

GEOFYZIKÁLNÍ MĚŘENÍ VE VRTECH - KAROTÁŽ

(WELL LOGGING)

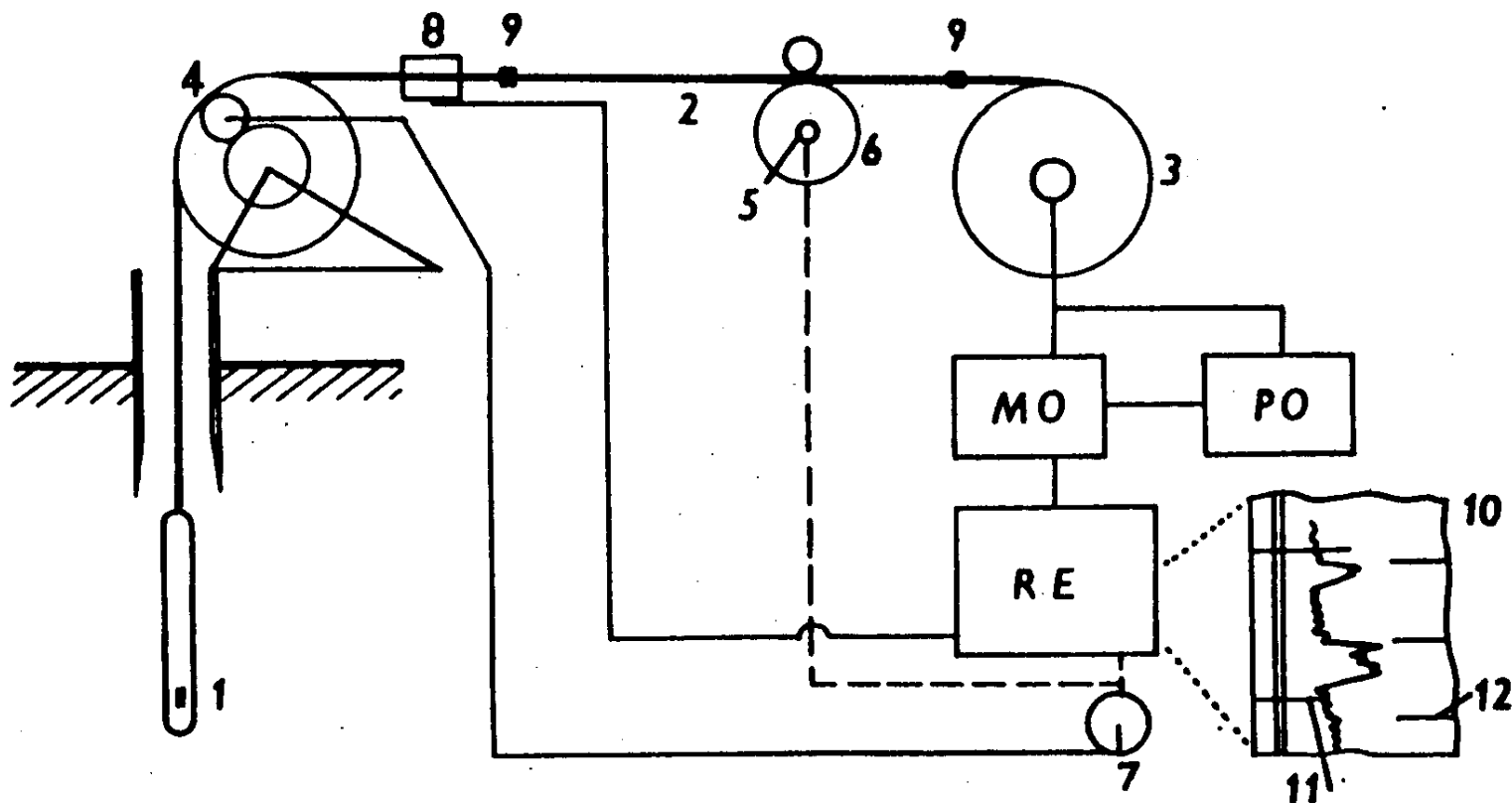
- ZÁKLADNÍ ÚDAJE
- ROZDĚLENÍ METOD
- ZÁKLADY JEDNOTLIVÝCH KAROTÁŽNÍCH METOD
- VOLBA KOMPLEXU KAROTÁŽNÍCH METOD

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O KAROTÁŽI

Zdroj i přijímač v tomtéž vrtu (na rozdíl od vrtních variant geofyzikálních metod nebo seismokarotáže)

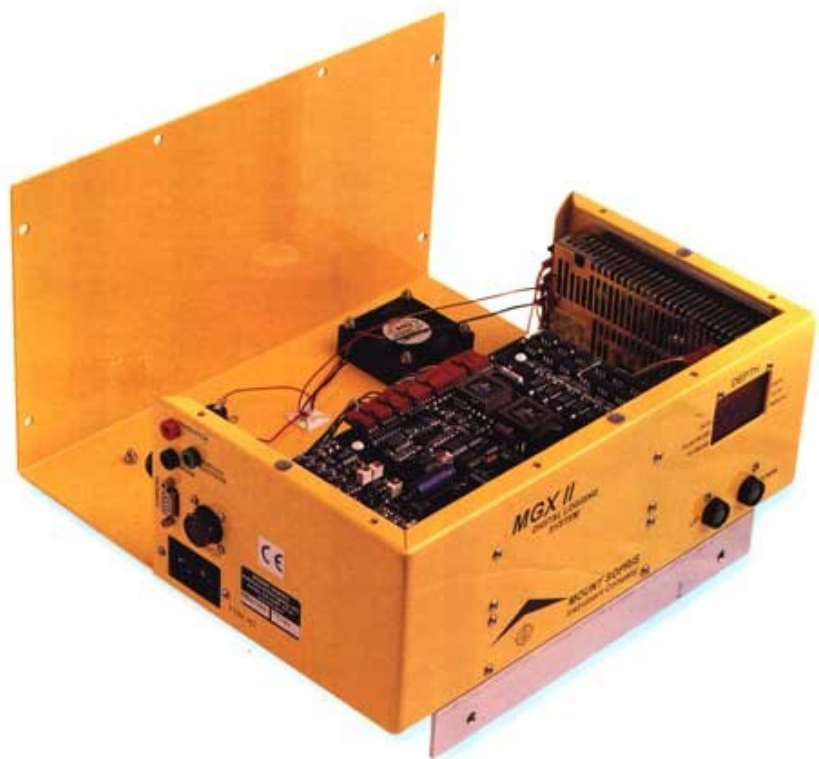
Hloubkový dosah (kolmo na stěny vrtu, 90 % signálu)
v průměru první desítky cm .

Měření: automatické karotážní soupravy namontované v
automobilech
digitální záznam el. signálu,
karotážní křivky doplněné časovými a hloubkovými
značkami

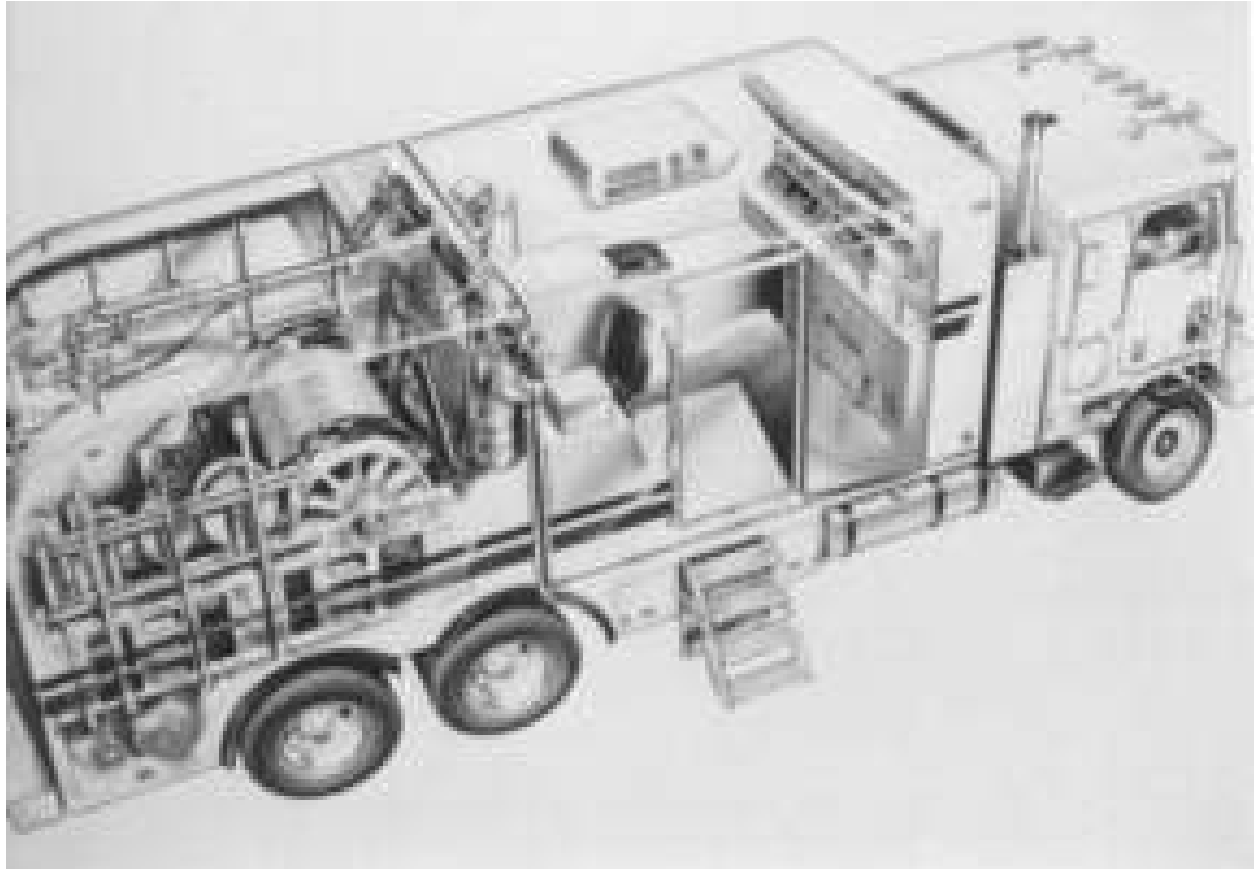


Blokové schéma karotážní soupravy při práci v terénu

- 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

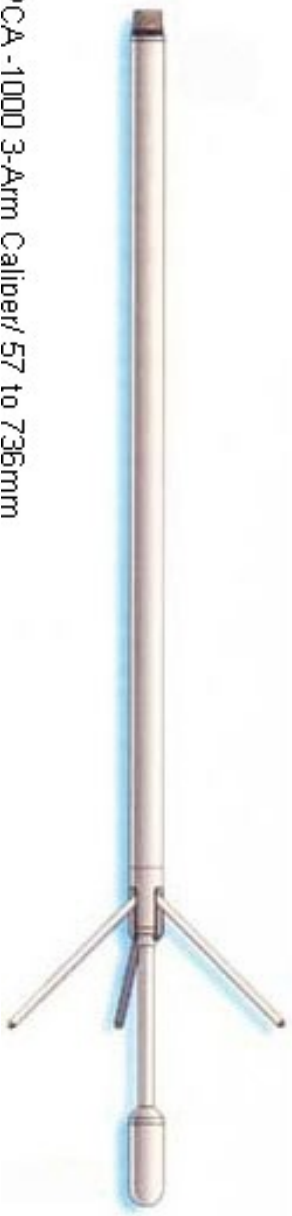








FLP-2492 Spinner (impeller) Flow Meter



2PCA-1000 3-Arm Caliber/57 to 736mm



KLP-2790 4bi Omni-directional Density



FAC40 Acoustic Televiewer



2SFAB-1000 Temperature/Fluid Resistivity



2PEA-1000 8/16/32/64" Normal Resistivity

Většina karotážních metod jsou ekvivalenty povrchových měření
Menší skupina speciálních metod pouze pro měření ve vrtech
povrchové – bodově, karotáž – spojitě

Měřicí sondy i zdroje jsou technologicky náročnější než
u povrchových měření:

- omezený prostor
- zajištění kontaktu se stěnou vrtu
- odolnost vůči vysokým teplotám a tlakům u hlubokých vrtů

Kalibrace karotážních sond

Rušivé vlivy:

- vliv výplachu
- hraniční efekty
- vliv pažnic

ROZDĚLENÍ METOD

- I. Metody zjišťující vlastnosti hornin v bezprostředním okolí vrtu

- II. Metody zjišťující vlastnosti vrtu
(případně strukturní poměry v jeho bezprostředním okolí)
nebo vlastnosti výplachu

I. Metody zjišťující vlastnosti hornin

Dělení vychází z typu použitého fyzikálního pole:

1. ELEKTROKAROTÁŽNÍ METODY

- odporové
- elektrochemické

2. ELEKTROMAGNETICKÉ KAROTÁŽNÍ METODY

3. METODY JADERNÉ KAROTÁŽE

4. AKUSTICKÉ A ULTRAZVUKOVÉ KAROTÁŽNÍ METODY

II. Metody zjišťující vlastnosti vrtu nebo výplachu

1. METODY ZJIŠŤUJÍCÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY

2. MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ KAPALIN VE VRTU

Odporová karotáž

Nejstarší karotážní metoda

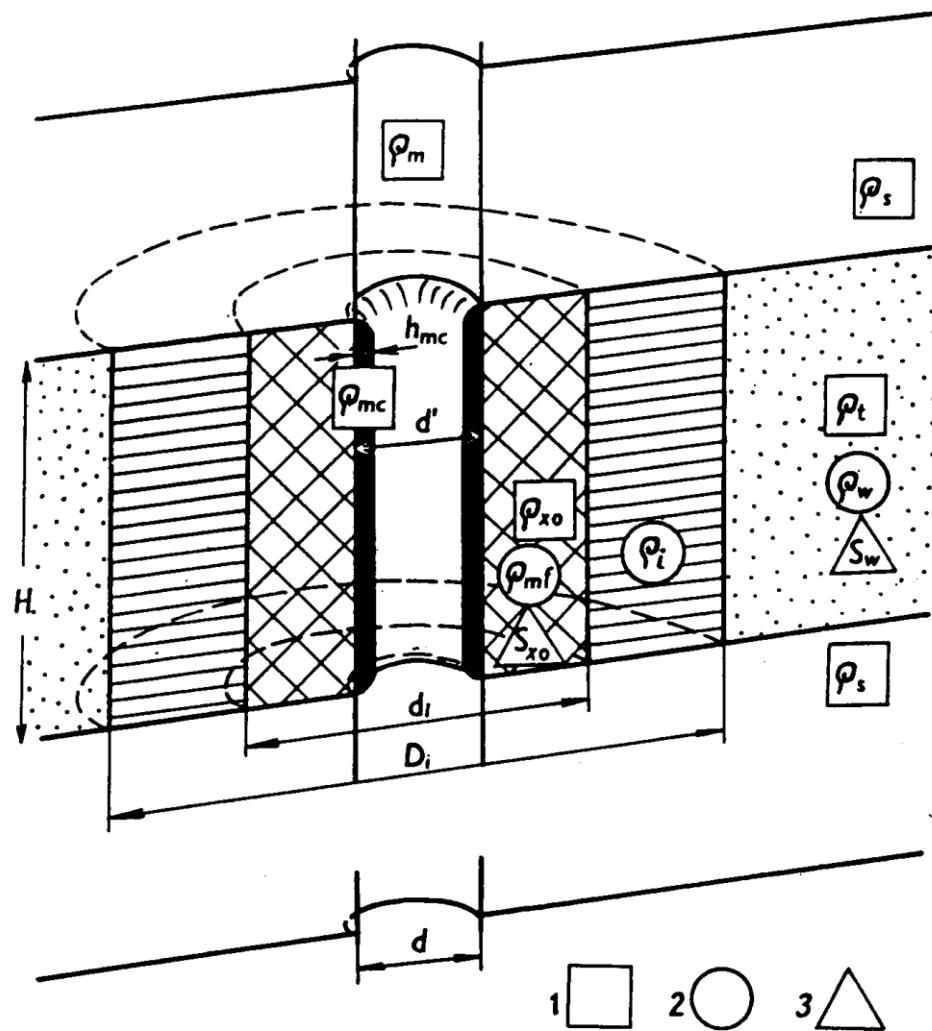
(1927, Marcel a Conrad Schlumberger)

Konstanta uspořádání - koef. 4π

Písčité sedimenty: výplach proniká do hornin v okolí vrtu

- výplachová kůrka (ρ_{mc})
- zaplavená zóna (ρ_{xo})
- zóna průniku (ρ_i)

neovlivněné horninové prostředí (ρ_t)



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

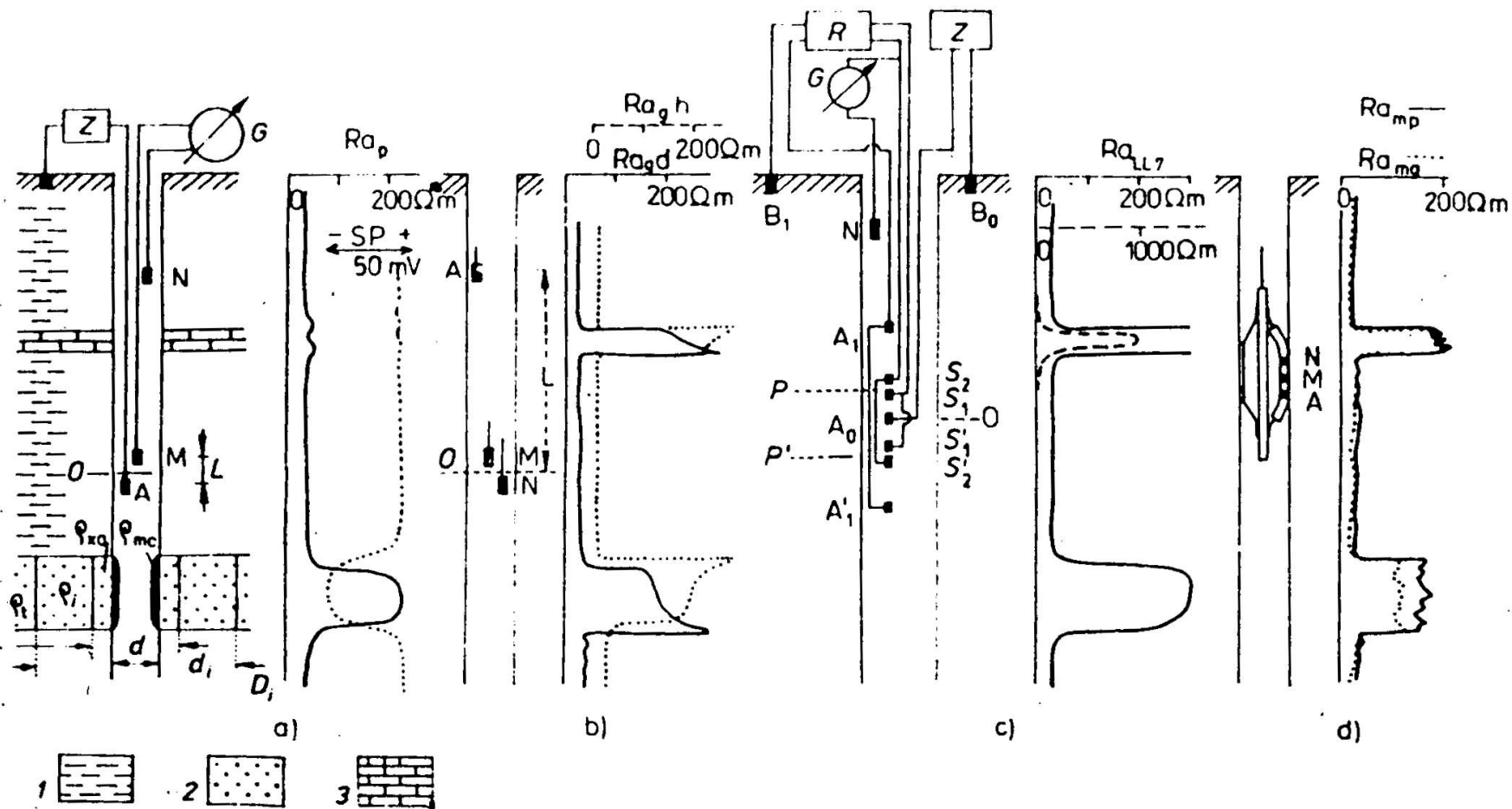
1 – měrné odpory jednotlivých prostředí; 2 – měrné odpory vod vyplňujících póry jednotlivých prostředí; 3 – vodonasyčenost jednotlivých zón;
 H – mocnost vrstvy; h_{mc} – tloušťka výplachové kůrky; d – průměr vrtu;
 d_i – průměr promyté zóny; D_i – průměr zóny průniku

Tříelektrodové sondy: potenciálové
gradientové
výsledky pouze kvalitativní (nezískáme skutečnou
hodnotu měrného odporu)

Boční karotážní sondování BKS - obdoba povrchového VES:
několik měření se sondami různé délky

Boční karotáž (pomocné elektrody k fokusaci proudových linií –
tzv. laterolog) LL3, LL7
větší hloubkový dosah, měří se hodnoty blízké
skutečnému měrnému odporu

Odporová mikrokarotáž: měření parametrů zaplavené zóny
mikropotenciálová sonda Ra_{mp}
mikrogradientová sonda Ra_{mg}
detailní členění vert.profilu, měrný odpor zaplav.zóny



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

Metoda vlastních potenciálů SP

difúzně adsorpční a filtrační procesy - vrty v sedimentárních
horninách (záporné anomálie SP)
oxidačně redukční procesy - vrty v rudní prospekci
měří se s potenciálovým nebo gradientovým uspořádáním

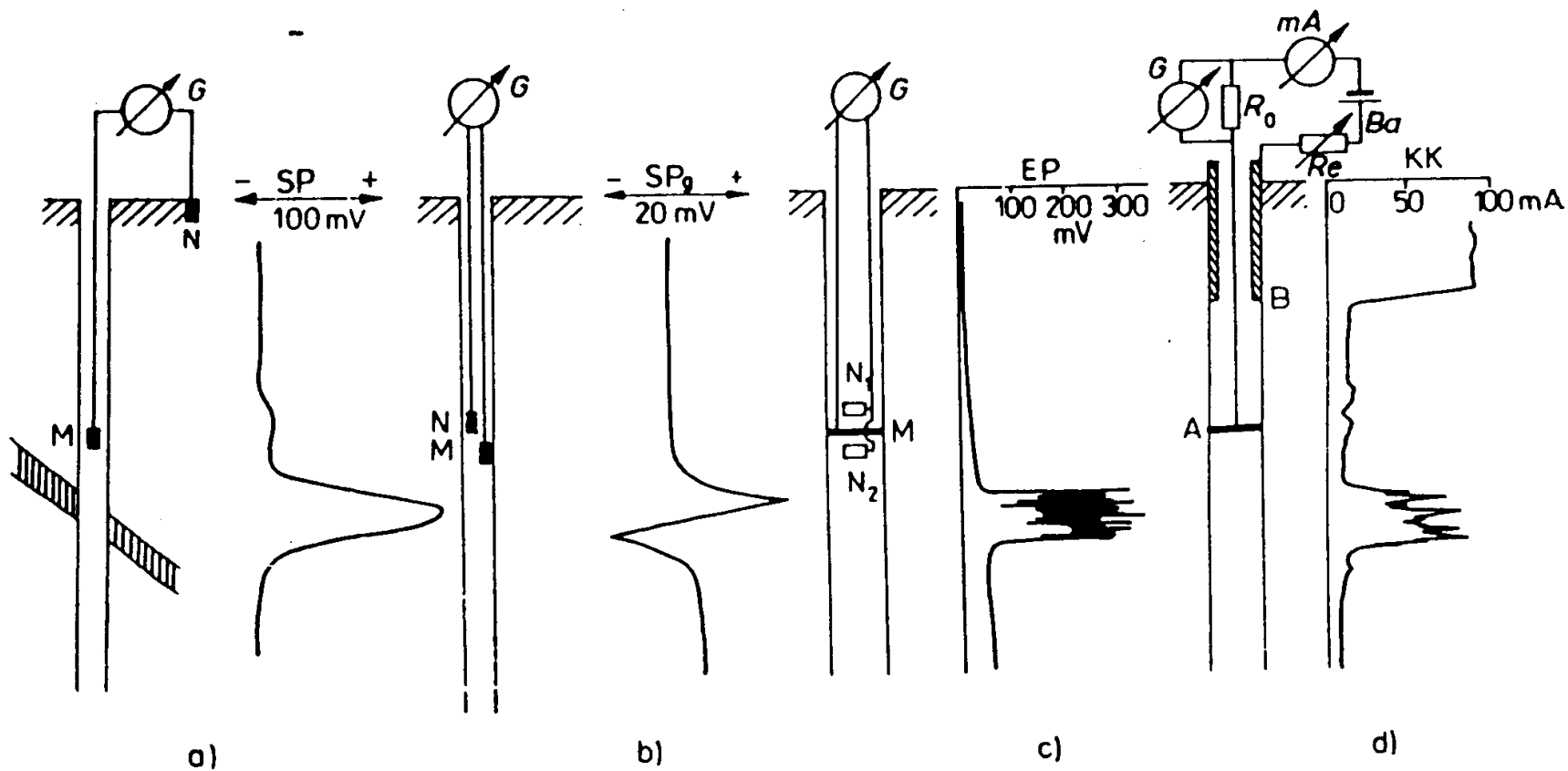
Metoda elektrodových potenciálů EP

identifikace rudních minerálů s elektronovou vodivostí
Zn elektrody, kladné anomálie několik set mV

Proudová karotáž KK

Tzv. metoda klouzajících kontaktů:
elektroda A ve vrtu, B uzemněná na pažnici

Rudní ložiska - zvýšení proudu
Nerudy (jíly, vápence)

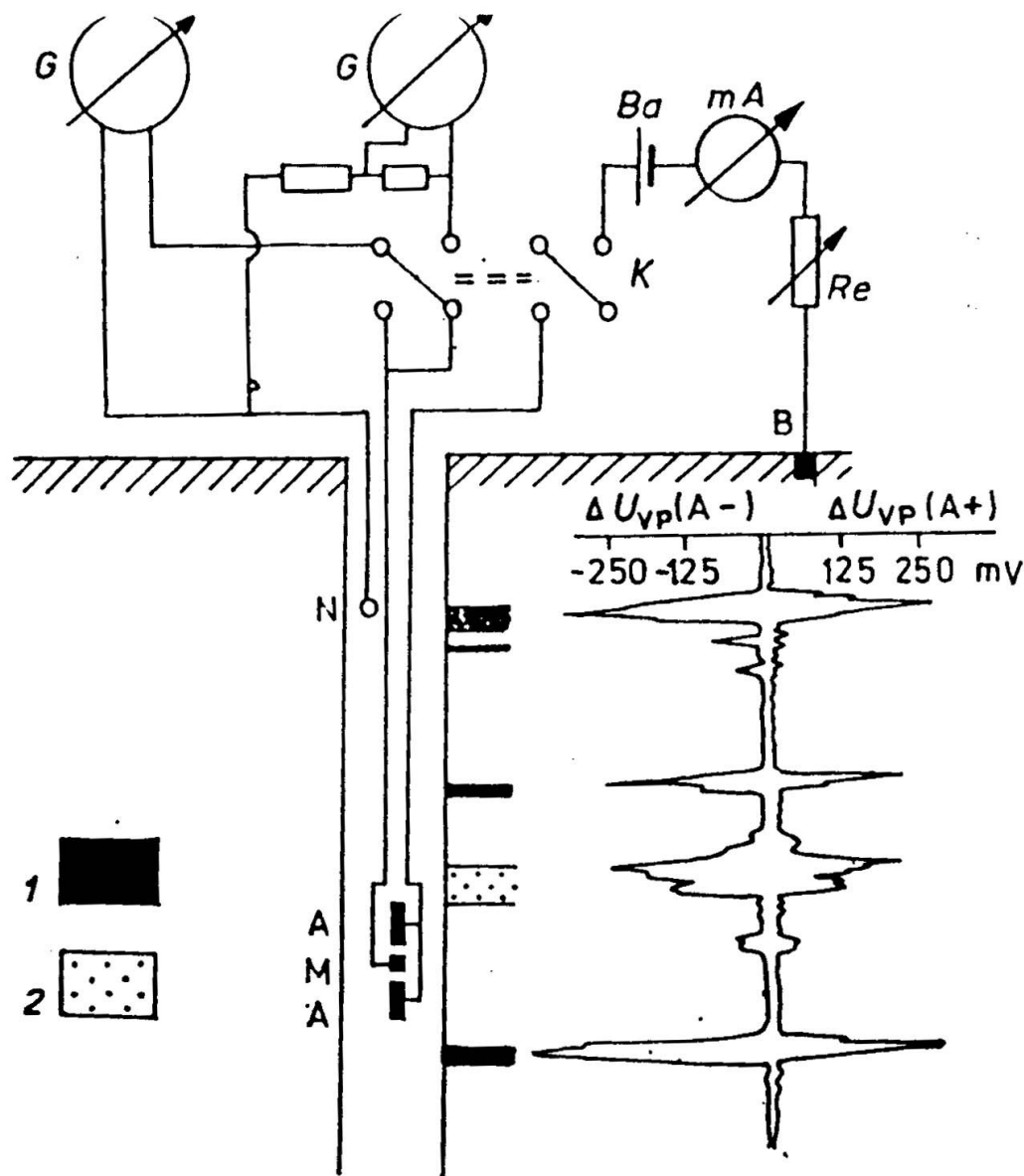


Obr. 74. Projev sulfidické rudní polohy na záznamu vlastních potenciálů SP (a), gradientu vlastních potenciálů SP_g (b), elektrodových potenciálů EP (c) a klouzajících kontaktů KK (d) M, N — měřicí elektrody, A, B — proudové elektrody, G — registrační galvanoměr, mA — miliampérmetr, Ba — anodová baterie, R₀ — kontrolní odpor (1 Ω), Re — reostat

Metoda vyzvaných potenciálů VP

Zdrojový proud má charakter impulsů o nízké frekvenci, měří se odporové měření a VP

Použití: rudní prospekce (vtroušené zrudnění)
ložiska černého uhlí



Obr. 76. Schéma současného měření VP a R_a a záznamy ΔU_{VP} z průzkumného vrtu na uhlí při kladné i záporné polaritě elektrody A

1 — uhelné sloje, 2 — pískovce (ve zbývající části vrtného profilu se vyskytují jílovce a prachovce), G — registrační galvanoměr, Ba — zdroj proudu, mA — miliampérmetr, Re — reostat pro regulaci proudu, K — komutátor

ELEKTROMAGNETICKÉ KAROTÁŽNÍ METODY

Měření magnetické susceptibility KMS

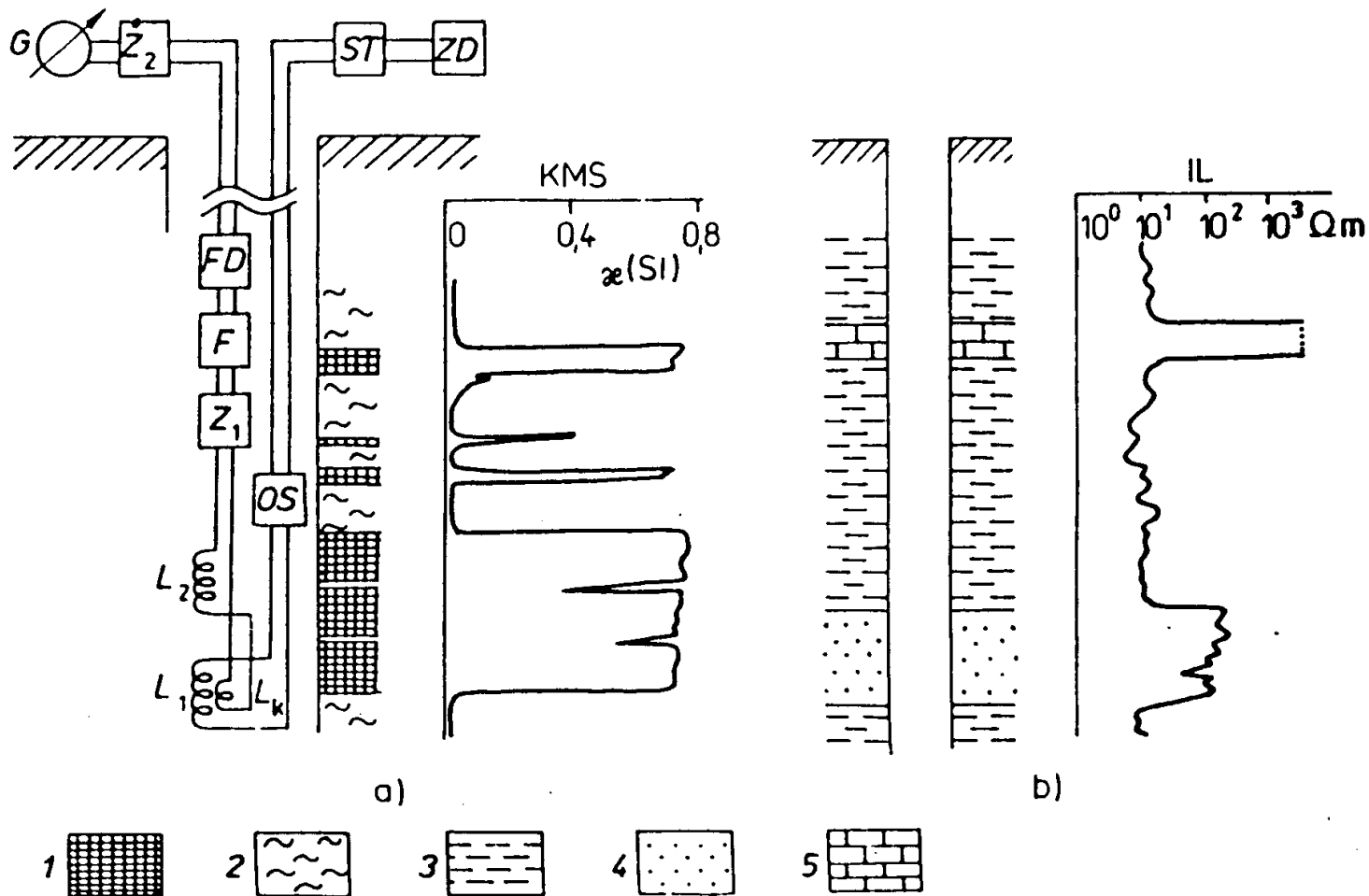
Sondou se třemi cívkami (zdrojová, registrační, kompenzační)
se měří magnetická susceptibilita s přesností 10^{-4} (SI)
-rozlišení litologického profilu v krystalinických horninách
-magnetit ve skarnových ložiskách

Indukční karotáž IL

Sonda: cívka zdrojová, cívka registrační, cívky pomocné
(fokusace elmg.pole)

Zjišťuje se měrný odpor

- vrty bez výplachu nebo s nevodivým výplachem
- horninové prostředí s nízkým měrným odporem
(do $100 \Omega\text{m}$)



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 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

Dielektrická karotáž DK

Sonda - válcový souosý kondenzátor zapojený
do rezonančního obvodu
změna relativní permitivity (= dielektrické konstanty)
vyvolá změnu frekvence a změnu napětí na výstupu

Rozlišení ropa ($\epsilon_r = 3$) - voda ($\epsilon_r = 80$)

METODY JADERNÉ KAROTÁŽE

pasivní (záření přirozených prvků)

aktivní (měří se uměle vybuzené záření,
nevzniká nový izotop)

aktivační (měří se záření izotopů vzniklých při
ozáření horniny)

Gama karotáž GK (pasivní)

Měření úhrnného záření gama - expoziční příkon přirozeně radioaktivní prvky (U, Th, K) v hornině

Spektrální gama karotáž SGK (pasivní)

Stanovení obsahu jednotlivých radioaktivních prvků hlavně v rudním průzkumu (radioaktivní suroviny)

Gama-gama karotáž GGK (aktivní)

- hustotní GGK-H : registruje se rozptýlené gama záření ovlivněné Comptonovým rozptylem
oprava na průměr vrtu (kavernometrie), výsledkem stanovení hustoty, pórovitosti, speciální aplikace
- selektivní GGK-S : registruje se sekundární záření vzniklé fotoefektem
ke stanovení obsahu těžkých prvků (Ba, Sb, Pb), popelnatosti uhlí

Rentgenofluorescenční karotáž RFK (aktivní)

Selektivní stanovení těžkých prvků - rudní průzkum

Gama-neutron karotáž GNK (aktivní)

Stanovení berylia na základě specifické jaderné reakce
citlivá metoda, použitelná k výpočtu zásob Be rud

Neutron-neutron karotáž NNK (aktivní)

Zdroj rychlých neutronů, měří se hustota toku neutronů
po zpomalení v horninovém prostředí

- stanovení pórovitosti (vodík účinně zpomaluje neutrony)
- charakter sycení kolektorů
- obsah B, Cl, Mn, Hg, prvků vzácných zemin v horninách

Neutron - gama karotáž NGK (aktivní)

Radiační záchyt neutronů, varianta integrální a spektrální stanovení pórovitosti (integrální)

stanovení kontaktu plyn-ropa, plyn-voda (integrální nebo spektrální)

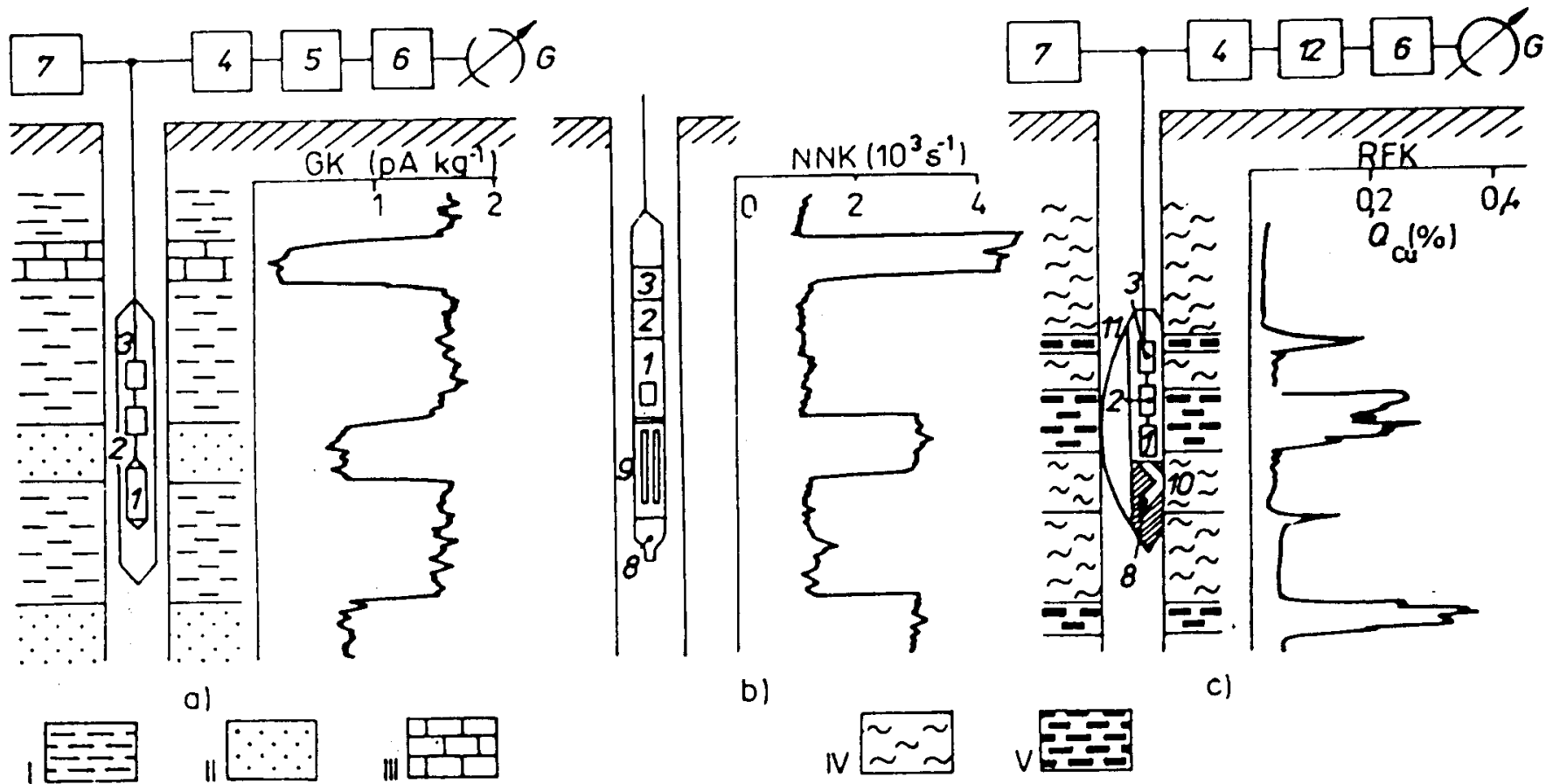
stanovení obsahu některých prvků Cl, Ni, Fe, Cu, Ti, Mn (spektrální)

Neutronová aktivační karotáž NAK

(= neutronová aktivační analýza NAA)

(aktivační)

Sledovaný prvek se vlivem neutronového záření zdroje mění v radioaktivní izotop, jehož charakteristické záření se měří
Stanovení obsahu Cu, Mn, Al, Si, F a kontaktu ropa-slaná voda (obsah Cl, Na)



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 (²⁴¹Am—Be pro NNK, ¹⁰⁹Cd pro RFK),
 9 — stínění mezi detektorem a zdrojem, 10 — kolimační kanálky, 11 — přítlačná pružina,
 12 — amplitudový analyzátor impulsů, G — karotážní zapisovač, I — jílovce,
 II — pískovce, III — vápence, IV — migmatity, V — Cu zrudnění

AKUSTICKÉ A ULTRAZVUKOVÉ KAROTÁŽNÍ METODY

Akustická karotáž AK

Frekvence 10 až 40 kHz, měří se převrácená hodnota rychlosti šíření elastických vln v hornině
stanovení pórovitosti, vyčlenění uhelných slojí

Akustický cementoměr AC

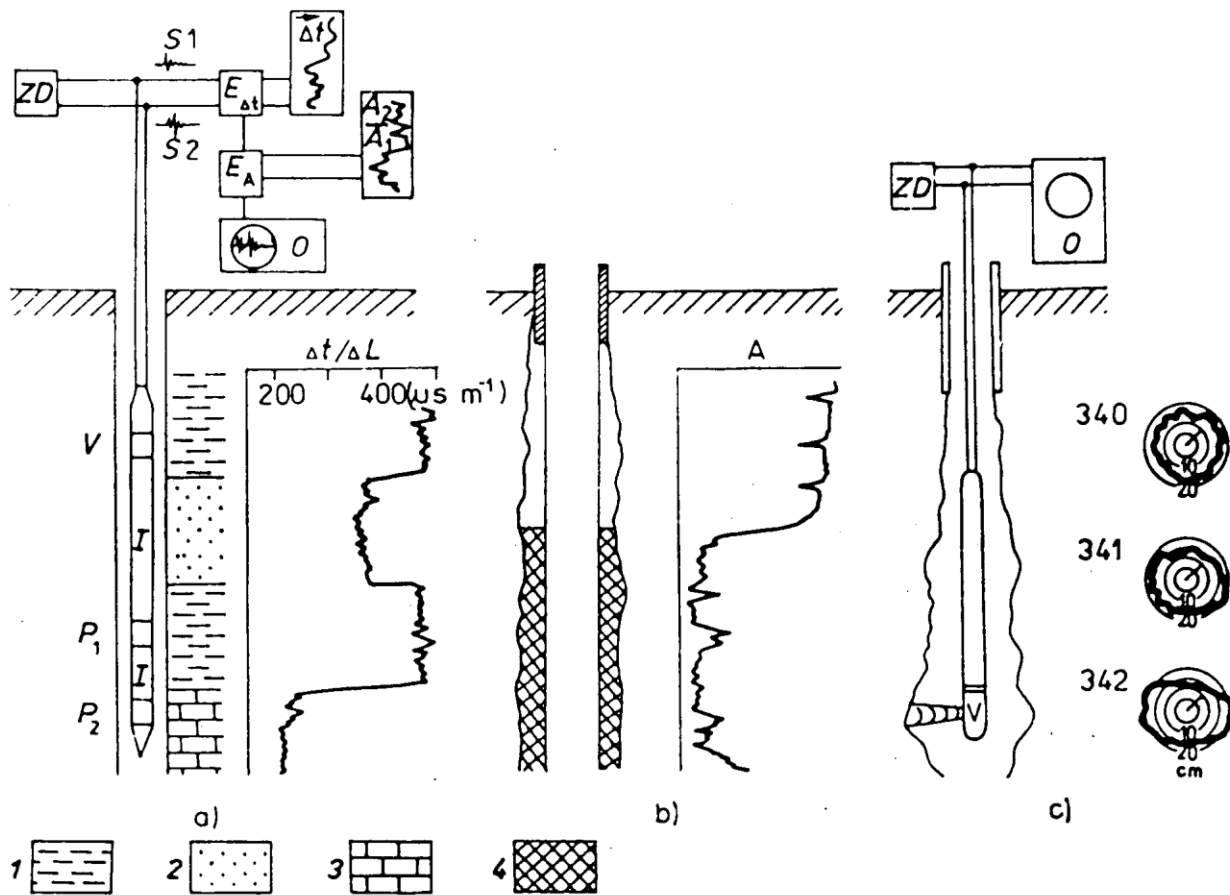
Sledování kvality spojení cementu s pažnicí
(podle amplitudy elastických vln)

Ultrazvukový profiloměr

Měřicí sonda s otočnou hlavicí, stanovuje se tvar kaverny v řezu kolmém na osu vrtu.

Ultrazvukový televizní systém

Měří se za pohybu, rychle rotující zdrojová hlavice
Amplituda směrovaného signálu odraženého od stěny
vrtu s zaznamenává a současně se obraz stěny vrtu
promítá na obrazovce



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

METODY ZJIŠŤUJÍCÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY

Kavernometrie KM

Sonda= kavernometr, sledují se změny v průměru vrtu
pravidelná součást komplexu karotážních metod

Inklinometrie IM

Inklinometry různé konstrukce, měří se odklon vrtu od vertikály
a azimut odklonu v závislosti na hloubce měřené podél vrtu

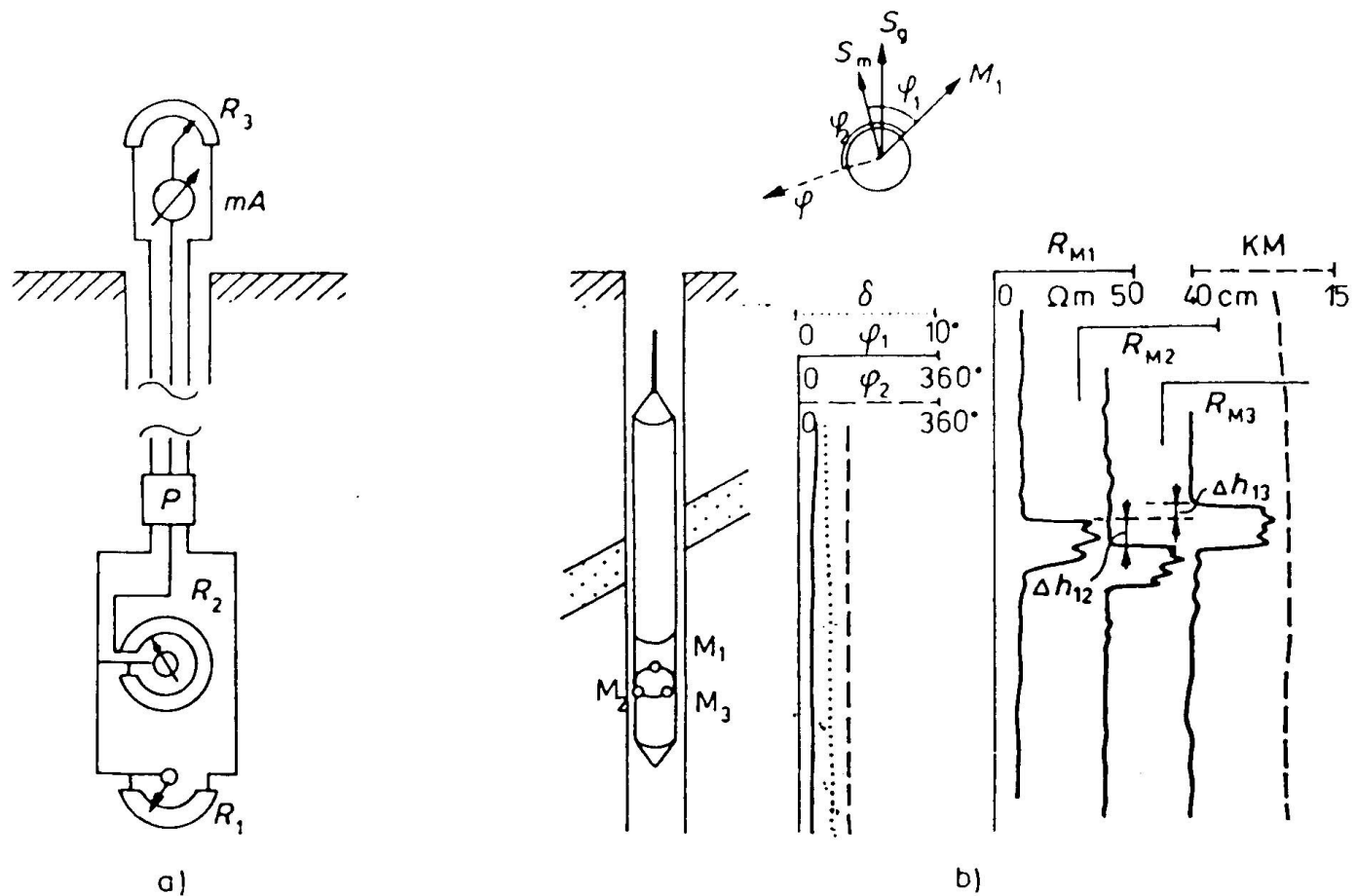
Stratametrie SM

Sonda - kombinace kavernometru,
inklinometru s nepřetržitým zápisem a tří až čtyř
mikroelektrodových systémů s fokusací proudu

Vyhodnocení na počítači - grafický výstup:

sklon vrstev

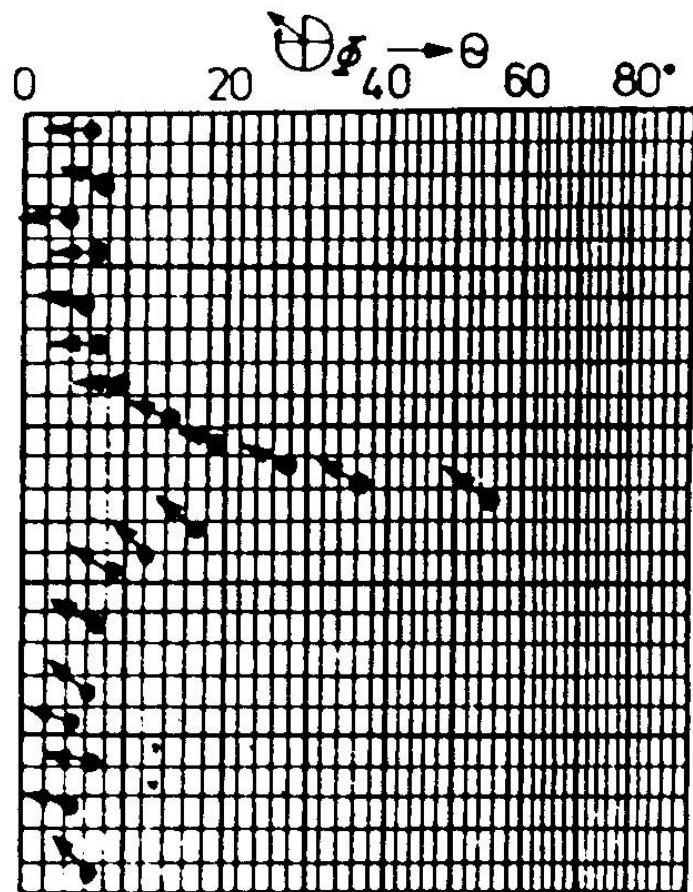
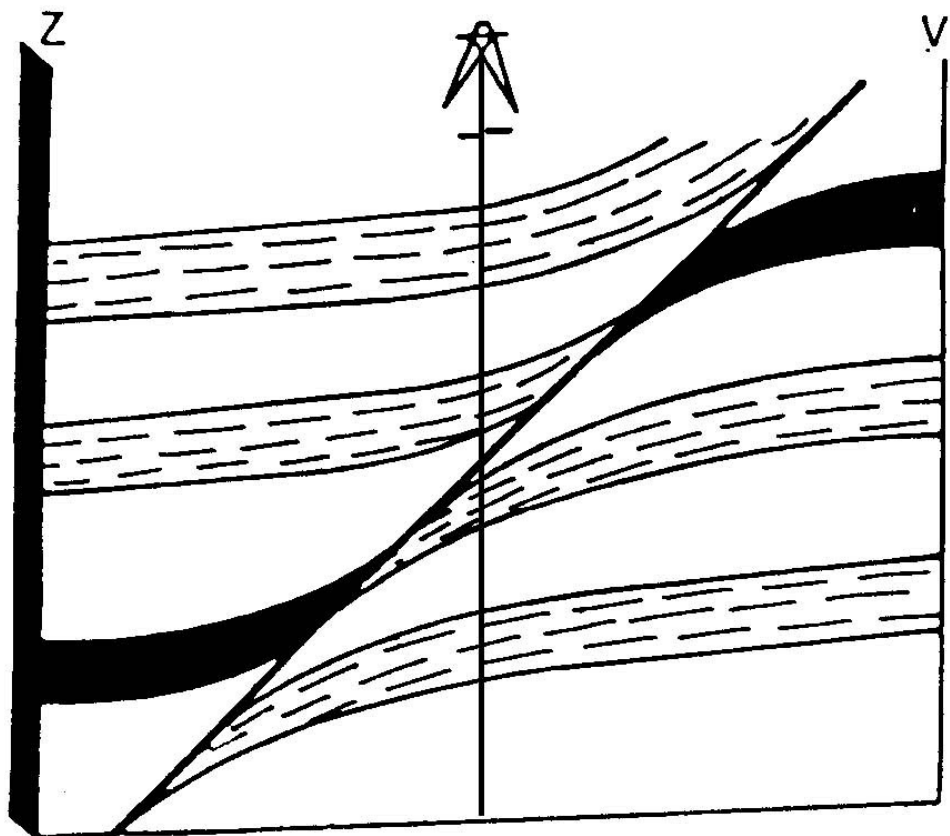
směr sklonu vrstev



Karotážní metody zjišťující geometrické parametry

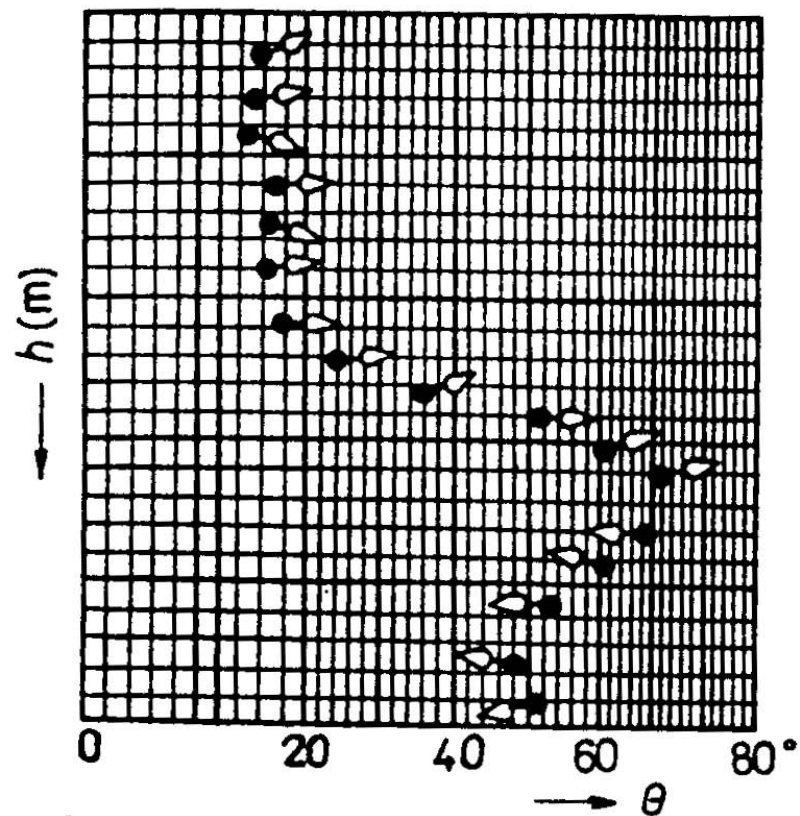
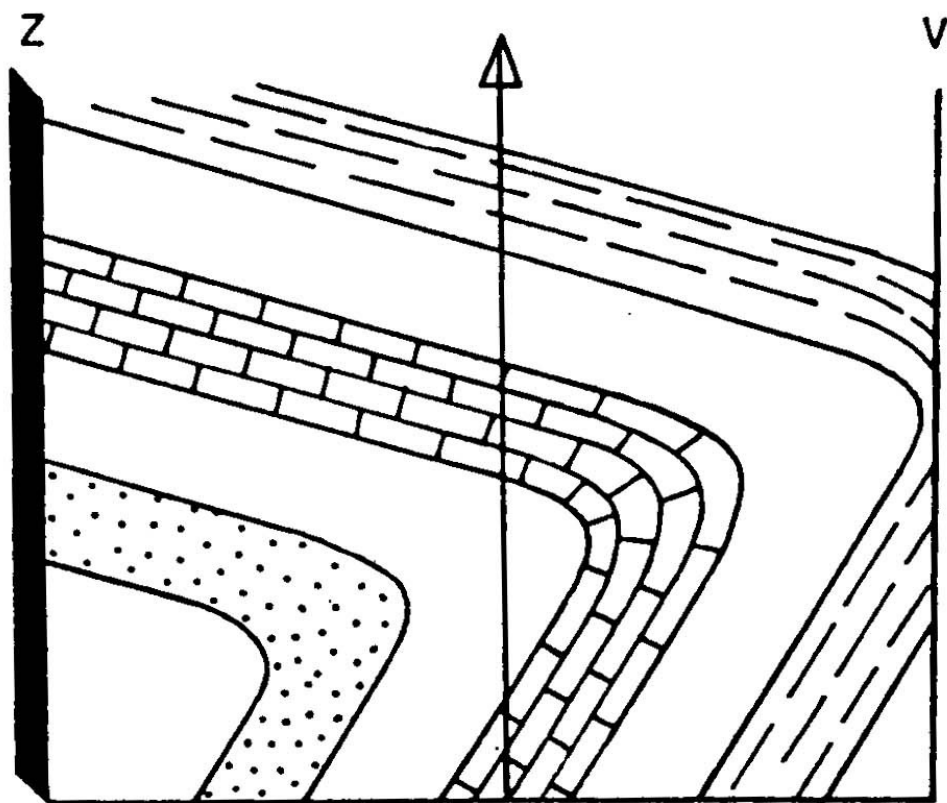
- a) zjednodušené elektrické schéma odporového inklinometru s magnetkou,
 b) schematické znázornění stratometru a křivek, které se při stratametrii registrují

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 stratometru, 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 sover, S_z — zomópisný sover

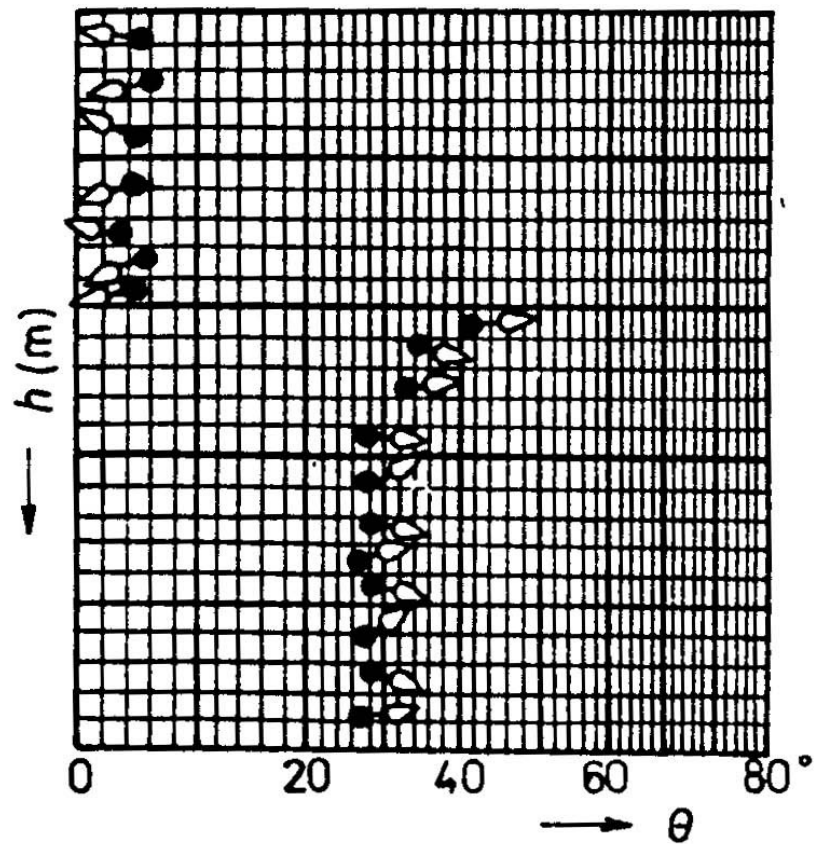
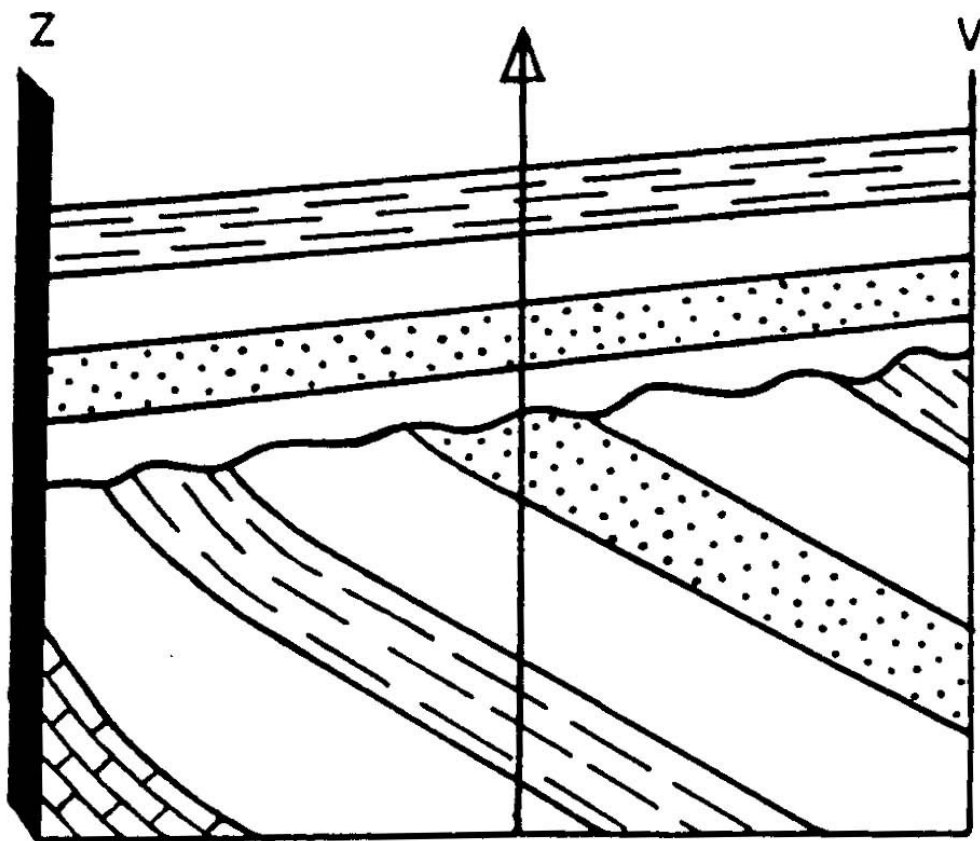


Projev zlomu s vlekom na výsledcích stratametrie

(Θ — sklon vrstev, Φ — směr sklonu)



Projev překocené vrásy na výsledcích stratimetrie
(podle Schlumbergera, 1970)



Projev úhlové diskordance na výsledcích stratimetrie
(podle *Schlumbergera*, 1970)

MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ KAPALIN VE VRTU

Termometrie TM

Teplota v závislosti na hloubce, teploměry na bázi termistoru
určení geotermického gradientu

Rezistivimetrie RM

Měrný odpor kapaliny ve vrtu ρ_m , měří se miniaturní odporovou
sondou (vzdálenost elektrod 10-20 mm)
použití - pro kvantitativní interpretaci odporové karotáže

Fotometrie FM

Průzračnost kapaliny ve vrtu - po obarvení vodní výplně
k zjišťování pohybu vody ve vrtu

Vrtné průtokoměry

Vrtulkové průtokoměry pro určení vertikální rychlosti nebo objemového vertikálního průtoku kapaliny

Hustota kapalin ve vrtu

Diferenciální tlakoměr (rozdíl tlaku je úměrný hustotě)
Hlavně v ropném průzkumu a těžbě

Měření podílu ropa-voda

Sonda - kondenzátor na měření relativní permitivity
Kontrola těžebních vrtů

KOMPLEX KAROTÁŽNÍCH METOD

Při měření na jednom vrtu se měří prakticky vždy více karotážních metod.

Výběr metod - v závislosti na řešeném problému

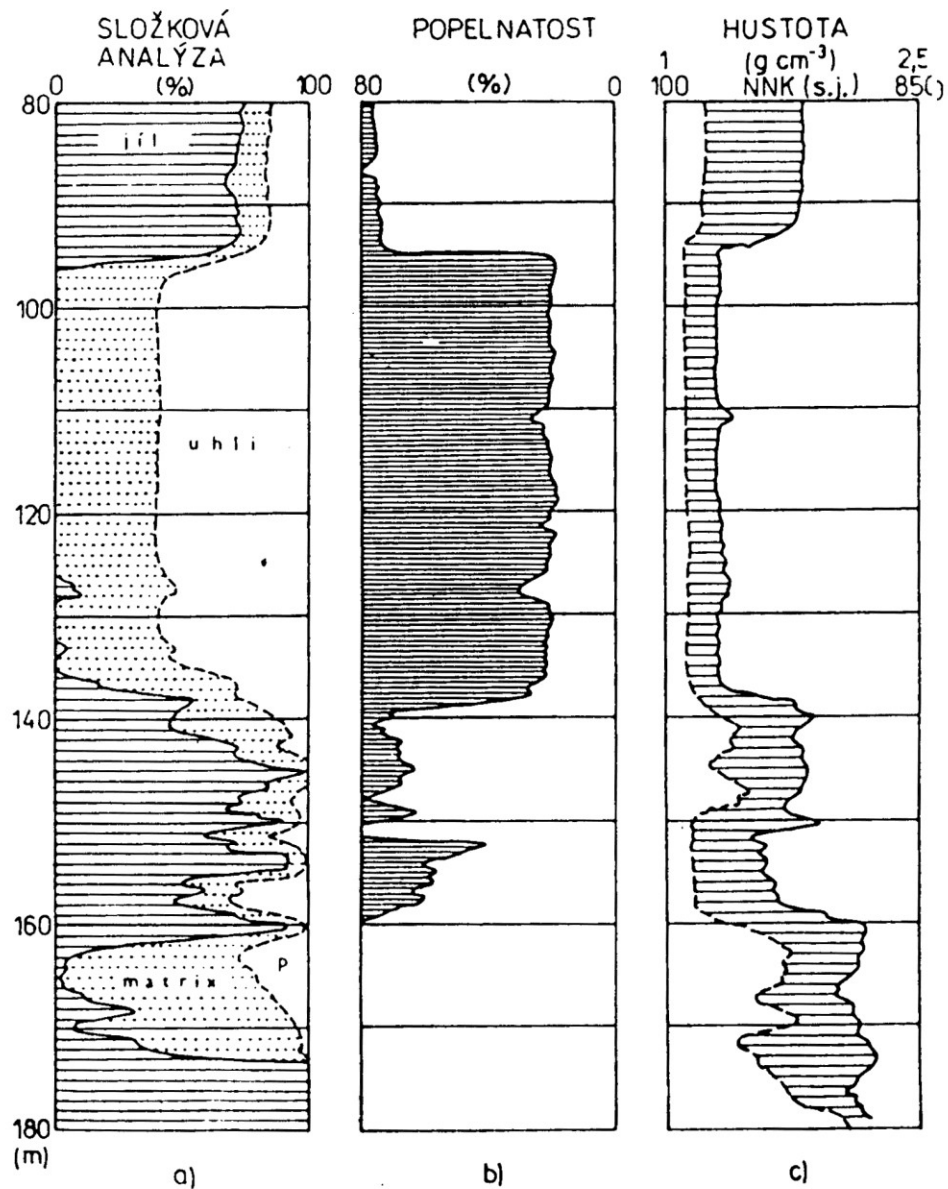
Průzkum nerostných surovin - standardní sestavy metod podle typu suroviny

Hydrogeologie

Inženýrská geologie

Téměř vždy se používá některá **elektrokarotážní metoda** v kombinaci s některou **metodou jaderné karotáže** (často GGK hustotní) a **kavernometrií**

Grafy odvozených veličin z počítačového zpracování komplexu karotážních metod



Výsledky automatizovaného zpracování karotážních měření z průzkumných vrtů na hnědé uhlí v podkrušnohorské pánvi

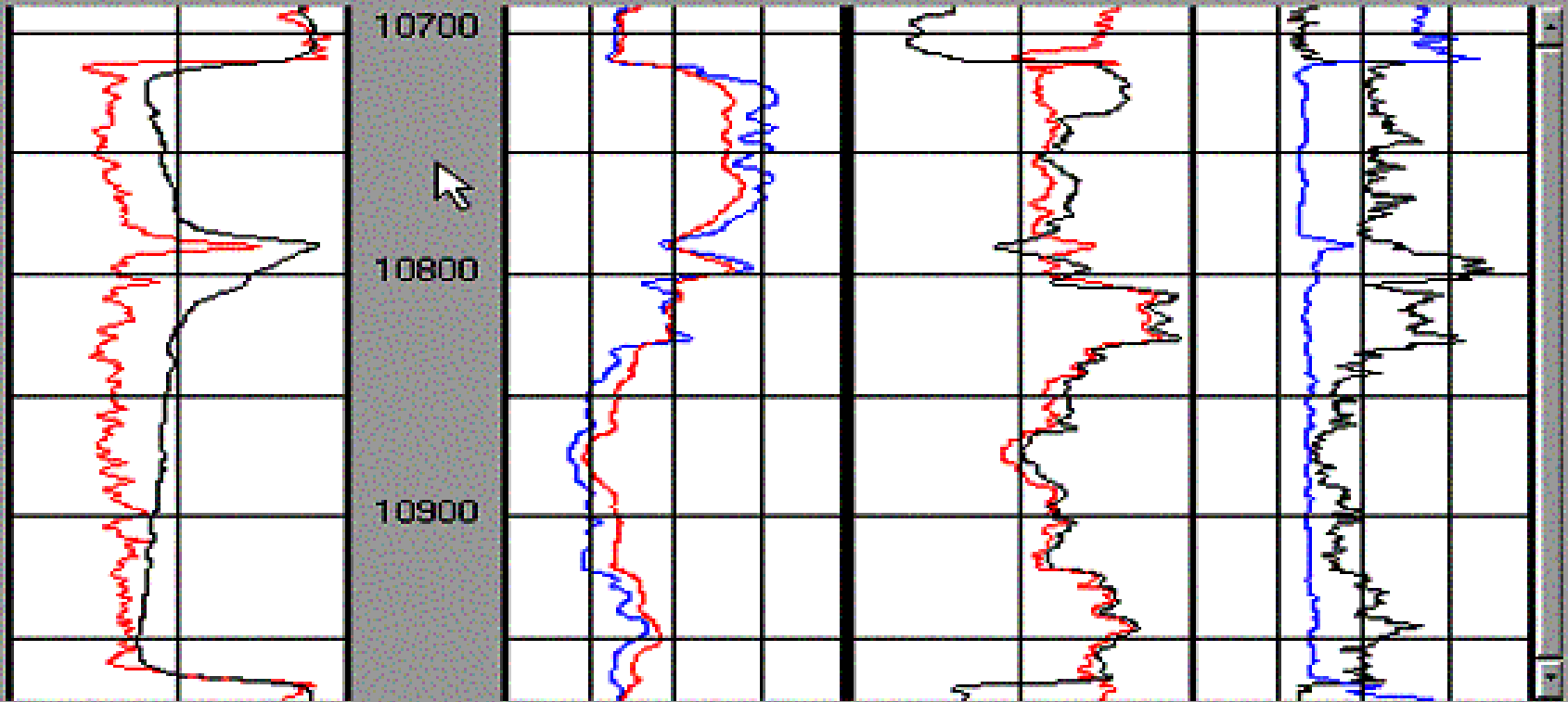
a) složková analýza sedimentárních hornin podle GK, Ra, GGK—H a NNK,

b) popelnatost podle GGK—H,

c) překrytový graf, kombinace hustoty a neutronové pórovitosti

Thought Plot

File Options Window Buffer Inputs Flags Targets Investigate SOA Help



Plot Controls

Track # 1

Program Files\

Track # 2

4.asc

Track # 3

Track # 4

Control

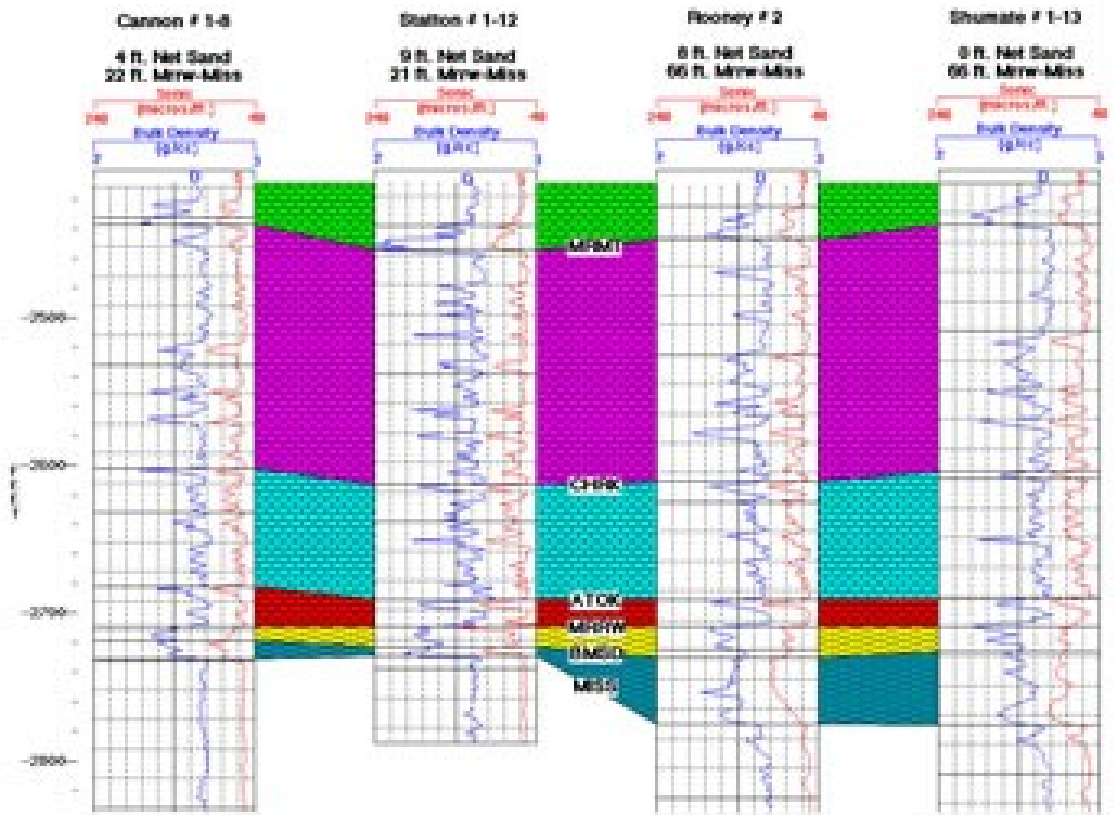
L:\Program Files\MVCS\soa1\soa1.plt

Cr
Move
Delete



Hide

[10,690.0000] 0.0000 [10,976.0000], 493.3333



<http://www.agico.com/geofyz.zip>