

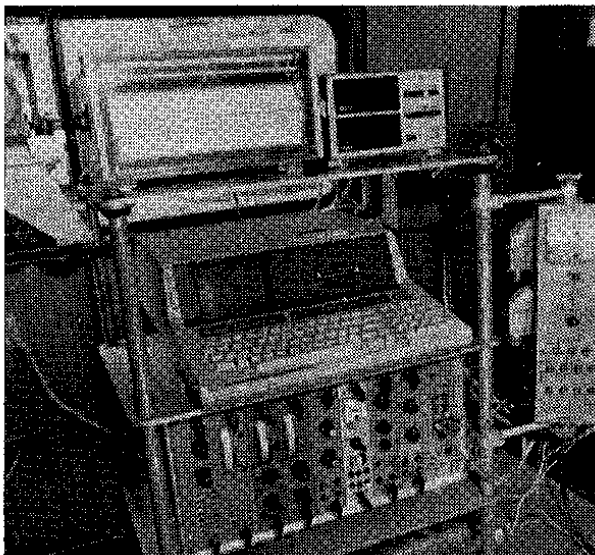
Pojem *karotáž* (z francouzského *carottage électrique*) zavedli bratři Marcel a Conrad Schlumbergerovi, když v r. 1927 poprvé úspěšně použili odporových měření ve vrtech pro identifikaci ropou syceného kolektoru. Tento název dnes plně nevystihuje obsahovou náplň pojmu a je často nahrazován přesnějším, i když v praxi méně vžitým názvem *geofyzikální měření ve vrtech*. Zahrnuje soubor geofyzikálních metod, které směřují ke stanovení fyzikálních vlastností hornin, kapalin vyplňujících vrt a pórový či puklinový prostor v horninách, k objasnění některých geometrických parametrů vrtu (průměr, odklon, směr) a vrstev (směr, sklon). Hloubkový dosah karotážních metod, vymezený prostorem, z něhož přichází asi 90 % signálu, se pohybuje v rozmezí několik mm až prvé jednotky m (výjimečně u některých odporových měření), v průměru nepřesahuje prvé desítky cm. To znamená, že karotážní metody mohou identifikovat geologická tělesa, která jsou vrtem přímo zastížena. Geofyzikální metody s podstatně větším hloubkovým dosahem (desítky až stovky m), používané pro vysledování tvaru geologického tělesa nebo zjištění existence tělesa mimo vrtný otvor (v prostoru mezi dvěma vrty, vrtem a povrchem, vrtem a důlním dílem), řadíme do skupiny *vrtných variant geofyzikálních metod*.

Prvá karotážní měření se velmi podobala povrchovým profilovým měřením a prováděla se bodově. Postupně však byly vyvinuty poloautomatické, později plně automatické karotážní soupravy, které poskytují informaci o měřeném fyzikálním parametru ve formě karotážního záznamu ve zvoleném hloubkovém měřítku. Ten obsahuje kromě vlastní *karotážní křivky* též přesné hloubkové údaje ve formě *hloubkových značek* a časové údaje ve formě *časových značek*. Moderní karotážní soupravy jsou buď vybaveny zařízením pro zápis měřených veličin na děrnou či magnetickou pásku (tzv. číslicové karotážní zapisovače) tak, aby bylo možno měření vyhodnotit na počítači, nebo pracují ve spojení se stolním kalkulátorem (obr. 72, 73).

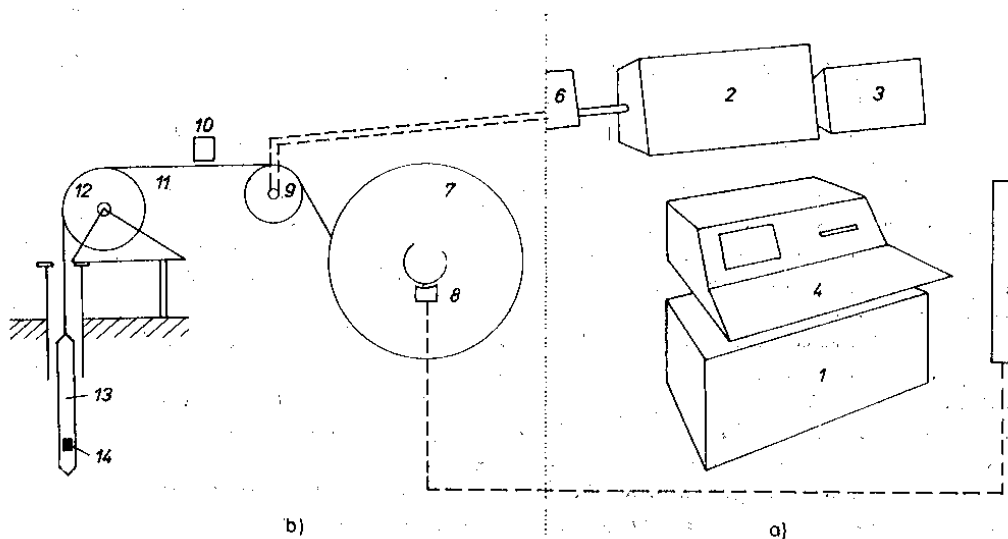
Jednotlivé karotážní metody jsou většinou odvozeny z povrchových geofyzikálních metod, a mají tedy i společný fyzikální princip a teoretický základ. Nebudeme je tedy v této kapitole znovu uvádět, více prostoru budeme naopak věnovat metodám, které jsou pro měření ve vrtu specifické a nemají odpovídající ekvivalent v povrchovém geofyzikálním průzkumu.

Specifika geofyzikálního měření ve vrtech spočívá především v tom, že měřicí systém se musí vměstnat do *měřicí sondy* válcového tvaru o průměru několika cm a délce nepřesahující prvé jednotky m. Zejména požadavky na minimální průměry karotážních sond se stále zvyšují s ohledem na nižší náklady při hloubení maloprůměrových vrtů. U běžnějších zařízení se proto přistupuje k výrobě maloprůměrových sond (\varnothing 30 až 36 mm). Velkým pomocníkem při tom je mikroelektrotechnika. Při nejlepší snaze konstruktérů se však nedaří některé systémy do tak malých rozměrů vtěsnat. Metodika karotáže je tedy při vrtném průzkumu konkrétního ložiska dána nejen teoreticky nejvýhodnějším komplexem karotážních metod pro danou surovinu, ale mnohdy též technickými podmínkami a vybaveností karotážního pracoviště.

Výhodou geofyzikálního měření ve vrtech je téměř *bezprostřední styk měřicího elementu s proměřovaným prostředím*. Proto také kvantitativní údaje o fyzikálních vlastnostech hornin a o přítomnosti užitečných nerostů v bezprostředním okolí vrtu jsou daleko spolehlivější, než jaké může poskytnout po-



Obr. 72. Pohled do měřicí části karotážní soupravy typu K-500 vybavené stolním kalkulátorem Hewlett Packard 85



Obr. 73. Schéma karotážní soupravy K-500 při práci v terénu
a) zařízení kabiny operátora (viz též obr. 72), b) ostatní příslušenství karotážní soupravy
1 — proudové a měřicí panely pro elektrokarotážní metody a pro metody jaderné karotáže,
2 — dvoukanálový registrátor karotážních dat v analogové formě, 3 — analogočíslicový převodník pro zápis karotážních dat na děrnou pásku, 4 — kalkulátor HP 85 pro zápis karotážních dat na magnetickou pásku, pro jejich redakci a vyhodnocení včetně grafického výstupu, 5 — panel s vývodem žil karotážního kabelu,
6 — mechanický přenos pohybu kabelu k registrační skříni, 7 — vrátek, 8 — kolektor, 9 — měrné kolo, 10 — snímač hloubkových značek, 11 — karotážní kabel, 12 — kladka, 13 — měřicí (karotážní) sonda, 14 — židlo, měřicí element (bod zápisu)

vrchové geofyzikální měření, při kterém je proměřované fyzikální pole často nepříznivě ovlivněno velkou mocností pokryvných útvarů. Přesto však i existence výplachu (vzduch, voda, jílovitý výplach, olejový výplach) ve vrtu ovlivňuje nepříznivě měřenou veličinu. Navíc vznikají na styku dvou prostředí o různých fyzikálních vlastnostech tzv. *hraniční efekty*, které způsobují, že na měřené křivce se např. náhlá změna v měřeném fyzikálním parametru projeví více nebo méně pozvolným přechodem od jedné úrovně na druhou. Aby se vliv obou těchto faktorů (výplach, hraniční jevy) omezil na minimum, konstruuji se jednak karotážní sondy, které vytvářejí tzv. *fokusevané pole* (např. laterolog, vícecívková indukční karotáž), nebo je sonda či její měřicí část přitlačována ke stěně vrtu a měřicí element je stíněn vůči výplachu (sondy pro některé varianty jaderné karotáže), nebo se konstruuji karotážní sondy s několika detektory a do měřené veličiny je vnášena oprava na nerovnosti ve stěně vrtu (tzv. kompenzované měřicí sondy).

9.1 Elektrokarotážní metody

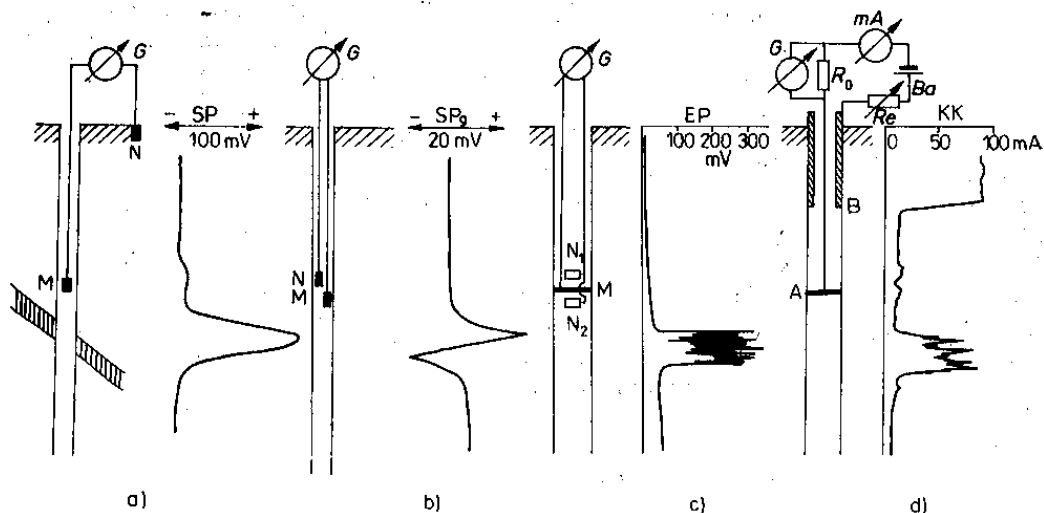
Do tohoto pojmu zahrnujeme všechny karotážní metody, při kterých proměřujeme přirozená nebo uměle vyvolaná elektrická pole ve vrtu. U druhé skupiny může být elektrická energie do horninového prostředí zaváděna *galvanicky* (všechny odporové varianty, metoda VP), nebo *indukčně* (indukční karotáž, dielektrická karotáž — viz kap. 9.2).

9.1.1 Metoda vlastních potenciálů SP

Ve vrtu vznikají *přirozená* více méně *stacionární elektrická pole* jako důsledek *difúzně adsorpčních procesů, filtračních procesů a oxidačně redukčních procesů*. Prvé dva druhy se uplatňují především v sedimentárních horninách, střídají-li se ve vrtném profilu polohy s různou mírou propustnosti a je-li mineralizace podzemních vod rozdílná od mineralizace výplachu. S oxidačně redukčními procesy ve vrtu se setkáváme na ložiskách většiny sulfidických a některých oxidických rud, na ložiskách grafitu a antracitu, tj. převážně v horninách vyvřelých a metamorfovaných, jsou-li přítomny minerály s elektronovou vodivostí.

Pole vlastních potenciálů ve vrtu měříme buď v potenciálovém (SP), nebo v gradientovém uspořádání (SPg). V prvním případě měříme potenciál pohyblivé elektrody M vůči potenciálu nepohyblivé elektrody N umístěné nedaleko od ústí vrtu, v druhém případě měříme přírůstek potenciálu mezi elektrodami M, N na vzdálenost $L = 0,1$ až $0,2$ m. Charakter záznamu SP a SPg znázorňuje obr. 74. Propustná poloha (písky, pískovce, slepence) v písčitojílovitém profilu se nejčastěji projeví zřetelnou zápornou anomálií SP, dosahující velikosti desítek mV. Rudní sulfidická poloha se při měření v době, kdy ještě probíhají vrtné práce, projeví nejčastěji kladnou anomálií SP, za delší dobu po skončení vrtných prací naopak zápornou anomálií SP. Příčinou tohoto jevu je vznik galvanické dvojice (otěr Fe z vrtného nářadí na sulfidické rudní poloze), která za delší dobu po skončení vrtných prací zanikne.

Záznam vlastních potenciálů se používá v sedimentárních pánvích pro vymezení porézniích propustných poloh v profilu vrtu (zejména při průzkumu ropy, zemního plynu a pro hydrogeologické cíle), pro základní litologické členění vrtného profilu (rozlíšení psamitů a pefitů od pelitů), pro stanovení celkové koncentrace minerálních látek v podzemních vodách; v rudních rajónech pro vymezení poloh se sulfidickým nebo magnetitovým zrudněním.



Obr. 74. Projev sulfidické rudní polohy na záznamu vlastních potenciálů SP (a), gradientu vlastních potenciálů SPg (b), elektrodových 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 (1 Ω), R_e — reostat

9.1.2 Metoda elektrodových potenciálů EP

Slouží k identifikaci minerálů s elektronovou vodivostí ve stěně vrtu. Hlubinná sonda pro měření elektrodových potenciálů má dvě elektrody vyrobené ze stejného kovu (nejlépe Zn). Jedna z nich M ve tvaru štětečkové elektrody klouže po stěně vrtu, druhá, srovnávací, je tvořena dvěma prstenci (N_1 , N_2), které jsou uloženy symetricky kolem elektrody M a stěny vrtu se nedotýkají (obr. 74c). Mezi elektrodami M a N měříme potenciální rozdíl. Pokud se štětečky při posunu sondy dotýkají jalové horniny, existuje mezi elektrodami jen nepatrný konstantní potenciální rozdíl, vyvolaný různorodostí materiálu. Dotkne-li se však klouzající elektroda M minerálu s elektronovou vodivostí (např. polohy sulfidů), objeví se mezi elektrodami M a N kladný elektrodový potenciál, dosahující hodnot několika set mV.

Záznamy EP dobře vyčleňují polohu obsahující vodivé (tedy převážně rudní) minerály, dovolí stanovit charakter zrudnění (litá rudní poloha, bohatá impregnace, vtroušené zrudnění), mocnost a strukturu rudního tělesa.

9.1.3 Proudová karotáž KK

Proudová karotáž představuje nejjednodušší využití umělého elektrického pole. Největšího rozšíření doznala v modifikaci označované jako *metoda klouzajících kontaktů* (KK) na rudních ložiskách. Využíváme přitom velké rozdíly mezi vodivostí rudních minerálů (běžné sulfidy mají měrný odpor řádově 10^{-4} až $10^{-2} \Omega \text{ m}$) a minerálů skládajících jalovou horninu (běžné horninotvorné minerály mají měrný odpor 10^3 až $10^{14} \Omega \text{ m}$).

Do vrtu spouštíme proudovou elektrodu A, která má tvar štětečky klouzající po stěně vrtu. Druhá proudová elektroda B je na povrchu (obr. 74d). Zdrojem proudu může být anodová baterie. Aby měl proudový okruh co nejmenší odpor, uzemníme povrchovou elektrodu na pažnici vrtu, nebo lépe na pažnici sousedního vrtu, a reostat, kterým regulujeme velikost proudu, dáme do nulové

polohy. Velikost proudu obyčejně registrujeme pomocí ohmického úbytku na přesném odporu R_0 . Dotkne-li se elektroda A rudní polohy představované litou rudou nebo bohatou impregnací, objeví se na křivce KK prudké zvýšení proudu.

Metodu KK lze s úspěchem použít i ve vrtech pro průzkum nerud (jíly, vápence), a to i tehdy, je-li vrt bez výplachové kapaliny.

9.1.4 Odporová karotáž

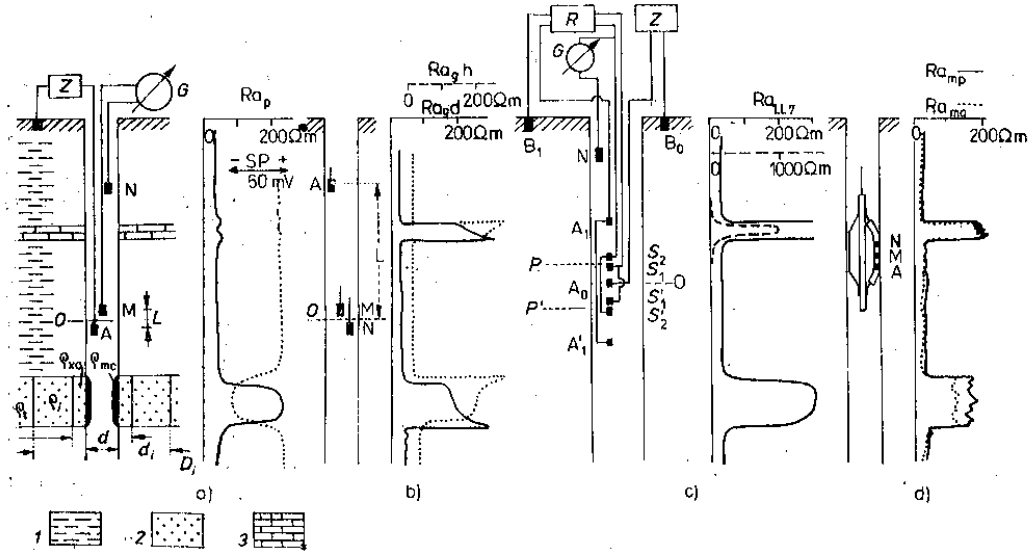
Odporová karotáž rozlišuje základní horninové typy a nerostné suroviny v profilu vrtu podle jejich měrného odporu (viz kap. 2). Fyzikální základy i teorie jsou v podstatě shodné s teorií odporového profilování při povrchovém měření (kap. 5), s tím rozdílem, že ve výpočtu konstanty odporové sondy podle vztahu (5.7) se uplatní koeficient 4π na rozdíl od povrchových měření (pracujeme v celém prostoru, nikoliv poloprostoru). Abychom vyloučili vliv SP, používáme pro napojení elektrod A, B stabilizovaného zdroje střídavého proudu o frekvenci $f = 14$ až 70 Hz. Potenciální rozdíl ΔU měřený na elektrodách M, N je tedy přímo úměrný hodnotě zdánlivého měrného odporu ρ_z podle vztahu (5.6).

Ve vrtu a jeho bezprostředním okolí se svým vlivem na měřenou hodnotu ρ_z uplatní jednotlivá horninová prostředí nacházející se v hloubkovém dosahu použité odporové sondy, oddělená od sebe v nejjednodušším případě rovinnými vrstevními rozhraními a dále jedním nebo více válcovými rozhraními, jejichž osa je totožná s osou vrtu. S nejkomplicovanějšími odporovými poměry se setkáváme v sedimentárních horninách, kde se střídají písčité propustné a jílovité nepropustné vrstvy. V propustných vrstvách se obvykle vytváří bezprostředně při stěně vrtu tzv. *zaplavená zóna* o měrném odporu ρ_{zo} , ve které je původní kapalinová výplň pórového prostoru plně nahrazena filtrátem výplachu, dále pak *zóna průniku* o měrném odporu ρ_t , kde se obě kapaliny v pórovém prostoru mísí, a teprve ve větší vzdálenosti od stěny vrtu se setkáváme s horninovým prostředím, jehož měrný odpor ρ_t již není ovlivněn pronikajícím filtrátem výplachu. Na stěně vrtu se kromě toho vytváří *výplachová kůrka* o měrném odporu ρ_{mc} (obr. 75a).

Jednotlivých variant odporové karotáže je velké množství, liší se od sebe uspořádáním elektrod, hloubkou dosahu, diferenční schopností a charakterem odporové křivky proti vrstvě o vysokém, nebo naopak velmi nízkém měrném odporu. Zde uvedeme jenom ty, se kterými se v praxi setkáváme nejčastěji.

Odporová karotáž jednoduchými třielektrodovými sondami představuje nejstarší variantu odporové karotáže. Je velmi nevhodná pro stanovení skutečného měrného odporu hornin ρ_t , přesto ji stále ještě hojně používáme, zejména pro základní litologické členění vrtného profilu. Existují dva druhy jednoduchých odporových sond: *potenciálové* a *gradientové* (obr. 75a, b). Podstatný rozdíl mezi oběma druhy spočívá ve tvaru odporové křivky proti vrstvě o vyšším měrném odporu (např. vrstvě pískovce uložené v prachovech). Křivka R_{ap} měřená *potenciálovou sondou* je symetrická ke střední přímce; proti uvažované vrstvě vykazuje maximum kromě případu, kdy mocnost vrstvy je menší než délka sondy (obr. 75a). Křivka R_{ag} měřená *gradientovou sondou* je nesymetrická. Maximem je zvýrazněno buď podložní, nebo nadložní rozhraní, podle toho, zda měření se uskutečnila gradientovou sondou *dolní* (podložní) nebo *horní* (nadložní). Hloubka dosahu je dána délkou sondy $L = AM$ pro potenciálové a $L = AO$ pro gradientové sondy. Měřené hodnoty R_{ap} a R_{ag} jsou značně ovlivněny průměrem vrtu d a měrným odporem výplachu ρ_m . Pro stanovení ρ_t je nutno uskutečnit celou sérii odporových měření s délkou sondy $L =$ několik dm až $L =$ první jednotky m, pro každou vrstvu sestavit *křivku bočního karotážního sondování* (BKS) a porovnat ji s křivkami teoretickými (podobně jako při zpracování VES).

Boční karotáž (tj. odporová karotáž s *fokusovanými proudovými liniemi*) existuje ve dvou variantách: *tříelektrodový laterolog LL3* a *sedmielektrodový laterolog LL7*. U druhé varianty je pomocným proudem z elektrod A_1, A'_1 orientován proud z elektrody A_0 kolmo ke stěně vrtu v hloubkovém intervalu vymezeném vzdáleností $L = PP'$ (obr. 75c). Tím je snížen vliv výplachu a zóny průniku na minimum. Hloubka dosahu je 3 m, vrtný profil je výrazně diferencován, měřené hodnoty odpovídají prakticky měrnému odporu ρ_t nezasažené části vrstvy (pokud ovšem $\rho_{xo} < \rho_t$).



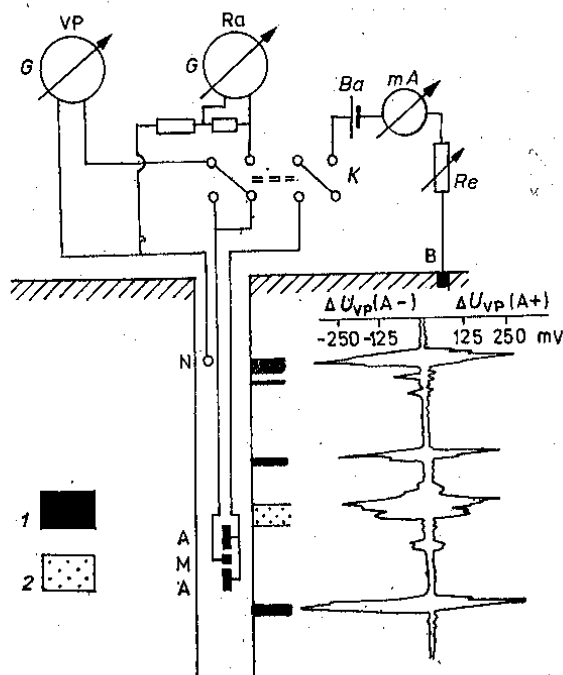
Obr. 75. Nejběžnější varianty odporové karotáže a charakter odporových křivek
a) odporová karotáž potenciálovou sondou, b) gradientovou sondou dolní (plná čára) a horní (čárkovaná), c) sedmielektrodový laterolog, d) odporová mikrokarotáž (mikrolog)
Z — stabilizovaný zdroj střídavého proudu, G — registrační galvanoměr, R — zdroj a regulátor pomocného proudu (LL7), L — délka sondy, O — bod zápisu; d — průměr vrtu, d_i — průměr zaplavené zóny, D_i — průměr zóny průniku, 1 — prachovce až jílovce, 2 — pískovce, 3 — vápence

Pro sledování parametrů zaplavené zóny používáme různých variant *odporových mikroměření*. Nejjednodušší z nich jsou měření *mikropotenciálovou* R_{amp} a *mikrogradientovou* R_{mg} sondou, s kotoučovými elektrodami umístěnými na izolační podložce přitlačované ke stěně vrtu (obr. 75d). Vzdálenost elektrod v m je dána schématem A 0,05 M a A 0,025 M 0,025 N. Odporová mikroměření slouží k detailnímu vertikálnímu členění ložiskově zajímavých částí vrtného profilu, k vymezení propustných poloh (případy, kdy $R_{mg} < R_{amp}$) a k stanovení ρ_{xo} .

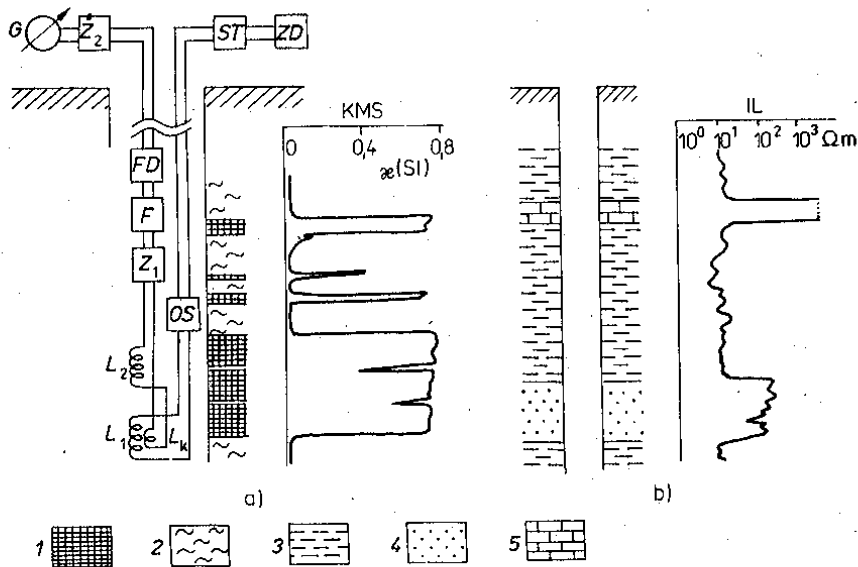
Odporová karotáž patří do základního souboru karotážních metod v nezapažené části vrtu, přispívá k litologickému členění vrtného profilu, vymezení propustných poloh, sledování struktury uhelných slojí a poskytuje údaje o nasycení pórového prostoru uhlovodíky a o objemu pohyblivých (tj. vytěžitelných) uhlovodíků.

9.1.5 Karotáž metodou vyzvaných potenciálů VP

Karotážní varianta VP je modifikací, kterou můžeme zařadit na pomezí impulsního a frekvenčního způsobu měření. Hlubinná sonda nese elektrody A, M, N, elektroda B je na povrchu. Proudovými elektrodami A, B protéká proud,



Obr. 76. Schéma současného měření VP a Ra a záznamy ΔU_{vp} z průzkumného vrtu na uhlí při kladné i záporné polaritě elektrody A
 1 — uhelné sloje, 2 — pískovce (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



Obr. 77. Elektromagnetické karotážní metody

a) principiální schéma přístroje a charakter záznamu magnetické susceptibilitě 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 oscilátor, Z_1 , Z_2 — zesilovače, F — koherentní filtr, FD — fázový demodulátor, G — registrační galvanoměr, ST — stabilizátor, ZD — zdroj proudu, 1 — magnetit, 2 — migmatity, 3 — jílovce, 4 — pískovce, 5 — vápence

který má charakter unipolárních nebo bipolárních impulsů při frekvenci $f < 50$ Hz. Zařízení umožňuje měřit potenciál na elektrodách M, N odděleně v púlperiodách, když proudový okruh je uzavřen (měříme ΔU_{Ra} , tj. běžná odporová měření) a když naopak proudový okruh je přerušen (měříme ΔU_{VP}). Měření dovolí vypočítat polarizovatelnost $\eta = \Delta U_{VP}/\Delta U_{Ra}$. Metoda doznala největšího praktického uplatnění při průzkumu ložisek černého uhlí a pro identifikaci poloh vtroušeného sulfidického zrudnění, tj. materiálů s výrazně zvýšenou polarizovatelností (obr. 76).

9.2 Elektromagnetické karotážní metody

Společným znakem těchto metod je vytváření umělého střídavého elektromagnetického pole ve vrtu. Elektrická energie je do horninového prostředí zaváděna indukčně. Volbou frekvence napájecího proudu a způsobu demodulace měřeného napěťového signálu získáváme údaje o *měrné vodivosti* (indukční karotáž), *objemové susceptibilitě* (karotáž magnetické susceptibility) nebo *permitivitě* (dielektrická karotáž) okolního horninového prostředí.

Základní prvky měřicí sondy pro indukční karotáž a karotáž magnetické susceptibility jsou podobné. Budicí cívka je napájena stabilizovaným střídavým proudem frekvence řádu prvních jednotek až desítek kHz. Indukované elektromotorické napětí na měřicí cívce závisí na měrné vodivosti γ a magnetické susceptibilitě κ proměřovaného prostředí. Fázovým demodulátorem lze obě složky, které jsou vzájemně pootočené o $\pi/2$, od sebe oddělit a po zesílení přivést na karotážní registrátor (obr. 77).

9.2.1 Karotáž magnetické susceptibility KMS

V sondě pro magnetickou karotáž je vzdálenost budicí a měřicí cívky $L = 0,1$ až $0,2$ m. Do okruhu měřicí cívky je zapojena kompenzační cívka opačného vinutí pro vyloučení vlivu přímého signálu z budicí cívky. Přístroj vykazuje dobrou stabilitu nuly při rozlišovací schopnosti 10^{-4} j. SI. Měřené hodnoty je třeba opravit na průměr vrtu a susceptibilitu výplachu. Karotáž magnetické susceptibility používáme pro litologické členění vrtného profilu v horninách vyvřelých a metamorfovaných a pro stanovení obsahu Fe na skarnových ložiskách magnetitu.

9.2.2 Indukční karotáž IL

Sondy pro indukční karotáž jsou budovány obvykle vícecívkovými systémy. Pomocné cívky mají za úkol fokusovat elektromagnetické pole tak, aby největší část napěťového signálu přicházela z horninového prostředí mezi hlavní budicí a měřicí cívku. Vzdálenost obou hlavních cívek je $0,4$ až $0,8$ m. Přístroj byl původně určen pro zjištění měrného odporu hornin ve vrtech, kde galvanické zavádění proudu je nemožné (olejový výplach, vrty bez výplachu). Dnes se používá s výhodou pro nízkoodporový profil ($\rho_t = 0,5$ až $100 \Omega \text{ m}$) i při $\rho_m = 2$ až $5 \Omega \text{ m}$.

9.2.3 Dielektrická karotáž DK

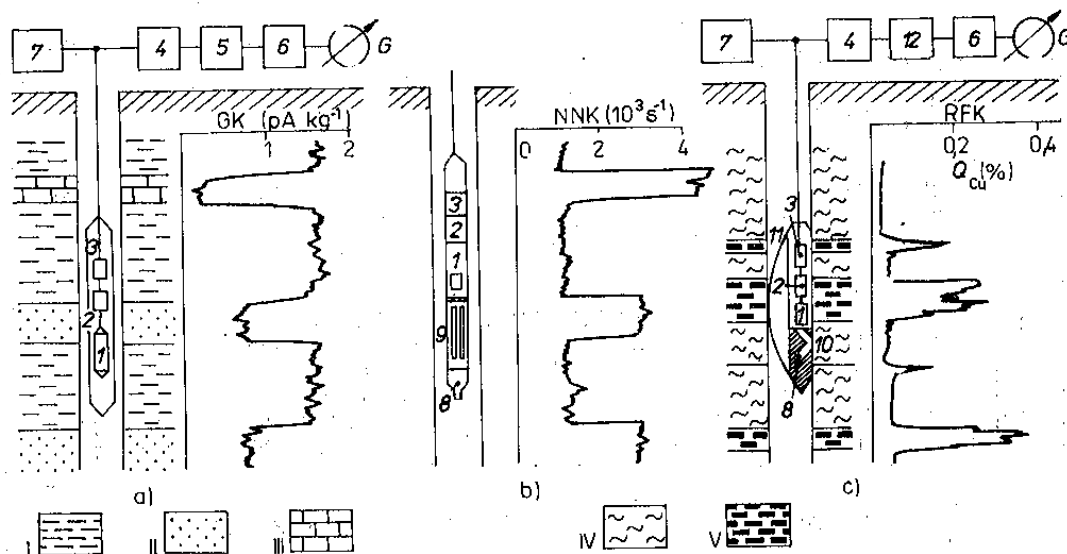
Dielektrická karotáž umožňuje měřit relativní permitivitu okolního horninového prostředí. Základní součástí karotážní sondy je kondenzátor zapojený do rezonančního obvodu s pracovní frekvencí $f = 10$ MHz. Desky kondenzátoru tvoří dva sousedé kovové válce (vnější slouží jako plášť sondy) upevněné na pryžo-

vém izolátoru. Změna permitivity okolního horninového prostředí vyvolá změnu frekvence rezonančního obvodu a změnu napětí na výstupu.

Metoda se používá v komplexu s ostatními karotážními záznamy k rozlišení kolektorů sycených ropou ($\epsilon_r \approx 3$) a vodou ($\epsilon_r \approx 80$).

9.3 Metody jaderné karotáže

Fyzikální princip těchto metod i přístrojové vybavení pro ně jsou v podstatě shodné jako u radionuklidových metod pro povrchový průzkum (kap. 6). Nepodstatný rozdíl spočívá v tom, že měřicí zařízení je vždy rozděleno na hlubinnou (měřicí) sondu a povrchovou část, která obsahuje napájecí a měřicí panel. Hlubinná sonda je vždy vybavena odpovídajícím detektorem jaderného záření (odst. 6.2.1), zdrojem vysokého napětí a prvním zesilujícím stupněm (obr. 78). Povrchový měřicí



Obr. 78. Metody jaderné karotáže a charakter karotážních záznamů

a) gama karotáž, b) neutron—neutron karotáž, c) rentgenofluorescenční karotáž
 1 — detektor (bod zápisu), 2 — zdroj vysokého napětí, 3 — první zesilující stupeň,
 4 — druhý zesilující stupeň, 5 — tvarovací obvod, 6 — integrační obvod, 7 — stabilizovaný zdroj stejnosměrného proudu, 8 — izotopový zdroj ($^{241}\text{Am}-\text{Be}$ pro NNK, ^{109}Cd pro RFK),
 9 — stínění mezi detektorem a zdrojem, 10 — kolimační kanálky, 11 — přitlačná pružina,
 12 — amplitudový analyzátor impulsů, G — karotážní zapisovač, I — jílovec,
 II — pískovce, III — vápence, IV — migmatity, V — Cu zrudnění

panel obsahuje vždy další zesilující stupeň; ostatní části měřicího panelu závisí na tom, zda měříme v integrálním nebo spektrálním režimu (odst. 6.2.2). Karotážní spektrometry jsou konstruovány obecněji než jen pro spektrální analýzu přirozeného záření gama. Mají obvykle libovolně nastavitelnou spodní diskriminační úroveň a šířku energetického okna tak, aby mohly být použity též pro spektrometrické vyšetřování uměle vytvořených polí jaderného záření. Povrchová část karotážního radiometru je spojena s měřicí sondou poměrně dlouhým karotážním kabelem, který musí vyhovovat vysokým požadavkům na kvalitu přenosu; u spektrometrů používáme často koaxiálního kabelu.

Metody jaderné karotáže rozdělujeme na pasivní, aktivní a aktivační (tab. 24). Pasivními proměřujeme pole kvant gama, vyvolané přítomností radioaktivních prvků přirozeně se vyskytujících v horninovém prostředí (viz též odst. 6.3.1 a 6.3.2). Aktivními a aktivačními proměřujeme uměle vyvolaná pole kvant

Tabulka 24. Přehled karotážních metod a jejich použití

		Karotážní metoda	Použití při vrtném průzkumu pro
Elektrokarotážní metody	přírodní pole	Metoda vlastních potenciálů SP Metoda elektrodových potenciálů EP	hydrogeologii, ropu, rudy rudy
	umělé pole	Proudová karotáž KK Odporová karotáž Ra jednoduché uspořádání elektrod Ra _p , Ra _g , fokusované systémy, laterolog, odporová mikroměření Metoda vyzvaných potenciálů VP	rudy, jíly ropu, hydrogeologii, inž. geologii, rudy, nerudy, uhlí uhlí, rudy
Elektromagnetické karotážní metody		Karotáž magnetické susceptibility KMS Indukční karotáž IL Dielektrická karotáž DK	železné rudy ropu, plyn ropu, plyn
Metody jaderné karotáže	pasivní	Gama karotáž GK Spektrometrická gama karotáž SGK	ropu, plyn, hydrogeologii, inž. geologii rudy
	aktivní	Gama-gama karotáž selektivní GGK-S Gama-gama karotáž hustotní GGK-H Rentgenofluorescenční karotáž RFK Gama-neutron karotáž GNK Neutron-neutron karotáž NNK Neutron-gama karotáž NGK	rudy, uhlí rudy, uhlí, ropu rudy beryllium ropu, plyn, uhlí, hydrogeologii ropu, plyn, uhlí, hydrogeologii
	aktivační	Neutronová aktivační karotáž NAK	rudy, nerudy, ropu
	speciální	Metoda otevřených radioaktivních zářičů ORZ	ropu, zemní plyn, hydrogeologii (těžební vrty)
Akustické a ultrazvukové karotážní metody		Akustická karotáž AK Akustický cementoměr AC Ultrazvukový profiloměr Ultrazvukový televizní systém	ropu, inž. geologii, hydrogeologii ropu (kontrola těžebních vrtů) těžbu solí ropu, inž. geologii, hydrogeologii (kontrola tech. stavu stěn)
Metody zjišťující technické parametry		Kavernometrie KM Inklinometrie IM Stratametrie SM	všechny druhy surovin všechny druhy surovin všechny druhy surovin
Měření fyzikálních vlastností kapalin		Termometrie TM Rezistivimetrie RM Fotometrie FM Průtokoměry PM Měření hustoty kapalin Měření podílu ropa—voda	poznání geol. stavby (strukturní), ropu, plyn, hydrogeologii ropu, plyn, hydrogeologii, inž. geologii hydrogeologii, inž. geologii hydrogeologii, ropu, plyn ropu, zemní plyn (těžební vrty) ropu (těžební vrty)

gama nebo pole neutronů, která vznikají ozářením horninového prostředí zdrojem kvant gama nebo zdrojem neutronů. Hlubinné sondy jsou v tomto případě vybaveny ve spodní části nástavci pro vložení izotopického zdroje (obr. 78b, c). Rozdíl mezi posledními dvěma skupinami spočívá v tom, že u aktivních nevzniká v horninovém prostředí nový radioizotop. Vznikne-li ozářením v hornině vzbuzené jádro, přejde okamžitě na stabilní energetickou úroveň podle vztahu (6.2). Při aktivních metodách naopak vznikne v ozářené hornině nový radioizotop, který se dále přeměňuje podle vztahu (6.3). Měření intenzity jeho charakteristického záření dovoluje stanovit přítomnost a koncentraci výchozího terčového prvku. Technika měření závisí na poločas rozpadu aktivací vzniklého radioizotopu. Radioizotopy s krátkým poločasem rozpadu ($T = 2$ až 3 min) dovolují plynulé měření, zvolíme-li rychlost pohybu sondy $v = 0,693T^{-1}L$ (kde L je vzdálenost izotopického zdroje od detektoru). Vznikají-li radioizotopy s dlouhým poločasem rozpadu ($T > 5$ až 10 min), použijeme techniky bodového měření (viz též odst. 6.4.6).

Použitelnost metod jaderné karotáže pro geologické cíle je uvedena v tab. 24.

9.4 Akustické a ultrazvukové karotážní metody

Tyto metody používají ke zkoumání stěny vrtu, vrtné výstroje a bezprostředního okolí vrtu rychlosti šíření zvukových nebo ultrazvukových impulsů. Mají za cíl sledovat průběžně rychlost šíření elastických vln v horninách (akustická nebo ultrazvuková karotáž AK), kvalitu zapažnicové cementace (akustický cementoměr AC), velikost a tvar kaveren (ultrazvukový profiloměr) a stav stěny vrtu (ultrazvukový televizní systém).

9.4.1 Akustická karotáž AK

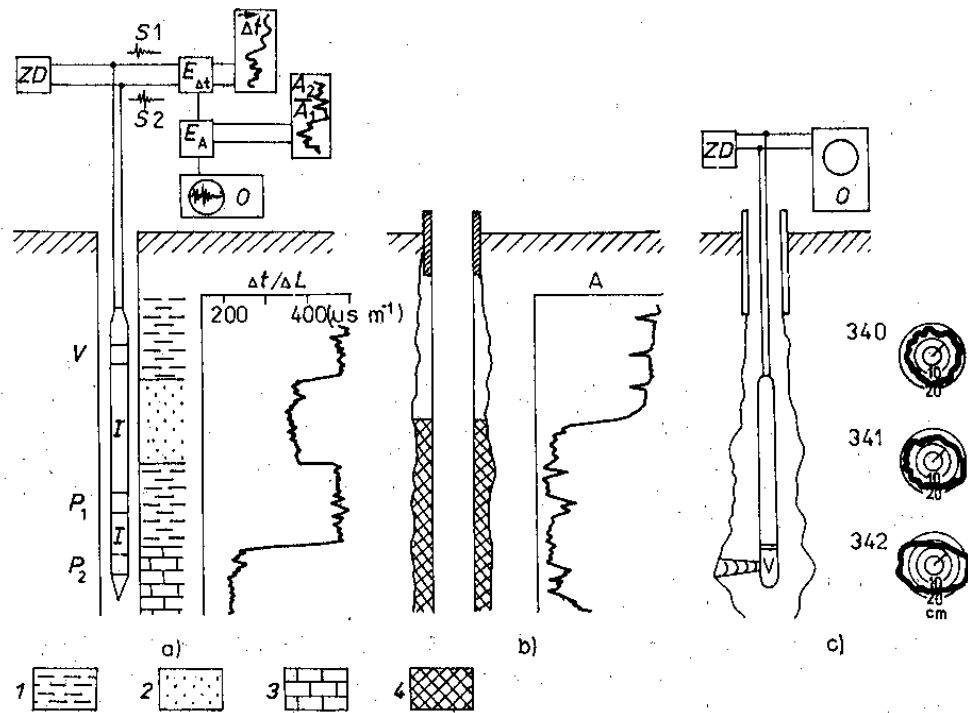
Přístroje pro akustickou karotáž se skládají z hlubinné měřicí sondy a povrchového panelu. Měřicí sonda je vybavena minimálně jedním magnetostrikčním nebo piezoelektrickým vysílačem zvukových nebo ultrazvukových vln o frekvenci 10 až 40 kHz a dvěma piezoelektrickými přijímači. Energie zvukových vln je do okolního prostředí vysílána ve formě impulsů (10 až 30 s⁻¹). Ve vzdálenosti 1 až 2 m od vysílače měříme časový rozdíl Δt příchodu lomené vlny (klouzající po stěně vrtu) k prvému a druhému přijímači. Podíl $\Delta t/\Delta L$ (ΔL je vzdálenost obou přijímačů) označujeme jako *průběhový čas*. Jeho reciprokou hodnotou je přímo rychlost šíření podélných vln v hornině za předpokladu, že sonda je při měření rovnoběžná se stěnou vrtu a hornina nemá výrazně porušeny mechanické vlastnosti vrtným procesem. Průběhový čas měřený tzv. *kompensovanými sondami* se dvěma vysílači a čtyřmi přijímači není ovlivněn změnami průměru vrtu. Povrchový panel obsahuje zdroj pro napájení hlubinné sondy, měřicí obvod pro záznam průběhového času, měřicí obvod pro záznam koeficientu útlumu a oscilograf pro sledování celého vlnového obrazu na jednom nebo druhém přijímači (obr. 79a).

Záznam akustické karotáže používáme pro stanovení pórovitosti, pro posouzení mechanických vlastností hornin, pro zjištění existence uhelné sloje v profilu vrtu a v komplexu s NNK a GGK—H pro sestavení základního litologického profilu vrtu.

9.4.2 Akustický cementoměr AC

Přístrojové vybavení je podobné jako pro AK s tím rozdílem, že hlubinná sonda obsahuje pouze jeden vysílač a jeden přijímač. Povrchový panel umožňuje zaznamenávat především amplitudu vlny vedené pažnicí a pro kontrolu též čas

průchodu t od vysílače k přijímači. Při dobrém spojení cementového kamene s pažnicí je téměř všechna energie elastických vln odvedena přes cement do okolního horninového prostředí. Existuje-li mezi pažnicí a cementem prostor vyplněný vodou nebo plynem, je úbytek energie vln vedených pažnicí minimální. Takovýmto způsobem umožňuje akustický cementoměr hodnotit kvalitu spojení cementu s pažnicí (obr. 79b).



Obr. 79. Akustické a ultrazvukové karotážní metody

a) schéma akustické karotáže a charakter karotážního záznamu, b) záznam akustickým cementoměrem z vrtu, kde pouze ve spodní části existuje dobrý kontakt mezi pažnicí a cementovým prstencem, c) schéma ultrazvukového profilometru a charakter záznamů na obrazovce oscilografu pro tři různé hloubky

V — vysílač akustických nebo ultrazvukových impulsů, P_1 , P_2 — přijímače akustického signálu, I — akustický izolátor, S_1 , S_2 — signál z prvního a druhého přijímače, $E_{\Delta t}$ — elektrické obvody umožňující měřit časový rozdíl Δt mezi příchodem elastického impulsu k prvnímu a druhému přijímači, E_A — elektrické obvody umožňující měřit poměr amplitud A_2/A_1 signálů z druhého a prvního přijímače, ZD — zdroj proudu, O — oscilograf

1 — prachovce, 2 — pískovce, 3 — vápence, 4 — prostor mezi stěnou vrtu a pažnicí vyplněný cementem

9.4.3 Ultrazvukový profiloměr

Tento přístroj dovoluje v určité hloubce stanovit tvar kaverny v řezu kolmém na osu vrtu. Měřicí sonda je vybavena otočnou hlavicí, která vysílá ultrazvukové impulsy ke stěně vrtu a měří čas t mezi okamžikem vyzáření a návratu. Při známé rychlosti šíření ultrazvuku v kapalině vyplňující vrt je čas t přímo úměrný rádiusvektoru r . Na obrazovce povrchového panelu se zobrazí tvar řezu, který lze pro každou hloubku fotograficky zaznamenat a sestavit tak prostorový model vrtu (obr. 79c).

9.4.4 Ultrazvukový televizní systém

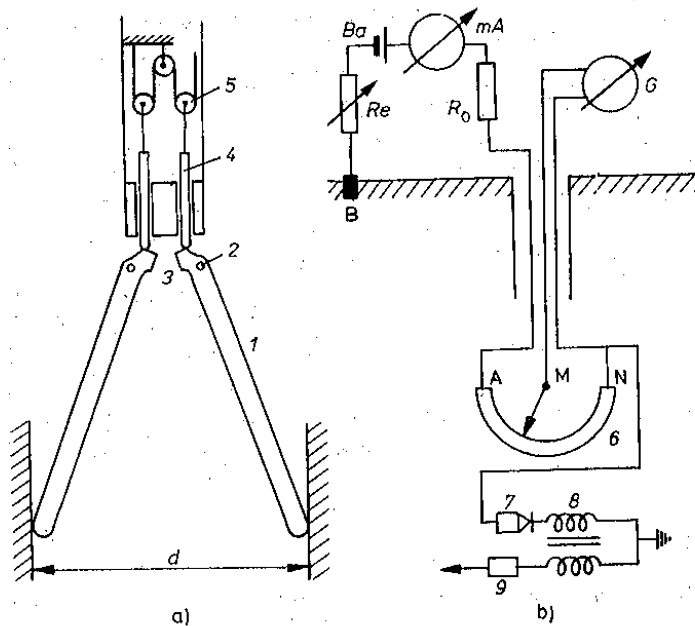
Hlubinná sonda je konstruována podobně jako u profiloměru s tím rozdílem, že hlavice rotuje velkou rychlostí a že měříme za pohybu amplitudu přísně směřovaného signálu odraženého od stěny vrtu nebo výstroje. Ta je závislá na charakteru anomálií ve stěně vrtu (pukliny, praskliny, perforace atd.). Na televizní obrazovce povrchového panelu je stále zobrazena rozvinutá část stěny vrtu, která byla právě ultrazvukovým paprskem ohmatána. Současně je pořizován záznam na magnetickou pásku, dovolující výsledky šetření kdykoliv reprodukovat. Zařízení se používá zejména pro kontrolu stavu vrtné výstroje, zjištění existence puklin atd.

9.5 Metody zjišťující geometrické parametry

Do komplexu karotážních metod patří též měření průměru vrtu (*kavernometrie*), měření odklonu vrtu od svislice a směru odklonu (*inklinometrie*) a měření směru a sklonu vrstev (*stratimetrie*).

9.5.1 Kavernometrie KM

Přístroje pro měření průměru vrtu — *kavernometry* — mají nejrůznější mechanickou konstrukci, principiální elektrické schéma však je u všech podobné. Tři nebo čtyři mechanická čidla (páky, ramena kloubového mechanismu podobná pantografu) jsou pružinou přitlačována ke stěně vrtu a při měření sledují všechny



Obr. 80. Mechanické (a) a elektrické (b) schéma odporového pákového kavernometru
1 — delší ramena přitlačovaná ke stěně vrtu, 2 — otočná osa, 3 — kratší ramena přenášející pohyb přes písty 4 a kladky 5 na jezdec potenciometru 6, 7 — kontakt na tělo sondy přes primární vinutí transformátoru 8, umožňující otevřít páky kavernometru těsně před počátkem měření tím, že se proudovým impulsem ze sekundárního vinutí přepálí drátek 9, G — registrační galvanometr, Ba — zdroj proudu, Re, mA — reostat a miliampérmetr pro nastavení proudu, R₀ — přesný kontrolní odpor

změny v průměru vrtu. Změny v poloze ramen jsou přenášeny kladkovým systémem na jezdce potenciometru (obr. 80), takže potenciální rozdíl ΔV (mV) měřený mezi jezdcem potenciometru a jeho krajní polohou je přímo úměrný průměru vrtu.

Skutečný průměr vrtu je třeba znát pro kvantitativní vyhodnocení většiny karotážních metod, pro výpočet množství cementu při zapažnicové cementaci a pro kontrolu průchodnosti těžebních vrtů. Může poskytnout i doplňující informace o výskytu propustných poloh (tvorba výplachové kůrky na stěně porézních propustných hornin, existence kaveren v horninách s puklinovou propustností).

9.5.2 Inklinometrie IM

V praxi se používají *inklinometry* trojí konstrukce: elektrické odporové inklinometry s magnetkou, s gyroskopem a fotoinklinometry.

U prvních dvou typů je princip měření odklonu vrtu (úhlu mezi tečnou k vrtu v dané hloubce a svislicí) v podstatě stejný. Závaží, jehož rovina kyvu se vždy ztotožní s rovinou maximálního zakřivení vrtu, je spojeno s jezdcem potenciometru, který tvoří dvě větve Wheatstoneova můstku (obr. 81a). Ekvivalentní potenciometr se stupnicí ve stupních odklonu tvoří dvě zbývající větve Wheatstoneova můstku v povrchovém panelu.

Pro měření azimutu odklonu (tj. úhlu mezi rovinou maximálního zakřivení a rovinou magnetického meridiánu) je vybaven prvý typ inklinometru magnetkou, která je spojena s jezdcem kruhového potenciometru. U druhého typu slouží jako indikátor směru roztočený setrvačnický (gyroskop) uložený v kardanovém závěsu, jehož vnější rám je rovněž spojen s jezdcem kruhového potenciometru. Pro stanovení úhlu odklonu a azimutu užíváme kompenzační metody, neboť celé zařízení tvoří dvě větve Wheatstoneova můstku v hlubinné sondě a dvě větve spolu s nulovým indikátorem v povrchovém panelu. Při vyrovnaném můstku čteme na stupnici povrchového potenciometru úhel odklonu s přesností $\pm 30'$ a úhel azimutu s přesností $\pm 5^\circ$, maximální měřitelný odklon je 50 až 60° .

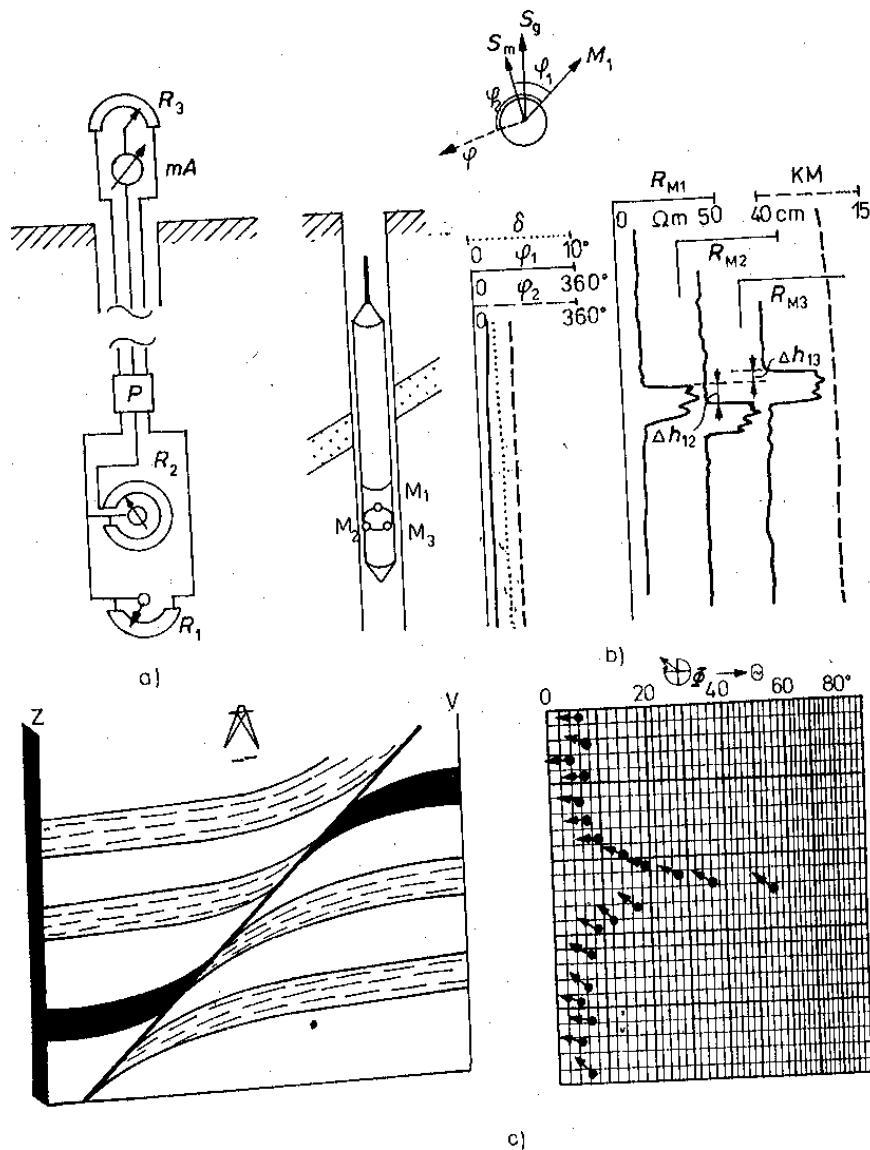
Fotoinklinometr využívá k indikaci směru magnetky a ke stanovení odklonu vhodně vybroušeného konkávního skla se soustřednými kruhy odpovídajícími různému odklonu sondy. Úhel odklonu odečítáme z polohy kuličky (která na konkávní misce zaujme vždy nejnižší místo) vzhledem k soustředným kruhům. Azimut, tj. úhel mezi směrem magnetky a směrem maximálního zakřivení vrtu, je dán opět polohou kuličky. Představu o poloze kuličky vzhledem k soustředným kruhům a vzhledem k magnetce získáme pro každý hloubkový interval z fotografického záznamu. Přesnost těchto přístrojů je $\pm 15'$ v úklonu a $\pm 1^\circ$ v azimutu, maximální měřitelný odklon je 17° .

Údaje o hloubce měření (po ose vrtu), odklonu δ a azimutu φ dovolují spolu s údaji o souřadnicích ústí vrtu vypočítat souřadnici x, y, z kteréhokoliv bodu ve vrtu (např. průniku vrtu s ložiskem apod.).

9.5.3 Stratametrie SM

Přístroje pro měření sklonu vrstev Θ a směru sklonu Φ představují v podstatě kombinaci kavernometru, inklinometru s nepřetržitým zápisem a nejméně tři (u nejnovějších přístrojů čtyř) mikroelektrodových systémů s fokusací proudu. Záznam stratametrie tak obsahuje nejméně tři mikroodporové křivky měřené elektrodoými systémy M_1 až M_3 , křivku průměru vrtu, křivku odklonu vrtu δ , azimutu elektrodového systému M_1 a úhel mezi elektrodovým systémem M_1 a rovinou maximálního zakřivení vrtu. V závislosti na úhlu, který mezi sebou svírají osa vrtu a kolmice k vrstevní ploše, jsou odporové křivky vůči sobě vzájemně

posunuty o hloubkový interval Δh_{12} , Δh_{13} , jejich tvar však zůstává obvykle zachován (obr. 81b). Všechny měřené veličiny se zaznamenávají na magnetickou pásku v číslicové formě, výpočet sklonu Θ a směru sklonu Φ se provádí na samočin-



Obr. 81. Karotážní metody zjišťující geometrické parametry

- a) zjednodušené elektrické schéma odporového inklinometru s magnetkou,
 b) schematické znázornění stratametru a křivek, které se při stratametrii registrují,
 c) projev zlomu s vlekm na výsledcích stratametrie (Θ — sklon vrstev, Φ — směr sklonu)
 R_1 — potenciometr, jehož jezdec je ovládán závažím, R_2 — potenciometr, jehož jezdec je ovládán magnetkou, R_3 — potenciometr povrchového panelu, na kterém čteme odklon δ nebo azimut φ při nulové výchylce miliampérmetru mA , P — relé umožňující měřit jednou odklon vrtu, podruhé azimut odklonu, M_1 až M_3 — elektrodové systémy stratametru,
 δ — odklon vrtu od vertikály, φ — směr odklonu vrtu, φ_1 — azimut elektrodového systému M_1 , φ_2 — úhel mezi směrem odklonu a elektrodovým systémem M_1 ,
 R_{M1} až R_{M3} — odporové křivky měřené odpovídajícím elektrodovým systémem,
 KM — kavernometrie, S_m — magnetický sever, S_g — zeměpisný sever

ném počítači a výsledky zpracování se znázorňují graficky tak, jak je uvedeno na obr. 81c.

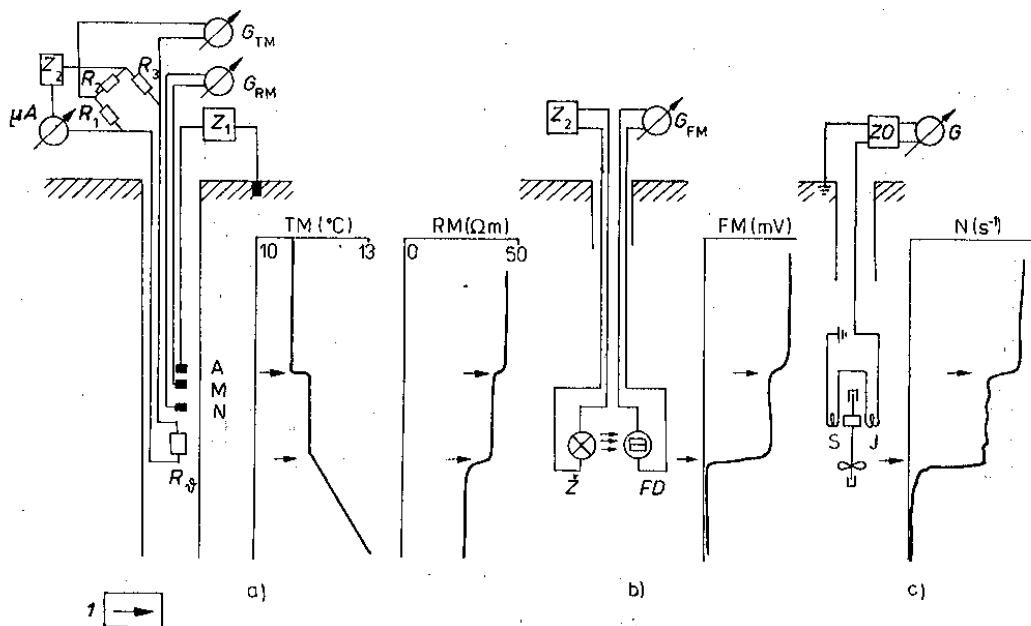
Stratametrie je dnes velmi důležitým pomocníkem geologa při řešení strukturních a tektonických problémů území podrobeného vrtnému průzkumu.

9.6 Měření fyzikálních vlastností kapalin ve vrtu

Karotážní metody řadící se do této skupiny se používají nejen pro měření fyzikálních vlastností kapalin vyplňujících vrtný otvor, a tedy pro stanovení jejich charakteru, ale uplatňují se i při řešení otázek dynamiky těchto kapalin ve vrtu, řešení otázek těsnosti pažnic, hermetičnosti cementace a různých technických problémů v těžebních vrtech na ropu, zemní plyn i vodu. Většina z těchto metod je dnes součástí moderního karotážního komplexu pro proměřování těžebních vrtů, tzv. production logging.

9.6.1 Termometrie TM

Přístroje pro měření teploty kapaliny ve vrtu označujeme jako termometry, pro měření teplotního gradientu jako diferenciální termometry. Měřicím elementem je teplotně citlivý odpor R_θ (dnes většinou termistor), který tvoří jednu větev Wheatstoneova můstku. Zbývající tři větve jsou tvořeny konstantními, na teplotě nezávislými odpory R_1 až R_3 (obr. 82a). V jedné diagonále je můstek napájen stabi-



Obr. 82. Měření fyzikálních vlastností kapalin ve vrtu

a) současný záznam rezistivimetrie a termometrie ve vrtu s přetokem, b) schéma a záznam fotometrie, c) schéma a záznam vrtulkovým průtokoměrem

A, M, N — elektrody rezistivimetru, Z_1 — zdroj střídavého proudu, Z_2 — zdroj stejnosměrného proudu, μA — mikroampérmetr, Z — žárovka, FD — fotodioda, S, J — severní a jižní pól permanentního magnetu, pevně spojeného s vrtulkou, ZO — zesilovací a tvarovací obvod, G — registrační galvanometry, I — místa přítoků podzemní vody do vrtu

lizovaným stejnosměrným proudem. Napětí ΔV měřené v druhé diagonále je úměrné měřené teplotě ϑ podle vztahu

$$\vartheta = n\Delta V + \vartheta_0, \quad (9.1)$$

kde ϑ_0 je teplota, při níž je můstek v rovnováze, a n je násobná konstanta. Obě veličiny je třeba zjistit kalibrací.

Teplotní měření dovoluje stanovit geotermický gradient (TM je nutno uskutečnit po určité době klidu, aby se teplota výplachu vyrovnala s teplotou okolních hornin), výšku hlavy cementu za pažnicemi, místa přítoků, intervaly s vertikálním pohybem kapaliny ve vrtu a v příznivých případech též hodnotu objemového vertikálního průtoku.

9.6.2 Rezistivimetrie RM

Měrný odpor kapaliny ve vrtu ρ_m zjišťujeme *rezistivimetrem*. Je to v podstatě miniaturní odporová sonda se vzdáleností elektrod A, M, N v rozmezí 10 až 20 mm. Pro měrný odpor výplachu platí vztah (5.6). Konstantu k rezistivimetru nutno stanovit kalibrační přístroje v roztocích NaCl o známém měrném odporu.

Záznam rezistivimetrie je nutný pro kvantitativní interpretaci odporové karotáže. Sérii záznamů RM po úpravě vody chloridem sodným lze využít ke stanovení míst přítoků vody do vrtu, vertikální rychlosti nebo objemového vertikálního průtoku, vydatnosti přítoků, filtrační rychlosti, netěsnosti pažnicové kolony a k objasnění různých technických komplikací ve vrtu.

9.6.3 Fotometrie FM

Průzračnost kapaliny ve vrtu, koncentraci barviva nigrosin nebo množství suspendovaných kalových částic ve vodě měříme *fotometrem*. Fotometrické židlo obsahuje žárovku napájenou stabilizovaným proudem a hradlovou fotonku (obr. 82b). Proměřovaná kapalina vniká do štěrbin mezi žárovkou a fotonkou a podle stupně zakalení či obarvení snižuje hodnotu světelného toku dopadajícího na fotonku, a tedy i velikost napětí na jejím výstupu.

Záznam fotometrie poskytuje údaje o čirosti kapaliny ve vrtu. Sérii záznamů FM po úpravě barvivem nigrosin lze použít k řešení otázek dynamiky vody ve vrtu.

9.6.4 Vrtné průtokoměry

Vertikální rychlost nebo *objemový vertikální průtok kapaliny* ve vrtu měříme obvykle *vrtulkovými průtokoměry*. Proudící kapalina roztáčí vrtulku o malém momentu setrvačnosti. S osou vrtulky je pevně spojen permanentní magnet (obr. 82c), který indukuje ve snímací cívice napětí úměrné počtu otáček. Napětí je přivedeno po zesílení na karotážní registrátor.

Vrtulkové průtokoměry se používají pro kvantitativní posouzení dynamiky kapalin v hydrogeologických vrtech a těžebních vrtech na ropu a zemní plyn.

9.6.5 Měření hustoty kapalin

Pro měření hustoty kapalin ve vrtu se nejlépe osvědčil *diferenciální (rozdílový) tlakoměr*. Přístroj měří přírůstek tlaku na konstantní přírůstek hloubky, takže výstupní napětí je přímo úměrné hustotě kapaliny.

Diferenciální tlakoměry se používají zejména pro kontrolu těžebních vrtů na ropu a zemní plyn, aby se objasnilo, která část vrtu je vyplněna vodou, ropou nebo plynem a jaké je objemové zastoupení jednotlivých složek.

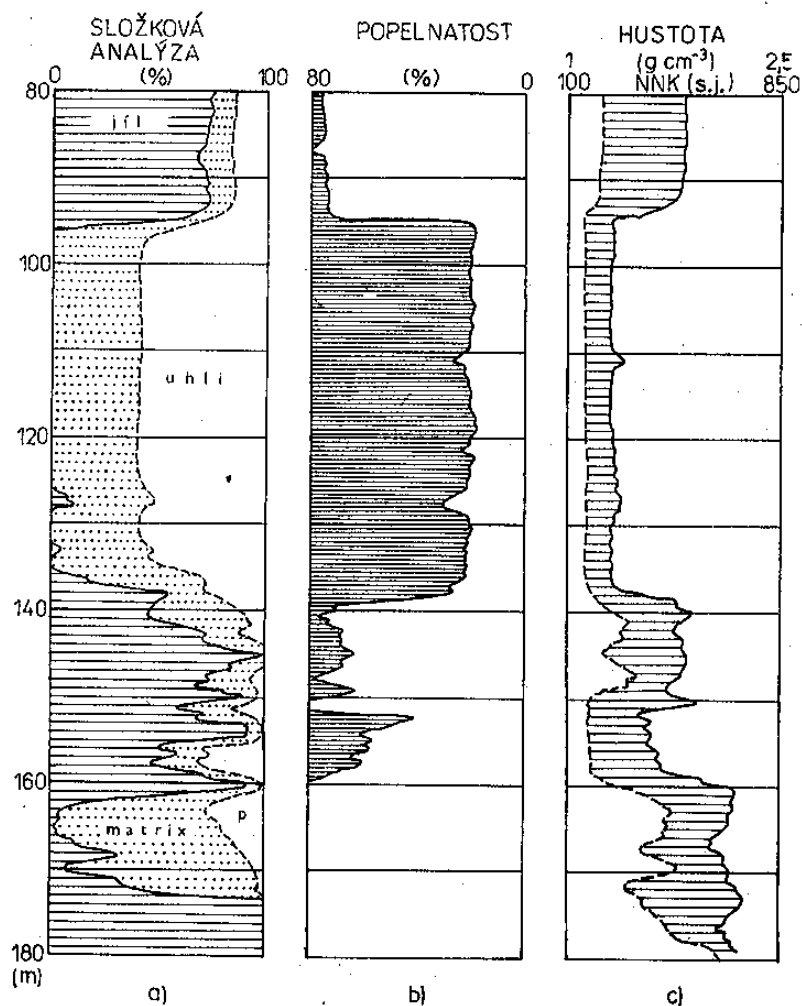
9.6.6 Měření podílu ropa—voda

Přístroj představuje v podstatě kondenzátor, mezi jehož válcovými deskami protéká měřená kapalina a svou permitivitou ovlivňuje jeho kapacitu. Permitivita ropy ($\epsilon_r = 2$ až 6) se výrazně liší od permitivity vody ($\epsilon_r \approx 80$). Pokud proměřovaná kapalina nemá charakter emulze, je kapacita kondenzátoru přímo úměrná podílu ropa—voda.

Zařízení se uplatní především pro kontrolu těžebních vrtů na ropu.

9.7 Racionální komplex karotážních metod

Jedna karotážní metoda není obvykle schopna poskytnout jednoznačnou informaci o výskytu užitkového nerostu v profilu vrtu, tím méně pak zajistit kvantitativní údaje o ložiskových parametrech. Pod pojmem *ložiskové parametry* rozumíme veličiny, které jsou nutné k ocenění zásob, jako je např. mocnost H , pórovitost p , nasycení vrstvy uhlovodíky S_h a objem pohyblivých uhlovodíků



v pórovém prostoru u ložisek ropy a zemního plynu, mocnost H a popelnatost A^s u uhelných slojí, obsah (%) rudního minerálu nebo sledovaného prvku (Cu, Pb, Fe atd.) na ložiskách rud. Proto se pro každou surovinu sestavil doporučený soubor karotážních metod, který zaručuje získání maximálního množství informací užitečných pro geologa, který však současně respektuje hledisko maximální hospodárnosti s ohledem na prostoje osádky vrtu při karotážním měření a na cenu karotážních prací (tab. 25, obr. 83).

Tabulka 25. Doporučený komplex karotážních metod

Surovina	Karotážní metody
Rudy Pb, Zn, Cu	SP, EP, Ra, GK, RPK, GGK-S, KM
Rudy Au, Ag, Hg, As, Mo, W	RPK, KM, ostatní podle geologické situace
Rudy Fe	KMS, GGK-S, RPK, KM
Rudy Mn	NAK, KM, ostatní podle geologické situace
Rudy Al	NAK, KM, ostatní podle geologické situace
Rudy Be	GNK, KM, ostatní podle geologické situace
Fluority	NAK, KM, NGK, ostatní podle geologické situace
Síra	NNK, GGK-H, AK, KM
Evapority	GK, NNK, GGK-H, AK, KM
K-živce	GK spektrometrické, KM
Lupky, jíly	GK, SP, Ra, KM, KK
Vápence	GK, Rap, GGK-H, NNK, KM
Uhlí	GK, GGK-H, (GGK-S), (NNK), KM, Ra, SP
Ropa, plyn	GK, SP, GGK-H, NNK, AK, Ra, SM, PM, RM, TM, měření podílu ropa—voda (těžební vrtvy)
Podzemní voda (hydrogeologie)	GK, SP, Ra, GGK-H, NNK, KM, RM, TM, FM, PM
Vrtvy pro inženýrskogeologický průzkum	GK, SP, GGK-H, NNK, AK, KM

◀
Obr. 83. Výsledky automatizovaného zpracování karotážních měření z průzkumných vrtů na hnědé uhlí v podkrušnohorské pánvi
a) složková analýza sedimentárních hornin podle GK, Ra, GGK—H a NNK,
b) popelnatost podle GGK—H, c) překrytový graf, kombinace hustoty a neutronové pórovitosti