

MAGNETOMETRIA

Základy aplikovanej geofyziky

**Katedra aplikovanej
a environmentálnej
geofyziky**



Kamil Rozimant

MAGNETOMETRIA

Úvod

Úvodné poznámky:

- ❖ Patria medzi najstaršie geofyzikálne metódy
- ❖ Magnetické pole slúžilo najprv na navigáciu
- ❖ Prvým magnetickým prístrojom bol kompas (využívaný Číňanmi už od r.2637 pred n.l.)
- ❖ Matematickú analýzu Zemského magnetického poľa (ZMP) vypracoval Gauss v r.1838
- ❖ Merania ZMP prebiehajú už od r.1540

MAGNETOMETRIA

Úvod

Aplikovaná magnetometria:

- ❖ Skúma prejav geologických aj antropogénnych objektov (s magnetickými vlastnosťami) v prirodzenom magnetickom poli Zeme
- ❖ Umožňuje vyhľadávať takéto objekty a získať informácie o ich vlastnostiach a úložných pomeroch
- ❖ Používa sa na riešenie rôznych geologických, inžinierskych a environmentálnych úloh

MAGNETOMETRIA

Základné jednotky

Sústava SI:

- ❖ Intenzita magnetického poľa – **H** (A/m)
- ❖ Indukcia magnetického poľa – **B** (T, μT , nT)
- ❖ Magnetizácia (m.polarizácia) – **M(J)** (T, A/m)
- ❖ Magnetická susceptibilita – κ (bezrozm)

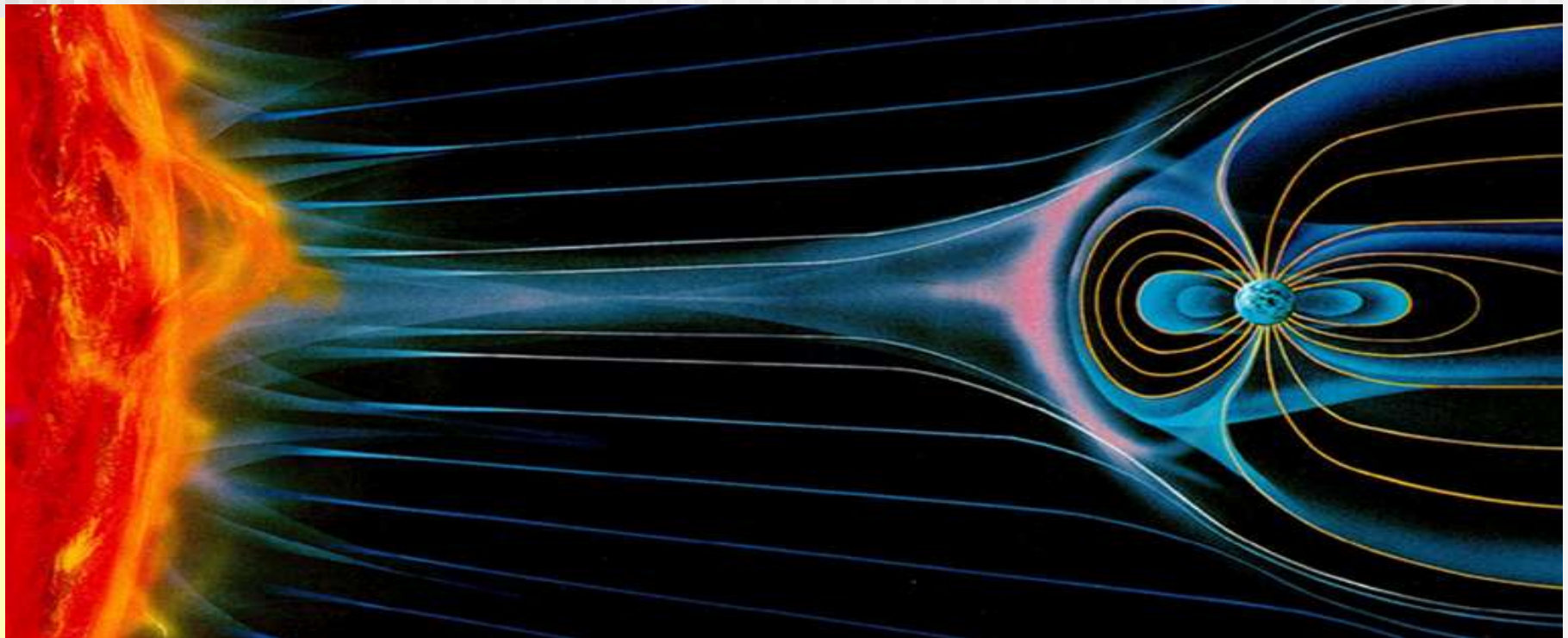
$$B = H + H' = (1 + 4\pi\kappa)H = \mu H$$

ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Vonkajšie vzťahy

ZMP - magnetosféra a vplyv Slnka

(schematické znázornenie)



ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Parametre

$$X = H \cos D$$

$$Y = H \sin D$$

$$Z = H \tan I$$

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

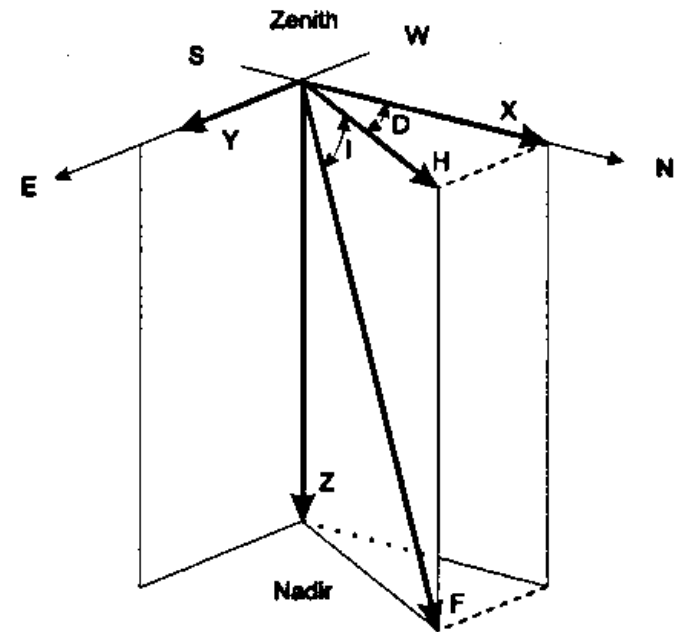
$$F = F \sin I$$

$$T = F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{H^2 + Z^2}$$

Totálny vektor **T**

Zložky **X, Y, Z** a **H**

Uhly – inklinácia **I**
deklinácia **D**



D - Declination
Y - East-West Component
I - Inclination
Z - Vertical Intensity
H - Horizontal Intensity
F - Total Intensity
X - North-South Component

N - Geographic North
S - South
E - East
W - West

Figure 1 - Geomagnetic Components

ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Parametre

Približná veľkosť základných zložiek ZMP:

	S pól	J pól	Rovník	SR	Šír. grad (rovn->S)
T (μ T)	~ 65	~ 65	~ 35	48	~ +3
Z (μ T)	~ 65	~ -65	0	43	~ +6
H (μ T)	0	0	~ 35	20	~ -3
I (°)	+90	-90	0	65	
D (°)	neurč	neur č	-20 až +10	2	

ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Sledovanie dynamiky

INTERMAGNET

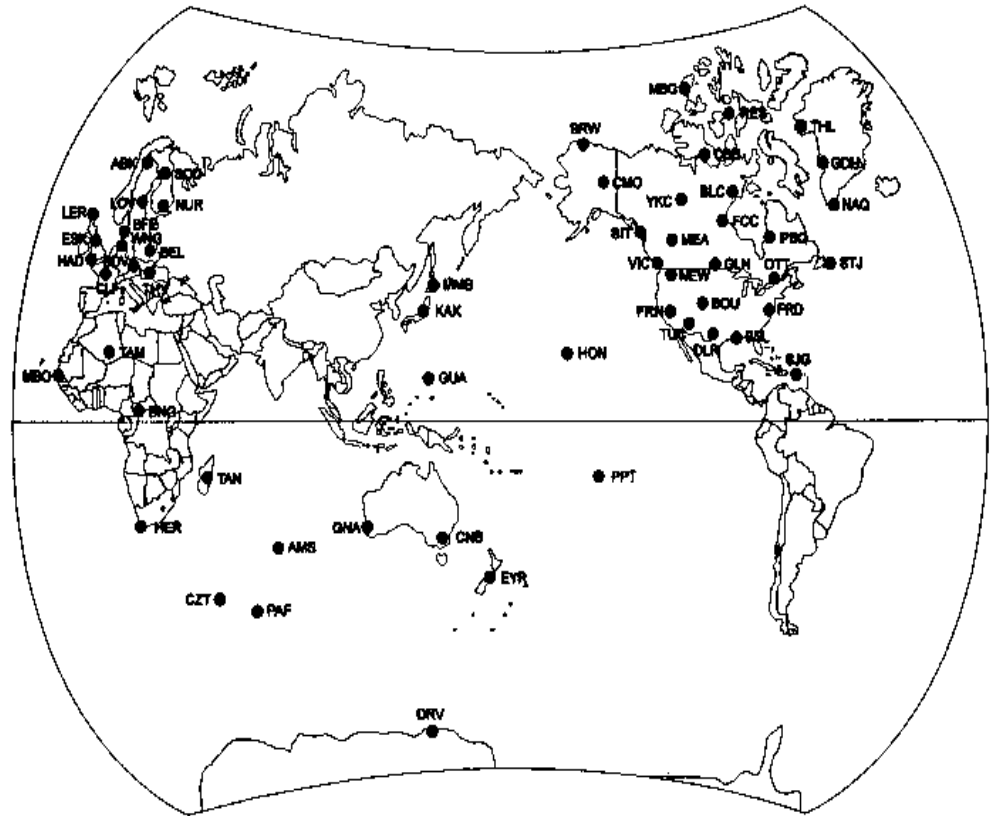
Sieť observatórií
(cca 70 z 250)

IGRF, WMM

Mat. modely hlavného
geomagnetického
poľa

IGRF 2005

zahŕňa aj sek. variácie
pre extrapoláciu na
roky 2005 - 2010



MAP OF OBSERVATORIES CONTRIBUTING TO 1994 CD-ROM

IGRF - International
Geomagnetic Reference Field

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (a/r)^{n+1} \left[g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi \right] \cdot P_n^m(\cos \theta)$$

ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Sledovanie dynamiky

Geomagnetické mapy

Znázorňujú rozloženie ZMP na povrchu Zeme k určitej epoche

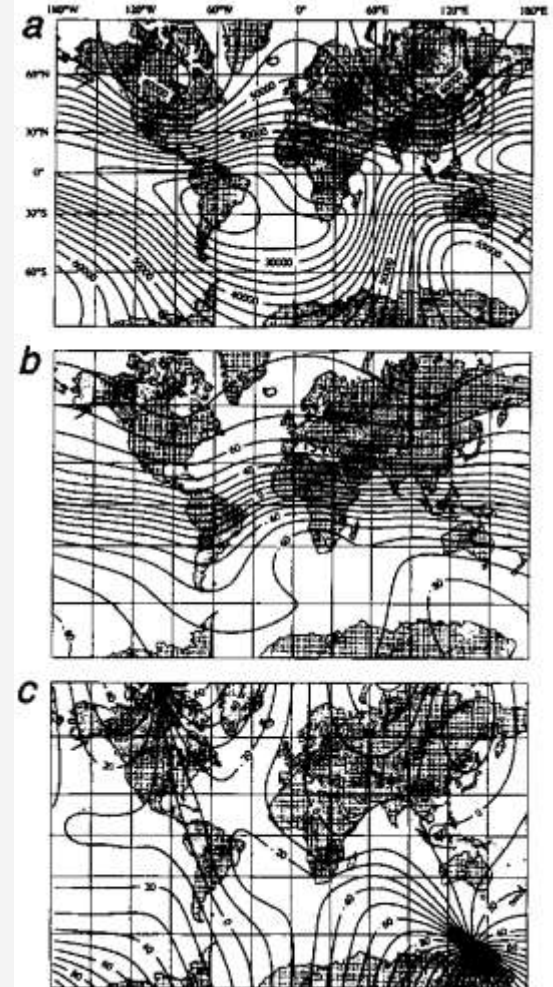
Poznáme:

Mapy izodynam (X,Y,Z,H,T) - > a

Mapy izoklín (I) - > b

Mapy izogon (D) - > c

Mapy izopór (zmien)

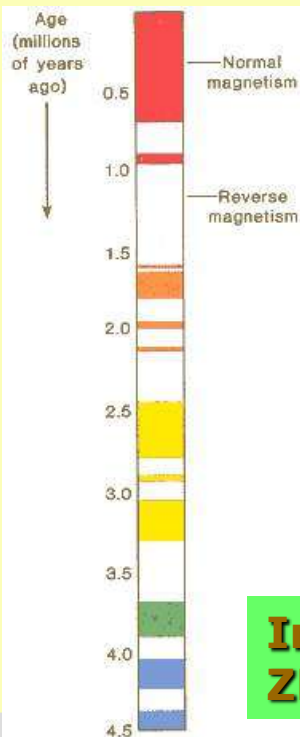


ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE

Časové zmeny

Variácie počas 3 dní:

- v našej zemepisnej šírke
- v oblasti rovníka



**Inverzia
ZMP**

**Sekulárne variácie
inklinácie a
deklinácie v oblasti
Londýna počas 400r**

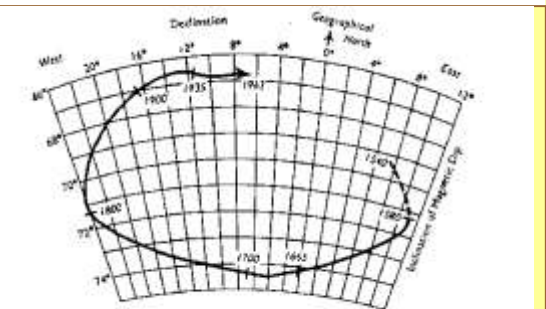
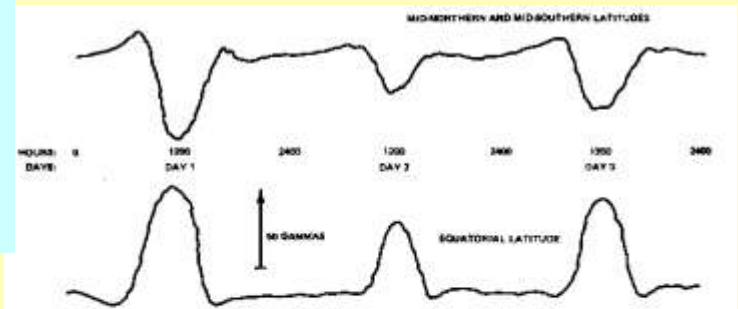
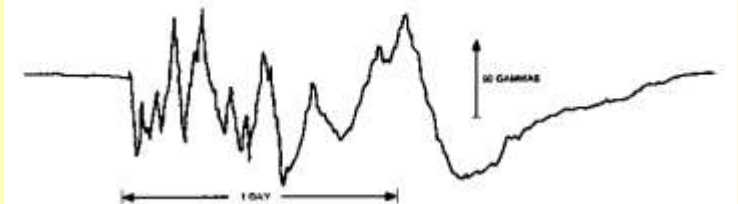


Figure 5.5 Time variation of the magnetic field observed at London, showing westward drift. (After Pomara 1961.)



Magnetická búrka

MAGNETICKÉ VLASTNOSTI

Úvod

Poznatky o **magnetických vlastnostiach** poskytujú podklady v rôznych fázach geofyzikálneho prieskumu:

- **Projektačnej**
- **Interpretačnej**
- **Detailnom riešení niektorých geologických úloh**

MAGNETICKÉ VLASTNOSTI Minerály

Minerály rozdělujeme podle
magnetických vlastností na 3
základné skupiny:

- **Diamagnetické**

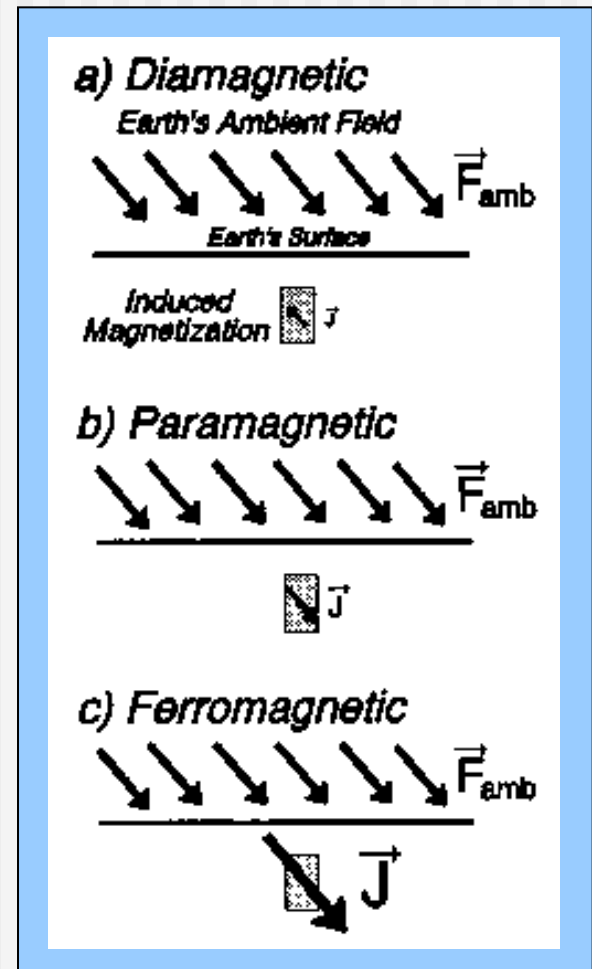
($H' \ll H$ opačný smer, $\kappa < 0$)

- **Paramagnetické**

($H' \approx H$ rovnaký smer, $\kappa > 0$)

- **Ferromagnetické**

($H' \gg H$ rovnaký smer, $\kappa \gg 0$)



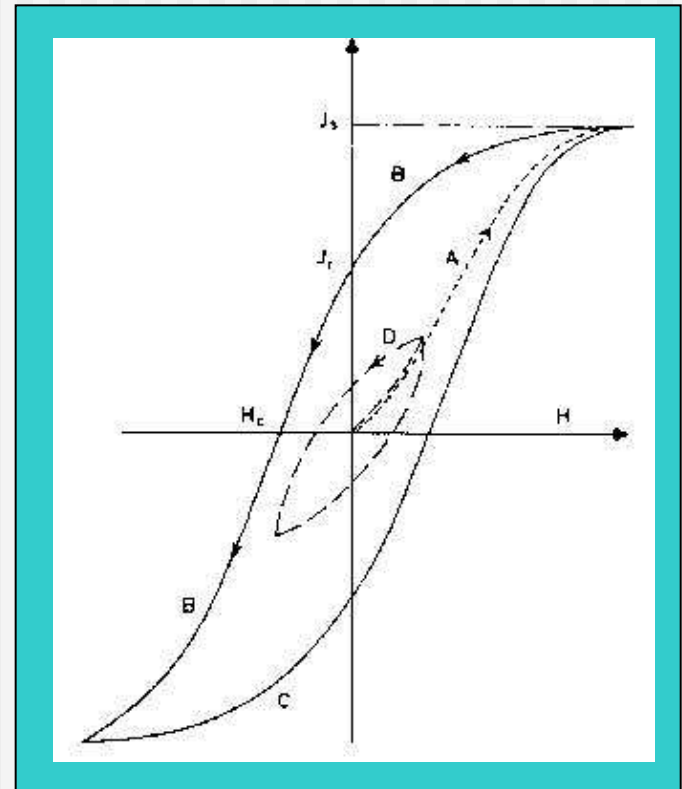
MAGNETICKÉ VLASTNOSTI Minerály

Feromagnetické m:

Minerály tejto skupiny majú určujúci vplyv na **magnetické vlastnosti** hornín. Dosahujú vysokú magnetizáciu (jej závislosť určuje **hysterézná krivka**)

Medzi najčastejšie zastúpené v horninách patria:

- **Magnetit** $\Rightarrow Fe_3O_4$
- **Maghemit**
- **Hematit**
- **Ilmenit**
- **Pyrotín**



MAGNETICKÉ VLASTNOSTI Horniny

Magn.susceptibilita hornín:

- závisí od zastúpenia jedn. magnetických minerálov a ich vlastností (veľkosť zŕn, rozptýlenie, a pod.)
- Pri určitej teplote (okolo 450 -700°C, tzv. **Curieho teplote**) feromagnetické minerály strácajú magnetické vlastnosti.

Najmenej magnetické sú **sedimentárne** horniny, najmä chemického pôvodu (najmä vápence)

Stredne magnetické sú **metamorfované** horniny, majú však najväčší rozptyl magn. vlastností

Najmagnetickejšie sú **magmatické** horniny, hlavne vulkanity (najmä gabrá)

MAGNETIZÁCIA ***všeobecne***

Def:

- ❖ **Schopnosť magnetických látok vytvoriť si vlastné magnetické pole**
- ❖ **Fyzikálna vlastnosť, ktorú mapujeme pri magnetickom prieskume**

MAGNETIZÁCIA

všeobecne

U geologických objektov závisí od:

- ❖ **Intenzity a smeru súčasného ZMP**
- ❖ **Intenzity a smeru ZMP v dobe vzniku hornín**
- ❖ **Magnetickej histórie hornín**
- ❖ **Magnetických vlastností hornín**
- ❖ **Tvaru a pretiahnutia anomálneho objektu**

(pri vyššej susceptibilite)

MAGNETIZÁCIA

typy

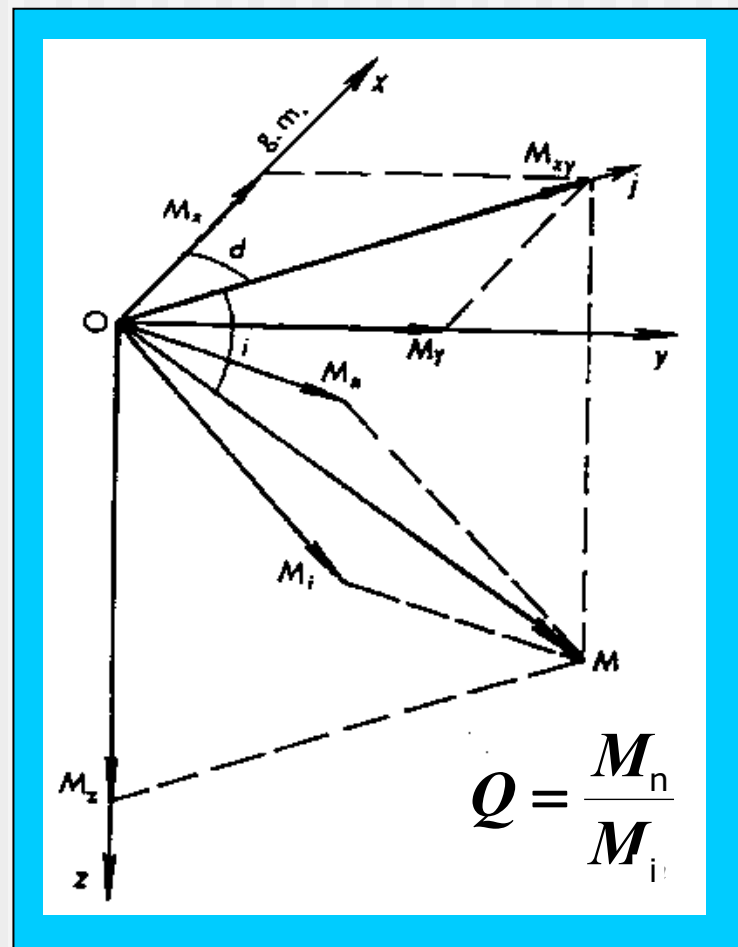
Vektor celkovej magnetizácie M :

- je zložený z 2 základných typov:

- **Indukovanej magnetizácie M_i**
(závisí od súčasného ZMP)
- **Remanentnej magnetizácie M_n**
(závisí od magnetickej histórie)

M_i je prítomný stále, M_n nemusí byť, pričom ich smer a veľkosť môžu byť značne odlišné.

Koeficient Q (až 100) udáva pomer remanentnej a indukovanej magnetizácie

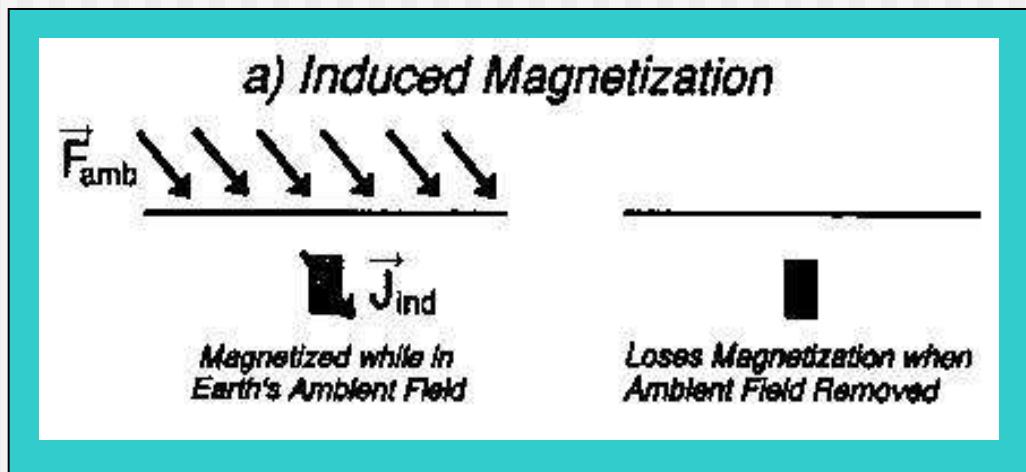


MAGNETIZÁCIA

typy

Indukovaná:

- Po zrušení vonkajšieho poľa sa stráca
- Je vytváraná súčasným ZMP
- Jej veľkosť a smer sú priamo úmerné vektoru $\mathbf{T}$
- Jej veľkosť je priamo úmerná magnetickej susceptibilite

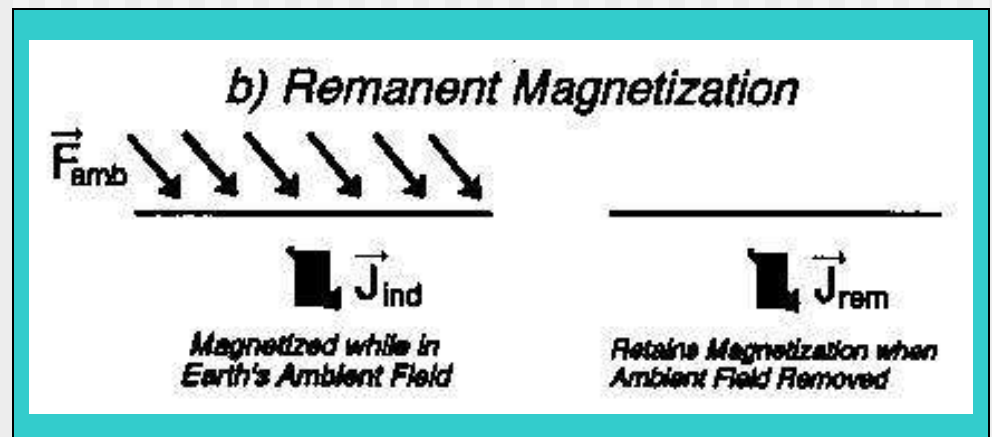


MAGNETIZÁCIA

typy

Remanentná:

- Predstavuje **permanentnú** magnetizáciu nezávislú od súčasného ZMP
- Je závislá od ZMP pri vzniku horniny a v dávnych epochách, kedy sa formovala jej magnetická história
- Po zrušení vonkajšieho poľa sa zachováva



MAGNETIZÁCIA

typy

Základné typy remanentnej magnetizácie:

■ Termoremanentná

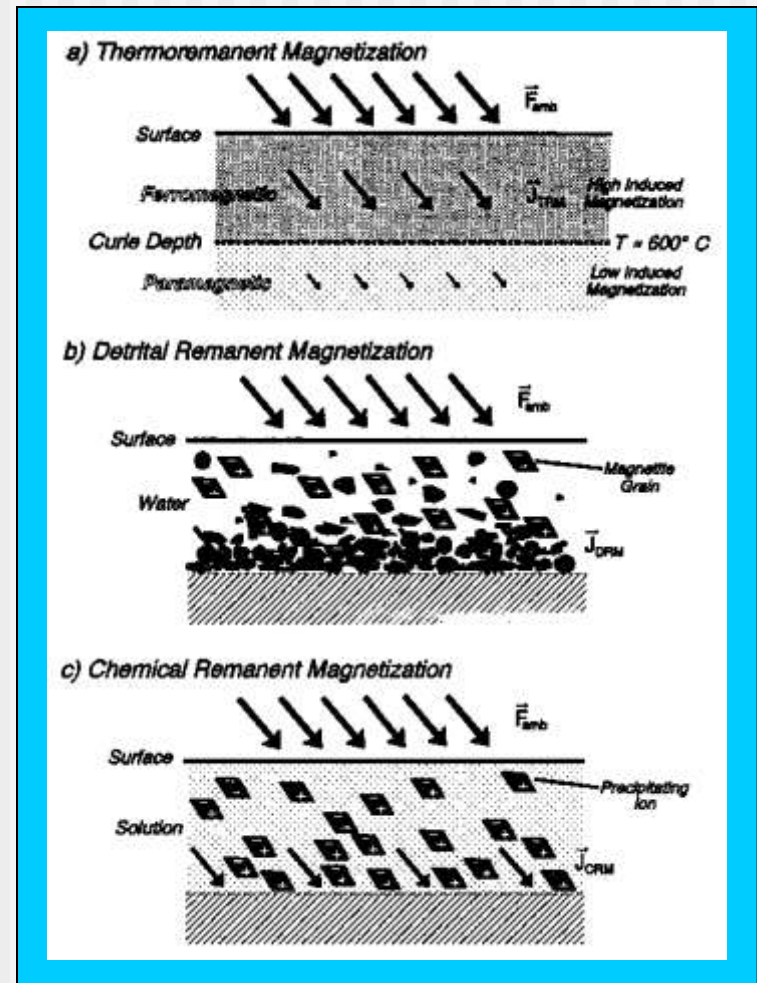
(pri chladnutí s
teploty $> T_C$, najstabilnejšia)

■ Detritická

(pri sedimentácii v ZMP)

■ Chemická

(najmä pri kryštalizácii a
premenách min.)



MAGNETICKÉ ANOMÁLIE

Ovplyvňujúce faktory

Anomálny magnetický prejav

závisí najmä na:

1. Zemepisnej šírke
2. Magnetických vlastnostiach
3. Hĺbke uloženia a rozmeroch telesa
4. Tvare telesa a orientácii jeho dlhšej osi
5. Orientácii interpretačného profilu

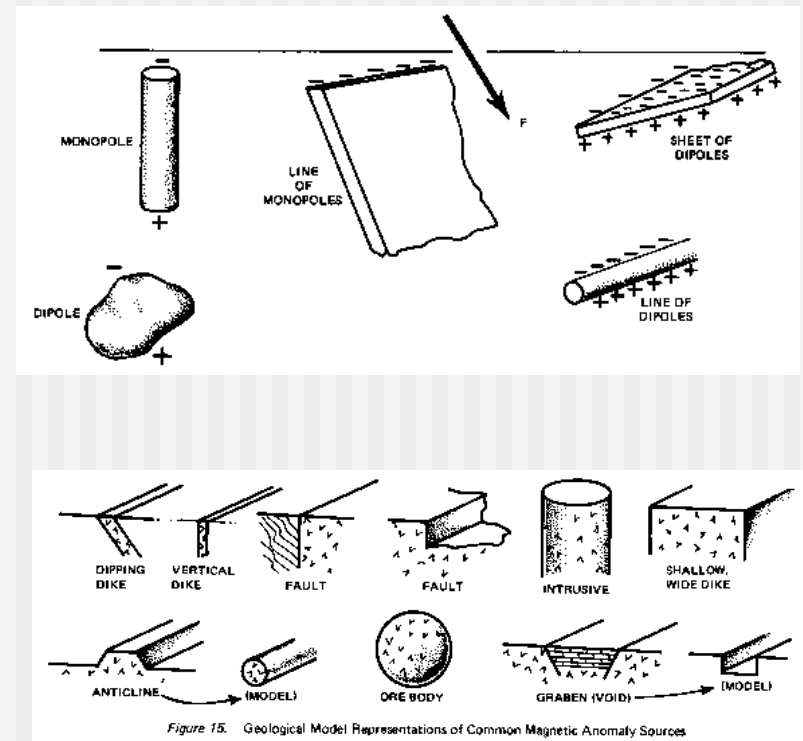


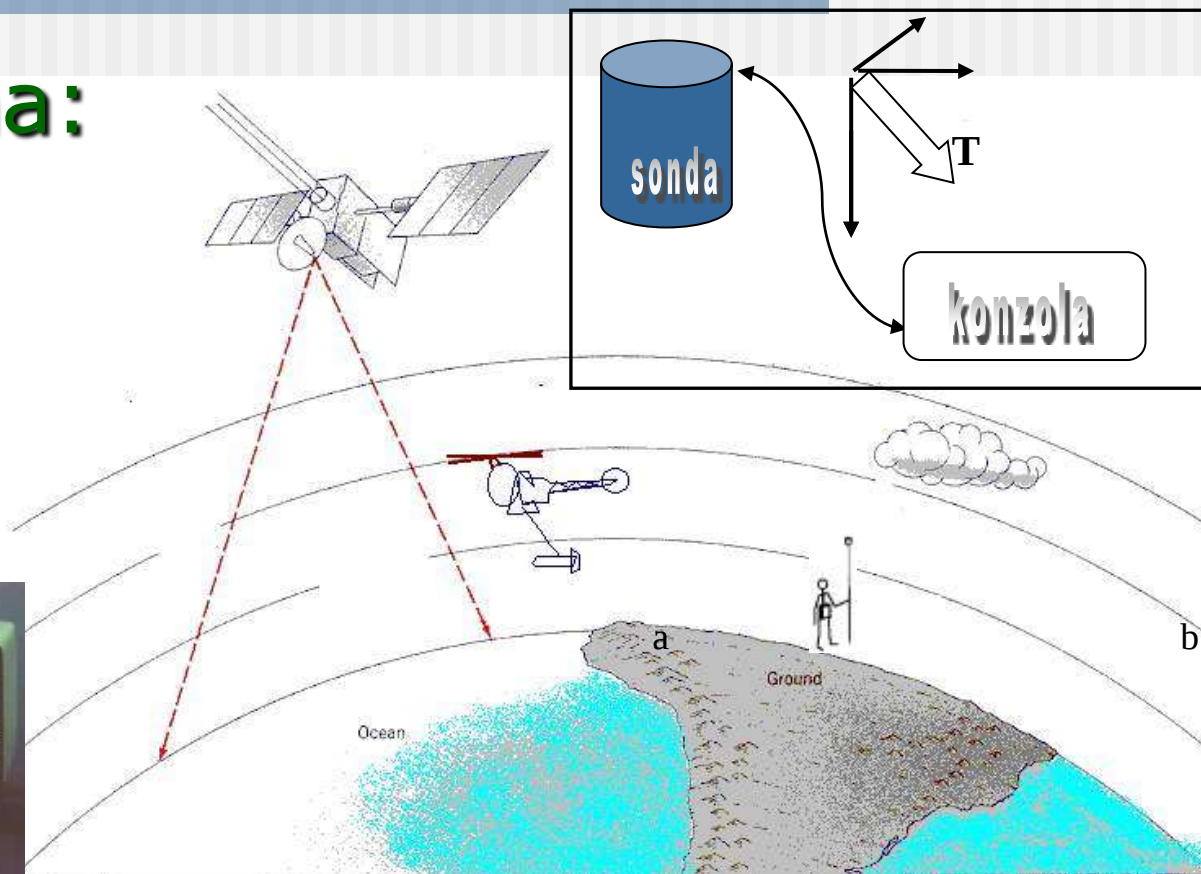
Figure 15. Geological Model Representations of Common Magnetic Anomaly Sources

TERÉNNE MERANIA

Rozdelenie

Delíme ich na:

- Pozemné
- Letecké (aj satelitné)
- Morské



TERÉNNÉ MERANIA

Pozemné

V teréne najčastejšie meriame:

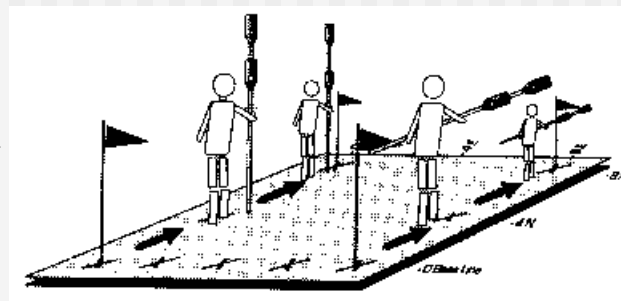
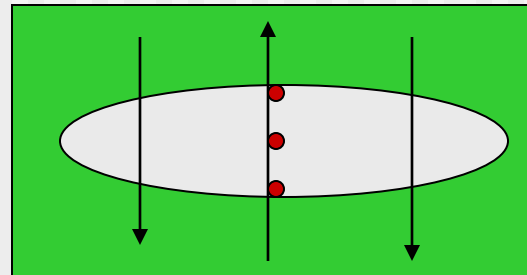
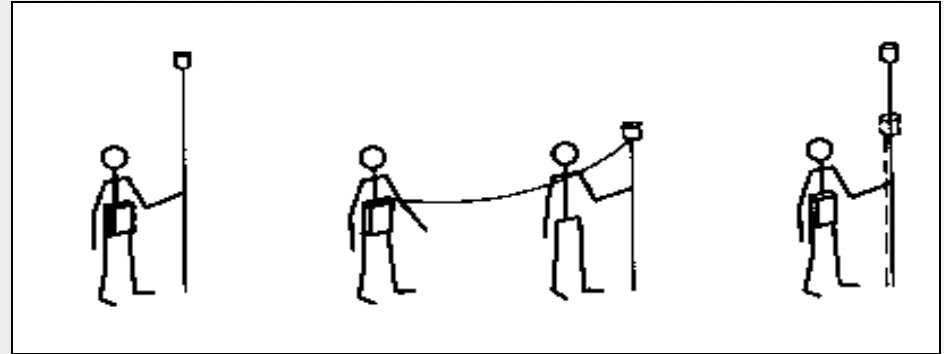
- Veľkosť hodnoty vektora T (**sólové m.**)
- Rozdiel hodnôt vektora T v rôznych bodoch (**gradientové m.** – horizontálne, vertikálne)

Poznáme merania:

Plošné (nepravidelné, veľké mierky – mapovanie, regionálny prieskum)

Profilové (rôzne mierky)

Mikromagnetické (plošné v pravidelnej sieti, malé mierky environmentálne problémy)



TERÉNNÉ MERANIA

Spracovanie

Prvotné spracovanie **obsahuje:**

- Opravu na denné variácie
- Prípadné ďalšie opravy
(šírkový resp. výškový
gradient, umelé poruchy)

Výsledky sa zobrazia vo forme
profilov alebo **plošných**
máp.

INTERPRETÁCIA

Rozdelenie

Základné fázy:

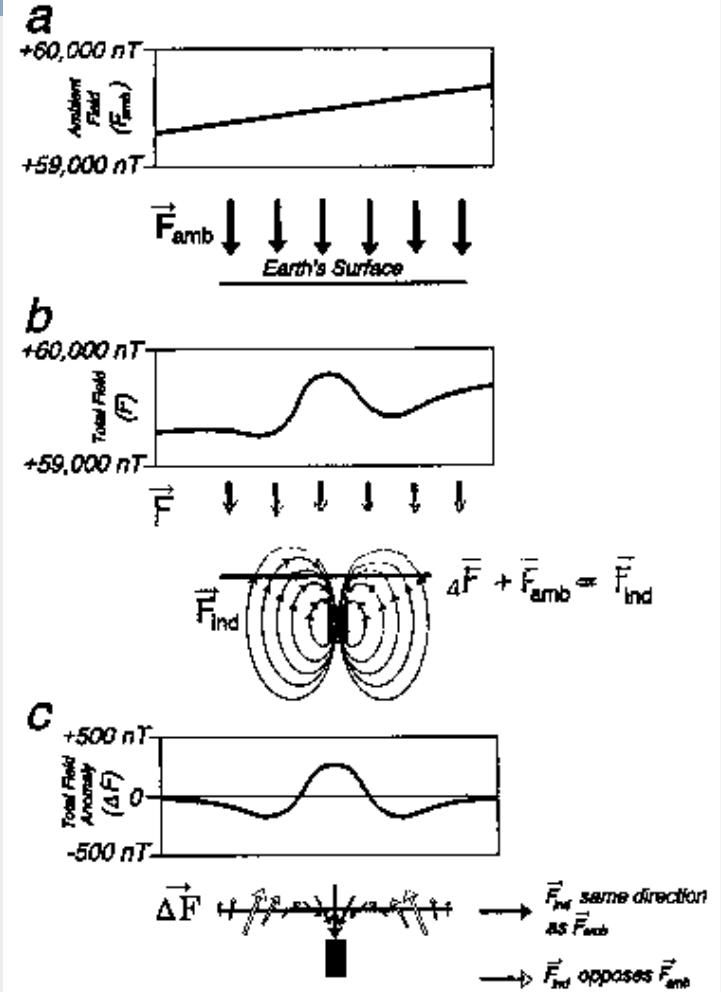
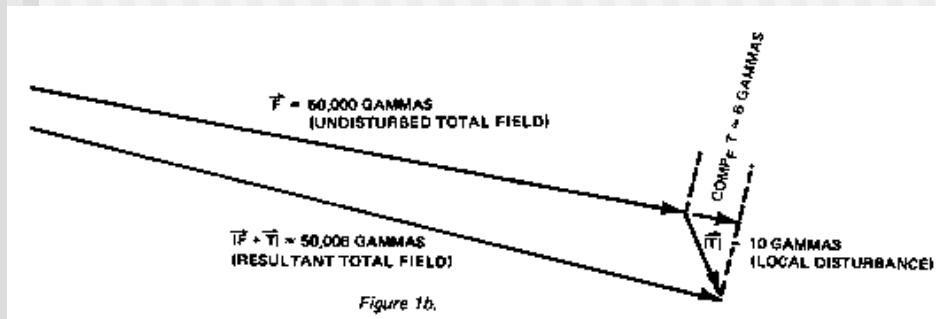
- Kvalitatívna (analýza profilov a máp, ich ďalšie spracovanie, a pod.)
- Kvantitatívna (určenie parametrov anomálneho telesa vhodnej formy)

INTERPRETÁCIA

Kvantitatívna

Pred kvantitatívnou interpretáciou:

Je potrebné odstrániť rádovo väčšie, normálne pole T_n .



INTERPRETÁCIA

Kvantitatívna

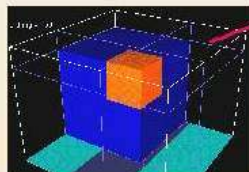
Kvantitatívna interpretácia má dve formy:

- Priamu úlohu – forward modeling
- Obrátenú úlohu – inverse modeling

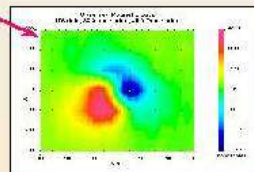
The forward problem:

Given a susceptibility distribution κ_j $j = 1, M$
calculate the data b_i $i = 1, N$

$$b_i = \sum_{j=1}^M G_{ij} \kappa_j \quad \text{or in matrix form:} \quad \vec{b} = G \vec{\kappa}$$



Calculate ...

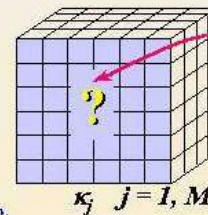


The inverse problem

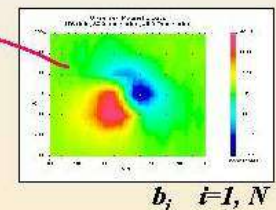
Given the data b_i , $i = 1, N$

find the susceptibilities κ_j , $j = 1, M$

such that $b_i = \sum_j G_{ij} \kappa_j$



Invert



b_i $i = 1, N$

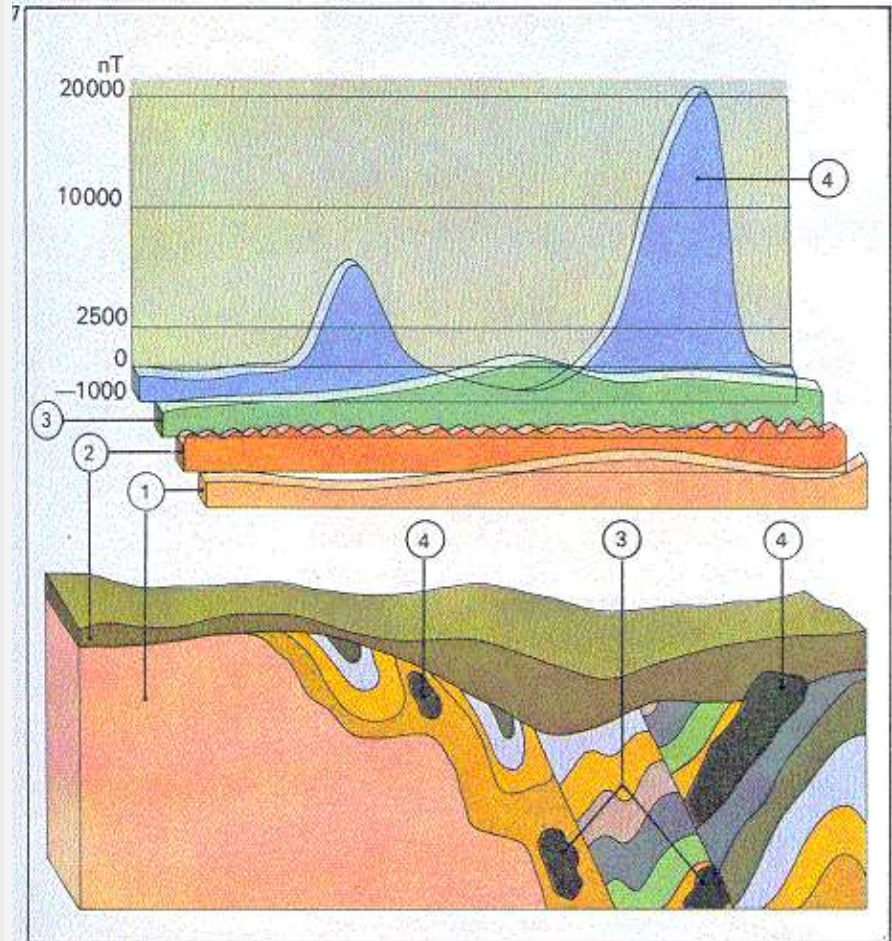
POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Prejavy geologických štruktúr

Prejav rôznych typov štruktúr:

Inak sa prejavujú na povrchu hlbšie uložené a rozsiahlejšie štruktúry, ako plytšie uložené, menšie telesá.

Niekedy ich označujeme ako **regionálne a lokálne** zdroje



POUŽITIE MAGNETOMETRIE

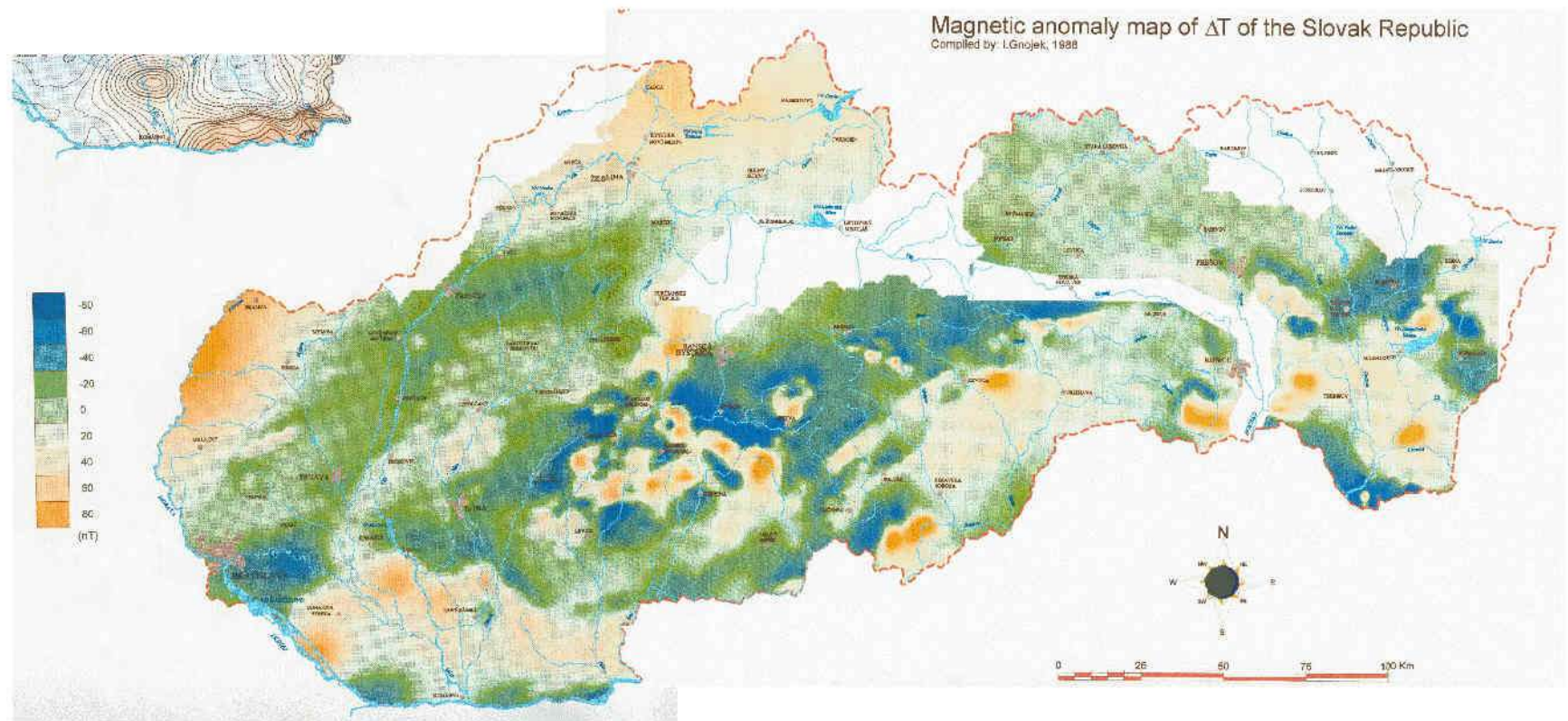
Oblasti použitia

Medzi základné patria:

- Geologické mapovanie
- Ložiskový prieskum
- Štruktúrno-geologický prieskum
- Magnetostratigrafia
- Inžinierska geológia
- Hydrogeológia
- Environmentálny geológia
- Geotechnika
- Skládky
- Pyrotechnický prieskum
- Archeológia
- Stavbárstvo
- Poľnohospodárstvo a iné

POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Mapa magnetických anomálií SR

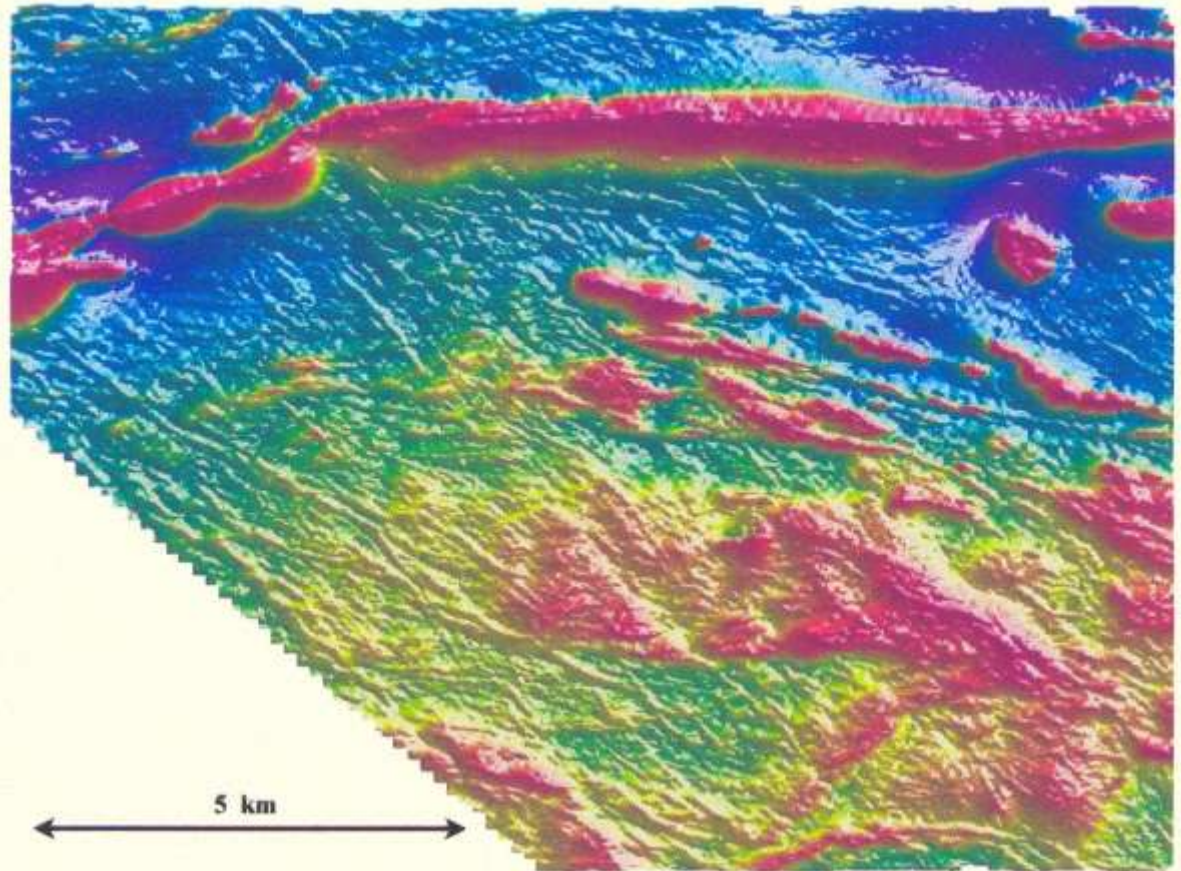


POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Štruktúrna problematika

**Letecké
meranie**

25m nad
povrchom

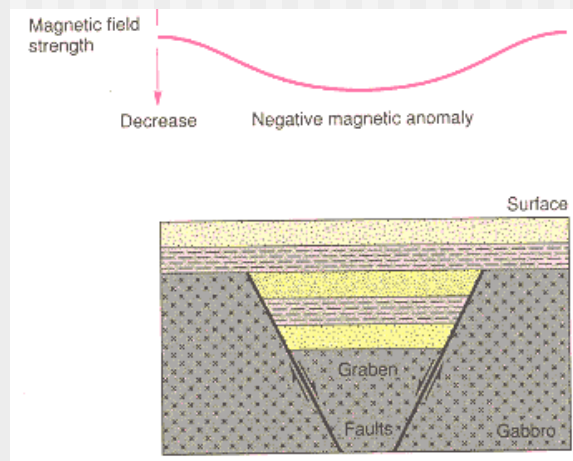


POUŽITIE MAGNETOMETRIE

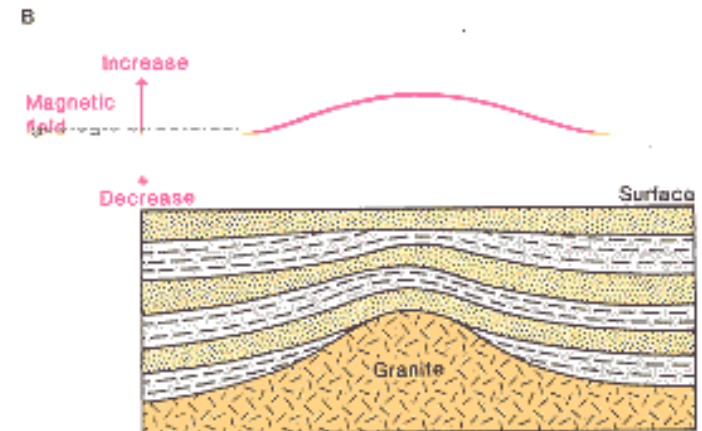
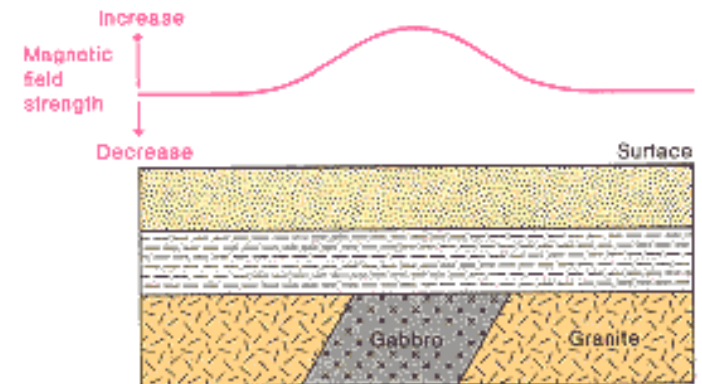
Štruktúrna problematika

- Magnetické anomálie môžu byť prejavom skrytých základných geologických štruktúr

Záporná anomália



Kladné anomálie



POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Ložiskové problematika

■ Najmä vyhládávanie a štúdium rudných ložísk

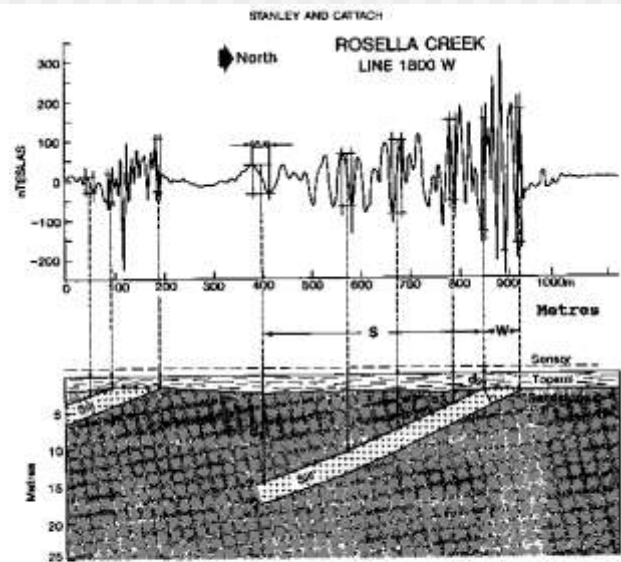
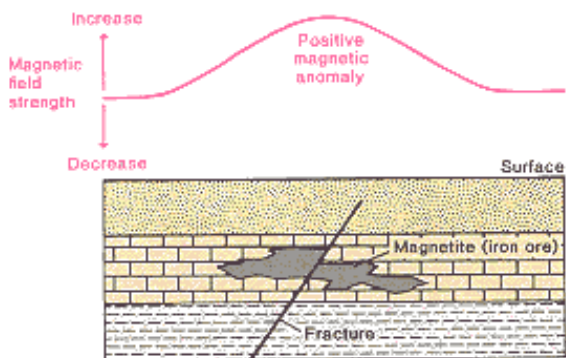


FIGURE 4
A high-definition magnetic profile recorded over a shallow dipping basalt sill. The characteristics of the profile can be predicted mathematically from a model that assumes that the top surface of the intrusive body exhibits a white magnetic spectrum. As the depth to the sill increases down dip, the high frequencies are progressively attenuated from the profile as a result of low-pass filtering. Thus, the amplitude of the magnetic profile decreases down dip and the attenuation of the high frequencies becomes obvious. The depth d , to the sill may be calculated from the distance $2L$ between adjacent maxima and minima at the edge of the waveform envelope, divided by twice the tangent of the local magnetic inclination. The geological cross-section was drawn from information from nearby drilling.

Ložisko chromitov

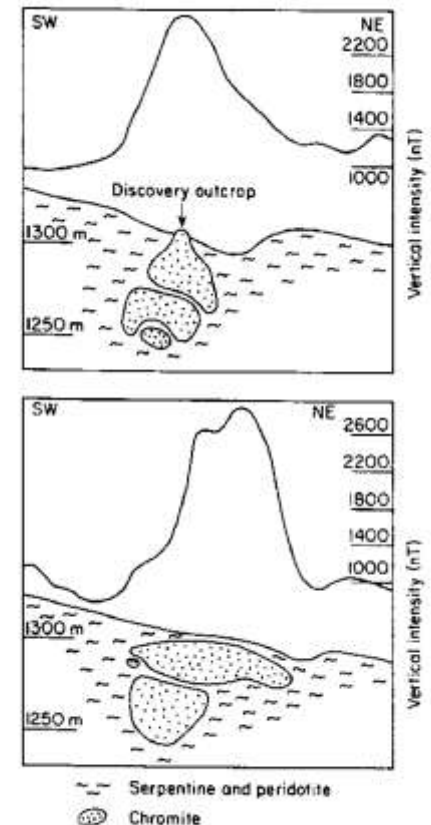
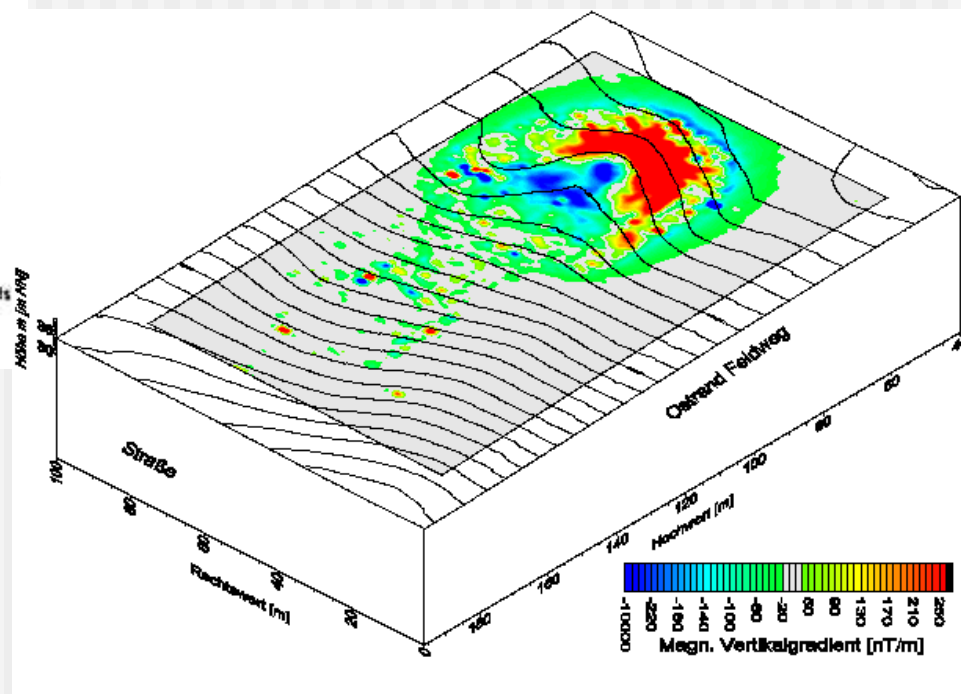
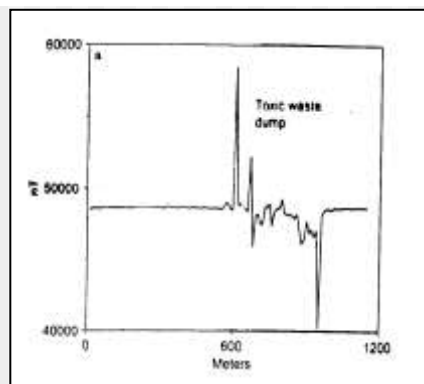
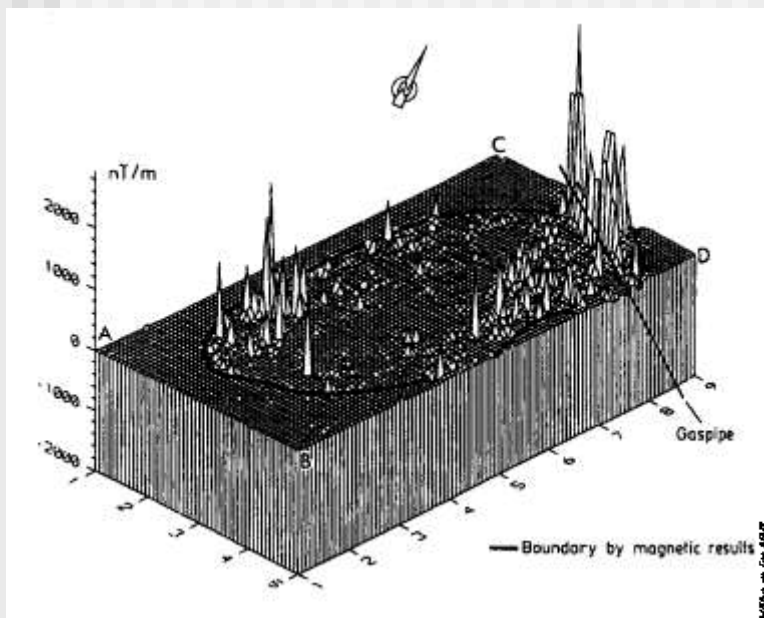


Fig. 2.25 ΔB_t profiles across chromite masses. After [16].

POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Environmentálna problematika

Ohraničenie oblasti a
lokalizácia Fe predmetov



POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Environmentálna problematika

- Mapovanie susceptibility (kontaminácia pôdy ťažkými kovmi)

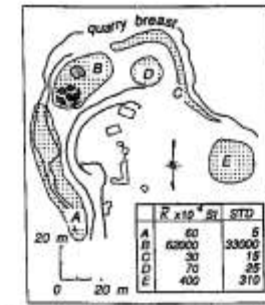


Fig.2 - Upper quarry: distribution map of the susceptibility classes.

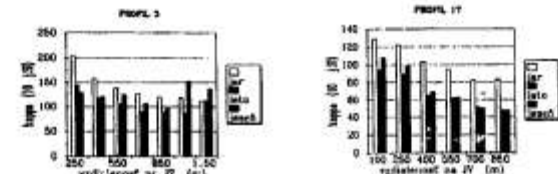
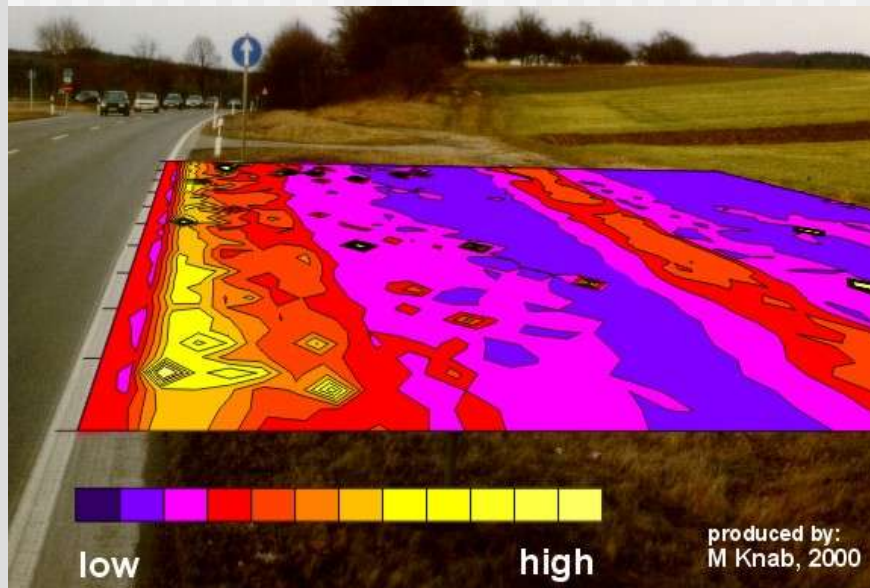


Fig. 3. Changes of magnetic susceptibility values with distance in various locations.

TABLE 1. Logging parameters in different borehole environments

	Unconsolidated	Consolidated	Plastic	Steel
Nuclear				
Gamma-ray	X	X	X	X
Gamma-ray density	X	X	X	X
Neutron-neutron	X	X	X	X
Electrical				
Self potential (SP)		X		
Resistivity		X		
Induced polarization (IP)		X		
Inductive conductivity	X	X	X	
Seismic velocity		X		
Acoustic televiewer		X		
Temperature		X	X	X
Magnetic susceptibility	X	X	X	
Borehole magnetometer	X	X	X	
Geophysical methods		X		
Caliper	X	X		

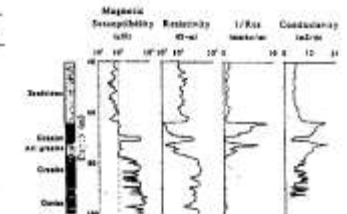


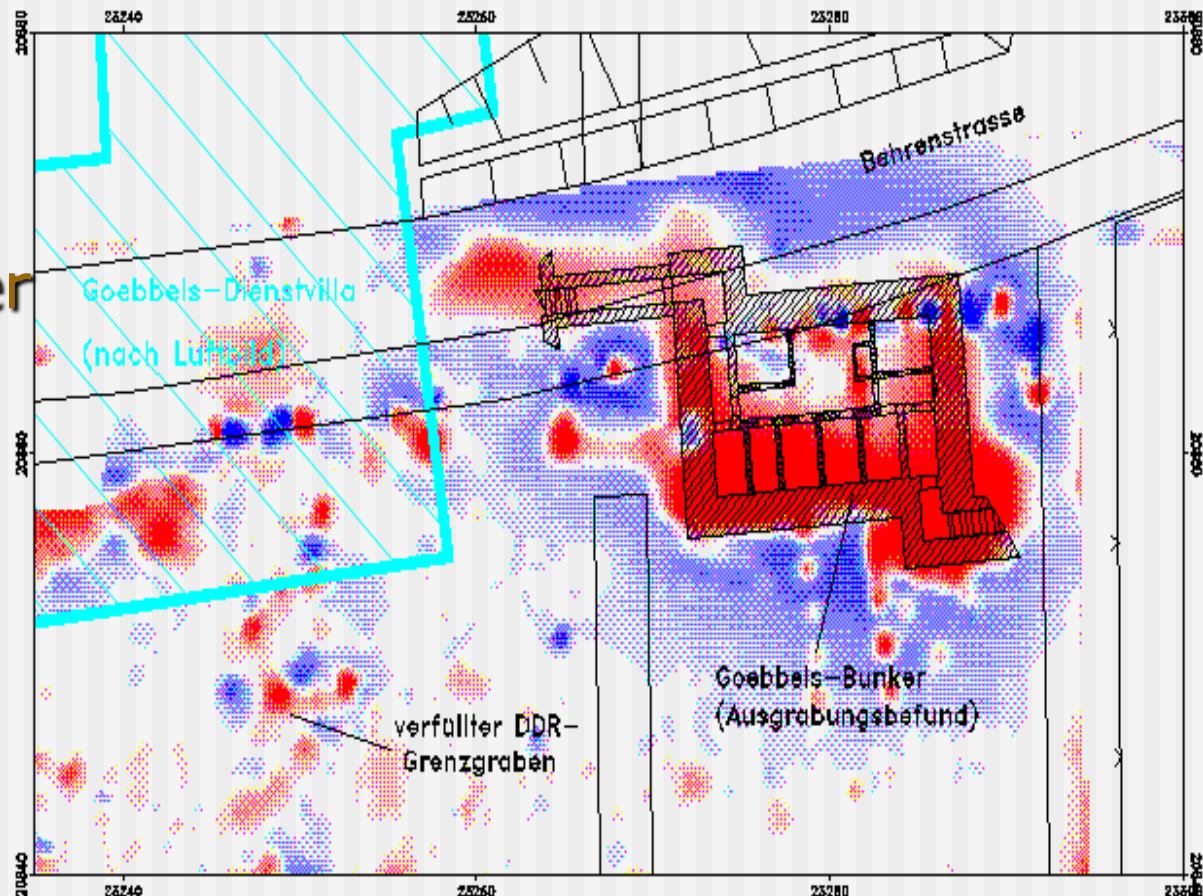
FIGURE 3. Magnetic susceptibility, resistivity, and inductive conductivity logs recorded in Borehole hole BC-412. Low-susceptibility zones that indicate fractured and altered rock correlate well with electrical logs.

POUŽITIE MAGNETOMETRIE

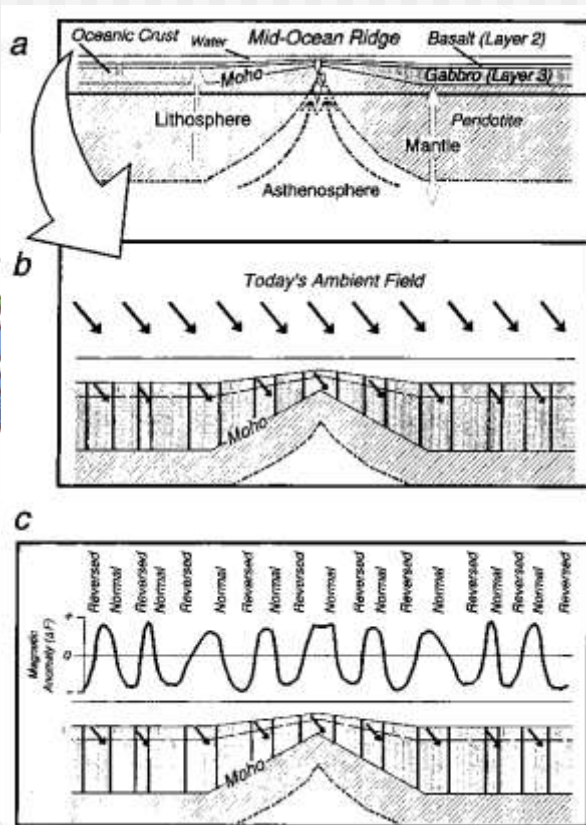
Environmentálna problematika

Mapovanie
akumulácií Fe
predmetov

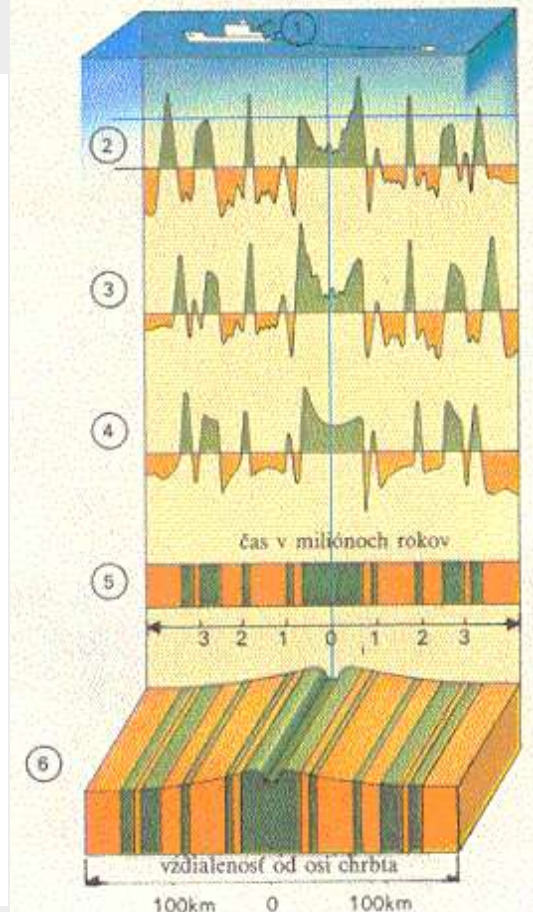
Goebelsov bunker
- Berlín



Oceánske rifty



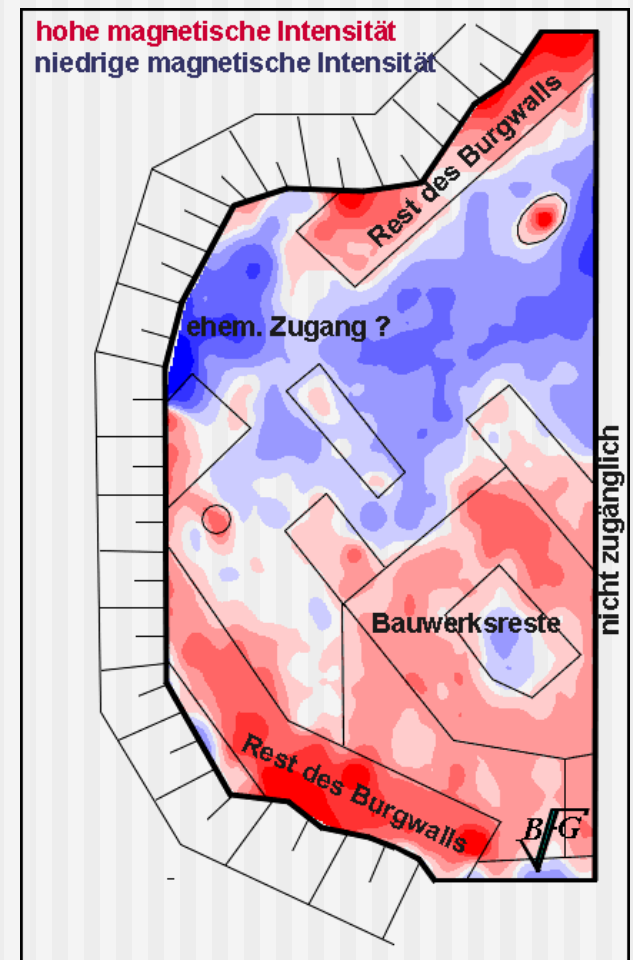
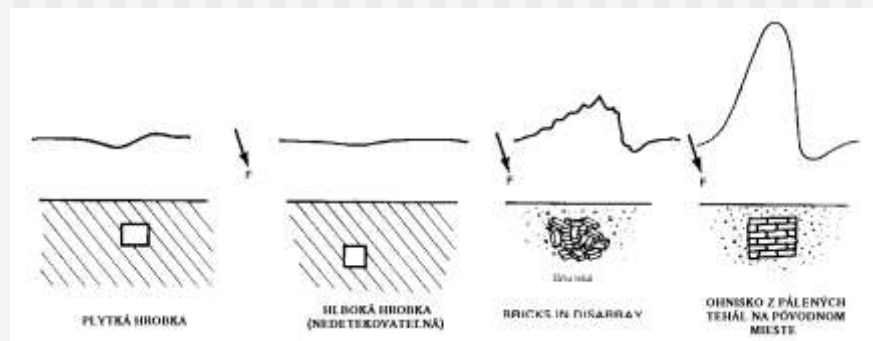
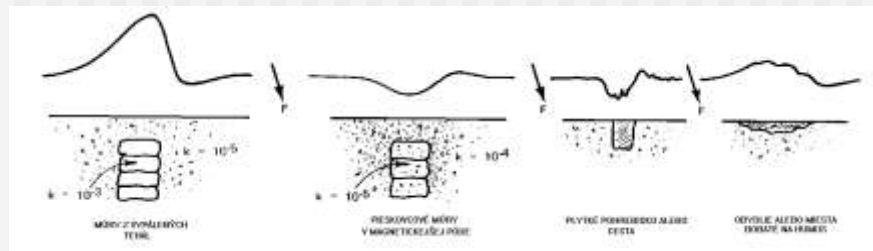
Correlation of magnetic anomalies with magnetic reversals allows anomalies to be dated. Magnetic anomalies can therefore be used to predict the age of the sea floor and to measure the rate of sea-floor spreading.



POUŽITIE MAGNETOMETRIE

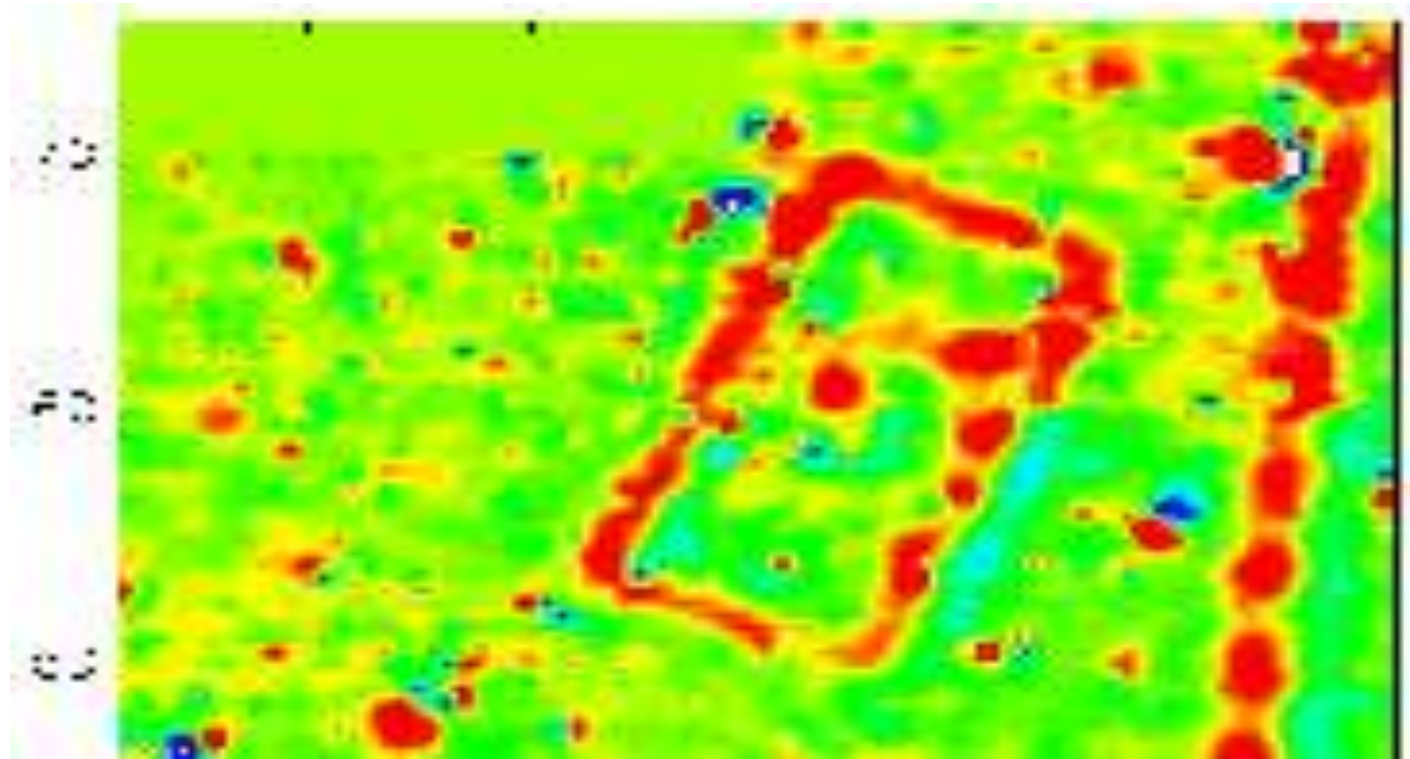
Archeológia

Možnosti mapovania zbytkov osídlenia



POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Archeológia



POUŽITIE MAGNETOMETRIE

Kozmické počasie - Space weather

