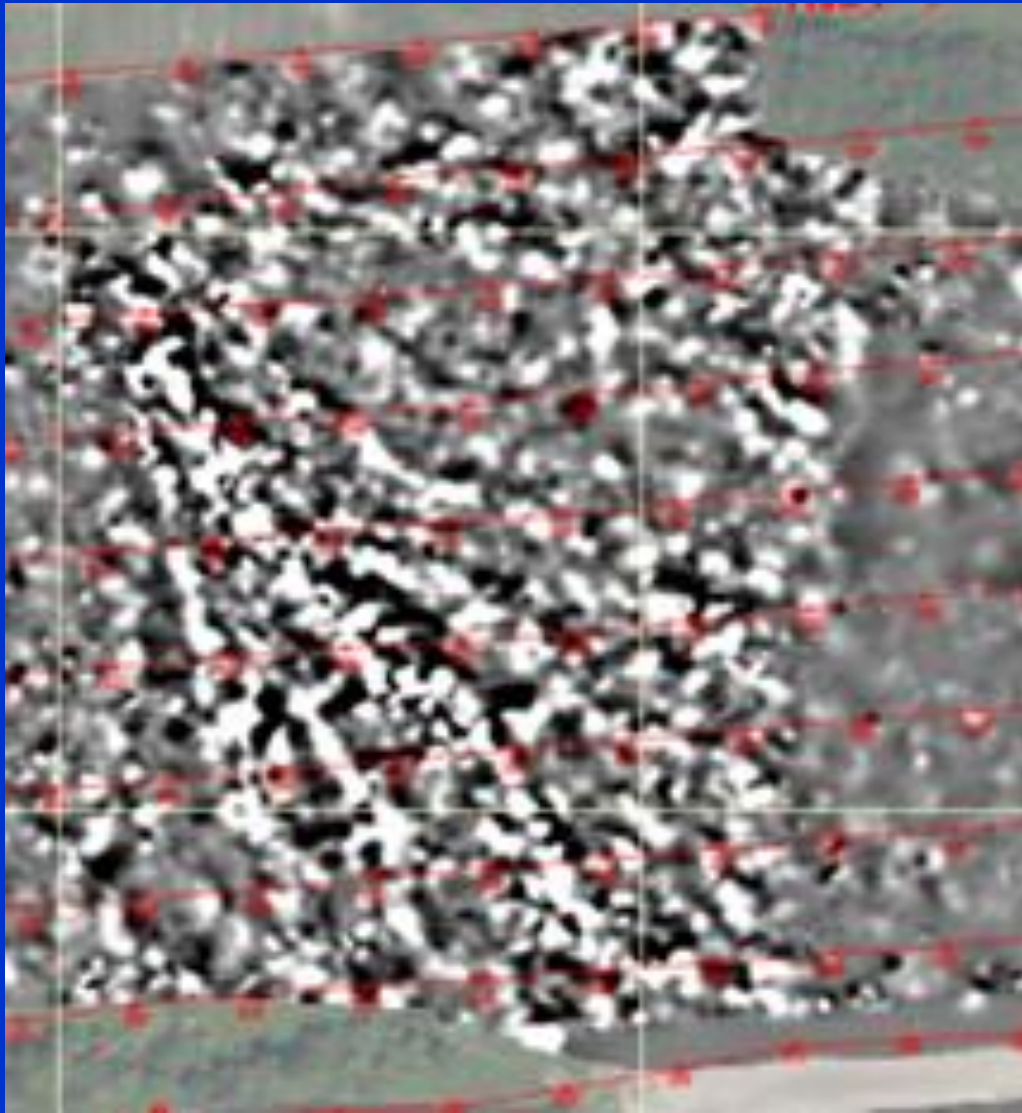


Geomagnetische Messung		S1 Wiener Außenring	
Schafferhof		Anlage 04	
Verwendete Messsysteme: Sensys MX PDA	Koordinatensystem: MGR / Austria GK East EPSG:31256	Datum: 15.10.2020	Bearb.: JHo
Messraum: 21.09.2020 - 03.10.2020	GZ: 220024	Maßstab: 1 : 2000	Paperformat: A3



Vymapovanie úniku železitých kalov z bývalej skládky (lokalita Schafferhof pri Viedni).

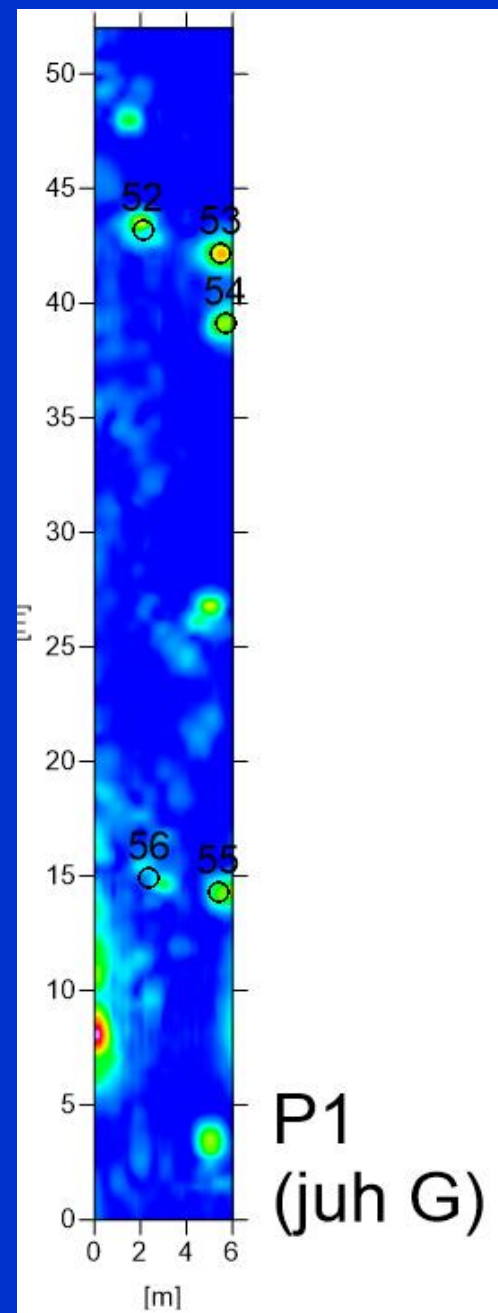
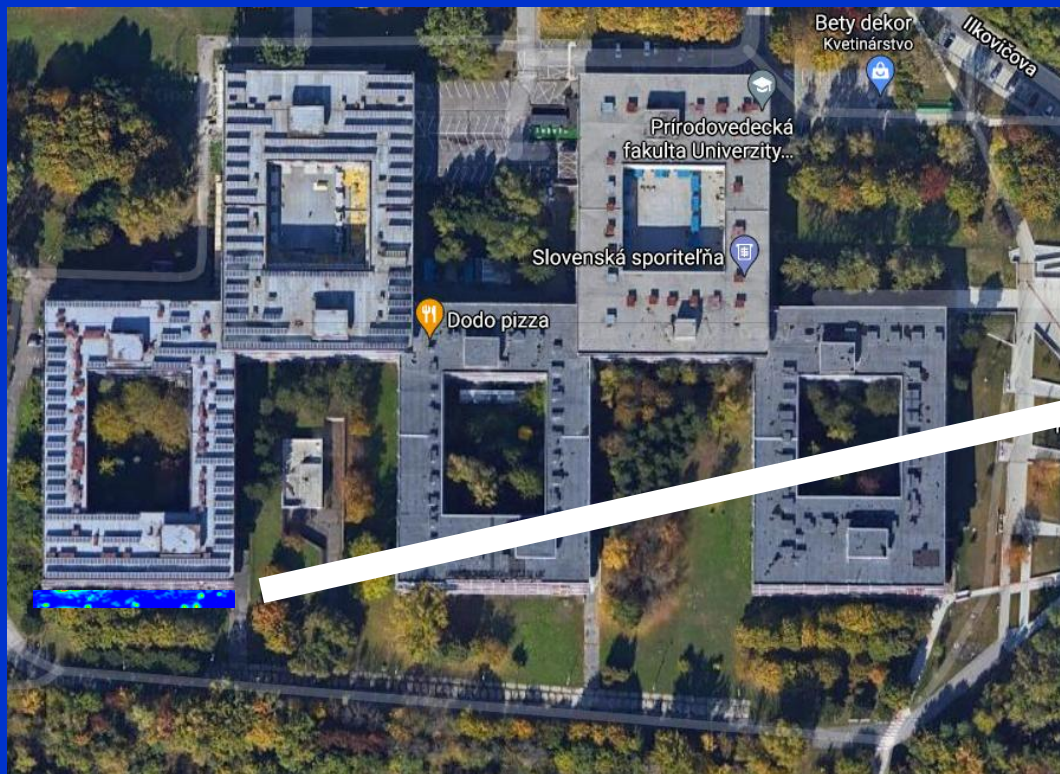
## *aplikácie magnetometrie – environmentálne problémy*



Vymapovanie úniku železitých kalov z bývalej skládky (lokalita Schafferhof pri Viedni).

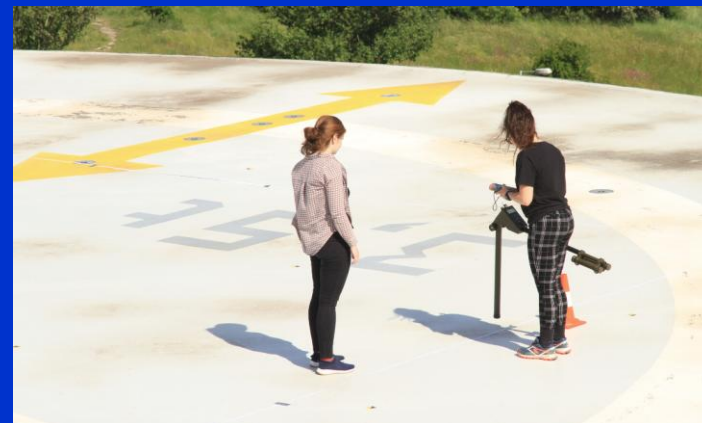
# využitie magnetometrie pri skutočne praktických záležitostiach... ;-)

hľadanie zakrytých kanálových poklopov  
v okolí fakulty...

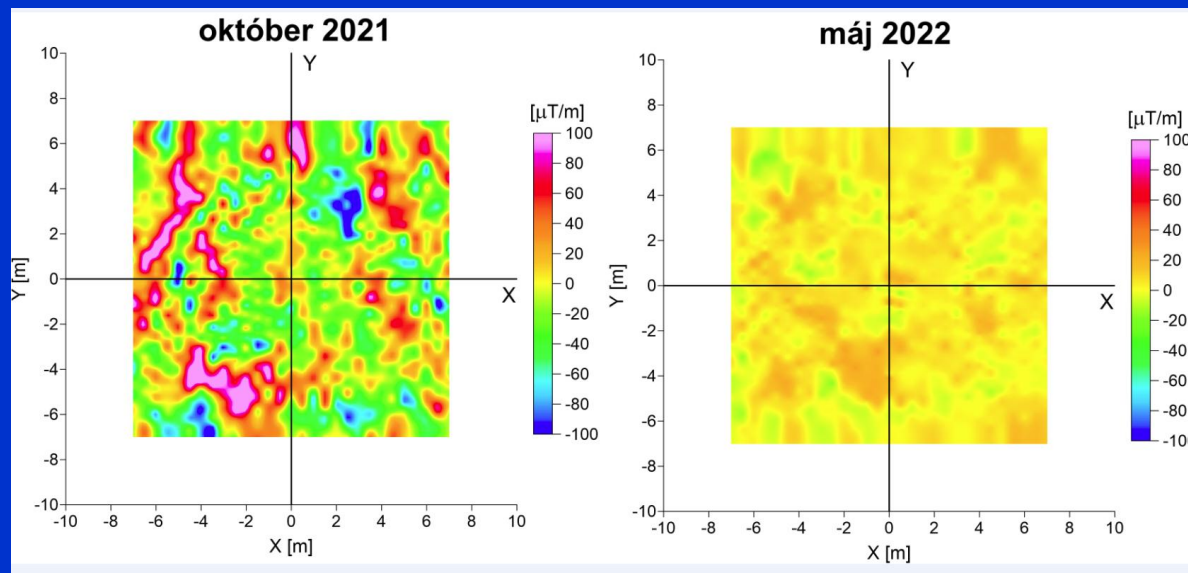


príklady  
nájdenných  
poklopov...

# využitie magnetometrie pri skutočne praktických záležitostiach... ;-)



štúdium anomálneho  
magnetického poľa  
na heliporte  
(Národný ústav srdcových  
a cievnych chorôb a.s.)



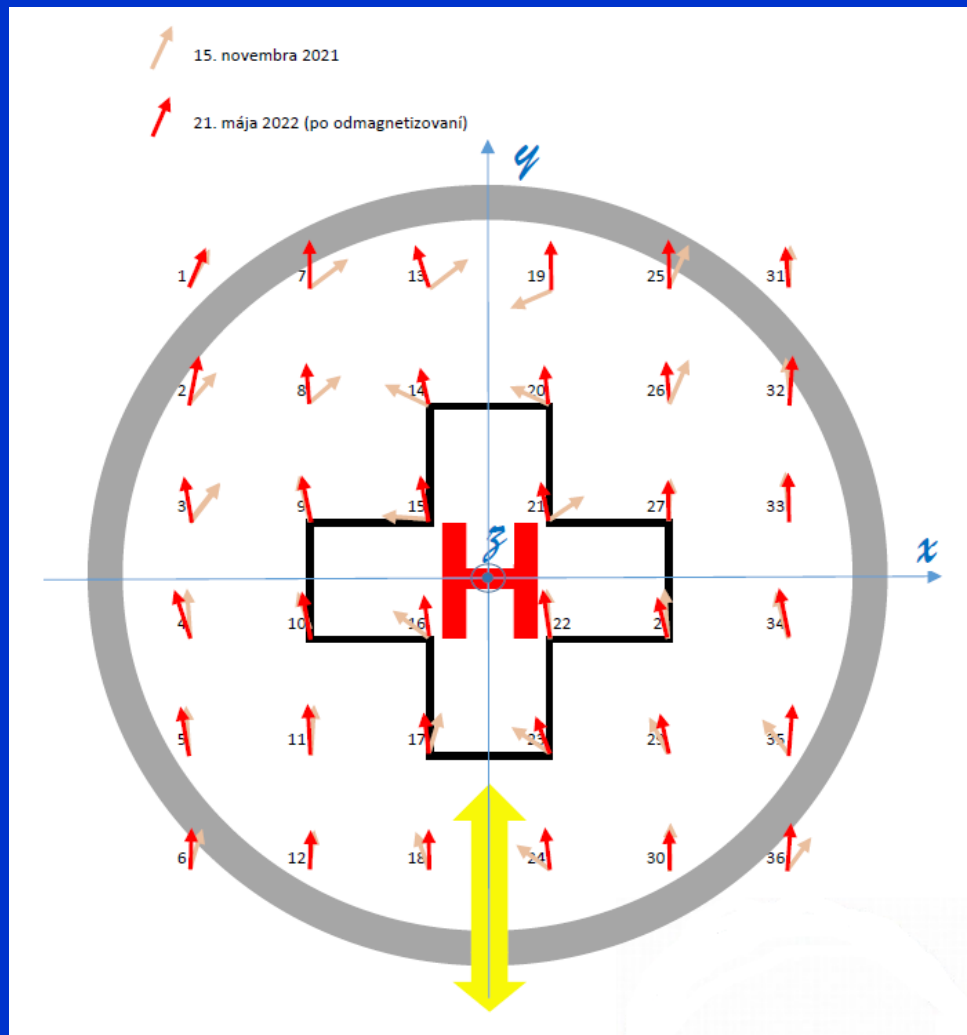
pred demagnetizáciou

po demagnetizácii

# využitie magnetometrie pri skutočne praktických záležitostiach... ;-)

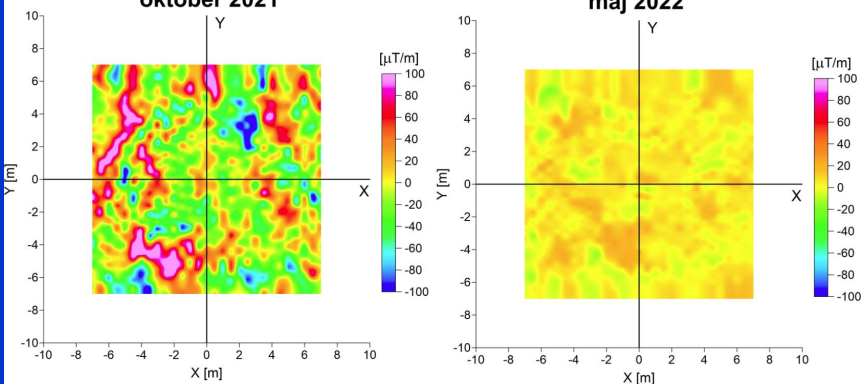


Odmagnetizovanie heliportu v stredu, 18. mája 2022



október 2021

máj 2022



pred demagnetizáciou

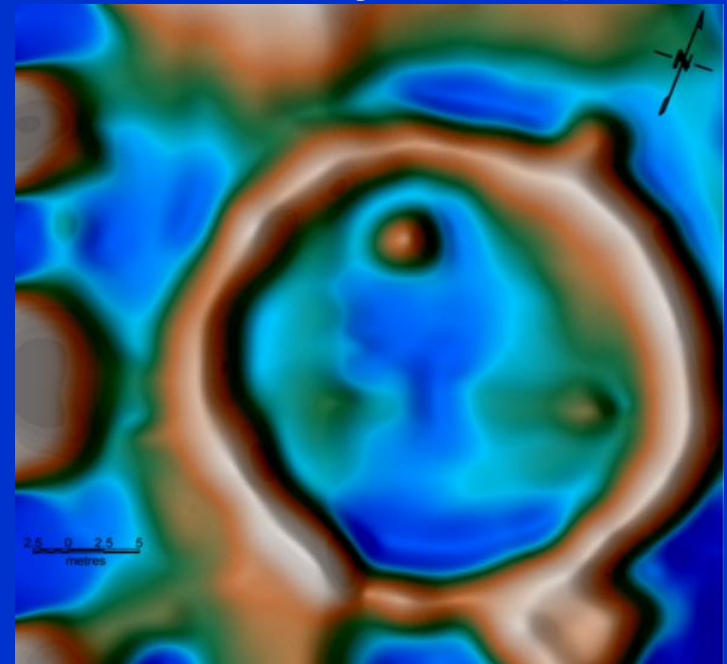
po demagnetizácii

# aplikácie magnetometrie - archeológia

letecká snímka – letné obdobie



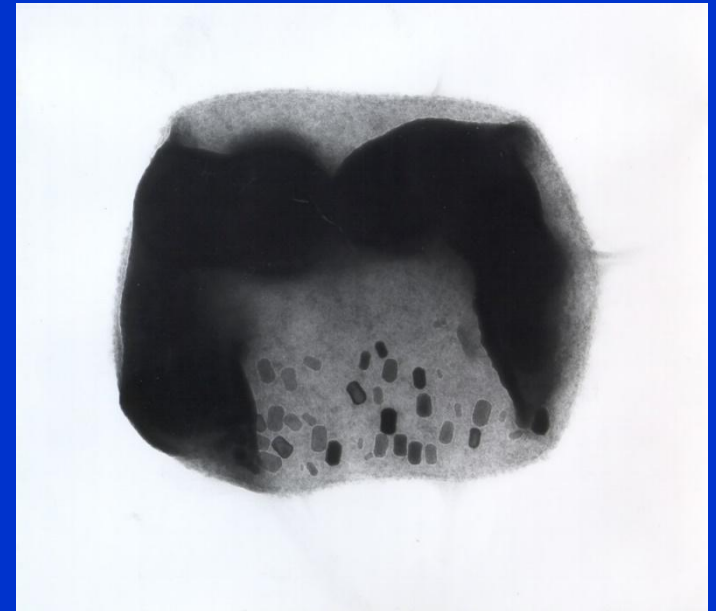
anomálne magnetické pole



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

## **aplikácie magnetometrie - archeológia**

bývalé priekopy a jamy sú vyplnené hlinou a humusom, ktorý má vysoký obsah magnetických minerálov (vznikli pôsobením tzv. magnetotaktických baktérií)



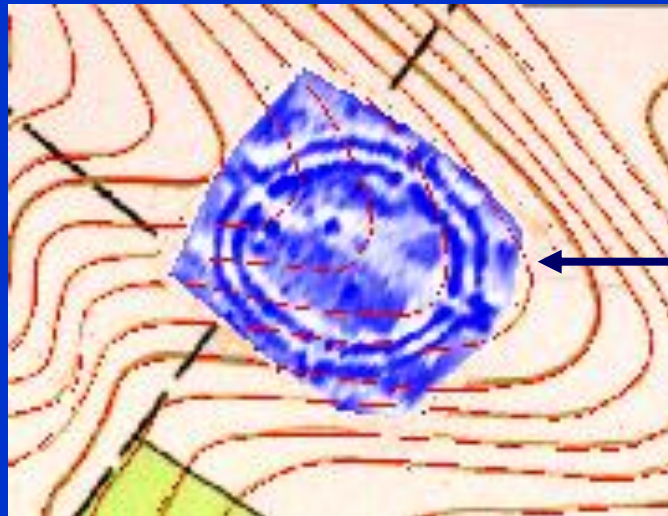
Výsledok pôsobenia magnetotaktických baktérií pri spracovaní rastlinnej zelenej zložky na humus: vznik drobných nano-kryštálikov magnetitu a greigitu.

# aplikácie magnetometrie - archeológia

letecká snímka – letné obdobie



letecká snímka – zimné obdobie

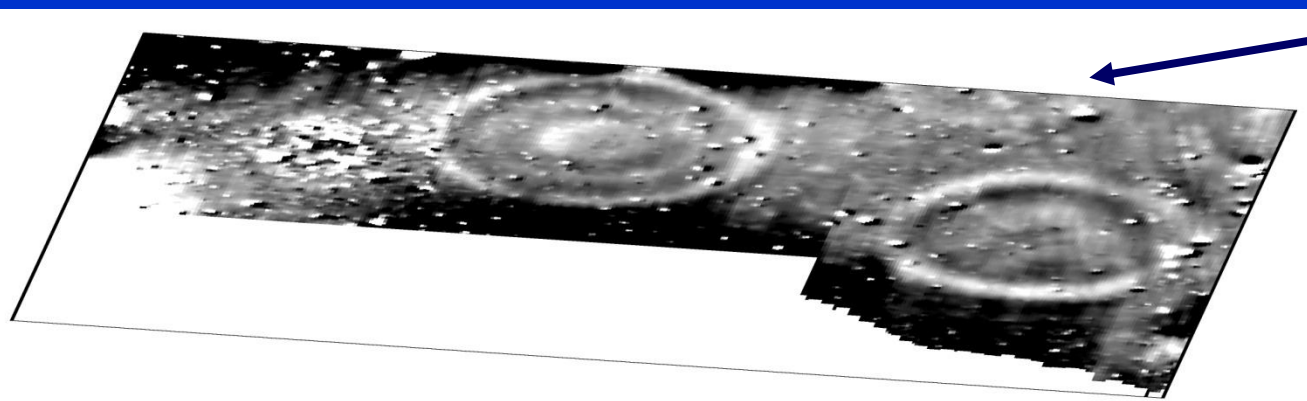


anomálne  
magnetické pole

**HORNÉ OTROKOVCE, okr. Hlohovec, obdobie: neolit – 35. stor. p.n.l.**

Príklad – mapovanie archeologických štruktúr vďaka zvýšenej koncentrácii magnetických minerálov v humuse (tzv. rondel).

# aplikácie magnetometrie - archeológia



zmerané anomálne  
magnetické pole

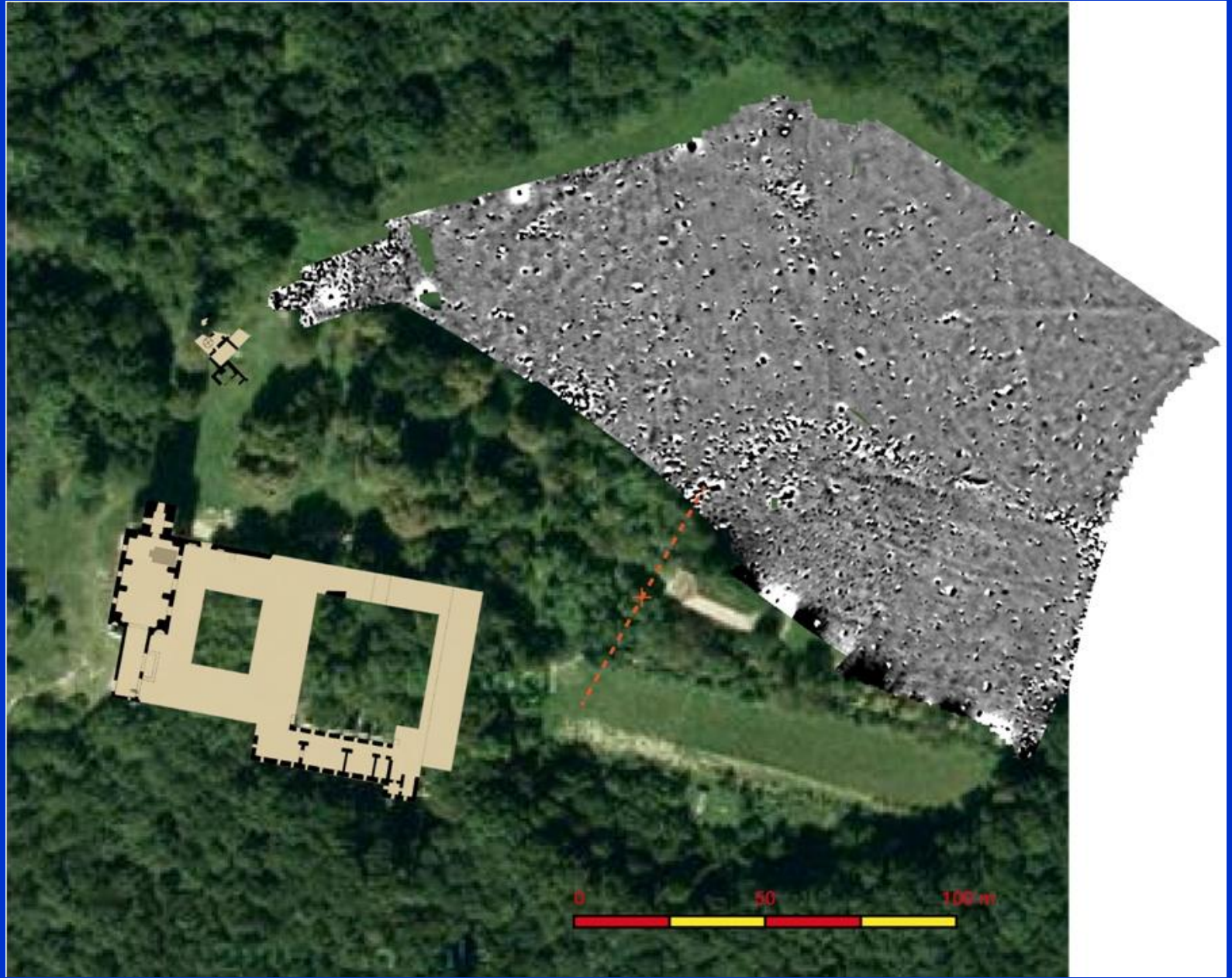


letecká  
fotografia

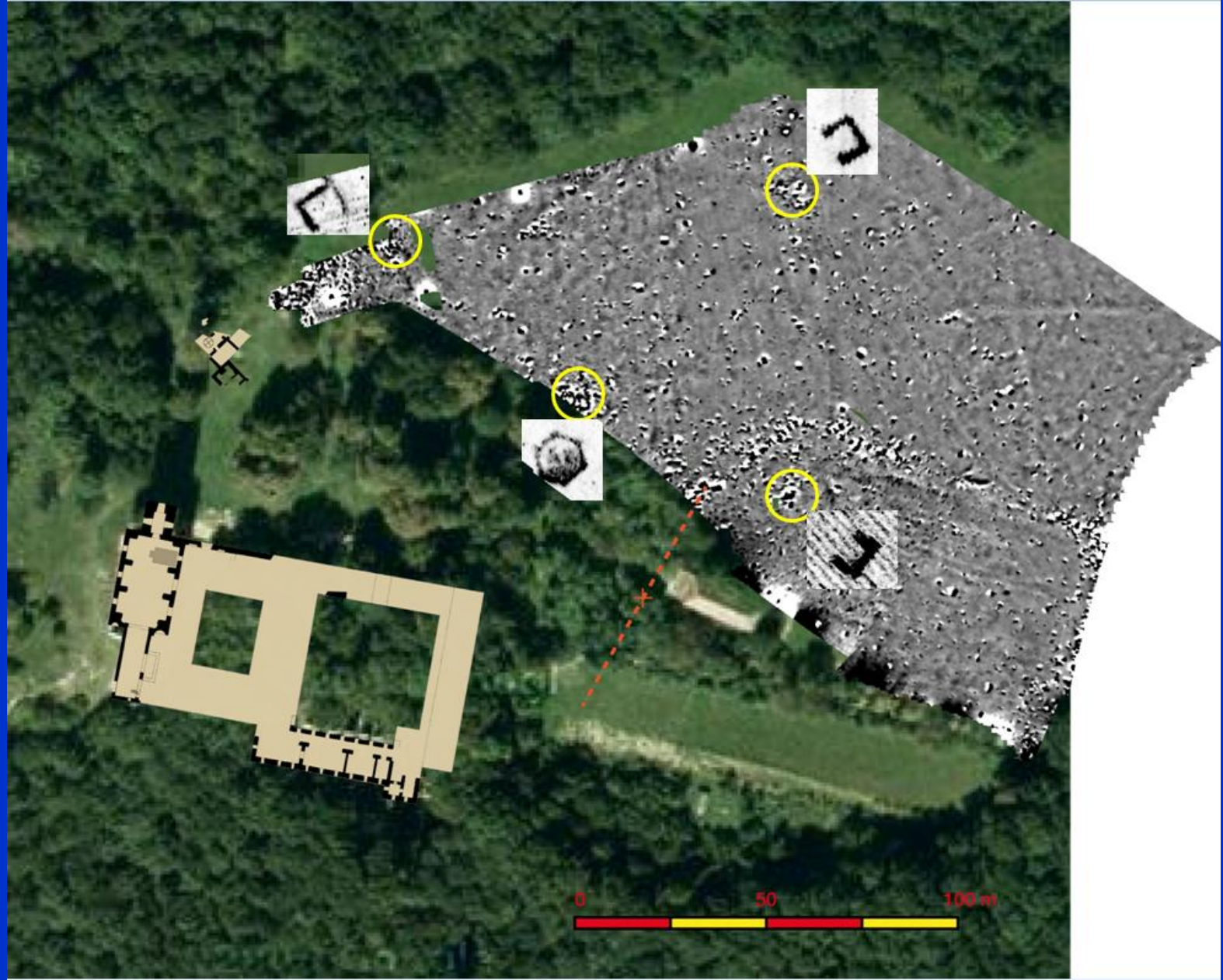
**lokalita: Biely Kostol (pri Trnave), halštatské mohyly**

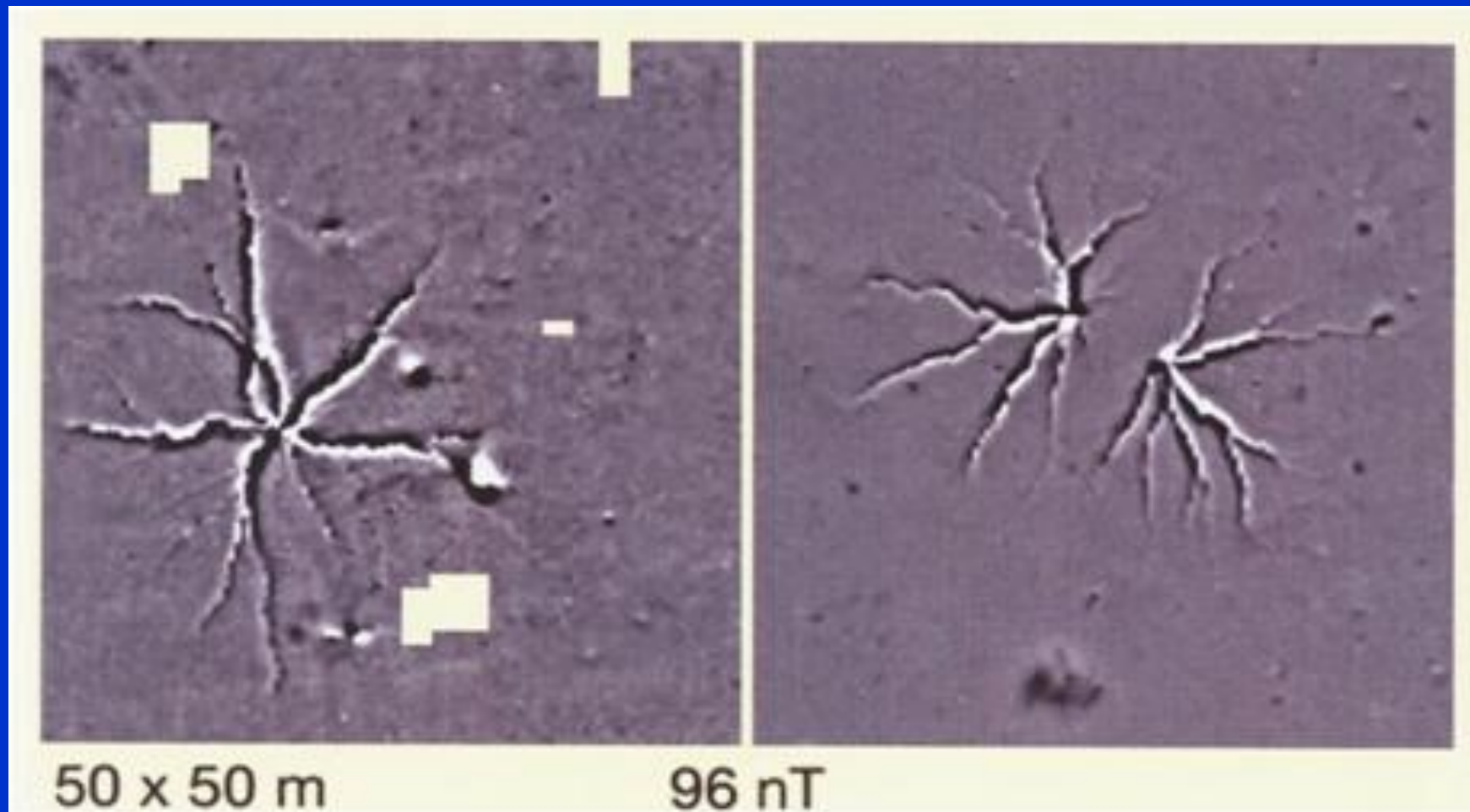
Príklad – mapovanie archeologických štruktúr vďaka rozdielnym magnetickým vlastnostiam použitých materiálov (v tomto prípade vďaka zvýšenej koncentrácii magnetických minerálov v kryštalických horninách – vence mohýl).

# 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)





príklady anomálií po údere blesku (izotermálna remanentná magnetizácia)

Ďakujem za pozornosť!