

Geofyzikálne merania vo vrtoch

Karotážne metódy

RNDr. Andrej Mojzeš, PhD.

- názov „karotáž“ pochádza z francúzskeho výrazu „carottage électrique“, doslovne „electrical coring“ (angl.) = „elektrické jadrovanie“? (slov.)
- pojem zaviedli bratia Marcel a Conrad Schlumbergerovci pre geofyzikálnu techniku merania elektrického odporu hornín vo vrtoch pre účely identifikácie ropného kolektora na ropnom poli Pechelbronn 5.9.1927

Definícia

- je to súbor geofyzikálnych metód, ktorých aplikácia vedie k meraniu fyzikálnych vlastností hornín v okolí vrtu, kvapalín vo vrte a k objasneniu technického stavu vrtu

Podmienka realizácie

- existencia vrtu = vertikálnej diery do vrchných častí zemskej kôry (umelý zásah)

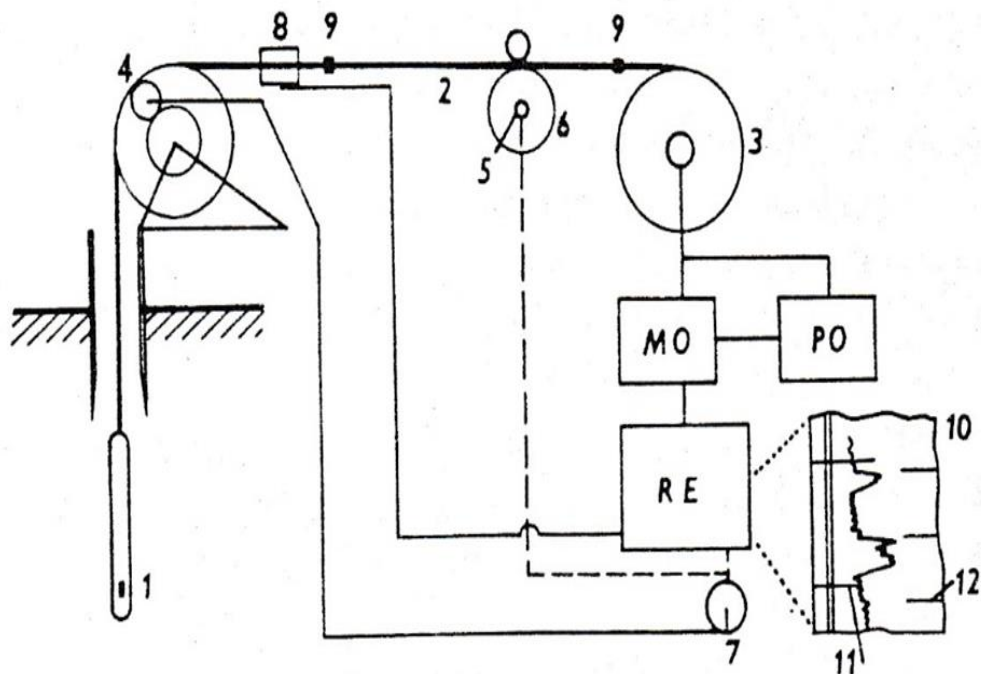
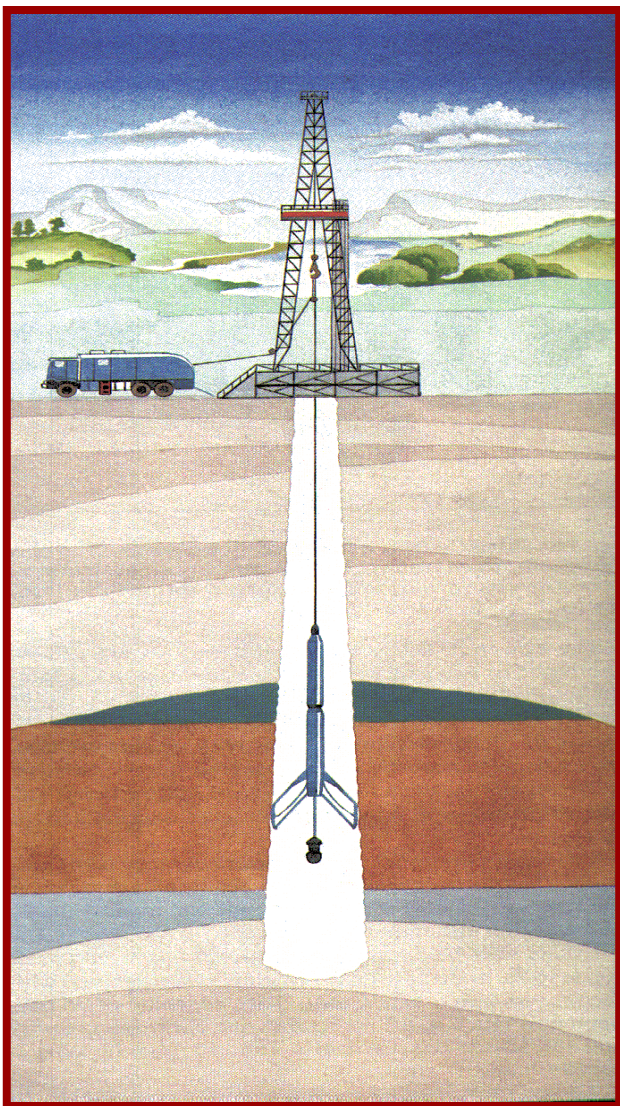
Fyzikálne princípy a základy

- sú odvodené z povrchových variant geofyzikálnych metód

Špecifiká

- priestorová (4Π) geometria merania, málorozmerová meracia sonda (valec = priemer niekoľko cm x dĺžka do jednotiek m)

Karotážna terénna a bloková schéma



Obr. 382. Blokové schéma karotážní soupravy při práci v terénu

- 1 – karotážní sonda; 2 – karotážní kabel; 3 – vrátek; 4 – zapouštěcí kladka;
- 5 – fotoelektrický snímač impulsů; 6 – měrné kolo; 7 – krokový motor;
- 8 – snímač hloubkových značek; 9 – hloubkové značky na kabelu;
- 10 – karotážní záznam; 11 – hloubková značka na záznamu; 12 – časová značka

Výhody

- bezprostredný styk meracieho elementu s meraným objektom

Nevýhody

- vplyv výplachu
- hraničné efekty na styku rôznych prostredí

výplach = ílovitý roztok vháňaný do vrtu počas vrtania za účelom chladenia a mazania vrtnej korunky a výnosu rozvolnenej horniny



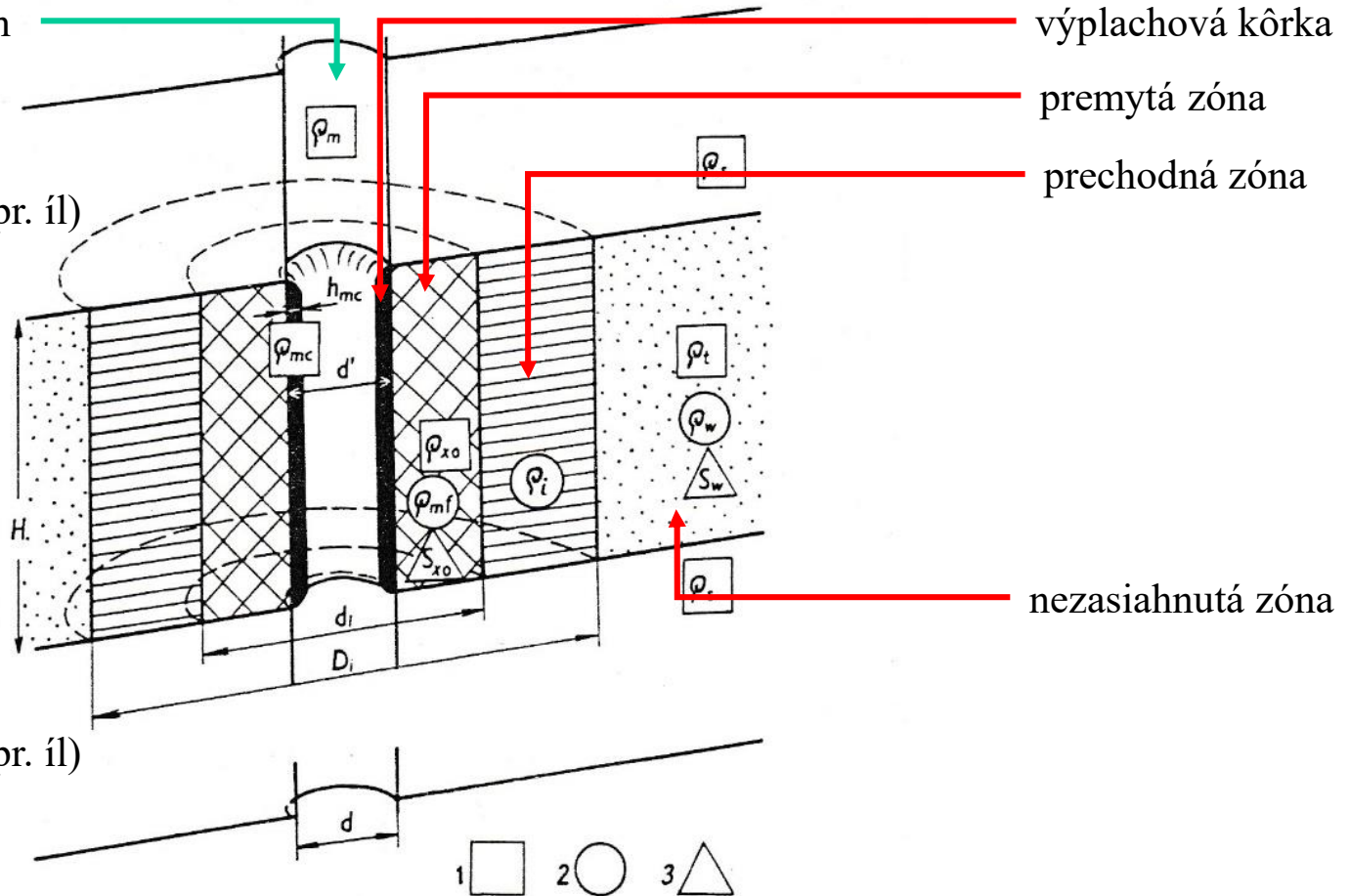
čiarkované pole ilustruje cylindrický obraz invázie

vrtný otvor s výplachom

nepriepustná vrstva (napr. íl)

priepustná vrstva
(napr. piesok)

nepriepustná vrstva (napr. íl)



Obr. 381. Řez propustnou vrstvou zastiženou hlubinným vrtem
(podle Schlumbergera, 1968)

1 — měrné odpory jednotlivých prostředí; 2 — měrné odpory vod vyplňujících póry jednotlivých prostředí; 3 — vodonasycenost jednotlivých zón;
 H — mocnost vrstvy; h_{mc} — tloušťka výplachové kůrky; d — průměr vrtu;
 d_i — průměr promyté zóny; D_i — průměr zóny průniku

vrt a karotážne meranie

- Karotážne merania sú bez vrtu nepredstaviteľné
 - vrtanie robí vzorky kompaktnejšími
 - vrtanie je doprevádzané mikrotrhlinami
 - počas vrtania sú najjemnejšie častice prostredia odnesené
- Vrtný výplach cirkuluje vo vrte:
 - sladká alebo slaná voda, voda so stlačených vzduchom
 - bentonit s vodou
 - zriedený nevodivý olej (5-25%)
 - organický výplach
 - penový výplach
 - Výplach plní niekoľko funkcií:
 - –vynáša horninové častice k povrchu
 - –vyrovnáva hydraulický tlak
 - –ochladzuje a maže vrtné zariadenie
 - –zpevňuje pažnice oproti priepustným vrstvám tzv. „mud cake“
 - –eviduje straty a prítoky vody- vlastnosti kolektorov

- Karotážne merania poskytujú spojitú registráciu zmien fyzikálnych a chemických vlastností geologických prostredí, ako funkciu hĺbky
- Karotážne meranie je spojité a zasiahnutý objem horninových prostredí je oproti objemu vzorky, omnoho väčší
- Až na niektoré výnimky, **karotážne merania musia byť realizované pred zapažením vrtu**, aby získané merané informácie neboli touto operáciou ovplyvnené
- Aplikácia KM je úspešná, ak **rešpektuje špecifiká techník, používaných ku konkrétnemu účelu**, berie do úvahy vlastnosti kolektorov a tiež vlastnosti výplachu
- Treba poznamenať že **karotážne merania**, oproti meraniam na vzorkách **možno kedykoľvek reprodukovať a reinterpretovať**

Prehľad použitia základných karotážných metód

Metódy elektrickej karotáže

- pasívne metódy (prírodné elektrické pole)
 - metóda spontánnej polarizácie (SP)
 - metóda elektródových potenciálov (EP)
- aktívne metódy (umelé elektrické pole)
 - metóda klzajúcich kontaktov (KK) = prúdová karotáž
 - odporové karotážne merania:
 - s jednoduchým usporiadaním elektród (Ra)
 - potenciálovým Ra_p
 - gradientovým Ra_g
 - s fokusáciou poľa (laterológ LL3, LL7 a sférický fokusovaný laterológ SFL)
 - odporové mikromerania (mikrológ ML, mikrolaterológ MLL, karotáž príľahlej zóny = proximity log PL a sférický fokusovaný mikrolaterológ MSFL)
 - metóda vybudených (vyvolaných) potenciálov (VP)
 - elektromagnetická indukčná karotáž (IK)
 - elektromagnetická dielektrická karotáž (DK)

Metódy jadrovej karotáže

- pasívne metódy (prírodná rádioaktivita)
 - gama karotáž (GK)
 - spektrálna gama karotáž (SGK)
- aktívne metódy (umelá rádioaktivita)
 - gama-gama karotáž (GGK) (hustotná a selektívna)
 - röntgen-fluorescenčná karotáž (RFK, XRF)
 - gama-neutrón karotáž (GNK)
 - neutrón-neutrón karotáž (NNK)
 - neutrón-gama karotáž (NGK)

- **Ostatné metódy karotáže**

- akustická (seizmická) karotáž (AK)
- vrtná gravimetria (VG)
- magnetická karotáž (MK)
- jadrovo – magnetická karotáž (JMR)

- **Metódy merania fyzikálnych vlastností kvapalín vo vrte**

- termometria (TM)
- rezistivimetria (RM)
- fotometria (FM)
- vrtné prietokomery (PM)
- meranie hustoty
- meranie podielu ropa - voda

- **Metódy merania geometrických parametrov vrtu** (získovanie technického stavu vrtu)

- kavernometria (KM)
- inklinometria (IM)
- stratametria (SM)

Metódy elektrickej karotáže - pasívne

Metóda spontánnej polarizácie - SP karotáž

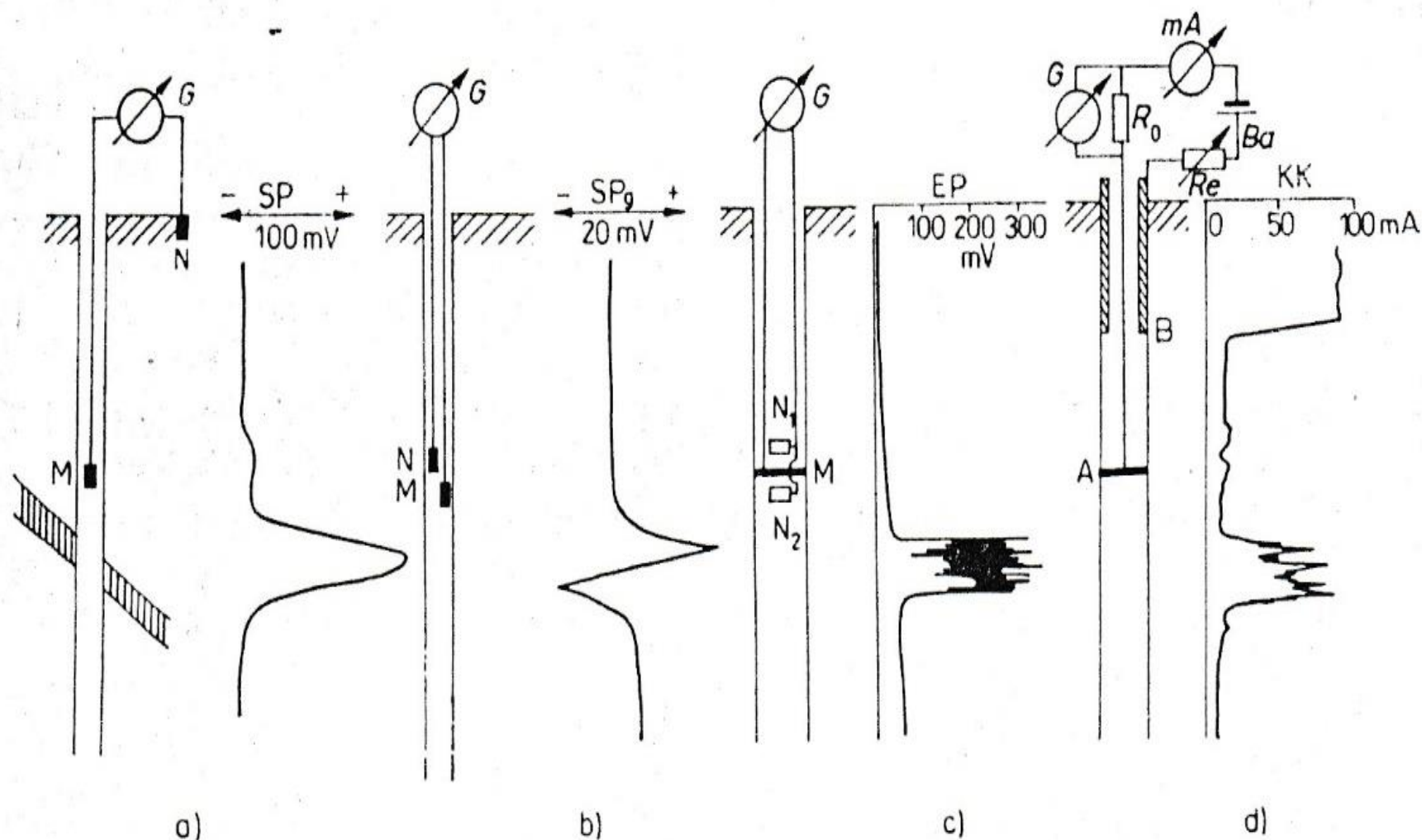
- meranie samovoľne vznikajúcich prírodných potenciálov vo vrte nepolarizovateľnými elektródami
 - meranie: 2 potenciálové (nepolarizovateľné = Pb prstence na sonde) elektródy M a N v usporiadaní:
 - a) potenciálovom (jedná je pevná na povrchu, druhá sa spúšťa do vrtu)
 - b) gradientovom (obe blízko pri sebe sa spúšťajú do vrtu)
 - medzi M a N sa meria potenciálový rozdiel [**mV**]

Metóda elektródových potenciálov - EP karotáž

- meranie samovoľne vznikajúcich prírodných potenciálov vo vrte polarizovateľnými elektródami
 - meranie: 2 potenciálové (polarizovateľné = Zn, Fe) elektródy M a N:
 - M je tvaru štetky a klíše po stene vrtu (dotýka sa rudy)
 - N je tvorená 2 prstencami N1 a N2 na sonde okolo M a nedotýka sa steny
 - medzi M a N sa meria elektródový potenciál [**mV**] – oproti rude je kladný (+)

Metóda klzajúcich kontaktov (KK) - prúdová karotáž

- nepoužívajú sa potenciálové (meracie) elektródy M a N, ale prúdové (sýtne) elektródy A a B
- meranie: 2 prúdové elektródy A a B:
 - A je tvaru štetky a klže po stene vrtu (dotýka sa rudy)
 - B je na povrchu (stabilne uzemnená na kovovej pažnici vrtu)
- medzi A a B sa meria elektrický prúd [**mA**] tečúci medzi nimi cez horniny
- hlavne na rudných ložiskách – oproti rudnej polohe sa elektrický prúd v obvode AB prudko zvýši
- tiež na prieskum nerúd (íly, vápence)
- vo vrte nemusí byť výplach!



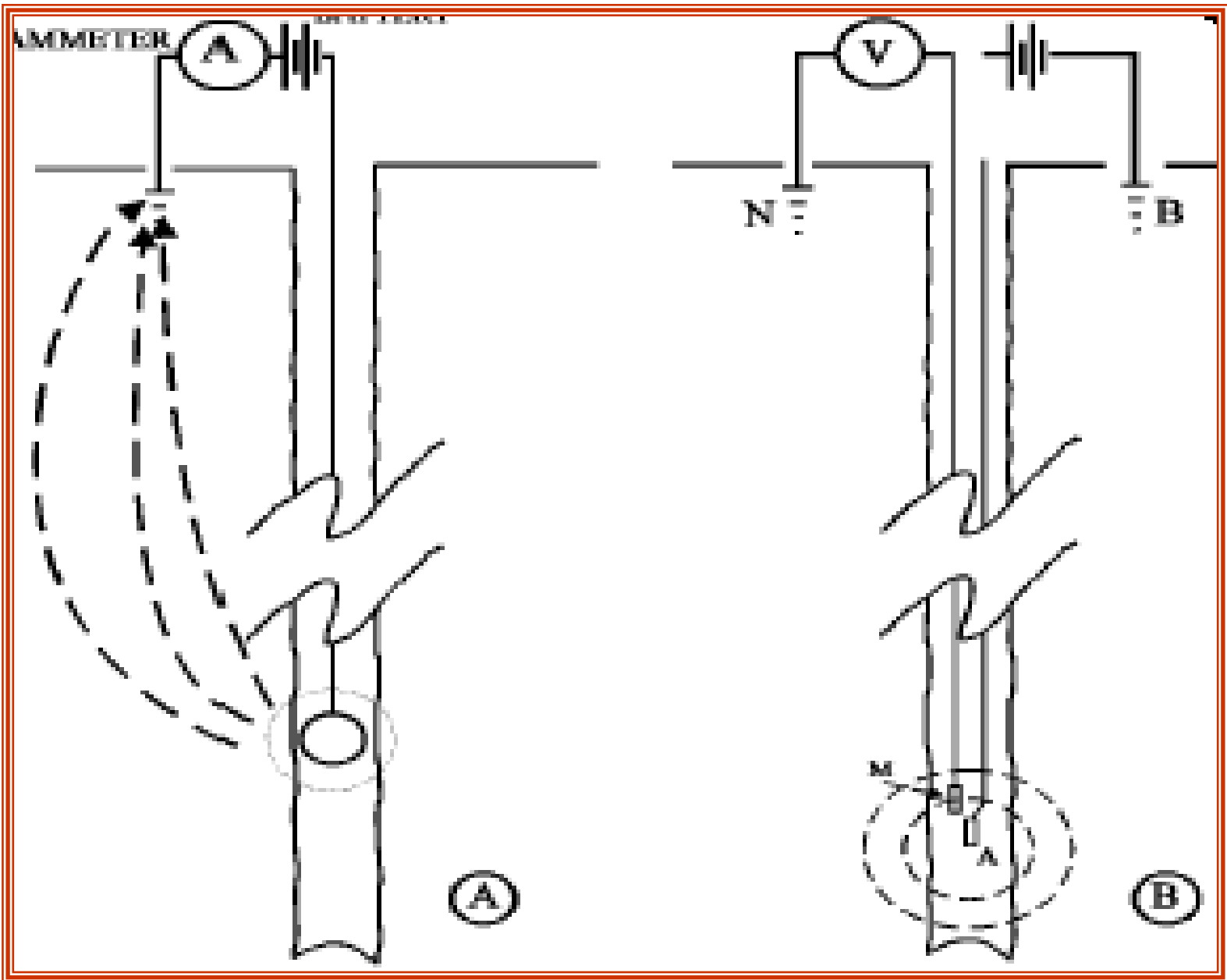
Obr. 74. Projev sulfidické rudní polohy na záznamu vlastních potenciálů SP (a), gradientu vlastních potenciálů SPg (b), elektroodových potenciálů EP (c) a klouzajících kontaktů KK (d) M, N — měřicí elektrody, A, B — proudové elektrody, G — registrační galvanoměr, mA — miliampérmetr, Ba — anodová baterie, R_0 — kontrolní odpor (1Ω), Re — reostat

Odporové karotážne metódy

- účel: štúdium odporových vlastností geologických vrstiev
- **zdanlivý merný elektrický odpor [Ωm] hornín môžeme merať rôznymi technikami aj metodikami**
- od najjednoduchších usporiadaní elektród (bodová elektróda), po najzložitejšie akou je fokusácia poľa, alebo využitie IK (EM log)
- merania musia byť takmer vždy realizované v nezapaženom vrte, alebo s perforovanými plastikovými pažnicami
- usporiadanie prúdových A, B aj potenciálových elektród M, N v odporovej sonde môže byť rôzne

tri hlavné skupiny metód:

- **s jednoduchým usporiadaním elektród** (sondy potenciálové (normálové) R_a_p a sondy gradientové (laterálne) R_a_g)
- **s fokusáciou (usmernením) elektrického poľa (laterológy)**
- **odporová mikrokarotáž**



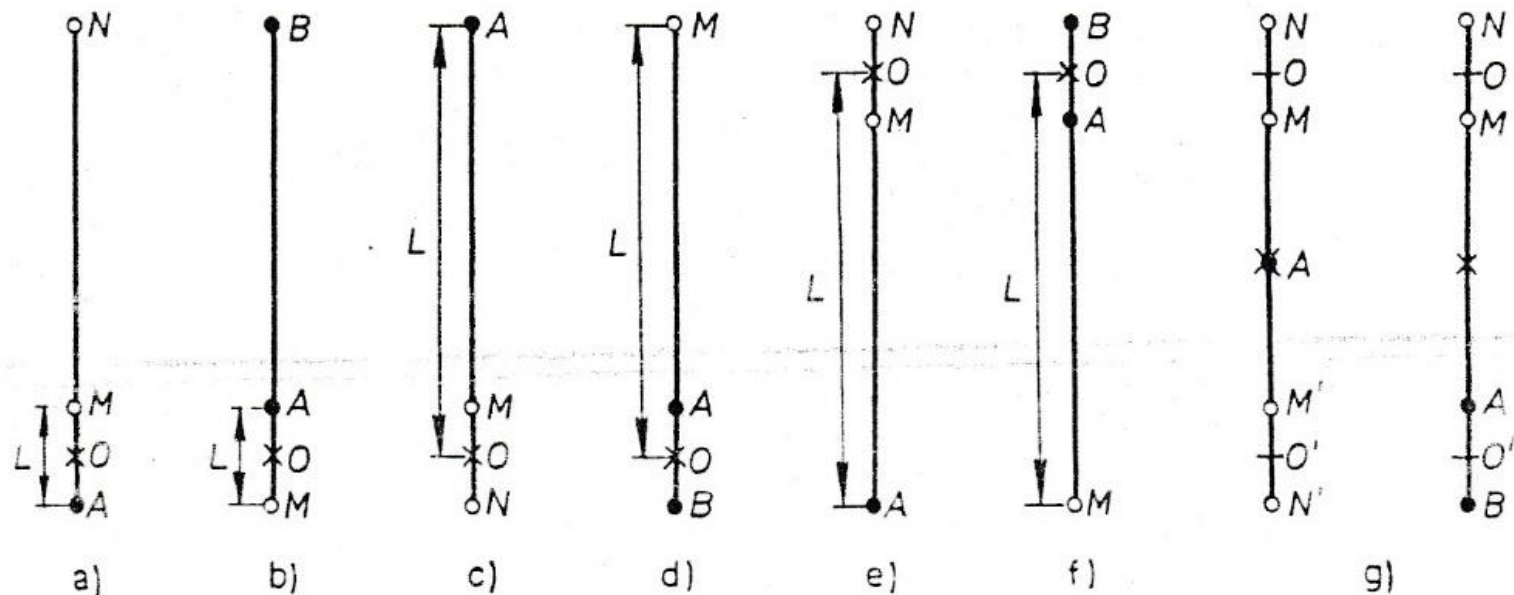
Odporová karotáž s jednoduchým usporiadaním elektród

prúdové A, B aj potenciálové elektródy M, N sú v podobe prstencov umiestnené na karotážnej sonde

Jednoduché odporové sondy:

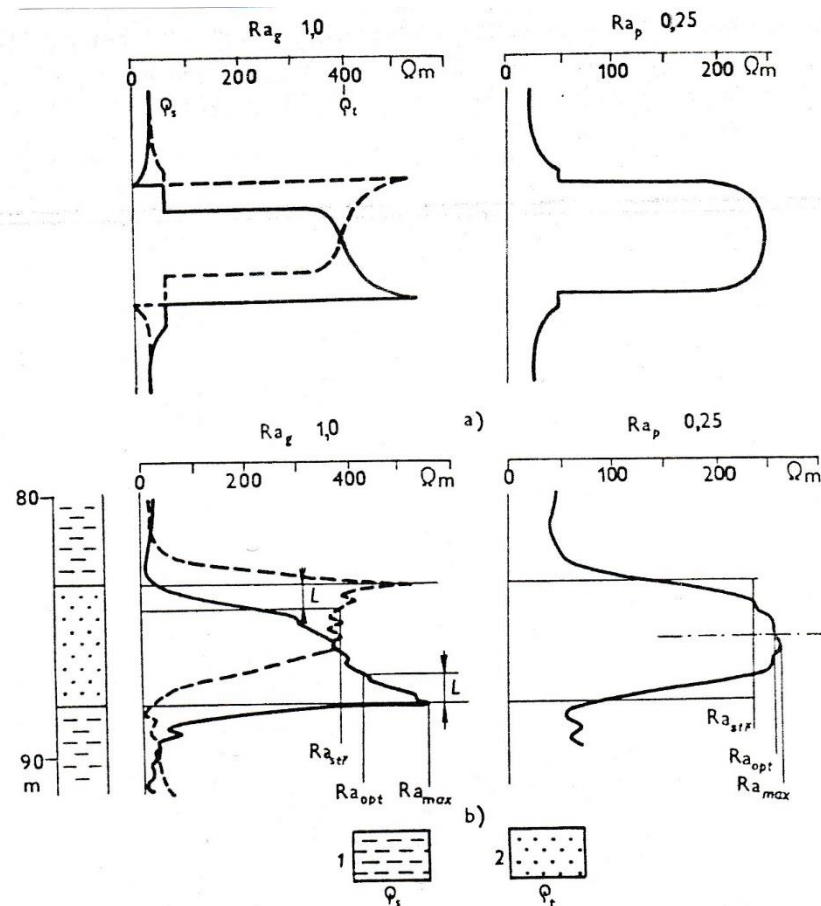
- a) potenciálové (normálové) – merajú Ra_p ; vzdialenosť elektród rovnakej funkcie je väčšia ako vzdialenosť elektród nerovnakej funkcie
- b) gradientové (laterálne) – merajú Ra_g ; vzdialenosť elektród rovnakej funkcie je menšia ako vzdialenosť elektród nerovnakej funkcie
 - podložné = dipól z elektród rovnakej funkcie je **pod** samostatnou elektródou opačnej funkcie
 - nadložné = dipól z elektród rovnakej funkcie je **nad** samostatnou elektródou opačnej funkcie
- jednopólová sonda = má 1 prúdovú elektródu
- dvojpólová sonda = má 2 prúdové elektródy

Odporová karotáž s jednoduchým uspořádáním elektrod



Obr. 388. Schéma nejčastějších uspořádání elektrod u jednoduchých odporových sond
 a) potenciálové sondy jednopólové; b) potenciálové sondy dvoupólové; c) gradientová sonda podložní jednopólová; d) dvoupólová; e) gradientová sonda nadložní jednopólová; f) dvoupólová; g) speciální sondy (symetrická gradientová, označovaná též vápencová; dipólová sonda)

Odporová karotáž s jednoduchým usporiadaním elektród



Zdanlivý merný elektrický odpor

$$Ra = k (\Delta U/I) \quad [\Omega m],$$

kde ΔU je potenciálový rozdiel medzi M a N

I je prúd tečúci medzi A a B

k je konštanta usporiadania

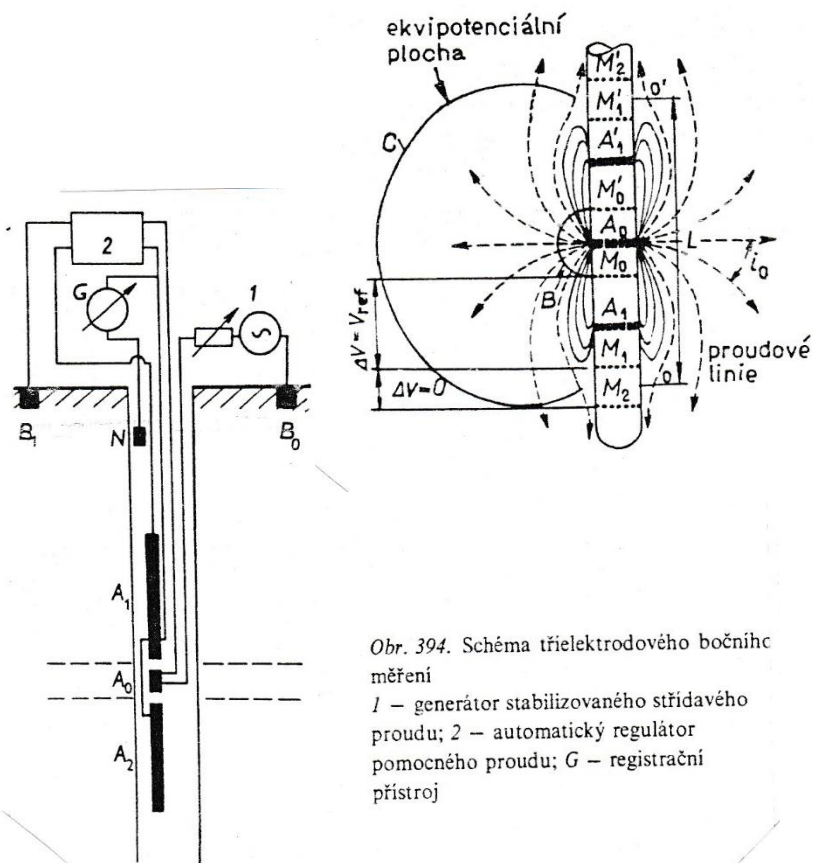
- krivky Ra_p sú symetrické
- krivky Ra_g sú nesymetrické

Obr. 389. Tvar teoretických (a) a prakticky naměřených (b) odporových křivek Ra_p a Ra_g proti vrstvě pískovce o vyšším měrném odporu ($\rho_1 \approx 10\rho_2$)

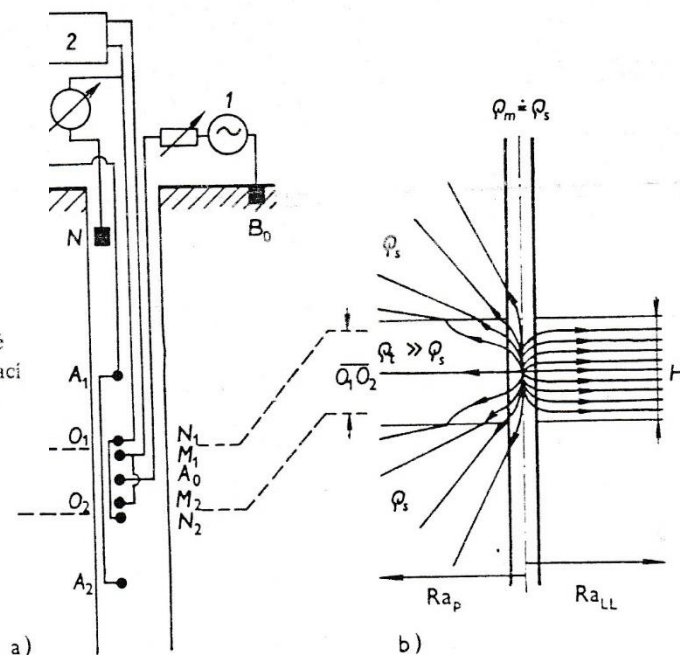
1 – jílovce o měrném odporu ρ_1 ; 2 – pískovce o měrném odporu $\rho_2 \approx 10\rho_1$

Odporová karotáž s fokusáciou elektrického poľa

- **fokusácia poľa** = usmernenie poľa žiadaným smerom (aby dráha elektrického prúdu cez výplach a zónu prieniku bola čo najkratšia)
- sonda sa volá **laterológ** – 3 druhy usporiadania: 3-elektrodový laterológ LL3, 7-elektrodový laterológ LL7 a sférická fokusácia poľa SFL



Obr. 397. Schéma odporové karotáže se sférickou fokusací pole (podle O. Serra, 1979)



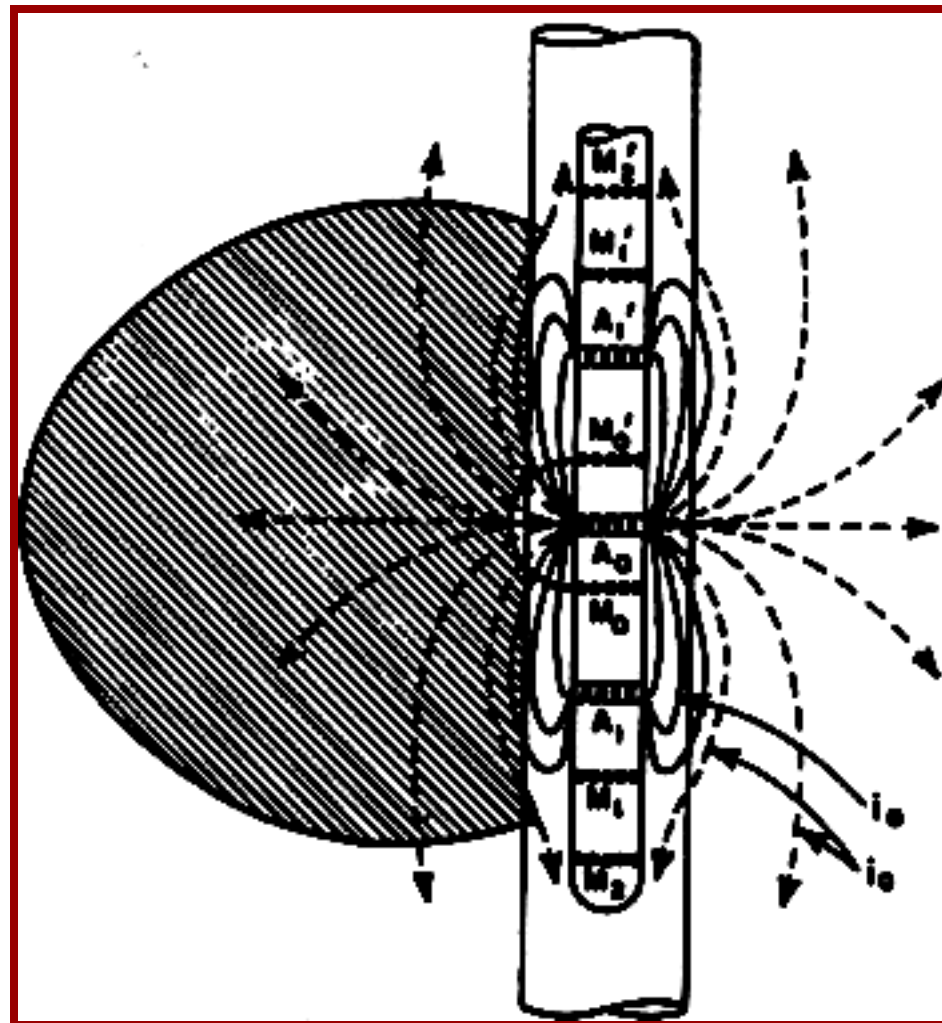
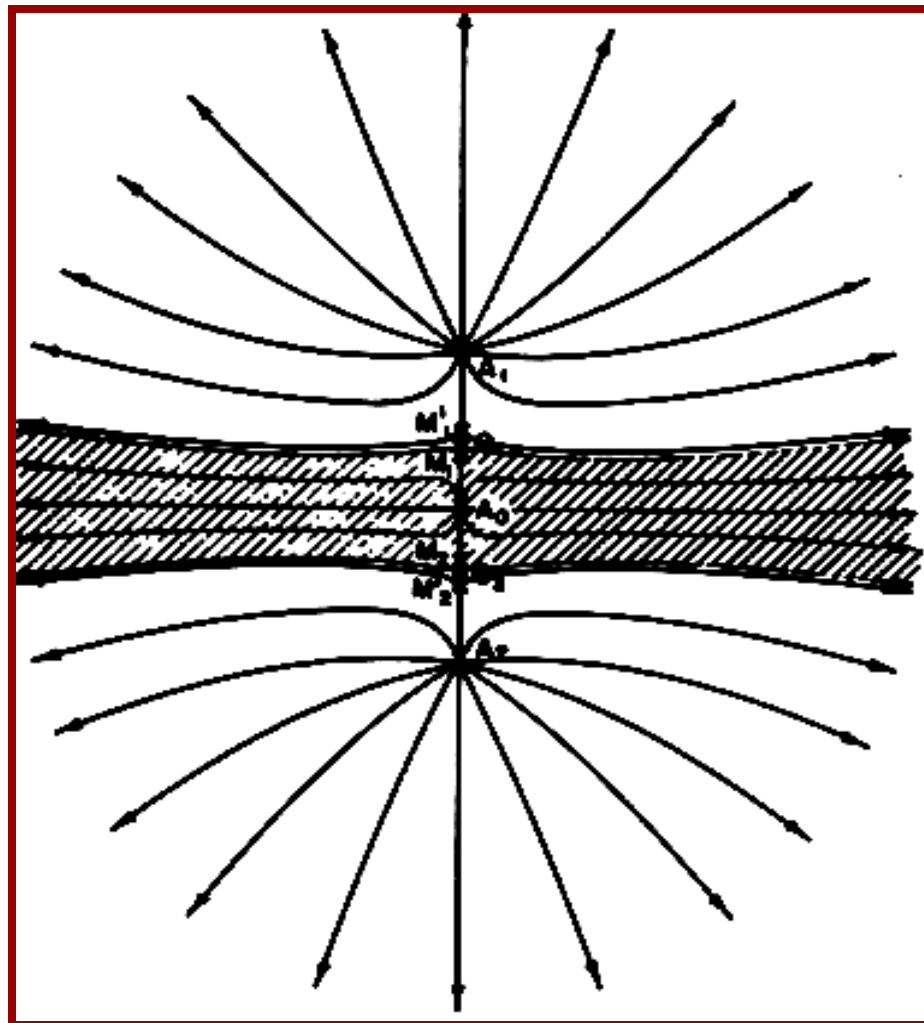
Obr. 395. Schéma sedmielektrodového bočního měření (a) a tvar proudových linií (b) z centrální elektrody u bočního měření R_{aLL} a z proudové elektrody u obyčejné potenciálové sondy R_{aP}
 1 – generátor střídavého stabilizovaného proudu; 2 – automatický regulátor pomocného proudu; G – registrační přístroj

Elektrické metódy s fokusáciou poľa

Laterológ

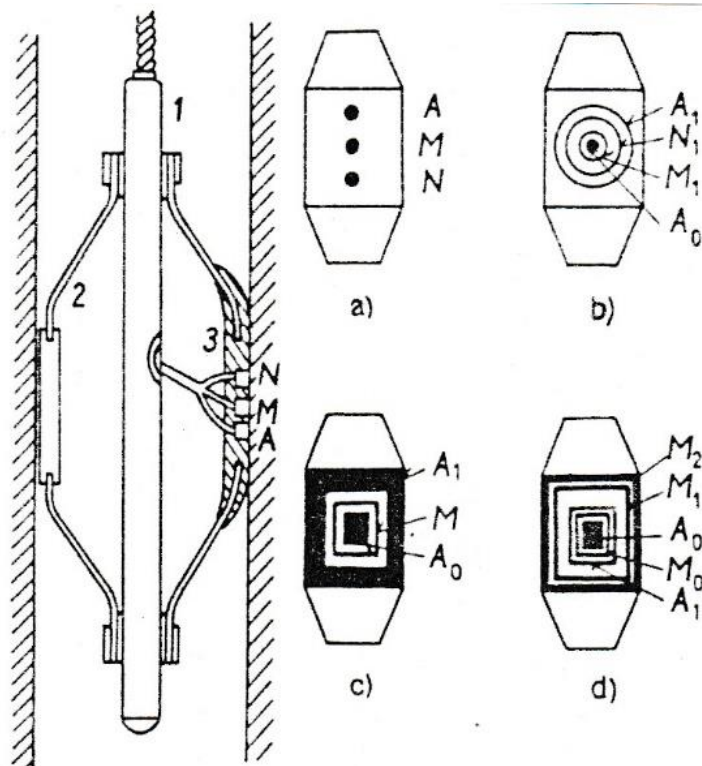
- sonda obsahuje **dodatkové prúdové elektródy** nad a pod systémom merania a v strede usporiadania tzv. **centrálnu meraciu elektródu** – prúd od dodatkových elektród slúži k usmerneniu úzkeho pruhu **siločiar kolmo na sondu** a teda aj na stenu vrtu
- elektrický prúd od symetricky položených prídavných elektród umožňuje **horizontálny elektrický tok**
 - laterolog, vďaka malej hrúbke fokusovaného zväzku (v porovnaní s mocnosťou formácie) poskytuje **veľmi detailné a jasné tvary odporových rozdielov medzi vrstvami**
 - pri výplachu na báze slanej vody, invázia zásadne neovplyvňuje hodnoty R_t , získané laterológom
 - pri výplachu **na báze sladkej vody** (kde $R_{mf} > 3R_w$) výsledky môžu byť výrazne ovplyvnené inváziou - **laterológ nemôže byť použitý.**

Laterológ a sféricky fokusovaný laterológ



Mikrokarotážne odporové metódy

- umožňujú skúmanie odporových vlastností hornín v bezprostrednej blízkosti steny vrtu = elektródy treba pritlačiť na stenu vrtu
- sondy sa líšia iba malými vzdialenosťami kotúčových alebo plošných elektród (5 – 25 cm)
- modifikácie: mikrológ (ML), mikrolaterológ (MLL), karotáž príľahlej zóny = proximity log (PL), mikrokarotáž so sférickou fokusáciou poľa (MSFL)



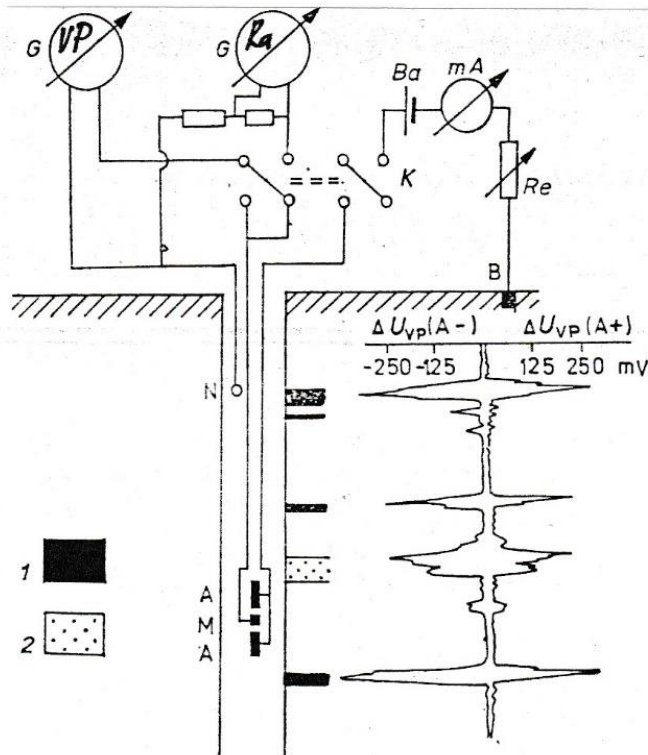
Obr. 398. Najjednoduchšia konštrukcia mikrosond a usporiadanie elektród na izolačnej podložke pro mikrokarotáž (a), boční mikrokarotáž (b), karotáž príľahlej zóny (c) a odporovou mikrokarotáž se sférickou fokusací pole (d)

1 – tělo sondy; 2 – přitlačná pružina; 3 – izolační podložka;
A, B – proudové elektródy;
M, N – měřicí a kontrolní elektródy

Metóda vybudených potenciálov (VP)

- cez prúdové elektródy preteká prúd vo forme impulzov o frekvencii $f < 50 \text{ Hz}$
- na potenciálových elektródach meriame: ΔU_{Ra} – keď prúd prechádza A, B
 ΔU_{VP} – keď je prúd vypnutý
- meria sa **zdanlivá polarizovateľnosť**

$$\eta_z = \Delta U_{VP} / \Delta U_{Ra} \quad [\%]$$



Obr. 76. Schéma súčasného
 měření VP a R_a a záznamy ΔU
 z průzkumného vrtu na uhlí
 při kladné i záporné polaritě
 elektrody A
 1 — uhelné sloje, 2 — pískové
 (ve zbývajících částech vrtného
 profilu se vyskytují jílovce
 a prachovce), G — registrační
 galvanoměr, Ba — zdroj
 proudu, mA — miliampérmetr
 Re — reostat pro regulaci
 proudu, K — komutátor

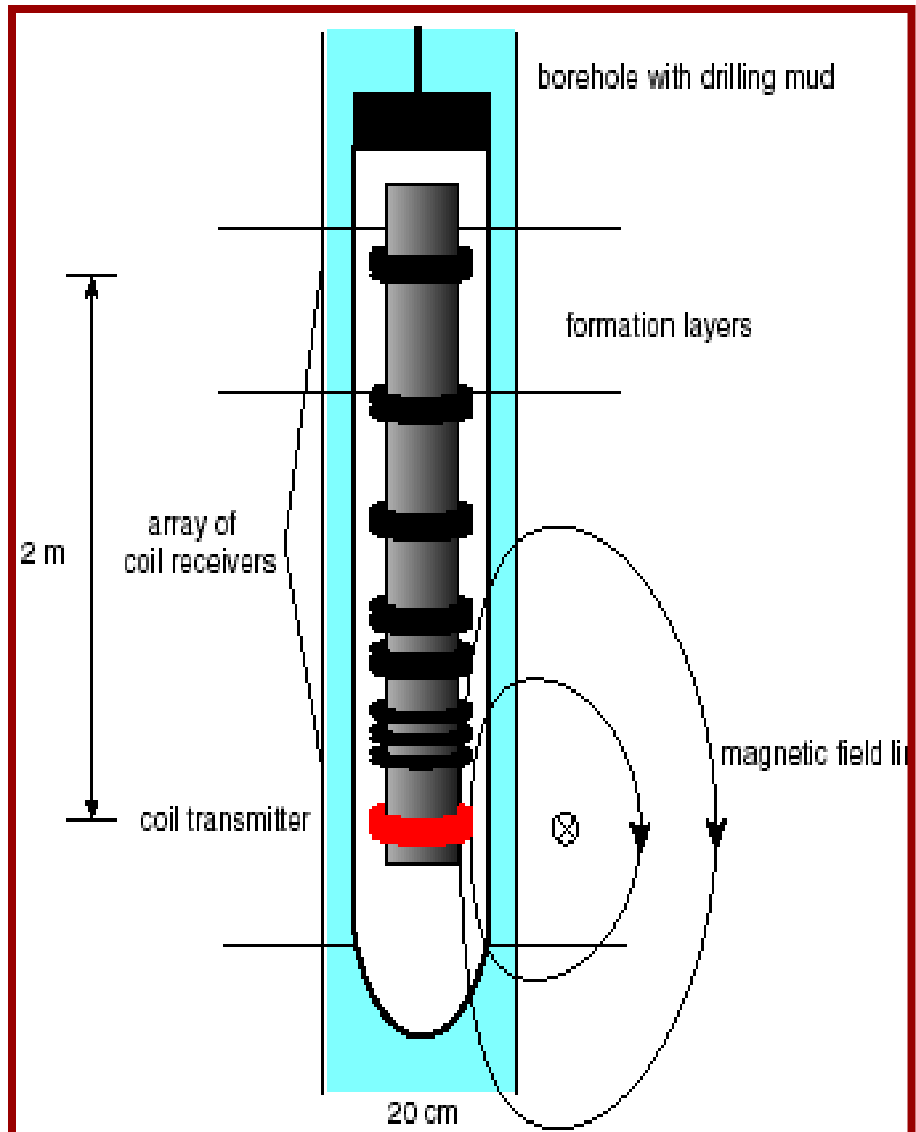
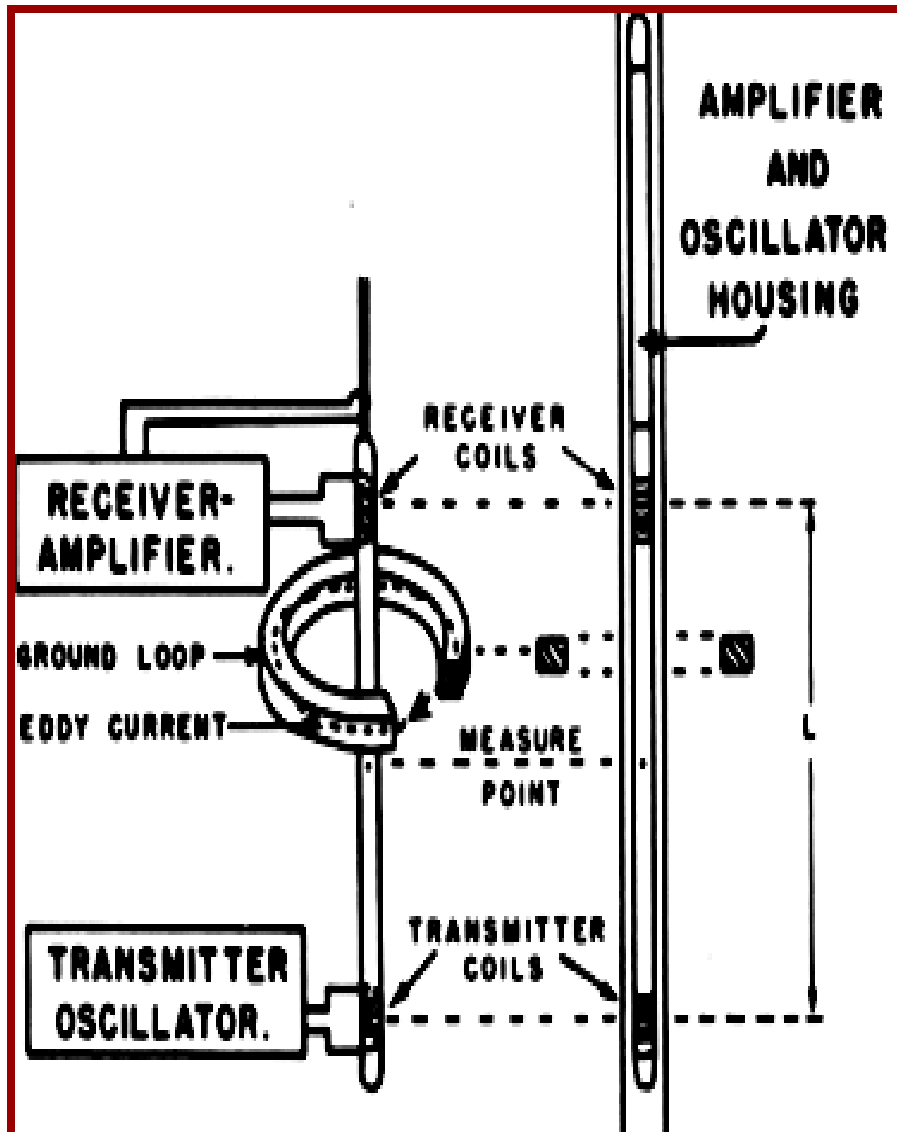
Elektromagnetické karotážne metódy

- zdrojovou (budiacou) cievkou sa vytvára vo vrte na princípe elmg indukcie umelé striedavé primárne elmg pole
- meracou cievkou (cievkami) sa registruje sekundárne elmg pole vzniknuté v okolitých horninách
- sú merané v nezapažených vrtoch, vrtoch bez výplachu alebo s nevodivým výplachom (vzduch, olej), ale aj vo vrtoch s extrémne vodivým výplachom

Metódy:

- **indukčná karotáž (IK)** – meria odpor alebo vodivosť formácií
- **dielektrická karotáž (DK)** – meria relatívnu permitivitu hornín
- **karotáž magnetickej susceptibility (KMS)** – meria objemovú magnetickú susceptibilitu hornín

Indukčná karotáž (IK)



Metódy jadrovej karotáže - pasívne

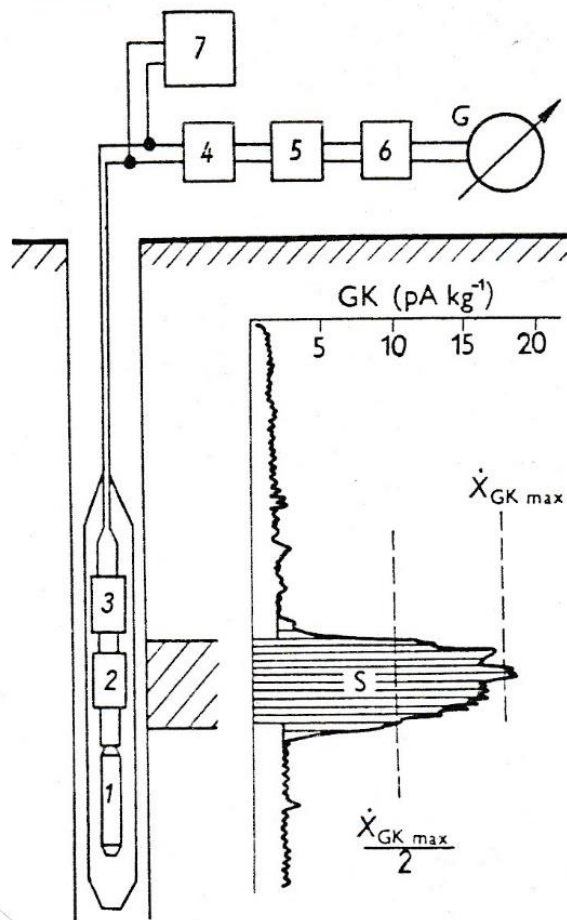
Gama karotáž (GK)

- je **najjednoduchšou** (pasívnou) metódou jadrovej karotáže a meria prírodnú rádioaktivitu hornín vo forme úhrnného expozičného príkonu gama žiarenia
- GK umožňuje rozlíšiť **vrstvy podľa ich rádioaktivity** a určiť **obsah ílov v piesčitých polohách**

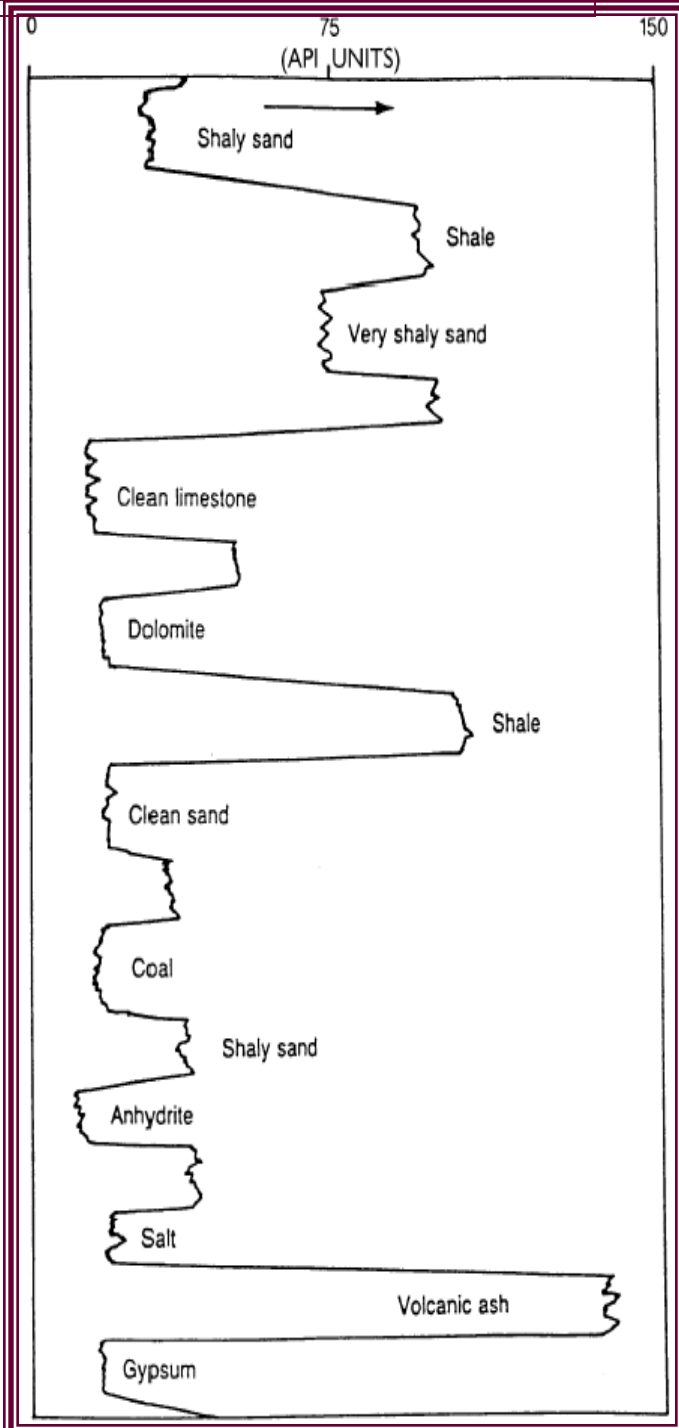
Spektrálna gama karotáž (SGK)

- na základe merania gama žiarenia stanovuje koncentrácie K, U a Th v horninách
- výsledkom sú 4 krivky: úhrnná gama, koncentrácia K (%), U (ppm) a Th (ppm)

Gama karotáž



Obr. 411. Schéma karotážního radiometru a křivka GK proti radioaktivní rudní poloze
 1 – střed GM-trubice – bod zápisu; 2 – generátor vysokého napětí; 3 – první zesilovací stupeň; 4 – druhý zesilovací stupeň; 5 – tvarovací obvod; 6 – integrátor; 7 – stejnosměrný zdroj pro napájení sondy; G – registrační přístroj; S – plocha anomálie GK



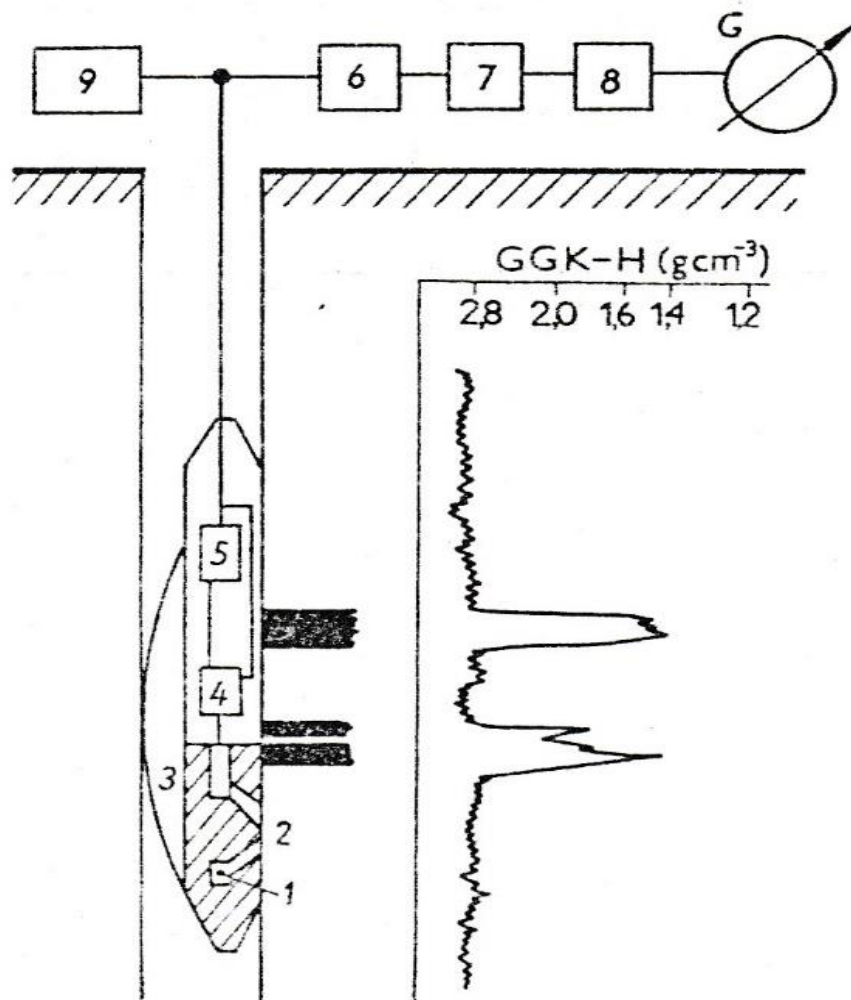
Metódy jadrovej karotáže - aktívne

Gama-gama karotáž (GGK)

- karotážna sonda obsahuje:
 - umelý zdroj **gama** žiarenia (^{60}Co , ^{137}Cs)
 - detektor **gama** žiarenia
- gama žiarenie vyžarované do horniny s ňou interaguje a je ňou zoslabované (pohlcované) – podľa spôsobov interakcie poznáme:
 - hustotnú modifikáciu (GGK-H) – stanovenie hustoty, pórovitosti a stupňa uhol'natosti
 - selektívnu modifikáciu (GGK-S) – stanovenie obsahu ťažkých prvkov, popolnatosť uhlia

Metódy jadrovej karotáže - aktívne

Gama-gama karotáž (GGK)



Obr. 413. Schéma prítlačnej sondy pro GGK a projev uhelných slojí na záznamu

- 1 – zdroj záření gama;
- 2 – kolimátory; 3 – detektor;
- 4 – zdroj vysokého napětí;
- 5 – prvý zesilující stupeň;
- 6 – druhý zesilující stupeň;
- 7 – tvarovací obvod; 8 – integrátor;
- 9 – zdroj proudu pro sondu i pro povrchový panel;
- G – registrační přístroj

Metódy jadrovej karotáže - aktívne

Röntgen-fluorescenčná karotáž (RFK)

- karotážna sonda obsahuje:
 - umelý zdroj **röntgenového (gama)** žiarenia (^{57}Co , ^{109}Cd , ^{75}Se , ^{241}Am)
 - detektor **fluorescenčného (gama)** žiarenia – toto žiarenie je tzv. charakteristické žiarenie X = je typické pre stanovovaný prvok
- röntgenové žiarenie vyžarované do horniny s ňou interaguje a do detektora v sonde sa vracia fluorescenčné žiarenie od prítomných chemických prvkov
- stanovenie prítomnosti chemických prvkov s protónovým číslom $Z > 20$

Metódy jadrovej karotáže - aktívne

Gama-neutrón karotáž (GNK)

- karotážna sonda obsahuje:
 - umelý zdroj **gama** žiarenia (^{124}Sb)
 - detektor **neutrónového** žiarenia
- gama žiarenie vyžarované do horniny s ňou interaguje = prebieha jadrová reakcia $\gamma + {}^9\text{Be} \Rightarrow {}^8\text{Be} + \text{n}$ a do detektora v sonde sa vracia neutrónové žiarenie
- stanovenie obsahu Be v hornine

Metódy jadrovej karotáže - aktívne

Neutrón-neutrón karotáž (NNK)

- karotážna sonda obsahuje:
 - umelý zdroj **neutrónového** žiarenia (zmes Po+Be, Pu+Be, Am+Be, Ac+Be)
 - detektor **neutrónového** žiarenia
- neutrónové žiarenie vyžarované do horniny je v nej zoslabované a pohlcované = do detektora v sonde sa vracia neutrónové žiarenie so zmenenými vlastnosťami (pomalšie, s menšou energiou a menšou hustotou)
- stanovenie obsahu vody v hornine (vlhkosti), stanovenie pórovitosti, stanovenie obsahu B, Cl, Mn, Hg

Metódy jadrovej karotáže - aktívne

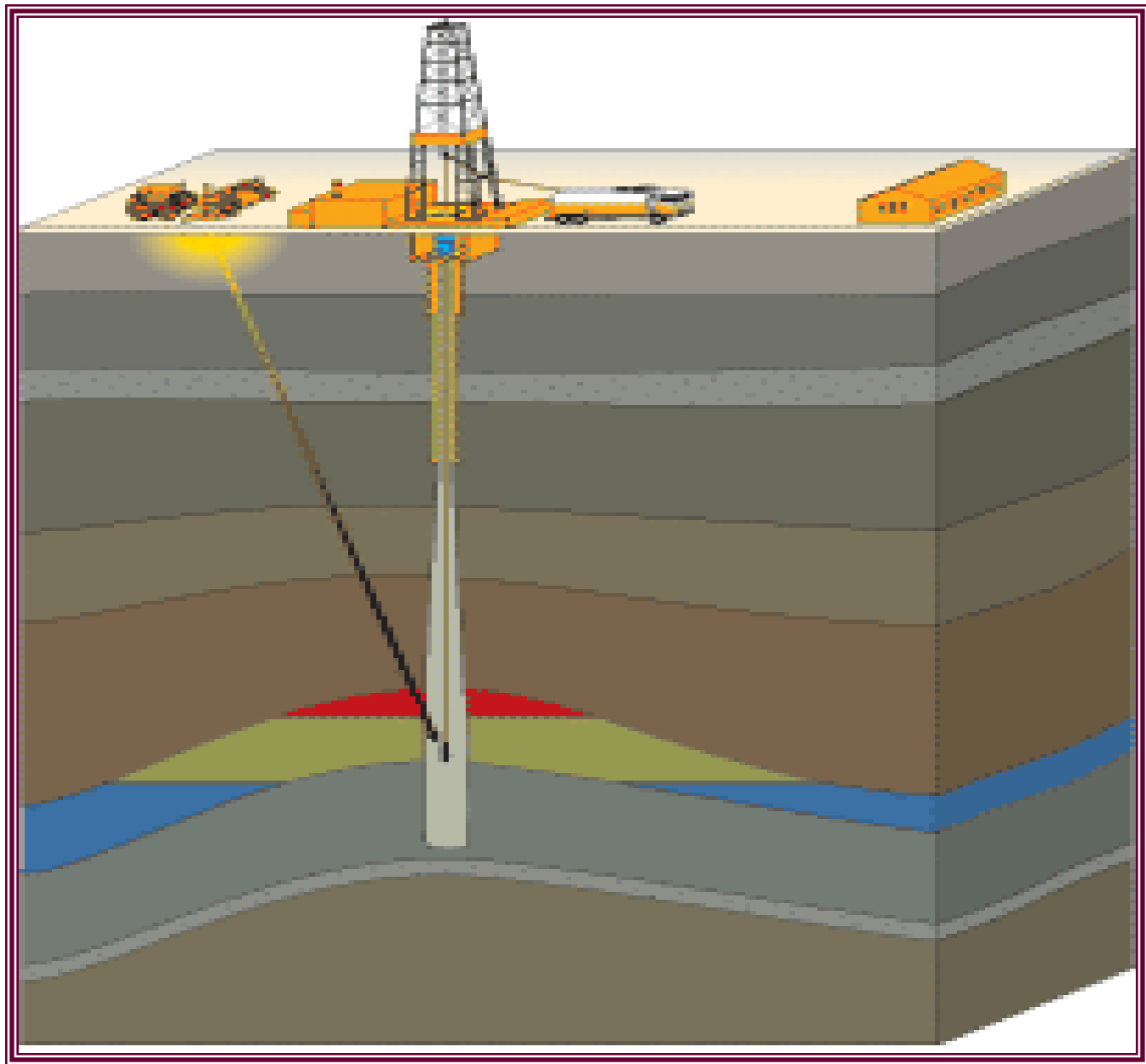
Neutrón-gama karotáž (NGK)

- karotážna sonda obsahuje:
 - umelý zdroj **neutrónového** žiarenia (zmes Po+Be, Pu+Be, Am+Be, Ac+Be)
 - detektor **gama** žiarenia
- neutrónové žiarenie vyžarované do horniny je v nej zachytávané a pohlcované = do detektora v sonde sa vracia gama žiarenie, ktoré vzniklo v hornine pri zániku neutrónov
- stanovenie obsahu vody v hornine (vlhkosti), stanovenie pórovitosti, stanovenie obsahu Cl, Mn, Ni, Fe, Cu, Ti, stanovenie kontaktu voda-ropa, voda-plyn, ropa-plyn

Ostatné karotážne metódy

Akustická (ultrazvuková) karotáž (AK)

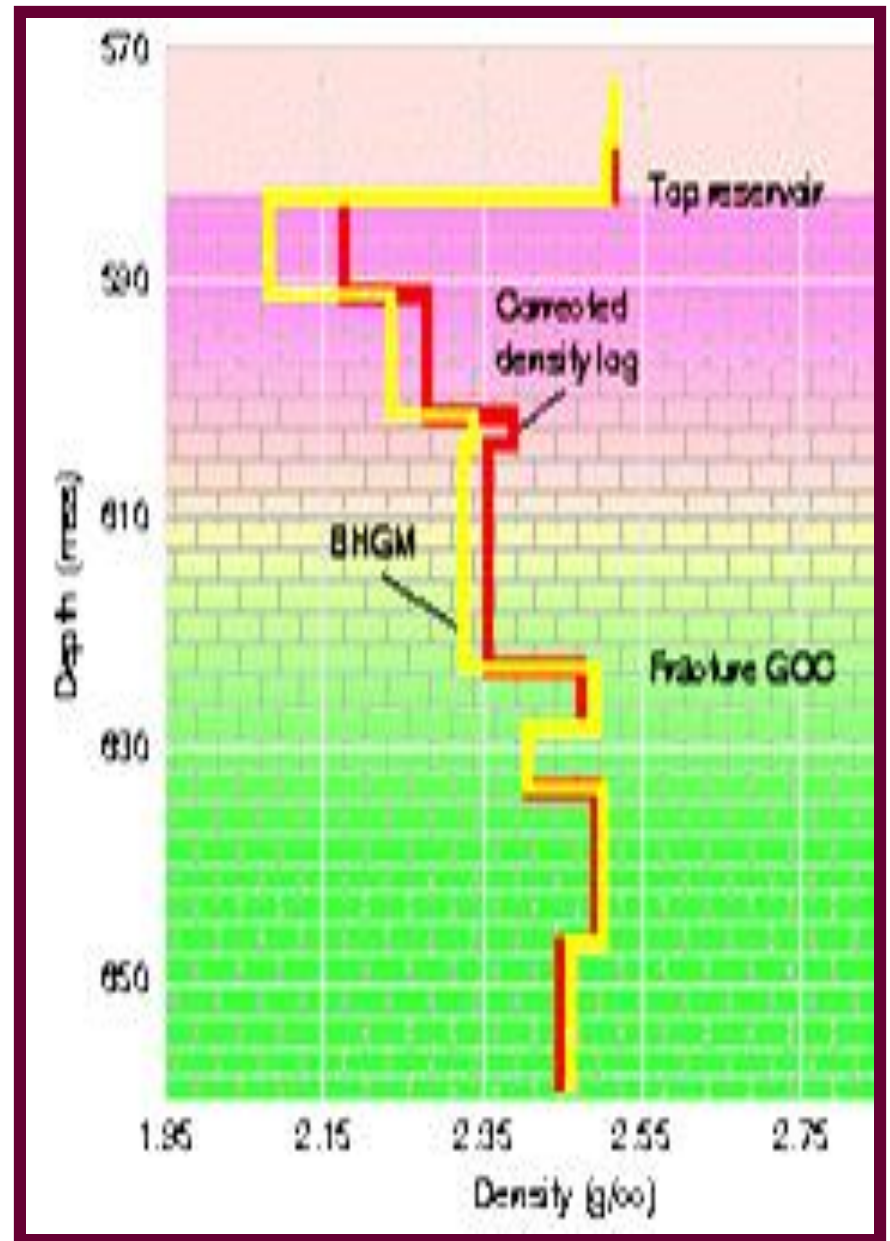
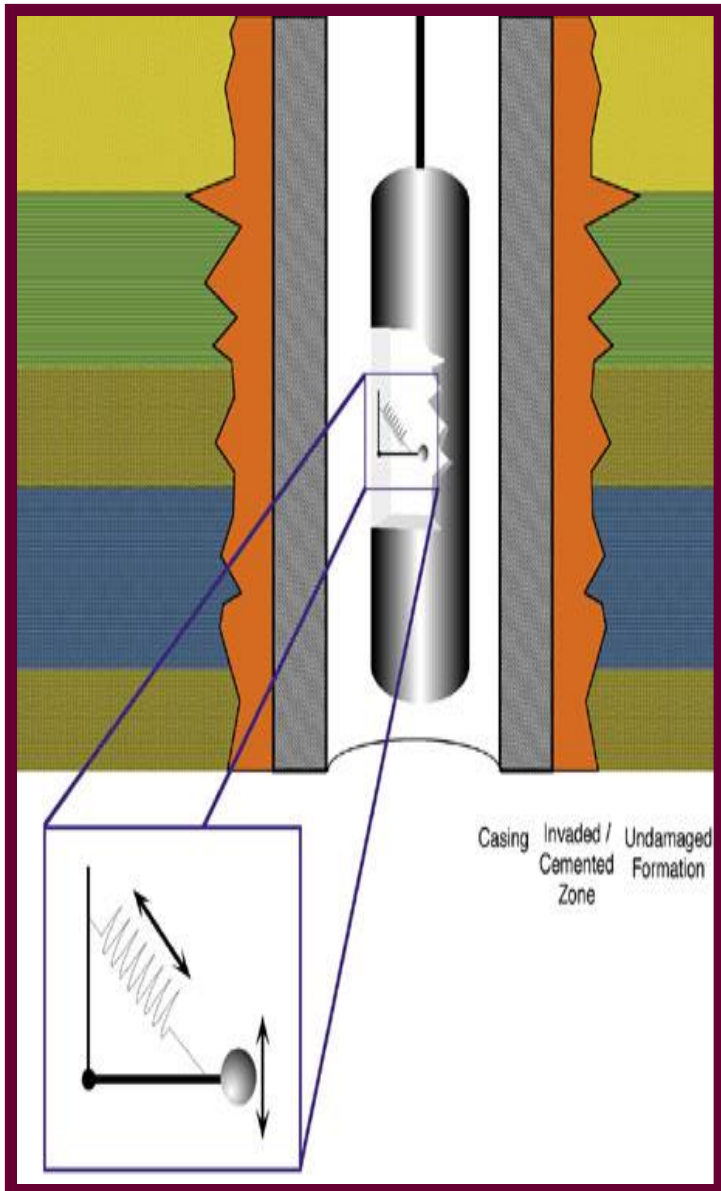
- karotážna sonda obsahuje:
 - minimálne 1 vysielač zvukových alebo ultrazvukových vln
 - minimálne 1 prijímač
- meria sa čas príchodu vlny k prijímaču, priebehový čas alebo intervalová rýchlosť
- použitie:
 - identifikácia hornín o veľmi nízkej rýchlosti
 - litologické členenie vrtu
 - korelácia vrtov
 - stanovenie pórovitosti a nasýtenia vodou



Ostatné karotážne metódy

Vrtná gravimetria (VG)

- patrí medzi karotážne metódy, určené **k meraniu hustoty hlbokých štruktúr**
- výhodou VG je, že nameraná hustota nie je ovplyvňovaná **žiadnymi rušivými faktormi** ako u GGK resp. NNK
- meranie hustoty vrtným gravimetrom je **nezávislé od paženia**, zlých vrtných podmienok ani od hĺbkových invázií média
- namerané hustoty reprezentujú **široký objem horninového prostredia** – lepšie hodnoty vo vzťahu k formácii, než iné metódy zo skupiny „density log
- rozdiel v hustotách, nameraných VG a GGK využitý **k výpočtu nasýtenia uhľovodíkmi**



Ostatné karotážne metódy

Magnetická karotáž (MK)

Existuje v 3 variantách:

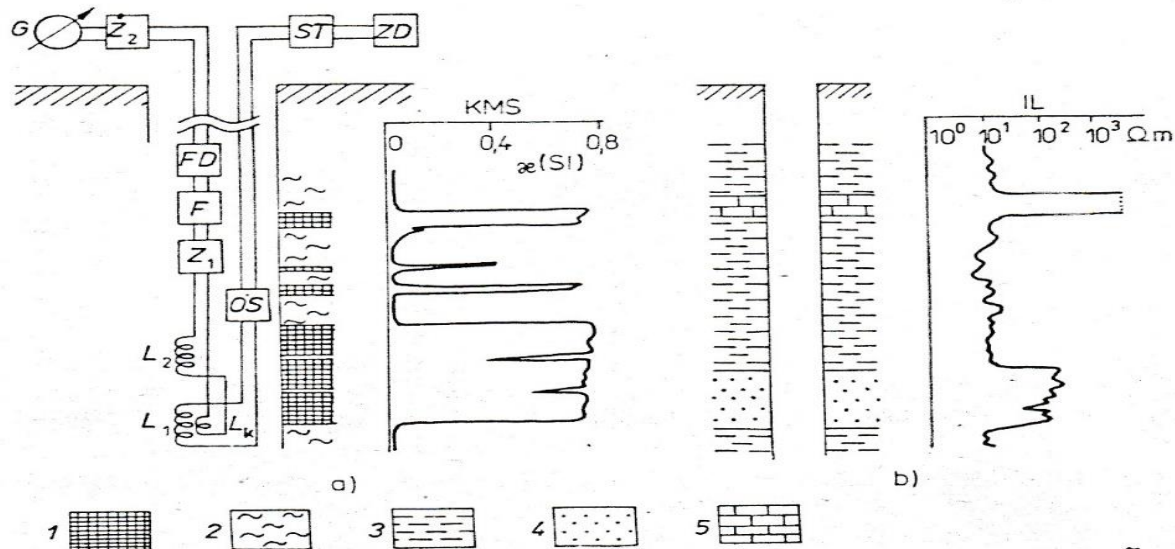
- **karotáž magnetickej susceptibility (KMS)** – metóda je založená na elmg princípe priamoúmernej závislosti indukcie v cievke na objemovej magnetickej susceptibilite prostredia
- **3-zložková magnetická karotáž** – meranie X, Y a Z zložky zemského magnetického poľa pomocou fluxgate magnetometra
- **meranie totálneho magnetického poľa** pomocou protónového magnetometra

Použitie:

- vyhľadávanie magnetických (rudných) telies, litologické členenie, štúdium sedimentárnych cyklov

Karotáž magnetické susceptibility (KMS)

- určená **k** meraniu objemovej magnetickej susceptibility v jednotkách SI



Obr. 77. Elektromagnetické karotážní metody

a) principiální schéma přístroje a charakter záznamu magnetické susceptibility na magnetitovém ložisku, b) charakter záznamu indukční karotáže v sedimentárních horninách

L_1 — budicí cívka, L_2 — měřicí cívka, L_k — kompenzační cívka, OS — budicí osc Z_1 , Z_2 — zesilovače, F — koherentní filtr, FD — fázový demodulátor, G — regis galvanoměr, ST — stabilizátor, ZD — zdroj proudu, 1 — magnetit, 2 — mignmat 3 — jílovce, 4 — pískovce, 5 — vápence

Ostatné karotážne metódy

Jadrovo-magnetická karotáž (JMK)

- efekt jadrovej magnetickej rezonancie je najúčinnnejší v prostrediach s obsahom vodíka – tento prvok sa vyznačuje najväčším magnetickým momentom jadra a najväčším spinovým efektom
- vodíkové jadrá z vrstevnej vody alebo z uhľovodíkov sú elektricky nabité spinové protóny
- spin a jeho magnetický moment spôsobujú, že sa **jadro vodíka v silnom magnetickom poli chová ako zotrvačník** a rotujúce magnety H jadier (protónov) sa natáčajú do smeru siločiar pôsobiaceho magnetického poľa
- vodíkové jadrá vo voľne pohyblivom pórovom médiu – **vzniká magnetická polarizácia**, úmerná pôsobiacemu statickému magnetickému poľu

Metódy merania geometrických parametrov vrtu

Kavernometria (KM)

- meranie priemeru vrtu v rovine kolmej na jeho os
- mechanickými ramenami alebo pomocou ultrazvuku
- dôležité pre vyhodnotenie karotážných meraní

Inklinometria (IM)

- meranie odklonu vrtu od zvislice a smeru odklonu, t.j. azimutu
- magnetkami a gyroskopmi
- dôležité pre výpočet súradníc ľubovoľného bodu vo vrte

Stratametria (SM)

- meranie sklonu a smeru vrstiev
- dôležité pre riešenie štruktúrno-geologických a tektonických otázok

Metódy merania fyzikálnych vlastností kvapalín vo vrte

Termometria (TM)

- meranie teploty alebo teplotného gradientu v kvapaline
- stanovenie geotermického gradientu, pohyb kvapaliny, miesta prítokov a únikov kvapaliny z vrtu

Rezistivimetria (RM)

- meranie elektrického merného odporu kvapaliny
- dôležité pre interpretáciu odporovej karotáže, pohyb kvapaliny, prítoky a odtoky

Fotometria (FM)

- meranie priehľadnosti kvapaliny
- dôležité pre riešenie dynamiky kvapaliny vo vrte

Metódy merania fyzikálnych vlastností kvapalín vo vrte

Vrtné prietokomery (PM)

- meranie vertikálnej rýchlosti a objemového vertikálneho prietoku kvapaliny vo vrte
- posúdenie dynamiky kvapalín v HG a ropných vrtoch

Meranie hustoty kvapalín

- meranie buď metódou GGK alebo diferenciálnym tlakomerom
- dôležité pre kontrolu ťažobných vrtoch na ropu a plyn = zisťovanie pomeru vody, ropy a plynu

Meranie podielu voda - ropa - plyn

- meranie špeciálnymi sondami
- dôležité pre kontrolu ťažobných vrtoch na ropu a plyn = zisťovanie pomeru vody, ropy a plynu