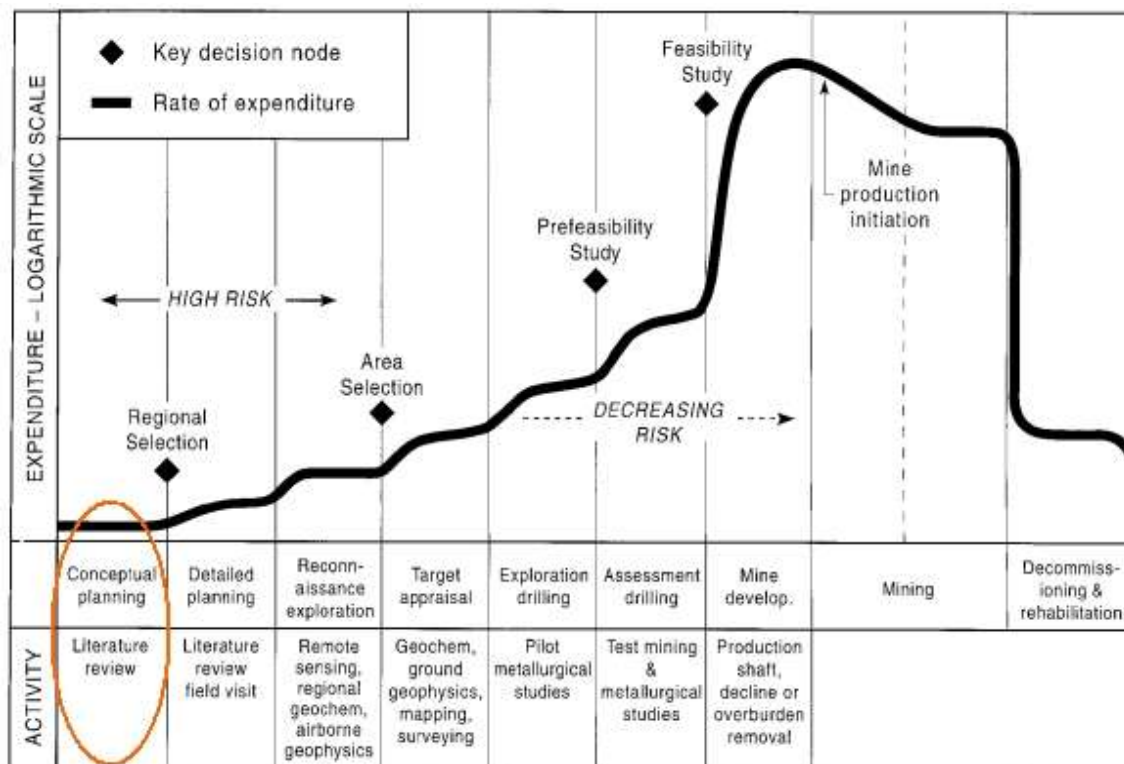


2. Přímé a nepřímé metody vyhledávání

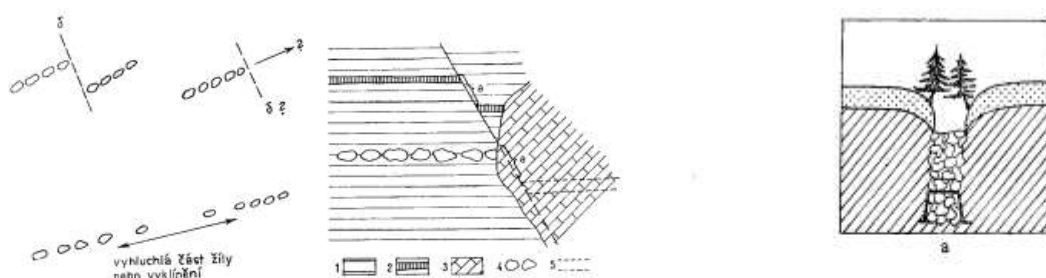
Metody vyhledávání – aneb jak hledat?

- ✓ Vyhledávací příznaky (báňsko-historické metody)
- ✓ Přímé metody (pozemní geologie)
- ✓ Nepřímé metody (geofyzika, geochemie, geobotanika, dálkové snímkování)

1. Etapa vyhledávání – archivní výzkum

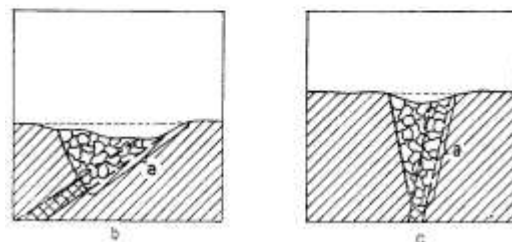


Báňsko-historické metody – odvalové tahy

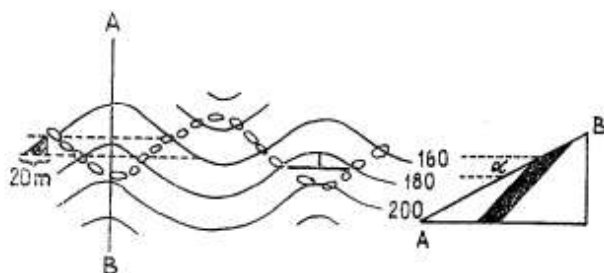


Vyhlučnutí, usmyknutí či překrytí žilného systému podle směru odvalů
(Kužvart a Böhmer 1972)

př. pinky a podobné povrchové projevy (odvaly, haldy)
→ poskytují informace nejen o proběhlé těžbě ale i o geologické stavbě



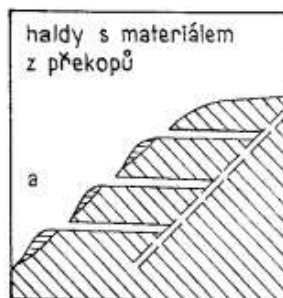
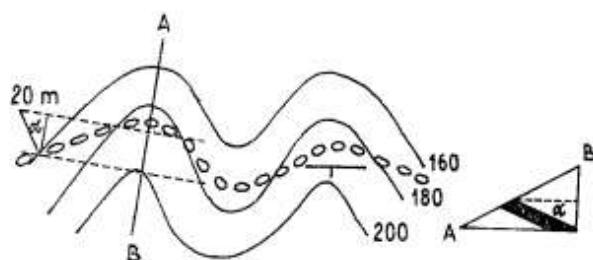
Báňsko-historické metody – sklon žil z odvalů



Sklon žil vs. směr odvalů

(Kužvart a Böhmer 1972)

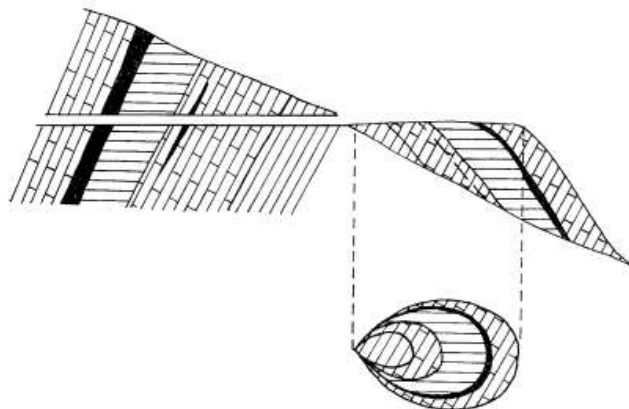
př. víceúrovňová těžba – z množství odvalového materiálu lze usuzovat hloubku štol atd.



Báňsko-historické metody – materiál žil z odvalů

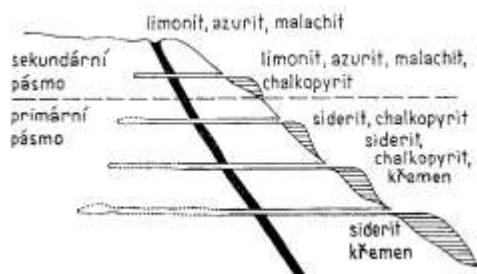
Inverzní sled hornin na odvalu

- sekundární minerály apod.
- zonálnost – pozor odvaly mají zonálnost obráceně

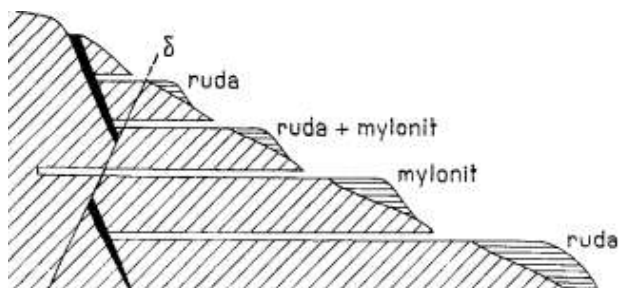


(vše Kužvart a Böhmer 1972)

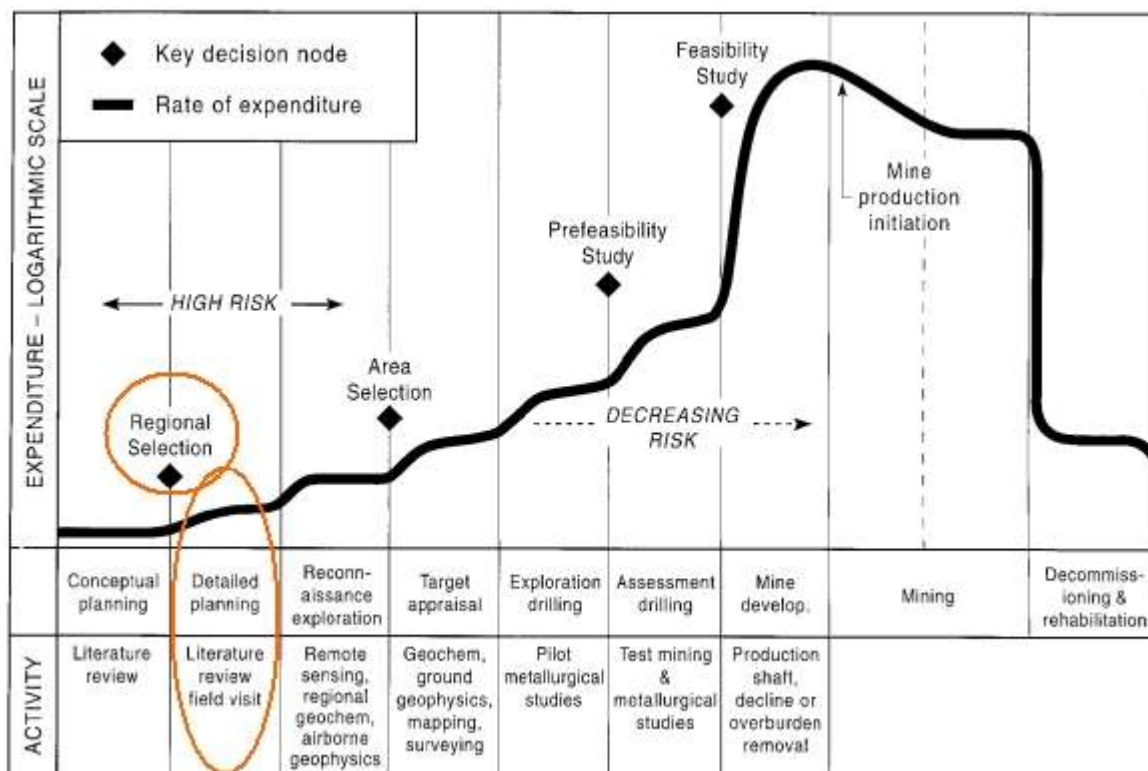
Primární a sekundární ložisková výplň



Tektonické přerušení žíly



2. Etapa vyhledávání – návštěva terénu a orientační odběr vzorků



Přímé metody vyhledávání

- ✓ Základní geologické mapování

přehledné vyhledávání 1:500.000

předběžné vyhledávání 1:100.000

podrobné vyhledávání 1:25.000

- ✓ Terénní výzkum

výchozy surovin

úlomky ložiskové výplně *

přeměny surovin

akumulace těžkých minerálů

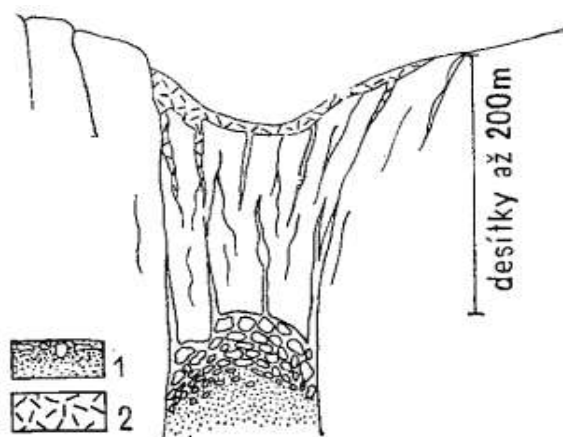
* u ložisek dekorálního kamene to je OK, u hydrotermálních žil je to problém

Výchozy surovin

- ✓ Morfologie krajiny
- ✓ Pozitivní reliéf (odolné žíly, prokřemenělé či železité klobouky)
- ✓ Negativní reliéf (málo odolná výplň, např. karbonátová)

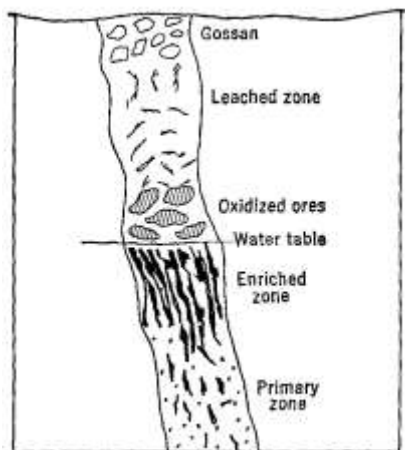
Sedání hornin v nadloží oxidované zóny žilného ložiska

(Kužvart a Böhmer 1972)

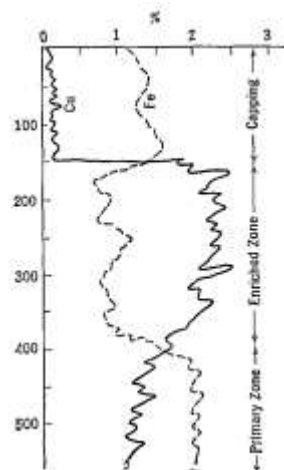


Přeměny surovin

- ✓ změna mocnosti
- ✓ zóna sekundárního obohacení
- ✓ vznik sekundární ložiskové výplně – **gossan**



Zonálnost na zvětralé Cu žíle
(Bateman 1951)



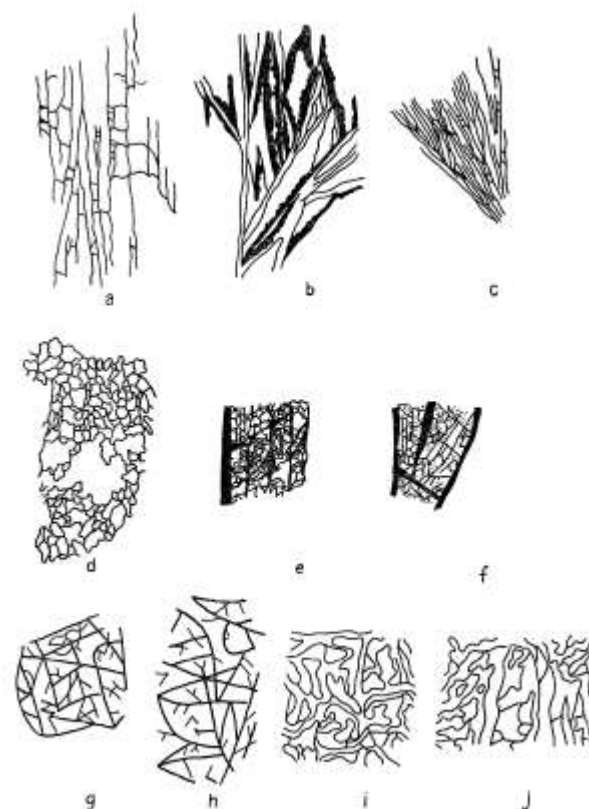
Změna obsahu Cu a Fe v závislosti na hloubce
(Bateman 1951)

Zachování primárních rudních staveb

Stavby gossanových limonitů s uchovanými znaky primárních rudních minerálů

- A-C – galenit
- D-E – sfalerit
- F – chalkopyrit
- G-H – bornit
- I-J – tetraedrit

(Kužvart a Böhmer 1972)

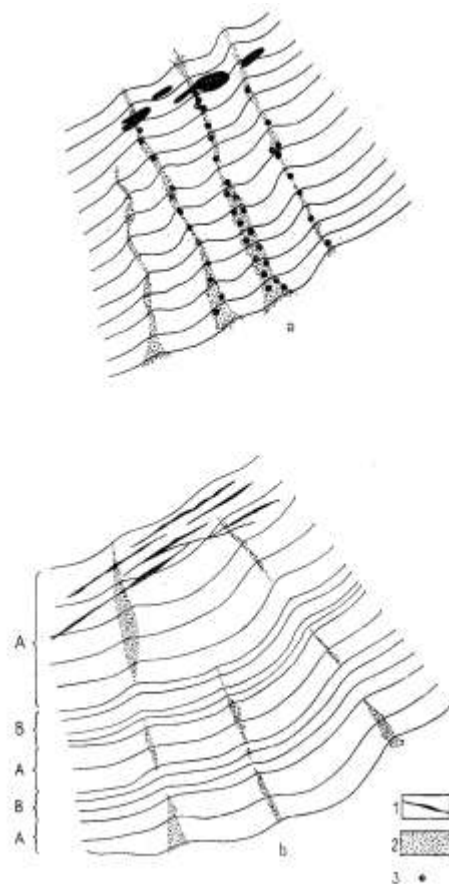
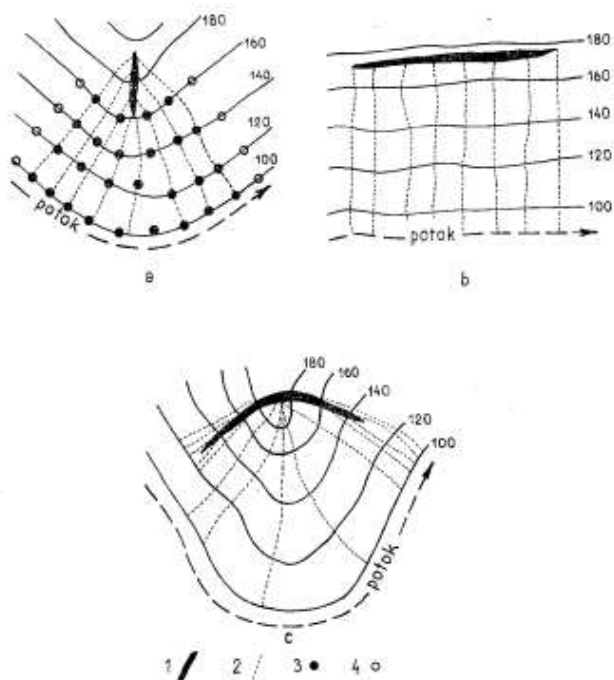


Úlomky ložiskové výplně

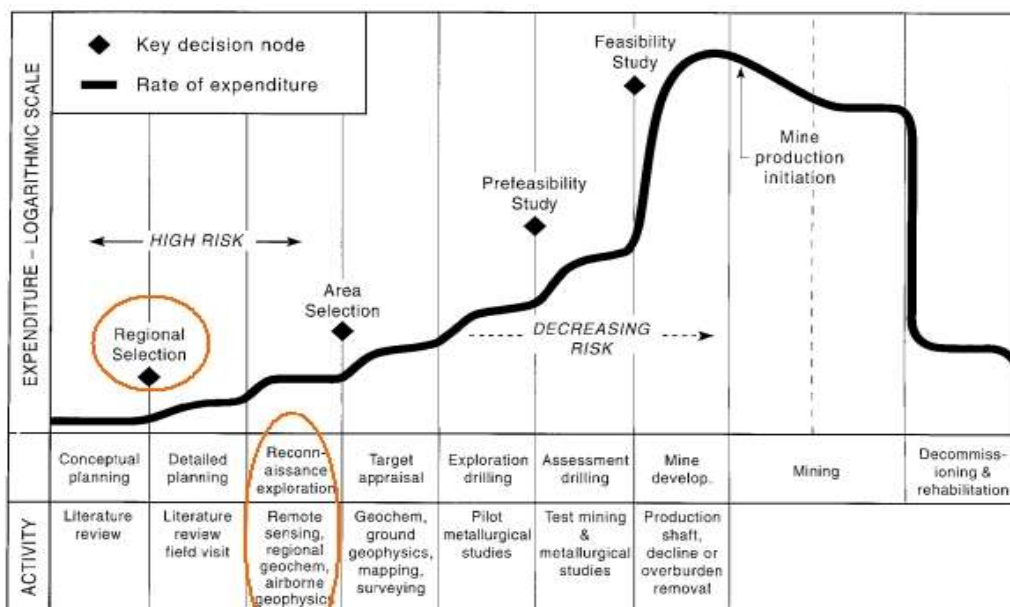
Vějířovité, plošné a lineární rudní osypy

(Kužvart a Böhmer 1972)

- závisí na morfologii svahu



3. Etapa vyhledávání – nepřímé metody v regionálním měřítku

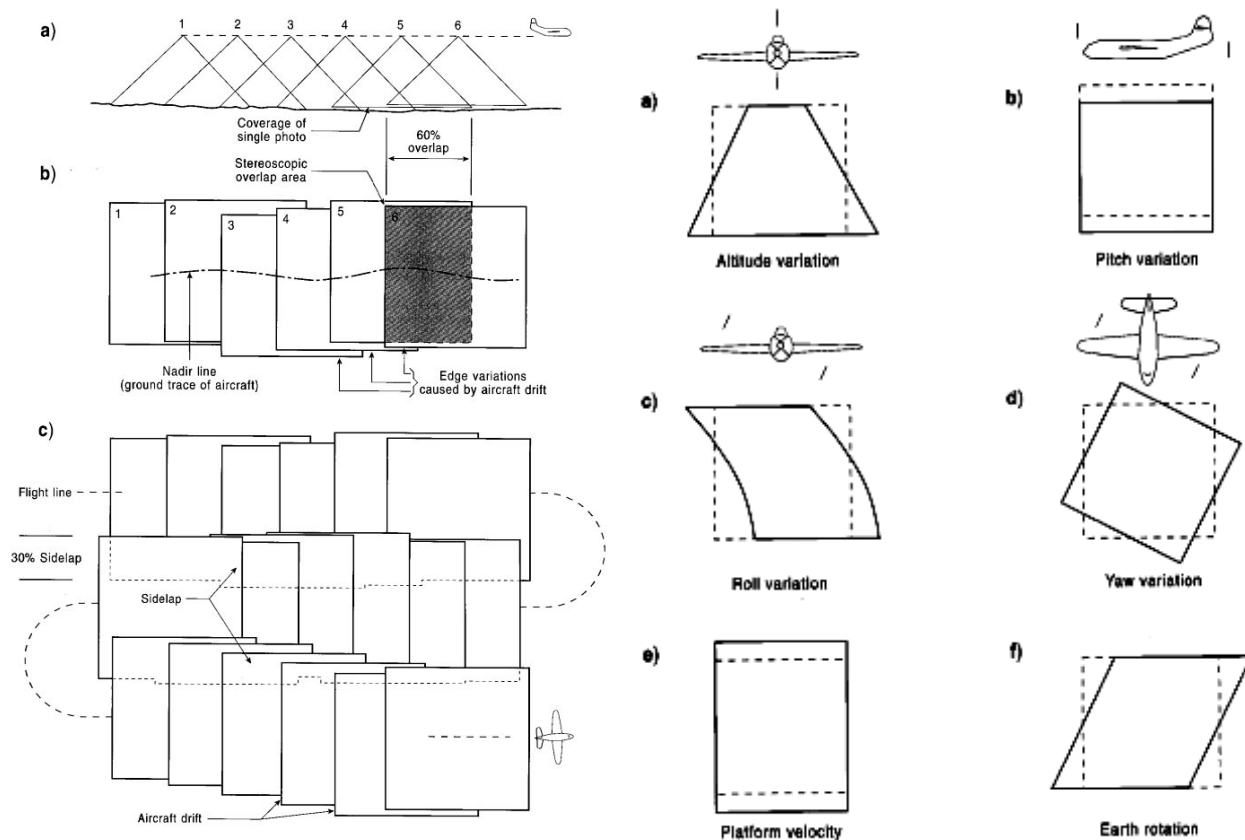


Fotogeologie

- ✓ Snímání zemského povrchu z letadel
- ✓ Klasické snímkování (panchromatické B&W, IR B&W nebo barevné)*
- ✓ Rozlišení (měřítko, kvalita filmu, kamera, atmosférické podmínky, pohyb kamery během snímkování, zpracování filmu)
- ✓ Prvky k rozlišení (reliéf – topografie, odstín, tvar říční sítě, eroze, vegetace a využití půdy, lineární prvky)

*B&W = černobílé (Black&White), IR = infračervené (InfraRed)

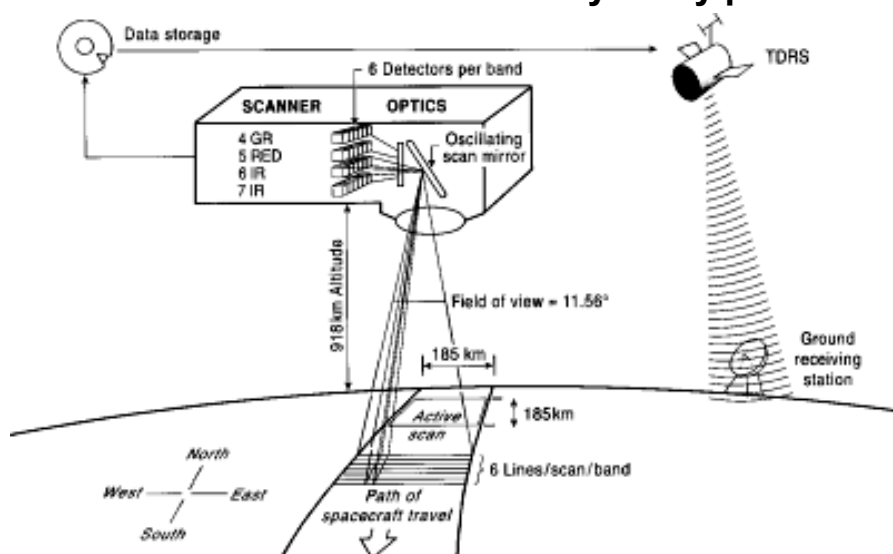
při snímání dochází k deformacím obrazu dané polohou roviny filmu vůči reliéfu



Dálkový průzkum Země – sběr dat

- ✓ Metodika sběru, zpracování a interpretace leteckých nebo družicových snímků
- ✓ Snímání obrazu pomocí elektronických scannerů či senzorů (multispektrální snímkování satelity)
- ✓ Pasivní senzory (data pomocí odraženého či procházejícího elektromagnetického záření, závislé na nasvícení sluncem)
- ✓ Aktivní senzory (vlastní zdroj energie – laser či radar, měří energii odraženou od cíle)

Satelitní systémy pro DPZ



Rozlišení:

Landsat, Spot – v rámci prvních desítek metrů

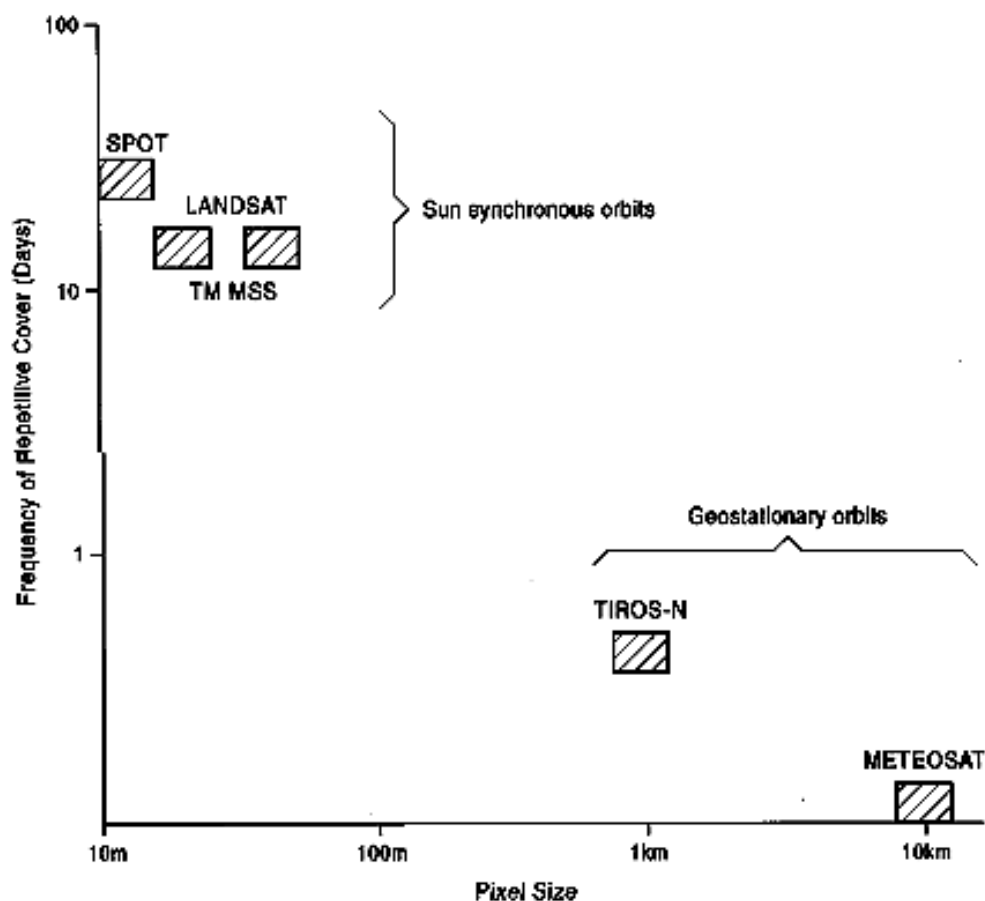
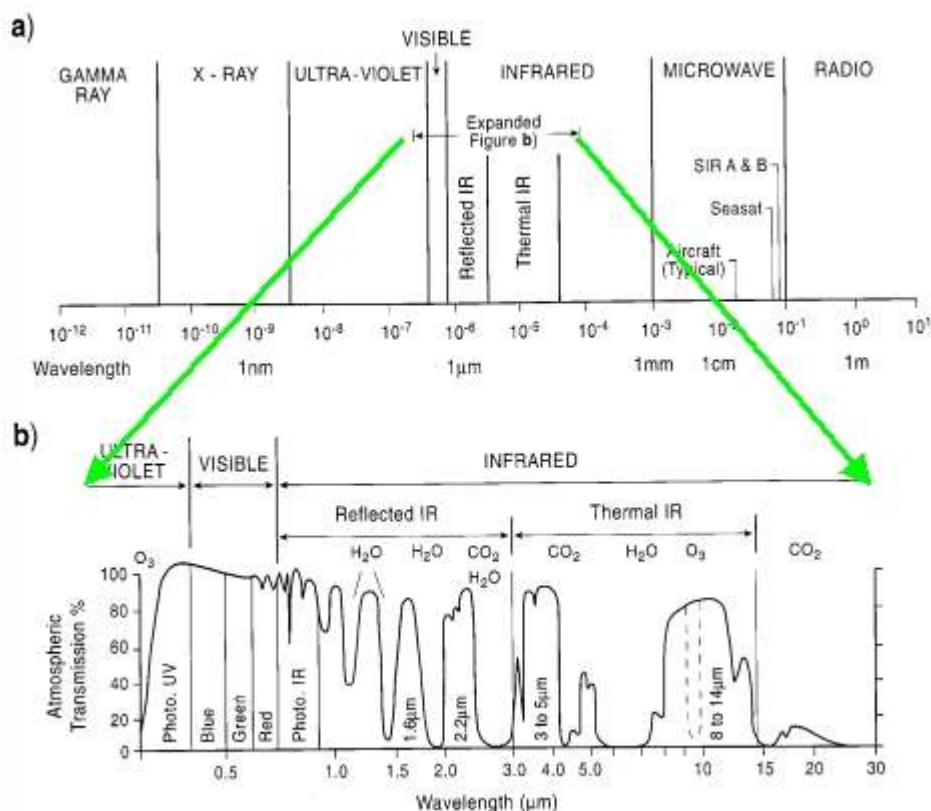


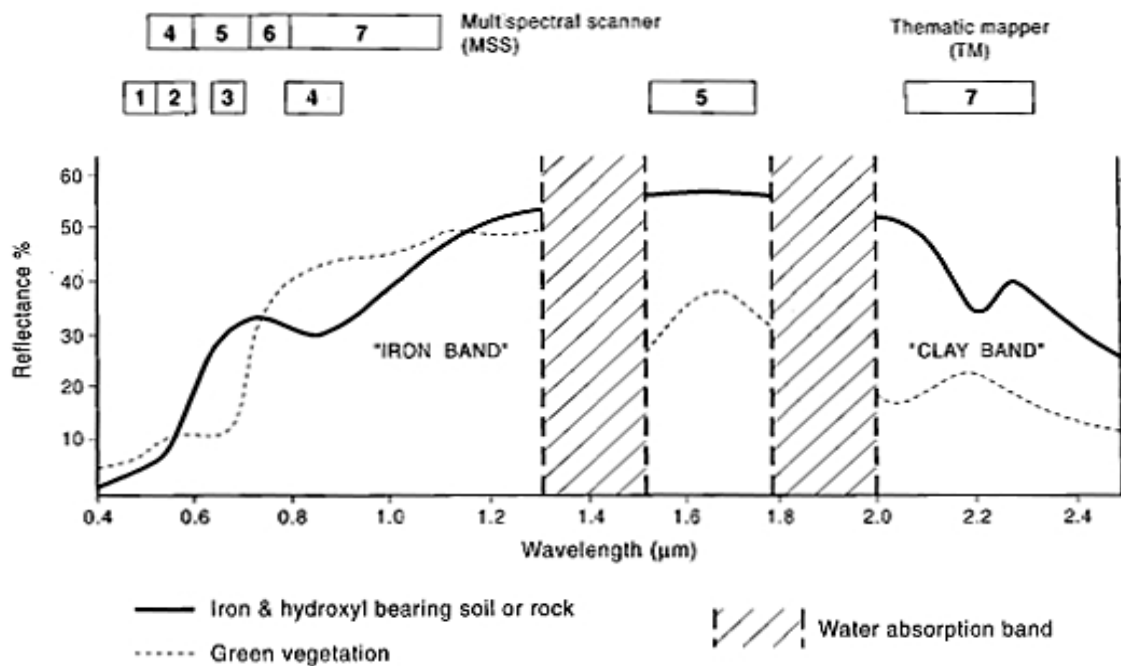
Schéma satelitních systémů a možnosti rozlišení (Evans 1995 a Sabins 1987)

Elektromagnetické spektrum



Elektromagnetické spektrum (a) a část spektra využívaná v DPZ (b) (Sabins 1987)

Reflektanční profil

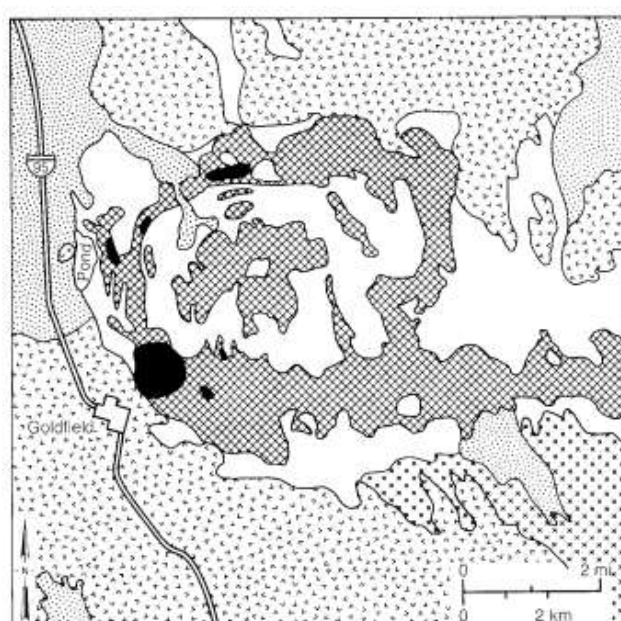


Srovnání reflektančního profilu na zvětralině a krajině pokryté vegetací (Settle et al. 1984)
reflektanční profil ukazuje, jaká část záření se odrazila do senzoru a je charakteristický pro různé povrchy

Dálkový průzkum Země – zpracování obrazu

- ✓ Primární data – obraz složený z diskretních obrazových prvků (pixelů) uspořádaných do mosaiky (řádky a sloupce)
 - ✓ Korekce zdrojových defektů (doplnění chybějících dat, odfiltrování šumu, geometrické korekce)
 - ✓ Zesílení obrazové kvality (kontrast, skládání falešných barev, transformace intensity, slučování obrazů, stereoobrazy)
 - ✓ Získání potřebné informace (poměr mezi odstíny šedi, multispektrální klasifikace)
- úpravy obrazu – skládání obrazů pořízených v různých částech spektra, hustotní výtažky (př. pásy 3, 1), porovnání s laboratorními spektry jednotlivých minerálů, rozlišení alterovaných zón a sekundárních minerálů (pásy 1,3), interpretace obrazu*

1. Získání obrazu

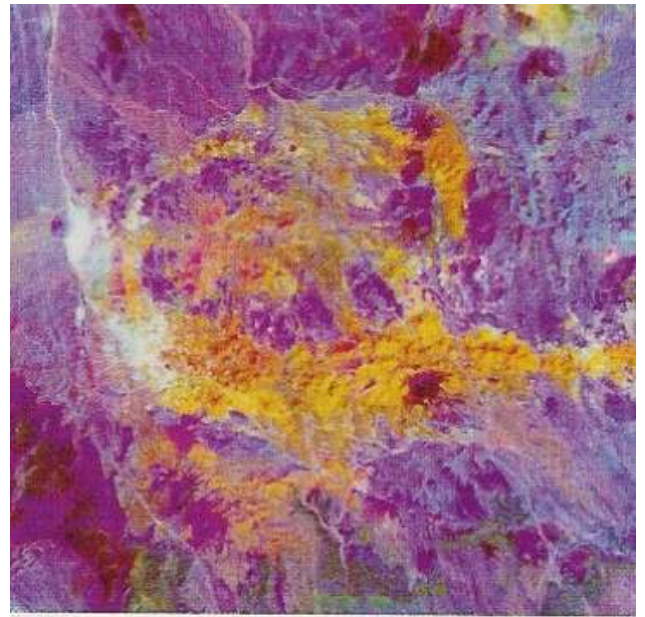
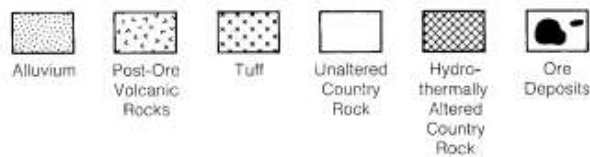
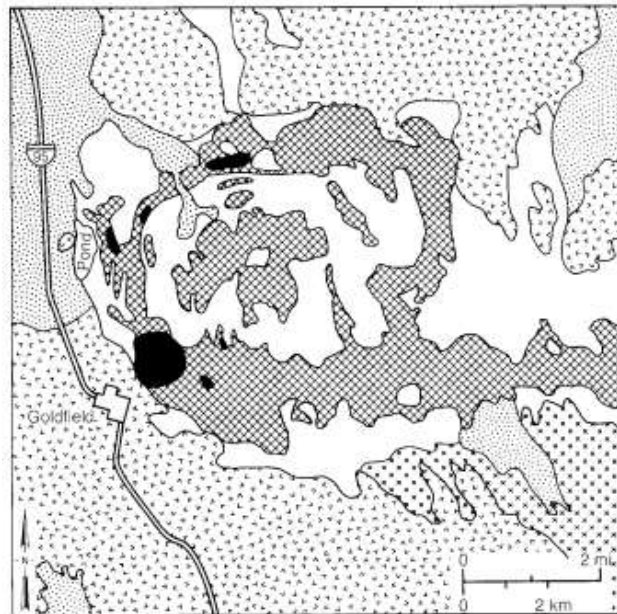


Ložisková oblast Goldfield (NV, USA),
normální barevný obraz TM 1-2-3
(Sabins 1997)

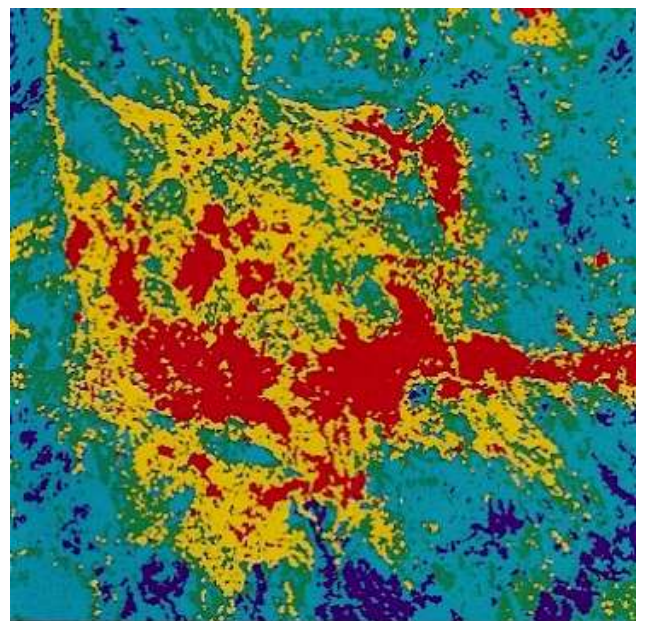
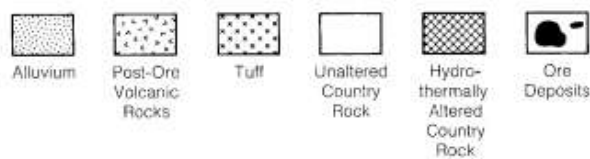
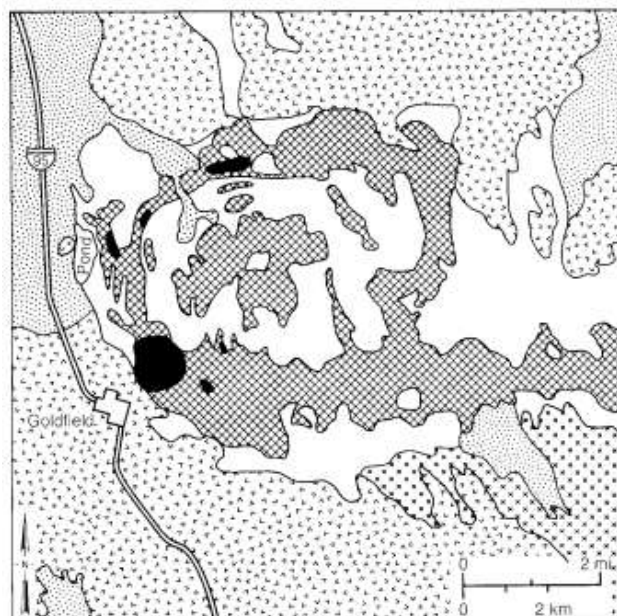
Dálkový průzkum Země – interpretace

- ✓ Spektrální přístup – jednotky rozčleněny podle spektrálních vlastností
- ✓ Fotogeologický přístup – vymezení prvků na základě charakteristik známých z fotogeologie (zvětrávací fenomény, eroze, morfologie ad.)
- ✓ Geoinformační systémy - počítačové zpracování prostorových dat

2-3. Úprava obrazu

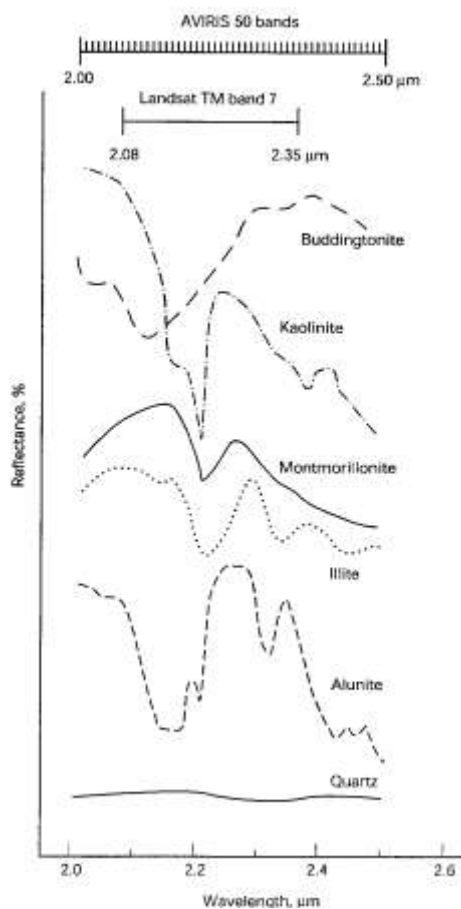


TM kompozitní barevný obraz s poměry barev (5/7=červená, 3/1=zelená, 3/5=modrá) (Sabins 1997)

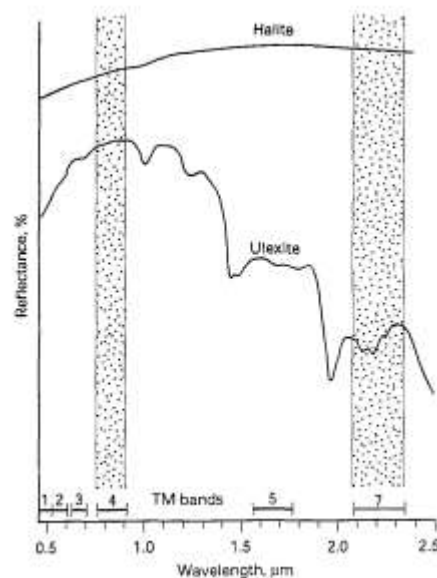


TM barevný obraz po hustotním výtažku (pásky 5/7) (Sabins 1997)

Rozlišení minerálů

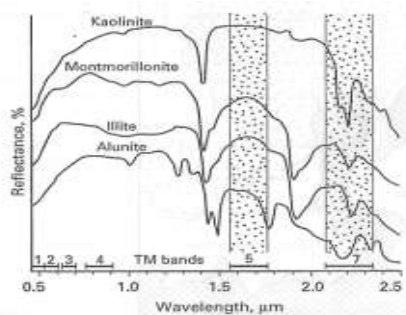


← Laboratorní spektra sekundárních minerálů
(Sabins 1999)



Reflektanční spektra halitu (NaCl) a ulexitu
($\text{NaCaB}_5\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)
(Sabins 1999)

Rozlišení alterovaných zón



A. Laboratory reflectance spectra.

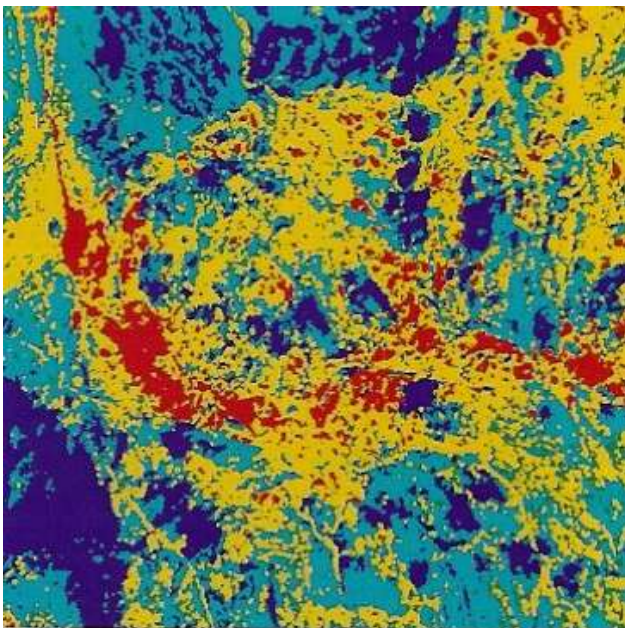


B. Ratio image of TM bands 5/7.

- ✓ Odlišné absorpční znaky minerálů zvětrávací zóny v TM pásu 7
- ✓ Poměry pásů 5/7 zvýrazní rozdíly

	TM 5	TM 7	5/7
Nealterovaná hornina	160	160	1.00
Alterovaná hornina	160	110	1.45

4. Úprava obrazu

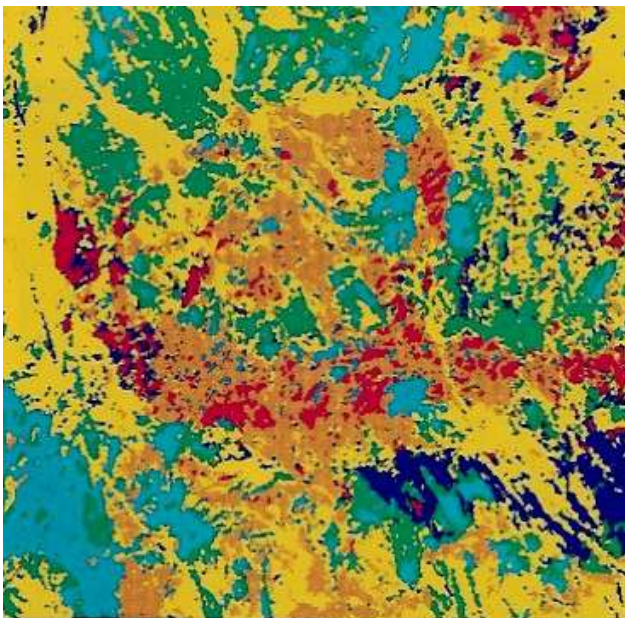


TM barevný obraz po hustotním výtažku
(pásky 3/1)
(Sabins 1997)

Rozlišení sekundárních Fe-minerálů

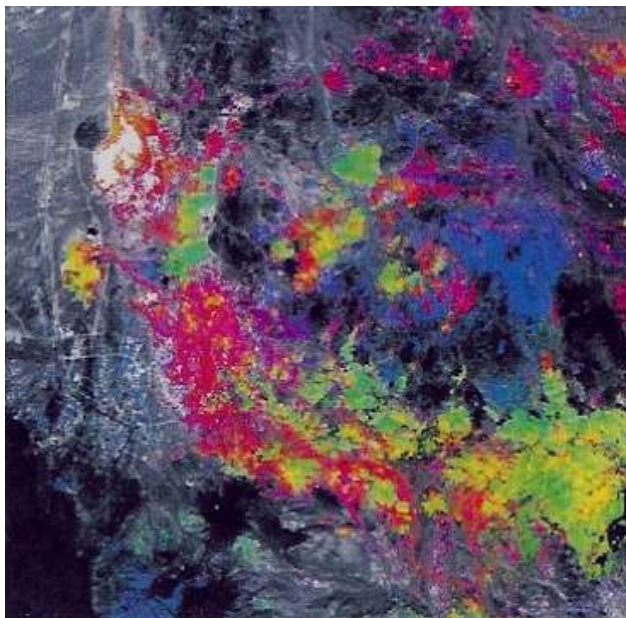
- ✓ Druhá skupina minerálů vázaná na alterační zóny
- ✓ Nízká modrá reflektance (TM pás 1) a vysoká červená reflektance (TM pás 3)

5. Úprava obrazu



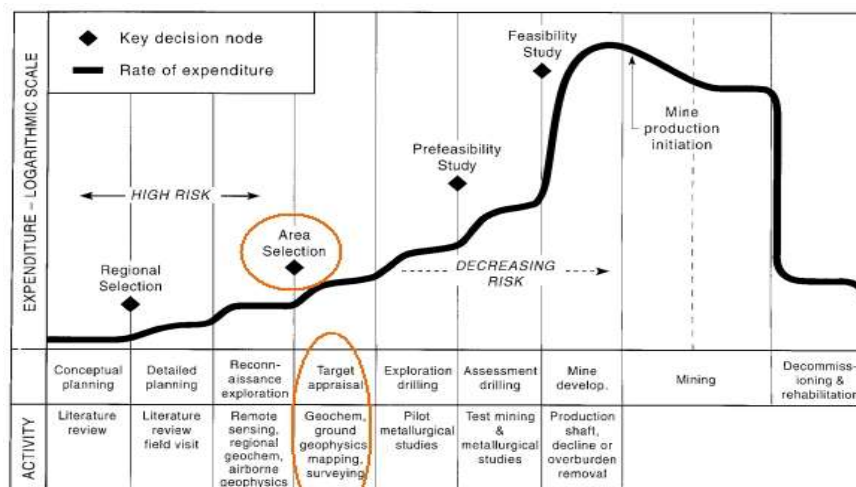
TM nekorigovaná klasifikační mapa
(Sabins 1997)

6. Interpretace obrazu



TM barevný složený obraz, illit=červená,
alunit=zelená, kaolinit=modrá
(Sabins 1997)

4. Etapa vyhledávání – nepřímé metody v lokálním měřítku



Terénní geochemické metody

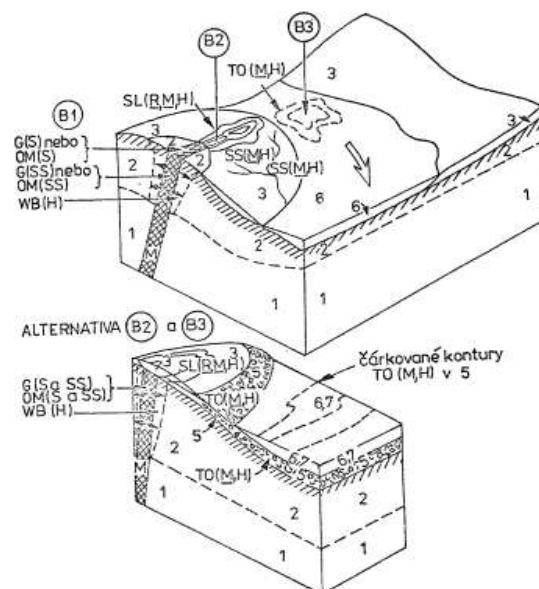
- ✓ Ložisko = anomální koncentrace prvku(ů) – kontrast vůči klarku v zemské kůře
- ✓ Aureoly – přechodné (rozptylové) zóny, vynikající vodítko pro nalezení ložiska (větší plošný rozsah)
- ✓ Primární (vzniklé současně s ložiskem) vs. sekundární (vzniklé při větrání)
- ✓ Terénní metody (litogeochemické, hydrogeochemické, biochemické, atmogeochemické)

Koncepční modely geochemické prospekce

- ✓ Souhrn geochemických aspektů prospekce zkoumané oblasti

B1 – výchozy skalního podloží
 B2, SL – reziduální půdy
 B3, TO – sediment
 R – reziduální anomálie
 M – mechanická anomálie
 H – hydromorfní anomálie
 G – gossan
 OM – oxidovaná mineralisace
 WB – zvětralý skalní podklad

(Ryall et al. 1980)



Limity geochemických vyhledávacích metod

- ✓ Nedostatek analytických metod pro vhodný indikační prvek
- ✓ Mocný kvartérní pokryv
- ✓ Komplikovaná geologická stavba
- ✓ Rozsáhlá migrace prvků
- ✓ Falešné geochemické anomálie
- ✓ Antropogenní kontaminace

Horninová geochemie (litogeochemie)

- ✓ Primární aureoly hydrotermálních ložisek
- ✓ Geochemická specializace (distribuce prvků v určitém typu hornin – magmat)
- ✓ Hustota vzorkování
(8-10 vzorků/km² u měřítka 1:25.000, do 20 vzorků/km² u měřítka 1:10.000)
- ✓ Vzorky – bodové záseky (min. 200g)

Půdní metalometrie

- ✓ Distribuce prvků ve zvětralinovém plášti
- ✓ Sekundární rozptylová pole (aureoly) ložisek
- ✓ Aureoly mechanické, hydromorfní či plynné; syngenetické či epigenetické; povrchové či zakryté

Půdní metalometrie – hustota vzorkování

Měřítko	Vzdálenost profilů [m]	Vzdálenost mezi vzorky [m]	Počet bodů na km ²
Regionální síť			
1:200.000	2000	100	5
1:100.000	1000	50-100	10-20
Vyhledávací síť			
1:50.000	500	50	40
1:25.000	250	25-50	80-160
Detailní (průzkumná) síť			
1:10.000	100	20-25	400-500
1:5.000	50	10-20	1000-2000
1:2.000	20-25	10	4000-5000

Půdní metalometrie – odběr a zpracování vzorků

- ✓ Ruční odběr (krumpáč, sondovací tyč)
- ✓ Horizont B půdního profilu (hl. 20-40 cm max.)
- ✓ Vzorek 50 g, u rozsypů 200-300 g
- ✓ Sušení, síťování a úprava na analytickou jemnost
- ✓ Analytické zpracování

Půdní metalometrie – problémy

- ✓ Falešné anomálie - zákonitost geochemických pochodů při zvětrávání obecně vs. indikace mineralizovaných struktur (nabohacení po rozpadu organické hmoty, pH bariéry, horniny s obecně vyšším obsahem určitých prvků – bituminózní břidlice)
- ✓ Kontaminace (hornická, průmyslová, zemědělská činnost)

Geochemie a mineralogie sedimentů

- ✓ Metoda vyhledávání pomocí těžkých minerálů v tzv. rozsypech (též „šlichová prospekce“)
- ✓ Mechanické sekundární rozptylové aureoly
- ✓ Nezpevněné sedimenty
- ✓ Mechanické větrání (zachování chemicky labilních těžkých minerálů)
- ✓ Členitý terén s deficitem vody v kapalném stavu (aridní, semiaridní, glaciální, periglaciální oblasti)

Stability těžkých minerálů

- ✓ I. velmi stálé – diamant, leukoxen, hematit (mimo redukční prostředí), platinoidy (mimo Pd), spinelidy, topaz, turmalín, zlato
- ✓ II. stálé – anatas, andalusit, baryt, brookit, ilmenit, kasiterit, kyanit, columbit-tantalit, monazit, pyrop, silimanit, staurolit, titanit, xenotim
- ✓ III. málo stálé – apatit, amfiboly (aktinolit, tremolit), epidot-zoisit, granáty kromě pyropu, chlorit, ortit, scheelit, wolframit
- ✓ IV. nestálé – amfiboly, pyroxeny, olivín, sulfidy

Význam metody

- ✓ Vyhledávání sekundárních ložisek – rozsypů
- ✓ Vyhledávání primárních ložisek (místo výskytu, minerální asociace, stupeň denudace)
- ✓ Regionálně geochemické údaje
- ✓ Petrologické údaje

Transport vlivem gravitace

- ✓ Hromadění těžkých minerálů na bázi svahových sedimentů = ochuzení sekundární aureoly v sedimentech vodních toků

$$a \geq \sqrt{\frac{3 \cdot i \cdot \rho_o \cdot m^3}{\Delta \rho \cdot x}}$$

kde a je rozměr zrna, i je sklon svahu, ρ_o je hustota prostředí, m je mocnost sedimentu, x je vzdálenost od rozvodí, $\Delta \rho = \rho - \rho_o$ a ρ je hustota minerálu

Transport ve vodním prostředí

- ✓ Pohyb vody laminárním prouděním (vzájemné posouvání vrstev, směr pohybu se nemění, může se měnit vektor síly proudění)
- ✓ Pohyb vody v turbulentních podmínkách – vektor síly působí různými směry, účinné pro transport a erozi (*u dna, členité části toku*)

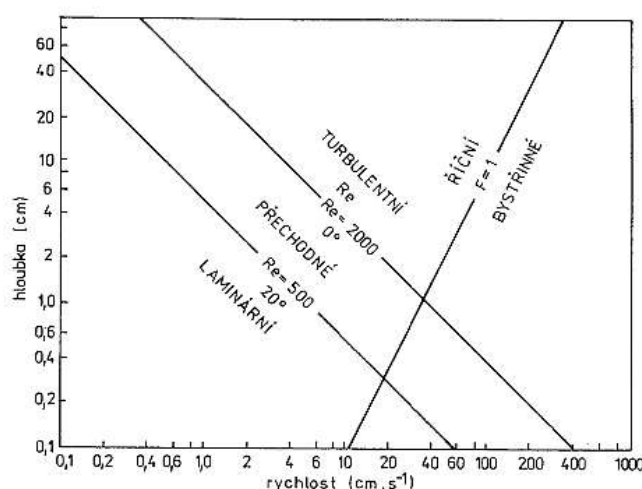
$$R = \frac{\bar{U} \cdot L \cdot \rho_o}{\mu}$$

kde R (>1) je Reynoldsovo číslo, \bar{U} je průměrná rychlost proudu, L je průměrná hloubka, ρ_o je hustota vody a μ je viskozita

Typ proudění

Typy vodního proudění v otevřeném korytě. Hranice mezi bystřinným a říčním prouděním je stanovena Froudeovým číslem = 1

(Sundborg 1956, Maňour 1987)

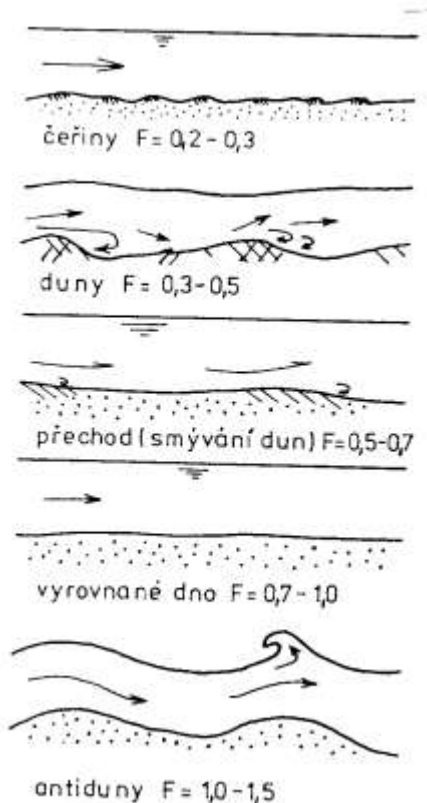


Říční vs. bystřinné proudění

$$F = \frac{\bar{U}}{\sqrt{g \cdot L}}$$

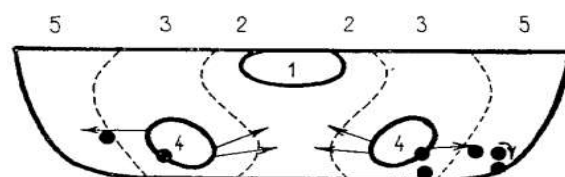
kde **F** je Froudovo číslo, **L** je průměrná hloubka, **U** je průměrná rychlost proudu a **g** je gravitační zrychlení.

Formy dne dle F. 0,2-0,5 = tvorba čeřin až duny; 0,5-0,7 = rozmývání čeřin, 0,7-1 = vyrovnané dno
(Maňour 1987)



Příčný profil proudícím tokem

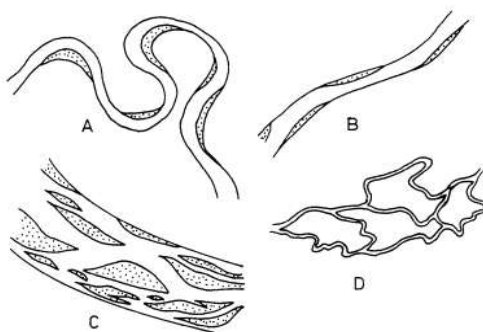
- ✓ Rozdílná rychlost proudění ve vertikálním profilu
- ✓ U dna rychlost klesá vlivem tření – vznik kontaktní laminární vrstvy
- 1 – nejrychlejší proud
- 2,3 – pásmo mírného proudění a silného víření
- 4 – nejsilnějšího víření (těžké minerály ve vznosu)
- 5 – pásmo pomalého proudění a slabého víření



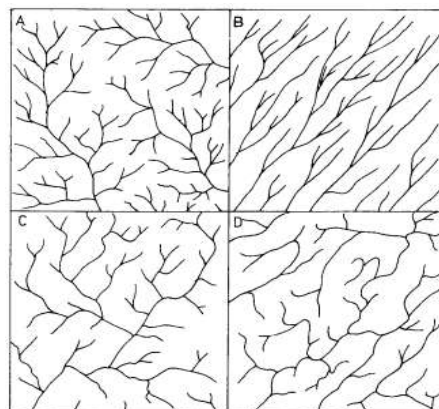
Tvar říční sítě

↓ A – dendritická, B – paralelní, C – pravouhlá, D – neuspořádaná

(Howard 1967)



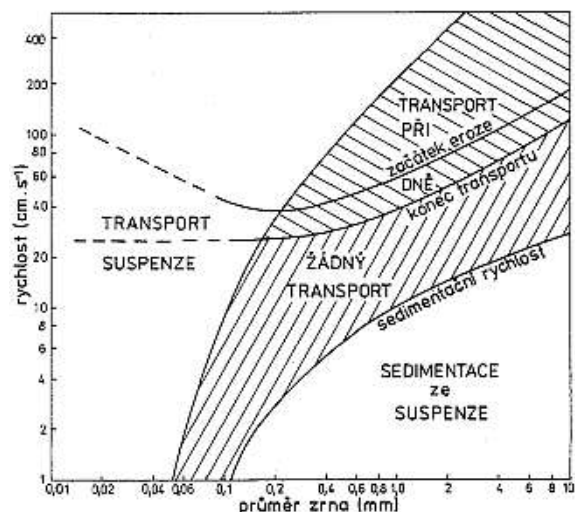
A – meandrující, B – přímé, C – divočící, D – anastomozující
(Maňour 1987)



Vliv velikosti částic na transport ve vodním prostředí

✓ Dominantní vlastnost sedimentárních částic při jejich pohybu ve vodním prostředí

Hjuströmův diagram transportu částic hustoty $2,65 \text{ g/cm}^3$ v závislosti na rychlosti vody 1 m nad dnem
(Sundborg 1956)



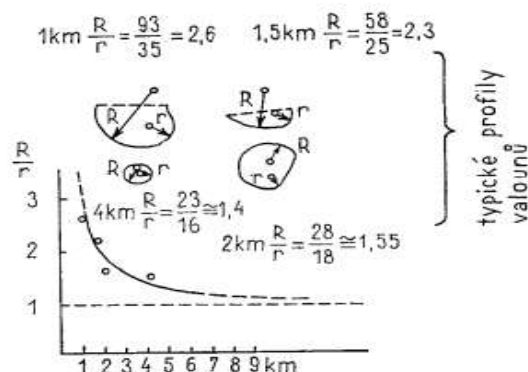
Vliv tvaru částic na transport ve vodním prostředí

• **Tvar** – odchylka od izometrického tvaru vede k nárůstu velikosti povrchu (na nějž působí energie proudění)

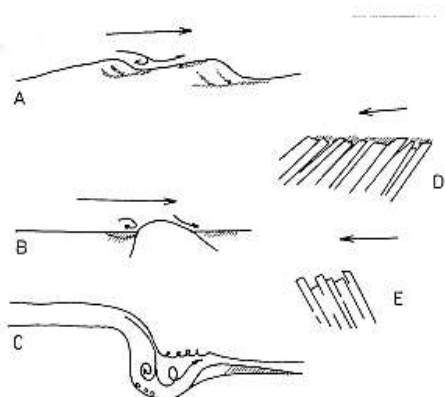
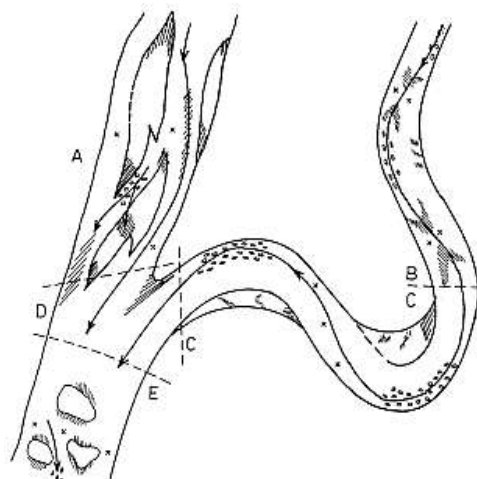
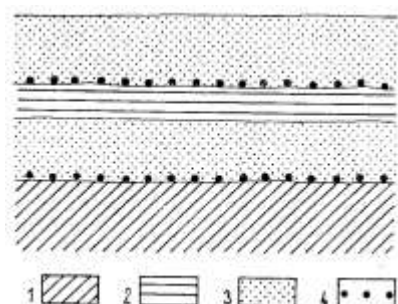
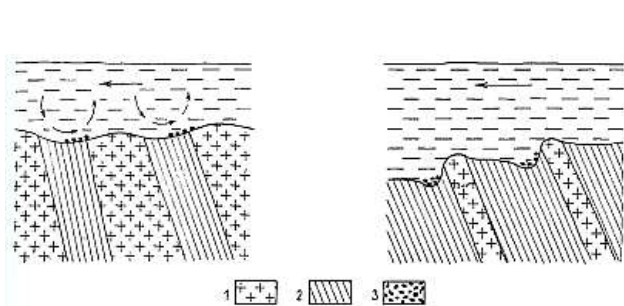
• **Opracování** – délka transportu (stupeň zaoblení)

$K = \frac{R}{r}$ kde R je poloměr maximálního zakřivení a r je poloměr minimálního zakřivení

Závislost zaoblení valounů na vzdálenosti od výchozu (Kužvar a Böhmer 1972)

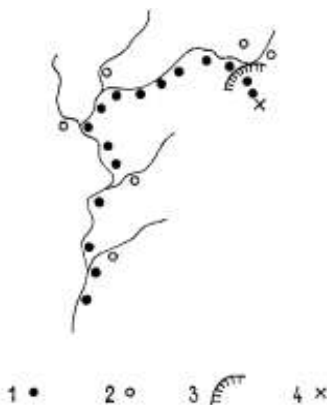
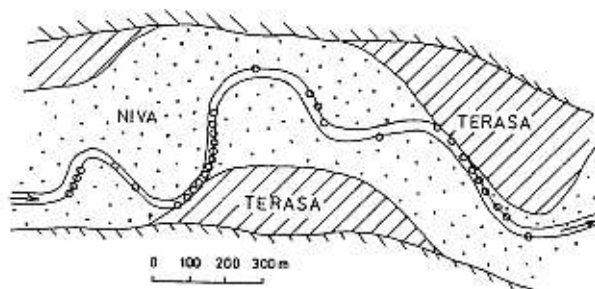


Usazování částic ve vodním prostředí



Metodika

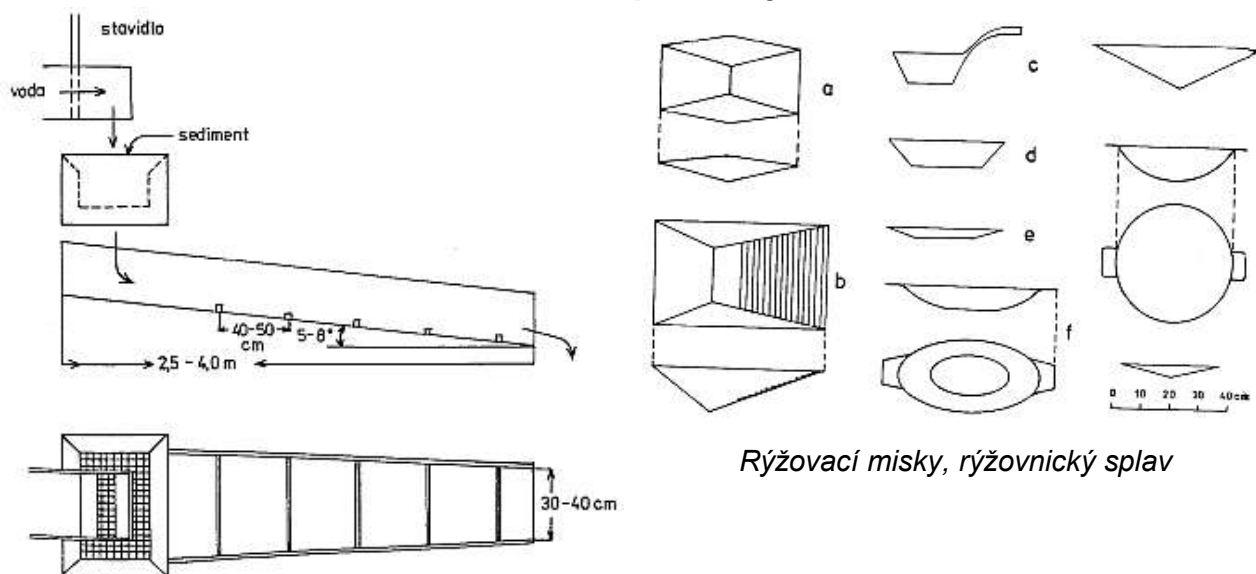
- ✓ Suché či mokré rýžování sedimentů
- ✓ Odběr vzorků („šlichů“), min. 1 g, lépe 10-15 g
- ✓ Zanesení místa odběru do mapy, deníku a popis vzorku
- ✓ Odplavení jílové frakce a lehkých nerostů
- ✓ Vysušení těžké frakce
- ✓ Laboratorní zpracování



Laboratorní zpracování

- ✓ Hustotní separace (těžké kapaliny – bromoform 2,8-2,9 g/cm³, methylenjodid 3,3-3,4 g/cm³)
- ✓ Magnetická separace (para- vs. feromagnetické minerály)
- ✓ Elektrostatické a dielektrické dělení (kalcit x křemen, křemen x topaz)
- ✓ Analytika (chemická analýza, fázová analýza)
- ✓ Optické metody (mikroskopie, luminiscence)
- ✓ Typomorfní vlastnosti (dle omezení původ – např. u zirkonů)

Pracovní pomůcky

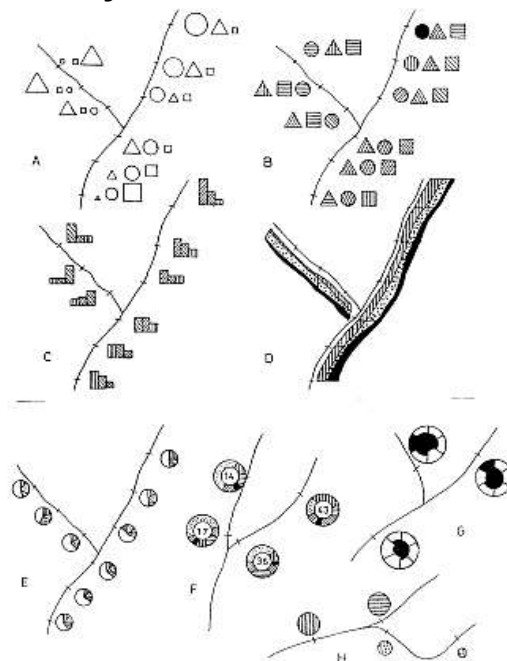
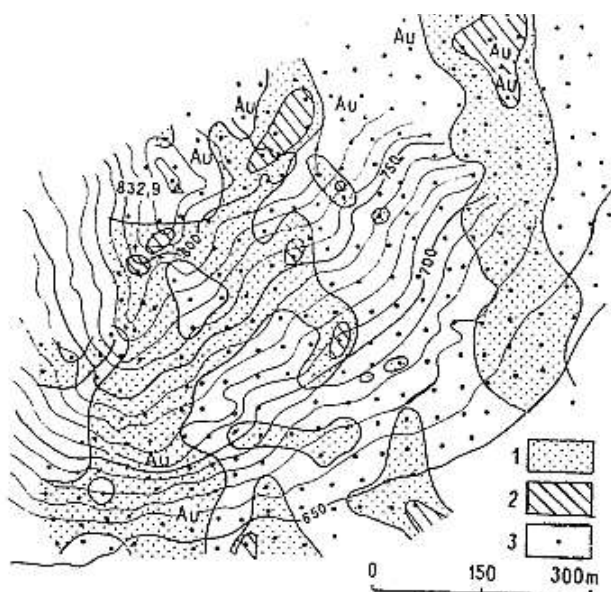


Rýžovací misky, rýžovník

Dokumentace a prezentace výsledků

Grafické znázornění do mapy

(Maňour 1987)



Využití vegetace při vyhledávání

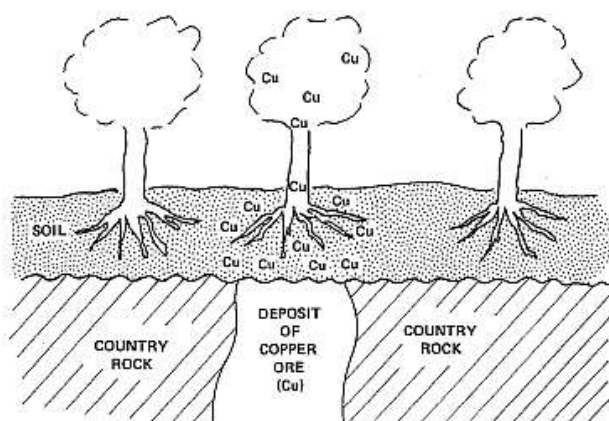
- ✓ Geobotanika – přítomnost, nepřítomnost nebo stav určité rostliny
- ✓ Biogeochemie - chemické složení vegetace
- ✓ Velký hloubkový dosah (5-8 m, v aridních oblastech až 25 m)
- ✓ Kovy do rostlinných těl difúzně nebo iontovou výměnou
- ✓ Fyziologická bariéra rostliny (rozdílná pro různé rostliny a kovy)
- ✓ Stáří rostliny, klimatické vlivy, půdní vlastnosti, mineralogické forma a charakter mineralizace

Geobotanika

- ✓ Chemické složení vegetace
- ✓ Chybějící vegetace
- ✓ Indikační rostliny (např. *Acrocephalus robertii* v oblasti Katanga, j. Zair nebo *Beccium Homblei* v zambijském měděném pásu indikuje Cu-bohaté horniny)
- ✓ V současnosti role indikačních rostlin zpochybněna
- ✓ Fyziologické změny (abnormální výška, tvar, změna barvy listů – spektrální charakteristiky)

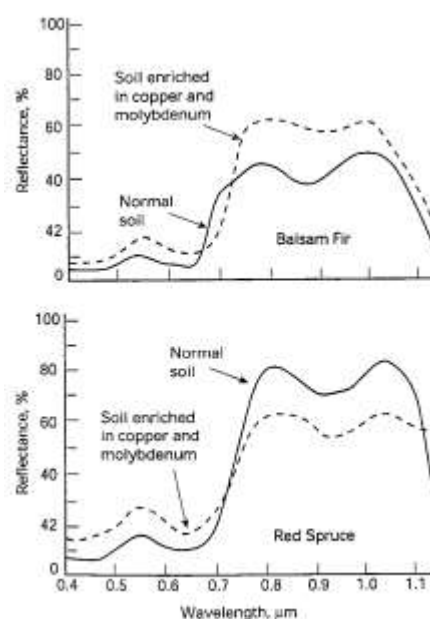
Geobotanika a DPZ

Obohacení vegetace a půdy o Cu nad výchozem ložiska (Sabins 1997)



Rozdílní reflektanční spektra dvou druhů stromů rostoucích na běžné půdě a půdě obohacené Mo a Cu

(Yost a Wenderoth 1971)



Hydrogeochemická prospekce

- ✓ Změny složení podzemních vod při styku s rudní mineralizací (zejména sulfidická)
- ✓ Vliv pH a Eh
- ✓ Procesy oxidace, hydratace, rozpouštění, desorpce a vyluhování
- ✓ Málo rozpustné sloučeniny, sorpce na koloidně dispergované částice, jílové minerály apod.
- ✓ Vzorkování (vliv srážek, ročního období, opakování) – PET láhve
- ✓ Analytika – kolorimetrie, ICP-MS apod.

Atmogeochemická prospekce

- ✓ Koncentrace prvků na rozhraní vzduch – půdní horizont
- ✓ Hledaný prvek musí být významným zdrojem plynu

- ✓ Existence vhodných kolektorů
- ✓ Nepříznivá vlhkost
- ✓ ^{222}Rn – emanometrie (ložiska U, tektonické struktury, IG průzkum podzákladí apod.)
- ✓ Merkurometrie (*měření par Hg v půdě*)
- ✓ CO_2 v půdním vzduchu (minerální vody)
- ✓ Plynné uhlovodíky (ropa – plynová karotáž)

Použití hlavních geochemických průzkumných metod

etapa	měřítko	rozsypy	jezerní sedimenty	voda	půda	zvětrávací profil	hornina	vegetace	plyn
předběžná	1:10.000-1:100.000		glaciální	aridní		laterity	výchoz	les	
detailní	1:2.500-1:10.000								aridní
Vrtný průzkum	>1:1.000								

Přehled hlavních analytických metod v geochemii

Metoda	Pořizovací cena [MKč]	Multi-elementární analýza	Rozlišení	Typ vzorku	Cena za analýzu
kolorimetrie	0,25	Ne	Nízké	Roztok	X00
AAS	2	Ne	Dobré	Roztok	X0-X00
XRF	6	Ne	Dobré	Pevný	X00
ICP-ES	4,5	Ano	Dobré	Roztok	X00
ICP-MS	9	Ano	Dobré	Roztok	X000

Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

- ✓ Optická metoda využívající absorpce elektromagnetického záření volnými atomy prvků. Při absorpci se atom převádí do vyššího energetického stavu. Srovnávací analytická metoda (výsledek na základě srovnání signálu roztoku se signálem roztoku standardů).
- ✓ **Využití** – prvková analýza (cca 70 prvků) bez předchozí separace
- ✓ **Rozlišení** – cca 0,1 mg/l

Atomová emisní spektrometrie (AES)

- ✓ Emisní spektrální analýza v oblasti atomových optických spekter. Záření vysílané excitovanými atomy, případně ionty prvků. Látka převedena do excitovaného stavu dodáním energie – působením vysokých teplot.
- ✓ **Kvalitativní analýza** – identifikace přítomných prvků podle polohy jejich čar ve spektru

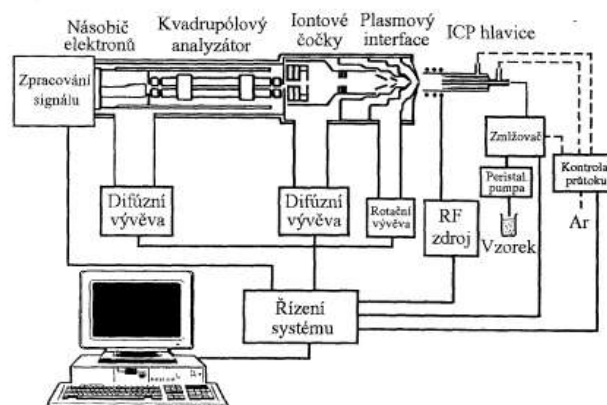
- ✓ **Kvantitativní analýza** – vždy srovnávací
- ✓ **Využití** – chemická prvková analýza pro všechny typy pevných látek, zejména anorganické
- ✓ **Rozlišení** – řádově 0,1 %

Rentgenfluorescenční spektrometrie (XRF)

- ✓ Vyhodnocuje sekundární RTG záření emitované vzorkem
- ✓ Prvky zjišťovány na základě vlnových délek charakteristických čar ve spektru. Procentuální zastoupení z intenzity čar
- ✓ **Využití** – chemická prvková analýza pro prvky s atomovým číslem vyšším než 10, všechny typy pevných vzorků
- ✓ **Rozlišení** – cca 0,1 %

Hmotová spektrometrie (ICP-MS)

- ✓ **ICP-MS** – spojení indukčně vázané plazmy s hmotnostní spektrometrií
- ✓ **LA ICP-MS** – doplnění o laserovou ablací
- ✓ **Využití** – kvantitativní obsah prvků Li až U, isotopy
- ✓ **Rozlišení** – řádově ppb



Neutronová aktivační analýza (NAA)


- ✓ Jaderná aktivace prvků přítomných ve vzorku bombardováním částicemi (neutrony, protony) z reaktoru
- ✓ **g-spektrické měření** – energie emitovaného záření g a jejich celkový počet v každé energetické úrovni
- ✓ **Využití** – přibližně 2/3 prvků periodické tabulky, nedestruktivní analýza bez nebo se standardem, analýza celkového vzorku
- ✓ **Rozlišení** – ppb-ppt, velmi citlivé např. na Au


Elektronová mikroanalýza (EPMA)


- ✓ Prvková analýza založená na bombardování vzorku usměrněným proudem elektronů – vybudování charakteristického RTG záření
- ✓ Energiově nebo vlnově disperzní RTG spektrometr
- ✓ Nutná standardizace měření
- ✓ **Využití** – velmi přesná, nedestruktivní metoda pro zjištění lokálního (body, linie, plochy) chemického složení
- ✓ **Rozlišení** – 100 ppm (WDS), 1000 ppm (EDS), prvky Be až aktinidy


Použití hlavních geochemických analytických metod


H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
		Th	Pa	U													


 Neutron Activation Analysis


 X-Ray Fluorescence

 Atomic Absorption Spectrophotometry

 Inductively Coupled Emission Spectrometry

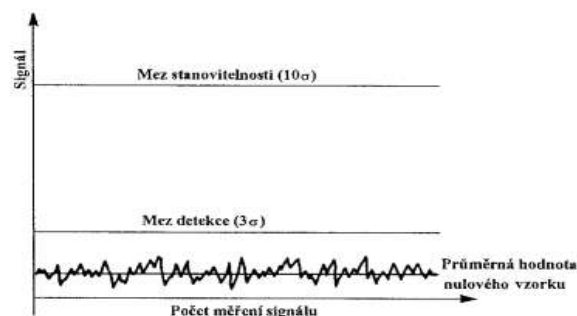
 Inductively Coupled Mass Spectrometry

 Fire Assay Preconcentration Various Finishes

 Other Methods

Citlivost měření

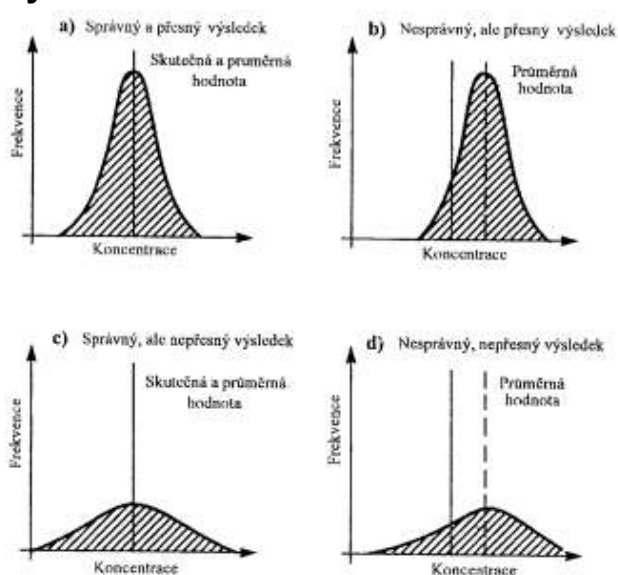
- ✓ **Mez detekce**
 - nejmenší koncentrace analytu ve vzorku, kterou lze danou metodou stanovit
- ✓ **Mez stanovitelnosti**
 - nejmenší koncentrace analytu ve vzorku, kterou lze danou metodou stanovit s přijatelnou přesností



Výsledky analytických stanovení

- ✓ **Správný výsledek**
 - v průměru shoda se skutečnou hodnotou, zatíženo jen náhodnými chybami
- ✓ **Přesný výsledek**
 - malý rozptyl, od skutečné hodnoty se může lišit soustavnou chybou

Geochemickými metodami (př. elektronová mikrosonda) zjistím pouze chemické složení. Mineralogické (fázové) složení zjistím například optickou mikroskopií, rentgenovou difrakcí atd.



Hodnocení měření

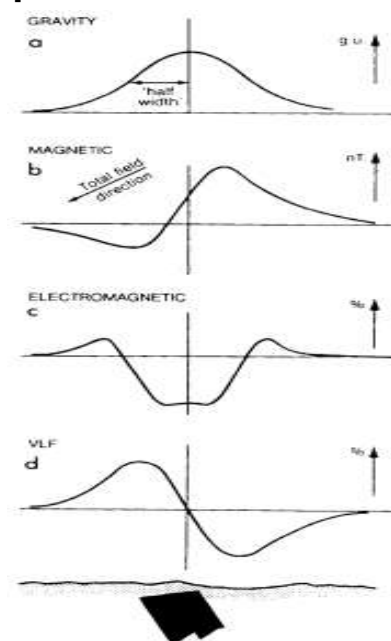
- ✓ **Reprodukovatelnost** – přesnost dosažená danou metodou bez ohledu na místo a čas měření, obsluhu atd.
- ✓ **Opakovatelnost** – přesnost dané analýzy opakovaně prováděné jedním analytikem, metodou a přístrojem

Chyby analytických stanovení

- ✓ **Náhodné** – nepravidelné a malé, nezkrslují výsledek proti skutečné hodnotě
- ✓ **Soustavné (systematické)** – pravidelné, zkrslují výsledek v určitém směru (špatná technika nebo metodický postup)
- ✓ **Hrubé** – nedopatřením, jednotlivé výsledky

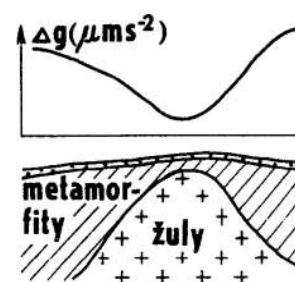
Geofyzikální metody vyhledávání a průzkumu

- ✓ Geologická situace na základě měření fyzikálních vlastností
- ✓ Kontrast fyzikálních vlastností hornin (geofyzikální anomálie) ve zkoumané oblasti
- ✓ Přirozená fyzikální pole (magnetika, gravimetrie, vybrané geoelektrické metody, radiometrické metody)
- ✓ Umělá (vybuzená) fyzikální pole (většina geoelektrických metod, seismika, některé radioaktivní metody)
- ✓ Fyzikální vlastnosti hornin – fyzikální vlastnosti minerálů – fyzikální vlastnosti prvků a chemických vazeb mezi nimi



Gravimetrie a hustota hornin

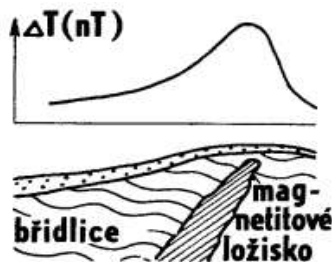
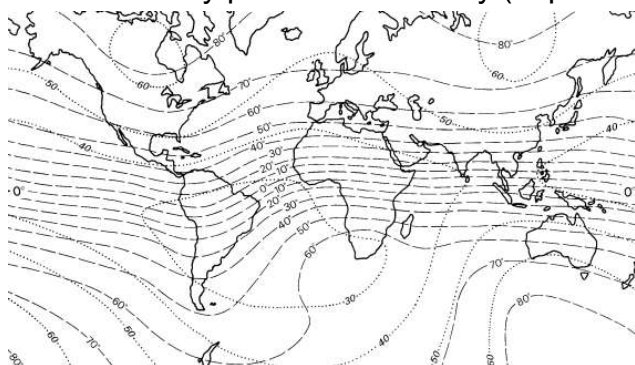
- ✓ Měření zemského tíhového pole a jeho anomálií (hustotní nehomogenity)
- ✓ Zemské tíhové zrychlení g [$\mu\text{m/s}^2$]
- ✓ Tíhové mapy (tíhové nehomogenity v zemské kůře)
- ✓ Hustota pevné fáze (mineralogická hustota) (skalární veličina závislá pouze na mineralogickém složení)
- ✓ Objemová hustota (objemová hmotnost) (hmotnost suché horniny k jejímu objemu)
- ✓ Použití – rozsah sedimentárních pánví, maxima nad rozsáhlými tělesy Fe-rud a polymetaly, minima nad solnými pni



Magnetické vlastnosti hornin a magnetometrie

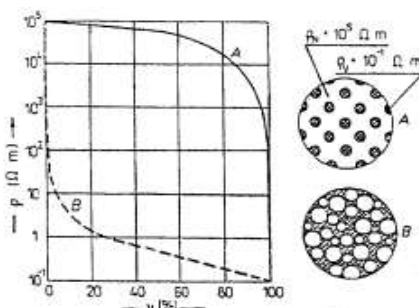
- ✓ Nejrychlejší a většinou nejlevnější GF průzkumná metoda
- ✓ Magnetizace hornin a minerálů v zemském magnetickém poli
- ✓ Dočasná (indukovaná) vs. trvalá (remanentní) magnetizace
- ✓ Magnetická indukce T [nT] (resp. ΔT) a magnetická susceptibilita κ [10^{-5} SI]

- ✓ Obsah magnetických minerálů (magnetit, pyrrhotin)
- ✓ Minerály diamagnetické (10^{-5} - 10^{-6} grafit, živce, křemen), paramagnetické (10^{-5} - 10^{-3} pyrit, amfiboly, siderit, pyroxeny), ferromagnetické
- ✓ Průzkumný potenciál – bazalty (např. tavné), kimberlity, Fe-rudy (s magnetitem)



Elektrické vlastnosti hornin

- ✓ Měrný elektrický odpor (rezistivita)
- ✓ 3 základní typy – vodiče = přírodní kovy, dielektrika (nevodiče, izolátory) = většina minerálů, polovodiče = rudní minerály (sulfidy, oxidy, arsenidy a grafit)
- ✓ Dáno stavbou krystalové mřížky a strukturou elektronových energetických pásů
- ✓ Měrný odpor minerálů – většinou nad 10^6 [Ωm]



- ✓ U hornin závislost na: stupni navětrání, rozpukání, pórovitosti, nasycení vodou, mineralizaci vody, teplotě vody, stavba
- Vztah mezi měrným odporem a objemovým zastoupením vodivých minerálů – nepropojeny (A) a propojeny (B) (Karous 1989)

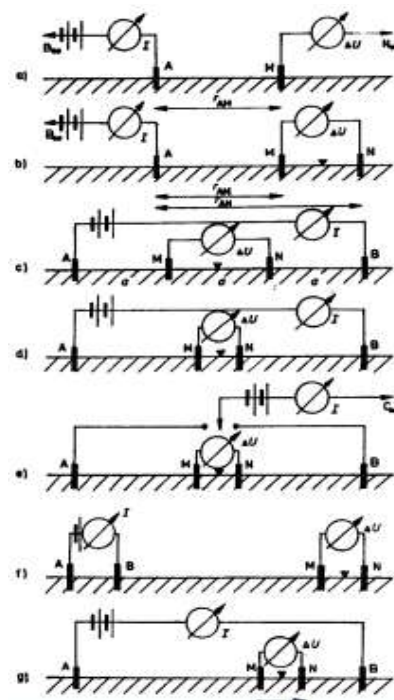
Odporové geoelektrické metody

- ✓ Využití modifikovaného Ohmova zákona

$$\rho_z = k \cdot \frac{\Delta U}{I}$$

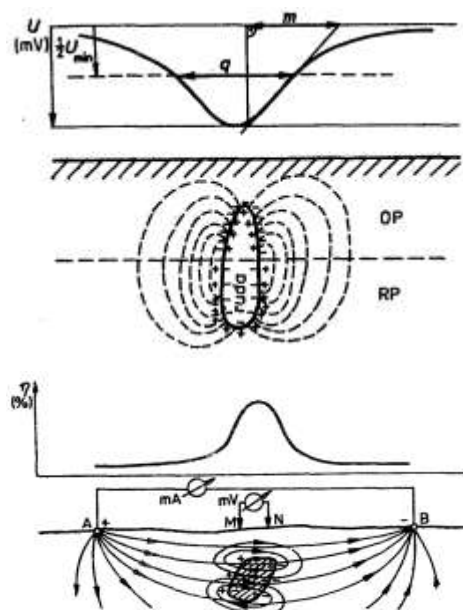
- ✓ Výpočet zdánlivého měrného odporu ρ_z [Ωm], napětí ΔU [mV] mezi potenčními elektrodami (MN), proud I [mA] v zemi po zavedení proudovými elektrodami (AB)
- ✓ profilování (SOP, KOP) (konstantní vzdálenost mezi elektrodami), očekává se subvertikální rozhraní
- ✓ sondování (VES) (střed uspořádání na místě, roste rozestup elektrod = zvětšení hloubkového dosahu), očekává se subhorizontální rozhraní

SOP = symetrické odporové profilování



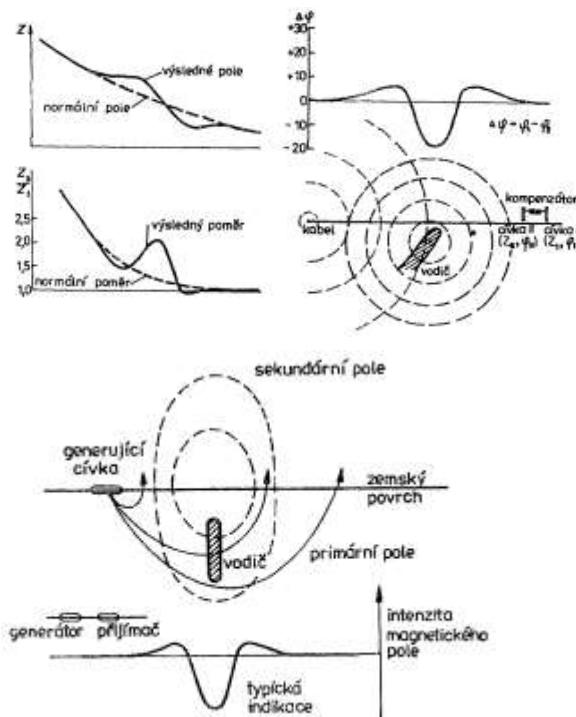
Elektrochemické geoelektrické metody

- ✓ Odporové metody neřeší typ vodivosti (elektronová = zrudnění vs. iontová = tektonická porucha)
- ✓ Spontánní polarizace (SP) – stejnosměrné elektrické pole v okolí přirozených elektronových vodičů (cca = galvanický článek), styk oxidační a redukční zóny (skvělé pro pyrit, grafit)
- ✓ Vyzvaná polarizace (VP) – projev po zavedení elektrického pole, elektrochemické jevy na hranici pevné a kapalně fáze, umožňuje lokalizovat i vtroušené zrudnění



Elektromagnetické geoelektrické metody

- ✓ Přirozená nebo umělá elektromagnetická pole
- ✓ TURAM – primární pole = obdélníková pravoúhlá smyčka či nekonečný kabel, pole měřeno dvěma cívkami, zejména rudní polohy
- ✓ SLINGRAM – pohyb generátoru (vertikální dipól) s přijímačem po profilu, zejména rudní polohy
- ✓ VDV – využívá el.mag. pole dlouhovlnných vysílačů (ponorky), zejména tektonika

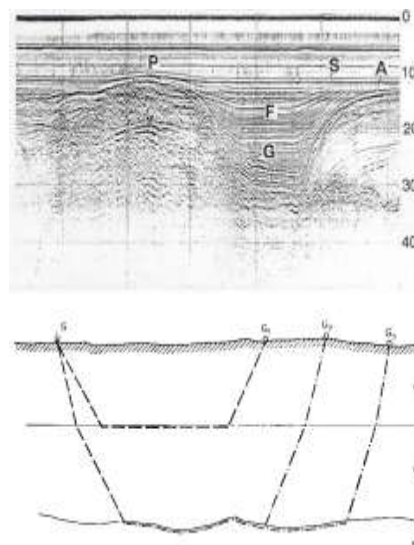


Jaderné vlastnosti hornin a radionuklidové metody

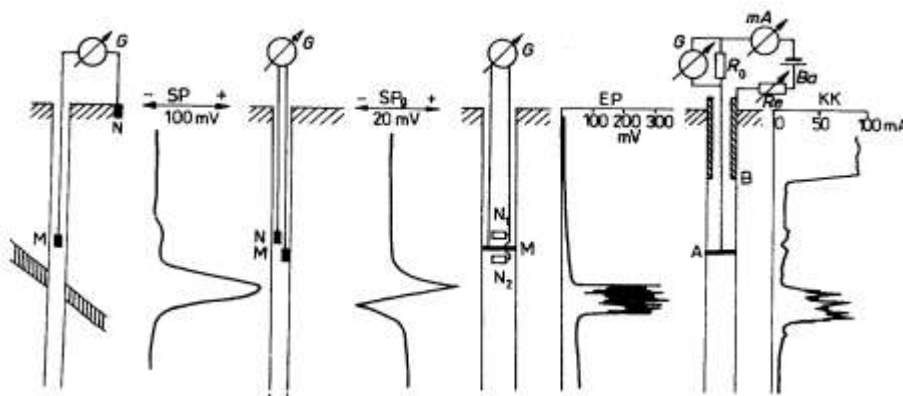
- ✓ Přeměny jader atomů, vznik jaderného záření a jeho působení na hmotu
- ✓ Přirozená radioaktivita hornin (radiometrické metody)
- ✓ Vybuzeé radioaktivní záření (metody jaderné geofyziky)
- ✓ Gamaspektrometrie
- ✓ Emanometrie (obsah radioaktivních plynů v půdním vzduchu) – základní metoda pro vyhledávání ložisek U
- ✓ Jaderná geofyzika – různé zdroje záření (gama-gama, gama-neutron, neutron-gama, neutron-neutron, neutron aktivační analýza)

Elastické vlastnosti hornin a seismické metody

- ✓ Elastické vlastnosti minerálů (anisotropie)
- ✓ Stav hornin: navětrání, stavba, rozpuštění, přítomnost vody, pórovitost (hlavně u sedimentárních hornin)
- ✓ Podélné a příčné vlny (v_P a v_S) [km/s]
- ✓ Reflexní a refrakční seismika
- ✓ Středně až velmi pracná metoda, nákladná
- ✓ Využití – skryvkové poměry, stavba sedimentárních a zvětrávacích ložisek, kvalita stavebního kamene, vnitřní stavba sedimentárních pánví



Geofyzikální měření ve vrtech



- ✓ Karotáž – fyzikální charakter hornin v těsném okolí vrtu (vlastnosti, porušení, zrudnění)
- ✓ Vrtná geofyzika – geologická stavba širšího okolí vrtu nebo mezi více vrtů
- ✓ Metody geoelektrické, dále tíhové, magnetické, radiometrické a seismické vyhledávání a průzkum na ložiska ropy a zemního plynu

Geoinformační systémy (GIS)

- ✓ Vyhledávání a průzkum – proces získávání dat a informací a jejich interpretace
- ✓ Informační systémy (sběr, uchování a zpracování dat, prezentace výsledných informací)
- ✓ Databázové systémy (spojení informačních systémů, systém řízení databází)
- ✓ Geoinformační systémy (integrováný soubor prostředků pro sběr, uchování, vyhledávání, transformace a znázorňování prostorových dat)