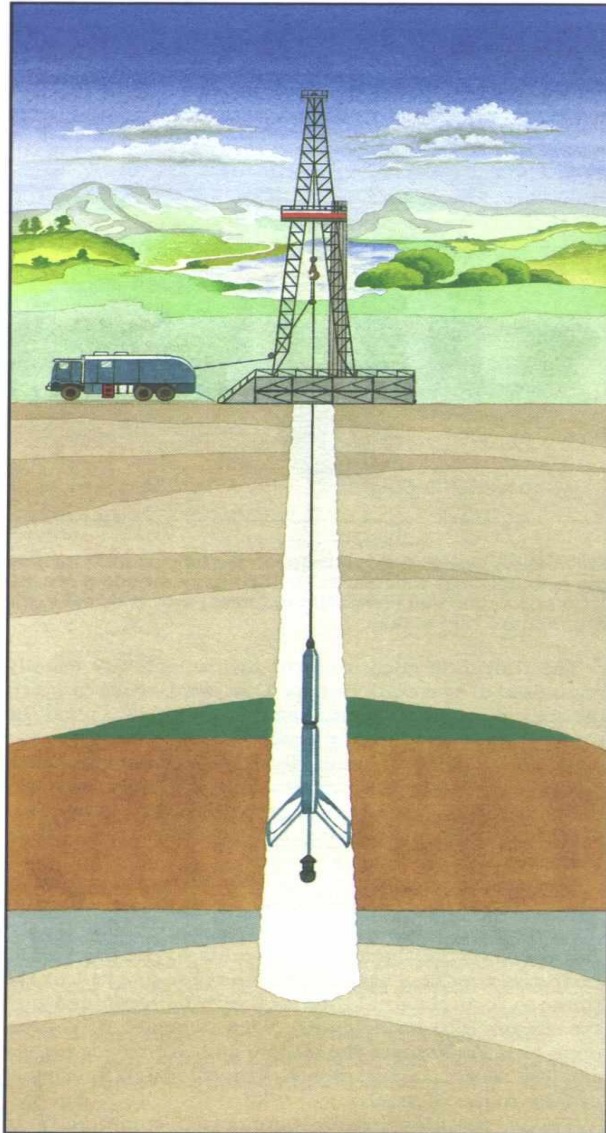


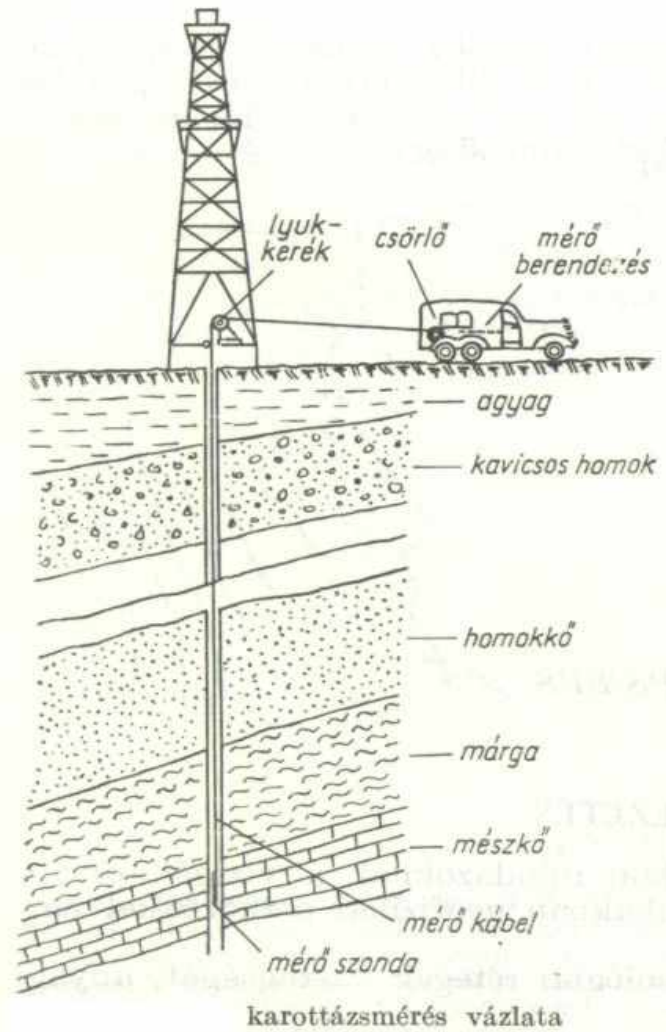
# **Fúrásí geofizika**

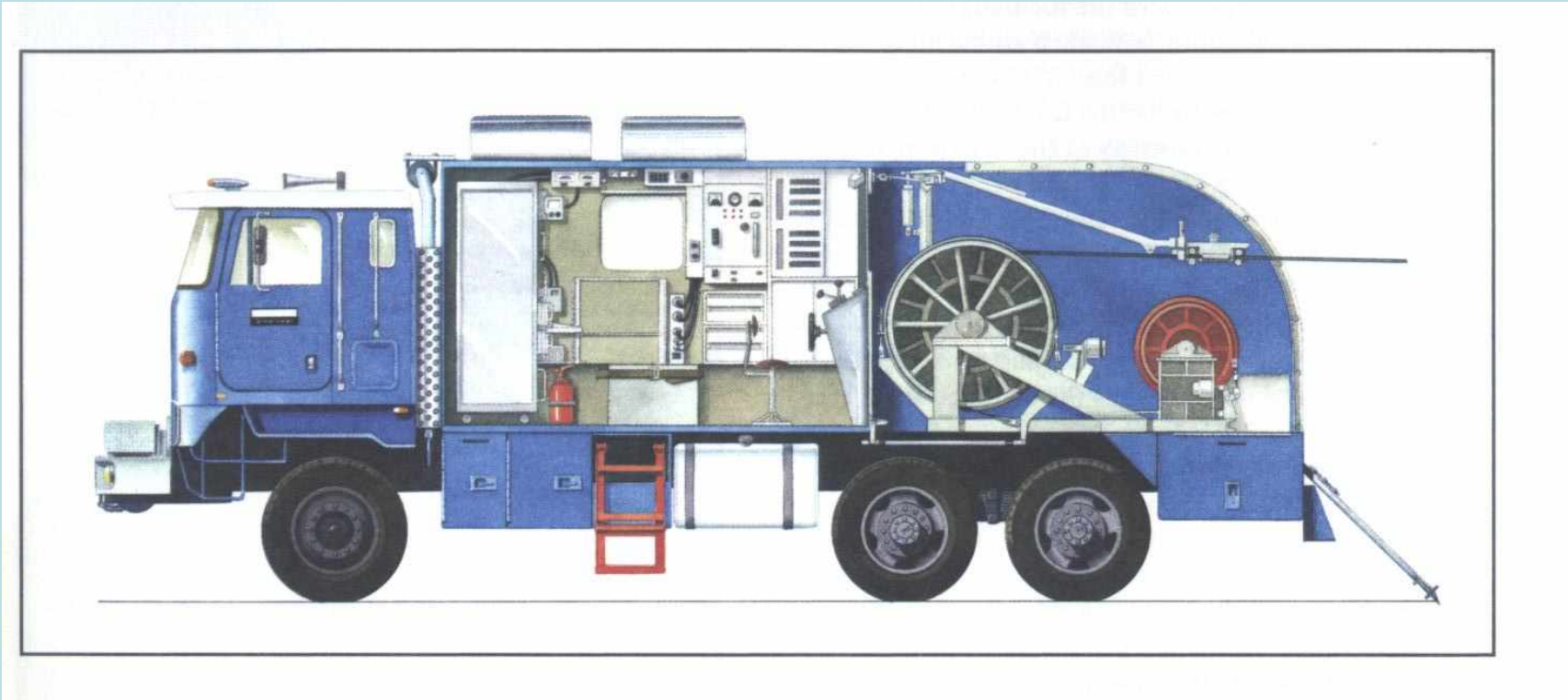
## **(karotázis)**

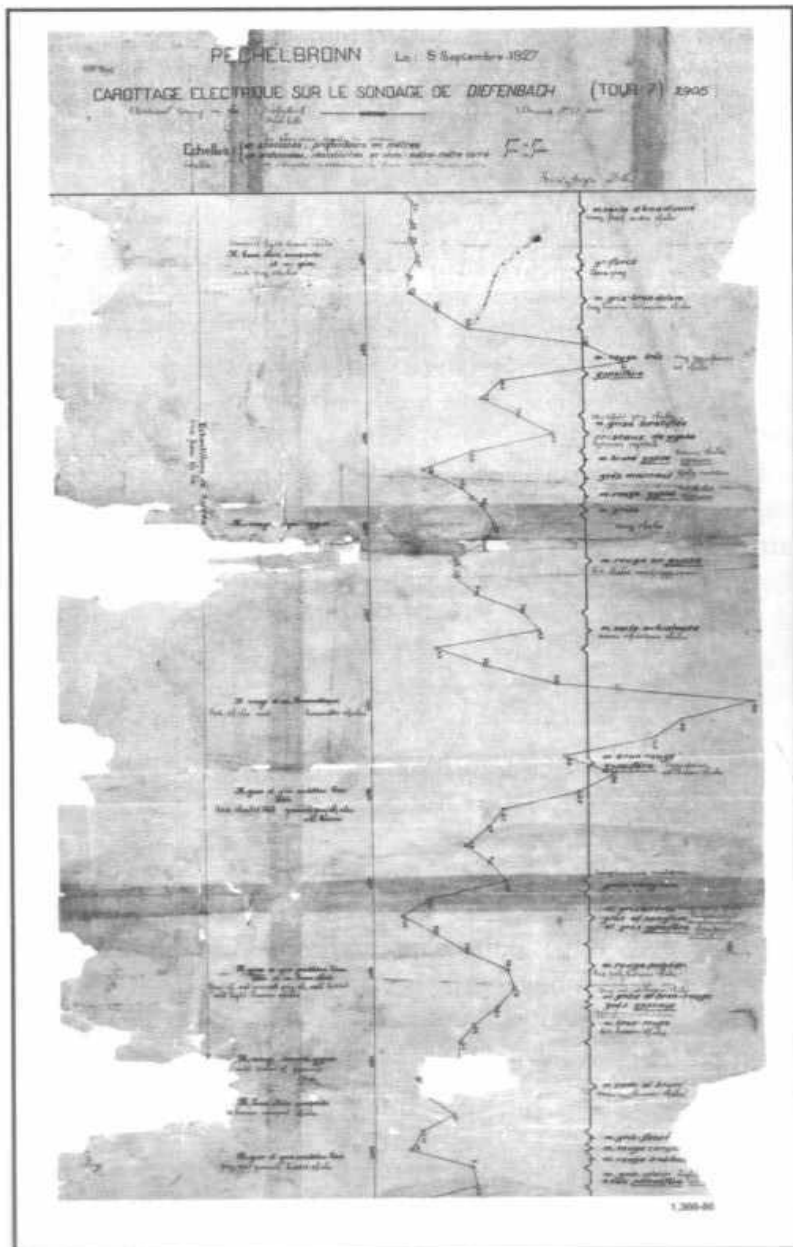
**Összeállította: dr. Pethő Gábor**



Wireline logging operation.







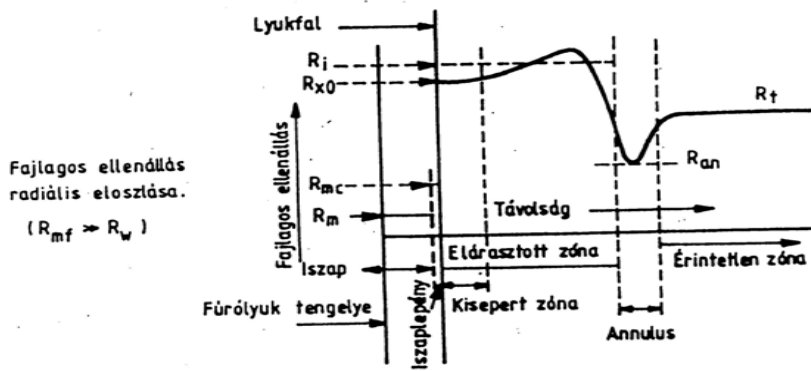
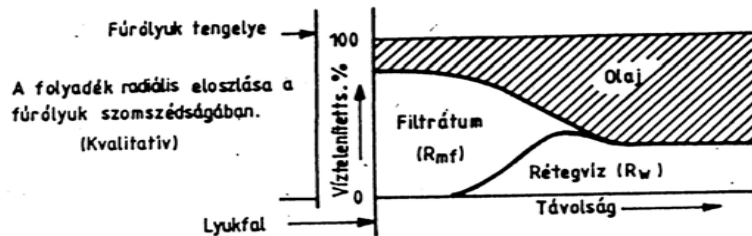
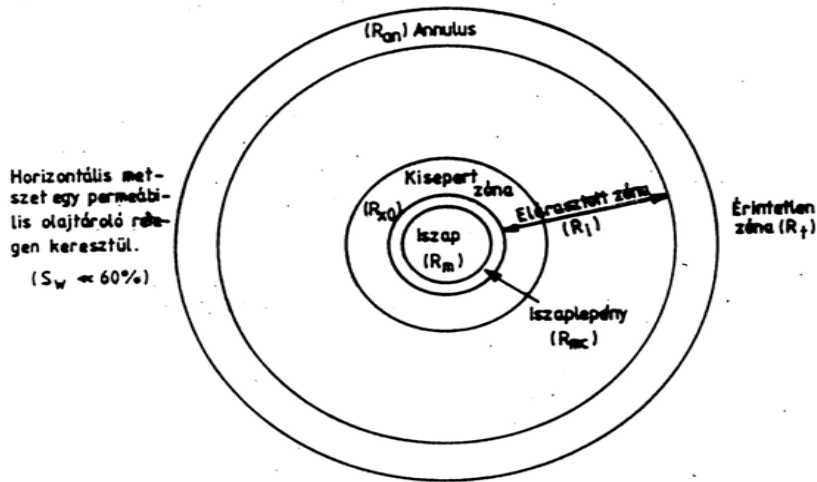
1927: ÉK Franciaország az első elektromos szelvény. A szondát állandó mélységközönként megállították, mérést végeztek, a mért értékekből fajlagos ellenállást számítottak, majd azt a megfelelő mélységszintre vonatkoztatva ábrázolták.

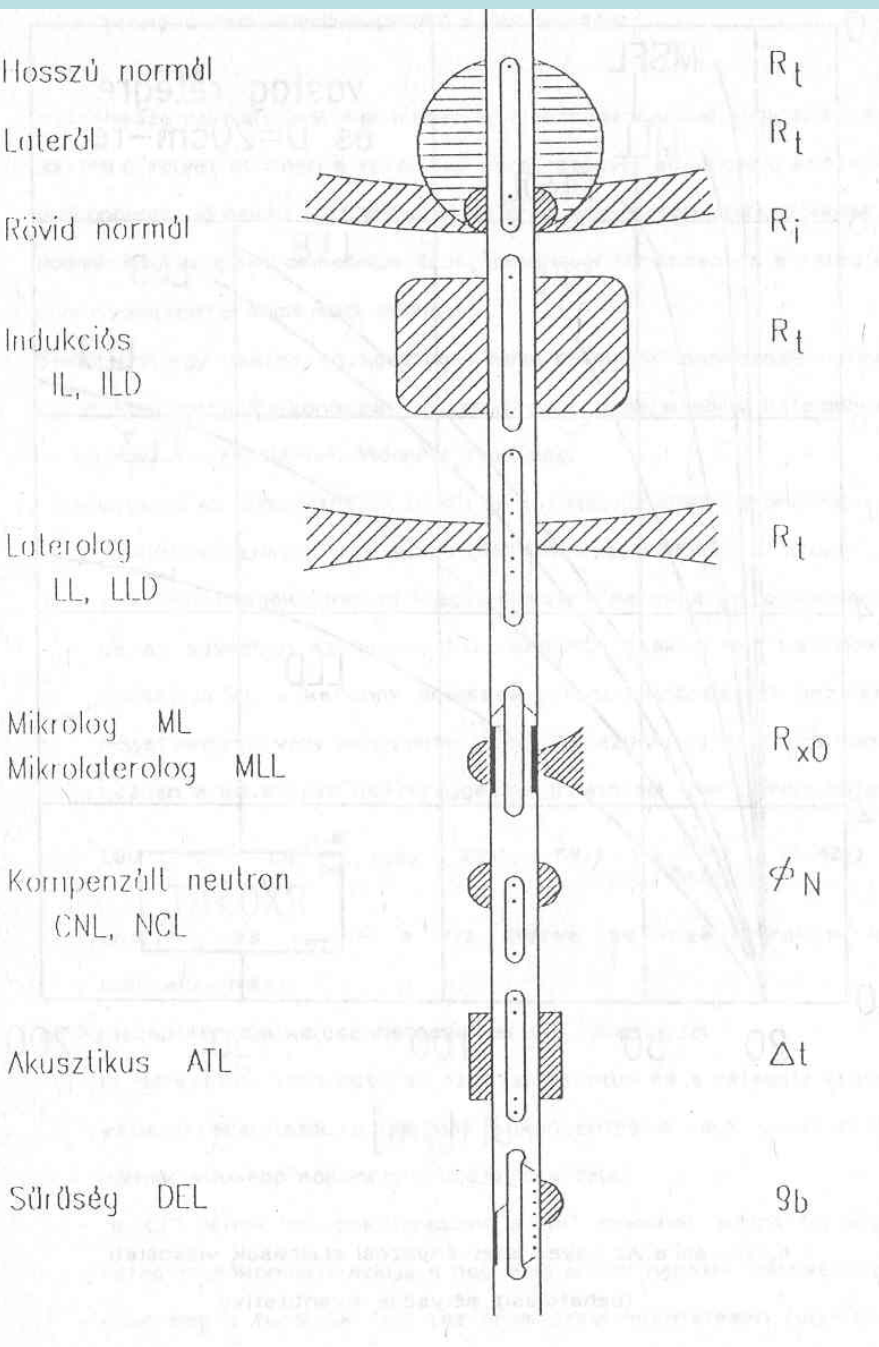
Henri Doll, az első fúrólukban mért szelvény, „station method”.

Sugárirányban belülről kifelé haladva permeabilis zónát feltételezve: fúróiszap, iszaplepleny, elárasztott zóna, annulus akkor ha CH tároló a réteg, végül érintetlen zóna helyezkedik el. Bennünket főleg az érintetlen zóna érdekel.

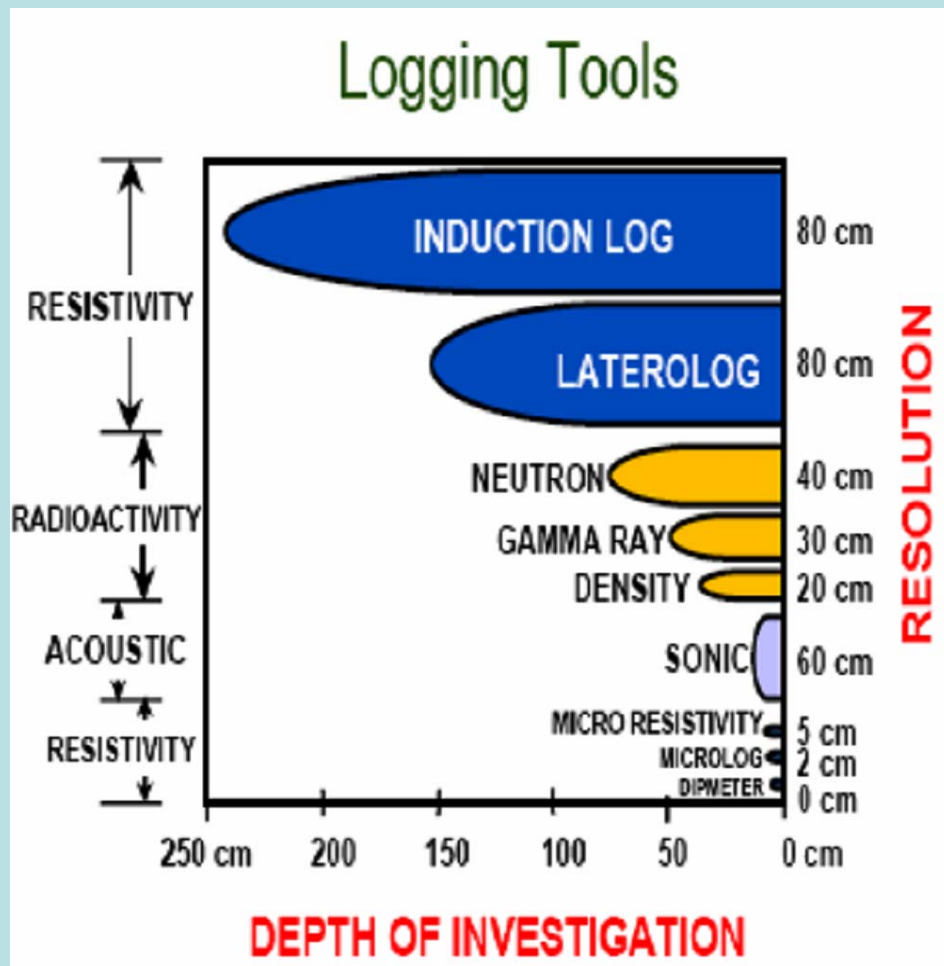
## FOLYADÉK radiális eloszlás.

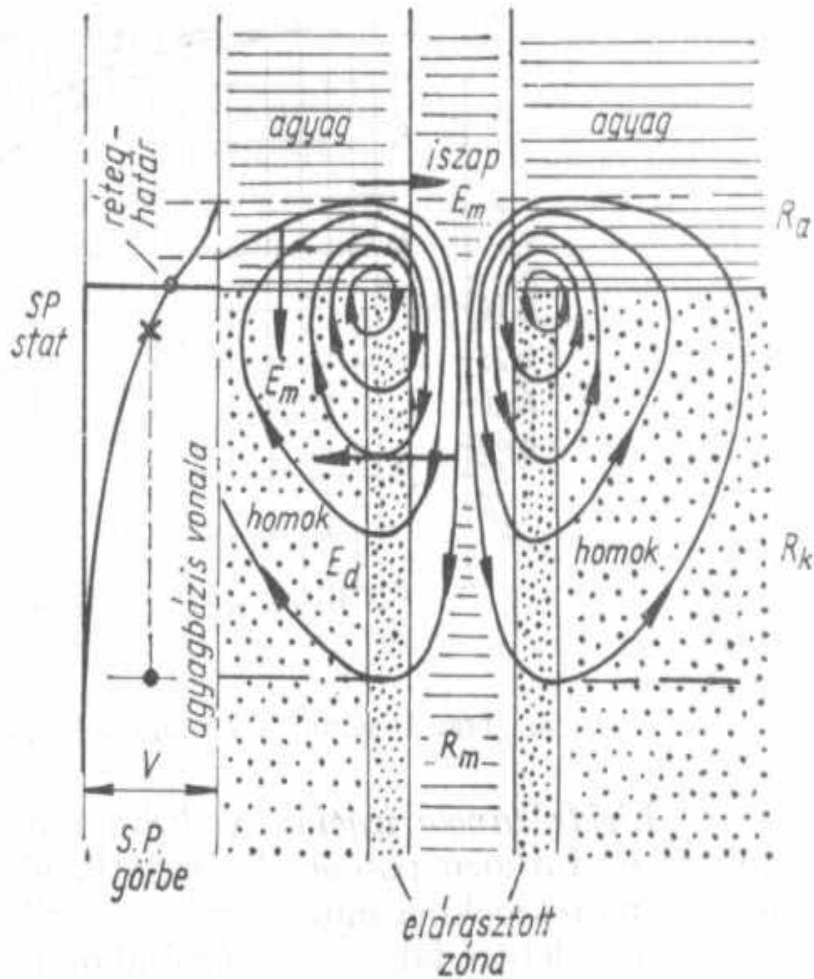
**FAJLAGOS ELLENÁLLÁS** radiális eloszlás, mely a szaturációs viszonyok és az egyes komponensek fajlagos ellenállásainak függvénye. Itt az iszapfiltrátum f. ellenállása nagyobb mint a rétegvízé.





## A mélyfúrési geofizikában leggyakrabban használatos szondák behatolási mélysége és vertikális felbontása





PS-áramok a fúrólukban

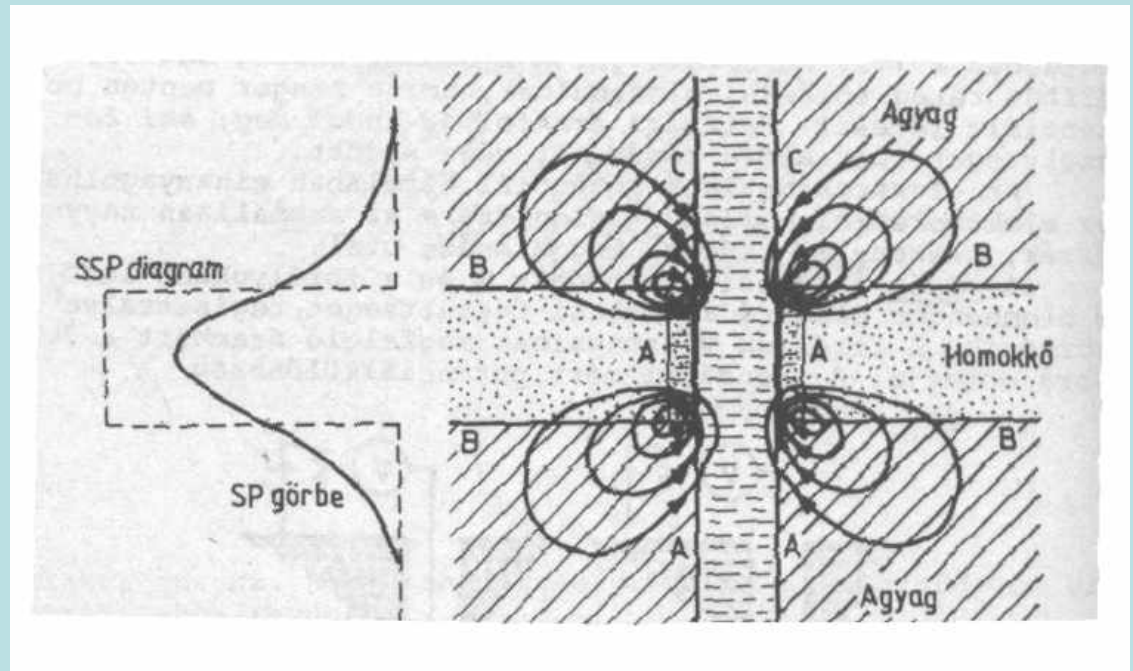
Egy, a szondán lévő mozgó elektróda és az iszapgödörbe tett vagy a béléscsőre tett rögzített elektróda között a mélység függvényében feszültségkülönbséget (SP) regisztrálnak.

Iszap(m), agyag(a), kavics(k) ellenállása

$$SSP = i(R_m + R_a + R_k)$$

$SP = i R_m$  a mért potenciálváltozás a homoktól az agyagig. A rögzített elektród a felszínen van. Ha vastag jó vezető a réteg, akkor  $R_a$  mellett  $R_k$  is kis érték, tehát  $SP \approx SSP$ .

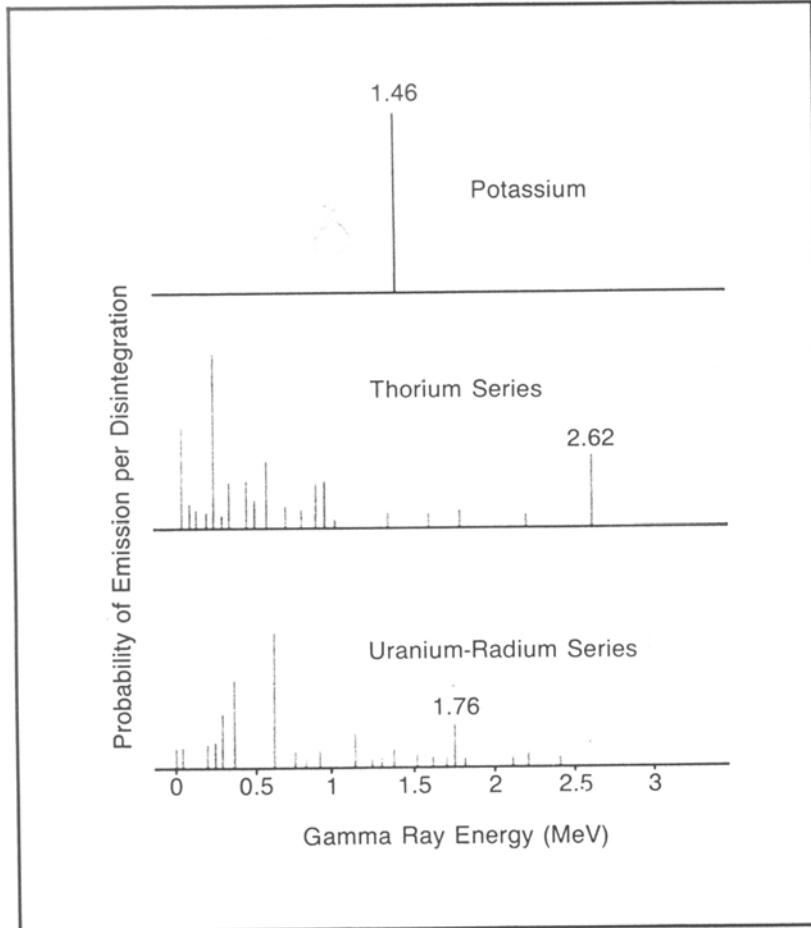
**Az inflexiós pontok alapján jelölhetők ki a réteghatárok a PS szelvényen.**



**Az elektrokémiai potenciál -a membrán és a diffúziós potenciál összege. A membrán potenciál azért alakul ki, mert az agyag két különböző ionkoncentrációjú oldat közé kerül, ilyenkor az agyag a nagyobb koncentrációjú hely felől a  $\text{Na}^+$  ionokat átengedi, ellentétben a  $\text{Cl}^-$ -al. A diffúziós potenciál az iszapból a rétegvíz felé haladó filtrátum és a rétegvíz érintkezésénél alakul ki: mivel a  $\text{Cl}^-$  mozgékonyabb mint a  $\text{Na}^+$ , ezért a hígabb oldatban a  $\text{Cl}$ , míg a koncentráltabb oldatban a  $\text{Na}$  ion relatív feldúsulása valósul meg.**

**Az elektrokinetikus potenciál az iszapleplenyen nyomáskülönbség hatására az iszapfiltrátum áramlása miatt jön létre, értéke kisebb mint az elektrokémiaié.**





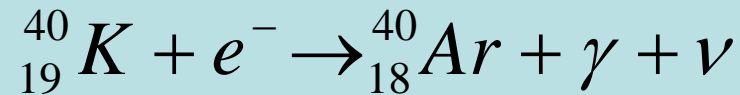
—Gamma ray emission spectra of radioactive minerals

$^{40}\text{K}$       **KEC**

$^{208}\text{Tl}$  béta bomlása     $^{208}\text{Pb}$

$^{238}\text{U}$  sor,  $^{214}\text{Bi}$  béta bomlása     $^{214}\text{Po}$

A kőzetek a K tartalom miatt azért radioaktívak, mert a K-nak 3 izotópja közül a csupán 0.01%-os arányban jelenlevő  $^{40}\text{K}$  instabil és ez az izotóp 89 %-ban negatív béta-bomlással és 11%-ban elektron–befogással bomlik. A káliumnak három természetes izotópja van, ezek közül stabil a  $^{39}\text{K}$  (93.258%) és a  $^{41}\text{K}$ (6.73%) és instabil a  $^{40}\text{K}$  (0,01167%) . A  $^{40}\text{K}$  11%-ban K befogással metastabil  $^{40}\text{Ar}$ -ná alakul át, **mely 1.46MeV energián gamma kvantumot emittál**, így válik stabil  $^{40}\text{Ar}$ -ná :



A  $^{40}\text{K}$  89%-ban negatív béta bomlással  $^{40}\text{Ca}$ -é alakul át:

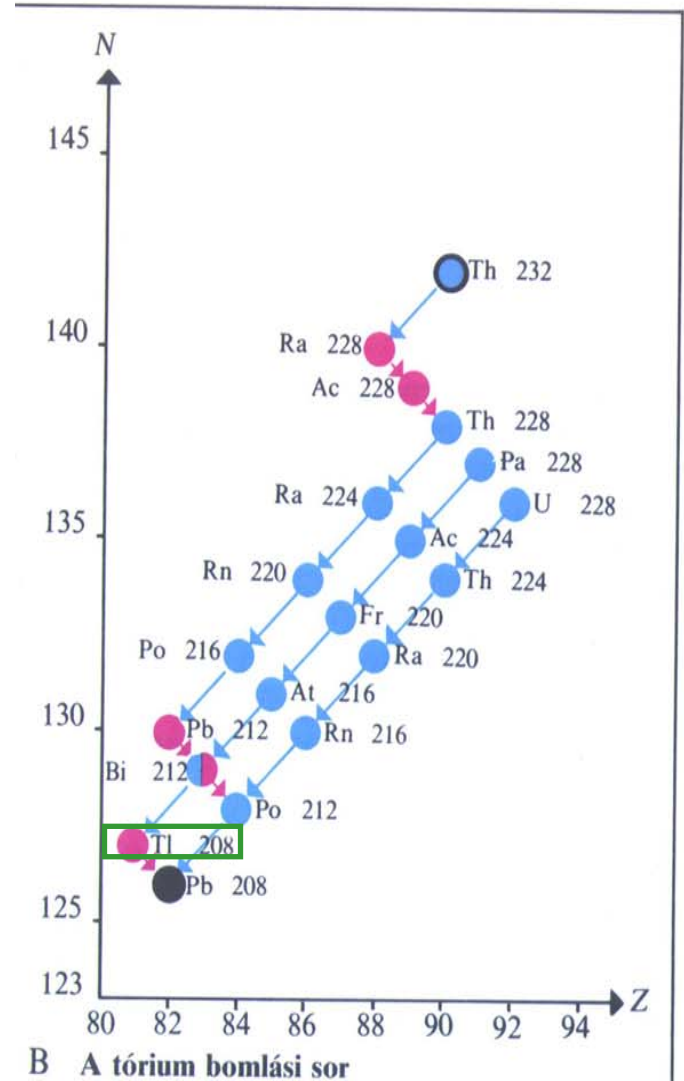


A  $^{40}\text{K}$  felezési ideje 1.25 milliárd év. A  $^{40}\text{K}$  a többi K izotóphoz képesti kis előfordulási gyakorisága ellenére is a természetes radioaktivitásban meghatározó tényező: 1g természetes K 1 sec alatt átlagosan 3.31 gamma-részecskét és 27.2 béta-részecskét emittál.

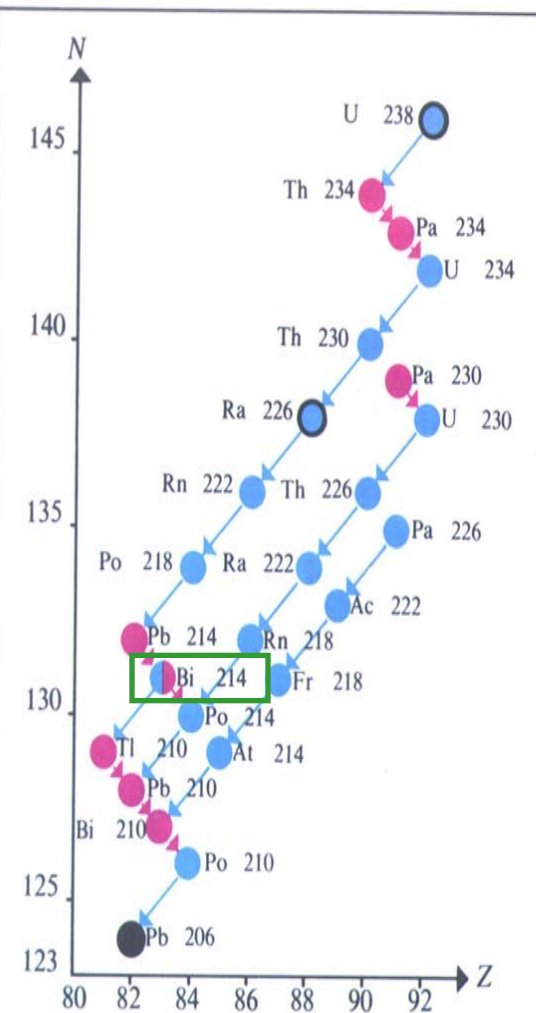
**Izotóp**  
 $^{232}\text{Th}$   
 $^{228}\text{Ra}$   
 $^{228}\text{Ac}$   
 $^{228}\text{Th}$   
 $^{224}\text{Ra}$   
 $^{220}\text{Rn}$   
 $^{216}\text{Po}$   
 $^{212}\text{Pb}$   
 $^{212}\text{Bi}$   
 $^{212}\text{Po}$   
 $^{208}\text{Pb}$

**Felezési idő**  
 $1.41 \times 10^{10}$  év  
 5.8év  
 6.13óra  
 1.91év  
 3.66nap  
 55.6sec  
 0.15 sec  
 10.64óra  
 60.6óra  
 $2.05 \times 10^{-7}$  sec  
 stabil

**Bomlás**  
 $\alpha$   
 $\beta^-$   
 $\beta^-$   
 $\alpha$   
 $\alpha$   
 $\alpha$   
 $\alpha$   
 $\alpha$   
 $\beta^-$   
 $\beta^-$   
 $\alpha$



**Th 232 bomlási sor: 6alfa és 4béta bomlás**



A Az urán-rádium bomlási sor

### Izotóp

- $^{238}\text{U}$
- $^{234}\text{Th}$
- $^{234}\text{Pa}$
- $^{234}\text{U}$
- $^{230}\text{Th}$
- $^{226}\text{Ra}$
- $^{222}\text{Rn}$
- $^{218}\text{Po}$
- $^{214}\text{Pb}$
- $^{214}\text{Bi}$**
- $^{214}\text{Po}$
- $^{210}\text{Pb}$
- $^{210}\text{Bi}$
- $^{210}\text{Po}$
- $^{206}\text{Pb}$

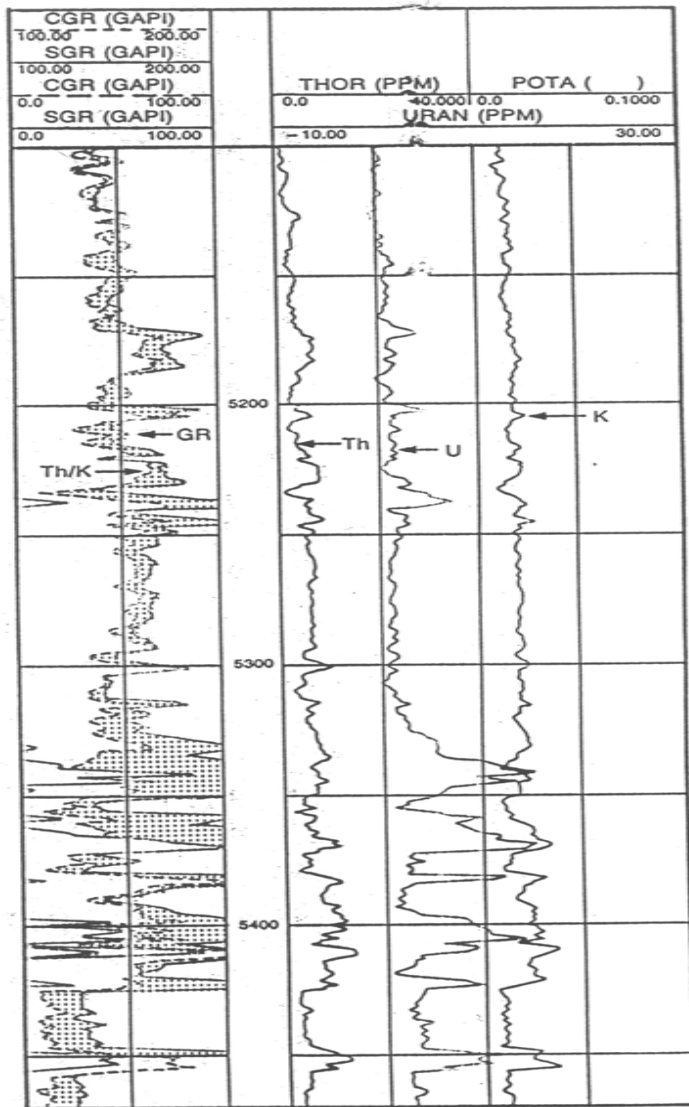
### Felezési idő

- $4.49 \times 10^9$  év
- 24.1 nap
- 1.17 min
- $2.48 \times 10^5$  év
- $7.7 \times 10^4$  év
- 1600 év
- 3.82 nap
- 3.05 min
- 26.8 min
- 19.8 min
- 162  $\mu\text{sec}$
- 22.3 év
- 5.01 nap
- 138.4 nap
- stabil

### Bomlás

- $\alpha$
- $\beta^-$
- $\beta^-$
- $\alpha$
- $\alpha$
- $\alpha$
- $\alpha$
- $\beta^-$
- $\beta^-$
- $\beta^-$
- $\alpha$
- $\beta^-$
- $\beta^-$
- $\alpha$

**U 238 bomlási sor : 8alfa és 6béta bomlás**



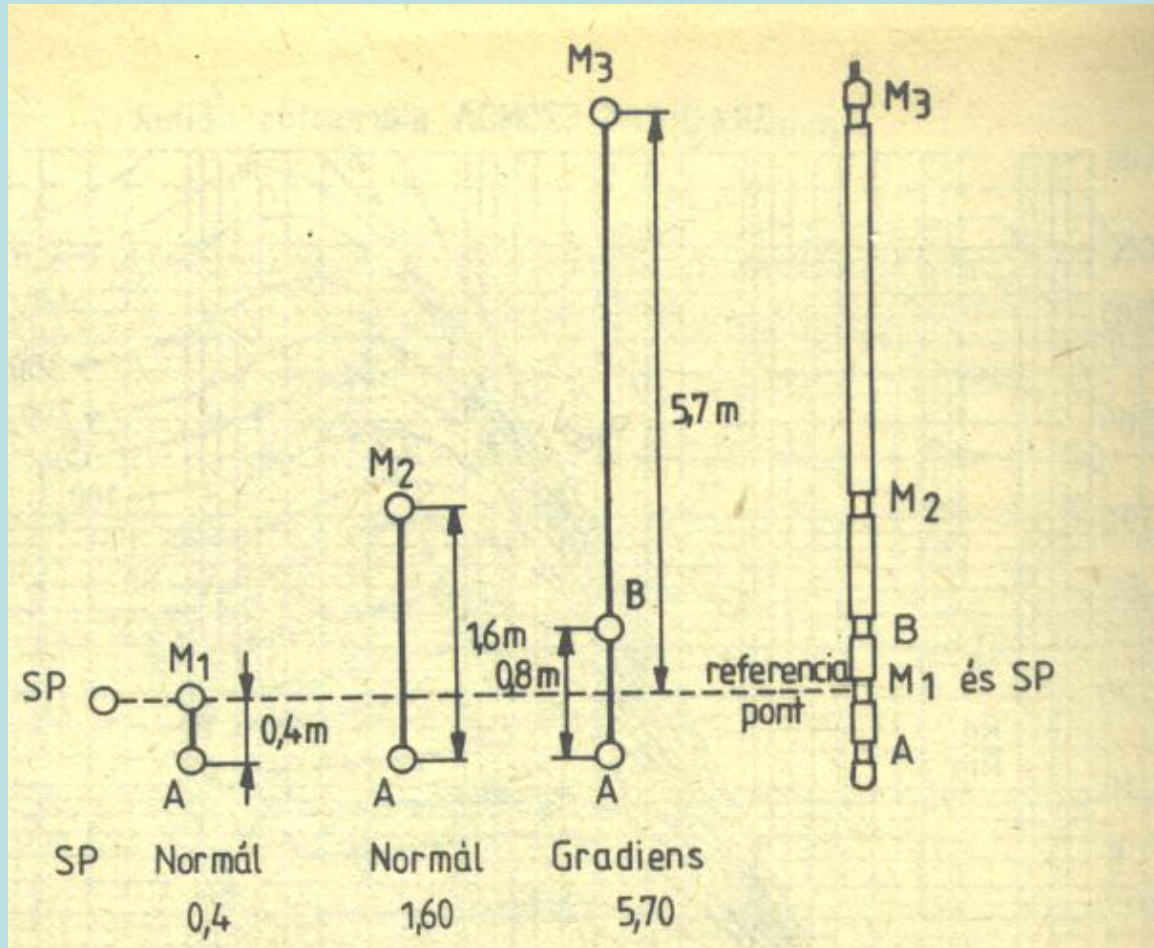
NGS\* natural gamma ray spectrometry log.

## INTEGRÁLIS ÉS SPEKTRÁLIS TERMÉSZETES GAMMA SZELVÉNY

pl. agyagosság  
meghatározása ha  
nincs U és Th, máskor  
épp az U és Th  
tartalom  
meghatározása a cél.

Az integrált természetes gamma  
és a PS szelvény jó korrelációt  
mutat homok-kavics-agyagos  
összlet esetén, ha nincs a  
rétegsorban U és Th.

# Hagyományos fajlagos ellenállás szelvényezés



A különböző geometriájú szondák eltérő behatolási mélysége biztosítja a radiális felbontást a kisépért zónától az érintetlen zónáig. Sós iszap esetén az áram a fúrólukkal párhuzamosan az iszapban folyik. Ha nem hatol be az áram, akkor nincs a vizsgálni kívánt rétegről érdemi információ.

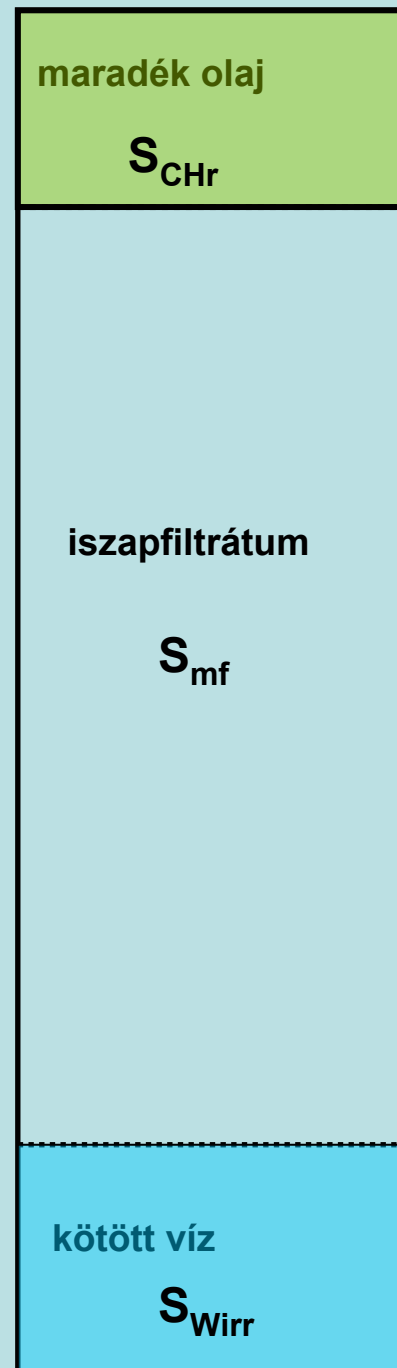
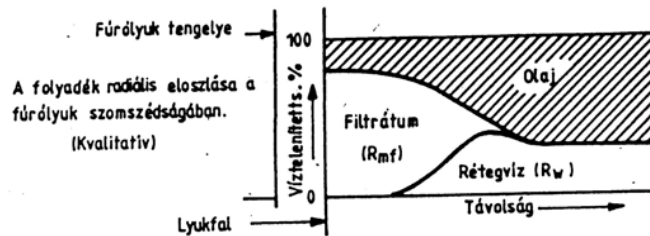
A kispert zónára a baloldali telítettségi viszonyokat feltételezve írható:

$$S_{CHr} + S_{mf} + S_{Wirr} = 1 \text{ ahol } S_{x0} = S_{mf} + S_{Wirr}$$

és az érintetlen zónára (jobb oldali telítettségi viszonyok alapján):

$$S_{CHr} + S_{CHm} + S_{Wm} + S_{Wirr} = 1$$

$$\text{ahol } S_w = S_{Wm} + S_{Wirr}$$



Látható, hogy a kitermelhető olaj mennyisége arányos a a kispert zónában lévő iszapfiltrátum és az érintetlen zónában lévő kitermelhető (mobilis) víz mennyiségének különbségével. A két zóna víztelítettségének függvényében pedig a kispert ( $S_{x0}$ ) és az érintetlen zóna ( $S_w$ ) víztelítettségeinek különbségével arányos.

## Tiszta homok vagy homokkő esetén a kitermelhető CH meghatározása

Tapasztalati megfigyelések alapján a rétegvízet és CH-t tartalmazó agyagmentes homok vagy homokkőre a víztelítettség ( $S_w$ )

$$S_w^n = \frac{R_0}{R_t} = \frac{FR_w}{R_t}$$

ahol  $R_0$  a 100%-ig vízzel telített homok v. homokkő, míg  $R_t$  a CH-t és rétegvízet tartalmazó formáció fajlagos ellenállása. Az  $n$  értéke jó közelítéssel  $n=2$ , amit elfogadva nemcsak az érintetlen zónára, hanem alkalmazva a kisépért zóna víztelítettségére is írható:

$$S_{x0} = \sqrt{\frac{FR_{mf}}{R_{x0}}}$$

Archie megfigyelései alapján a porozitás ( $\Phi$ ) és a formáció tényező ( $F$ )

között  $F = \frac{a}{\Phi^m}$  összefüggés van, amelyben  $a=1$  és az  $m$  cementációs tényező értékére  $m=2$  feltételezéssel élve írható, hogy  $\Phi\sqrt{F} = 1$

A kitermelhető olajmennyiségre ( $POI$ ) tehát (lásd ezelőtti dia jobboldali ábráját):

$$POI = \Phi S_{CHm} = \Phi (S_{x0} - S_w) = \Phi \left( \sqrt{\frac{FR_{mf}}{R_{x0}}} - \sqrt{\frac{FR_w}{R_t}} \right) = \sqrt{\frac{R_{mf}}{R_{x0}}} - \sqrt{\frac{R_w}{R_t}}$$

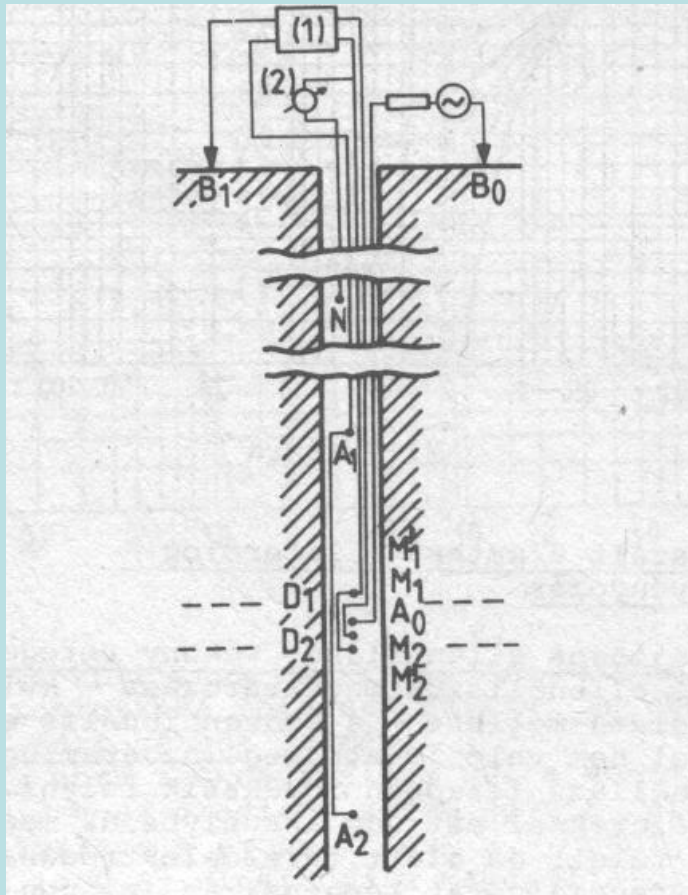
Az  $R_t$  és  $R_{x0}$  (az érintetlen és a kisépért zóna fajlagos ellenállása) különböző behatolású laterológ vagy indukciós méréssel, esetleg nem irányított áramrerű méréssel is meghatározható. Az  $R_{mf}$  értéke iszapból vett mintán mért fajlagos ellenállás és hőmérsékletmérés alapján adható meg, míg

$$R_w = \frac{R_0}{F} \approx R_0 \Phi^2$$

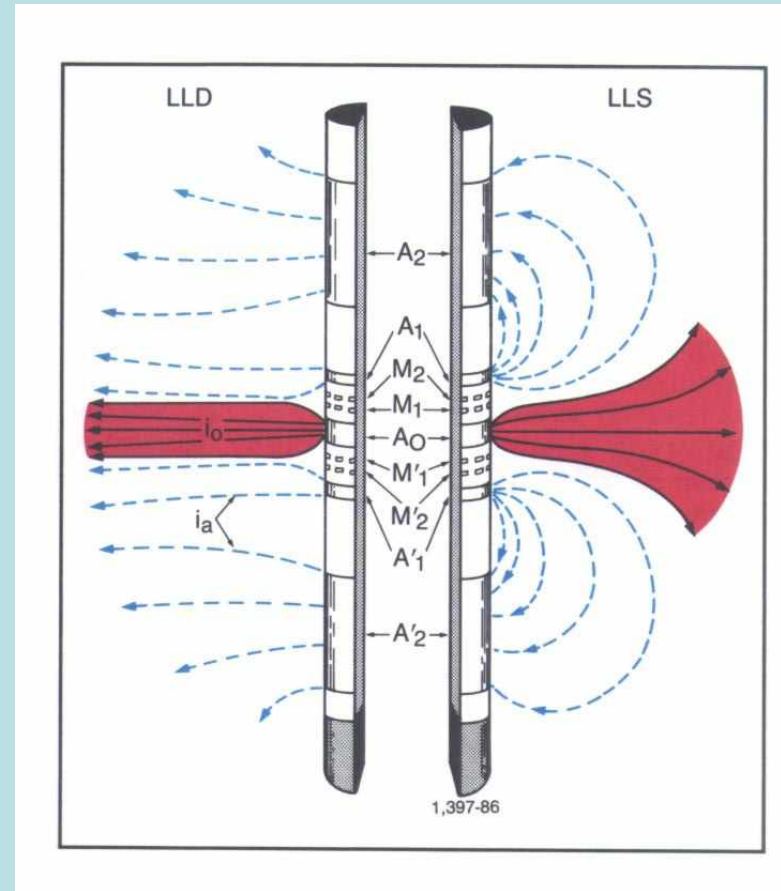
ahol a vízzel telített réteg fajlagos ellenállását és a porozitást a megfelelő szelvényekből ismerni kell. Víz mintavétel vagy PS méréssel és meghatározható  $R_w$ .



**Fókuszált áramterű laterolog mérés:** A mérőáram-pászcma alakja határozza meg, hogy mély-, optimális- vagy pszeudolaterolog a szonda. Olyan terelőáramot alkalmaznak, mely megakadályozza a fúróluk tengelye menti áramfolyást.



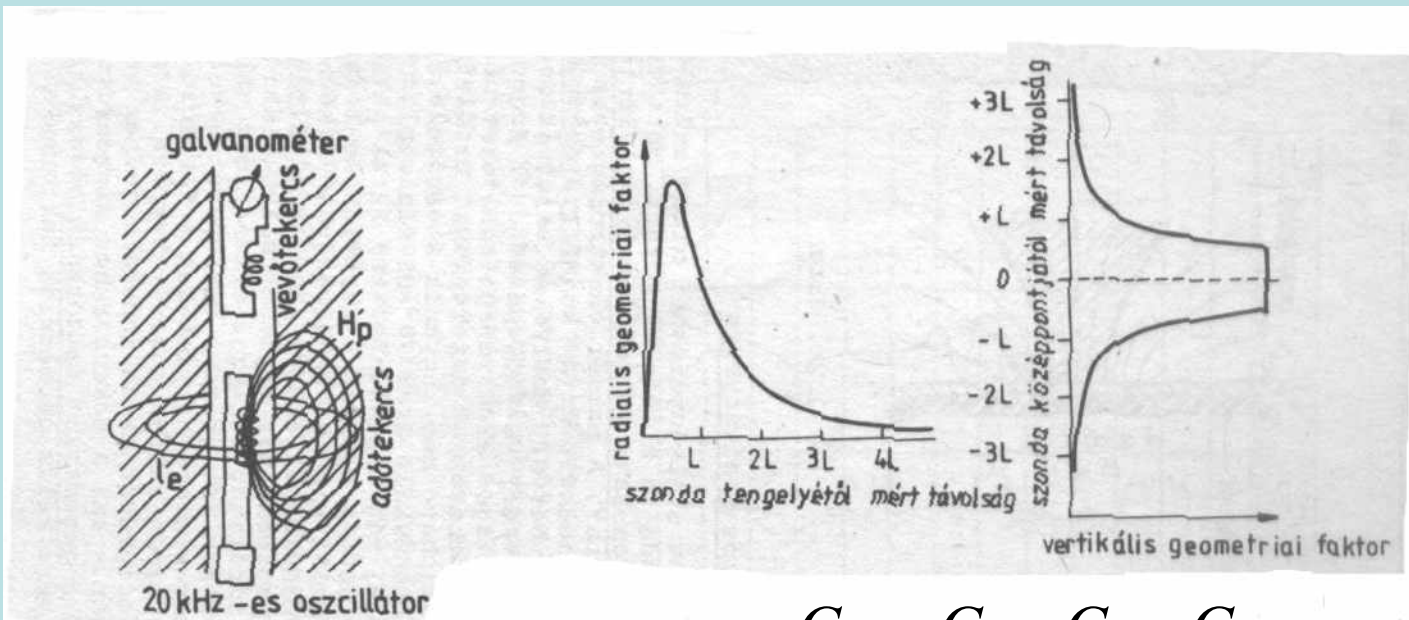
LL7



LL7

LL9

# Fókuszált áramterű indukciós mérés



L: ADÓ-VEVŐ  
TÁVOLSÁG

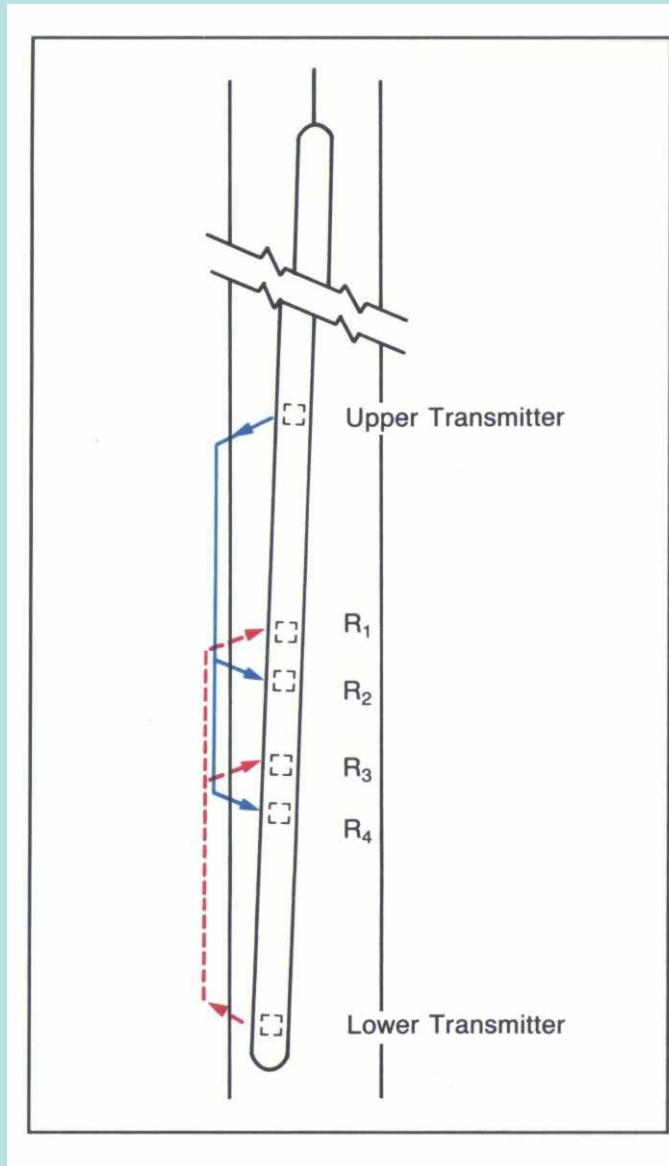
**FOUCAULT**  
áramgyűrű

$$\sigma_{\text{mért}} = \frac{G_m}{\rho_m} + \frac{G_i}{\rho_i} + \frac{G_t}{\rho_t} + \frac{G_s}{\rho_s}$$

A tekercsek száma és egymáshoz viszonyított helyzete határozza meg a sugárirányú és a vertikális felbontást. Az indukciós szelvényezés a megoldás olajbázisú iszap esetén.

Párhuzamosan kötött iszap, elárasztott zóna, érintetlen zóna, ágyazó rétegek ellenállásaiból adódik a látszólagos vezetőképesség.

# Szónikus mérés – porozitás meghatározás I.



$$t_u = t_4 - t_2$$

$$t_l = t_1 - t_3$$

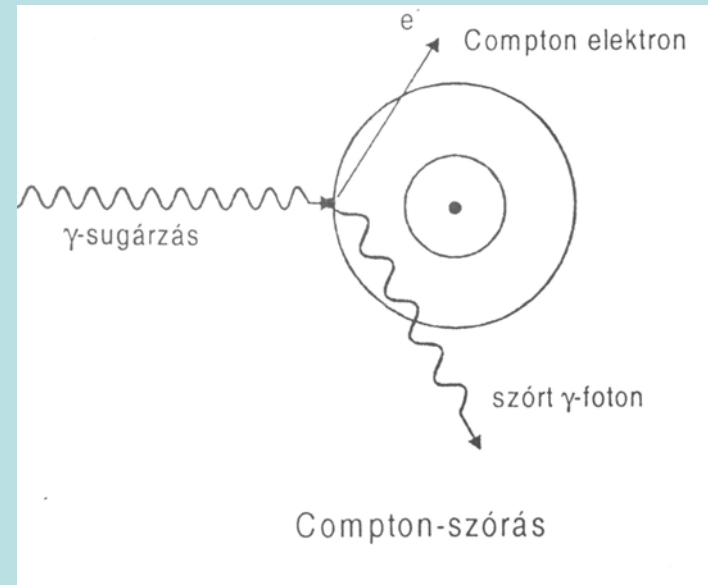
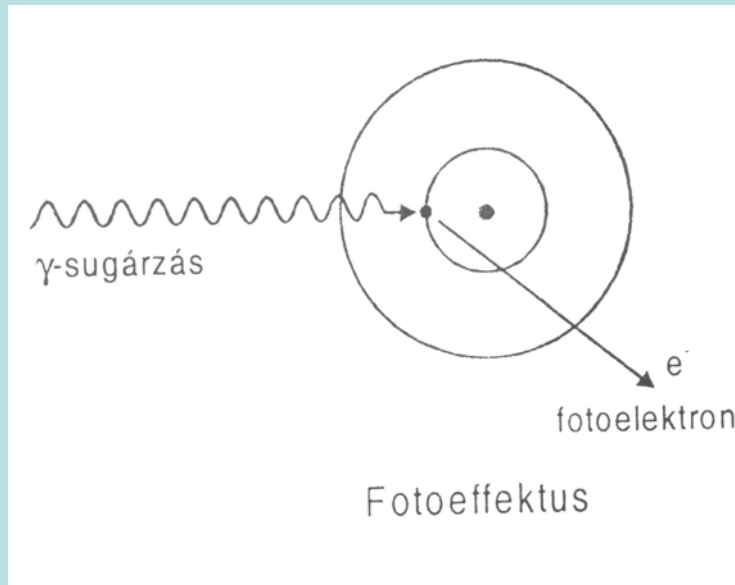
$$\Delta t = (t_u + t_l) / 2$$

$$\Delta t = \Phi \Delta t_f + (1 - \Phi) \Delta t_{ma}$$

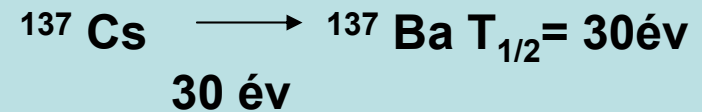
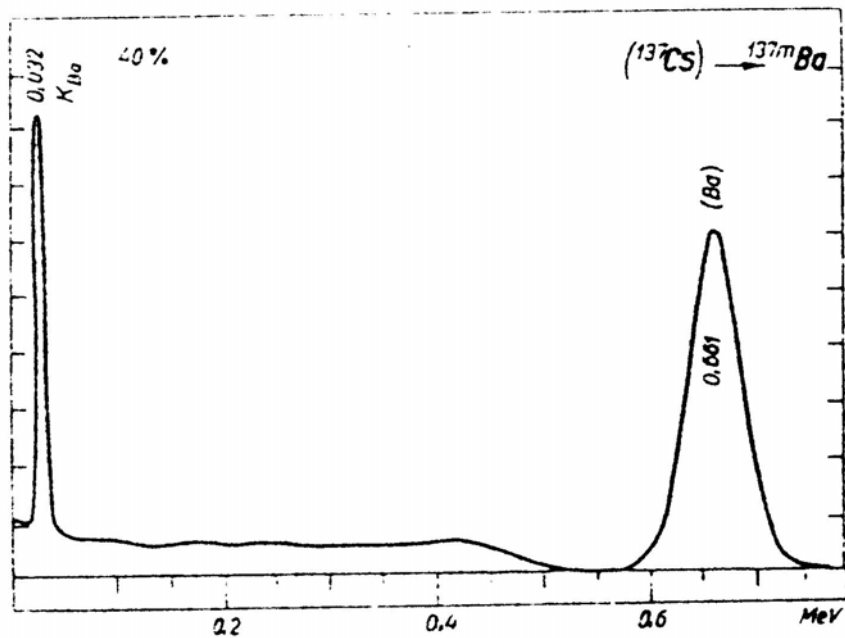
$$\Phi_s = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

Csak tiszta , kompakt formációra érvényes ez a tapasztalati (empirikus) összefüggés ami a Wyllie-féle formula. Nem kompakt formációnál korrekciós faktort kell alkalmazni.

# Gamma-gamma módszer



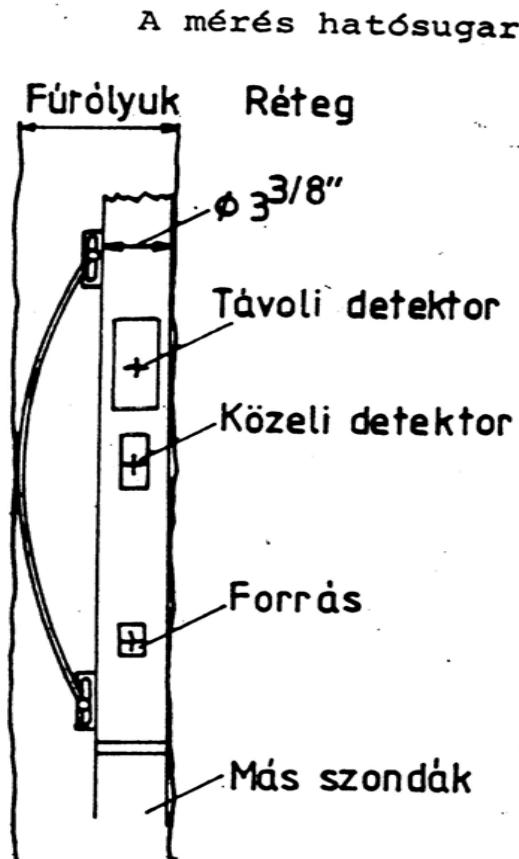
A fotoeffektus bekövetkezési valószínűsége kis energián (10-300keV) nagy. A foton energiája egyrészt valamelyik héjon lévő elektron kiszakítására, másrészt az ionizációs energiát meghaladó rész a kilépő elektron mozgási energiájára fordítódik. A gamma-foton energiájának növelésével a leggyakoribb kölcsönhatás a Compton-szóródás válik (200-2000keV). Ennek során a gamma-foton energiájának tekintélyes részét átadja az elektronhéjról kilökött elektronnak mozgási energia formájában, a foton pedig csökkent energiával (ennek megfelelően megnövekedett hullámhosszal), irányát megváltoztatva halad tovább.



Lithodensity szelvényezés, kétsugaras szonda. A Ba metastabil állapotban jön létre, a karakterisztikus röntgen sugárzás teszi lehetővé a fotoelektromos abszorpciós index meghatározását. A mérés szelektív.

# POROZITÁSKÖVETŐ SZELVÉNY II.

## Gamma-Gamma módszer



7.32. ábra

- mészkő	2,71
- dolomit	2,87.

A kőzet sűrűségéből ( $\rho$ ) levezethető a porozitás értéke, ha ismerjük a mátrix anyagának ( $\rho_{ma}$ ) és a telítő folyadék sűrűségét ( $\rho_f$ ). Ugyanis

A kőzet sűrűségéből ( $\rho$ ) levezethető a porozitás értéke, ha ismerjük a mátrix anyagának ( $\rho_{ma}$ ) és a telítő folyadék sűrűségét ( $\rho_f$ ). Ugyanis

A kőzet sűrűségéből ( $\rho$ ) levezethető a porozitás értéke, ha ismerjük a mátrix anyagának ( $\rho_{ma}$ ) és a telítő folyadék sűrűségét ( $\rho_f$ ). Ugyanis

$$\rho = \rho_f \Phi + \rho_{ma} (1 - \Phi), \quad (7.18)$$

amiből

$$\Phi = \frac{\rho_{ma} - \rho}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (7.19)$$

A  $\rho_{ma}$  általában kőzetmintákon végzett mérésekkel kapható. Jó közelítést jelentenek azonban az alábbi értékek is:

- homok, homokkő	2,65
- karbonátos homok	2,68

*gamma-gamma m' d'oev.*

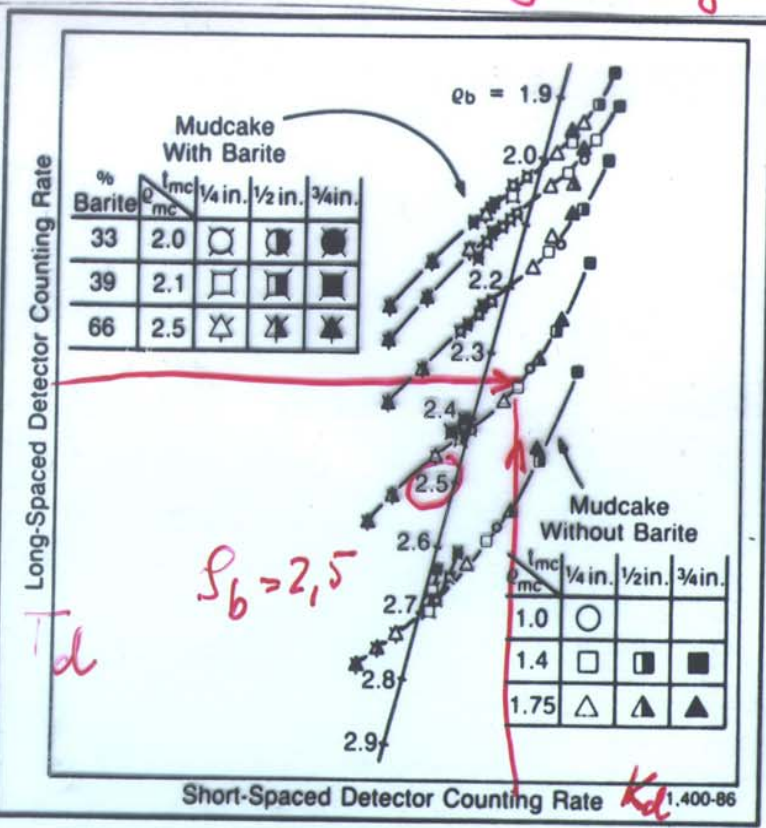


Fig. 5-13—"Spine-and-ribs" plot, showing response of FDC counting rates to mudcake. (Ref. 16)

$$S_b = \phi S_f + (1 - \phi) S_{ma}$$

$$\phi = \frac{S_{ma} - S_b}{S_{ma} - S_f}$$

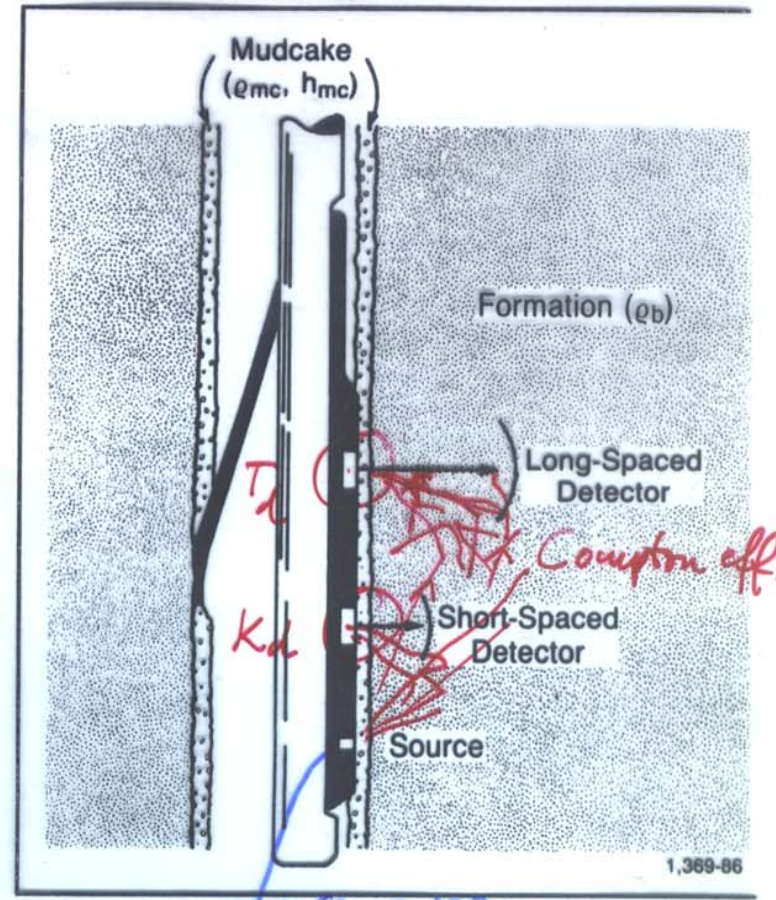
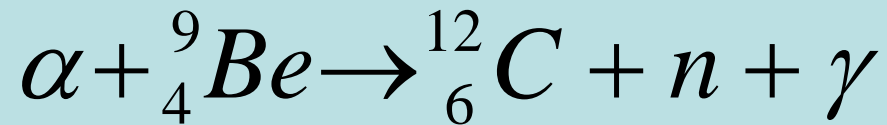


Fig. 5-12—Schematic drawing of the dual spacing Formatic Density Logging Device (FDC). (Ref. 16)

*K<sub>d</sub> beutésnávot elsősorban a lyukfal környékén, T<sub>d</sub>-t pedig a formáció sűrűségje határozza meg. FDC felolvasás 5.-13. ábra.*

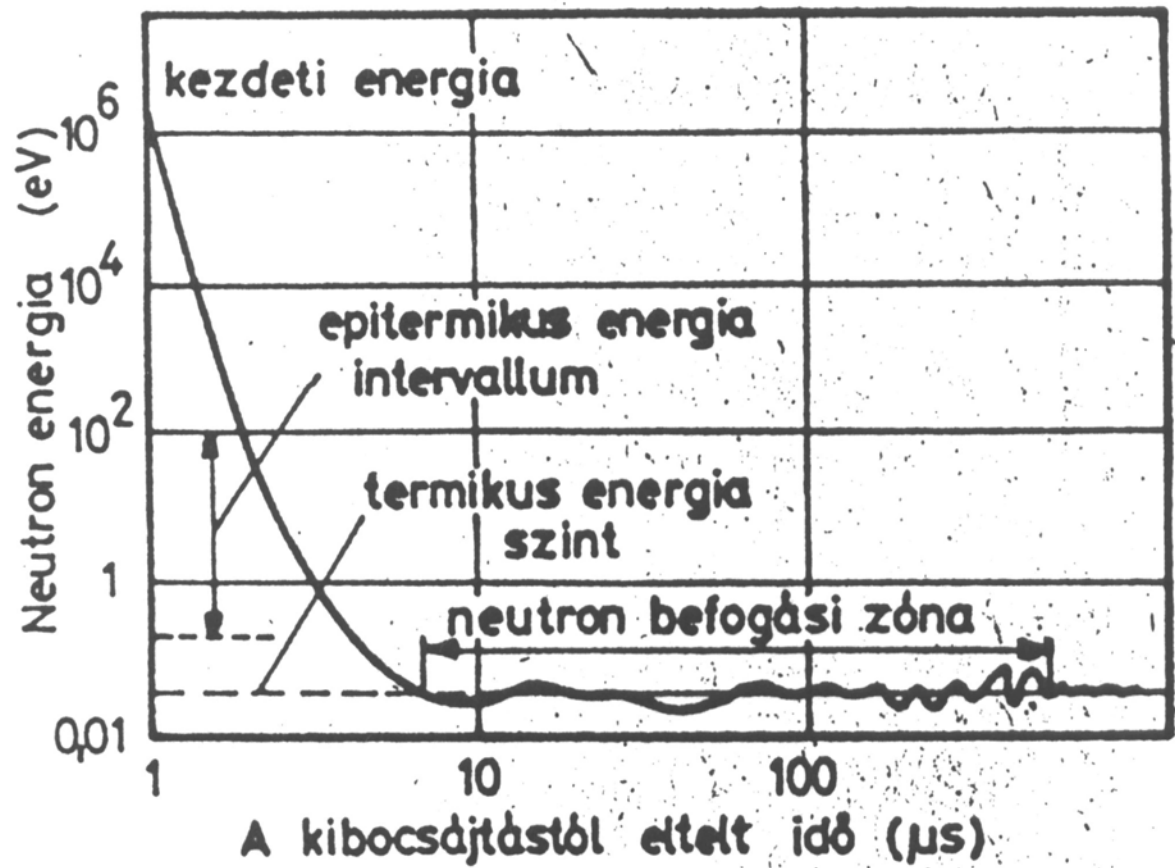
## POROZITÁSKÖVETŐ SZELVÉNY III.

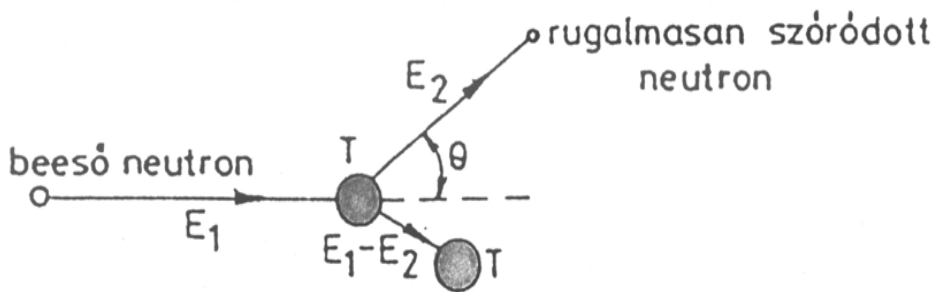
A kémiai neutronforrások Po-Be, Pu-Be, Am-Be lehetnek. Közös jellemzőjük, hogy egy  $\alpha$ -részecskét emittáló izotóp és berillium préselt keverékéből vagy ötvözetéből állnak. Az  $\alpha$ -sugárzást az összetett forrás első helyén jelölt izotóp emittálja, míg a neutronokat eredményező reakció hasonló alakú:



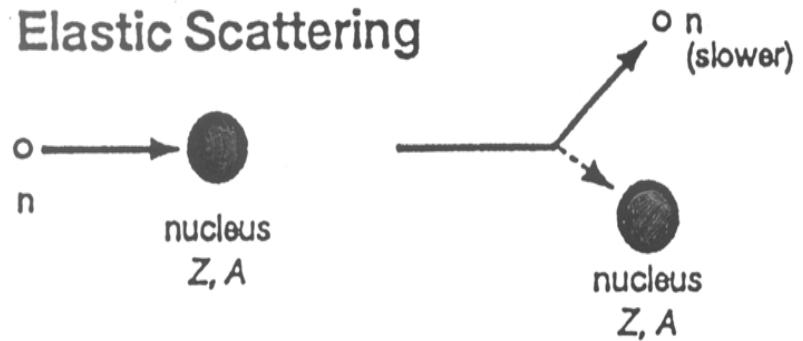
A keletkező neutron energiája ( $\sim 4.5\text{MeV}$ ) nem éri el a neutrongenerátorral elérhető szintet.







## Elastic Scattering



**Rugalmas ütközésnél** az atommag tömegétől függ a neutron ütközésenkénti energiavesztesége. Legnagyobb az energiavesztesége akkor, ha vele minél inkább megegyező tömegű maggal ütközik. Ez nyilván magasabb hidrogéntartalmú anyagok esetén valósul meg (a hidrogén atommagja akár a neutron teljes energiáját átveheti), ellentétben a nehéz magokkal megvalósuló rugalmas ütközéssel, amikor a neutron szinte alig veszít mozgási energiájából. A gyors neutronok fékezésére tehát a hidrogéntartalmú anyagok a legalkalmasabbak.

ral elements.

Slowing Down and Capture Cross-Sections for 2 MeV Neutrons

Element	$\sigma_{\text{elastic}}$	Number of collisions to 0.025 eV	Thermal $\sigma_{\text{capture}}$
H	20.0	18	0.30
Be	6.1	87	0.01
B	3.0	105	700.00
C	4.8	115	0.00
N	10.0	130	1.88
O	4.1	150	0.00
Na	3.5	215	0.51
Al	1.5	251	0.23
Si	1.7	261	0.13
Cl	10.0	329	31.60
Ca	9.5	371	0.43
Fe	11.0	514	2.50
Cd	5.3	1028	2500.00

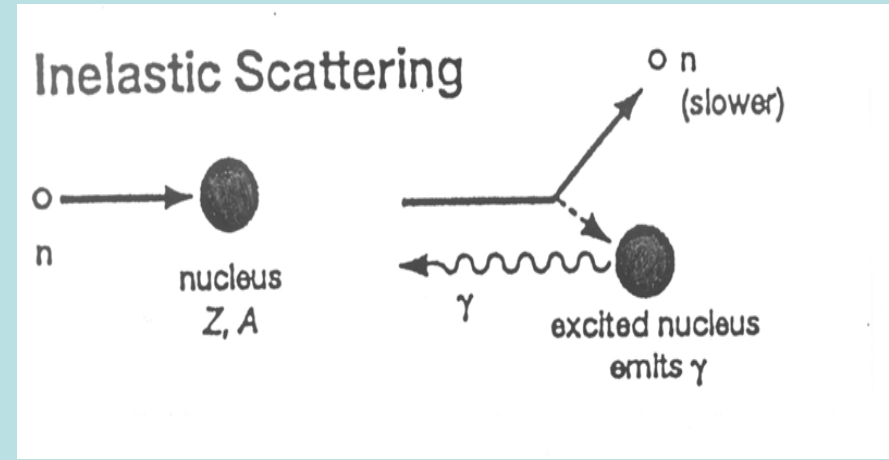
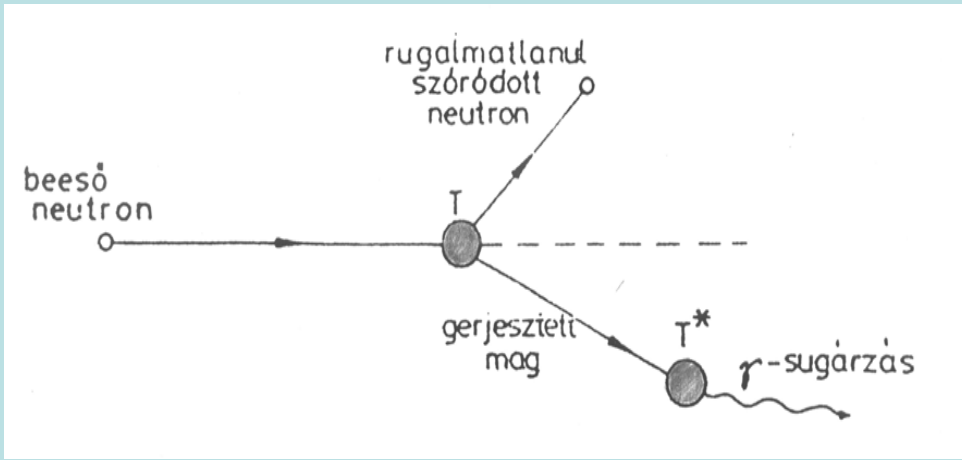
As Table 18-1 indicates, hydrogen is an excellent material for slowing down neutrons, and chlorine is an excellent material for capturing thermal neutrons. The number of thermal neutrons counted at a detector will decrease dramatically with an increase in the formation's hydrogen content (i.e., porosity).

# NEUTRON POROZITÁS MEGHATÁROZÁSA

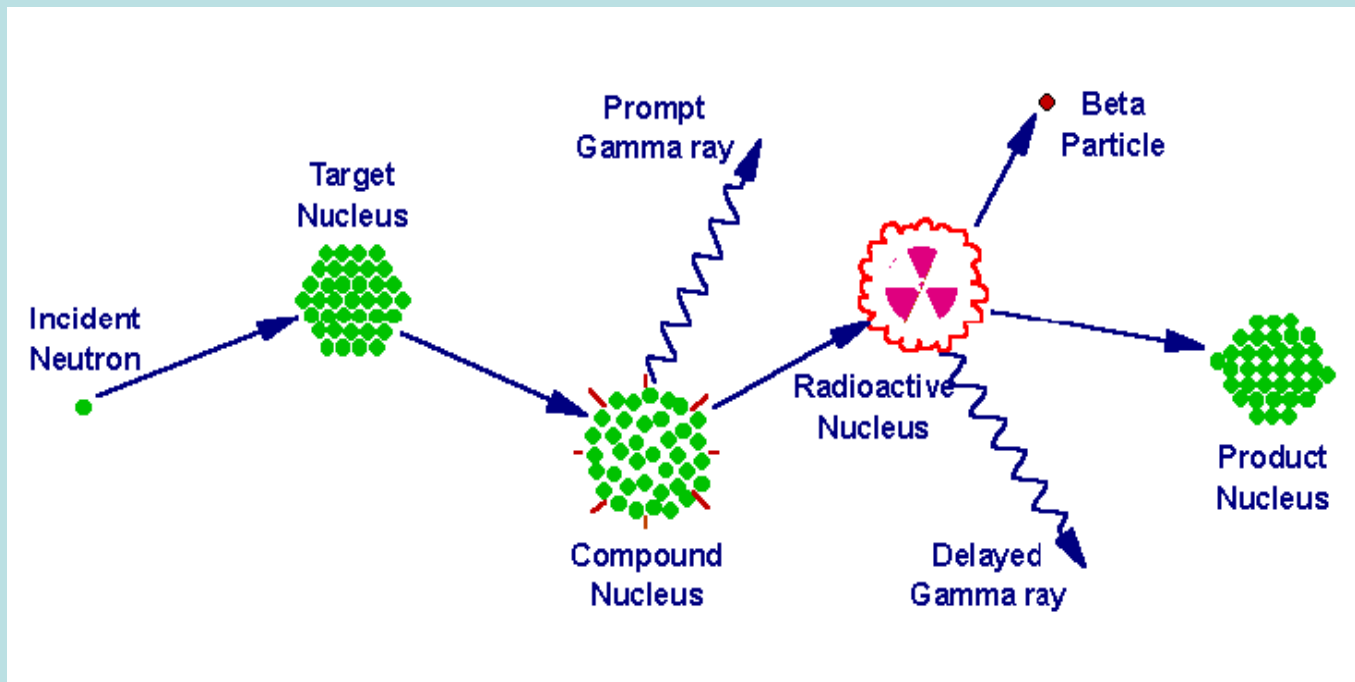
$$HI_{mért} = \Phi HI_{fluidum} + (1 - \Phi) HI_{mátrix}$$

Ha  $HI_{fluidum} = HI_{víz} = 1$  és  $HI_{mátrix} = 0$ , akkor  $HI_{mért}$  egyenlő a porozitással.

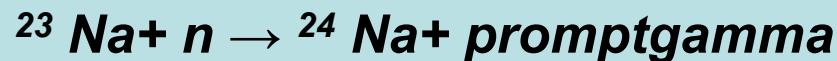
Ha a vizsgált fluidum víztől eltérő, vagy a vizsgált formáció agyagos, akkor ezt korrekcióba kell venni. Az agyag növelő, a pórusokban lévő gáz csökkentő hatást fejt ki. Excavation effect a gáz jelenlétekor jelentkezik.



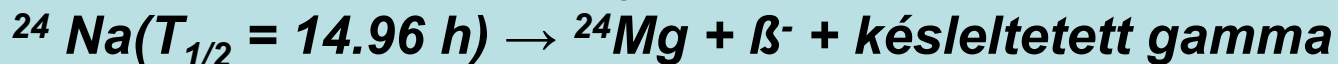
neutron és atommag közötti rugalmatlan ütközés során az atommag energiát vesz át a neutrontól, mely a kölcsönhatást követően a neutron irányváltoztatással, az eredeti kinetikus energiájához képest kisebb mozgási energiával halad tovább. A mag egy vagy több foton kibocsátásával szabadul meg gerjesztett állapotából kb.  $10^{-22}$ - $10^{-24}$  sec alatt. Nehezebb elemek magjain a rugalmatlan szóródás nagyobb valószínűséggel következik be. A legerjesztődés során emittált gamma-foton energiája jellemző az őt kibocsátó elemre (pl. O, Si, Ca, C, Fe, S).



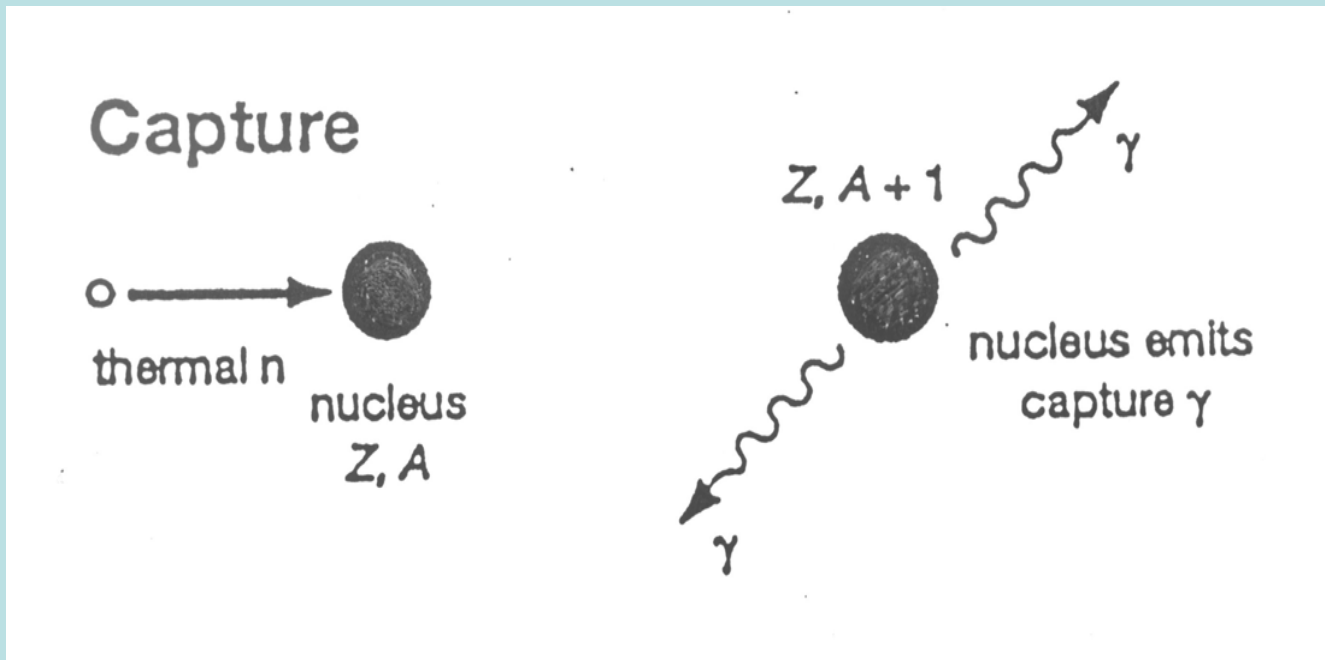
$(n, \gamma)$  típusú magreakcióra példa a  $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$  átalakulás. Részletesen:



Itt is mint a legtöbb  $(n, \gamma)$  magreakciónál az instabil termék negatív bétabomlással kerül stabil állapotba:



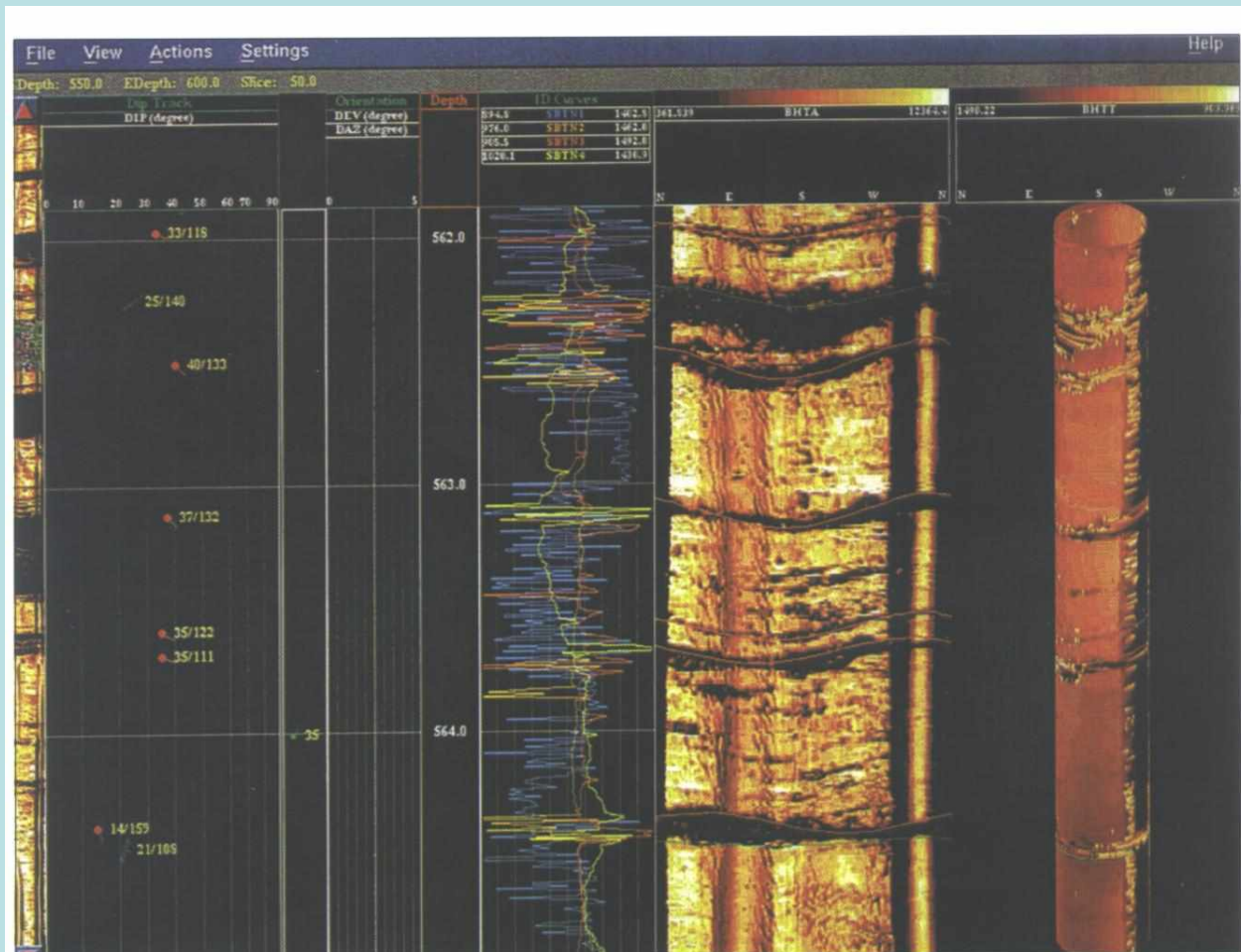
Megjegyezzük, hogy ilyen "kétlépcsős" magreakció során a neutron maggerjesztéskor keletkező prompt és a stabil állapotot eredményező átalakulást kísérő gamma sugárzás energiája jellemző az illető elemre. A  $(n, \gamma)$  reakciót elsősorban radioaktív izotóp előállítására használják fel.



**A termikus neutronok befogása az atommag által elemfüggő és a leggyakrabban  $(n, \gamma)$  típusú magreakció. A kadmium, bór, lítium jellemezhető a legnagyobb termikus neutron befogási hatáskeresztmetszettel, a gyakran előforduló elemek közül pedig a klór. A termikus neutron befogása miatt az atommag gerjesztett állapotba kerül, és a fölös energiájától a befogó elemre jellemző energiájú gamma-foton emissziója révén mentesül. A termikus neutronok befogásakor detektált gamma spektrum is felhasználható ismeretlen összetételű anyag mennyiségi elemzésére.**

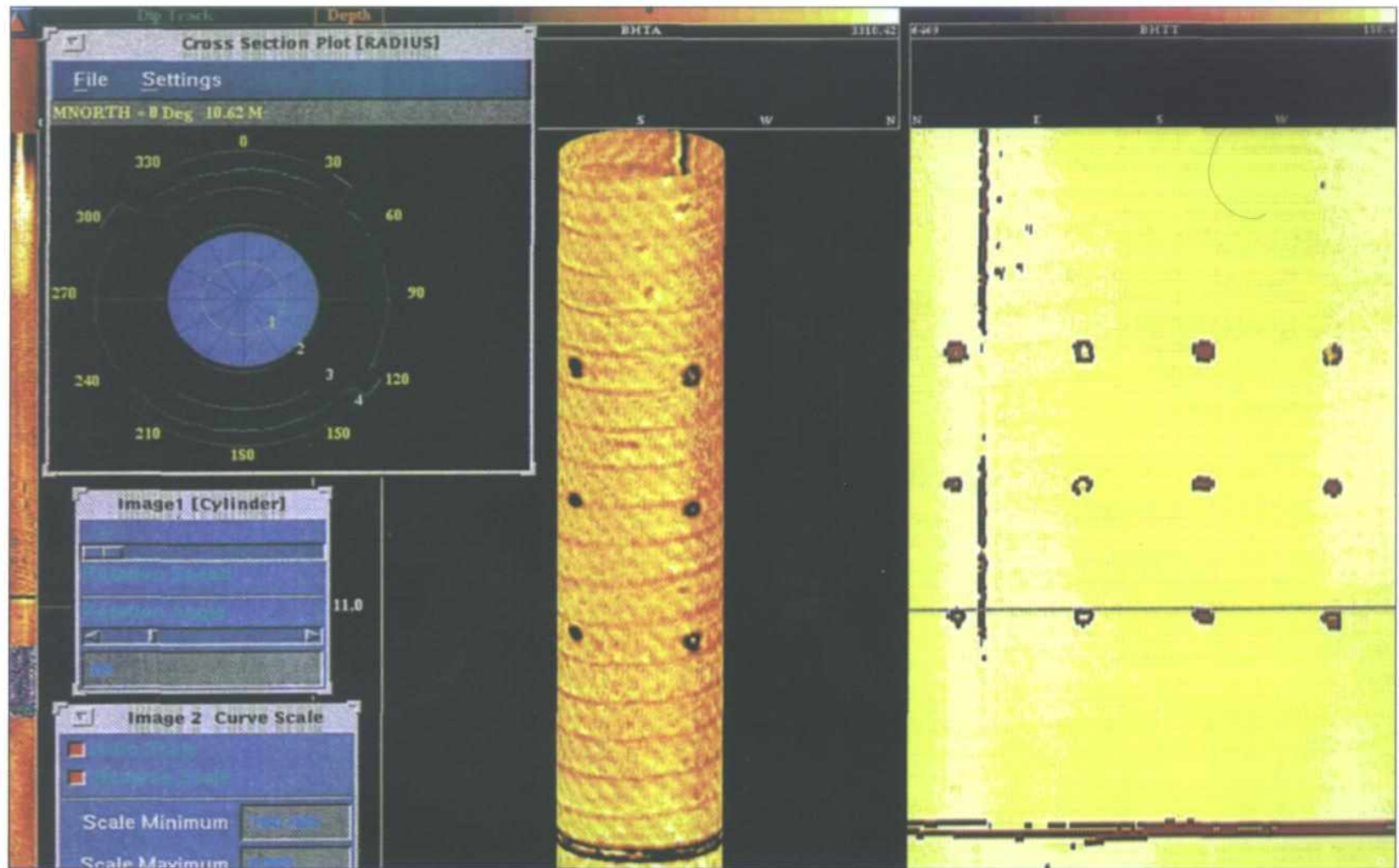
Lyukfal televízió, vízszintes felbontóképesség 2.5mm, függőleges felbontóképesség 4.5mm. Forgó (6 fordulat/sec), 250KHz-en működő, kb. 2 colos piezokerámiás adó-vevő. Kis vontatási sebesség: 3m/perc.

A visszavert hullám amplitúdóját és a terjedési időt méri. Kikavernásodott „lág” kőzet esetén kis amplitúdó és nagyobb beérkezési idő. MIÉRT?



Nyitott lyuk szelvénye – repedezett szakasz – szintetikus diploggal





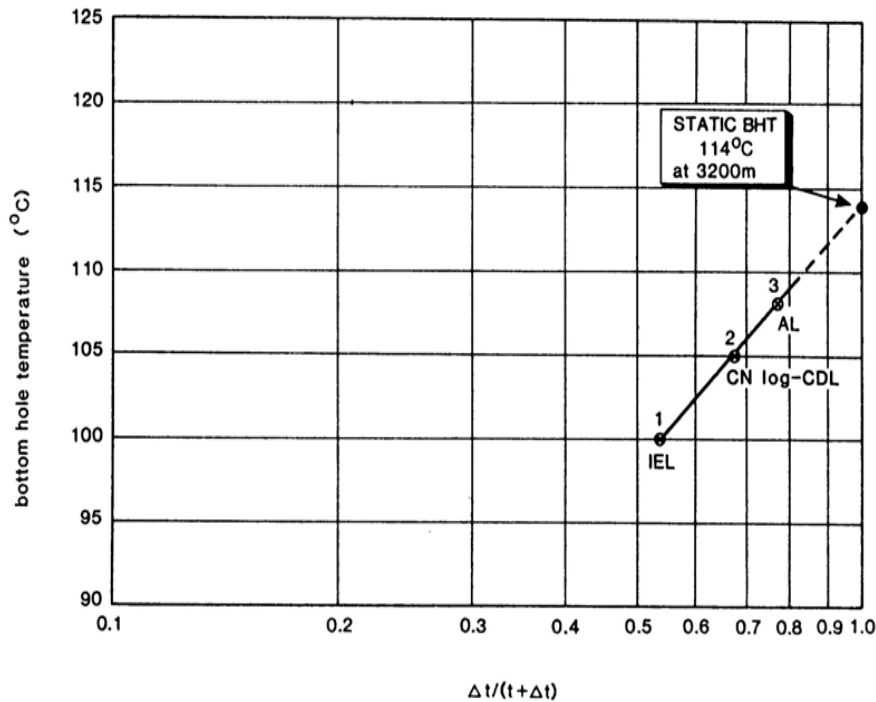
Preparált béléscső leképezése

# Hőmérsékletmérés fúrólyukban

Folyamatos hőmérsékletmérés  
v. maximum (talp) hőmérséklet mérés.

Nyitott fúrólyukban,  
béléscsővezetékben,  
termelő fúrásban lehet végezni.

# Maximum hőmérséklet mérés



Bottom hole temperature correction example.  $\Delta t$ , time since circulation stopped (hours);  $t$ , circulation time (6 hours).

Log	$\Delta t$	Temperature	
		recorded	$\Delta t/(t + \Delta t)$
IEL	7	100°C	$7/(6 + 7) = 0.538$
CN-CDL	11.5	105°C	$11.5/(6 + 11.5) = 0.671$
AL	19.5	108°C	$19.5/(6 + 19.5) = 0.765$

(From Fertl and Wichmann, 1977).

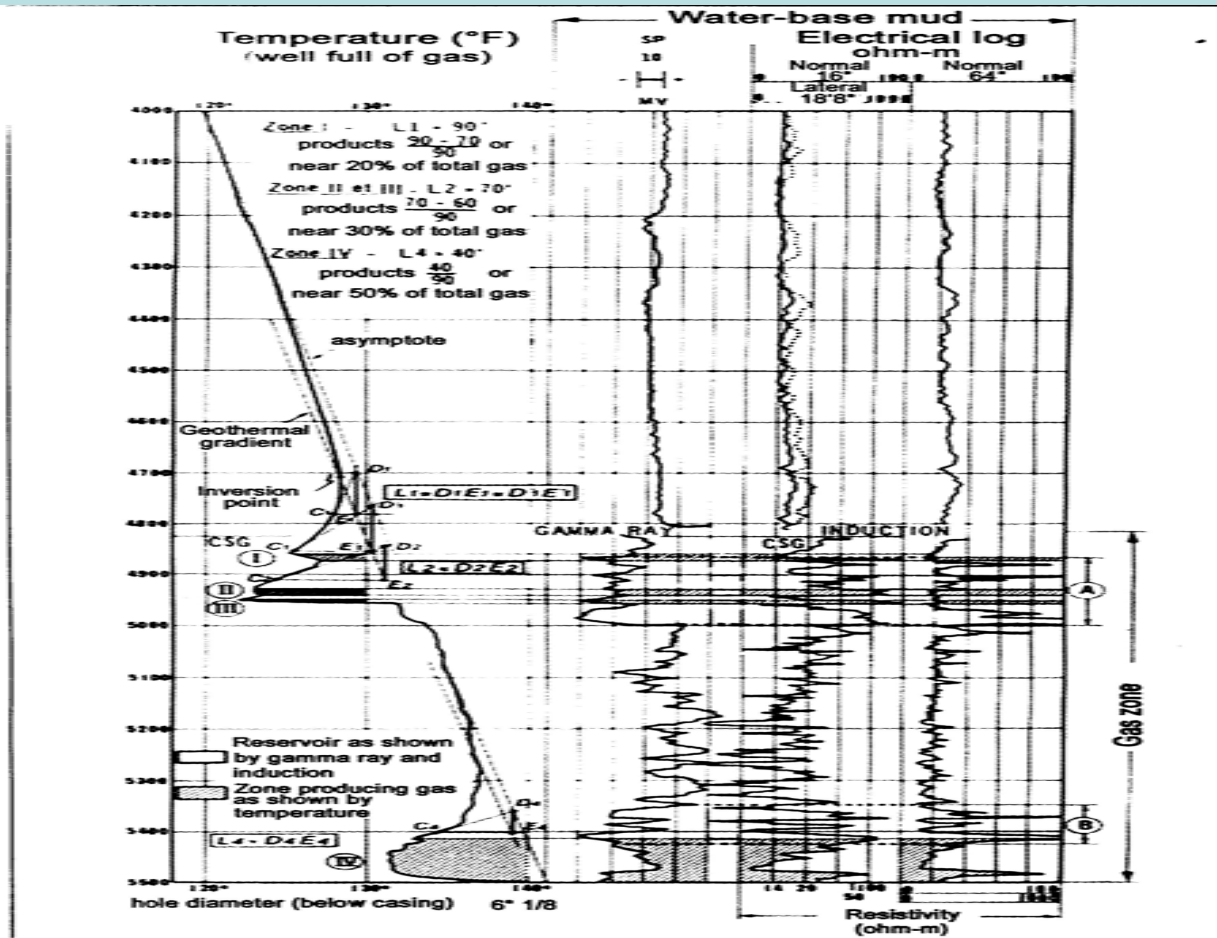
A mért hőmérséklet elsősorban a földtani-geotermikus viszonyoktól függ, azonban a fúrástól, mint termikus egyensúlyt megbontó folyamattól is.

Az öblítés -melynek idejét itt  $t$ -vel jelöljük- leállítását követően  $\Delta t$

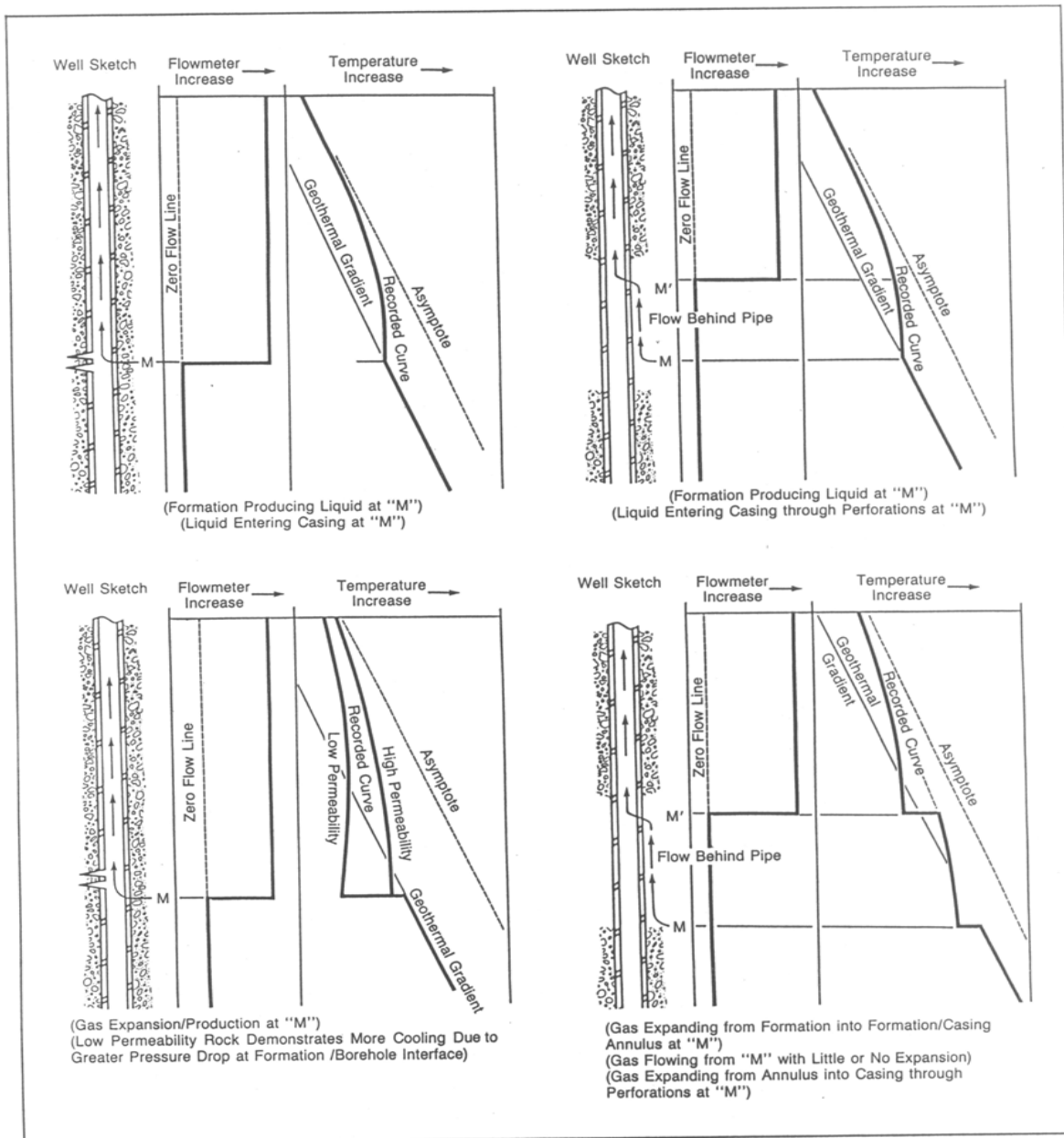
idővel mérjük a talphőmérsékletet. A mérést később megismételve a hőmérséklet emelkedését tapasztaljuk.

A mért hőmérséklet adatokat egy szemilogaritmikus rendszerben adjuk meg, ahol a logaritmikus beosztású abcisszán  $\Delta t/(t + \Delta t)$  szerepel. Extrapolációval kapható meg az eredeti hőmérséklet érték. Felt.:  $t$  lehetőleg kis érték legyen, és beáramlás nélküli eset legyen.

A gáz fúrólyukba belépése expanzióval jár, amely hőmérséklet csökkenést eredményez.



Example of detection of gas producing zones from a temperature survey (from Kunz and Tixier, 1955).



-Temperature log responses

**Áramlásmérés és hőmérsékletmérés perforált kútban.**

**FOLYADÉKBELÉPÉS**

**A BELÉPÉSI HELYET (MÉLYSÉGET) T NÖVEKEDÉSE JELZI.**

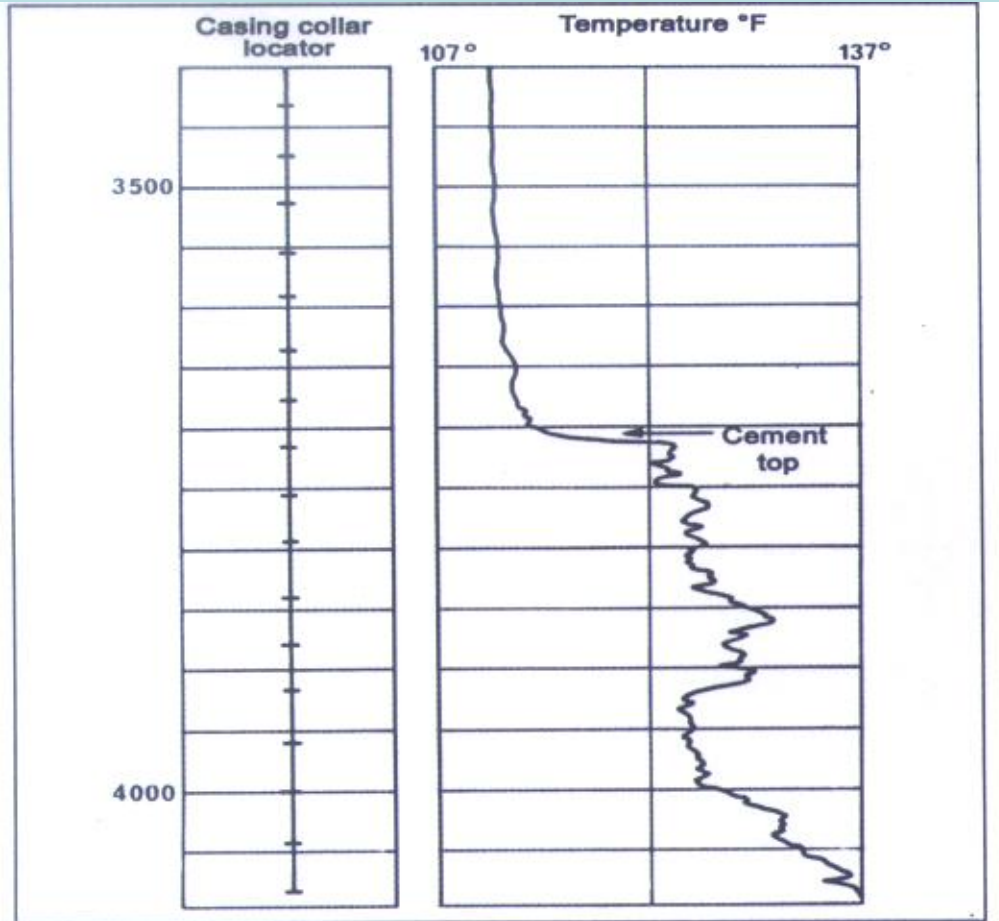
**GÁZBELÉPÉS**

**EXPANZIÓ,**

**HŐMÉRSÉKLET**

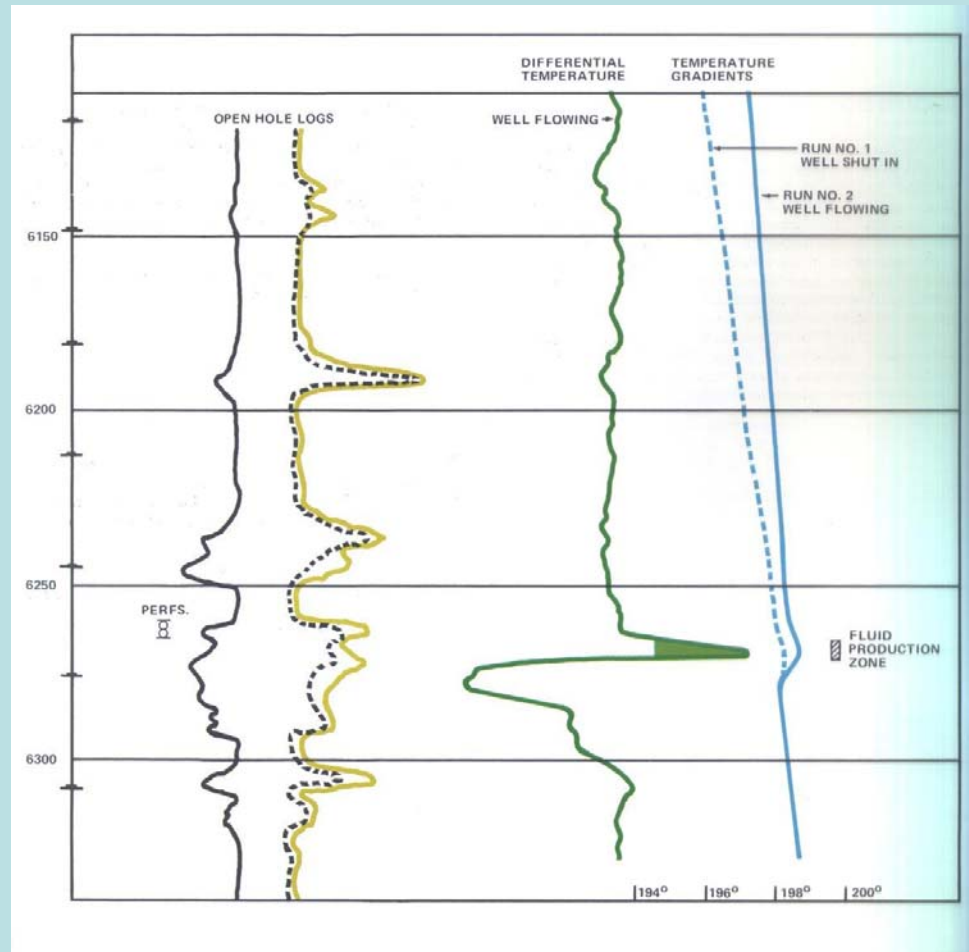
**CSÖKKENÉS.**

# Béléscső mögötti cementtető kimutatása

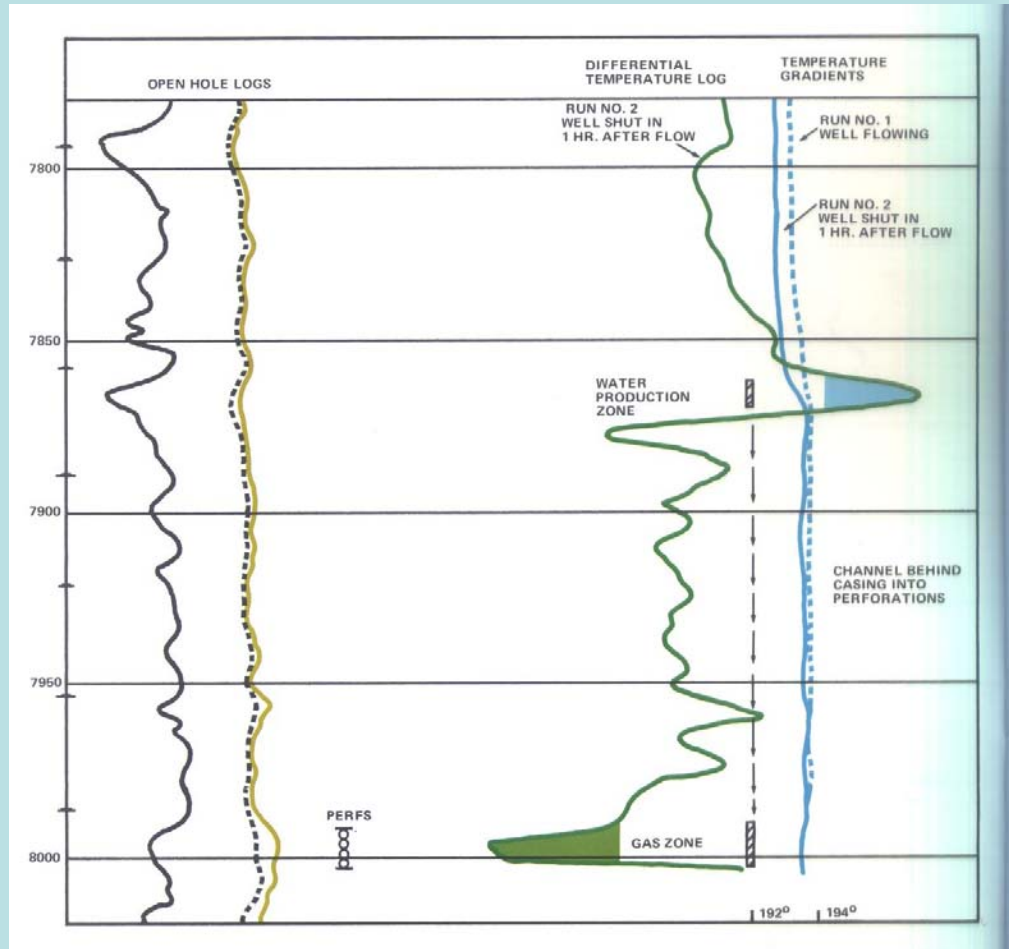


*Detection of the cement height behind casing from a temperature survey (courtesy of Schlumberger).*

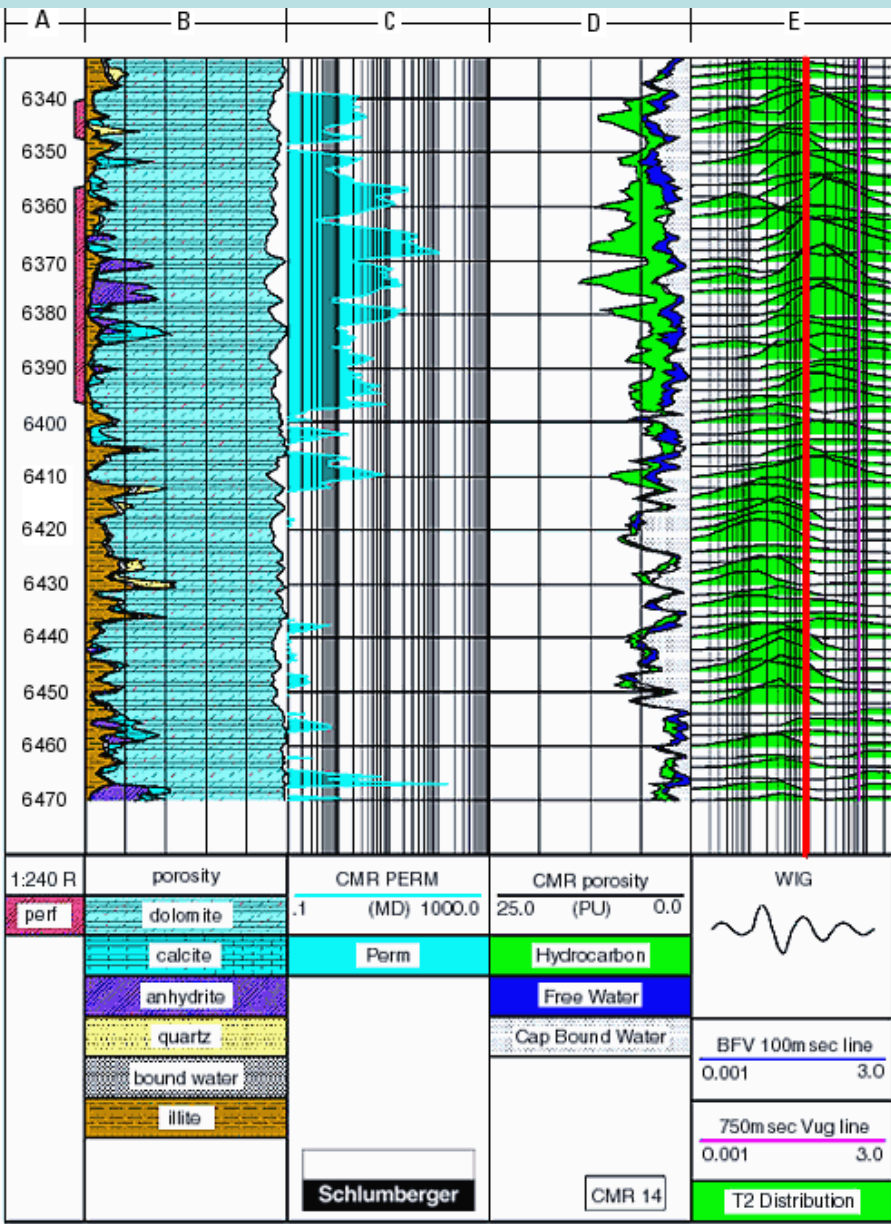
# Differenciálhőmérséklet mérés



# Differenciálhőmérséklet mérés



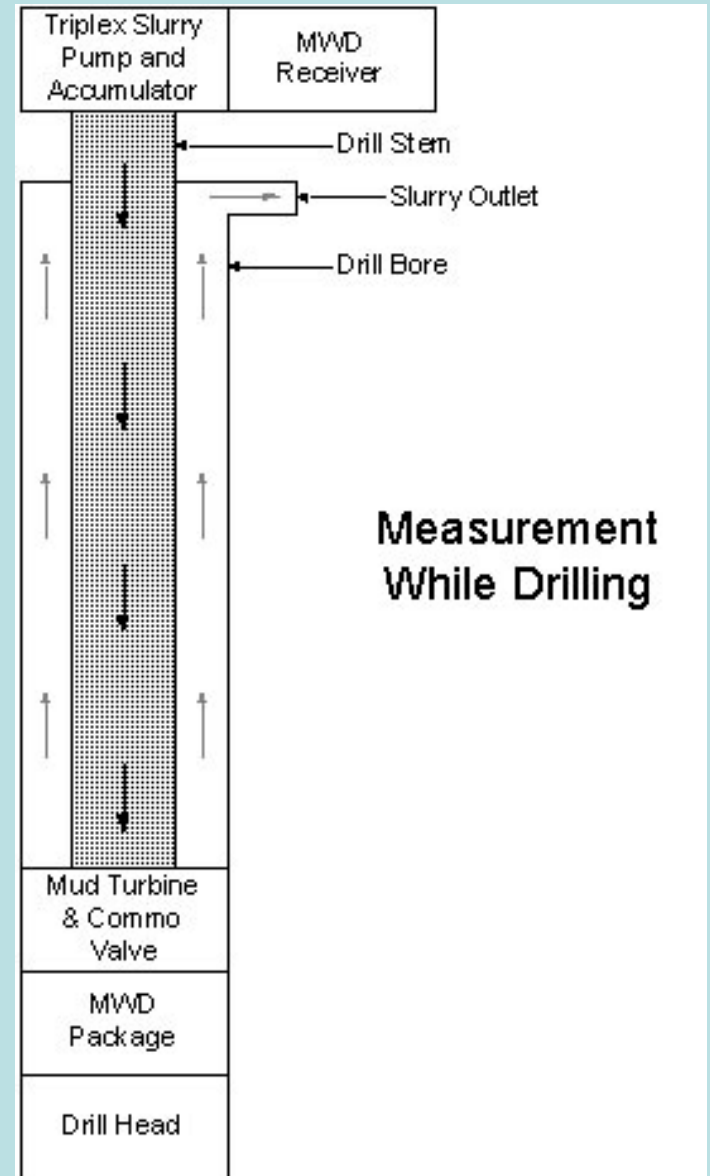




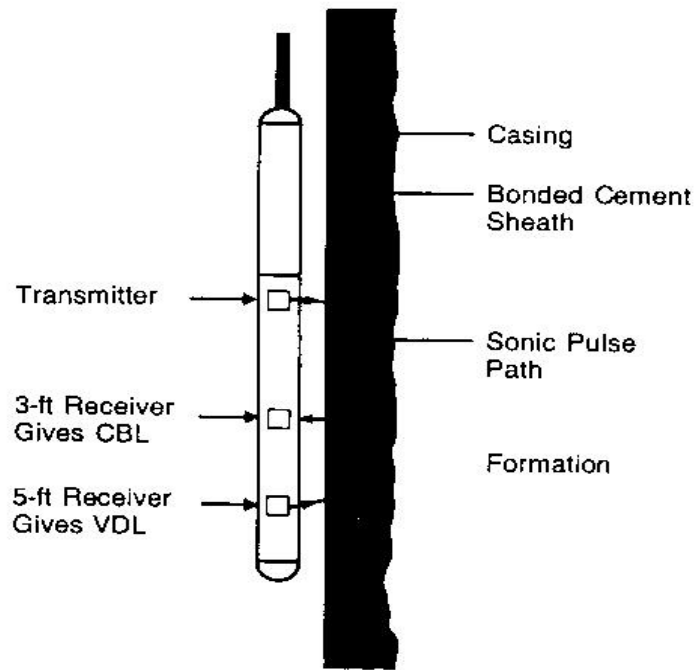
a **nukleáris mágneses rezonancia (NMR) szelvényezés**. Ennek fizikai alapja, hogy egyes atommagok –melyek mágneses momentummal rendelkeznek- protonjai nagy mágneses térrel és megfelelő frekvenciájú rádióhullámmal kölcsönhatásba lépve kimutathatóvá válnak. A mért NMR jel az atommag közvetlen környezetétől is függ. A mélyfúrési geofizikában kiemelt jelentősége van a feles spinű H-nek. A különböző típusú NMR szondáknál a földi mágneses térhez képest lényegesen nagyobb sztatikus mágneses térrel a protonokhoz tartozó mágneses momentumokat a vizsgált közettartományban polarizálják, majd erre a mágneses térre merőleges irányú, a proton Larmor frekvenciájával megegyező frekvenciájú elektromágneses térrel a spinrendszert kibillentik. A továbbiakban ezen a frekvencián 180<sup>o</sup>-os fázistolású gerjesztő impulzus sorozatot alkalmaznak. A mágneses momentumok a sztatikus térre merőleges síkban bekövetkező precessziója miatt a vevő tekercsben feszültség indukálódik. Az impulzusszerű rádiófrekvenciás gerjesztés során elvégzett és a gerjesztés megszűnését követő mérésekből leszarmaztatott NMR–jelekből lehet következtetni a mobilis, kitermelhető fluidum mennyiségére, a pórusszerkezetre és lehetőség van a permeabilitás becslésére is

## LWD

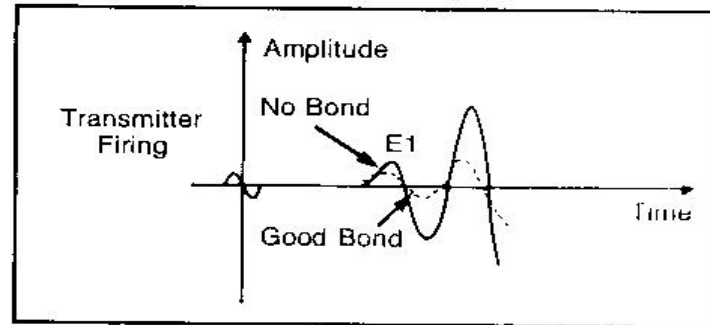
**Az irányított ferde és vízszintes fúrások orientációjának biztosítására kifejlesztett fúrással egyidejű mérések és ezt közvetlenül követően bevezetett fúrással egyidejű szelvényezések (logging while drilling, *LWD*) karotázs kábelt nem használnak. Ezeknél a rendszereknél közvetlenül a fúró felett helyezik el a fúrószárbba beépített érzékelőegységet, és a cirkuláló fúróiszap nyomását modulálják az érzékelőegység által mért fizikai paraméterekkel. A felszínen elhelyezett nyomásmérő segítségével (demodulációval) a nyomásváltozásokból a mért fizikai paraméterek meghatározhatók**



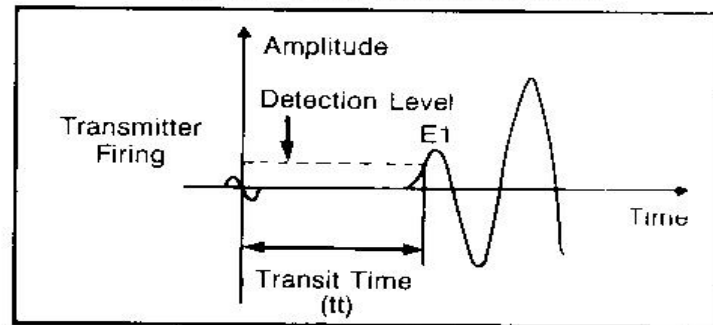
# Cement minőség szelv. 1.



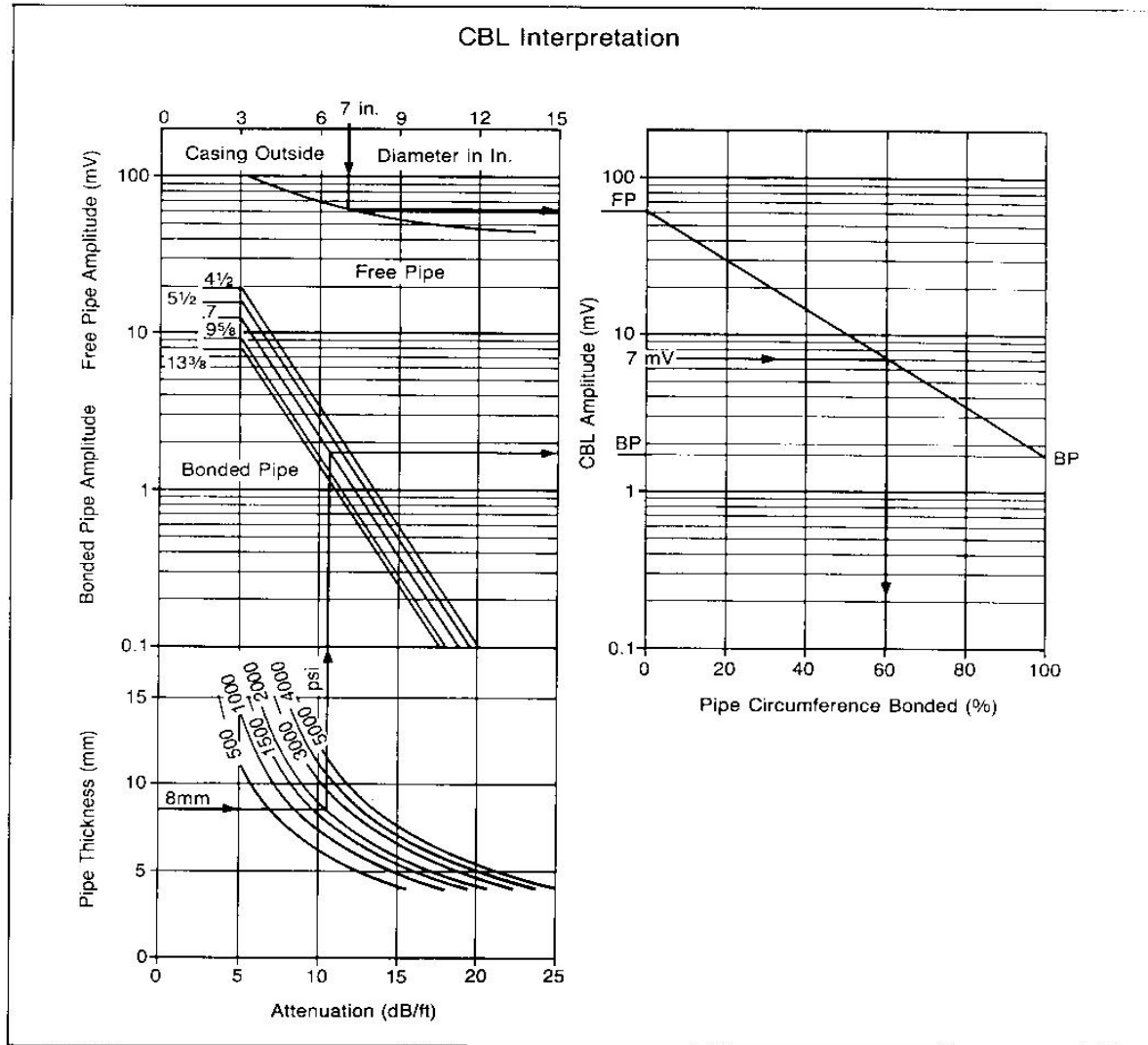
Receiver Signal



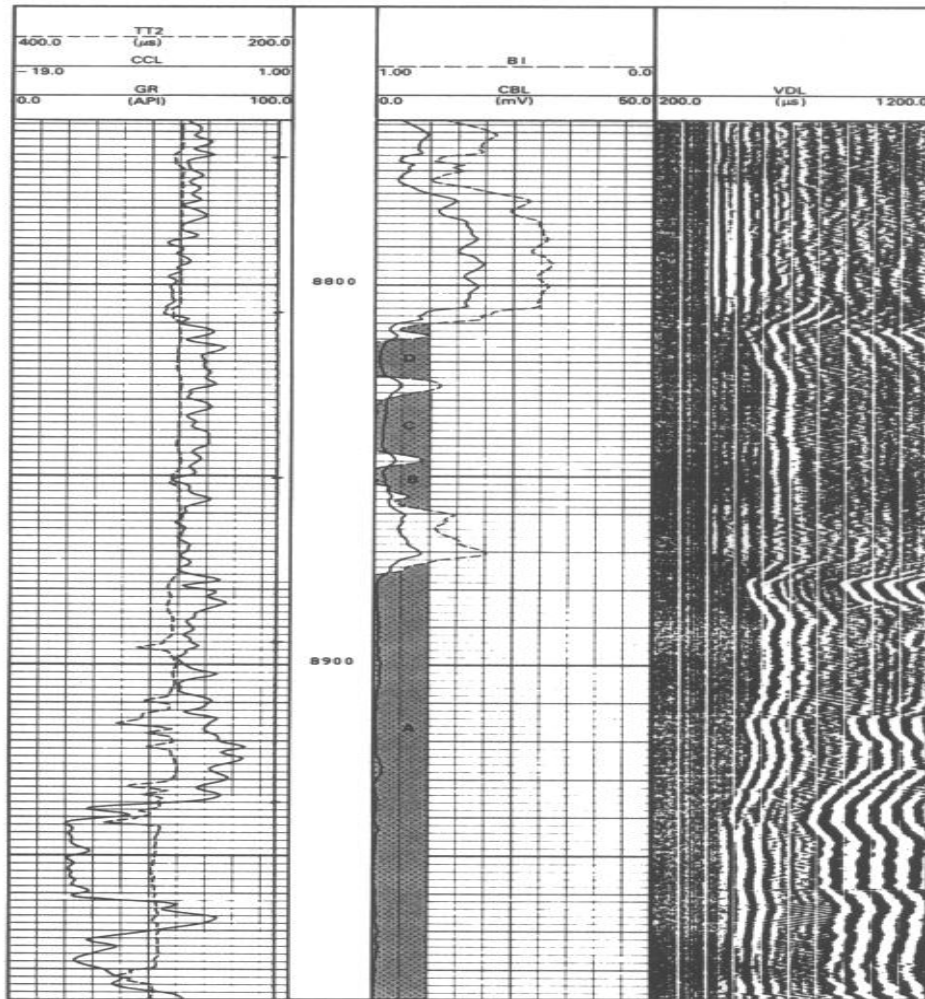
Transit Time Measurement



# Cement minőség szelv. 2.



# Cement minőség szelv. 3.



CBL-VDL log with Bond Index

Cement hiány esetén a bélészső mögötti „kommunikáció” lehet a rétegek között (átfejtődés).

Ha kicsi az első beérkezés amplitúdója és reflexiót kapunk mind a cső-cement és cement-kőzet határfelületekről, akkor jó a cementkötés minősége.

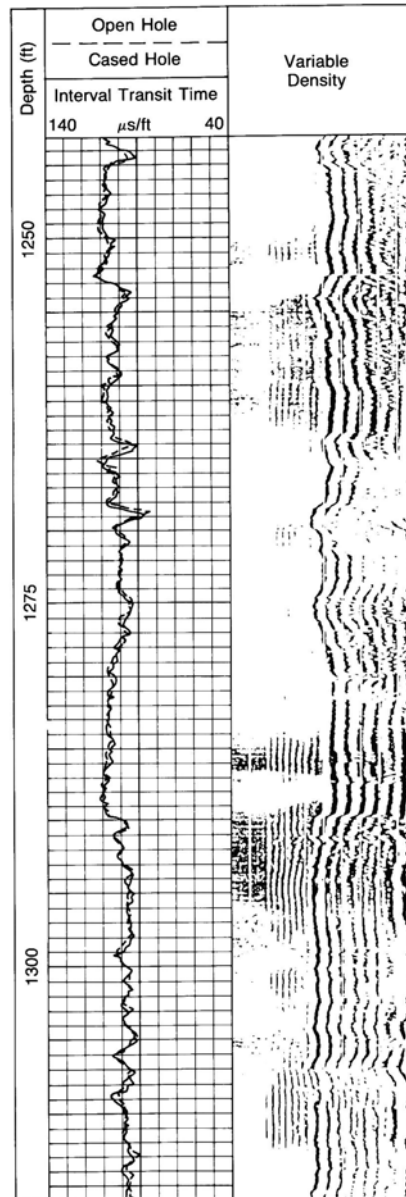


Fig. 3-16—Comparison of openhole and cased hole sonic logs with a VDL display of the acoustic waveforms

## SZÓNIKUS SZELVÉNY NYITOTT ÉS BÉLÉSCSÖVEZETT FÚRÁSBAN

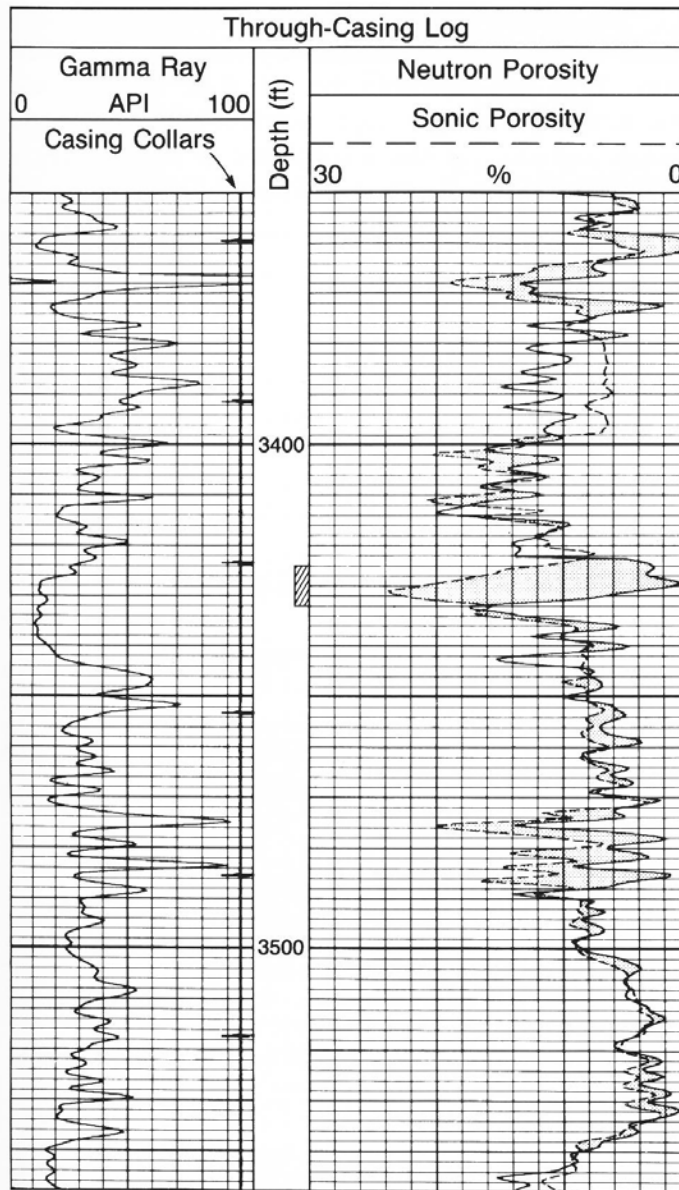


Fig. 3-17—Cased hole sonic and CNL logs showing an 8-ft thick gas zone

BÉLÉSCSÖVEZETT  
FÚRÁSBAN SZÓNÍKUS és  
NEUTRON POROZITÁS  
SZELVÉNY

- **A neutron élettartam szelvényezés (TDT)** során azt használják ki, hogy a termikus neutronok sűrűségének (térfogategységre vonatkozó számának) időbeli változása függ az abszorbeáló elemek koncentrációjától. CI-ban gazdagabb környezetben sokkal kisebb a termikus neutronok felezési ideje (azaz rövidebb idő alatt befogódnak, rövidebb az élettartamuk) mint ettől eltérő földtani környezetben. A neutron generátor periódikus gerjesztését követően a tér egy pontjában a termikus neutronok száma időben exponenciálisan csökken, és a csökkenés mértékét a környezet makroszkópikus neutronbefogási hatáskeresztmetszete határozza meg (ha a neutron befogás lenne az egyedüli folyamat, akkor ez reális közelítés, a termikus neutronok diffúziója miatt ez csak egy durvább közelítés a csökkenés mértékére). A termikus neutronok mennyiségi változását vagy a termikus neutronok vagy pedig a befogásuk során keletkező gamma fotonok időbeli detektálásával vizsgálják a neutrongenerátor impulzusai közti szünetekben.. Mivel a CI-nak nagy a neutron befogási hatáskeresztmetszete, ezért az olajtartalmú rétegek jól megkülönböztethetők a rétegvíz tartalmú formációktól.



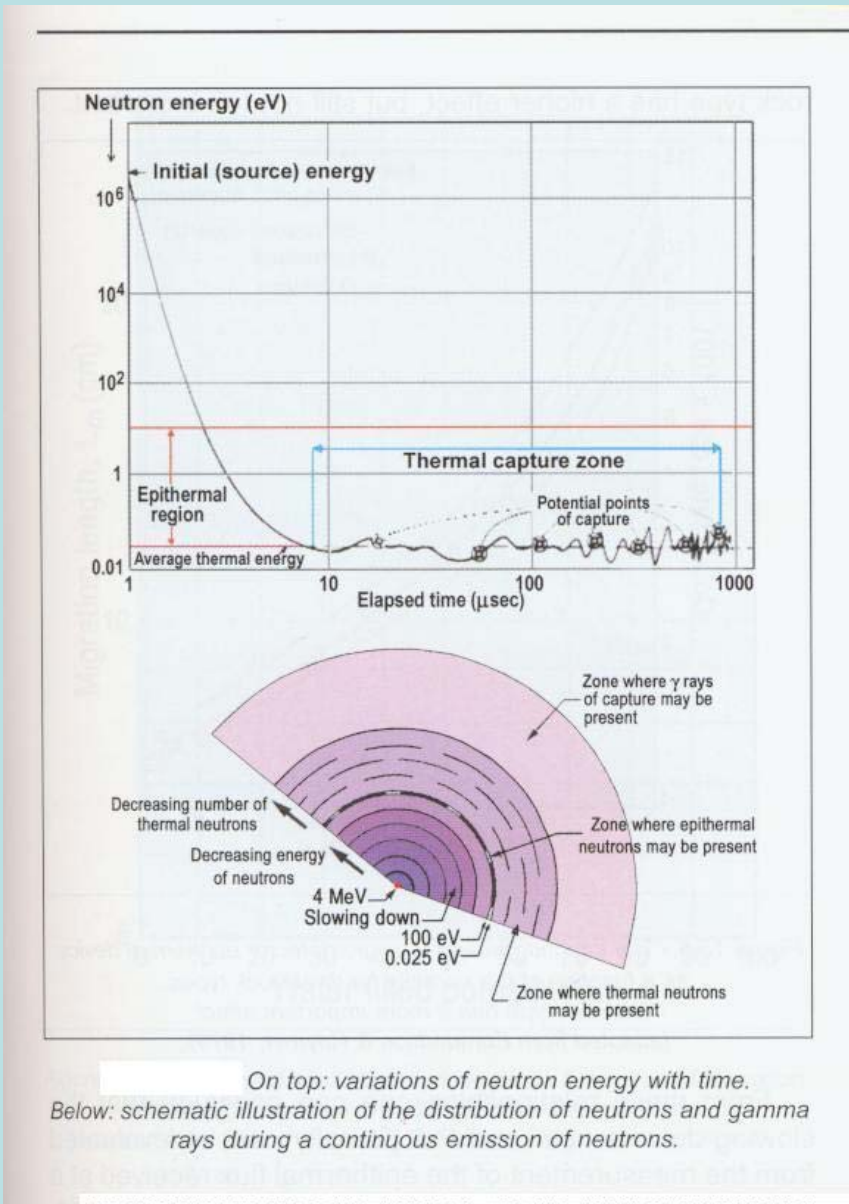
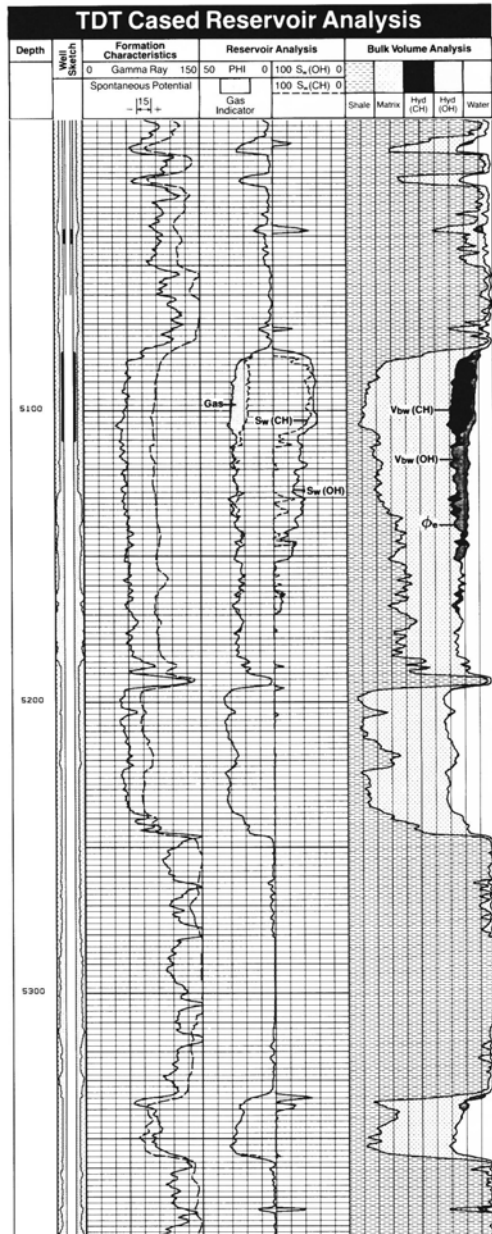


Fig. 3-38—TDT Cased Reservoir Analysis Log

## *indukált gamma spektroszkópia (GST)*

a neutron és az atommag különböző kölcsönhatásai (ezek közül korábban hármat ismertettünk) miatt az atommagokból a rájuk jellemző, különböző energiájú gamma sugárzás emittálódik, és a spektrális vizsgálat alapján lehet következtetni az őt létrehozó elem gyakoriságára. A gyors neutronok és az atommag kölcsönhatásai közül indukált gamma sugárzás keletkezhet a rugalmatlan ütközés, atommag átalakulás és neutron aktiváció esetén. Az alacsony energiájú neutronoknál a termikus neutron-befogás révén mérhető indukált gamma spektrum. A modern indukált gamma spektroszkópiai mérésekkel elem arányokat adnak meg, (többek között C/O, Cl/H ), melyekből többek között litológiára, CH rezervoár termelvény összetételének időbeli alakulására lehet következtetni.

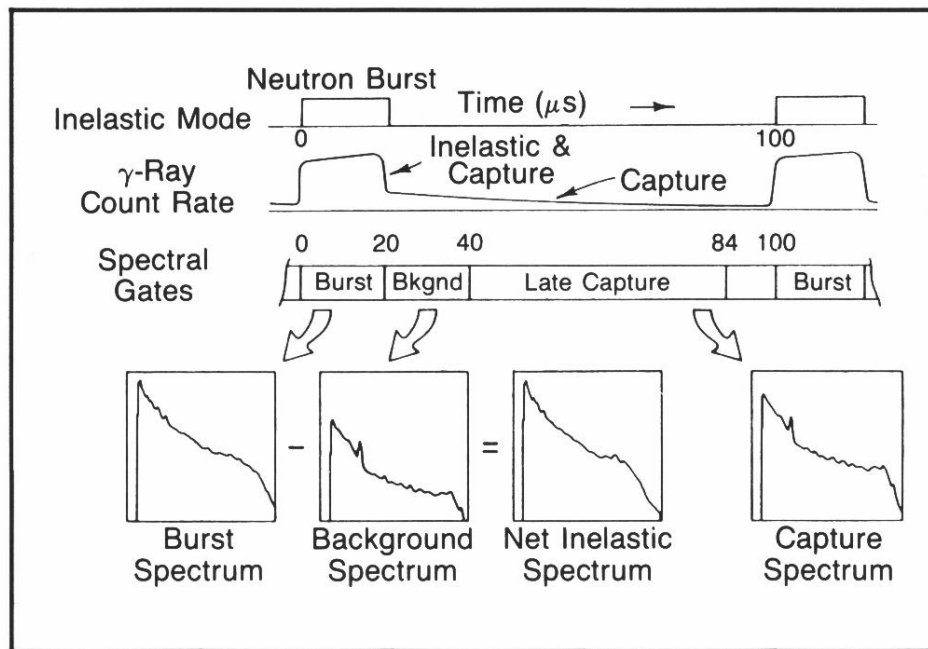


Fig. 3-41—GST inelastic mode timing program

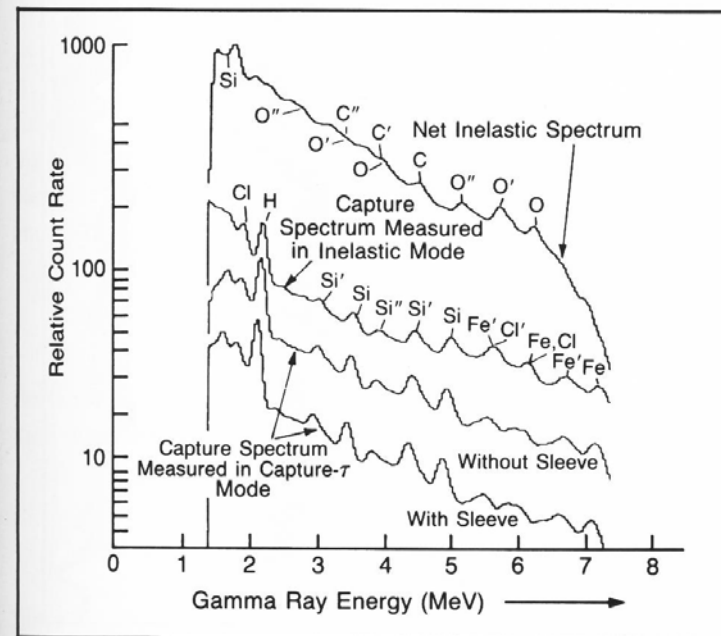


Fig. 3-42—Inelastic and capture spectra measured in laboratory formation

<b>C</b>	= Hydrocarbons, Limestone ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )
<b>H</b>	= Water ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Clays, Hydrocarbons
<b>Ca</b>	= Limestone ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ )
<b>Si</b>	= Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), Clays, Silts
<b>Cl</b>	= Chloride Salts ( $\text{NaCl}$ )
<b>S</b>	= Sulphur (S), Anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), Pyrite ( $\text{FeS}_2$ )
<b>Fe</b>	= Pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), Clays

Yield Ratio	Interaction	Name	Label
C/O	Inelastic	Carbon-Oxygen Ratio	COR
Cl/H	Capture	Salinity-Indicator Ratio	SIR
H/(Si + Ca)	Capture	Porosity-Indicator Ratio	PIR
Fe/(Si + Ca)	Capture	Iron-Indicator Ratio	IIR
Si/(Si + Ca)	Capture & Inelastic	Lithology-Indicator Ratio	LIR

Table 3-8—GST logging curves presented

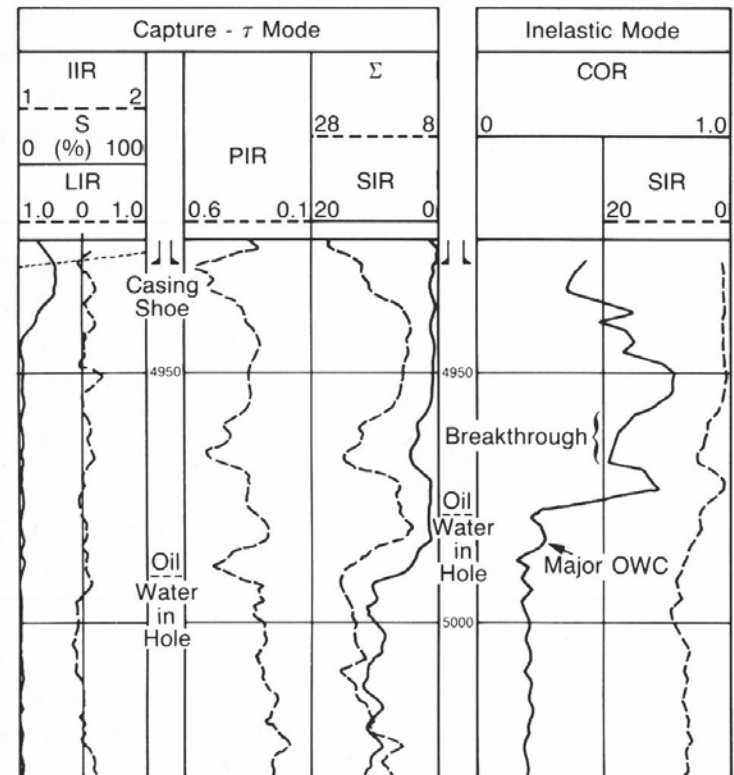
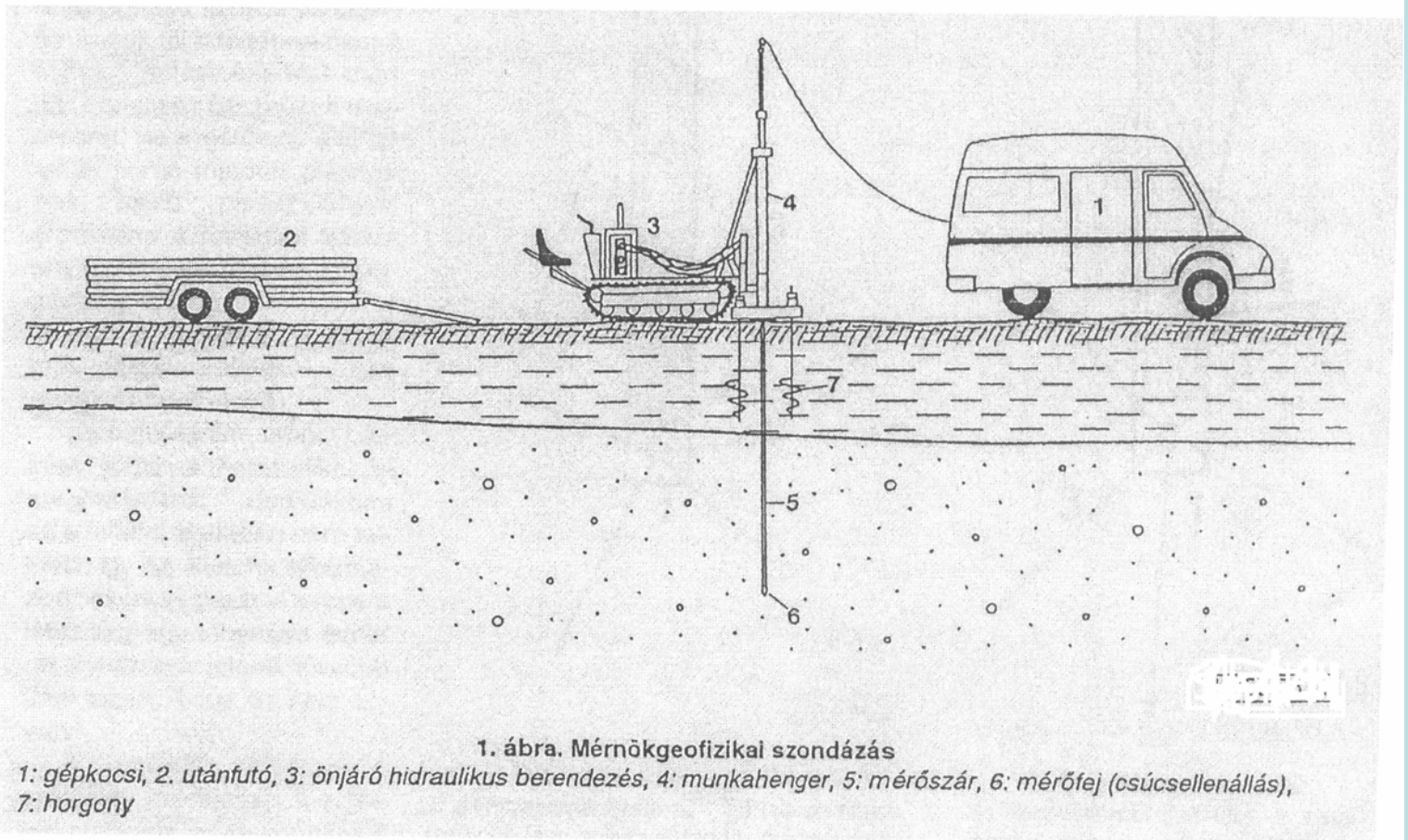


Fig. 3-43—Continuous capture logging and stationary inelastic logging in a clean carbonate reservoir



1. ábra. Mérnökgeofizikai szondázás

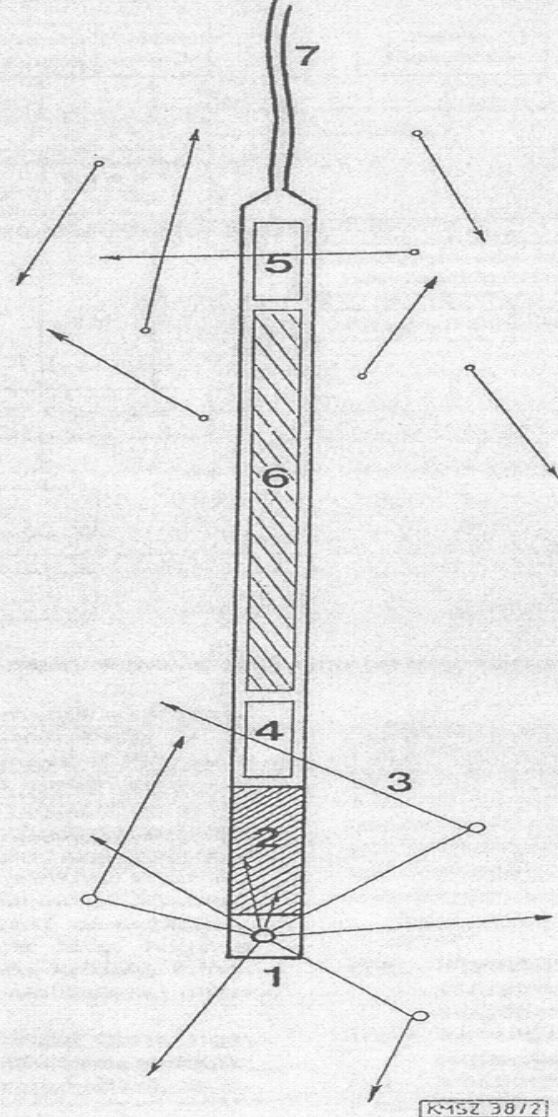
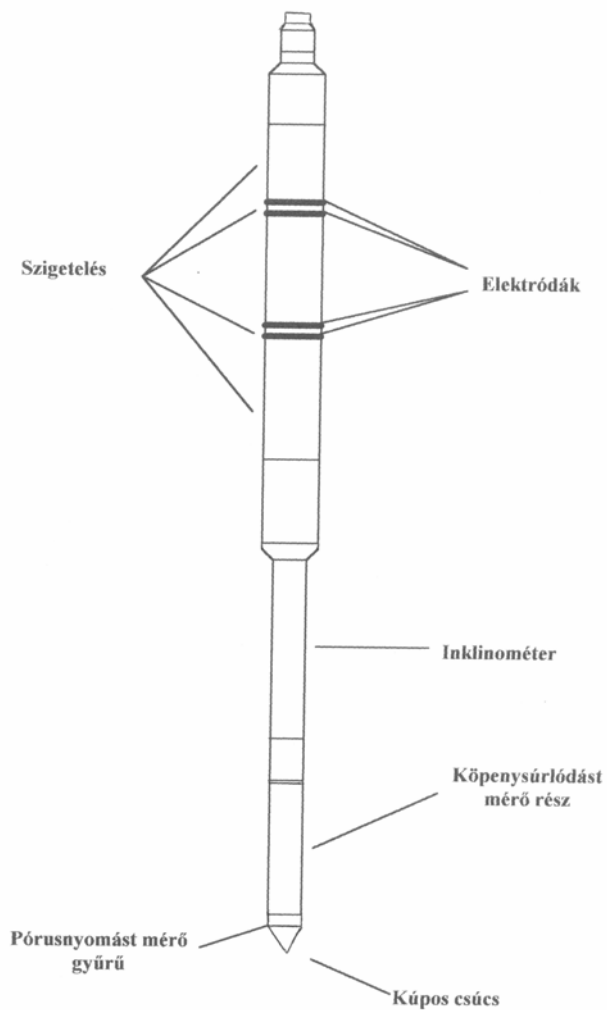
1: gépkocsi, 2: utánfutó, 3: önjáró hidraulikus berendezés, 4: munkahenger, 5: mérőszár, 6: mérőfej (csúcsellenállás), 7: horgony

**NYOMÁS** méréssel kapcsolatos paraméterek: csúcsnyomás, palástsúrlódás

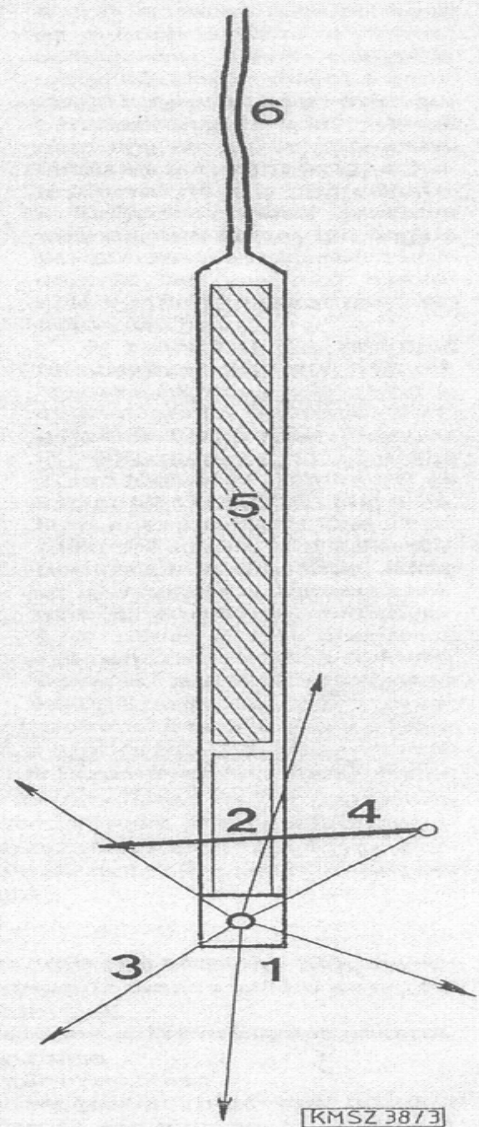
**RADIOAKTÍV:** term. gamma, gamma-gamma, neutron-neutron

**FAJL. ELLENÁLLÁS, SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ**

**KEZDET BEN CPT: Cone Penetration Test, csak mechanikai paraméterek mérése**



**2. ábra. Kétdetektoros gamma-szonda**  
 1: gámma sugárforrás ( $C^{137}$ ), 2: ólom árnyékolás, 3: egy atommal történt ütközés után irányt változtató gámma-foton, 4: gámma-gamma detektor, 5: term.-gamma detektor, 6: szondaelektronika, 7: kábel



**3. ábra. Neutronszonda**  
 1: neutronforrás (Am-Be), 2: neutrondetektor, 3: gyors neutron, 4: hidrogén atommal történt ütközés során energiát veszített lassú neutron, 5: szondaelektronika, 6: kábel