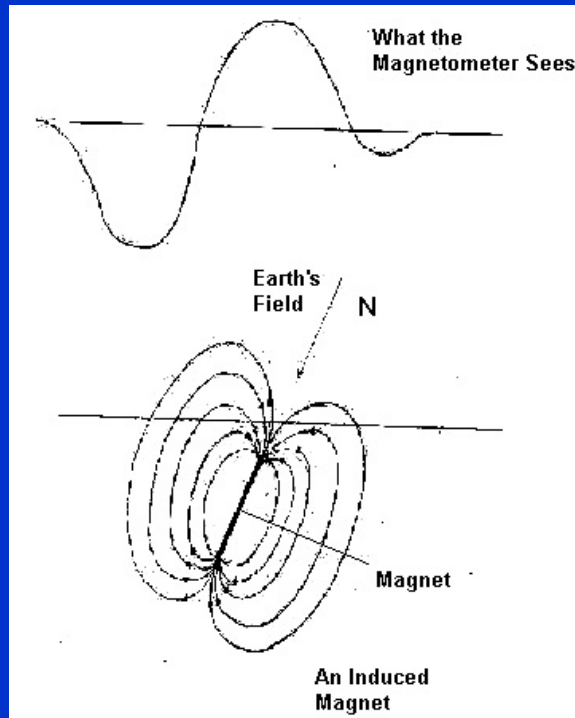


ZÁKLADY APLIKOVANEJ GEOFYZIKY - MAGNETOMETRIA



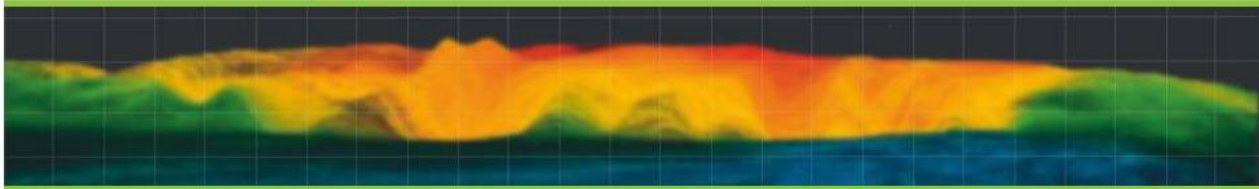
Magnetometria: odvetvie aplikovanej geofyziky, ktoré sa zaoberá meraním, spracovaním a interpretáciou anomálií zemského magnetického poľa.

skriptá: webstránka našej katedry: www.kaeg.sk

→ 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 hlbínnej (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 APVV
 - Project APVV-0194-10 Bouguer, NG*

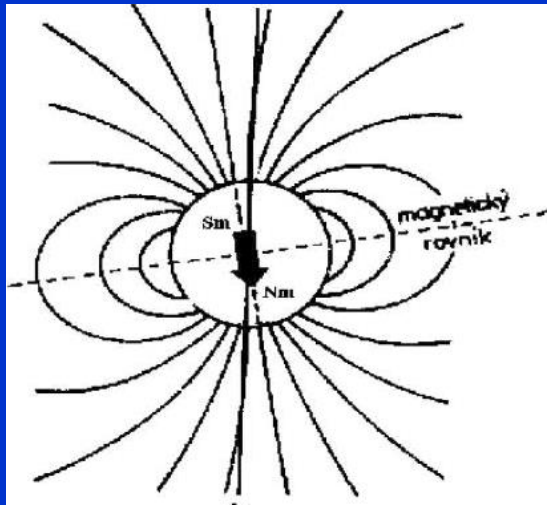
ZÁKLADY APLIKOVANEJ MAGNETOMETRIE

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 ΔT)
- interpretácia
- príklady využitia magnetometrie

MAGNETOMETRIA

Meranie, vyhodnocovanie a interpretácia anomálneho magnetického poľa Zeme



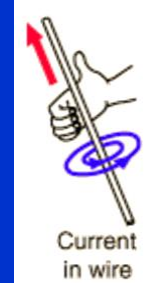
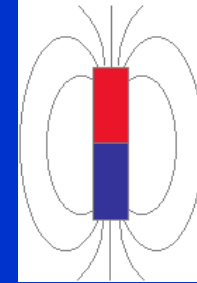
William Gilbert – v knihe „De Magnete“ v roku 1600 opisuje Zem ako veľký permanentný magnet

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.

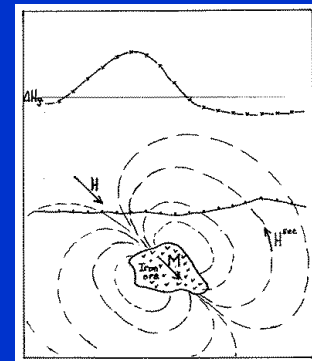


Popisujeme ho 2 dôležitými vektorovými veličinami:

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 μ – 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):

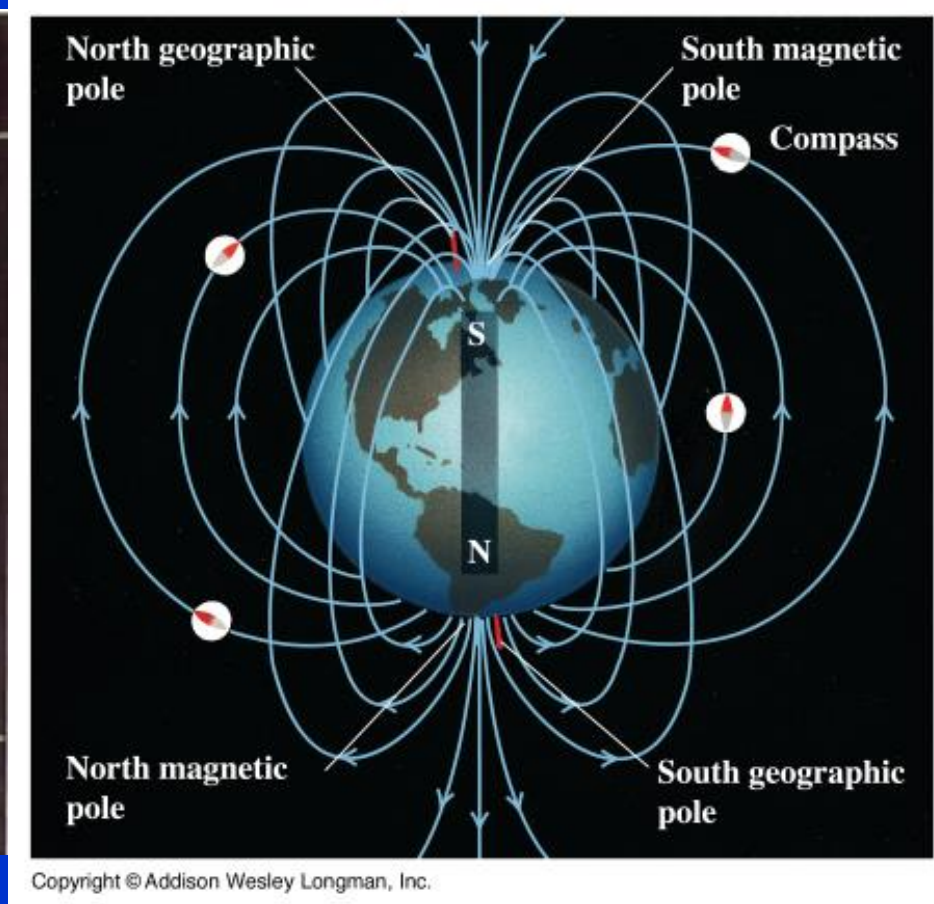
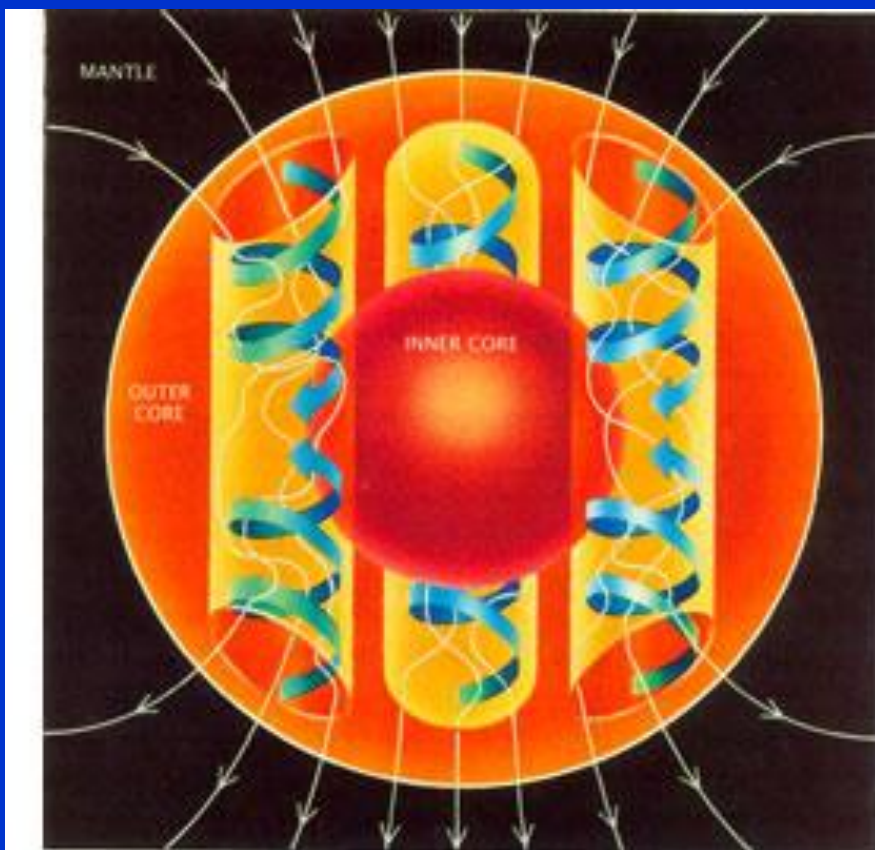
$$\mu_r = \mu / \mu_0 \Rightarrow \mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

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

základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)

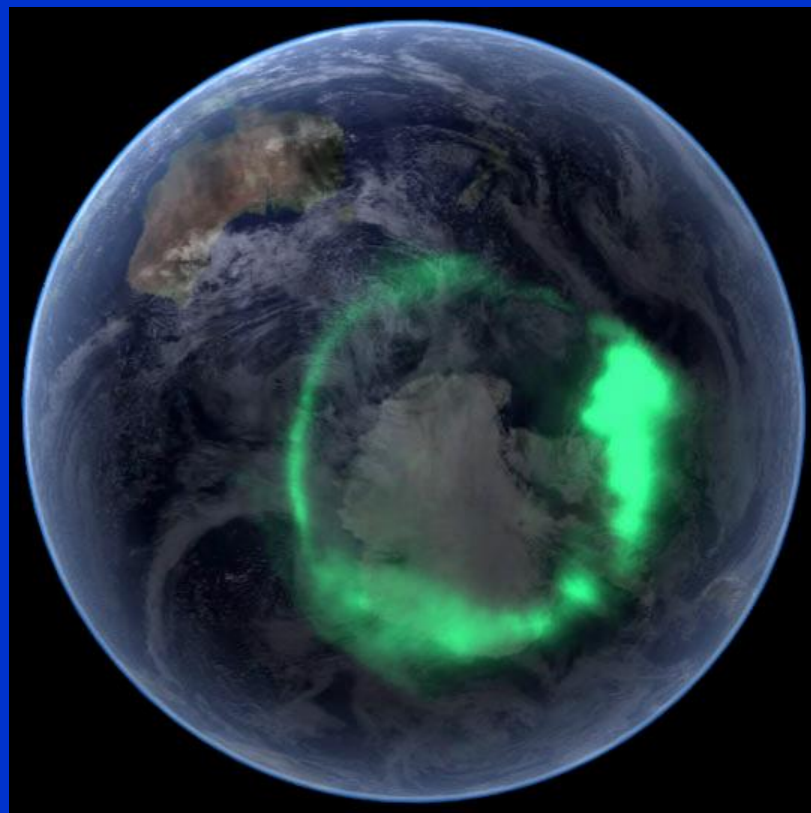
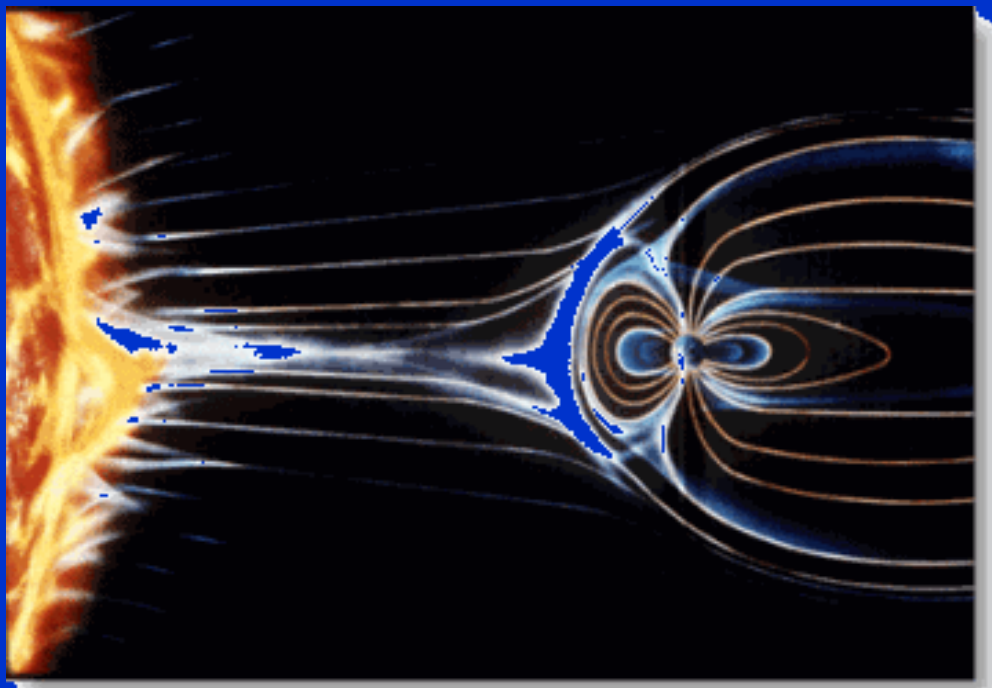
Vznik zemského magnetického poľa:

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

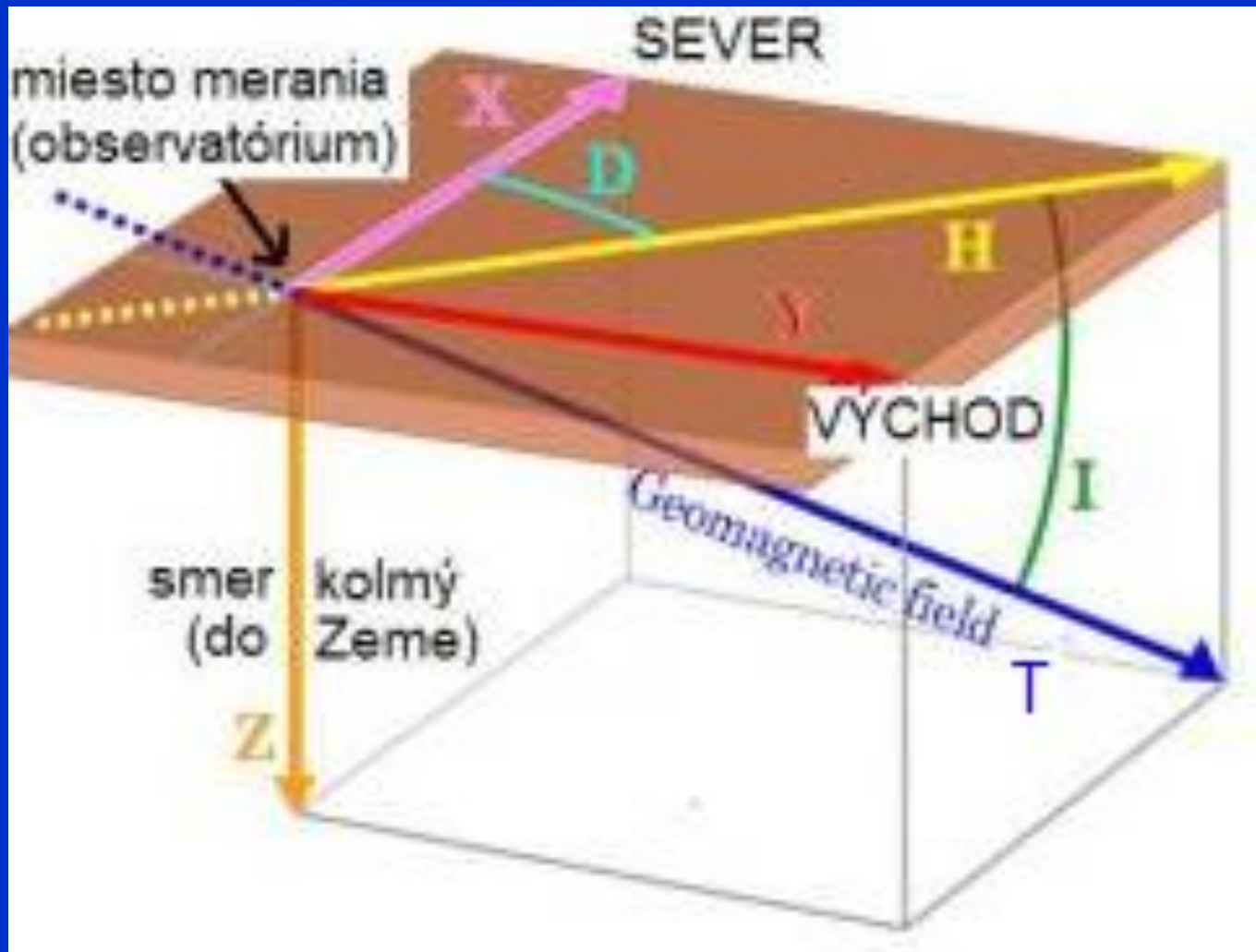


základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)

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).



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)

Približná veľkosť elementov ZMP v μT			
	Póly	Rovník	SR
H	0	30-40	20
Z	60-70	0	44
T	60-70	30-40	49
I	$\pm 90^\circ$	0°	65°
D	neurč.	$+10^\circ$ až -20°	0°

= 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

Kilometers 

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](#)



NOAA > NESDIS > NCEI (formerly NGDC) > Geomagnetism

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: 48.72° N

Longitude: 21.258° E

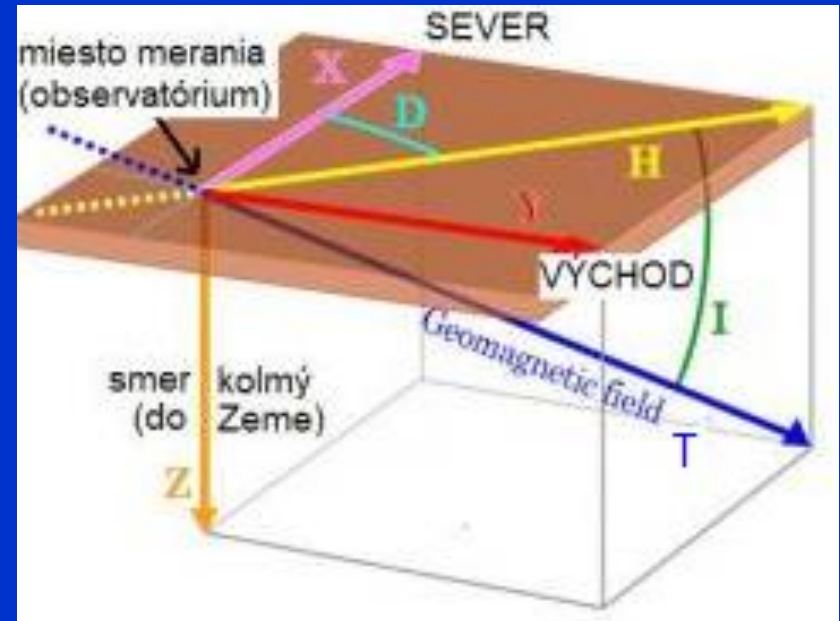
Elevation: 0.0 km Mean Sea Level

Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2017-12-05	5.3402°	65.3305°	20,528.2 nT	20,439.1 nT	1,910.5 nT	44,694.1 nT	49,183.0 nT
Change/year	0.1182°/yr	0.0105°/yr	5.4 nT/yr	1.4 nT/yr	42.7 nT/yr	33.3 nT/yr	32.5 nT/yr
Uncertainty	0.36°	0.22°	133 nT	138 nT	89 nT	165 nT	152 nT

End Date: Year Month Day

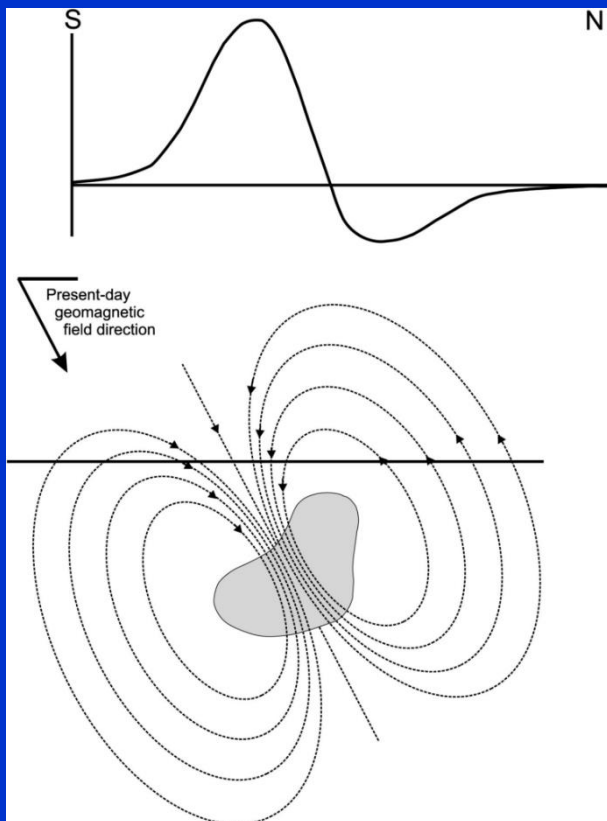
Step size:

základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)

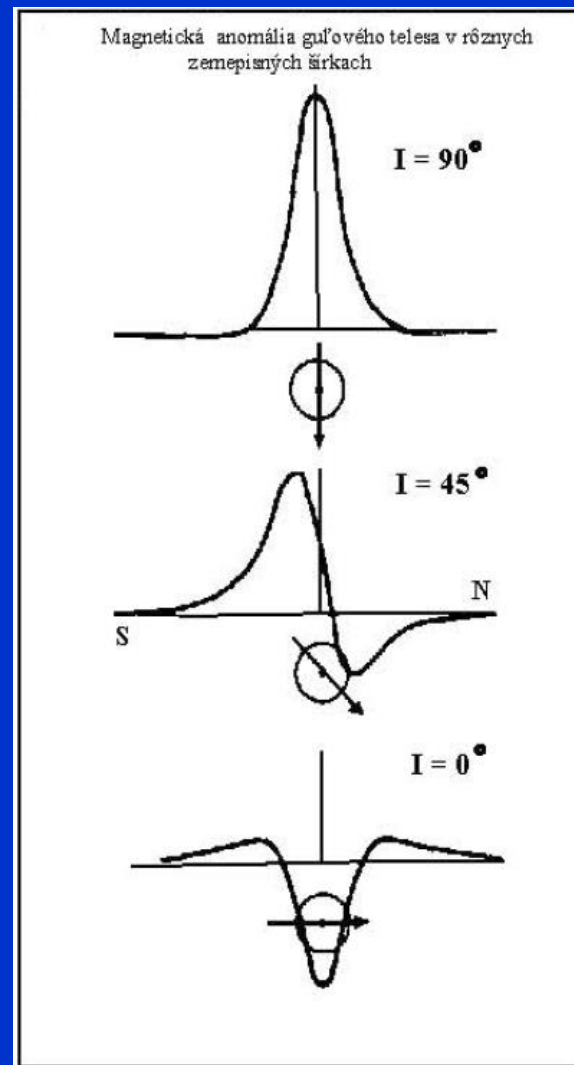


S týmito parametrami geomagn. poľa súvisí aj tvar a amplitúda magn. anomálií na rôznych miestach na zemskom povrchu.

základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)



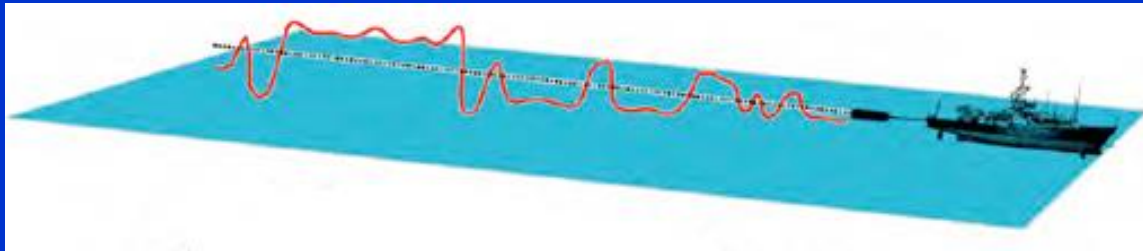
telesá s určitými petrofyzikálnymi vlastnosťami sa zmagnetizujú (niektoré sa potom stanú “magnetmi”)



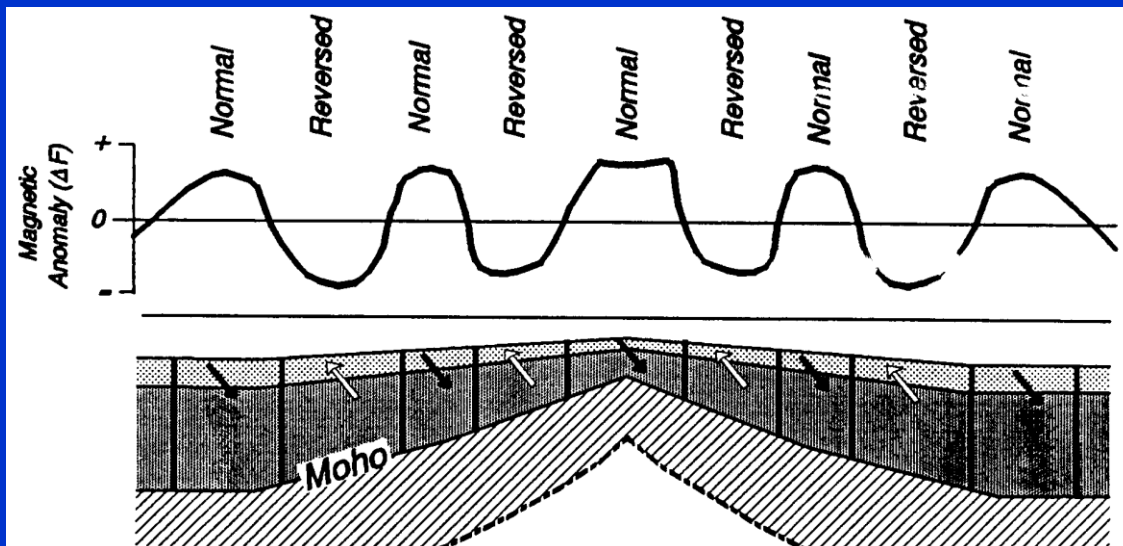
s parametrami indukčného magnetického poľa súvisí aj tvar a amplitúda magnetických anomálií

základné pojmy – zemské magnetické pole (ZMP)

V priebehu historických dôb došlo ku viacnásobnému prepólovaniu magnetických pólů.

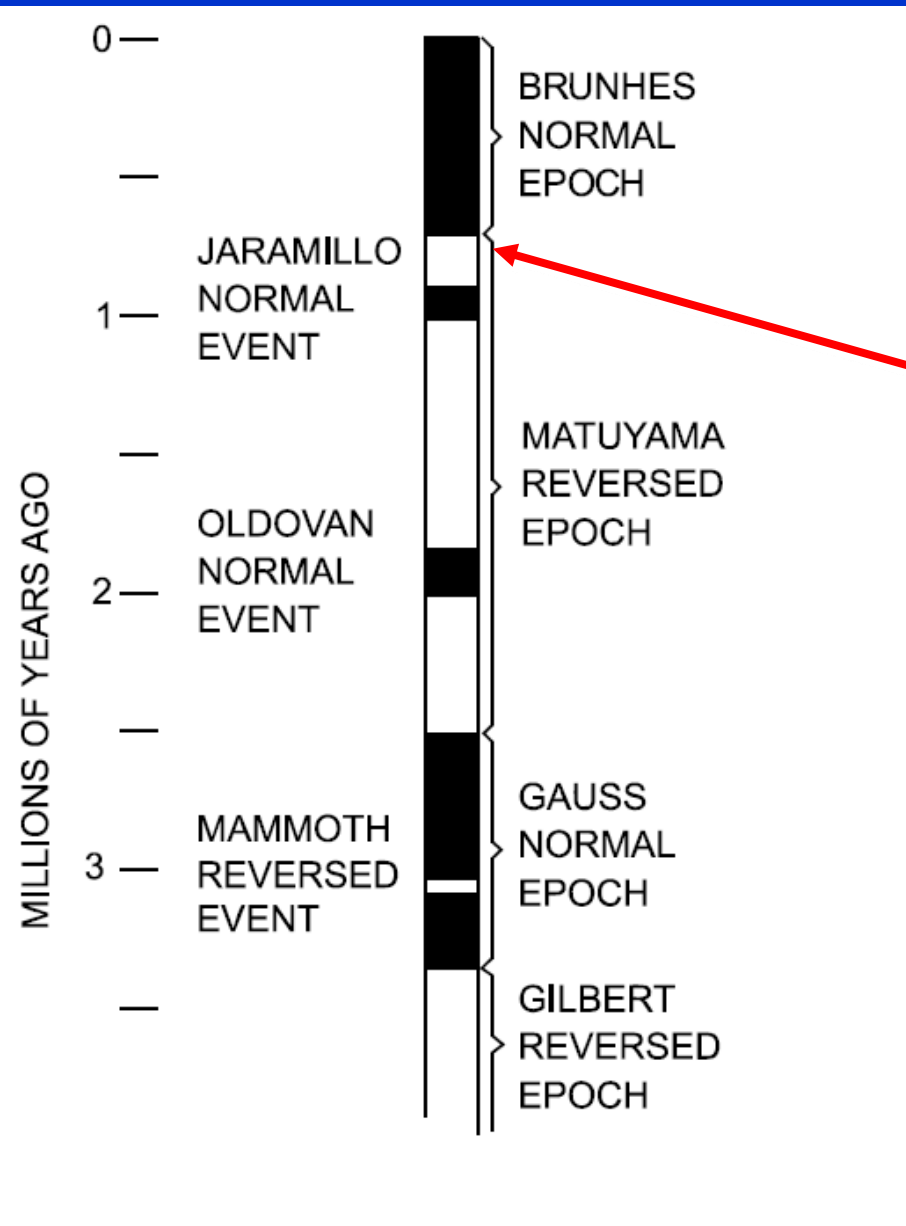


merania v priestore Atlantického oceánu
(Rald and Mason, 1961)



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**.

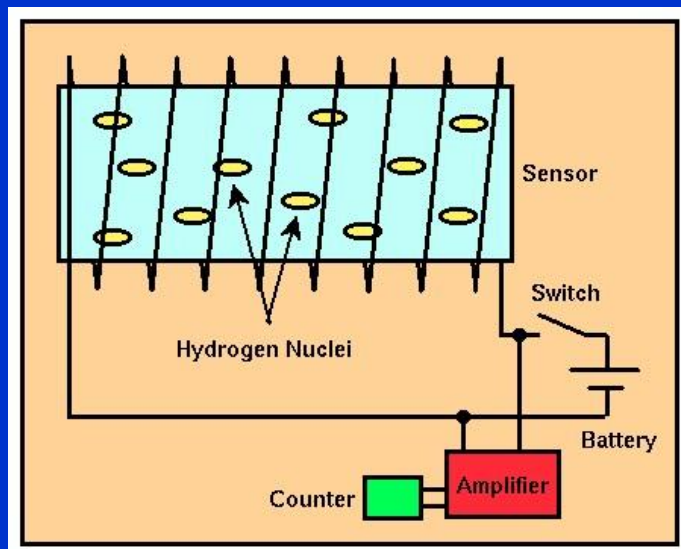
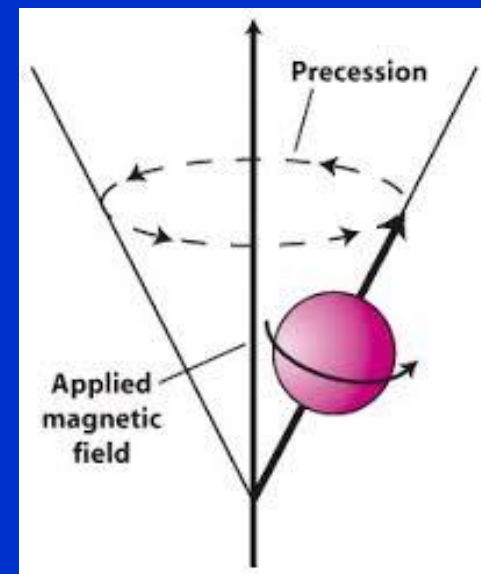
Existujú rôzne rozdelenia:

- skalárne (merajú veľkosť T), vektorové (trojzložkové),
- meranie na jednej úrovni alebo rozdielu T na dvoch úrovniach (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).



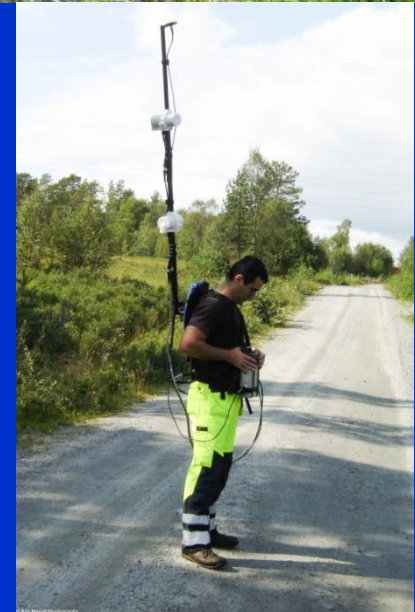
prístroje v magnetometrii

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.

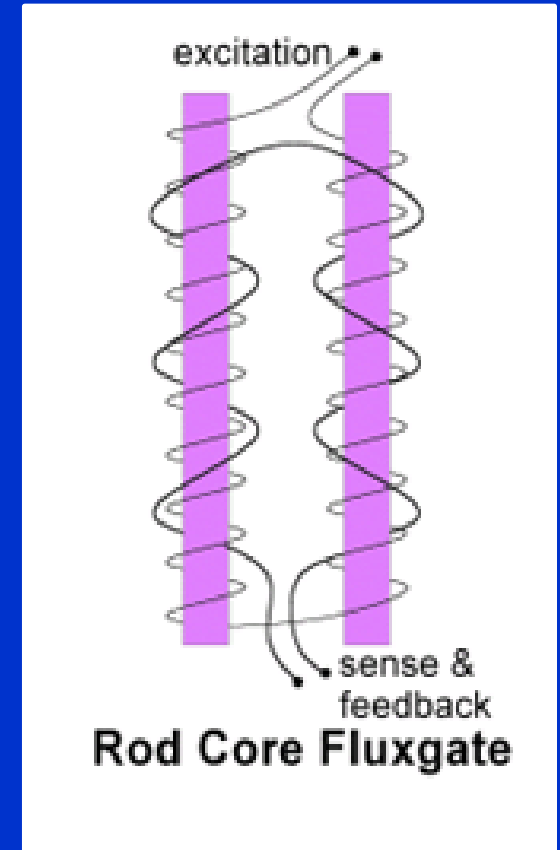
Využíva sa najmä pri geologických aplikáciách.



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):



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

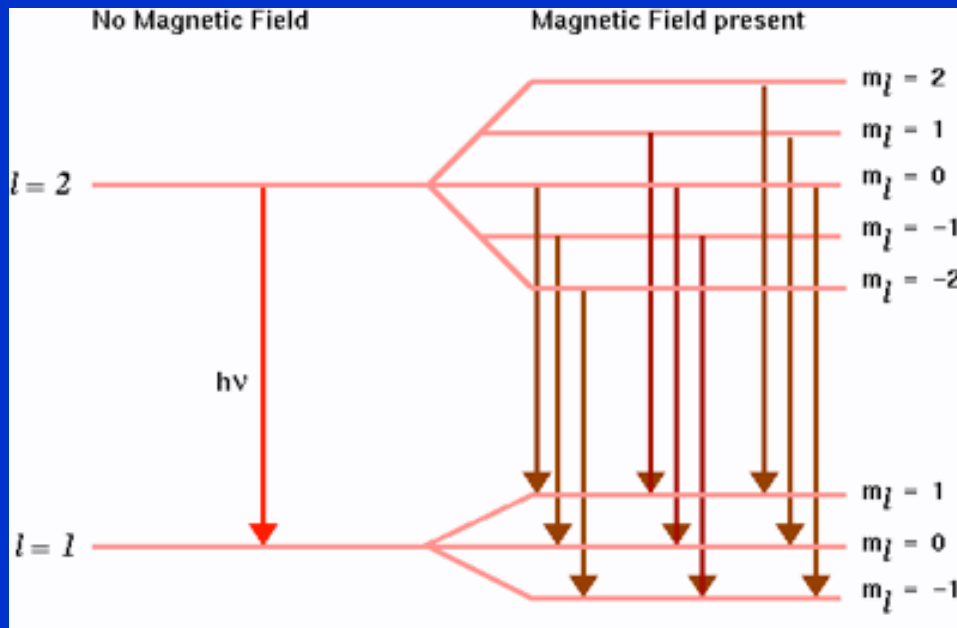


Presnejšie a najmä rýchlejšie ako protónové magnetometre.

prístroje v magnetometrii

Magnetometer s tzv. optickým pumpovaním:

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



Tento jav sa sleduje vo výparoch cézia alebo draslíka, ktoré sú nasvecované monochromatickým svetlom.

prístroje v magnetometrii

"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. 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 základom leteckých prístrojov.

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

magnetické vlastnosti látok – permeabilita

Podľa hodnoty 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).

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 vtáňované (pohyb smerom do miesta s najvyššou intenzitou poľa). Feromagnetické látky si dokážu magnetizmus aj “**zapamätať**” (tzv. **remanentná magnetizácia**).

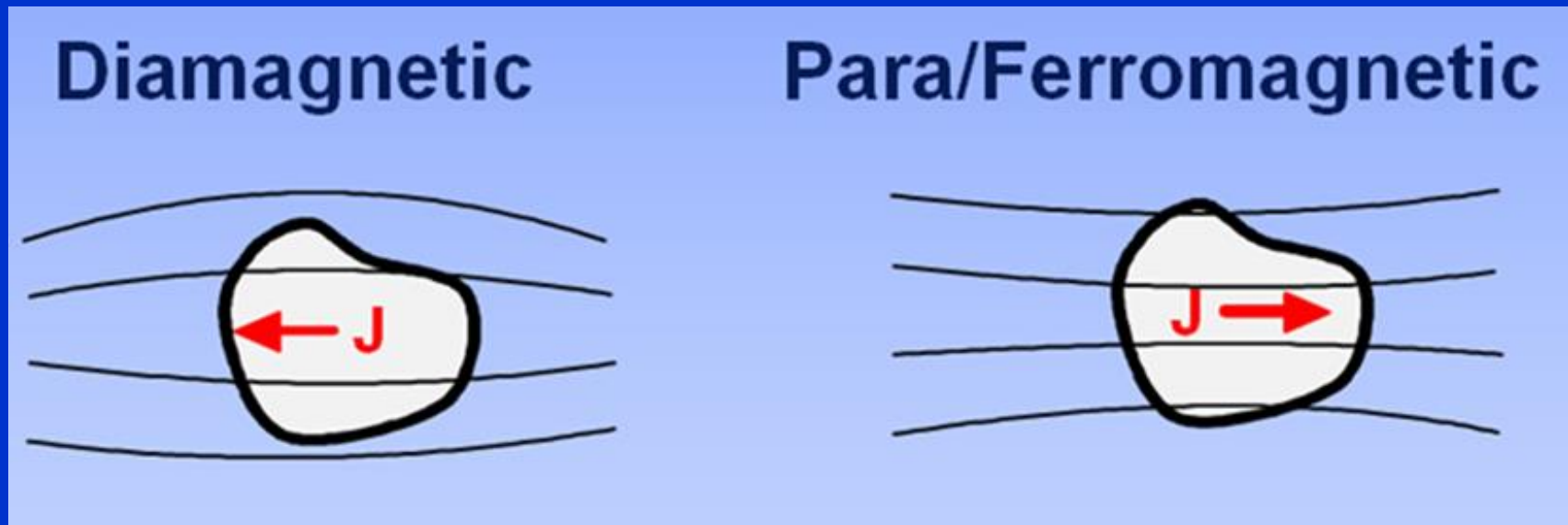
magnetické vlastnosti látok – permeabilita

Podľa hodnoty 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).



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

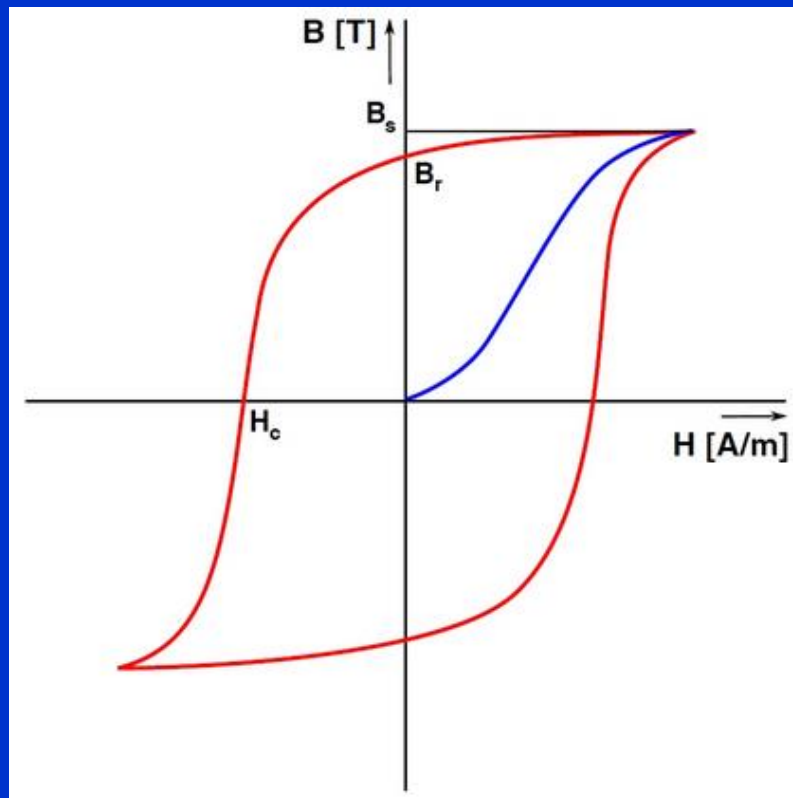
magnetické vlastnosti látek – permeabilita

Materiál	μ_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 – remanetná
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 Courrierov 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:

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

κ – 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,

vápenec, 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

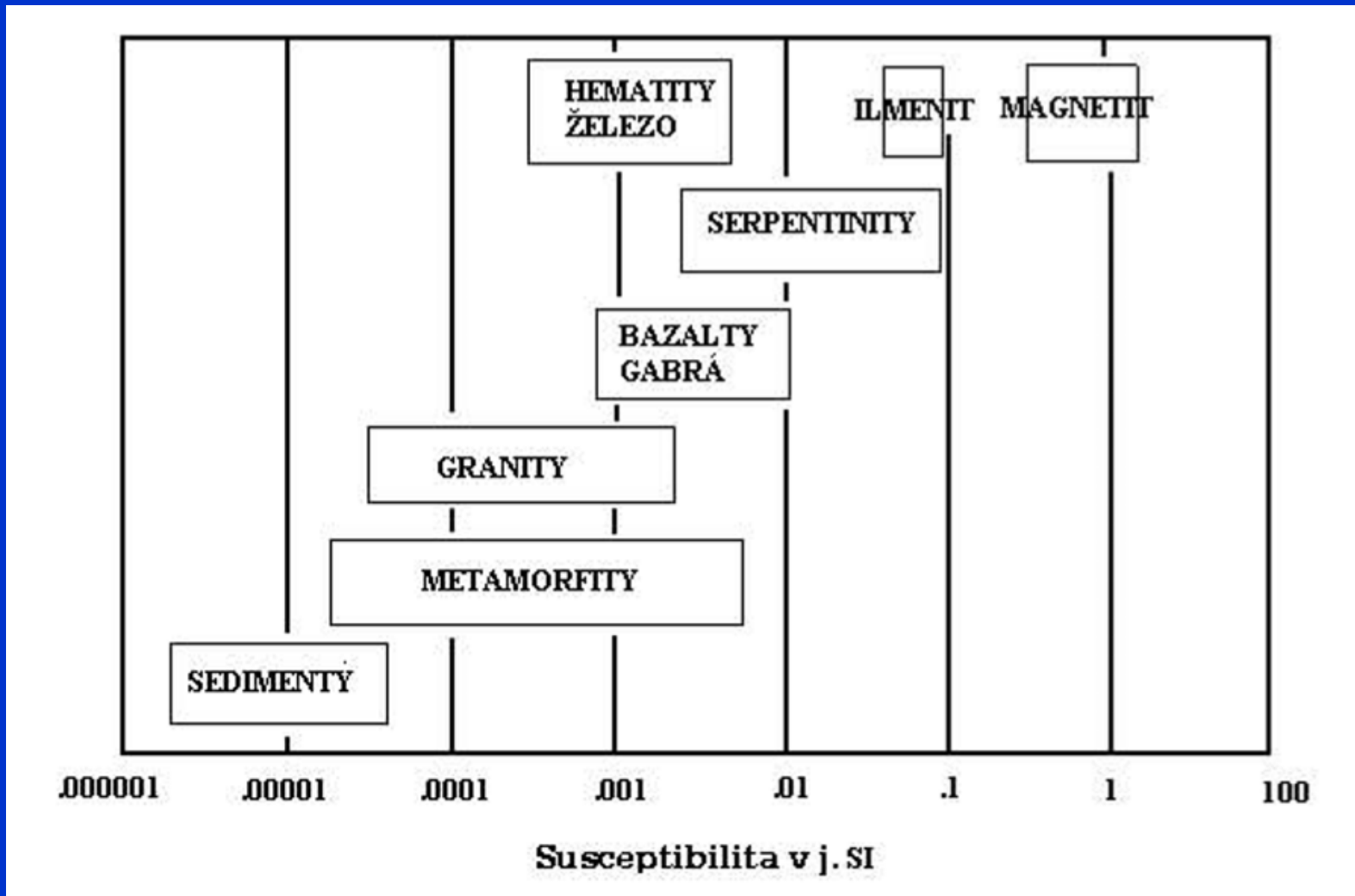


hematit



limonit

magnetické vlastnosti hornín

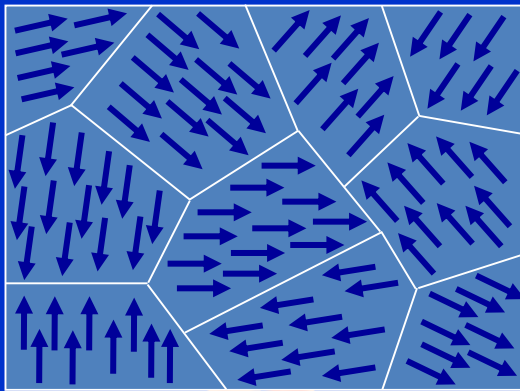


Najmenej “magnetické” horniny sú sedimenty, najviac sú (okrem rúd železa) ultrabázické horniny.

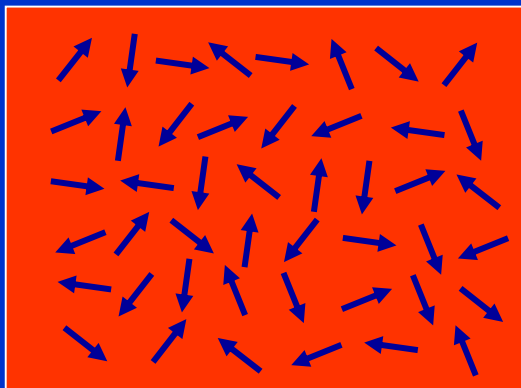
magnetické vlastnosti látok – Curieho teplota

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

pred
nahriatím



po
nahriatí



Mineral	Composition	Magnetic Order	T _c (°C)
Oxides			
Magnetite	Fe ₃ O ₄	ferrimagnetic	575-585
Ulvospinel	Fe ₂ TiO ₂	AFM	-153
Hematite	αFe ₂ O ₃	canted AFM	675
Ilmenite	FeTiO ₂	AFM	-233
Maghemite	γFe ₂ O ₃	ferrimagnetic	~600
Jacobsite	MnFe ₂ O ₄	ferrimagnetic	300
Trevorite	NiFe ₂ O ₄	ferrimagnetic	585
Magnesioferrite	MgFe ₂ O ₄	ferrimagnetic	440
Sulfides			
Pyrrhotite	Fe ₇ S ₈	ferrimagnetic	320
Greigite	Fe ₃ S ₄	ferrimagnetic	~333
Troilite	FeS	AFM	305
Oxyhydroxides			
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 ΔT (štatistické metódy alebo globálne modely – napr. IGRF alebo WMM)
- zavedenie špeciálnych opráv na hodnotové posuny medzi senzormi
- 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)

variácie geomagnetického poľa – časové zmeny:

dlhodobé:

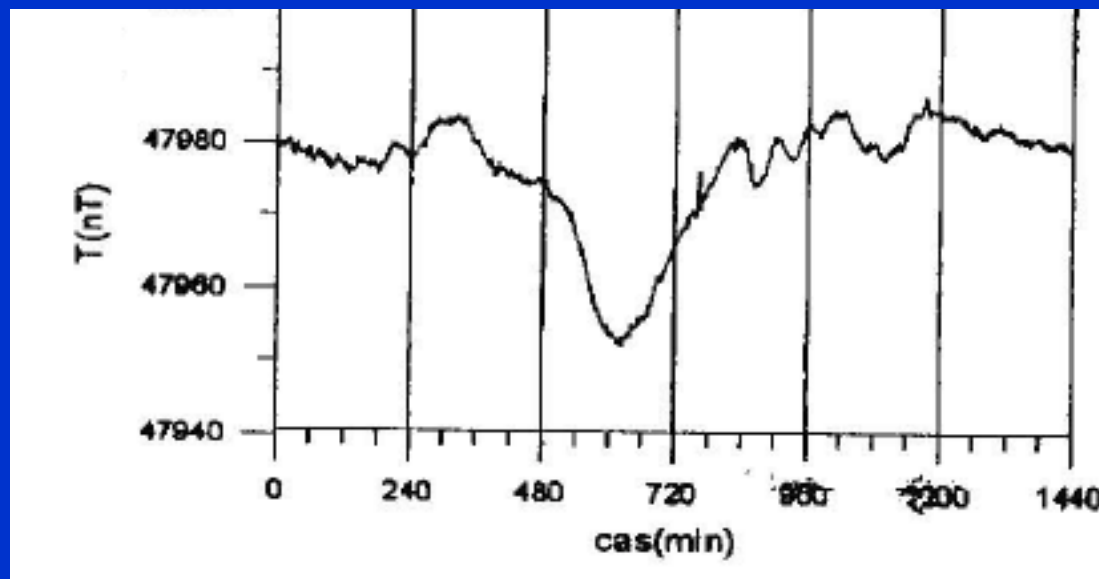
sekulárne – procesy vo vnútri zemského telesa (500 rokov);

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.

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.

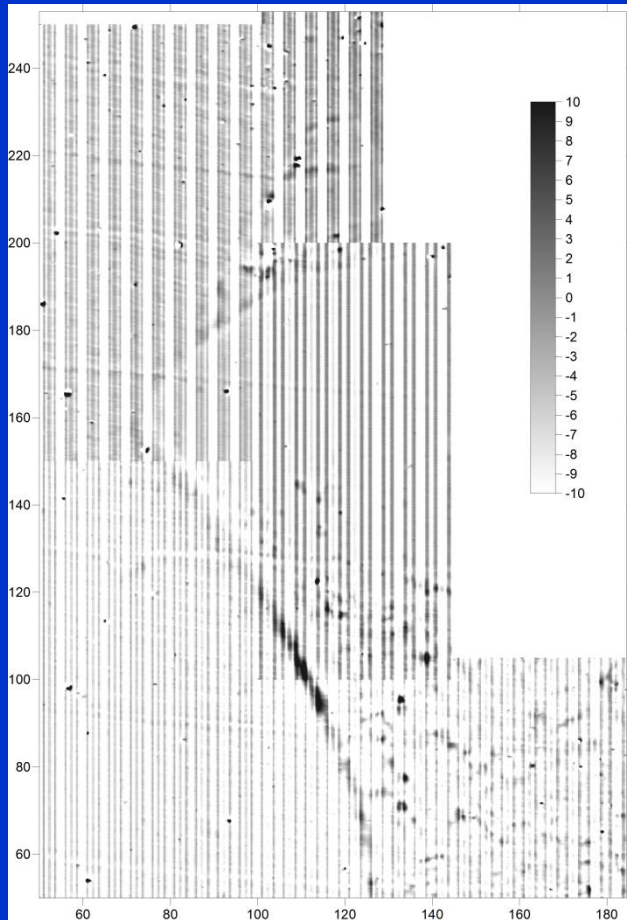




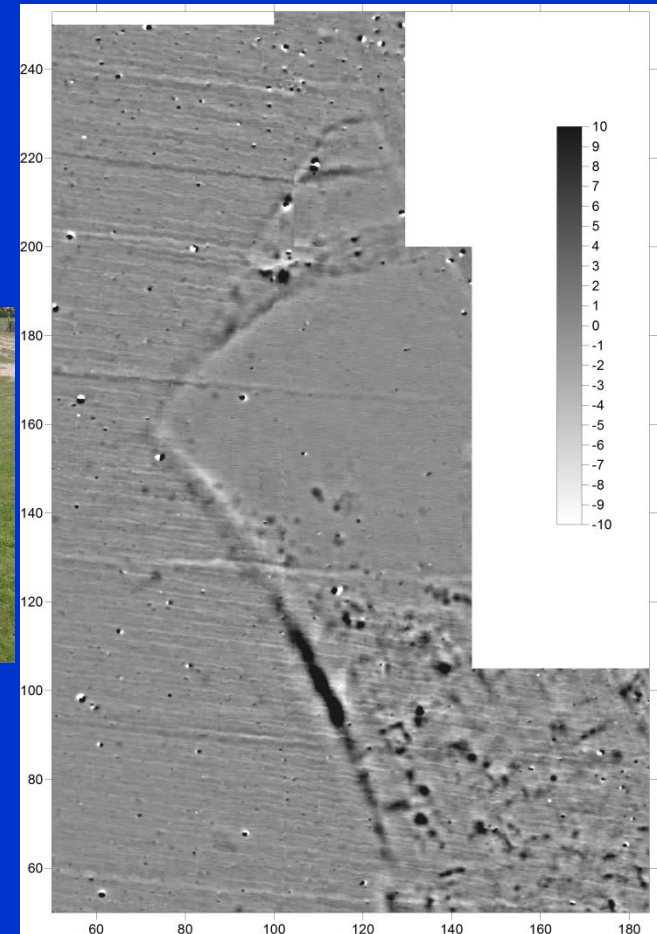
najnovšie trendy – drony a AUV
(zatiaľ nedoriešené: väčšia vzdialenosť od objektov a
nestabilita vo výške letu)

hodnotové posuny medzi senzormi (tzv. heading error):

pôvodné dáta

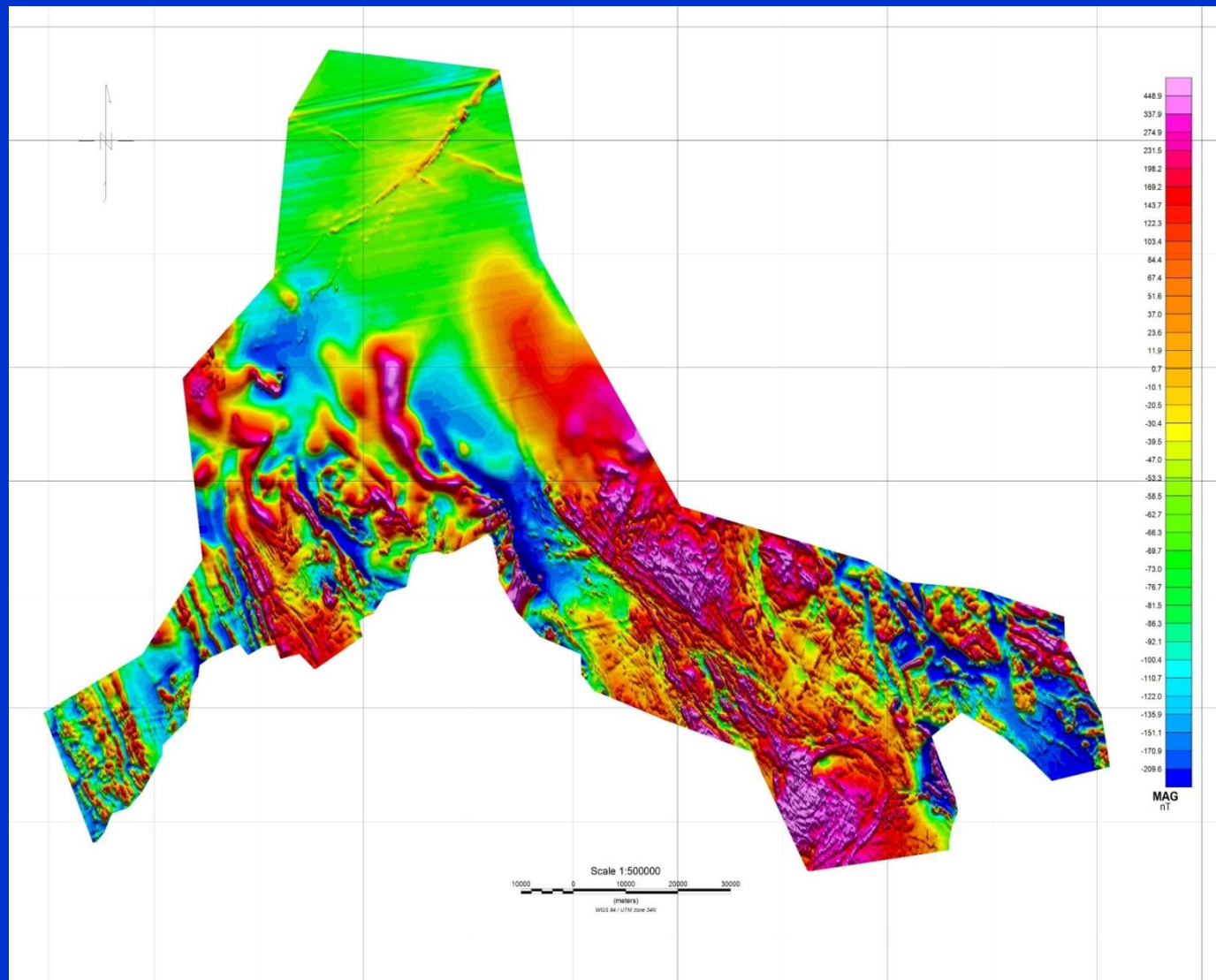


filtrované dáta



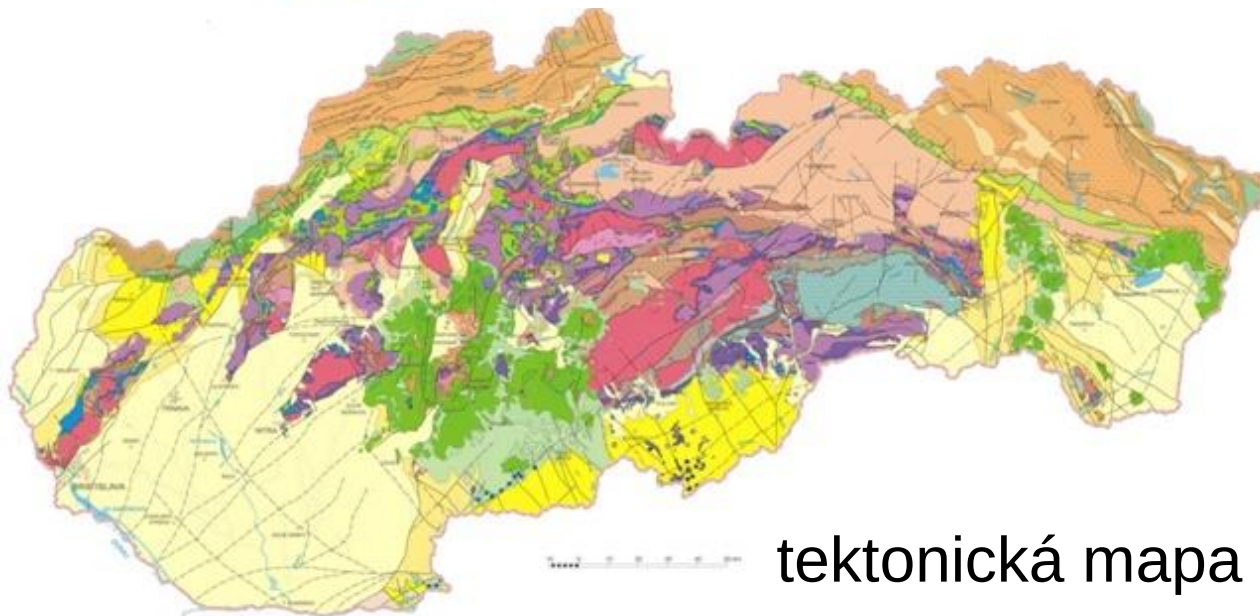
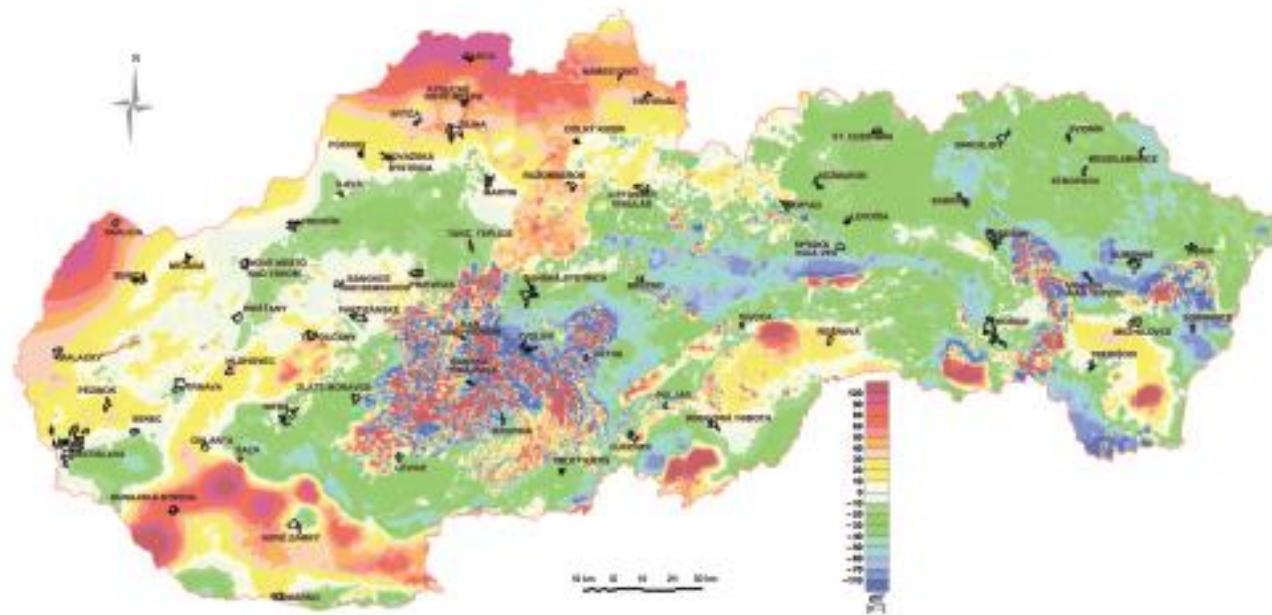
Dobré skúsenosti sú s tzv. mediánovými filtrami alebo postupom, ktorý sa nazýva ako tzv. mikroleveling.

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



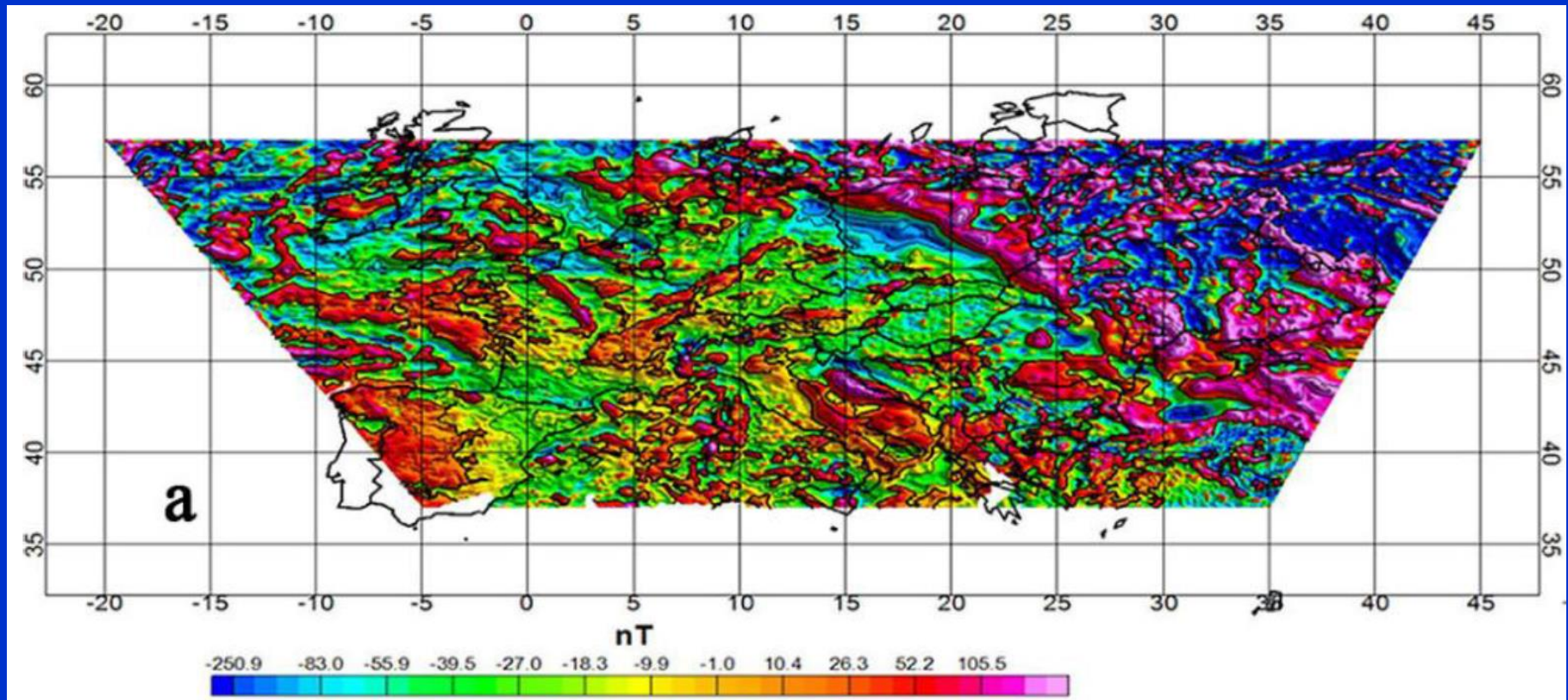
oblasť severného Nórska (zdroj: NGU), časť plochy je offshore

mapa ΔT – územie Slovenska



tektonická mapa

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

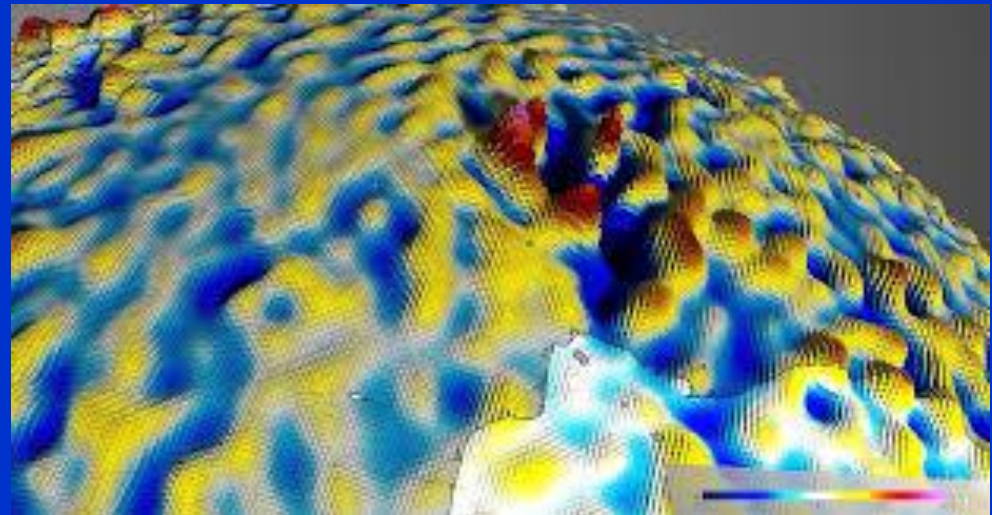
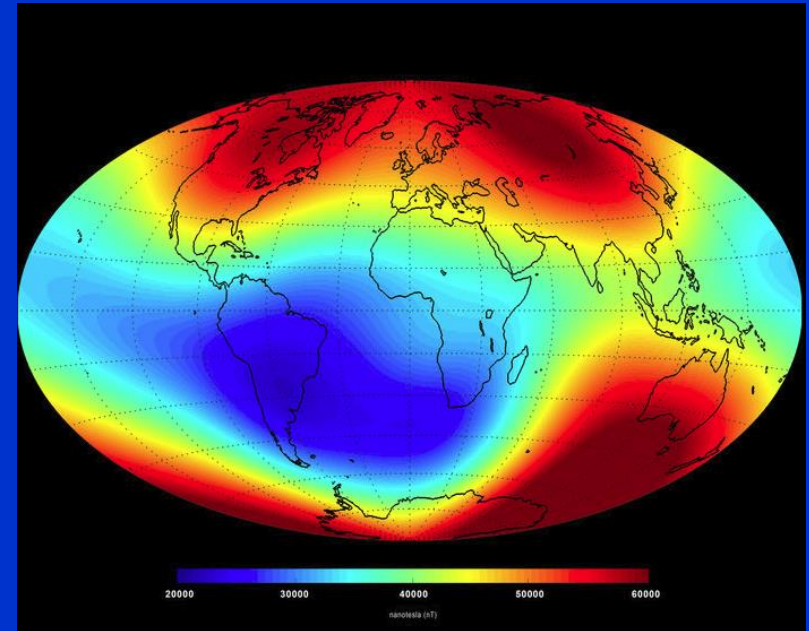


Poznámka: satelitné merania

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)

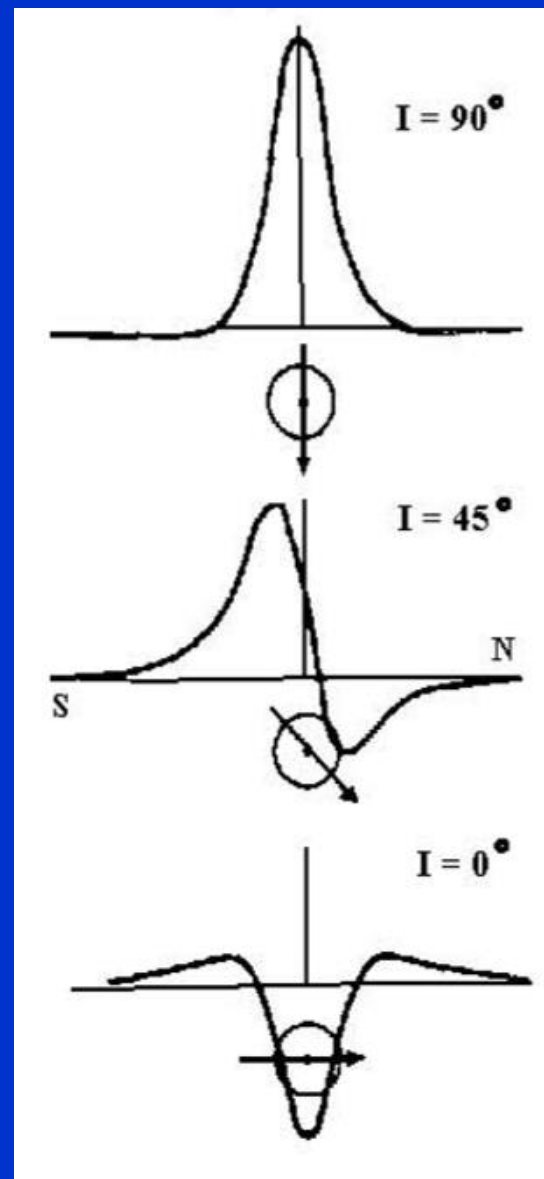
Aj tu zostáva v platnosti nejednoznačnosť riešenia obrátenej úlohy.

interpretácia v magnetometrii

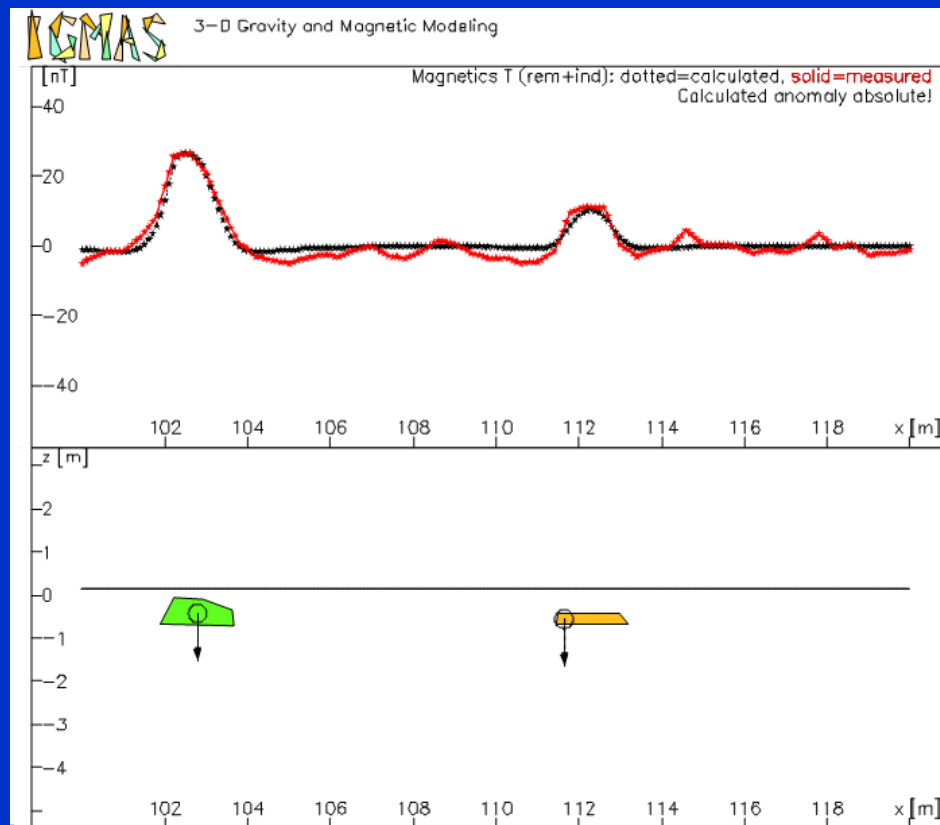
Anomálie od zmagnetizovaných objektov majú vždy dipólový charakter.

Tvar anomálie a jej amplitúda závisí od viacerých faktorov:

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

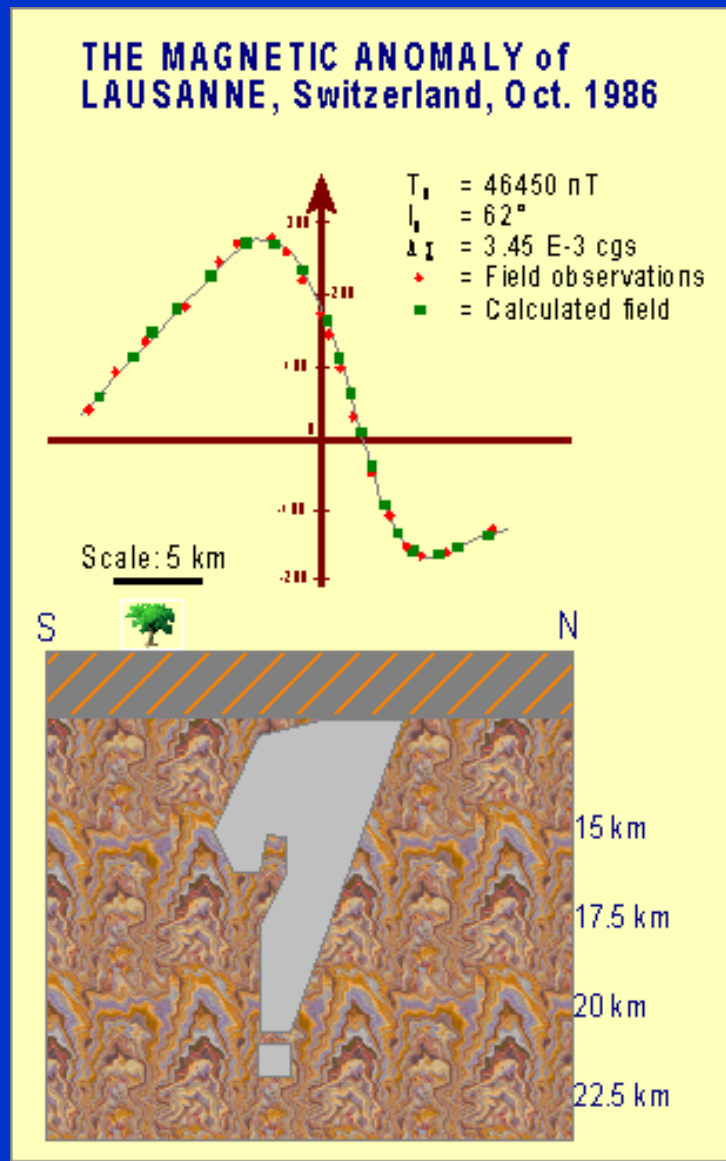


interpretácia v magnetometrii



Výstup modelovania magnetického anomálneho poľa od plytko uložených telies.

Aj tu zostáva v platnosti nejednoznačnosť riešenia obrátenej úlohy.



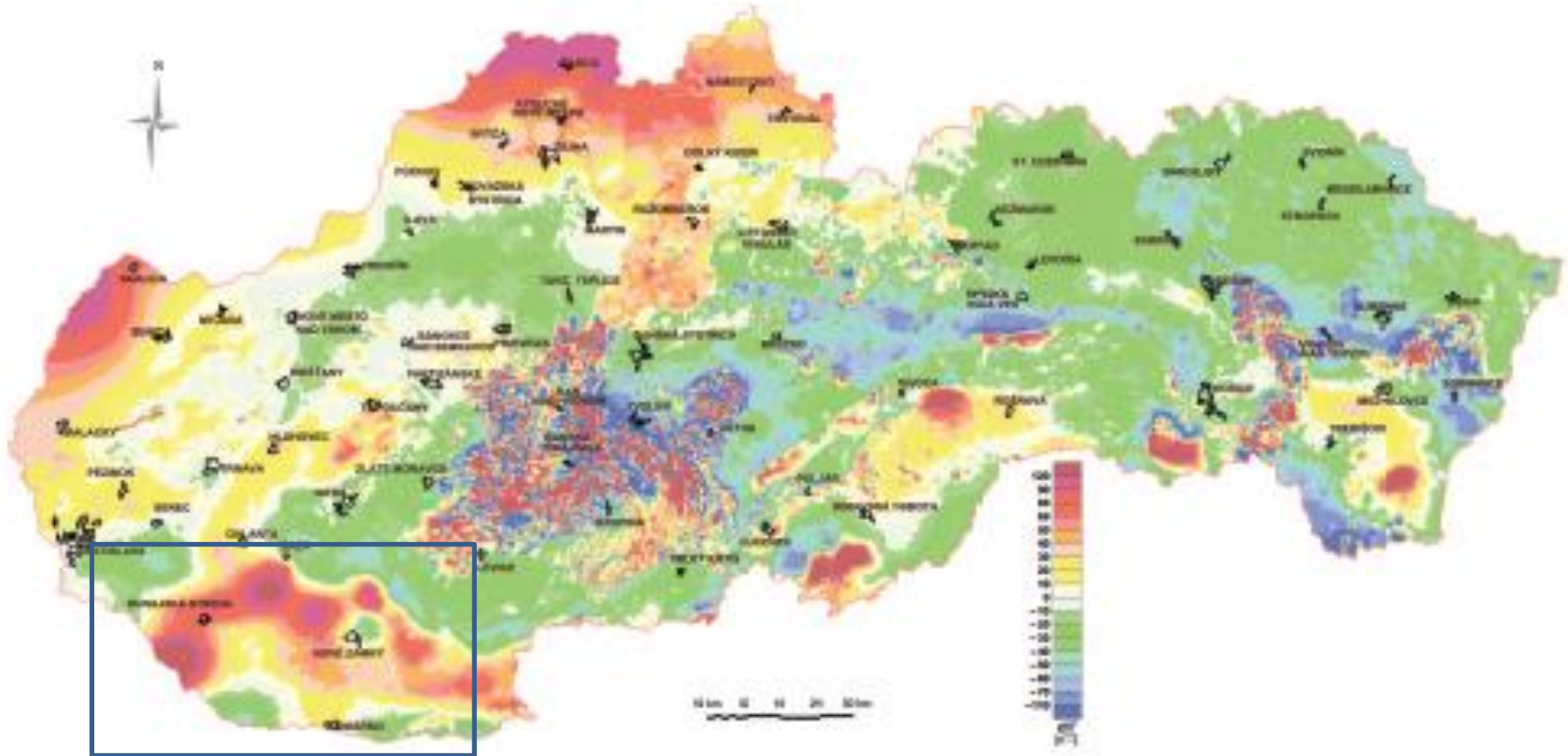
využitie magnetometrie

- 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

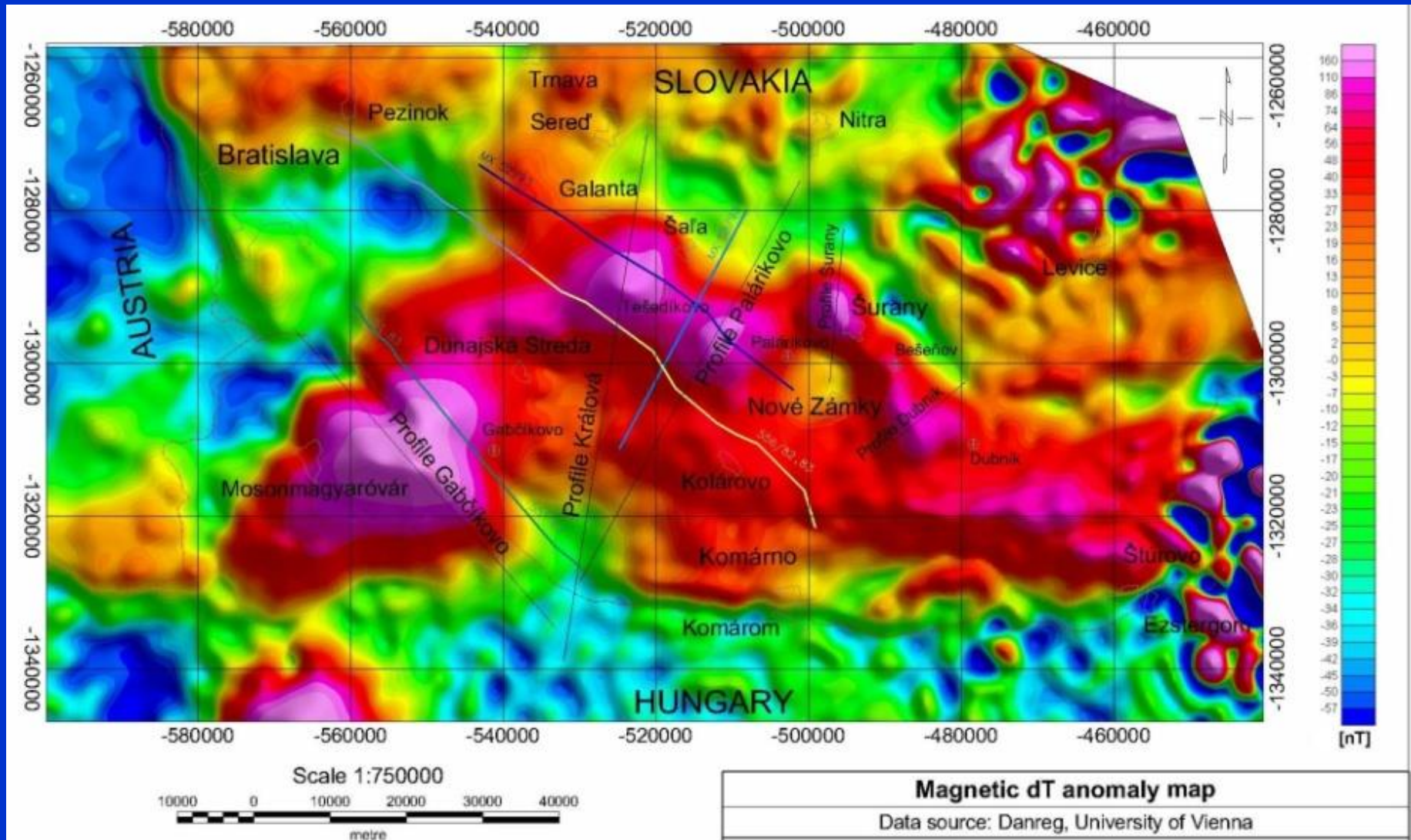
niekoľko príkladov

aplikácie magnetometrie



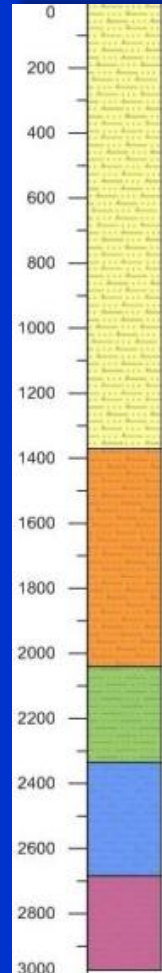
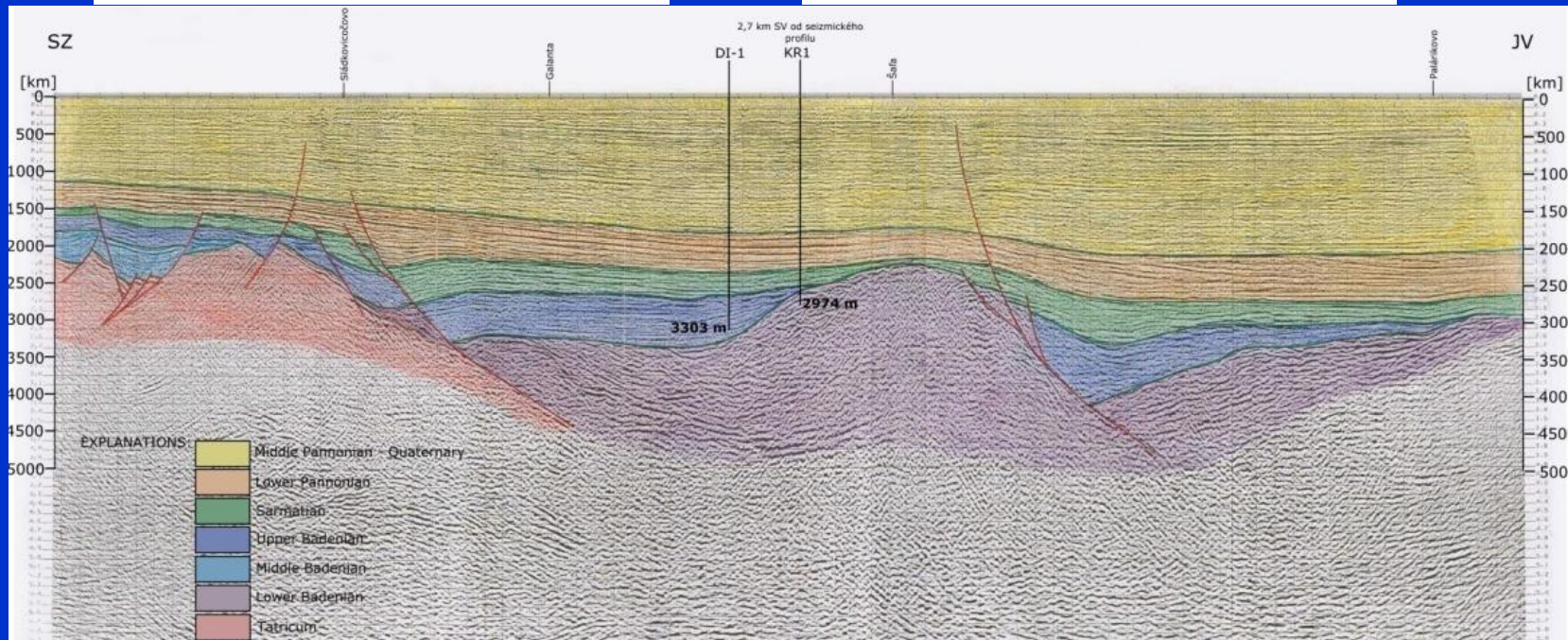
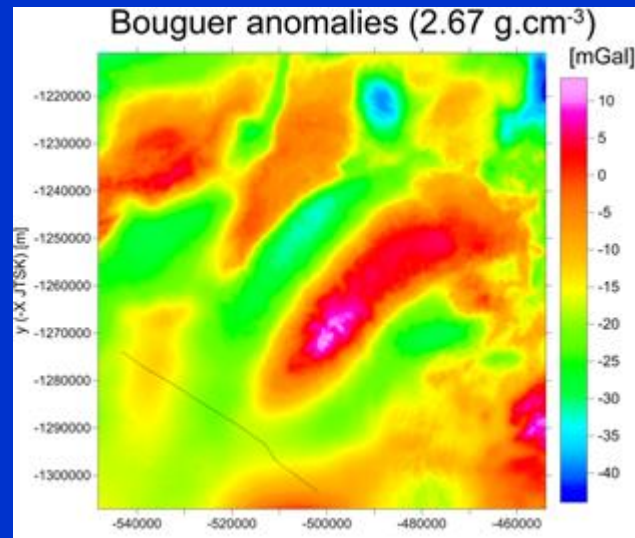
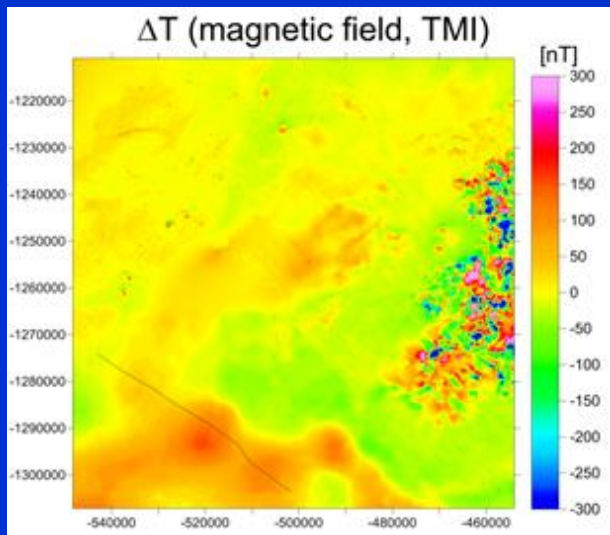
príklad – anomálne magnetické pole (magnetická indukcia) SR –
- detail v obdĺžniku bude zobrazený na ďalšom snímku

aplikácie magnetometrie



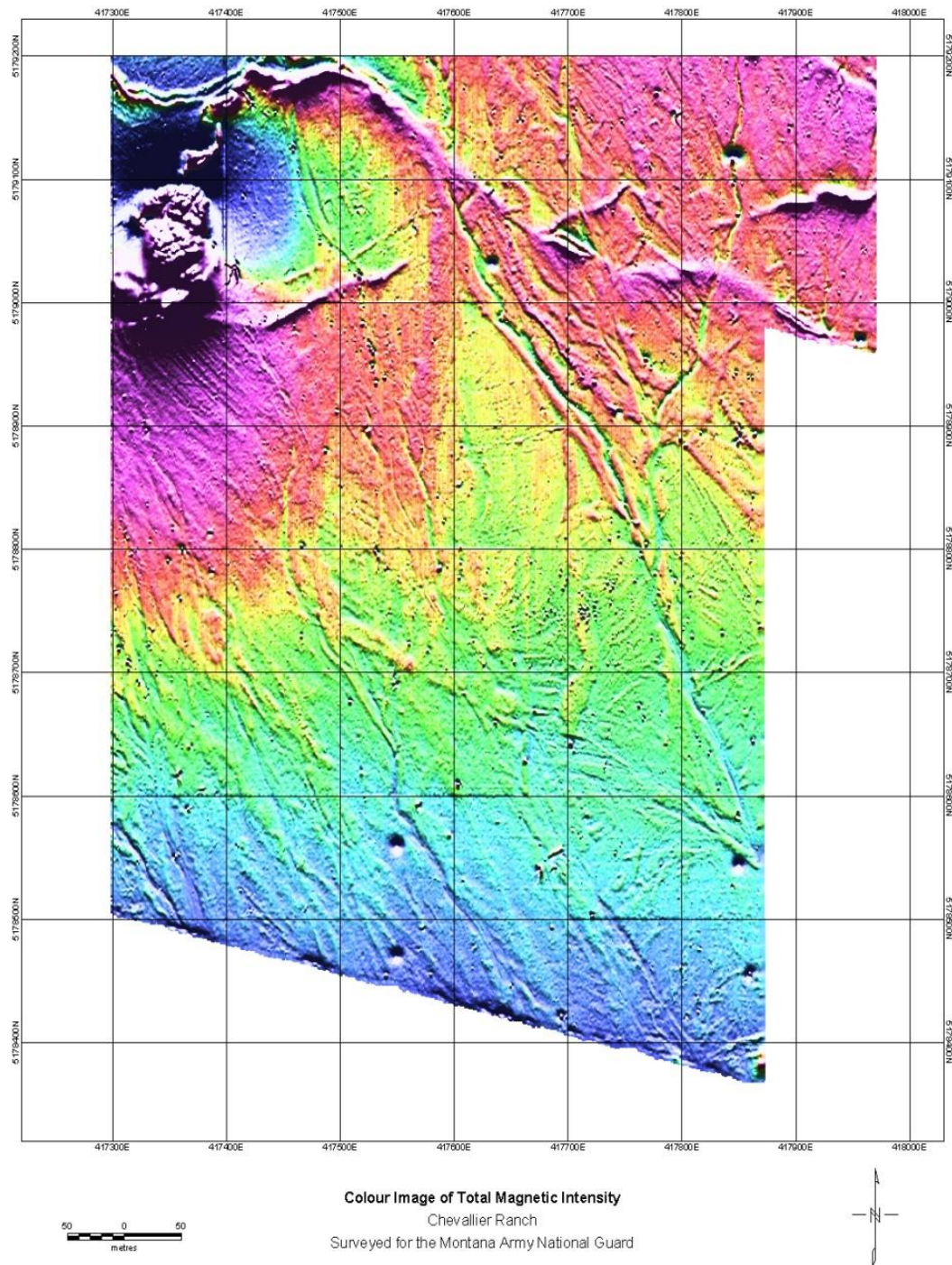
príklad – detail: anomálne magnetické pole (magnetická indukcia) z pohraničia SR, Maďarska a Rakúska.

magnetická anomália pochovaného stratovulkánu Kráľová



interpretovaný seizmický rez MXS2

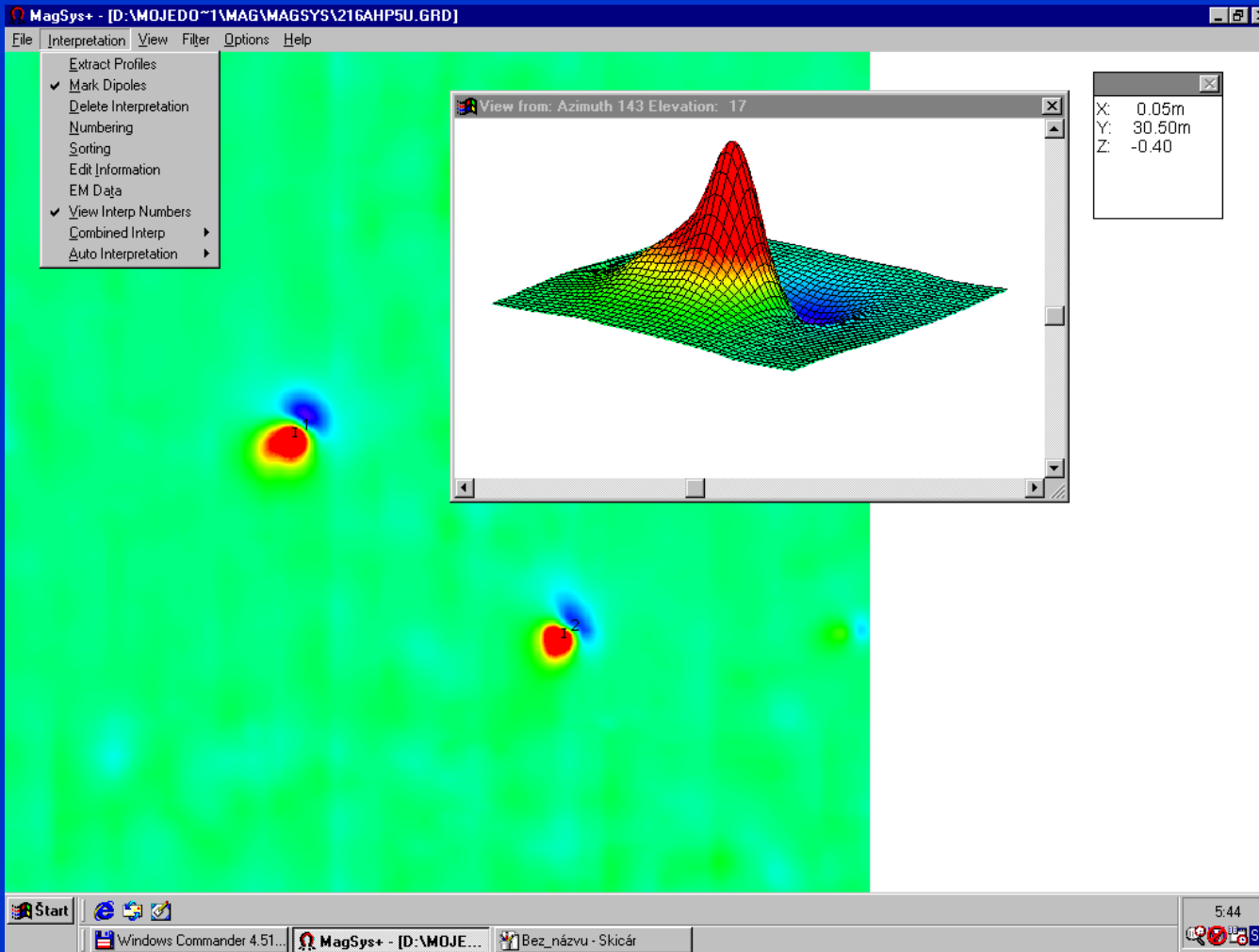
profil vrtu
Diakovce



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

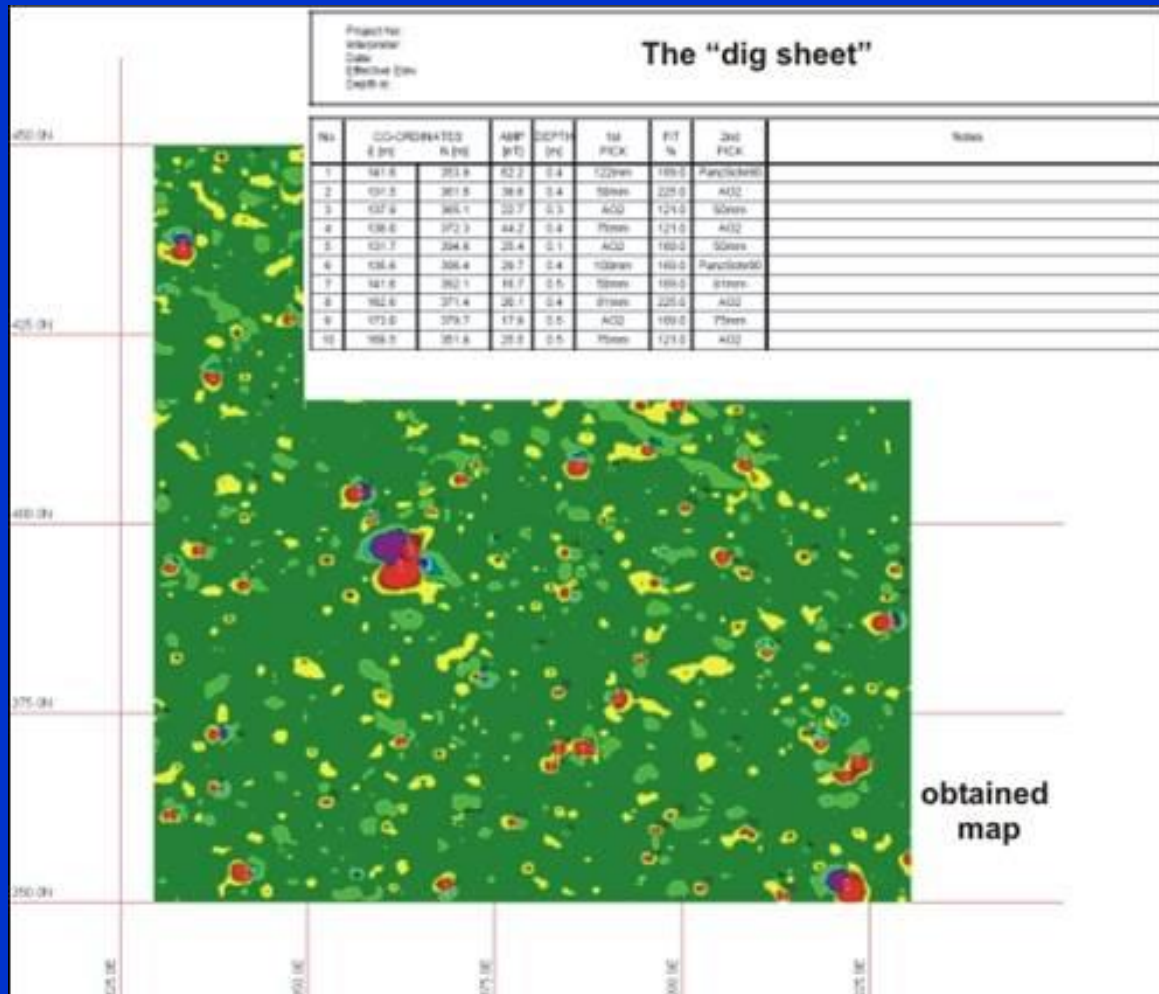
lokalita Chevalier ranch,
Montana, USA

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)

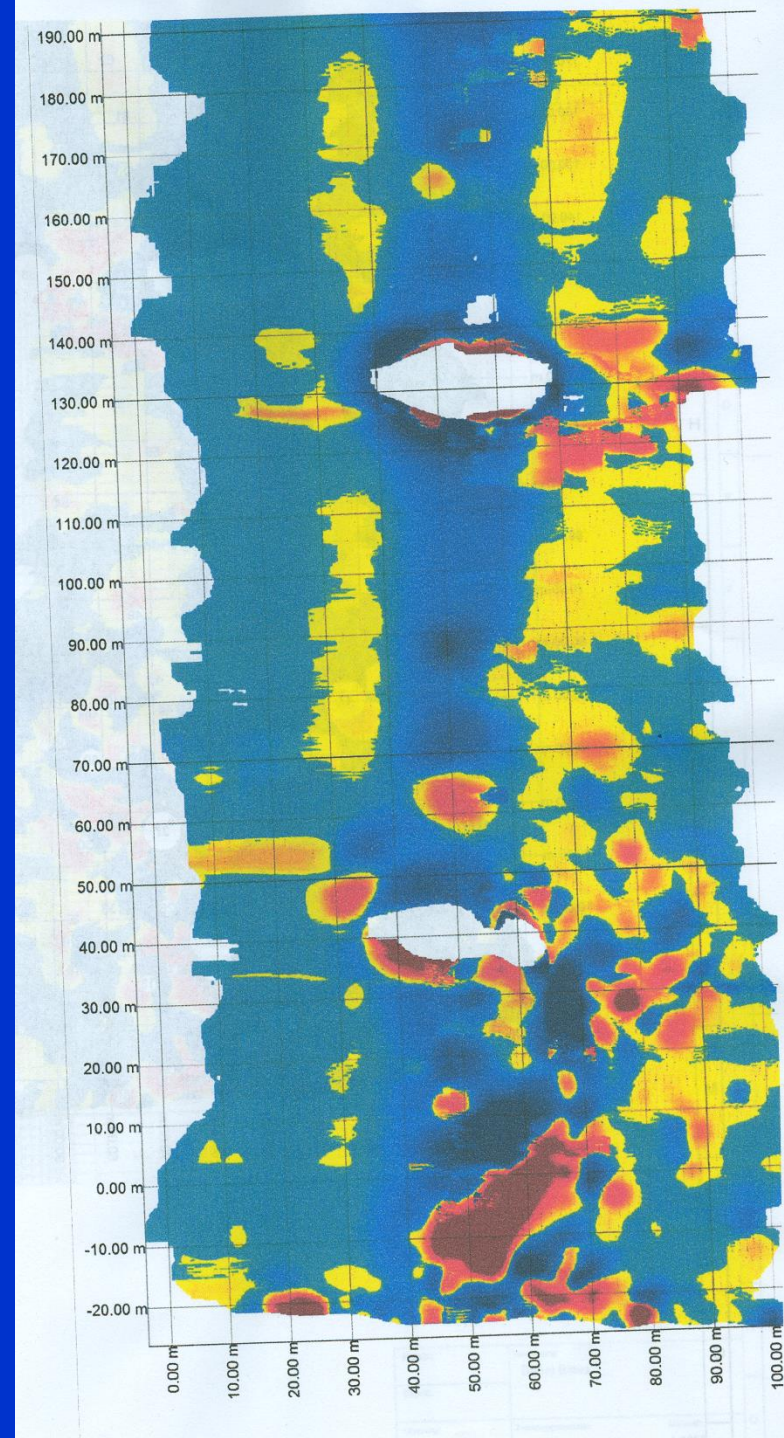


časť premeranej plochy so zoznamom objektov na extrakciu



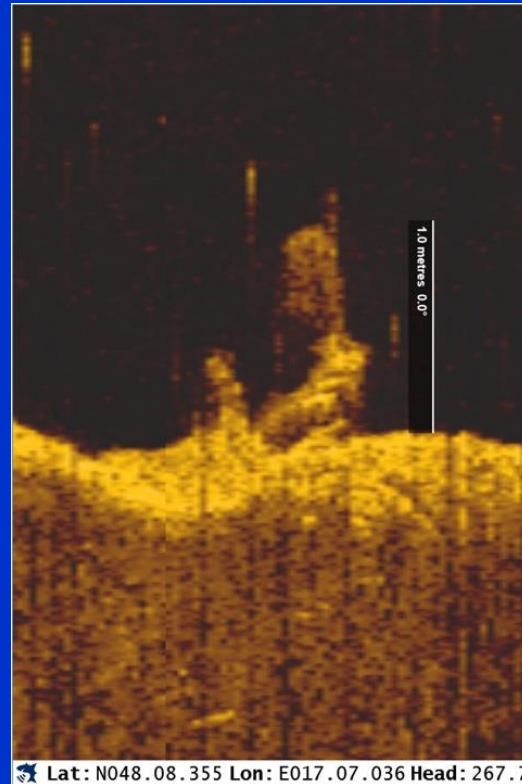
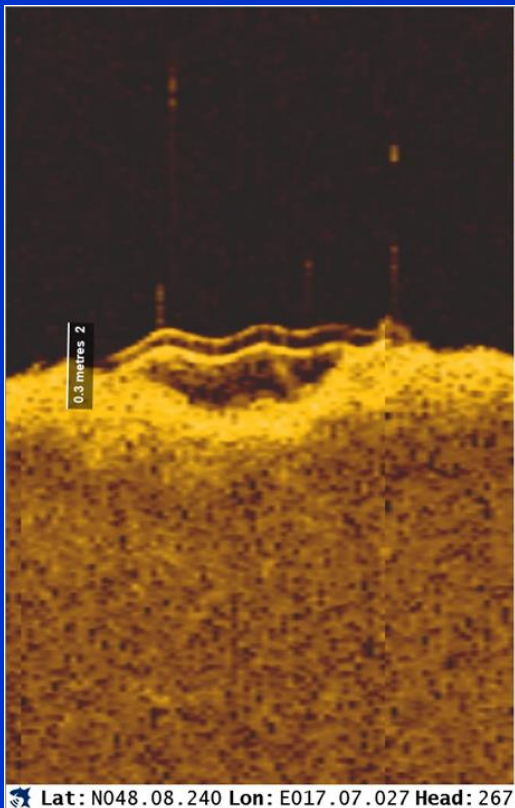
**prieskum riečneho dna –
stavba Starého mosta:
(nevybuchnutá munícia)**

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

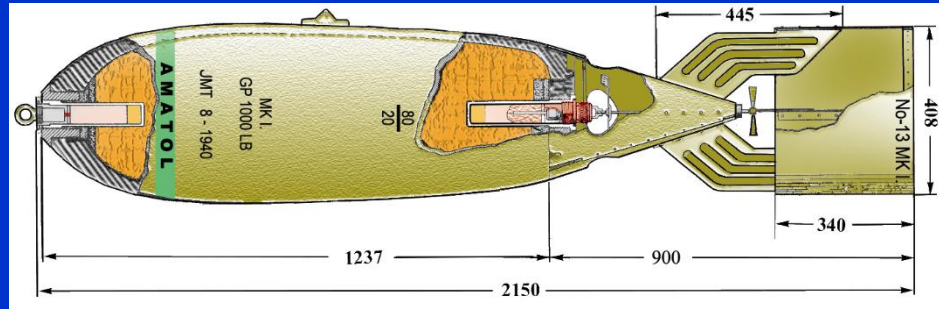


prieskum riečneho dna – stavba Starého mosta:

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



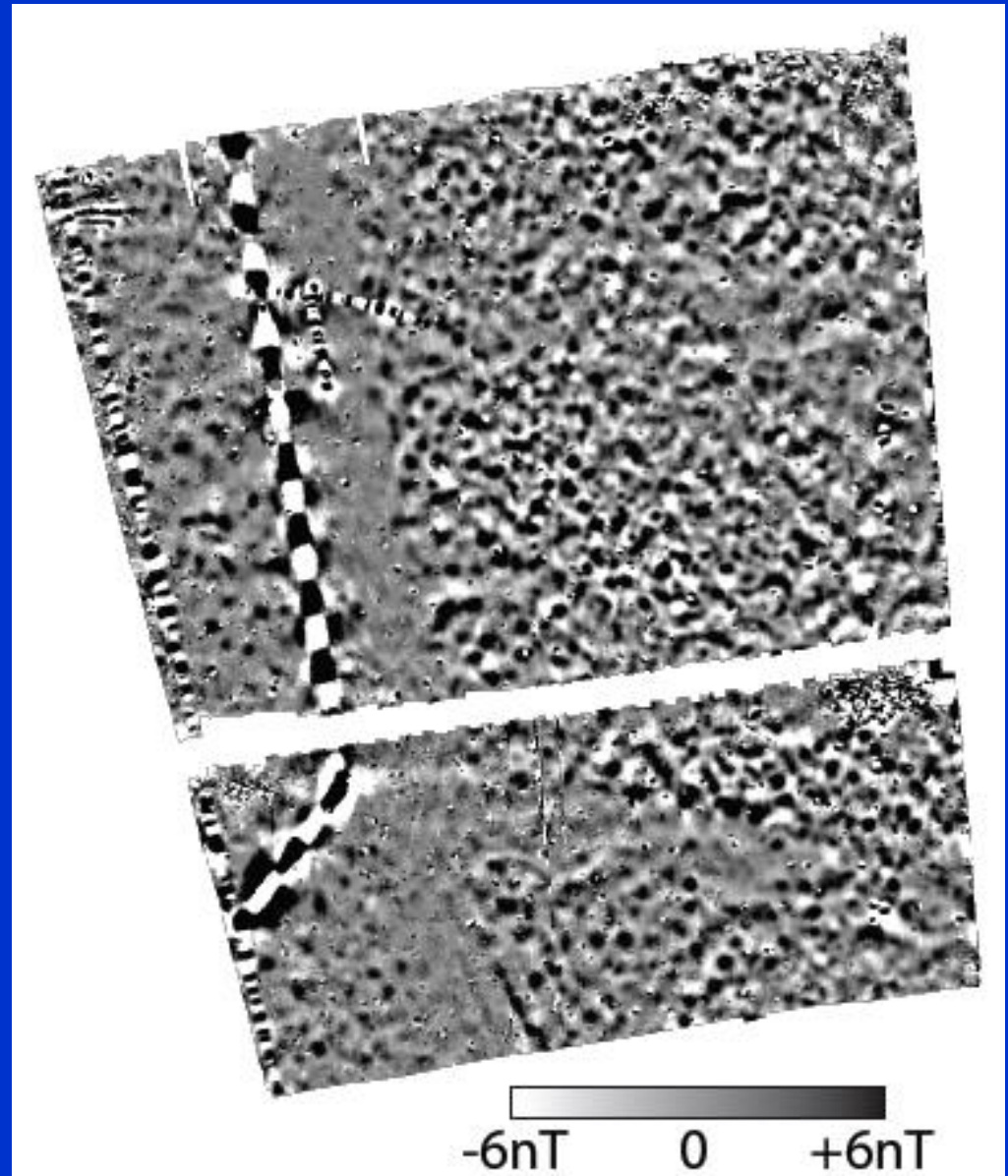
Problém detekcie nevybuchnutej munície v BA (bývalá Apolka):



aplikácie magnetometrie

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

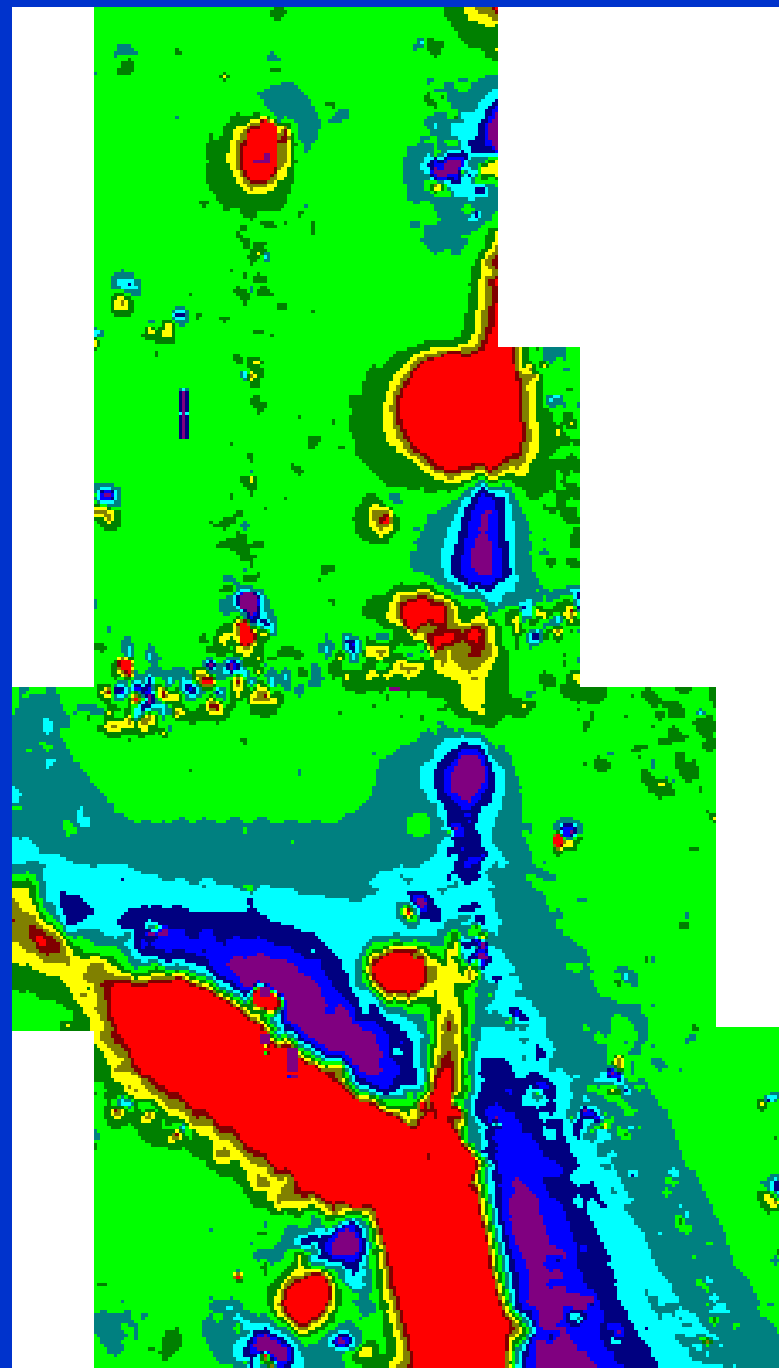
lokalita: Kiel, severné
Nemecko



aplikácie magnetometrie

Príklad – prejav
železobetónového krytu
kanalizácie a oceľového
potrubia

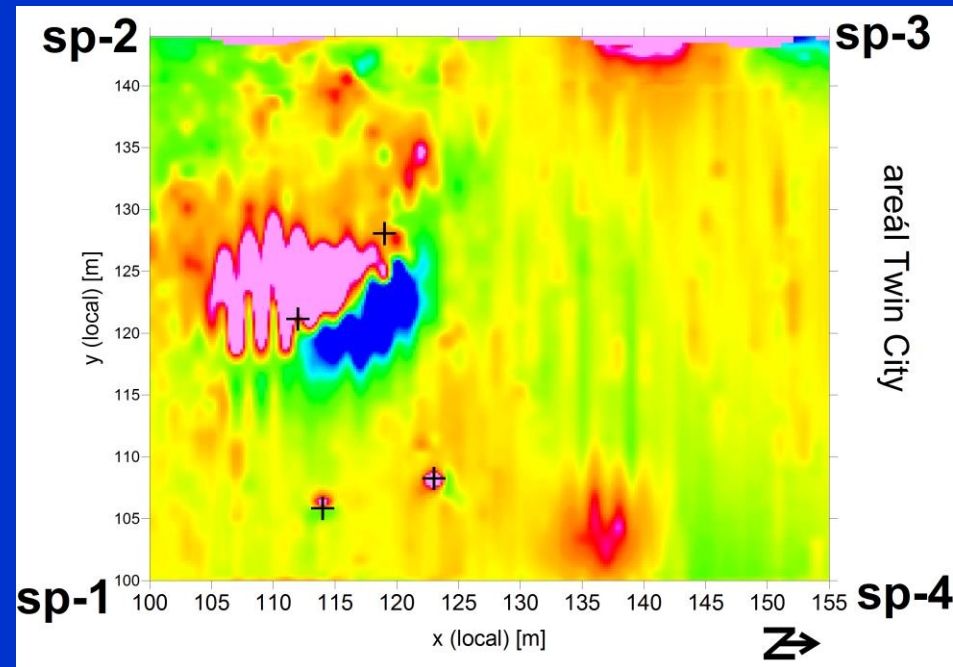
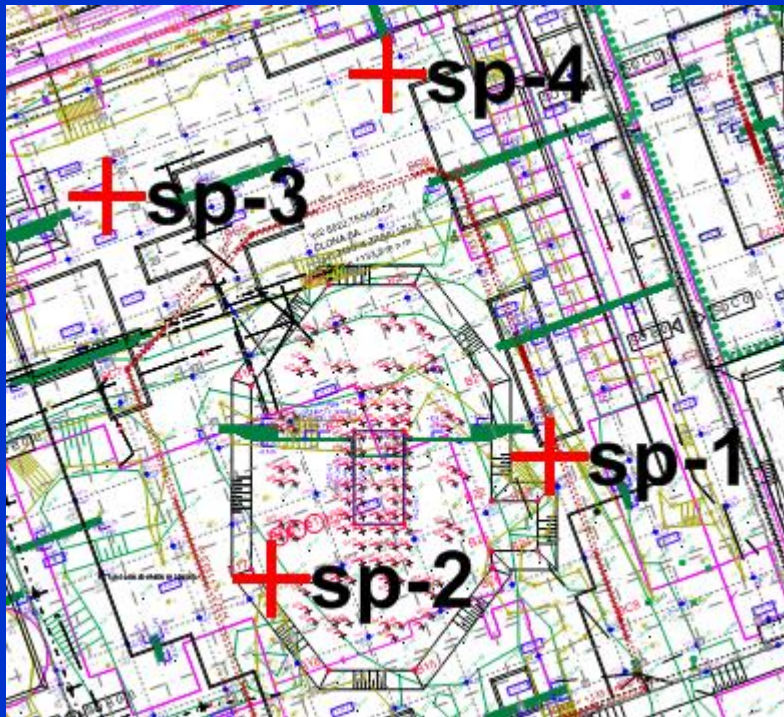
lokalita: Draždiak,
Bratislava



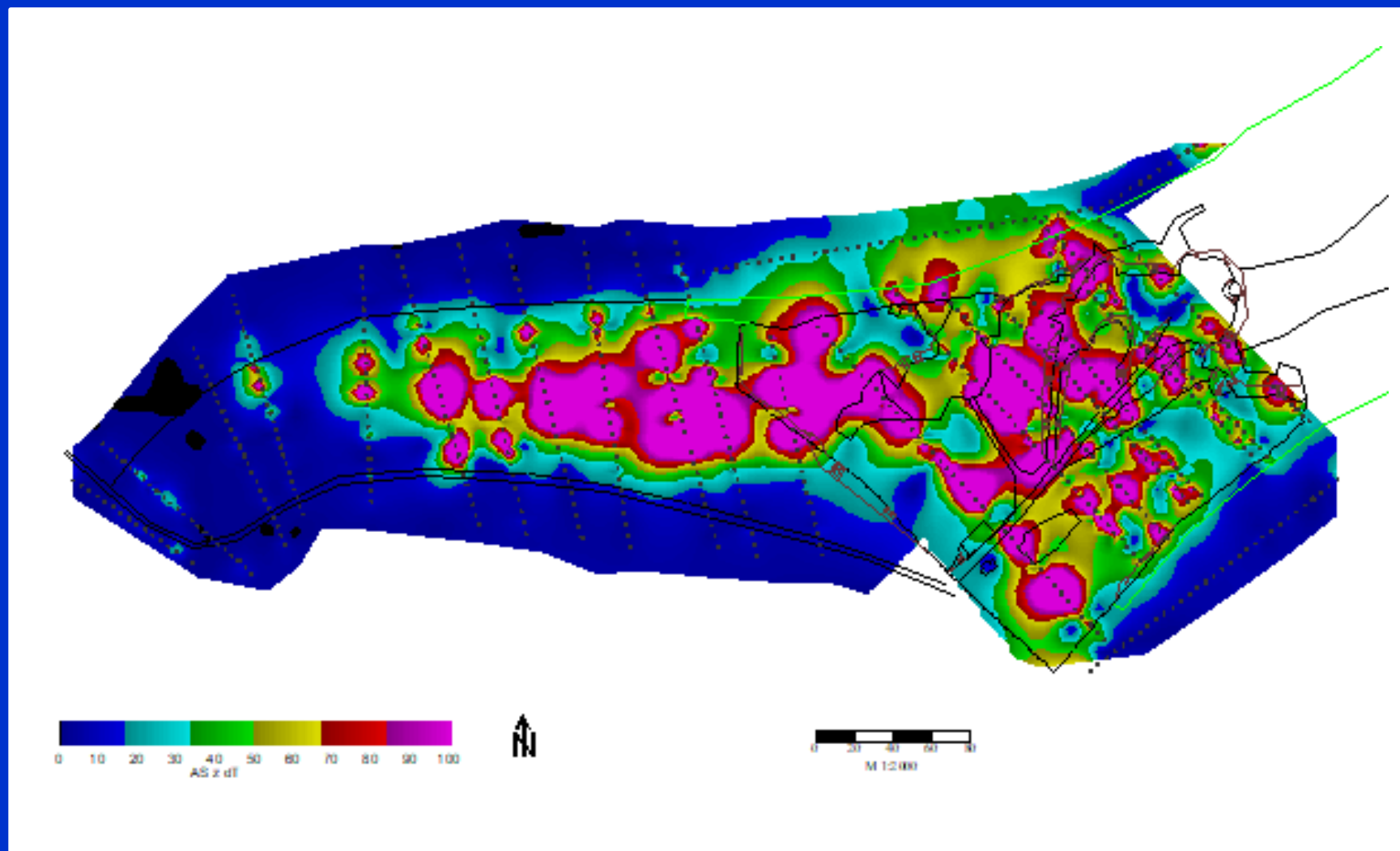
aplikácie magnetometrie

Príklad – prejav zvyšku
železobetónovej platne.

lokalita: stavenisko Skypark,
Bratislava



aplikácie magnetometrie – environmentálne problémy



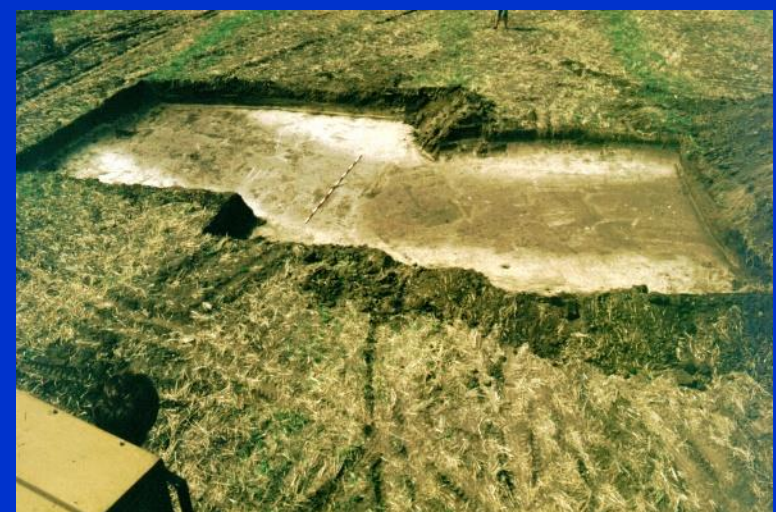
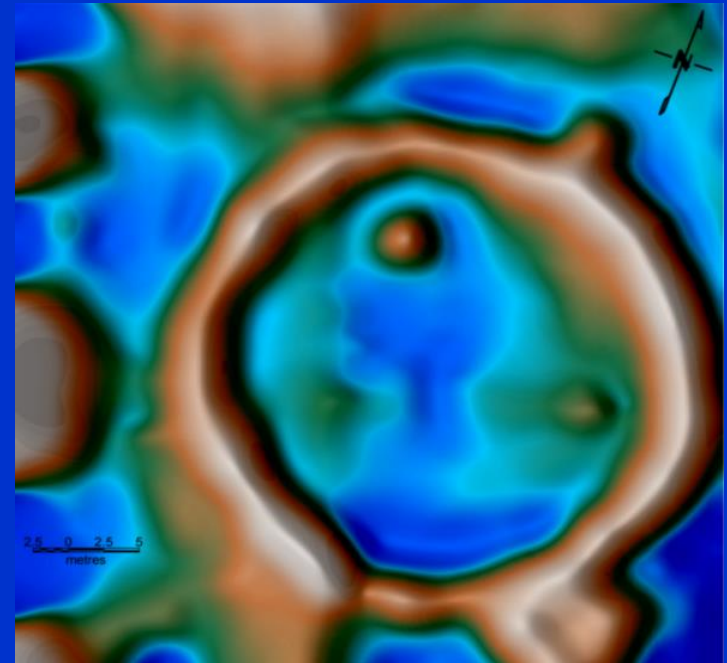
Vymapovanie zaspaných železobetónových blokov na starej skládke (Uzovská Panica).

aplikácie magnetometrie - archeológia

letecká snímka – letné obdobie



anomálne magnetické pole



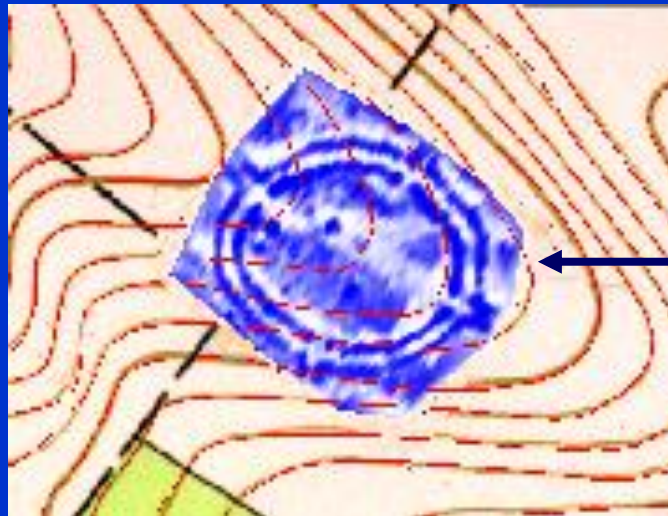
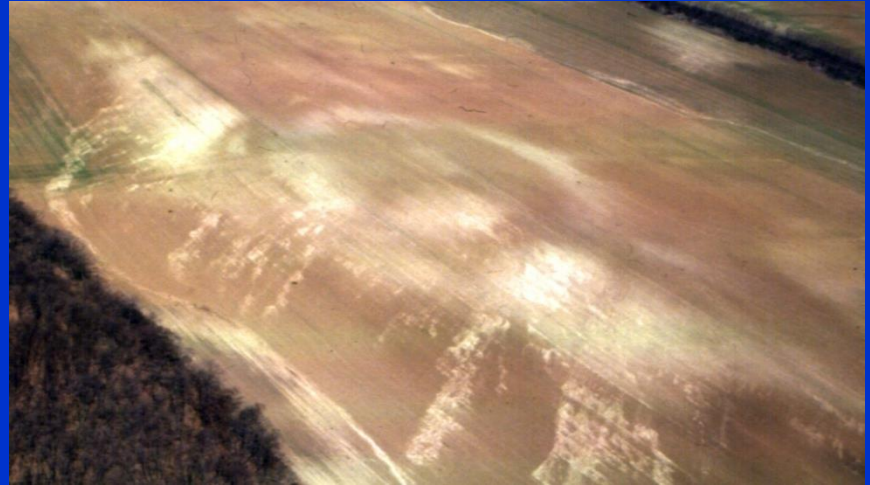
BRANČ, okr. Nitra, obdobie: doba bronzová – 18. stor. p.n.l.

aplikácie magnetometrie - archeológia

letecká snímka – letné obdobie



letecká snímka – zimné obdobie

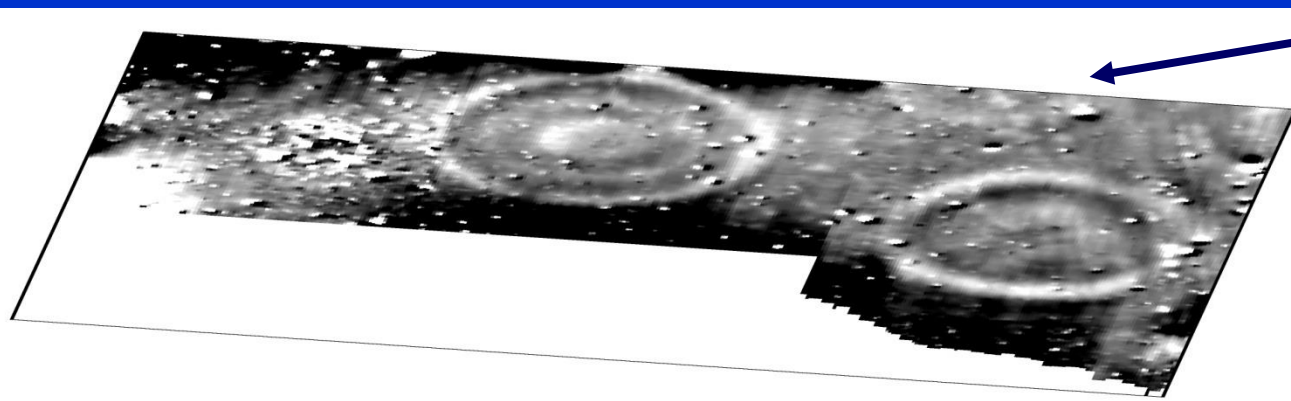


anomálne
magnetické pole

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

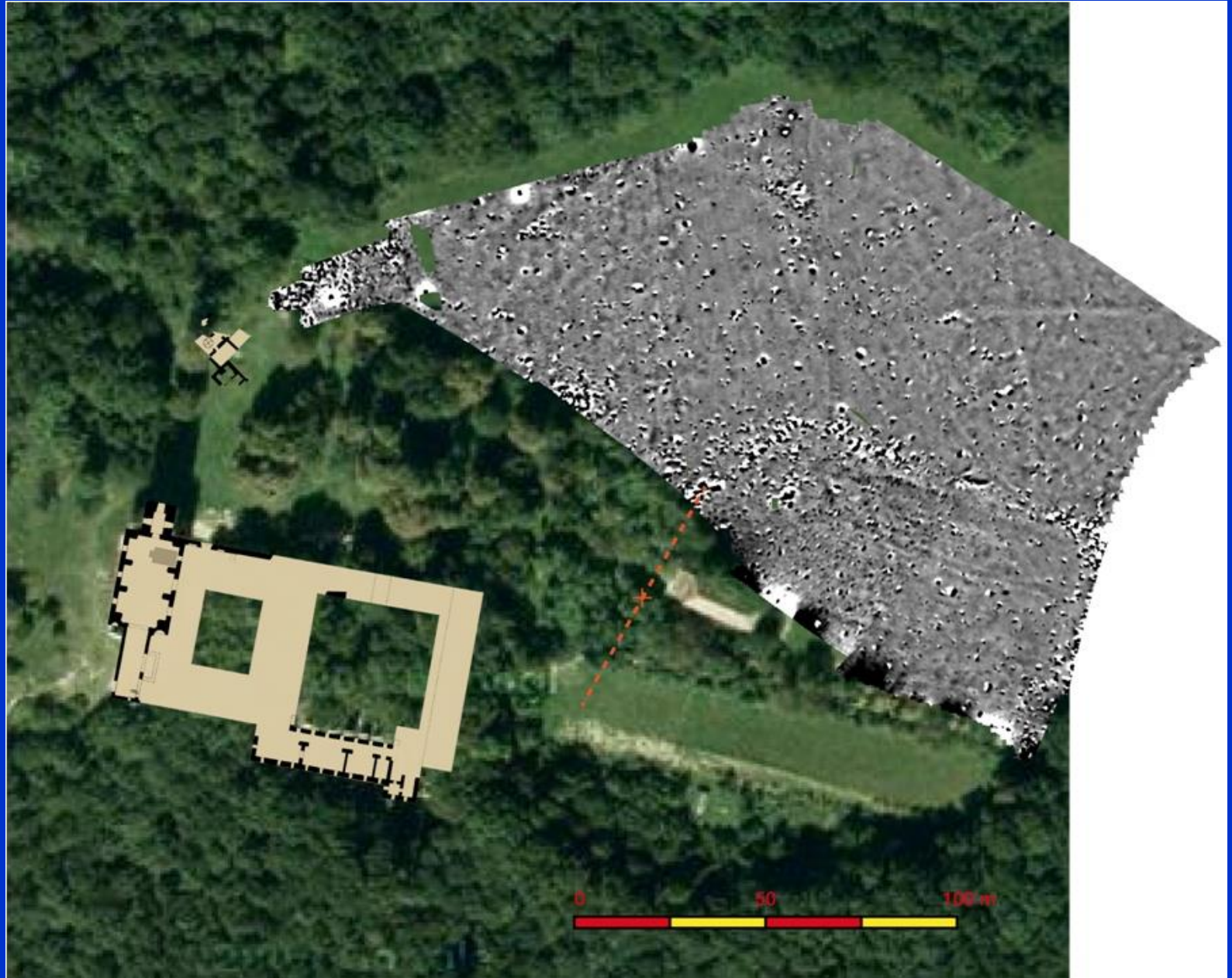


letecká
fotografia

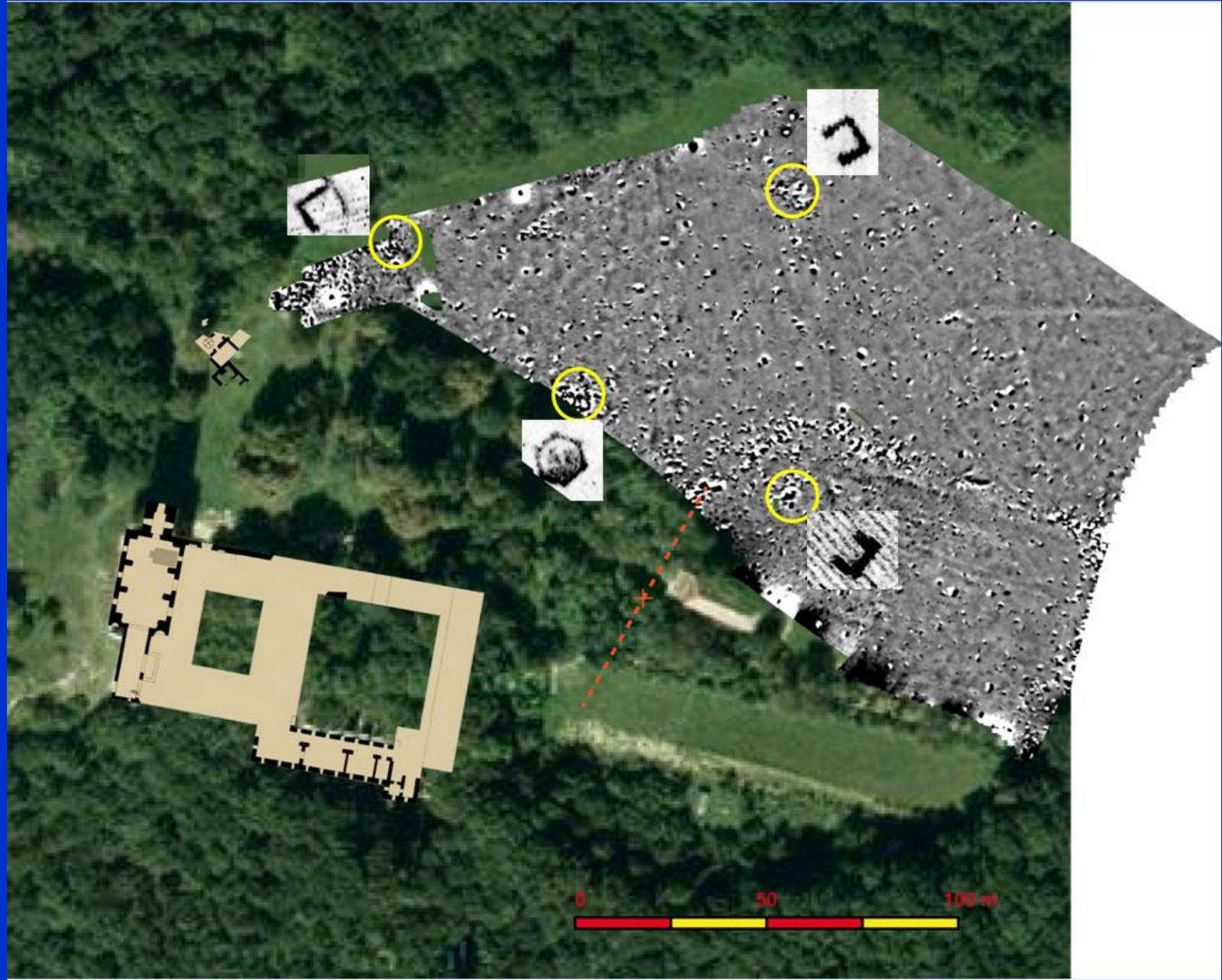
lokalita: Biely Kostol (pri Trnave), halštatské mohyly

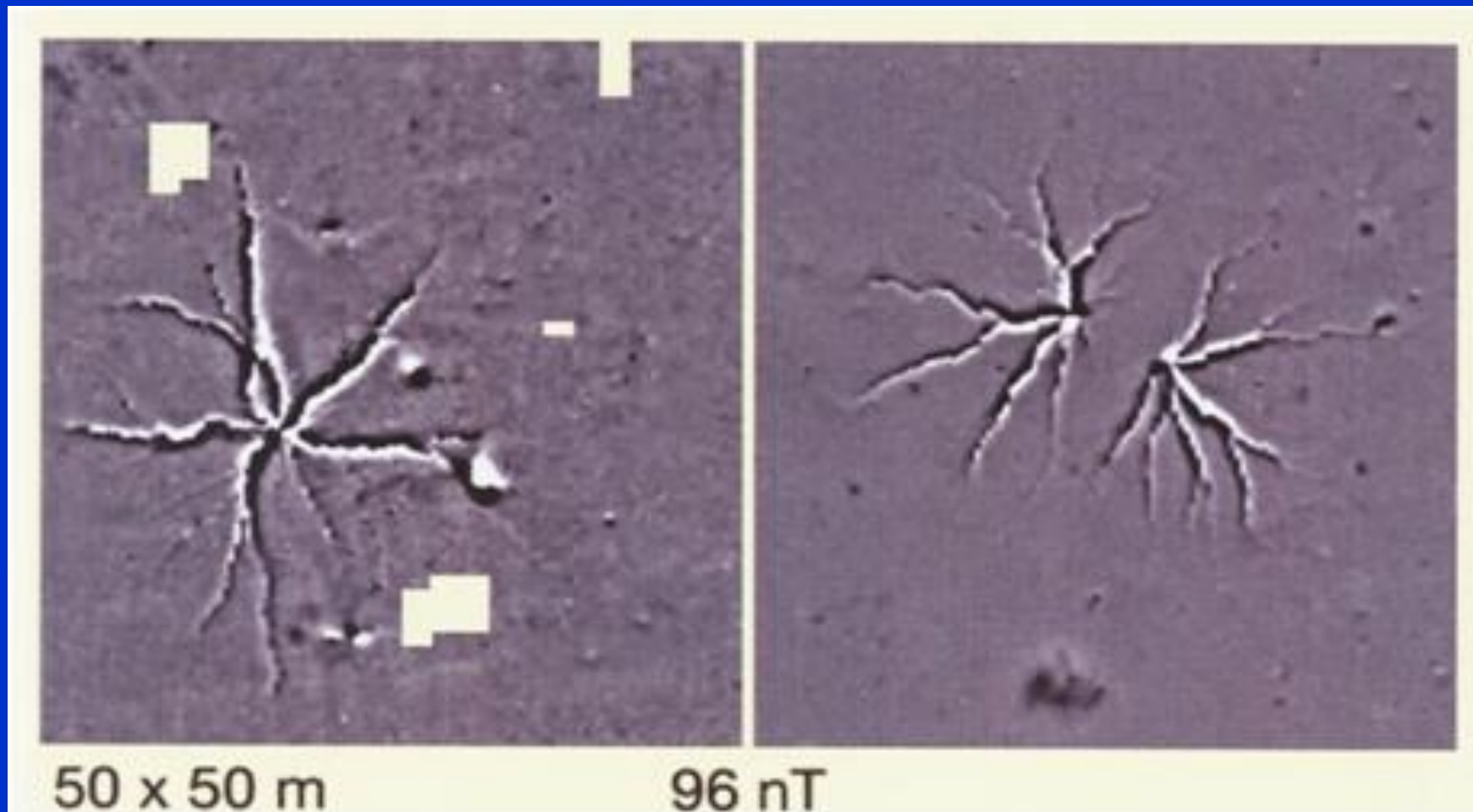
Príklad – mapovanie archeologických štruktúr vďaka rozdielnym magnetickým vlastnostiam použitých materiálov (aj napr. vďaka zvýšenej koncentrácii magnetických minerálov v humuse).

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!