

## Kapitola 3

# Magnetometria

3.1 POUŽÍVANÉ JEDNOTKY .....	3-1
3.2 ZEMSKÉ MAGNETICKÉ POLE .....	3-2
3.2.1 Zmeny ZMP.....	3-3
3.2.1.1 Sekulárne variácie a observatóriá.....	3-3
3.2.1.2 Denné variácie .....	3-3
3.2.1.3 Magnetické búrky.....	3-4
3.3 MAGNETICKÉ VLASTNOSTI HORNÍN .....	3-4
3.3.1 Indukovaná magnetizácia.....	3-4
3.3.1.1 Diamagnetizmus.....	3-4
3.3.1.2 Paramagnetizmus .....	3-4
3.3.1.3 Feromagnetizmus .....	3-4
3.3.2 Magnetická susceptibilita hornín.....	3-5
3.3.3 Remanentná magnetizácia.....	3-5
3.4 MAGNETICKÉ EFEKTY TELES JEDNODUCHÝCH TVAROV .....	3-6
3.5 MAGNETICKÉ PRÍSTROJE .....	3-7
3.6 TERÉNNE MAGNETICKÉ MERANIA.....	3-7
3.7 SPRACOVANIE MAGNETICKÝCH MERANÍ.....	3-8
3.8 INTERPRETÁCIA MAGNETICKÝCH MERANÍ .....	3-8
3.9 VYUŽITIE MAGNETOMETRIE .....	3-9
3.10 PALEOMAGNETIZMUS A ARCHEOMAGNETIZMUS.....	3-10
3.11 Literatúra .....	3-11

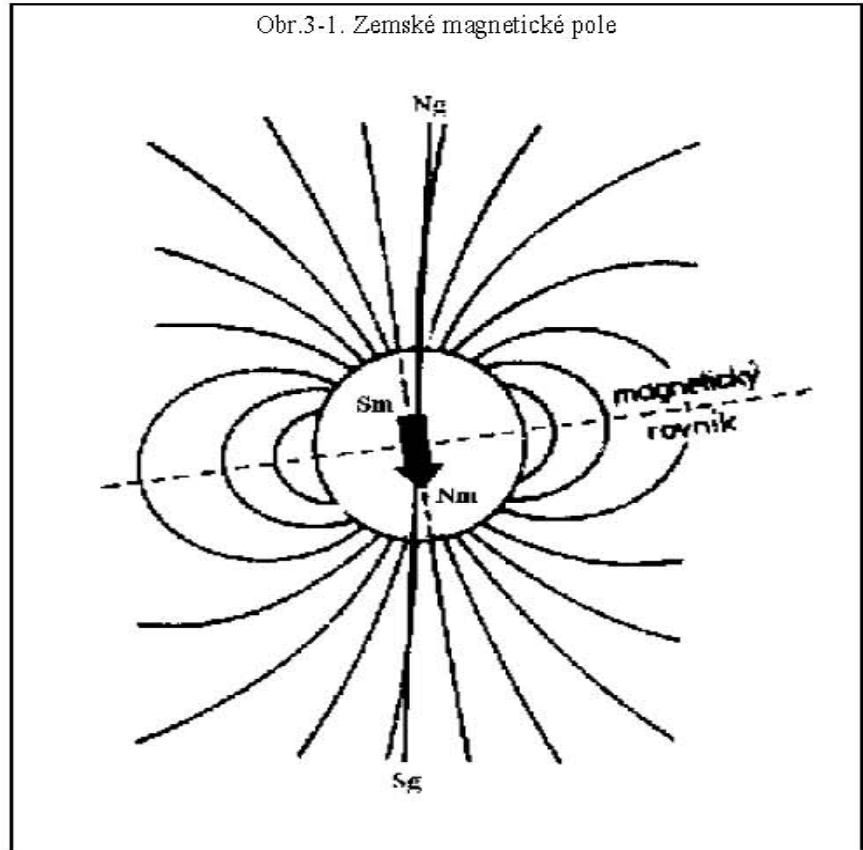
Magnetometria predstavuje jednu z najefektívnejších geofyzikálnych metód skúmajúcich prirodzené geofyzikálne polia, menovite stacionárne magnetické pole Zeme a jeho využitie pre rôzne praktické účely. V aplikovanej geofyzike sú to najmä riešenie rôznych geologických, inžinierskych, environmentálnych a iných úloh. Magnetometria patrí k najstarším geofyzikálnym metódam, ktoré začali magnetické pole Zeme používať najprv pre navigáciu, ďalej aj v geológii (napr. pre vyhľadávanie ložísk, najmä železnorudných). Už dávno sa zistilo, že voľne pohyblivá železná magnetka vždy zaujme rovnakú polohu voči svetovým stranám. Ukázalo sa, že príčinou je orientácia globálneho stacionárneho zemského magnetického poľa (ZMP), ktorého prejavy sú pozorovateľné na zemskom povrchu, ako aj do určitej vzdialenosti od neho. Aplikovaný magnetický prieskum sa zameriava hlavne na povrchové magnetické merania, merania nad zemským povrchom však poskytujú cenné informácie prispievajúce k štúdiu rozloženia a dynamiky geomagnetického poľa z globálneho hľadiska a merania magnetických vlastností na laboratórnych vzorkách môžu poslúžiť k interpretácii magnetických anomálií ako aj k štúdiu geomagnetických zmien v dávnej geologickej minulosti.

### 3.1 Používané jednotky

Pre posúdenie magnetických vlastností hornín sa používa magnetická susceptibilita, ktorá je v sústave SI bezrozmerná. Schopnosť hornín magnetizovať sa, ako aj magnetická indukcia na povrchu zemského telesa sa vyjadrujú v Teslách resp. ich menších mikro a nano násobkoch.

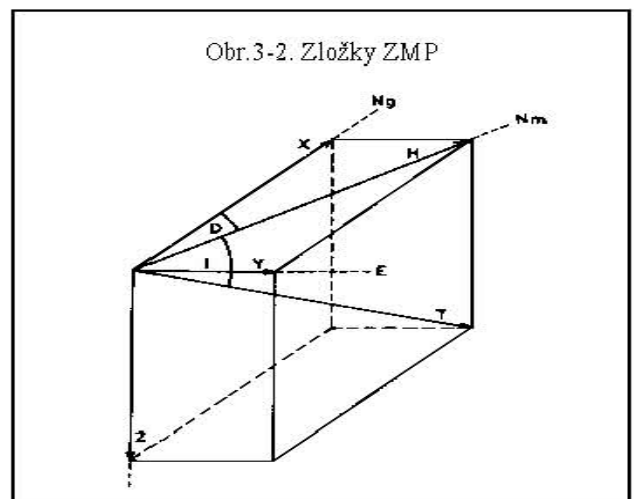
### 3.2 Zemské magnetické pole

Tvar Zemského magnetického poľa (ZMP) je podobný tvaru poľa tyčového magnetu (fiktívne umiestneného v strede zemského telesa) s osou orientovanou približne v smere osi rotácie Zeme (s odklonom cca  $11^\circ$  - Obr.3-1). Intenzitu ZMP v danom bode na povrchu Zeme predstavuje totálny vektor  $T$  s určitou amplitúdou a orientáciou. V pravouhlom súradnom systéme orientovanom tak, že rovina  $XY$  je dotyčnicová k Zemskému povrchu a os  $Z$  k nemu kolmá, je možné totálny vektor ZMP rozložiť na príslušné zložky. Uhol  $I$  (inklinácia) a  $D$  (deklinácia) popisujú lokálnu orientáciu totálneho vektora (Obr.3-2).



Na toto hlavné tzv. dipólové pole sa superponujú kontinentálne anomálie rozkladajúce sa na veľkých plochách svetadielov. Spolu s anomáliami, ktoré vyvolávajú rôzne akumulácie magnetických hornín vo vrchných častiach zemskej kôry tieto predstavujú pomerne zložité výsledné magnetické pole na zemskom povrchu. Na vysvetlenie príčiny existencie a udržiavania ZMP bolo vypracovaných viacero teórií, ktoré pomerne uspokojivo vysvetľujú javy súvisiace s jeho prejavmi, ale s určitosťou sa potvrdiť nedajú. Ich základom sú tzv. magnetohydrodynamické pochody prebiehajúce vo vnútri zemského telesa.

ZMP je v kozmickom priestore jednak ovplyvňované kozmickým magnetickým poľom, ale najmä procesmi, ktoré prebiehajú na Slnku. Vplyv slnečnej činnosti a jeho polohy voči Zemi sa prejavuje pôsobením častíc tzv. slnečného vetra, čo sú elementárne častice neustále vystupujúce zo slnečného povrchu a prúdiace do okolitého kozmického priestoru. Častice slnečného vetra sú často elektricky nabité (ióny) a teda sú zachytávané magnetickým poľom zeme a pohybujú sa pozdĺž jeho siločiar. V blízkosti pólu, kde sa siločiar zhrubujú, dochádza k svetielkovaniu (vzniká polárna žiara).



Intenzita ZMP v oblasti Slovenska sa pohybuje okolo 47000 nT, najväčšia hodnota je v oblasti magnetických pólov asi 62000 nT, najmenšia v okolí rovníka, asi 23000 nT (Tab.3-1). Denné variácie spôsobujú zmeny intenzity v jednotkách až desiatkach nT, magnetické búrky v stovkách nT, anomálie vyvolané zmenou obsahu magnetických minerálov v geologických telesách vyvolávajú zmeny až do veľkosti tisícov nT a zmeny väčšie ako desaťtisíc nT môžu vyvolať umelé zdroje, napr. rôzne výkonné elektrické zariadenia, kovové konštrukcie a pod.

Tab.3-1. Približná veľkosť elementov ZMP v  $\mu\text{T}$

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

### 3.2.1 Zmeny ZMP

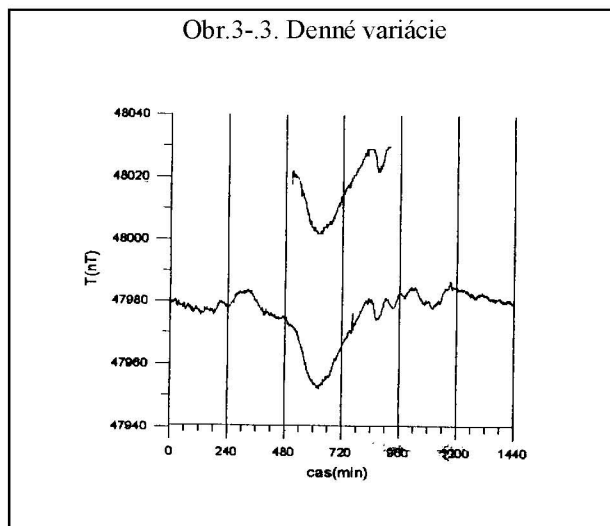
Skutočnosť, že veľkosť ZMP kolíše s časom sa zistila už pred niekoľkými storočiami. ZMP je dynamické pole, ktorého intenzita sa mení s rôznymi časovými periódami a je závislá aj od polohy na zemskom telese. Uvedené procesy spôsobujú, že veľkosť ZMP (t.j. aj všetkých jeho zložiek) sa periodicky mení – počas dňa, počas roka a počas dlhších periód zmien aktivity slnka (napr. známa 11.5 ročná periodicitá slnečnej aktivity). Slnko teda zodpovedá za periodicitu zmien ZMP, ale aj za neperiodické zmeny ku ktorým patria hlavne magnetické búrky, spôsobené oblakmi slnečnej hmoty vyvrhnutej pri chromosférických erupciách na slnku.

#### 3.2.1.1 Sekulárne variácie a observatória

Hlbinné procesy vo vnútri zemského telesa vyvolávajú tieto zmeny s niekoľko storočnou periódou (približne 500r). Po celom svete je rozložená sieť geomagnetických observatórií, ktoré sledujú dlhodobé zmeny jednotlivých zložiek ZMP. Priemerné ročné hodnoty vykazujú zmeny v čase aj rýchlosti. V dôsledku sekulárnych variácií sa geomagnetické mapy neustále obnovujú a majú platnosť len pre určité obdobie tzv. epochu. Štandardné referenčné modely sa konštruujú na základe pozorovaní z observatórií približne každých 5 rokov. Najznámejším modelom je medzinárodné geomagnetické referenčné pole (IGRF). Na jeho základe je možné určiť veľkosť jednotlivých zložiek ZMP na ľubovoľnom mieste a v ľubovoľnom čase. Pre účely aplikovanej geofyziky však tieto zmeny v dôsledku ich dlhej periódy majú malý význam.

#### 3.2.1.2 Denné variácie

Jedná sa o krátkodobé periodické zmeny s periódou slnečného dňa. Okrem zemepisnej šírky sú čiastočne závislé aj od ročného obdobia. Sú spôsobené magnetickým efektom systémov prúdov v ionosfére v závislosti od slnečnej aktivity. Súčasne pôsobia aj kratšie periodické variácie o menších amplitúdach, niekedy nepravidelného priebehu (Obr.3-3). Nakoľko tieto variácie predstavujú vlastne anomálne zmeny magnetického poľa majúce pôvod mimo zemského telesa, ktoré sú navyše nestále v čase a pripočítajú sa k prejavom anomálií spôsobených variáciami magnetických hmôt v



zemi, je ich potrebné brať do úvahy pri spracovaní terénnych meraní.

### 3.2.1.3 Magnetické búrky

V dôsledku nepravidelnej slnečnej činnosti sa vyskytujú náhle magnetické búrky, ktoré pôsobia na celej Zemi súčasne a ich intenzita vzrastá so zemepisnou šírkou. Predstavujú rušivý vplyv na terénne geomagnetické merania a v čase ich výskytu sa nedoporučuje merať.

## **3.3 Magnetické vlastnosti hornín**

Poznatky o magnetických vlastnostiach hornín v oblasti geofyzikálneho prieskumu sú dôležité z niekoľkých dôvodov, nakoľko poskytujú podklady:

1. vo fáze projektovania - na posúdenie vhodnosti použitia magnetometrie
2. pri interpretácii – na vyhodnotenie príčin magnetických anomálií
3. pri podrobnejšom štúdiu – k detailnejšiemu riešeniu niektorých geologických úloh (napr. tektonických, štruktúrno - geologických, stratigrafických a pod.)

Pri geomagnetických meraniach v aplikovanej geofyzike sa zisťujú anomálie lokálneho geomagnetického poľa vytváraného variáciami intenzity magnetizácie horninových celkov. Magnetizácia hornín je vektorová veličina a charakterizuje ich schopnosť vo vonkajšom magnetickom poli si vytvárať sekundárne magnetické pole, podobne ako magnet. Na zemskom povrchu sa potom prejavuje sumárne magnetické pole. Magnetizácia hornín je čiastočne spôsobená indukciou vlastným ZMP a čiastočne ich remanentnou magnetizáciou. Indukovaná magnetizácia závisí v prvom rade od magnetickej susceptibility ako aj od indukujúceho poľa (ZMP). Remanentná magnetizácia závisí od geologickej histórie hornín. Pri vyšších teplotách (ako tzv. Curieho teplota - cca 600°), ktoré súvisia s hĺbkou výskytu, horniny strácajú svoje magnetické vlastnosti .

### **3.3.1 Indukovaná magnetizácia**

Podľa všeobecnej klasifikácie sa horniny (podobne ako minerály) dajú podľa magnetických vlastností začleniť do 3 kategórií: diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické.

#### 3.3.1.1 Diamagnetizmus

U diamagnetických látok je magnetická susceptibilita záporná, takže intenzita indukovaného poľa v nej pôsobí v opačnom smere ako intenzita primárneho poľa. Jedná sa o nezaujímavé látky z hľadiska možnosti lokalizácie magnetickými meraniami.

#### 3.3.1.2 Paramagnetizmus

Paramagnetické látky majú magnetickú susceptibilitu kladnú a intenzita indukovaného poľa pôsobí v tom istom smere ako intenzita primárneho poľa. Tieto látky vykazujú určitý magnetický moment aj bez prítomnosti primárneho poľa a ich poznanie je dôležité aj pre vyhodnotenie magnetických meraní

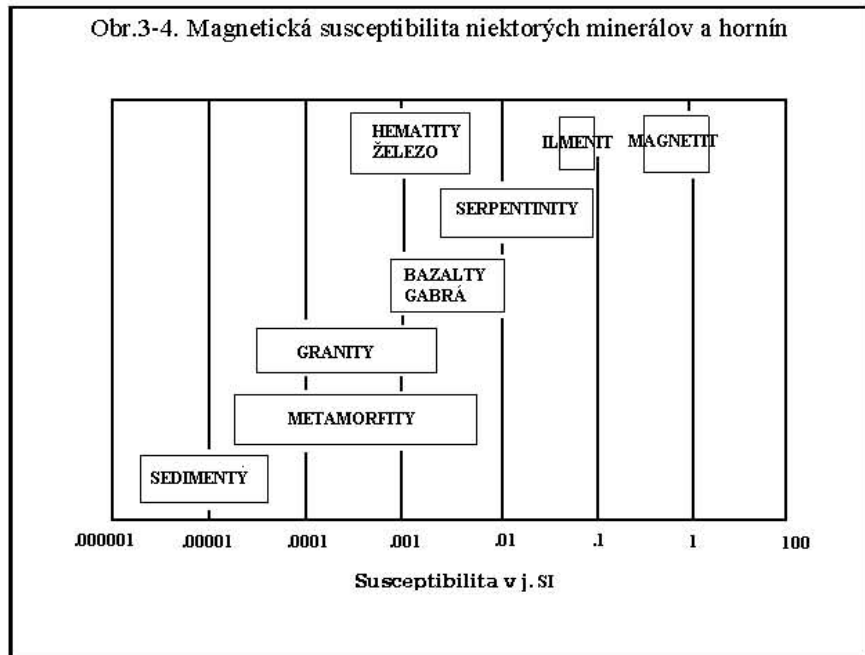
#### 3.3.2.3 Feromagnetizmus

Feromagnetické látky majú magnetickú susceptibilitu kladnú a vysokú, intenzita indukovaného poľa pôsobí v tom istom smere ako intenzita primárneho poľa a zosiluje ho. Tieto látky často vykazujú značný magnetický moment aj bez prítomnosti primárneho poľa. Ich

magnetizácia prebieha podľa známeho priebehu tzv. hysteréznej krivky. Sú najvýznamnejšie z hľadiska magnetického prieskumu a medzi najdôležitejšie minerály patria napr. magnetit, ilmenit a hematit.

### 3.3.2 Magnetická susceptibilita hornín

Magnetická susceptibilita hornín je závislá od obsahu feromagnetických minerálov v nej, ako aj od veľkosti ich zŕn, ich rozptýlenia a pod. Najčastejšie sa vyskytujúce anomálie rôznych horninových typov sú spôsobené prítomnosťou oxidu Fe ( $Fe_3O_4$ -magnetitu), alebo jeho príbuzných minerálov. Stačí však veľmi málo (napr. 1per tohoto minerálu), aby hornina vykazovala výrazné magnetické vlastnosti z hľadiska magnetického prieskumu (Tab.3-2).



Existuje určité charakteristické zastúpenie magnetických minerálov pre základné typy hornín, táto závislosť je však zložitejšia a závisí od viacerých faktorov súvisiacich najmä s parametrami primárneho (Zemského) magnetického poľa a geologických podmienok od doby vzniku horniny. Nakoľko zastúpenie magnetických minerálov je značne variabilné aj u rovnakého horninového typu na tej istej lokalite, hodnoty magnetickej susceptibilita sa často menia vo veľmi širokých medziach. Odlišné typy hornín sa líšia aj obsahom rôznych magnetických minerálov, ktorých najviac je v rudných ložiskách. Výrazné magnetické vlastnosti vykazujú vulkanity, menej hlbinné vyvrelé horniny a metamorfity. Najmenej magnetických minerálov obsahujú sedimentárne horniny, pričom relatívne viac ich je v klastických sedimentoch (pieskovce, ílovce) a veľmi málo v chemických sedimentoch (vápence, dolomity) (Obr.3-4).

Tab.3-2 Susceptibility niektorých minerálov a hornín v jednotkách SI  $\times 10^6$

<b>Dolomit (čistý)</b>	-12,5 - +44	<b>Bazalt</b>	1500-25000
<b>Pyrit (čistý)</b>	35-60	<b>Gabro</b>	3800-90000
<b>Granit</b>	10-65	<b>Hematit (ruda)</b>	420-10000
<b>Granit s magnetitom</b>	25-50000	<b>Magnetit (čistý)</b>	15000000

### 3.3.3 Remanentná magnetizácia

Remanentná magnetizácia predstavuje permanentnú magnetizáciu nezávislú od súčasného ZMP a môže vykazovať aj niekoľkokrát väčšie hodnoty ako indukovaná magnetizácia. Je závislá od termálnej, mechanickej a magnetickej histórie horniny, teda súvisí so ZMP v dávnych epochách. .

Má veľký význam pri mapovaní a interpretácii ako aj v oblasti paleomagnetického a

archeologického prieskumu. Jej smer môže byť súhlasný so smerom súčasného ZMP alebo odlišný. Remanentná magnetizácia sa vyskytuje v niekoľkých formách, pričom najvýznamnejšia je termálna, známa najmä u vyvrelých hornín, menej významné sú detritická a chemická.

### 3.4 Magnetické efekty telies jednoduchých tvarov

Okrem magnetických vlastností hornín geologických formácií hrajú v magnetometri veľký význam pri určovaní ich magnetického efektu na zemskom povrchu aj ich úložné pomery (najmä tvar a hĺbka) a orientácia oproti súčasnému ZMP. Pre štúdium týchto efektov sa uvažujú často jednoduché geometrické tvary alebo tvary, ktoré sa dajú aproximovať relatívne jednoduchším, matematicky popísateľným tvarom objektu.

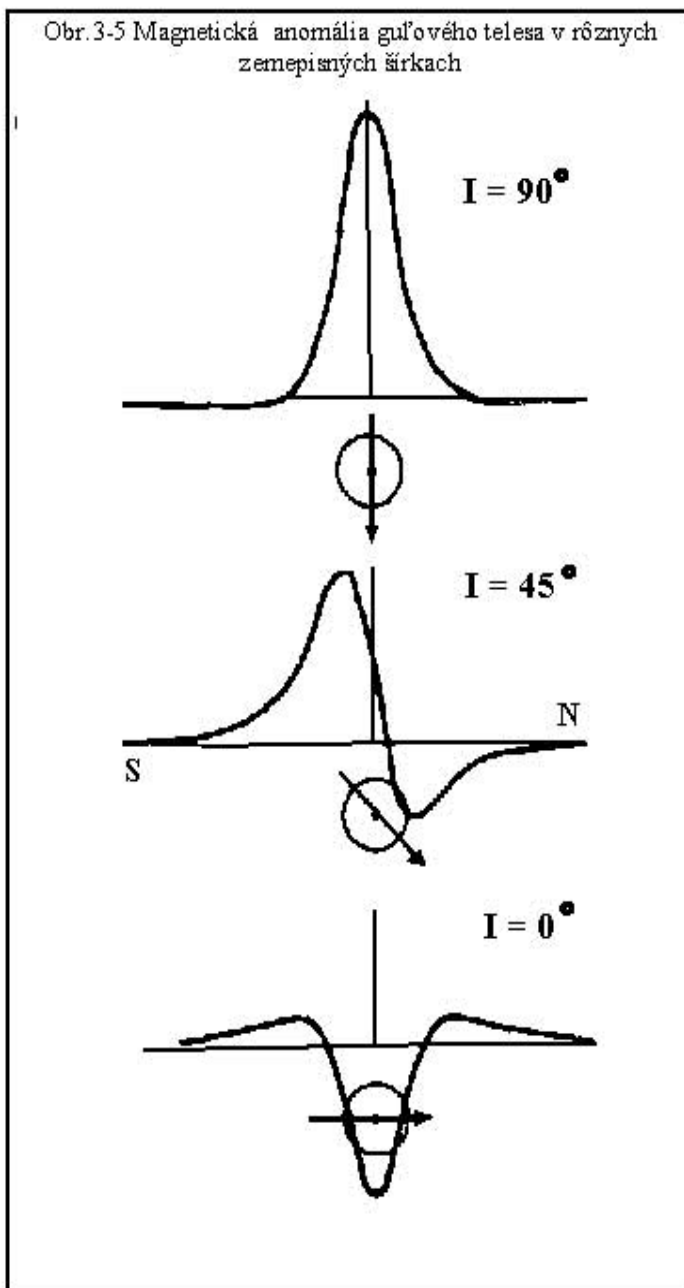
Vzhľadom na dipólovú podstatu magnetického poľa sa trojrozmerné objekty prejavujú ako dipólové. U telies pretiahnutých viac smerom do hĺbky je efekt spodného pólu na zemskom povrchu slabší a telesá označujeme potom ako monopólové. Pri lineárnom alebo plošnom rozšírení telies v horizontálnom smere, potom tieto predstavené sústavou elementárnych monopólov alebo dipólov.

Pri magnetizácii geologických objektov vzhľadom na ich rôzny tvar, orientáciu a magnetickú susceptibilitu dochádza aj k tzv. efektu demagnetizácie. Zjednodušene možno povedať, že najlepšie sa magnetizujú objekty pretiahnuté v smere totálneho vektora ZMP, naopak najhoršie lineárne objekty pretiahnuté kolmo k smeru totálneho vektora ZMP. Táto skutočnosť platí najmä pri ich výraznejších magnetických vlastnostiach.

Veľkosť a tvar magnetickej anomálie je determinovaný viacerými spomínanými faktormi. Jej charakteristickými rysmi je jej veľkosť, šírka a prítomnosť záporného minima spojená s dipólovým prejavom telesa.

Spomínané vplyvy na magnetické anomálie môžeme zhrnúť do nasledovných bodov:

\* magnetické vlastnosti hornín anomálneho telesa



- \* tvar anomálneho telesa a smer jeho pretiahnutia
- \* hĺbka uloženia
- \* zemepisná šírka miesta uloženia
- \* orientácia dlhšej osi anomálneho telesa resp. interpretačného profilu voči severu

### 3.5 Magnetické prístroje

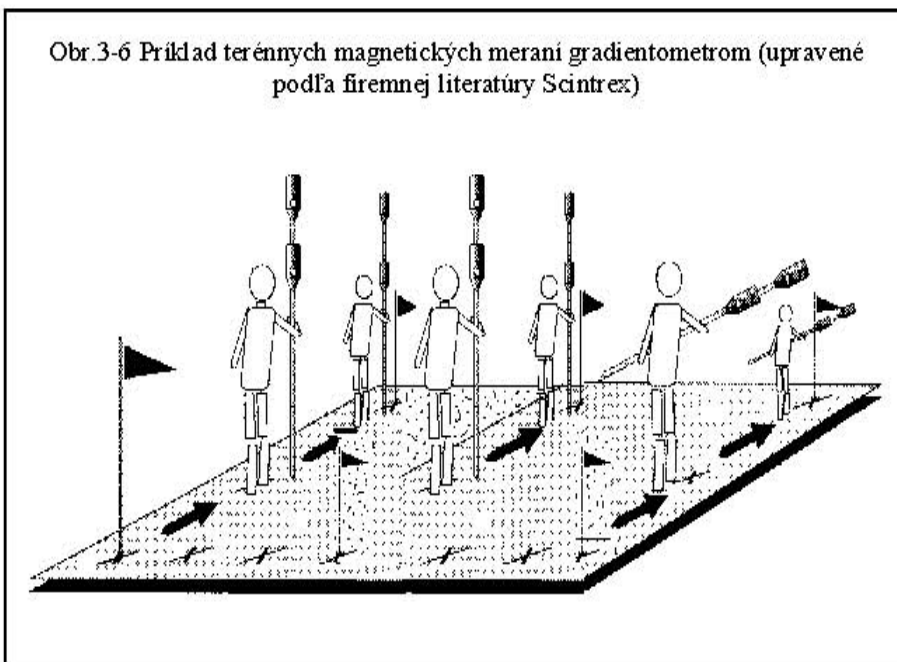
Prvým magnetickým prístrojom bola magnetická strelka, z ktorej sa potom skonštruovali presnejšie prístroje na magnetický prieskum, najmä rudných ložísk – magnetické váhy. Neskôr sa na meranie magnetického poľa začali používať prístroje založené na magnetickej indukcii, začali sa využívať feromagnetické vlastnosti špeciálnych zliatin ako aj chovanie základných stavebných prvkov hmoty na úrovni atómov za prítomnosti magnetického poľa. V súčasnosti sa na magnetické merania používajú najmä *protónové a absorpčné magnetometre*, ktoré sú zložené z dvoch samostatných častí zo sondy a vyhodnocovacej a záznamovej jednotky.

Na meranie magnetickej susceptibility v teréne sa využívajú prístroje nazvané kapametre. Okrem toho sa používajú ďalšie laboratórne prístroje na meranie magnetických vlastností vzoriek hornín v laboratóriách.

### 3.6 Terénne magnetické merania

Vyššia prítomnosť magnetických minerálov v geologických telesách spôsobuje, že ich možno považovať za zdroj lokálneho magnetického poľa, ktoré sa superponuje s dipólovým ZMP. Magnetické merania, ktoré sa môžu realizovať na zemskom povrchu, na mori, letecky alebo vo vrtoch, sa potom využívajú na vyhľadávanie takýchto geologických telies, na zistenie ich prítomnosti, polohy, rozmerov, tvaru a charakteru.

Obr.3-6 Príklad terénnych magnetických meraní gradientometrom (upravené podľa firemnej literatúry Scintrex)



Hlavnou veličinou pri meraní je intenzita (indukcia) magnetického poľa, ktorá, ako už bolo spomínané, je vektorová veličina. To znamená, že okrem veľkosti má aj smer (ak ju v danom mieste chceme presne určiť, musíme nájsť takú orientáciu meracej sondy, v ktorej je hodnota intenzity najväčšia). Pre riešenie bežných geologických úloh však postačuje merať len absolútnu



hodnotu totálneho vektora T. Normálne sa väčšinou meria Za určitých okolností je výhodnejšie merať tzv. gradientovým spôsobom, ktorý poskytuje rozdiel meraní v dvoch rôznych bodoch, väčšinou nad sebou (Obr.3-6).

Terénne pozemné merania sa navrhujú podľa charakteru úlohy (mierky, magnetických vlastností, geologickej stavby a pod.) a realizujú sa po profiloch alebo plošne. V prípade detailných meraní sa hovorí o mikromagnetometri. Majú byť navrhnuté takým spôsobom, aby prieskum bol efektívny a z terénnych meraní sa odstránili denné variácie (odpadá pri gradientovom spôsobe) a minimalizoval sa vplyv rušivých zdrojov (blízkyh kovových objektov, elektrifikovanej dopravy, elektrární a pod.).

### 3.7 Spracovanie magnetických meraní

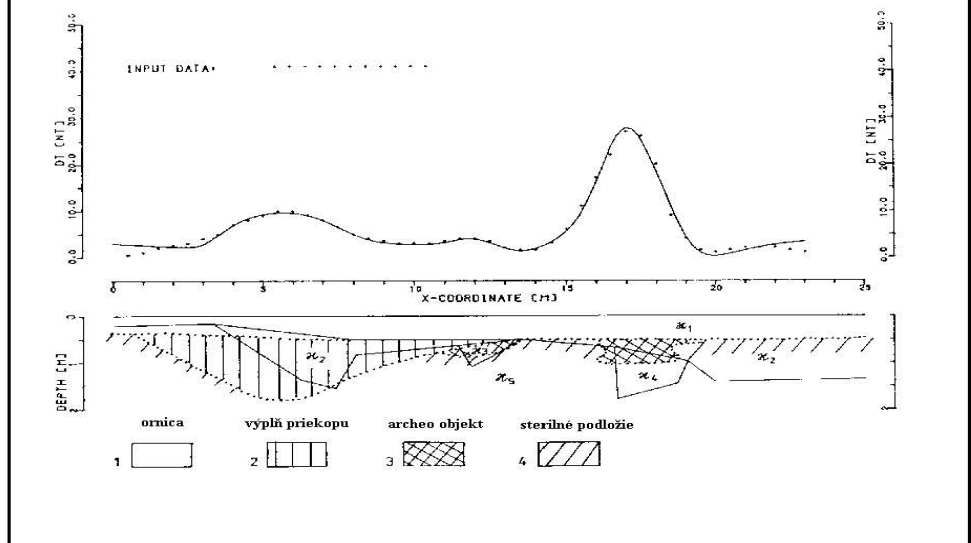
Terénne magnetické merania je potrebné za účelom posúdenia prítomnosti zdrojov magnetických anomálií a ich interpretácie (odhadu polohy a rozmerov), opraviť hlavne o denné variácie v dôsledku ktorých, by boli zavedené "umelé" anomálie, ale aj o prípadné ďalšie vplyvy (napr. prirodzený šírkový a výškový gradient, umelé poruchy). Opravené údaje sa zobrazujú vo forme priebehu magnetického poľa pozdĺž profilov alebo v podobe plošnej mapy, ktoré sa potom podrobia ďalšiemu spracovaniu alebo interpretácii.

Z meraní sa potom ešte odstráni hodnota normálneho poľa (ustálená hodnota T zložky v širšom okolí) a len zostatkové anomálie sa podrobia vlastnej interpretácii, väčšinou na profiloch, ktorej výsledkom sú obyčajne kvantitatívne informácie o telesách predstavujúcich zdroje magnetických anomálií.

### 3.8 Interpretácia magnetických meraní

Na základe analýzy mapy magnetických anomálií je možné odvodiť určité kvalitatívne závery o ich možných príčinách. Prítomnosť izolovaných telies so zvýšenou magnetizáciou sa môže prejaviť vo forme uzavretých izolínií s anomálnymi hodnotami vzrastajúcimi alebo klesajúcimi smerom ku centru, pričom smer priebehu ich dlhších častí je súhlasný so smerom orientácie dlhšej osi anomálneho

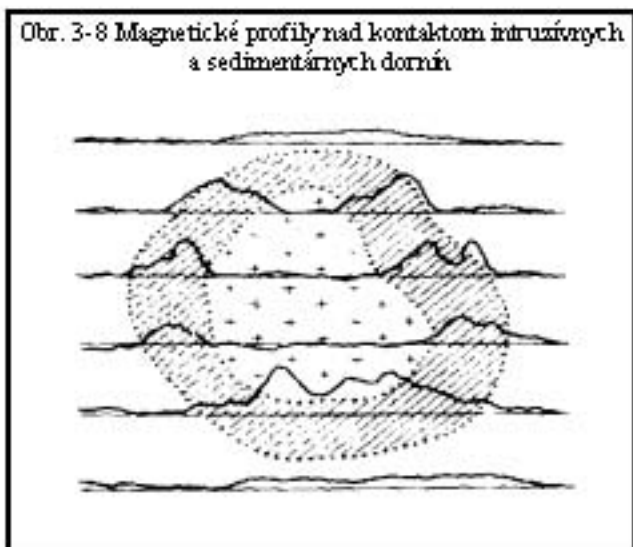
Obr.3-7 Príklad interpretácie magnetických meraní na archeologickej lokalite, ktorej výsledkom je návrh optimálneho modelu (podľa Mašek V., 1990)





telesa. Ďalšie indikácie sú spojené napr. s vysokými horizontálnymi anomálnymi gradientami, ktoré sú často spojené s kontaktom medzi horninami o rôznej susceptibilite.

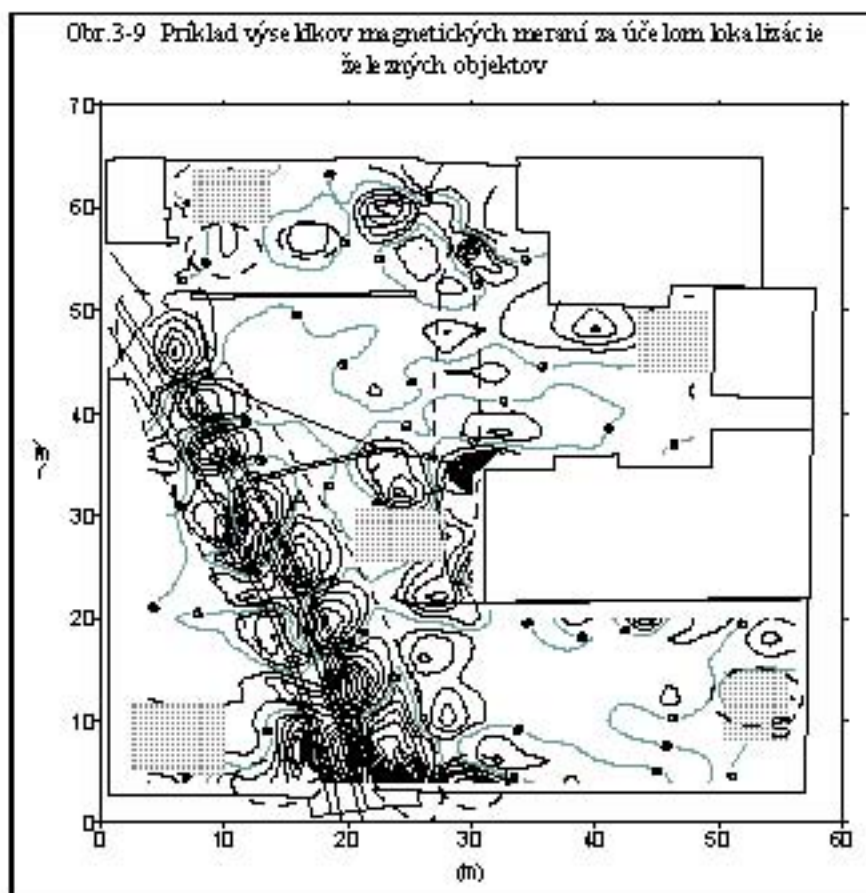
Na základe predbežných postupov môžeme z magnetických anomálií odhadnúť niektoré informácie o anomálnom zdroji napr. hranicu susceptibilitu a hĺbku uloženia. Obvyklý proces tzv. kvantitatívnej interpretácie magnetickej anomálie spočíva v určení parametrov geologického telesa vhodnej formy, ktoré túto anomáliu môže spôsobovať. Potom sa postupom zvaným modelovanie, vypočíta magnetický účinok modelu navrhnutého podľa počiatočne určených parametrov. Po porovnaní vypočítanej krivky s krivkou získanou z terénnych meraní sa podľa ich rozdielu realizuje úprava počiatočného modelu a proces výpočtu sa opakuje. Takýmto spôsobom sa postupuje pokiaľ rozdiel medzi terénnou a teoretickou krivkou nie je menší než určitá vopred zadaná hodnota. Interpretácia rôznych magnetických anomálií za účelom učenia ich geologického pôvodu musí byť realizovaná v spojení s dostupnými výsledkami geologického prieskumu.



### 3.9 Využitie magnetometrie

Základnou podmienkou využitia magnetometrie pri riešení geologických úloh sú dostatočné magnetické vlastnosti skúmaných horninových komplexov a to najmä kontrast jednotlivých telies voči okoliu. Niekedy je však postačujúcou skutočnosťou ak niektoré horniny sú prakticky nemagnetické, pričom pri riešení určitých úloh môžu byť aj takéto oblasti zaujímavé pre ďalší prieskum (napr. v naftovom prieskume).

Riešenie širokého spektra geologických úloh umožňuje mnohostrannú a efektívnu aplikáciu magnetometrických metód. Výsledky aeromagnetických meraní sa stali nepostrádateľné pri základnom a regionálnom



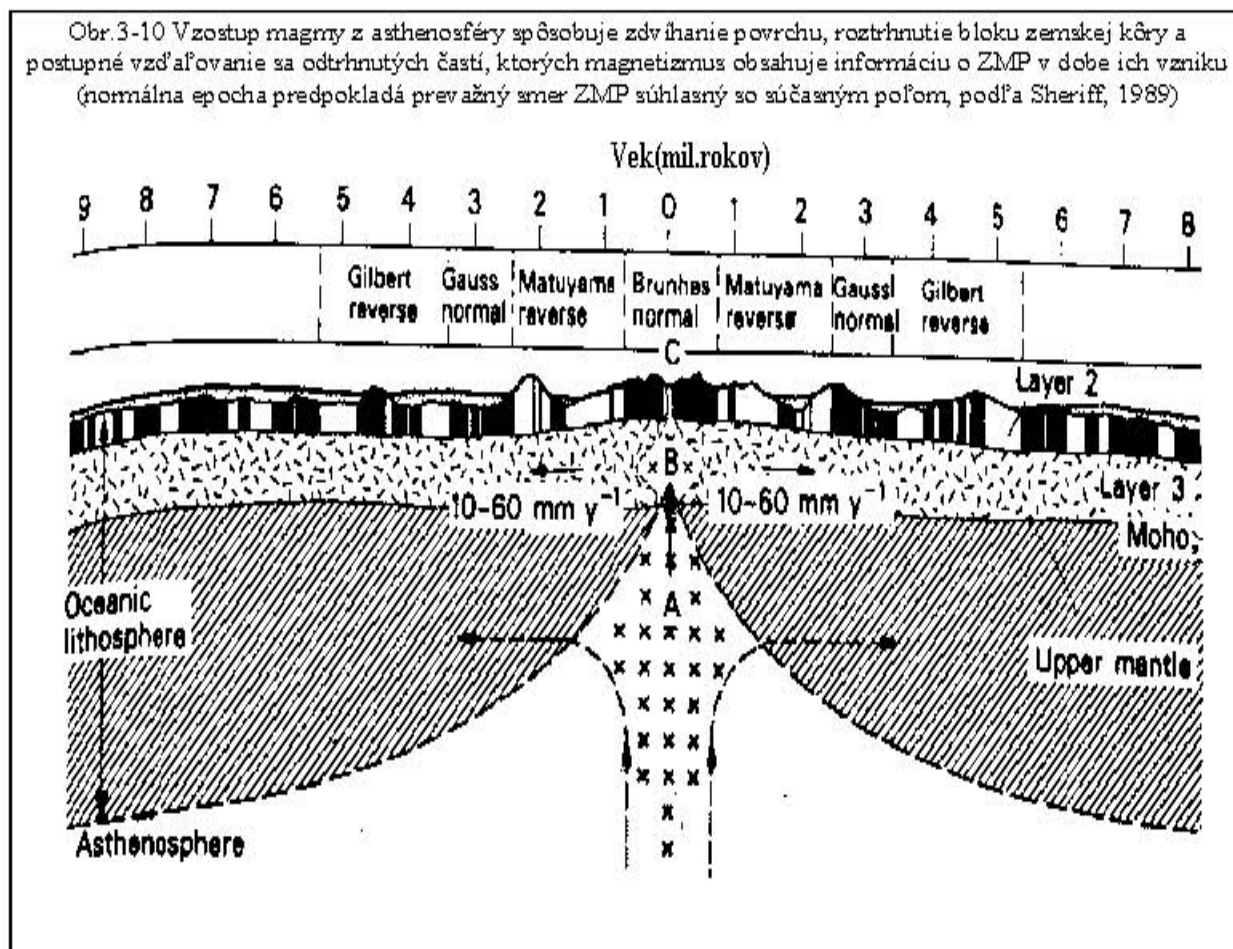
geologickom výskume. Klasickou možnosťou použitia je vyhľadávanie významných ložísk železných rúd. Podobne sa využíva tiež pri prospekcii na ropu a plyn, kde rieši najmä štruktúro-tektonickú problematiku podložia. Pozemná magnetometria rieši niektoré problémy podrobného prieskumu areálov nádejných na Fe a polymetalické rudy. Veľmi cenné informácie prináša pri podrobnom geologickom mapovaní (Obr.3-8).

Magnetometria môže prispieť aj k riešeniu niektorých environmentálnych úloh (napr. výsledky terénnej kapametrie pomáhajú pri riešení otázok kontaminácie pôdy ťažkými kovmi).

Výsledky magnetometrie sa často používajú aj na riešenie negeologickej problematiky napr. vyhľadávani nevybuchnutej munície, rôznych železných objektov (Obr.3-9), a pod. Významné je jej použitie na riešenie archeologickej problematiky, kde patrí medzi nosné a najúčinnjšie metódy. Ďalšími oblasťami použitia sú paleomagnetizmus a archeomagnetizmus.

### 3.10 Paleomagnetizmus a archeomagnetizmus

Pri skúmaní ZMP sa nám oproti ostatným fyzikálnym poliam Zeme ponúka možnosť skúmať jeho dávnu históriu, ktorá je podobne ako zvuk na magnetofónovej páske, zaznamenaná v hominách. Hominy obsahujú magnetické minerály (magnetit, hematit, ilmenit, pyrotin a i.), ktoré sa zmagetizujú pri vzniku hominy úmerne k smeru a intenzite magnetického poľa vtedy pôsobiaceho. Túto informáciu o remanentnej magnetizácii (pokiaľ sa výraznejšie nezmení pri ďalších geologických procesoch) je možné zistiť v laboratóriu na vzorkách. Metóda, ktorá sa zaoberá skúmaním "magnetickej" histórie hornín sa nazýva *paleomagnetizmus* a pomocou nej sa



zrekonštruovala aj história zmien magnetického poľa Zeme počas celej geologickej histórie Zeme. Za najprekvapujúcejšie možno považovať zistenie, že polarita ZMP sa počas histórie Zeme pomerne veľakrát zmenila (Obr.3-10). Bežne sú magnetické póly v blízkosti pólov rotácie, ale sú krátke obdobia, keď sa póly začnú pohybovať smerom k rovníku až prejdú na opačnú pologulu zase do oblasti pólov rotácie. K poslednej zmene polarity ZMP došlo približne pred 100.000 rokmi.

Variácie intenzity ZMP s periódou približne 500 rokov, sa dajú využiť aj v archeológii na datovanie takých objektov, ako sú steny remeselníckych pecí, alebo prepálené zbytky obranných valov a konštrukcií. Touto problematikou sa bližšie zaoberá *archeomagnetizmus*.

Dôležitou podmienkou pre použitie horniny k uvedeným výskumom je reprodukovateľnosť primárnej polohy jej vzoriek.

### 3.11 Literatúra

Mašek V., 1999: Metodologie geofyzikálního výzkumu v archeologii. Dokt.dis.práca, Manuscript, KU Praha.

Sheriff R.E., 1989: Geophysical methods, Prentice Hall, N.J.

firemná literatúra fy Scintrex

#### Otázky

1. Vymenujte a popíšte (nakreslite) základné vektorové a uhlové komponenty charakterizujúce ZMP ?
2. Vymenujte základné jednotky v ktorých sa meria indukcia magnetického poľa, magnetizácia a magnetické vlastnosti?
3. Aká je približne perióda pri zmene polarity ZMP, sekulárnych variáciách a denných variáciách?
4. Čo spôsobuje magnetické búrky?
5. Aká je približná hodnota zložiek T, Z, H a I na území SR?
6. Delenie látok z hľadiska magnetických vlastností ?
7. Ktoré minerály sú nositeľmi magnetických vlastností hornín?
8. Ktoré horninové typy sú najmenej a najviac magnetické?
9. Vysvetlite rozdiel medzi indukovanou a remanentnou magnetizáciou?
10. Aká je približne hodnota Curieho teploty a čo spôsobuje jej dosiahnutie?
11. Mení sa anomálny magnetický prejav od geologických objektov zo zemepisnou šírkou? Zdôvodnite to.
12. Ktoré základné faktory ovplyvňujú prejav anomálnych telies v magnetickom poli ?
13. Aké formy terénnych meraní sa realizujú v magnetometrii ?
14. Aké geologické úlohy je možné riešiť magnetickými meraniami?
15. V ktorých iných (negeologických) oblastiach je možné použiť magnetometriu?