

**PETHŐ GÁBOR, VASS PÉTER,**

# **GEOFIZIKA ALAPJAI**

# 11



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a  
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

---

## XI. FÚRÓLYUK GEOFIZIKA

---

### 1. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Az első fizikai paraméter, melyet fúrólyukban mértek, a hőmérséklet volt. A méréseket angliai vízkutató fúrásban **Kelvin** (1846) és Magyarországon (Városliget I. fúrás) **Zsigmondi Vilmos** (1870) végezte. Az első szelvények nem folyamatosan regisztrálás mellett születtek, hanem a mélységpontonként mért adatokból számították és a mélység függvényében ábrázolták.

Az első "hőmérséklet szelvény" felvétele **Hallock** (1897), az első fajlagos ellenállás szelvényé pedig **Doll** (1927) érdeme. Az utóbbtól szokták számítani a fúrólyuk szelvényezés történetének kezdetét. Erre a mérésre – a **Schlumberger** testvérek módszeréből kifejlesztett műszerrel – a franciaországi Pechelbronn olajmezőn került sor. A PS szelvényezést 1931-ben a kőolajkutatásban vezették be.

Ezt követően (még a 30-as évek első felében) fejlesztenek ki különböző behatolással jellemezhető fajlagos ellenállás mérő szonda kombinációkat. Magyarországon 1935-ben a Görgeteg-1. sz. fúrásban végeztek geofizikai szelvényezést: PS mérés mellett a rövid potenciál szondával mért látszólagos fajlagos ellenállást logaritmus skálán regisztrálták, a mérés 1985m mélységből indult.

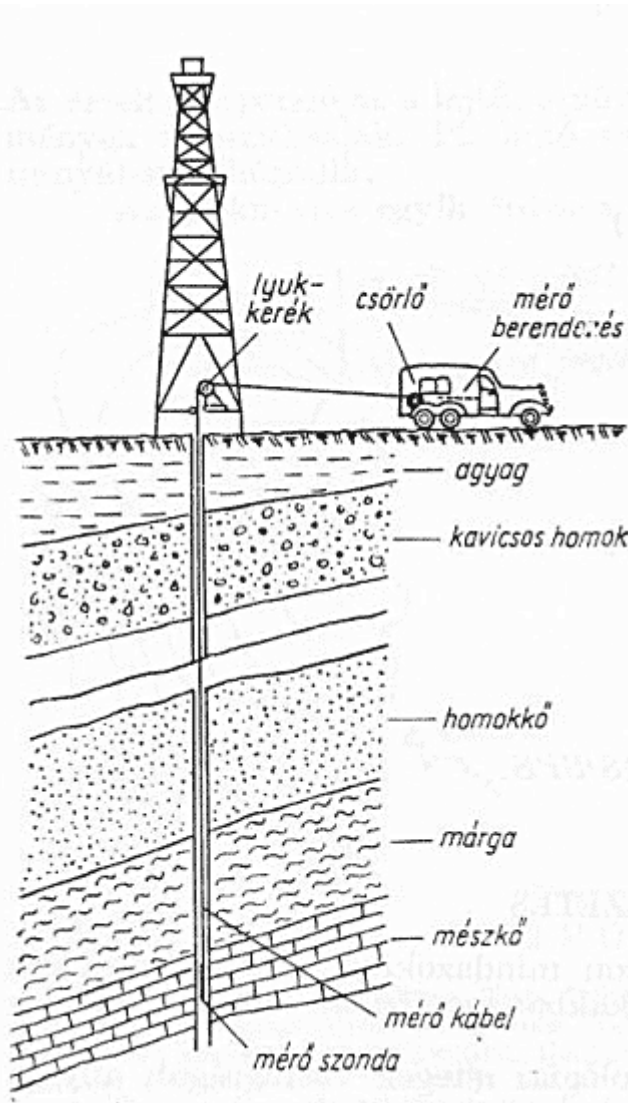
A természetes gamma szelvényezést **Gorskov** és **Kurbatov** (1937) fejlesztette ki. A neutron-gamma szelvényezés módszerét **Pontecorvo** (1941) dolgozta ki. A mikroszondát a második világháborút követően vezették be (Schlumberger, 1948). 1950-ben az irányított áramterű fajlagos ellenállás és a gamma-gamma sűrűség méréssel bővült a szelvényezési választék.

Az akusztikus szelvényezés bevezetésére ezt követően került sor (**Summers** és **Broding**, 1951). Az ötvenes évek második felében (1957) a termelés geofizikai szondapark jelentős bővülésen ment át. 1964 és 1970 között vezették be a neutron élettartam, továbbá a lyukátmérő változásra kompenzált neutron és sűrűség szelvényezési eljárásokat. **Zemanek** és társai fejlesztették ki az akusztikus módszeren alapuló, lyukfal televíziós szelvényezési eljárást (1969).

A 70-es évek végén jelentek meg az indukált gamma spektroszkópia és a nukleáris mágneses rezonancia első műszerfejlesztései. A kábeles geofizikai méréseknél ki kell emelni a nagy nyomású és magas hőmérsékleti feltételek melletti mérések kivitelezhetőségét lehetővé tevő fejlesztéseket és a szelvényezési idő lerövidülését eredményező szondavonatok alkalmazását. A mélyfúrású geofizikának új fejezetét jelenti a fúrás közbeni (geofizikai) szelvényezés. Az új eljáráshoz kapcsolódó első szabadalom **Karcher** (1932) nevéhez fűződik, azonban az első LWD mérésekre csak a 70-es években került sor. A 90-es években viszont a legtöbb mérést, amit hagyományosan végeztek el, már fúrás közben is kivitelezni tudtak (kivéve a leképezési eljárásokat).

### 2. LYUKSZELVÉNYEZŐ (KAROTÁZS) MÉRŐRENDSZER FŐBB JELLEMZŐI

A módszer francia (*carottage*) elnevezése arra utal, hogy a fúrólyukbeli geofizikai mérésekkel a - lényegesen költségesebb - magmintavételt helyettesíteni lehet. Az in-situ geofizikai mérések során a kőzetet a ténylegesen jellemző nyomás és hőmérsékleti viszonyok között vizsgálják, ellentétben a legtöbb, laboratóriumi kőzetfizikai méréssel. A szelvényezési eljárásnál általában nagyobb kőzettérfogatról kapnak információt mint a laboratóriumi mérések során. A hagyományos kábeles lyukgeofizikai méréseket iszapöblítéssel mélyített fúrólyukban végzik el és a fúrószerszám kiépítését követően a fúróiszap benne van a fúrólyukban. A **11.1. ábra** egy nyitott fúrásban elvégzett lyukgeofizikai (karotázs) mérést szemléltet. A mérőrendszer három fő részből áll: szonda, karotázs kábel, felszíni egység.



11.1. ábra: Hagományos kábeles szelvényező rendszer főbb elemei [1]

A szonda érzékeli a vizsgált kőzetfizikai paraméter mélység szerinti változását a lyukeszköz állandó sebességű felfelé haladása (csörlővel való vontatása) közben. A szondában a mérés jellegének megfelelő érzékelő van, a mért fizikai paraméter felerősített elektromos jelként kerül a kábelén keresztül a felszíni feldolgozó egységbe. A kábel egy vagy több eres, kívül páncélozott, megfelelő teherbírású szigetelt kábel, melynek mechanikai és jelátviteli funkciója egyaránt van. A műszer kocsiában a szonda és a regisztráló működtetéséhez szükséges tápegységek, a szondák kezelőegységei és a szondák által mért adatok feldolgozását biztosító egységek találhatóak. A sekély mélységű fúrások szelvényezésétől eltekintve a műszer kocsiában van a kábeldob, melyet a gépjármű motorja hajt meg. A dob és a motor között lévő sebességváltó segítségével a szonda a mérendő fizikai paraméter által megkívánt sebességgel húzható fel. A mérés fontos része a mélység helyes regisztrálást biztosító mélységmérő rendszer, mely szintén a műszer kocsiában található. A mérést szinte kizárólag felfelé húzás közben végzik el, mert a feszes kábel a mélység helyes mérésnek feltétele. A mai méréseket digitális mérés és jelfeldolgozás jellemzi. Az egyeres kábeles mérések leggyakrabban a CH termelés-geofizikai vizsgálatoknál használatosak. 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 fúrószárba beépített érzékelőegységet, és a cirkuláló fúróiszap nyomásváltozását az érzékelőegység által mért fizikai paraméterekkel modulálják. A felszínen elhelyezett nyomásmérő segítségével (demodulációval) a mért fizikai paraméterek meghatározhatók.



INTERNETES KITEKINTÉS

Lásd pl. <http://www.spec2000.net/08-lwd.htm>

### 3. SZELVÉNYEZÉSI ELJÁRÁSOK VÁLTOZATOSSÁGA ÉS FELHASZNÁLHATÓSÁGA

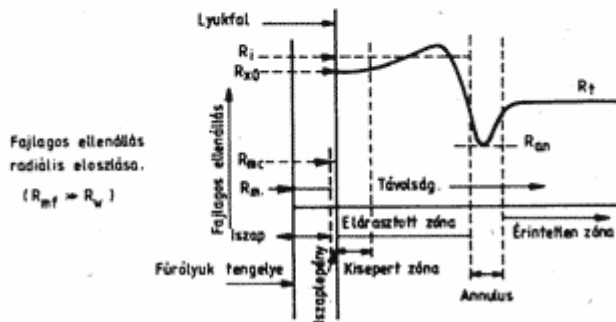
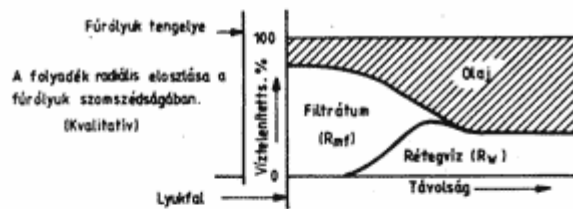
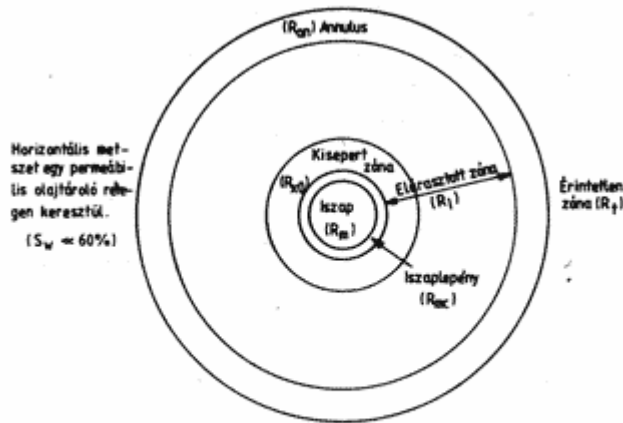
Mindig a kutatási feladattól függő szelvényezési eljárásokat kell megválasztani a gazdaságossági szempontok figyelembe vétele mellett. A vízkutató fúrásokban elvégzett mérések (hagyományos fajlagos ellenállás mérés több szondával, természetes potenciál, természetes gamma, lyukbőség esetleg neutron és gamma-gamma porozitás) együttese emlékeztet a CH kutatásban használatos szelvény komplexumhoz, azonban általában nem olyan széles szelvényválasztékot alkalmaznak. A vízkutatásban a minimális feladat a víztároló rétegek kimutatása, mélységük és vastagságuk meghatározása. További feladat a porozitás, permeabilitás, agyagosság, hőmérséklet és a rétegvizek sótartalmának a megadása. A CH kutatásban a cél a CH tároló formáció kimutatása, mélységük és vastagságuk meghatározását követően a kitermelhető CH mennyiségének becslése. Ennek érdekében tudnunk kell a víz és CH telítettség viszonyokat is a porozitás, permeabilitás, agyagosság és a rétegvizek sótartalmának ismerete mellett. A cementezés előtt a fúrómérnök a lyukátmérő mélységszerinti változása alapján határozza meg a gyűrűstérbe (béléscső és lyukfal közötti tértartományba) injektálandó cement mennyiségét. A termelőmérnök számára fontos a CH tárolónak minősített formáció megnyitásának gazdaságossága, és a megnyitást (perforálást) követően a termelvény in-situ összetételének nyomon követése. Emiatt nagyon sokfajta mérést végeznek el a CH kutatáshoz kapcsolódóan kezdetben nyitott, majd béléscsővezetett fúrásokban, végül termelő kútban. A geológus valamennyi szelvényből nyerhet földtani információt, azonban a litológiai szelvények, az akusztikus imaging továbbá a rétegdőlés-szelvényezés számára különösen hasznos. A szénkutató fúrásokban kiemelkedő fontosságú a gamma-gamma (a szenek kis sűrűség értékkel jellemezhető), a bauxit kutatás során a neutron aktivációs (az Al tartalom meghatározása céljából), vasérc kutatásakor a mágneses szuszceptibilitás, hintett ércesedések esetén pedig a gerjesztett polarizációs szelvényezés. A mérnökgeofizikai szondázás a nyomó (statikus) szondázásból fejlődött ki, mely a felszín közeli lazább képződményekből felépülő tértartomány geotechnikai, környezetfizikai és geofizikai jellemzésére alkalmas. Előnye a jó vertikális felbontás és az, hogy a módszer kivitelezéséből adódóan nincs elárasztott zóna. A szelvényezési eljárások közös jellemzője, hogy a mért (közet)fizikai paraméter egy-két esettől eltekintve közvetlenül nem ad választ a fent említett kérdésekre, hanem további összefüggések (pl. válaszgyenletek, máskor összetett modellezések révén született formulák, ezeket alkalmazó inverziós eljárások) használata szükséges a felhasználói igény kielégítésére. A szelvényezési eljárások fizikai alapjait és a belőlük nyerhető információkat ismerteti **Takács** (1987) és még részletesebben **Csókás** (1993).

Az egymástól nem jelentős távolságra lévő kutak rétegsorai a geofizikai szelvények alapján korrelálhatók, a fúrási szelvényekből nyert mélység, rétegvastagság és közetfizikai adatok a korábbi felszíni geofizikai mérések értelmezésébe visszacsatolható. Ez utóbbi akár a felszíni geofizikai mérések újra értelmezését is eredményezheti. Azt is megjegyezzük, hogy a fúrások rétegsorának geofizikai szelvények alapján történő korrelációjakor az interpoláció során figyelembe kell venni a felszíni geofizikai eredményeket (pl. az utóbbi alapján adható meg a vető helye, vagy zárható ki annak jelenléte), másrészt a kettő (felszíni és fúrási geofizika) együttes alkalmazásával a fúrásokon túli tértartományra az extrapoláció pontosítható.

#### 4. A FÚRÁS ÉS KÖZVETLEN KÖRNYEZETE SZELVÉNYEZÉSI SZEMPONTBÓL

A fúrásokat iszapöblítéssel mélyítik le, és fúrás közben az iszap hidrosztatikus nyomását nagyobb értéken tartják mint amilyen a várható rétegyomás. Ennek megfelelően, ha a fúrás porózus, permeábilis képződményt (pl. homokot, homokkővet) harántol, akkor az iszap egy része – az iszapfiltrátum – behatol az ilyen rétegbe, ellentétben az impermeábilis képződményekkel (pl. agyag). Az iszap szilárd szemcséi ugyanakkor iszaplepenyét képeznek a porózus rétegek esetén a fúróluk falán. Az iszapfiltrátum elárasztja a porózus rétegek lyukfalhoz közeleső részeit. Az elárasztott zóna lyukfalhoz közelebb lévő részét, ahol az eredeti rétegfolyadékából csupán a nem mobilis, kötött fluidum található, kisépért zónának nevezzük. Az elárasztott zóna további része, ahol az iszapfiltrátum és az eredeti rétegfolyadék együtt van jelen, a kevert zóna. A **11.2. ábra** a permeábilis réteg esetén kialakuló zónákat -melyek sugárirányban kifelé haladva a fúróiszapot követően az iszaplepeny, az elárasztott (kisépért és kevert) zóna, annulus (ha CH tároló a réteg), végül az érintetlen zóna- tünteti fel.

A szelvényértelmező feladata az érintetlen zóna jellemzése, azonban minél nagyobb a fúrás túlbiztosítása (minél nagyobb a fúróiszap sűrűsége a kiegyensúlyozott állapothoz képest), annál mélyebb az elárasztás, így annál kevesebbet "látnak" a különböző közetfizikai paramétert érzékelő szondák az érintetlen zónából. A **11.2. ábra** egy nagyobb olajteltettségű rétegre a zónák hengersizmetrikus (vízszintes) metszetét mutatja felül, a szaturációs viszonyok radiális változását középen, és a fajlagos ellenállás ( $R$ ) radiális eloszlását alul. Az ábrán a fajlagos ellenállás  $m$  (mud) indexe a fúróiszapra, az  $mc$  (mudcake) az iszaplepenyre,  $x0$  a kisépért,  $i$  (invasion) az elárasztott,  $t$  (true) az érintetlen zónára vonatkozik. A fajlagos ellenállás radiális eloszlása jól láthatóan függ a szaturációs viszonyoktól és az egyes fluidumok fajlagos ellenállásától. A **11.2. ábrán** bemutatott esetben az iszapfiltrátum fajlagos ellenállása ( $R_{mf}$ ) nagyobb, mint a rétegvízé ( $R_w$ ).



11.2. ábra: Olajtároló réteg zónái és azok fajlagos ellenállása [11]

## 5. FONTOSABB SZELVÉNYEZÉSI ELJÁRÁSOK

A szelvényezési eljárásokat többféleképpen lehet csoportosítani, pl. aszerint, hogy nyitott vagy bélésű (és termelő) kútban végezték-e a mérést, vagy a mérés jellege szerint (pl. elektromos, elektromágneses, akusztikus, nukleáris, hőmérséklet, stb. szelvényezés), esetleg a kutatás célkitűzése alapján (CH-, víz-, érc-, szénkutatás stb.). Tekintettel arra, hogy a nyitott fúrásokban elvégezhető mérésekre helyezzük a hangsúlyt, ezért a nyitott fúrások esetében szokásos csoportosítás alapján ismertetjük a szelvényezési módszereket. Ebben az alfejezetben először a fontosabb litológiai, porozitáskövető, folyadéktelítettség meghatározását lehetővé tevő, végül a fontosabb egyéb és technikai jellegű méréseket foglaljuk össze.

### Litológiai szelvények

A **PS szelvényt** és a természetes gamma szelvényt tartják a két legfontosabb litológiai szelvénynek. Előbbi mérést csak nyitott, utóbbit nyitott és bélésű fúrólukban is el lehet végezni. Egy, a mozgó szondán lévő ólom elektróda és az iszapgödörbe tett, vagy a felszínen fémes földeléssel állandó helyen tartott, elektróda között a mélység függvényében felfelé húzás közben regisztrált feszültségkülönbséget nevezük PS (vagy SP) szelvénynek. Az SP rövidítés az angol *Spontaneous Potential*, a PS pedig a francia *Potentiel Spontané* – magyarul **természetes potenciál** jelentésű – szókapcsolat szavainak kezdőbetűiből áll. A fúróiszap és a harántolt permeábilis és impermeábilis rétegek kölcsönhatása miatt elektrokémiai és elektrokinetikai potenciálok hatására a **11.3. ábrán** látható áramok jönnek létre, melyek az iszaposzlopban is mérhetők. Az egyszerűség kedvéért mind a fúróiszapban, mind a rétegvízben csupán nátrium és klór ionokat tételezzünk fel. A legfontosabb potenciálok, melyek elektromosan töltött részecskék (ionok) elmozdulását eredményezik a következők:

Az **elektrokémiai potenciál** ( $E$ ), mely a membrán és a diffúziós potenciál összege. A membrán potenciál ( $E$ ) 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 ( $E_d$ ) 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 következik be. A két (a membrán és a diffúziós) potenciál ellentétes előjelű, Nernst potenciáloknak nevezzük őket. Mind a kettő a pórusvíz ( $R_w$ ) és iszapfiltrátum fajlagos ellenállása ( $R_{mf}$ ) - vagy az ionkoncentrációk - arányában adható meg, értéke:

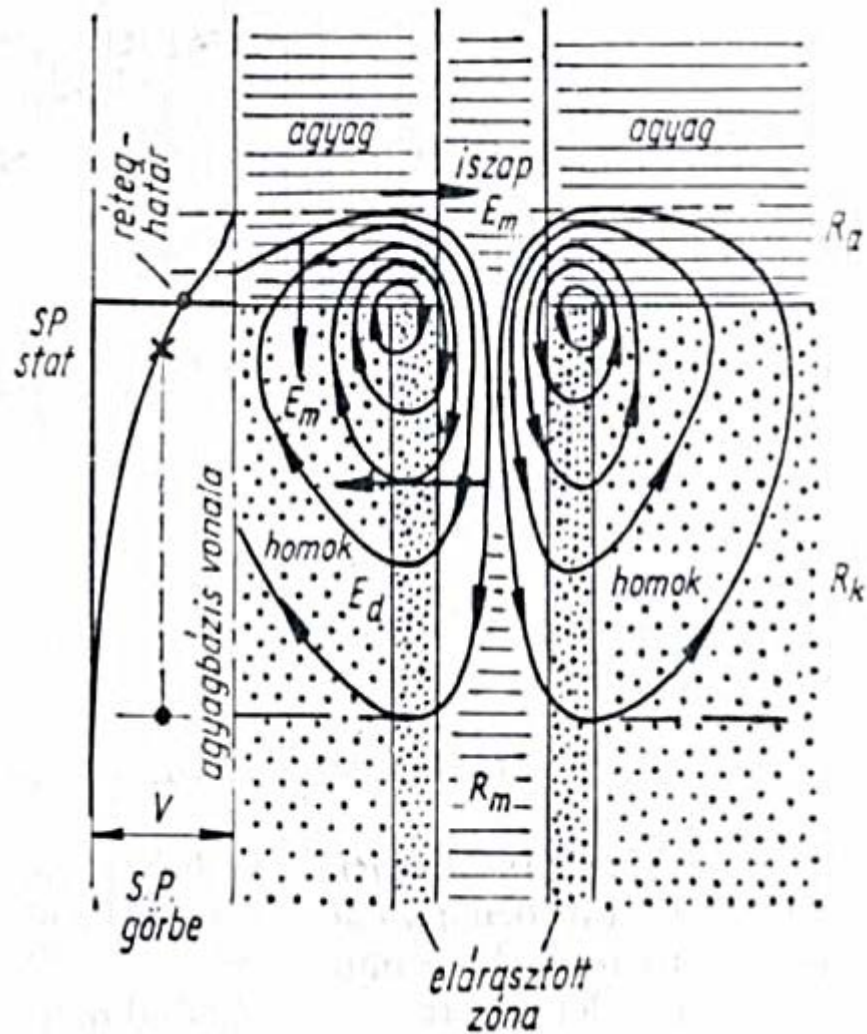
$$E_c = E_d - E_m = -K \log \frac{R_{mf}}{R_w}$$

ahol  $K$  a hőmérséklettől függő állandó.

Az *elektrokinetikus potenciál* ( $E_s$ ) legnagyobb mértékben az iszapleplenyen nyomáskülönbség hatására alakul ki, az iszapfiltrátum áramlása miatt jön létre, értéke kisebb mint az elektrokémiaié (még kisebb mértékben elektrokinetikus potenciál kialakul az agyag és a permeábilis formáció esetében is). Az elektromotoros erők eredőjét  $E_c + E_s = E$  - vel jelölve írható az SP mérés ekvivalens áramkörére, hogy

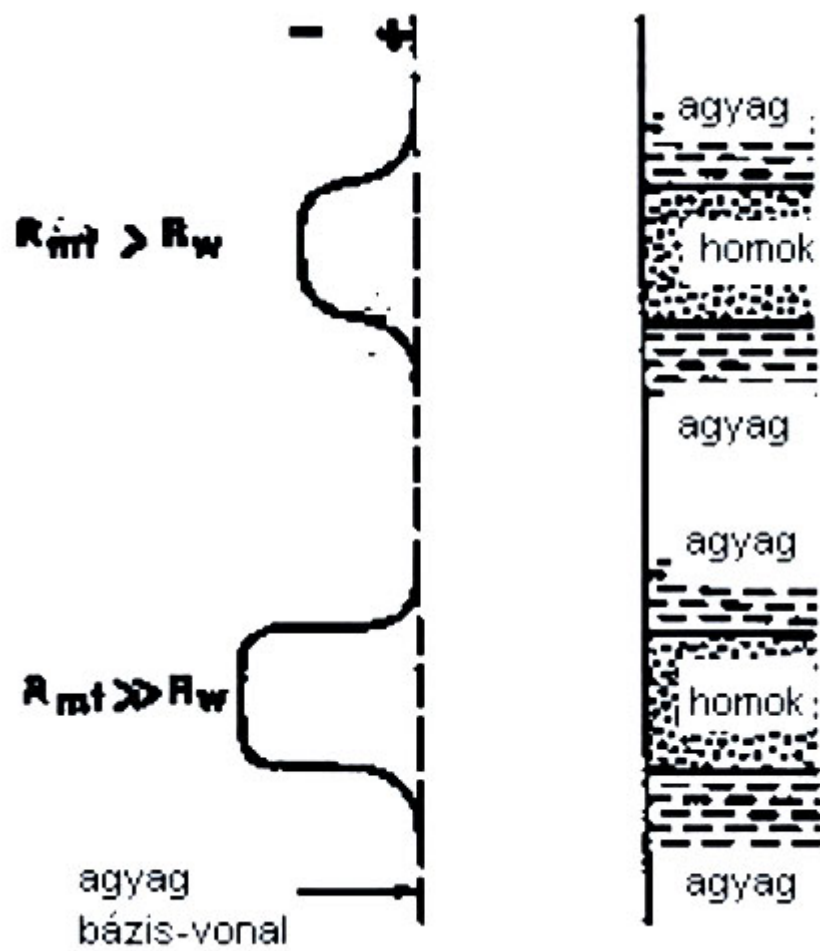
$$E = i(R_m + R_{mc} + R_k + R_a)$$

Ahol az egyes tértartományokat helyettesítő ellenállásokat  $R$ -el jelöltük, és alsó indexei az iszap (m)-, iszaplepleny (mc)-, kavics (k)-, agyag (a)-ra vonatkoznak. A **11.3. ábrán** az iszaplepleny és az azon létrejövő elektrokinetikus potenciál nem szerepel, de jól szemlélteti a fenti egyenlet bal oldalán szereplő elektromotoros erők eredőjeként kialakuló, a kontaktusban lévő zónák ellenállásától függő kis mértékű természetes áramfolyás kialakulását. A PS mérés során a **11.3. ábrán** a két szaggatott vonal között az  $iR_m$  feszültségkülönbség mérhető. A PS szelvény felhasználható a réteghatár kijelölésére, ha az iszapfiltrátum és a rétegvíz koncentrációja között számottevő különbség van. A fúrólukban mért feszültségváltozás a legnagyobb áramsűrűség változást mutató helyen a legnagyobb, azaz a PS szelvény inflexiós pontjai feleltethetők meg a réteghatároknak.



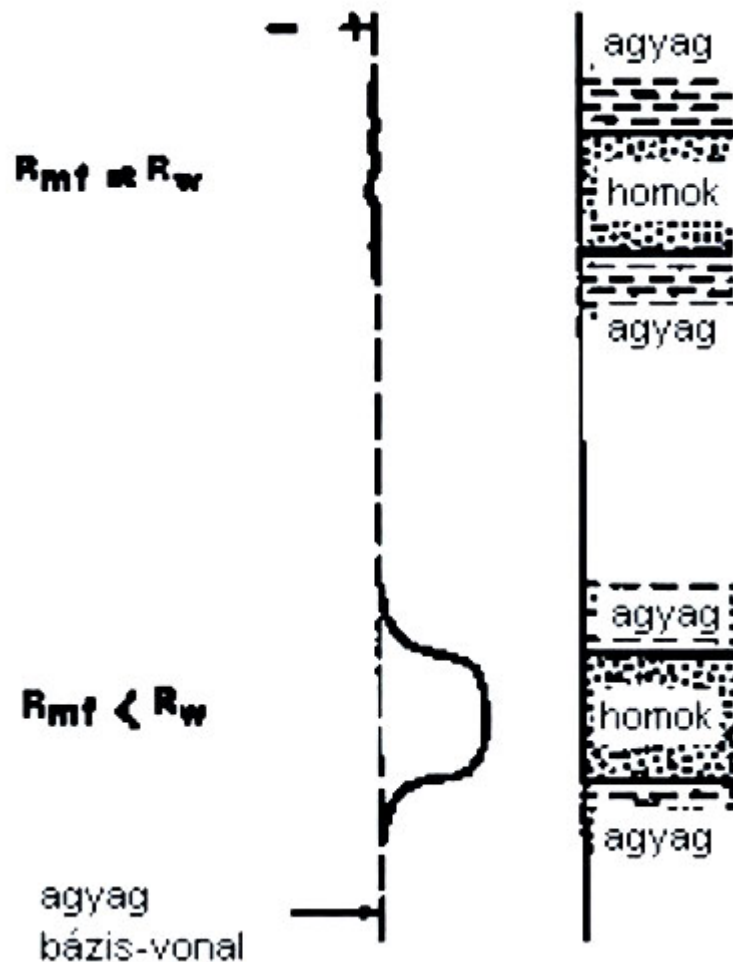
11.3. ábra: PS-áramok kialakulása fúrólukban agyag-homok réteghatárnál [iii]

A homok-agyag rétegsorban a közel állandó kémiai összetételű agyagokkal szemben a kitérések egy egyenessel köthetők össze, mely egyenes az agyag bázis-vonal. A PS szelvény értelmezésekor a kitéréseket (az anomáliákat) az agyag bázis-vonalhoz viszonyítják. Egy másik vonallal köthető össze a tiszta (azaz agyagmentes), nagy vastagságú homokokkal szemben kialakuló PS kitérések, mely vonal a homokvonal. Nagy mélység intervallumú szakasz szelvényezése során a két vonal átmetszheti egymást, aminek az az oka, hogy a felsőbb szakaszokon az iszapfiltrátum nagyobb ionkoncentrációjú mint a rétegvíz, ugyanakkor nagyobb mélységben a rétegvíz nagyobb ionkoncentrációjú mint az iszap. Amikor az iszapfiltrátum nagyobb fajlagos ellenállású mint a rétegvíz, normál PS alakul ki. Ez az eset látható a 11.4. ábrán, míg az ezzel ellentétes, a fordított PS esete az 11.5. ábra alsó részén látható. Ha a rétegvíz és az iszapfiltrátum azonos koncentrációjú, akkor nem alakul ki PS anomália, és csupán a PS szelvény alapján nem lehet elkülöníteni a rétegeket egymástól. A PS anomália függ a réteg agyagtartalmától is. Az agyag bázis-vonal és homokvonal közti kitérések a homokbeli agyagtartalommal arányosak. Minél vastagabb az agyagmentes réteg, annál inkább kialakul a réteg középvonalában a statikus SP anomália.



11.4. ábra: Normál vagy negatív PS, melyen az agyag bázis-vonalhoz képest a porózus rétegek negatív kitéréssel jelentkeznek





11.5. ábra: Porózus képződménnyel szemben sem jelentkezik PS anomália (felül); fordított PS melyen az agyag bázis-vonalhoz képest a porózus réteg pozitív kitéréssel jelentkezik (alul)

A PS anomália a fentiek alapján több tényezőtől függ (az érintkező fluidumok koncentráció arányától, a réteg vastagságától, agyagtartalmától). A PS szelvény jó eszköz a porózus, permeábilis rétegek impermeábilistól történő elkülönítésére. A PS szelvény segítségével következtetni lehet a rétegvíz fajlagos ellenállására és a réteg agyagosságának mértékére. Egyúttal fúrások közötti jó korrelációs lehetőséget is biztosíthat. Alkalmazhatósága csökken a nem vezető iszapok használata mellett és az ipari zajok növekedésével.

A másik fontos litológiai szelvény a **természetes gamma szelvény**. A radiometriai fejezet részletesen foglalkozott a természetes gamma sugárzás eredetével, így az urán, tórium, kálium szerepére itt most csak utalunk. A felszíni természetes gamma méréshez hasonlóan integrális és spektrális üzemmódot különböztetünk meg. Előbbi esetben elsősorban GM cső, utóbbiban szcintillációs detektor az érzékelő rész. A módszer jól kiegészítheti a PS mérést értelmezés szempontjából. Ha a PS szelvény jó felbontású, akkor legtöbbször nagyon jó a korreláció az integrális term. gamma és a PS szelvény között. Ez akkor teljesül, ha mind a kettő az agyagtartalom változását tükrözi. Más esetben – elég ha a tórium és/vagy urán csupán kis koncentrációban van jelen – korreláció a spektrális kálium természetes gamma és a PS között várható. Használhatatlan PS szelvény esetén az agyagosság meghatározására a természetes gamma szelvény nyújtja az egyedüli lehetőséget. Ha mind a kettő rendelkezésre áll, akkor a két szelvény kombinációja kiváló lehetőséget nyújt az üledékföldtani viszonyok rekonstrukciójára is (pl. **Hurst et al.** 1990, **Hurst et al.** 1992, **Serra** 2003). Ha béléscsővezetett fúrásban ugyanolyan érzékenyséű természetes gamma szondával végzik el a mérést mint nyitottban, akkor az acél béléscsővezetett kútban felvett szelvény kisebb anomáliákkal jelentkezik (a béléscső és a gyűrűstérben lévő cement jobban elnyeli a kőzetből érkező gamma sugárzást mint a korábban ott lévő iszap), de a rétegek azonosítása ilyen körülmények között is jól elvégezhető. Ezt használják fel a rétegnytás során a perforátor mélységhelyes beállításakor, ui. a perforátort a karmantyúlokátor mellett természetes gamma műszerrel együtt engedik le, így lehetőség van a perforálandó szinthez közel eső ismert ponttól a távolság precíz meghatározására. Részletesen erről: **Csókás** (1993).



## Porozitáskövető szelvények

A kőzet porozitáción általában a kőzetben lévő póruster és a teljes kőzet térfogatának az arányát értjük. Ez a meghatározás a teljes porozitásra vonatkozik, amit abszolút porozitásnak is nevezünk. A CH kitermelhetősége szempontjából az effektív porozitás értéke kerül előtérbe. Az effektív porozitás a póruster azon részének és a teljes kőzettérfogatnak a hányadosa, mely póruster csak az egymással összeköttetésben lévő, a folyadék szabad áramlását biztosító rész és a kapilláris erők által kötött folyadék pórustereiből tevődik össze. Geológiai megközelítés szerint megkülönböztetünk elsődleges porozitást, mely a kőzetképződéssel egy időben keletkezik; és másodlagos porozitást, mely a kőzet keletkezését követően másodlagos (kémiai, fizikai) hatások következtében alakul ki; végül vegyes porozitást, mely akkor jelentkezik, ha az előbb említett két porozitás együttesen hozza létre a pórusteret. A mélyfúrás geofizikai porozitáskövető módszerek között három eljárást különböztetünk meg, melyek eredményeként a gamma-gamma, a neutron és a szónikus porozitás értéke adható meg. Mindhárom módszernél első közelítésben egy nagyon egyszerű modellt tételeznek fel: a mért kőzetfizikai paraméter ( $p_{mért}$ ) meghatározható ezen fizikai paraméter pórust kitöltő fluidumra vagy gázra ( $p_{fluid}$ ), és a kőzetvázra jellemző értékének ( $p_{matrix}$ ) az ismeretében, ahol egységnyi térfogatú anyagra vonatkoztatva a mért paraméter kialakításában az első komponens súlya maga a porozitás ( $\Phi$ ), a másodiké pedig a kőzetmátrix térfogata ( $1-\Phi$ ). Ezen gondolatmenet szerint a mért fizikai paraméter a két komponens együttes hatásából:

$$p_{mért} = \Phi p_{fluid} + (1 - \Phi) p_{matrix}$$

A gamma-gamma módszernél a kőzetsűrűséget ( $\rho_{mért}$ ), a neutron módszernél a hidrogén indexet ( $HI_{mért}$ ), a szónikus módszernél pedig a terjedési időt ( $\Delta t_{mért}$ ) mérik, és az itt megadott egyenletet alkalmazzák mind a három módszernél, ebből következtetnek a porozításra.

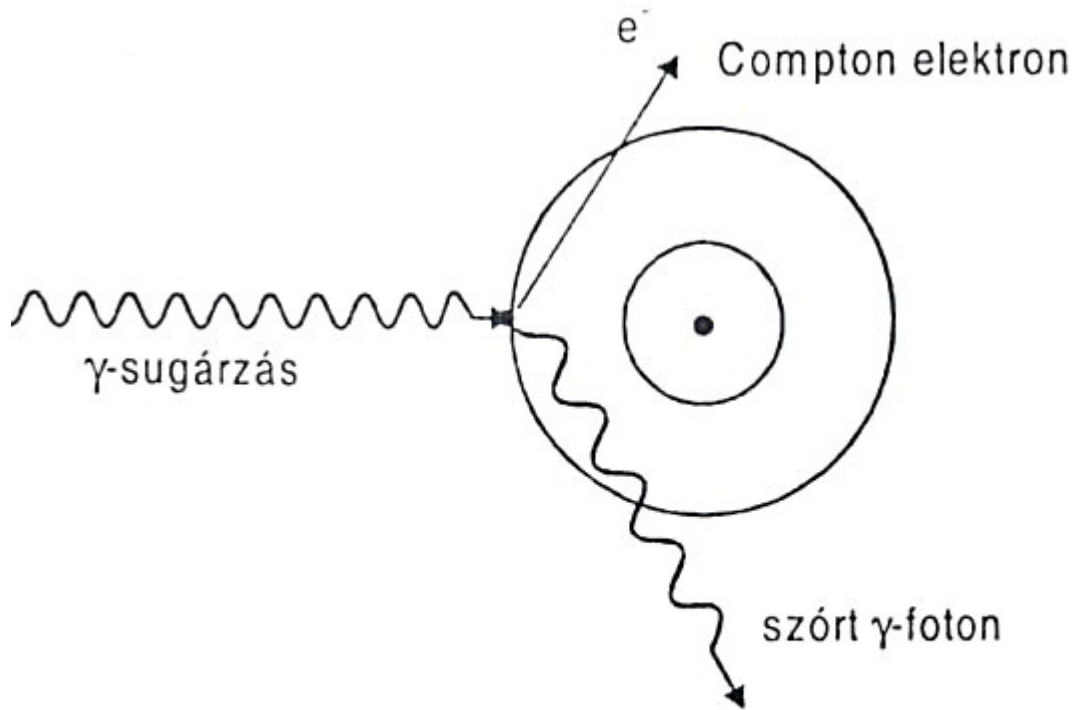
A **gamma-gamma módszer** a *Compton effektuson* alapszik, mely a gamma sugarak és az atomi elektronok közti rugalmas ütközés. A Compton effektus lényegét a **11.6.**, a szonda elrendezést a **11.7. ábra** mutatja **Hursán** (1994) alapján.



### INTERNETES KITEKINTÉS

Érdeemes ellátogatni az alábbi honlapra is:  
<http://ipims.com/data/fe11/G4421.asp?UserID=&Code=30019>

A mérést közvetlenül megelőzően a Co-60 vagy a Cs-134 izotópot tartalmazó zárt gamma sugárforrást a szonda alsó részébe szerelik (az utóbbi izotóp használata a gyakoribb). A sugárforrásokra jellemző energián elsősorban Compton effektus következik be. Ennek során a gamma-foton energiájának tekintélyes részét átadja az elektronehéjra kilökött elektronnak mozgási energia formájában, a foton pedig csökkent energiával (ennek megfelelően megnövekedett hullámhosszal), irányát megváltoztatva halad tovább. A lecsökkent energiájú gamma foton (**11.6. ábra**) egy része további elektronokkal való ütközés során a környezetével fotoeffektusba lép. A szórt gamma sugárzást mérjük a gamma-gamma módszerrel, amit sűrűség mérésnek is neveznek. Azért lehetséges a sűrűsége következtetni, mert a mért gamma sugárzás intenzitása arányos a lyuk és kőzet környezet elektron sűrűségével, ugyanakkor az elektron sűrűség az átvilágított tértartomány sűrűségével arányos. A fentiek értelmében minél sűrűbb a kőzet, annál több gamma foton fékeződik le, így ennek megfelelően sűrűbb kőzet esetén kevesebb gamma foton érkezik be a detektorba. A gamma-gamma szelvényezés során általában két detektoros szondával mérnek (lásd **11.7. ábra**). A közeli detektorral mért értéket elsősorban a fúrólukhatás, és az iszaplepleny (esetleges) jelenléte határozza meg, a távoli detektorral mért érték inkább a formáció sűrűségével arányos, de lyukhatástól ez sem mentes.

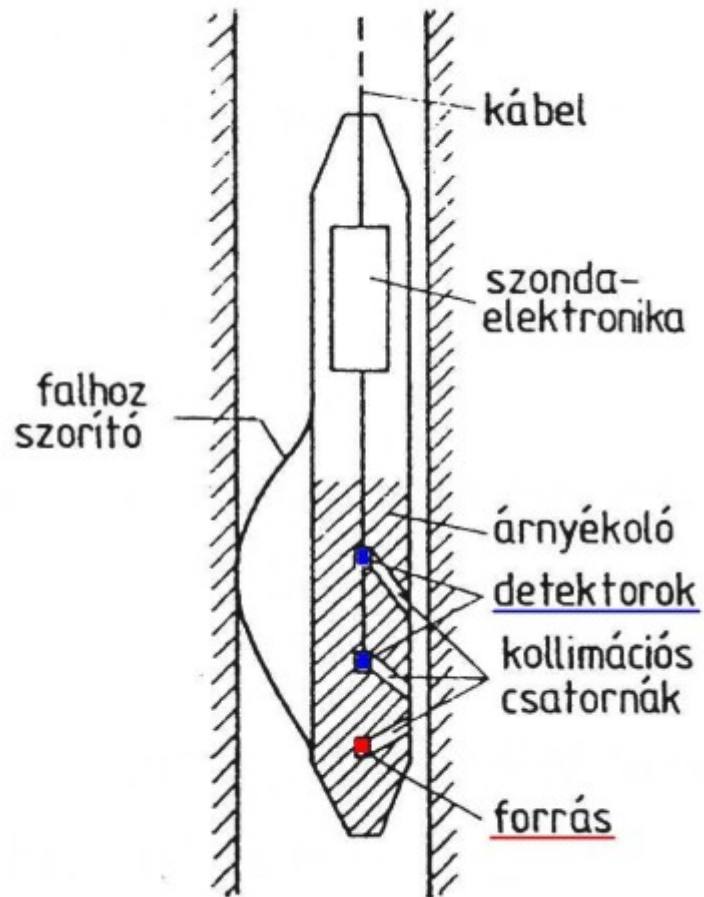


## Compton-szórás

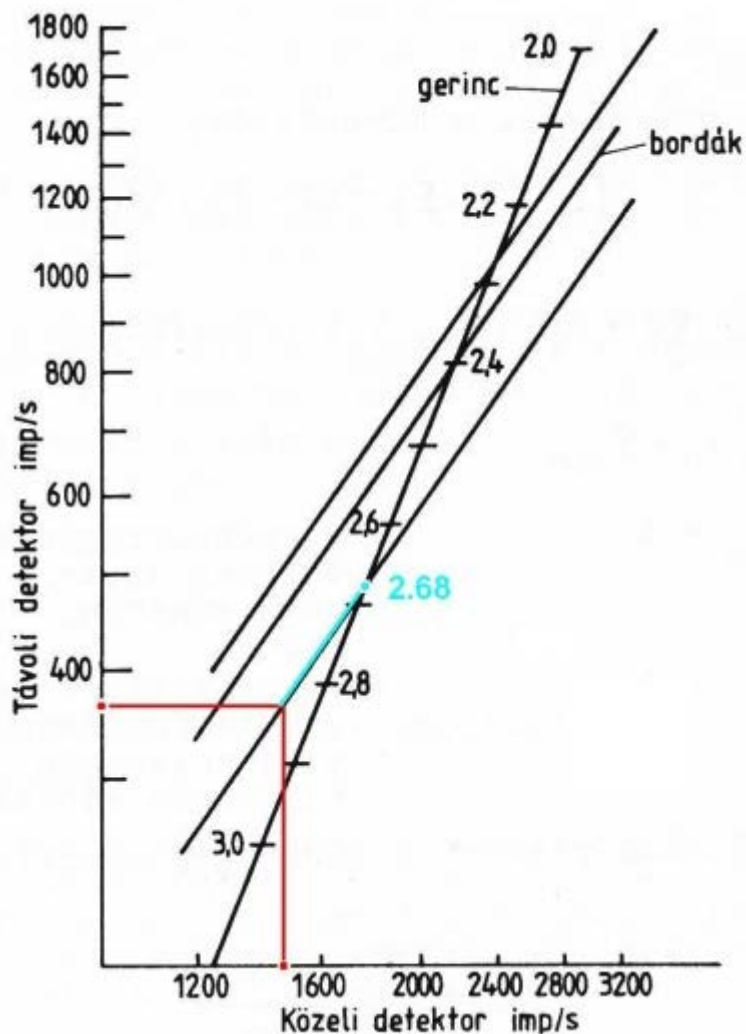
11.6. ábra: Compton effektus szemléltetése [iv]

A **11.8. ábra** "gerinc és bordák" diagramja egyetlen mélységpontra szemlélteti a kőzetre jellemző sűrűség érték ( $\rho_m$ ) meghatározási módját a közeli és a távoli detektor által mért beütésszám ismeretében. A két beütésszám metszéspontjának megfelelő "bordának" a "gerinccel" való metszéspontja adja meg a mért sűrűségértéket. Bővebben **Schlumberger** (1987) alapján tájékozódhatunk. Az így kapott érték, a feltételezett kőzetmatrix sűrűségének és a pórusokat kitöltő fluidum (vagy gáz) sűrűségének ismeretében a gamma-gamma módszerrel mért porozitás az alábbi összefüggés alapján meghatározható:

$$\rho_{mért} = \Phi \rho_{fluid} + (1 - \Phi) \rho_{matrix}$$



11.7. ábra: Lyukhatásra kompenzált gamma-gamma szonda [v]

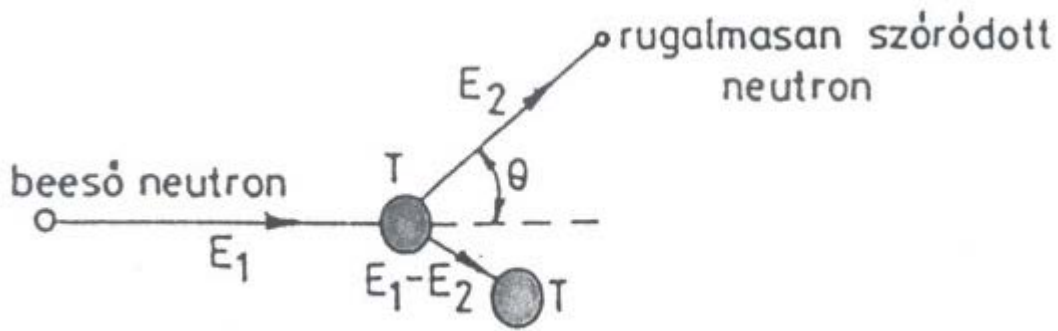


11.8. ábra: A kétsugaras gamma-gamma szondával mért sűrűség meghatározása a közeli és a távoli detektor beütésszáma ismeretében [VI]

A porozitáskövető módszerek közül a **neutron módszerek** (neutron-gamma, neutron-epitermikus neutron, neutron-termikus neutron) esetében a hidrogén koncentrációra (hidrogén indexre) következtetnek, mely csak bizonyos feltételek között állhat közel az effektív porozitás értékéhez.

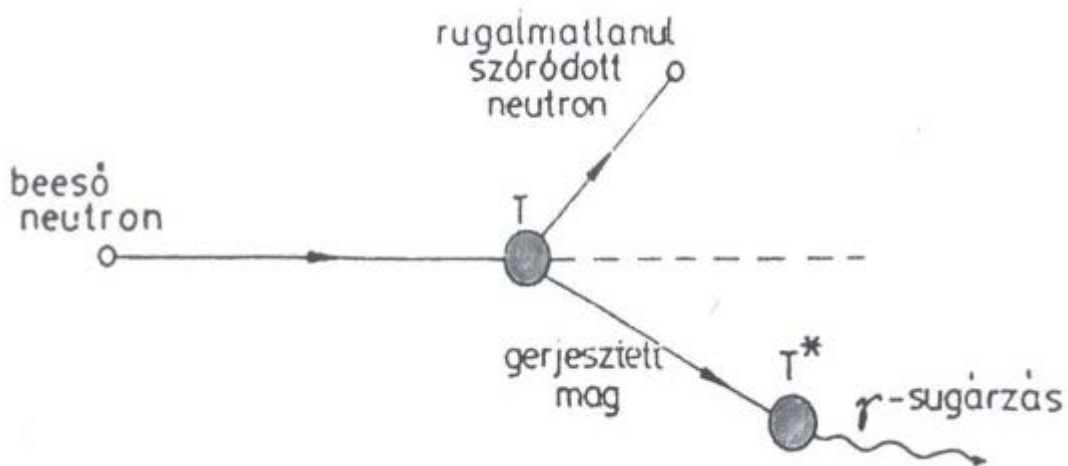
A neutronok elektromosan semleges töltésű, a proton tömegével gyakorlatilag majdnem megegyező, magaktív részecskék. Ellentétben az atomenergetikában használatos neutronok energia szint szerinti osztályozásával a geofizikában a határokat alsóbb energia szintek mellett állapították meg, melyek a következők: gyors neutronok 100keV feletti energiával rendelkeznek, a közepes energiájúakat a 100eV és 100keV közöttiek, a lassú neutronok 100 eV alattiak. A lassú neutronok között epitermikusak a 0.1 és 100 eV közöttiek és termikusak a 0,025eV alattiak.

A neutronok energiájuktól és a kölcsönhatásban résztvevő atommag tömegétől függően különböző kölcsönhatásokba léphetnek az atommaggal. A gyors neutronok rugalmasan (11.9. ábra) vagy rugalmatlanul (11.10. ábra) szóródnak az atommagokon és magreakciókat is indukálhatnak. A közepes energiájú neutronok szóródhatnak, ill. befogódhatnak. A lassú neutronok ugyancsak magreakciót idézhetnek elő, ez elsősorban termikus neutron befogás formájában valósul meg (11.11. ábra).



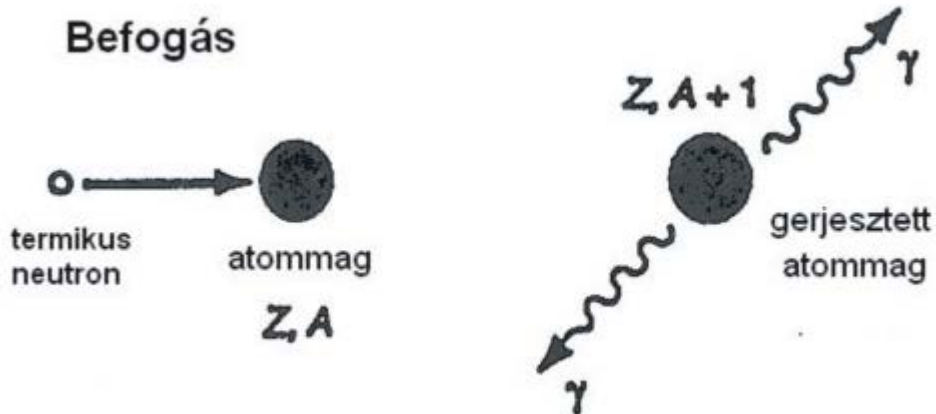
11.9. ábra: Rugalmas ütközés neutron és atommag között [vii]

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.



11.10. ábra: Rugalmatlan ütközés neutron és atommag között [viii]

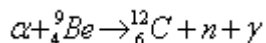
A neutron és atommag közötti rugalmatlan ütközés során az atommag energiát vesz át a neutrontól, mely a kölcsönhatást követően irányváltatással, az eredeti kinetikus energiájához képest kisebb mozgási energiával halad tovább. A neutron mozgási energia különbsége részben a meglökött mag kinetikus energiájára, másrészt a mag gerjesztésére fordítódik. 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).



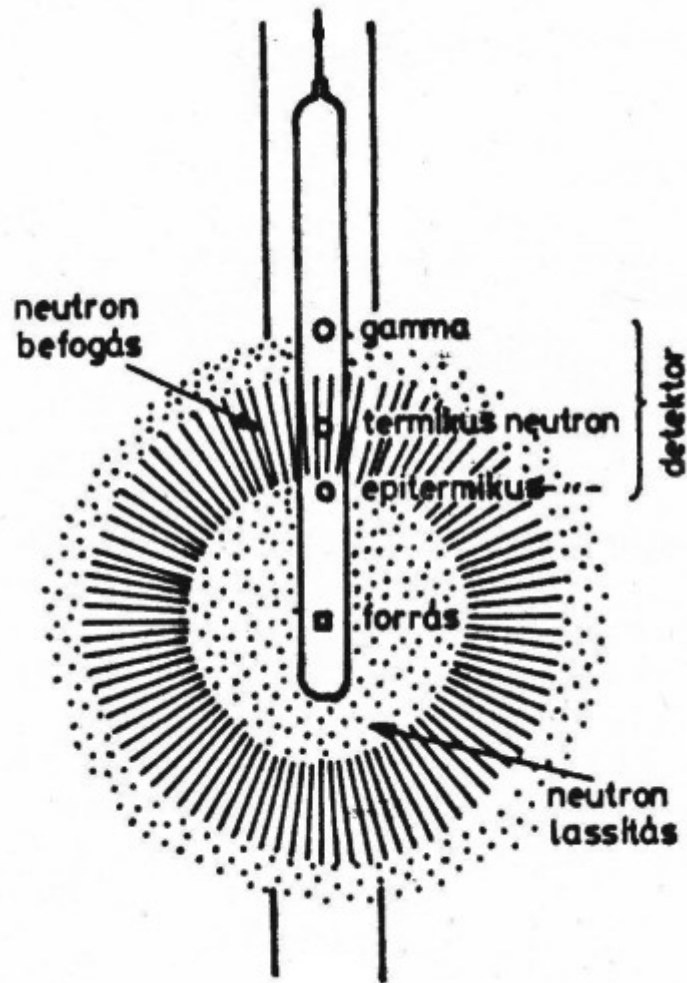
11.11. ábra: Termikus neutron befogása

A termikus neutronok befogása elemfüggő magreakció. A kadmium, a bór és a lítium jellemezhető a legnagyobb termikus neutron befogási hatáskeresztmetszettel, a gyakran előforduló elemek közül pedig a klór. A hidrogénre ez az érték átlagos.

A fúrási geofizikában használt neutronforrások az ún. neutrongenerátorok és a kémiai neutronforrások. Az utóbbiak közül a Cf-252 izotóp (kalifornium-252) és a kevert kémiai források (Po-Be, Am-Be) használata terjedt el. A kevert források közös jellemzője, hogy egy alfa-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:



Az így keletkező neutron energiája (~4.5 MeV), nem éri el a neutrongenerátorral elérhető energiaszintet. A gyors neutronokat emittáló forrás környezetében a neutroneloszlást a **11.12. ábra** szemlélteti. A neutroneloszlás elsősorban a H tartalomtól függ, ui. minél több a hidrogén, annál több a rugalmas ütközés, mely során a neutron energiája lecsökken. A forrástól mintegy 30 cm-nél nagyobb távolságra nagy hidrogéntartalom mellett sokkal kevesebb neutron jut el, mint tömör, kis porozitású közet esetén.



11.12. ábra: Neutron forrás környezetében a különböző energiájú neutronok eloszlása [ix]

A kőzet hidrogén koncentrációja döntően meghatározza az epitermikus és termikus neutron sűrűségét pontszerű neutronforrás esetén. A 11.12. ábrán feltüntetett, átlagos hidrogénkoncentráció melletti zónák helyzete módosul a hidrogénkoncentráció változásával. Az ábra azt szemlélteti, hogy a detektor forrástól való távolságának függvényében lehetőség van a forráshoz legközelebb csak az epitermikus, a termikus neutronok befogási zónájában pedig csak a termikus neutronok detektálására. A legnagyobb távolság mellett - a termikus neutronok befogási zónáján túl - a befogási gamma sugárzás mérése lehetséges. A klór -nagy termikus neutronbefogási hatáskeresztmetszete miatt-koncentrációja a másik, termikus neutron eloszlást meghatározó tényező. A lyukhatásra kompenzált neutron szonda két különböző detektor hosszal dolgozik, epitermikus és termikus neutronokat detektál. Azért is preferálják az összefoglaló néven a neutron-neutron méréseket, mert a neutron-gamma mérésnél a természetes gamma sugárzással is számolni kell. Az említett neutron módszerek kapcsolatba hozhatók a hidrogén koncentráció változásával és velük hidrogén index-et ( $HI_{mért}$ ) lehet meghatározni:

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

Ha a teljes pórusteret csak víz tölti ki akkor  $HI_{fluidum} = HI_{víz} = 1$ . Feltételezve, hogy a kőzetmátrix nem tartalmaz hidrogént, akkor  $HI_{mátrix} = 0$ .

Ebben az idealizált esetben  $HI_{mért}$  megegyezik a (teljes) porozitással. Az idealizált esettel ellentétben sokkal inkább jellemző, hogy egyes ásványok kristályrácsa kristályvizet (pl. csillámok, agyagásványok, gipsz), vagy molekulárisan kötött vizet tartalmaz. Ha a pórust kitöltő "fluidum" víztől eltérő, vagy a vizsgált formáció agyagos, akkor ezt is korrekcióba kell venni. Az agyag növelő, a pórusokban lévő gáz csökkentő hatást fejt ki a mért neutron porozitásra. A gázos formációknál jelentkező, a tényleges porozitáshoz képest kisebbnek mért neutron porozitás esetén az exkavációs hatás jelentkezik.



A harmadik porozitáskövető eljárás a **szónikus szelvényezés**. Különböző szonda elrendezések ismeretesek. A **11.13. ábrán** egy két adóval és négy vevővel rendelkező szonda elrendezést mutatunk be, ahol a fúróluk tengelye és a szonda tengelye –gyakran még központosító alkalmazásával sem– nem esik egybe. Ilyenkor az alsó és a felső adóból a megfelelő vevőkbe érkező időkülönbségek átlagából egy, a valóságos terjedési időt jobban megközelítő értéket adhatunk meg. A felső adóból ( $u$ ) kiinduló szónikus hullám 4-es és 2-es vevők közötti beérkezési időkülönbsége:

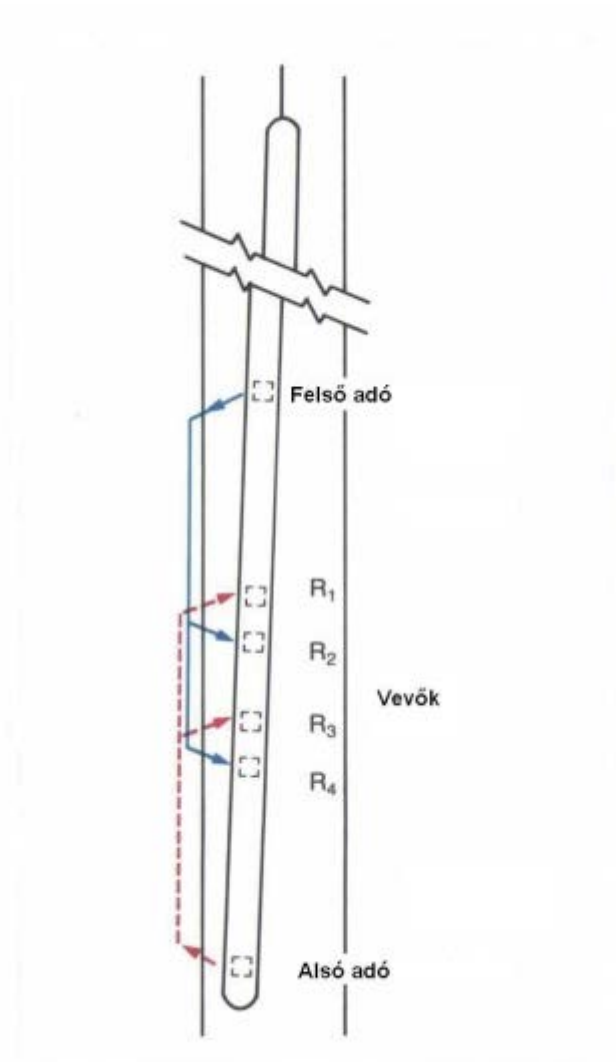
$t_u = t_4 - t_2$ , míg az alsó adóból ( $l$ ) kiindulóra  $t_l = t_1 - t_3$ . A kettő számtani közepét fogadjuk el, mint a megfelelő vevők közti terjedési időkülönbséget:

$$\Delta t_{\text{mert}} = \frac{t_u + t_l}{2}$$

A korábbiak szerint :

$$\Delta t_{\text{mert}} = \Phi \Delta t_{\text{fluid}} + (1 - \Phi) \Delta t_{\text{matrix}}$$

melyből a szónikus módszerrel mért porozitás érték ( $\Phi_s$ ) számítható. Ezt a tapasztalati (empirikus) összefüggést nevezik *Wyllie-féle formulának*, amely csak tiszta (azaz agyagmentes), kompakt formációra érvényes. Nem kompakt formációnál korrekciós faktort kell alkalmazni.



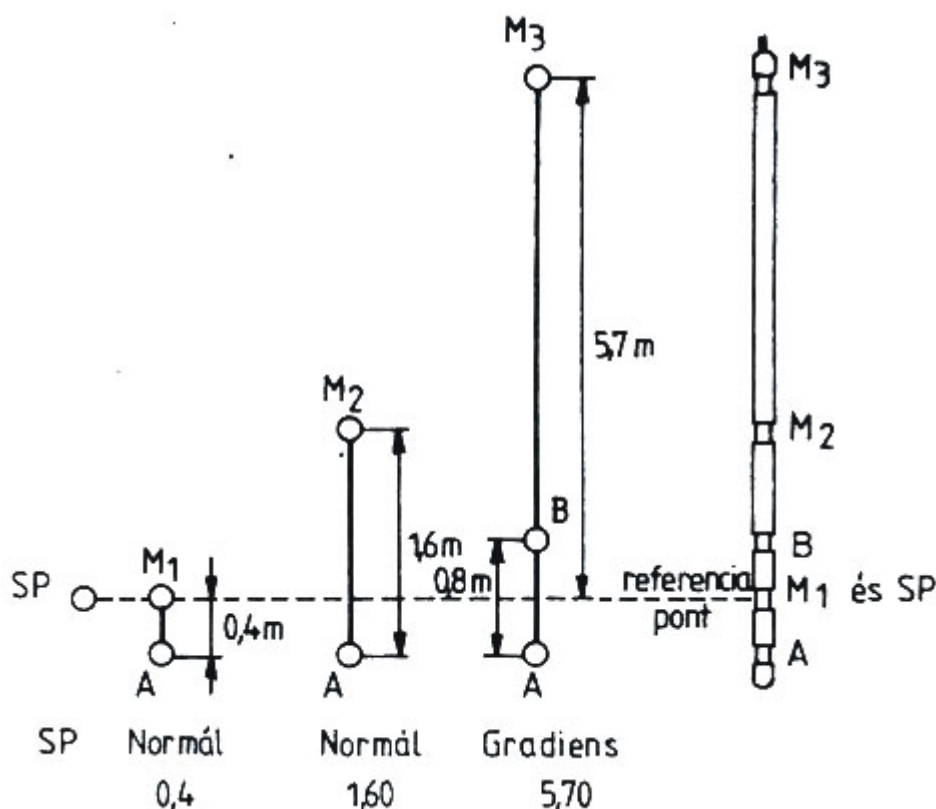
11.13. ábra: Lyukhatásra kompenzált szónikus szonda elrendezése [x]



## Folyadéktelítettség meghatározását lehetővé tevő szelvények

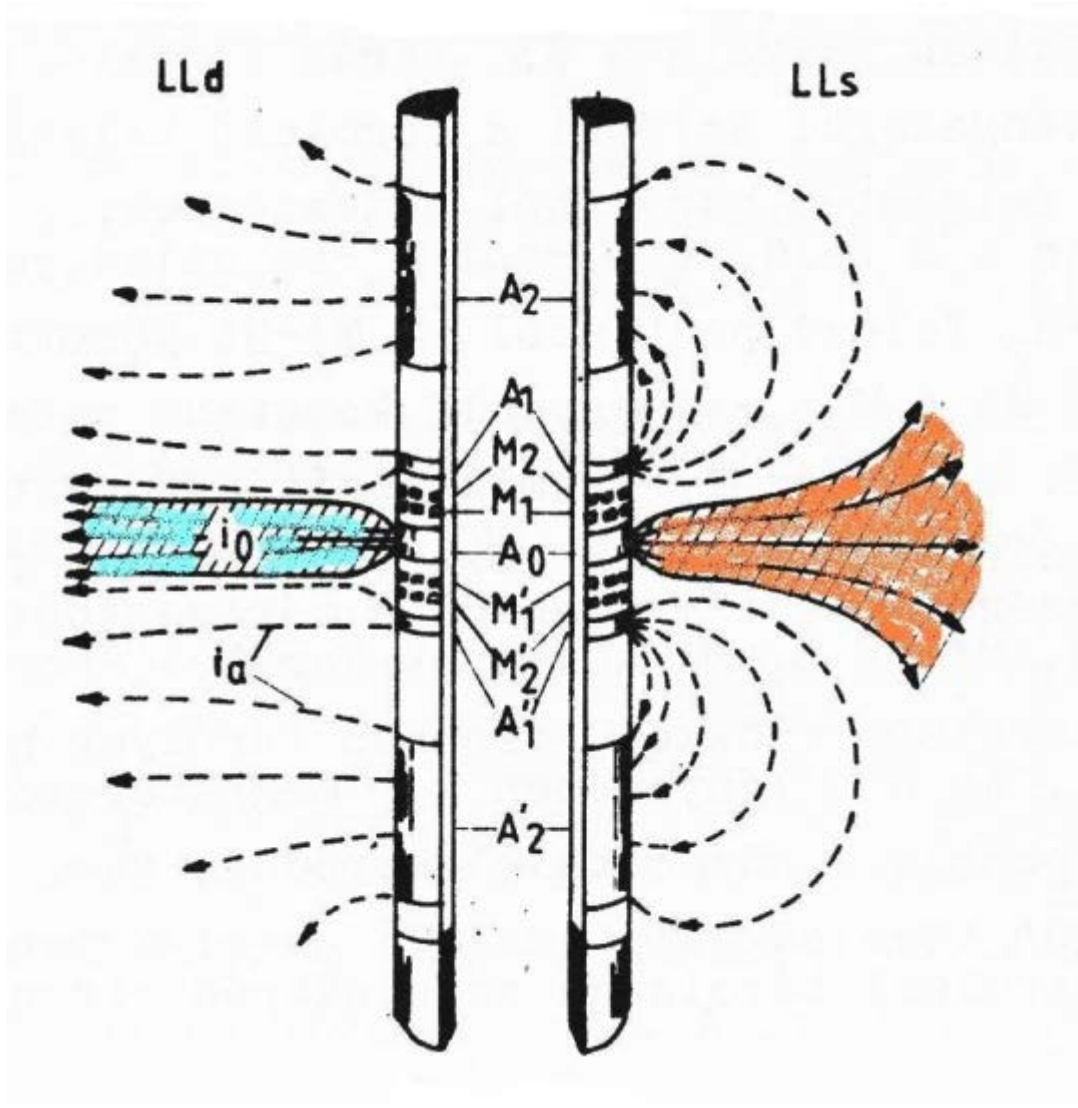
A folyadéktelítettség ismerete a porózus tároló jellemzése szempontjából fontos, általános esetben akár három fázis is előfordulhat. Az egyes fázisok (víz, olaj, gáz) pórustér egészéhez viszonyított térfogatát nevezik telítettségnek. A telítettségi (szaturációs) viszonyokat elsősorban különböző mélységi behatolású fajlagos ellenállás mérések révén ismerhetjük meg. A szaturációs viszonyok ismeretében következtetni lehet a kitermelhető olajindexre is.

A különböző geometriájú szondák eltérő behatolási mélysége biztosítja a radiális felbontást a kisépért zónától az érintetlen zónáig. Kezdetben konvencionális elektromos szondát alkalmaztak (lásd **11.14. ábra**), a vízkutatásban ilyen szonda ma is használatos. Új eszközt a fúrési technológia kényszerített ki, ui. sós iszap esetén az áram jelentős része a fúrólukkal párhuzamosan az iszapban folyik. Ha alig hatol be az áram a rétegbe, akkor a vizsgálni kívánt rétegről kevés fajlagos ellenállás információt kapunk.

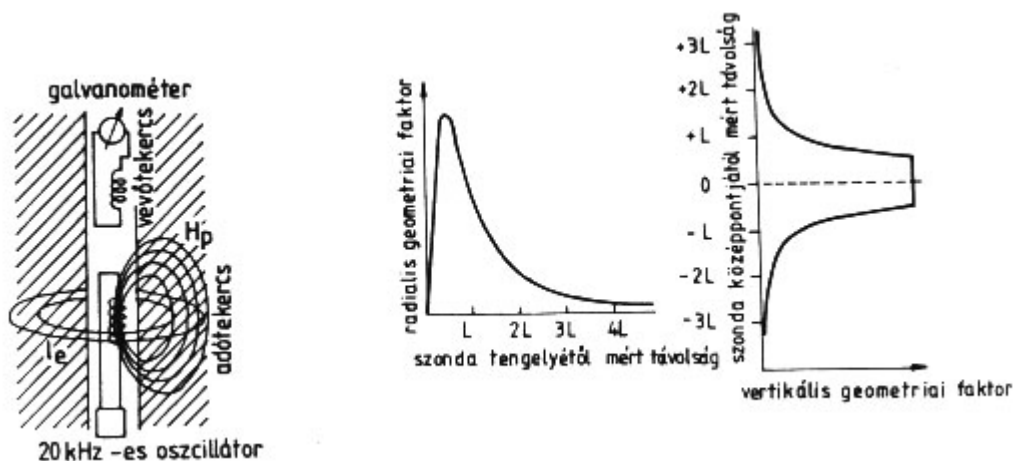


11.14. ábra: Hagyományos fajlagos ellenállás mérő szonda geometriai elrendezése [xi]

A sós iszapra a megoldást a fókuszált árampásmát alkalmazó laterolog rendszerek jelentették. A mérőáram-pásmá alakja határozza meg, hogy mély-, optimális- vagy pszeudolaterolog a szonda. Olyan terelőáramot alkalmaznak (**11.15. ábra**), mely megakadályozza a fúróluk tengelye menti áramfolyást és biztosítja a rétegbe történő behatolást. A mélybehatolású szondával jó közelítéssel az érintetlen zóna fajlagos ellenállása mérhető. Az irányított áramterű szondáknak vannak mikro változatai, alkalmazásukkal az elárasztott zónáról kapnak információt. Az olajbázisú iszapok bevezetése és használata indokolta az indukciós szondák kifejlesztését. Mivel ilyen esetben konduktív árambevezetés nehezen vagy egyáltalán nem valósítható meg, ezért az elektromágneses teret indukzív módon keltik. A **11.16. ábra** a legegyszerűbb, csupán egy adó és egy vevő tekercsből álló szonda elvét, továbbá a sugárirányban és vertikális értelemben a rendszer érzékenységét tükröző radiális és vertikális geometriai faktor szondahosszától való függését mutatja be.



11.15. ábra: Mély (LLd) és sekély (LLs) behatolású laterolog szonda elektróda rendszere és mérőáram pászma alakja [xii]



11.16. ábra: Indukciós szonda elve, radiális és vertikális felbontása az adó-vevő távolság ( $L$ ) függvényében [xiii]

Az indukciós szonda látszólagos vezetőképességet mér, mely a párhuzamosan kötött iszap, elárasztott zóna, érintetlen zóna, ágyazó rétegek ellenállásainak függvénye. Az indukciós szondák tekercs rendszerekkel, több frekvencián működnek, így a behatolási mélység és a vertikális felbontás is finomítható.

A következőkben bemutatjuk, hogy idealizált esetben milyen formalizmus alkalmazható a kitermelhető CH index becslésére.

## A kitermelhető szénhidrogén mennyiségének meghatározása tiszta homok vagy homokkő esetén

Tapasztalati megfigyelések alapján a rétegvíz és szénhidrogént (CH) 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 rétegvíz tartalmazó formáció fajlagos ellenállása. Az  $F$  formációfaktor a vízzel telített közet ( $R_0$ ) és az őt telítő folyadék fajlagos ellenállásának ( $R_w$ ) hányadosa. Az  $n$  értéke jó közelítéssel  $n=2$ , amit elfogadva nemcsak az érintetlen zónára, hanem alkalmazva a kisépért zóna víztelítettségére is írható, hogy:

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

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

$$\Phi\sqrt{F} = 1$$

Az egységnyi térfogatú kőzetből kitermelhető olaj mennyisége arányos a kisépért zónában lévő iszapfiltrátum és az érintetlen zónában lévő kitermelhető (mobilis) víz mennyiségének különbségével. A két zóna víztelítettségének függvényében pedig a kisépért ( $S_{x0}$ ) és az érintetlen zóna ( $S_w$ ) víztelítettségének különbségével arányos.

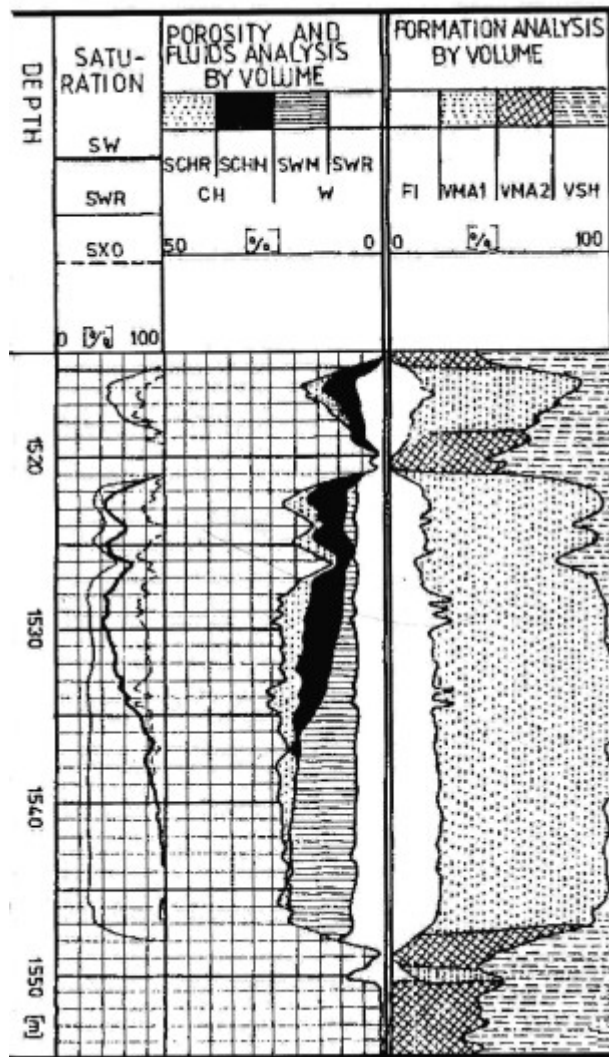
A kitermelhető olajindexre ( $POI$ ), azaz az egységnyi térfogatú formációból kitermelhető olaj mennyiségére írható, hogy

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

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

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

összefüggésből számítjuk, ahol a vízzel telített réteg fajlagos ellenállását és a porozitást a megfelelő szelvényekből ismerni kell, vagy pedig víz mintavétellel, illetve PS méréssel határozzuk meg  $R_w$ -t.



11.17. ábra: Az első hazai szelvény-feldolgozó program (KISS) szénhidrogén-kutatási alkalmazása [xiv]

A 11.17. ábra az első hazai fejlesztésű szelvény-feldolgozó program (KISS) CH kutatási alkalmazását mutatja. A baloldali és a középső sáv a szaturációs viszonyokat szemlélteti, a jobboldali pedig a formáció kiértékelését. A rétegsorban két fajta kőzetmátrix és agyag feltételezésével éltek, a tároló szakaszra mind a mobilis, mind a kötött fluidum részarányát megadták.

A nukleáris mágneses rezonancia (NMR) szelvényezés 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 mélyfúrás geofizikában kiemelt jelentősége van a feles spinű hidrogénnek. A különböző típusú NMR szondáknál a földi mágneses térhez képest lényegesen nagyobb sztatikus mágneses térrel a protonokhoz tartozó mágneses momentumokat a vizsgált kőzettartományban 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°-os gerjesztő impulzus sorozatot alkalmaznak. A mágneses momentumok 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 következtetni lehet a mobilis, kitermelhető fluidum mennyiségére, viszkozitására, a pórusszerkezetre és lehetőség van a permeabilitás becslésére is (Serra, 2004).

#### INTERNETES KITEKINTÉS

A legújabb NMR eljárásokról a következő helyeken kaphatunk további információt:

<http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?navid=149&pageid=143>

[http://www.slb.com/~media/Files/.../mrscanner\\_br.ashx](http://www.slb.com/~media/Files/.../mrscanner_br.ashx)

[http://www.slb.com/~media/Files/.../cmrplus\\_br.ashx](http://www.slb.com/~media/Files/.../cmrplus_br.ashx)

## További szelvényezési eljárások

Ebben az alfejezetben több olyan mérést említünk meg, melyekre műszaki okokból is szükség van, másrészt a fenti csoportok egyikébe sem tartoznak. Elsőként a **lyukbőség mérést** (*caliper logging*) említjük meg. Az érzékelők a lyukfalhoz simuló rugós karok, melyek az átmérőváltozással egy potenciométer helyzetét változtatják meg. A *Wheastone-híd* null-ágában fellépő feszültség az átmérő megváltozásával lineárisan arányos. A lyukbőséget általában együtt mérik más paraméterekkel. Technikailag legfontosabb alkalmazása a cementezéshez szükséges cement mennyiségének a meghatározása. A kikavernásodás vagy az átmérő névleges érték alá csökkenése (pl. duzzadó agyag esetén) egyúttal litológiai információ is.

A **lyukferdeség-mérést** pontonként (általában egymástól állandó távolságban), vagy folyamatosan végzik. Két szögadatot kell megadni: egyrészt a lyuk tengelyének a függőlegessel bezárt szögét, másrészt a lyuk tengelye és a függőleges által meghatározott síknak az É-i iránnyal bezárt szögét. A ferdeségmérési adatokból lehet rekonstruálni a fúrás geometriai helyzetét, a vertikálisnak tervezett fúrás esetén a talpi eltérést. Másrészt a rétegdőlés és leképezési szelvények értelmezésekor elengedhetetlen a fúrólyuk térbeli helyzetének a precíz ismerete.


A **rétegdőlés mérés** (DIPLOG szelvényezés) során egyszerre mérik legalább három irányban a mikroellenállást, és a határfelületeket sikkal közelítik. Annak érdekében, hogy a "sík" tényleges helyzetét meg lehessen határozni, lyukferdeséget (azimuttal együtt) és az egyik szondapapucs azimutját is mérni kell. A rétegdőlés adatokat többféle módon megadhatják (vektor-plot, vagy ebiha-plot; Schmidt-plot, henger-ábrázolás stb.), mellyel részletesen foglalkozik **Csókás** (1993). A rétegdőlés szelvény kiértékelésével tektonikai elemek, litológiai változások, repedés rendszerek irányítottasága, rétegek dőlése adható meg.

A **hőmérsékletmérés** egyik legfontosabb technikai alkalmazása béléscsövezett fúrásban a cementezést követően van, amikor a gyűrűstérben a cement nem jön fel a felszínig. Kihasználva, hogy a cementkötés exoterm folyamat, a cementpalást teteje hőmérsékletméréssel megállapítható (a kialakult termikus viszonyok detektálhatósága érdekében ezt a mérést lefelé menetben végzik). További fontos alkalmazás a cső mögötti áramlások, fluidum és gáz belépési helyek (előbbi hőmérséklet növekedéssel, utóbbi az expanzió miatt hőmérséklet csökkenéssel jár), nyelő zónák detektálása.

Fontos lyukfal-leképezési eljárásokat képeznek a **fajlagos elektromos ellenállás mérésen alapuló képalkotó (imaging) mérések**. A lyukfalon több papucs (általában négy vagy hat) feszesen szorul és minden papucson sok elektróda található meghatározott geometriai elrendezés mellett. Az elektródákon átfolyó áram nagysága függ a földelési ellenállás nagyságától, így a lyukfal fajlagos ellenállás leképezése révén fúrómag-szerű képek adhatók meg. A nagyobb szelvényező társaságok (*Halliburton*, *Baker Atlas*, *Schlumberger*) mind víz-, mind olajbázisú iszapra kifejlesztették fajlagos ellenállás mérés alapján a lyukfal-leképezési eljárásukat.

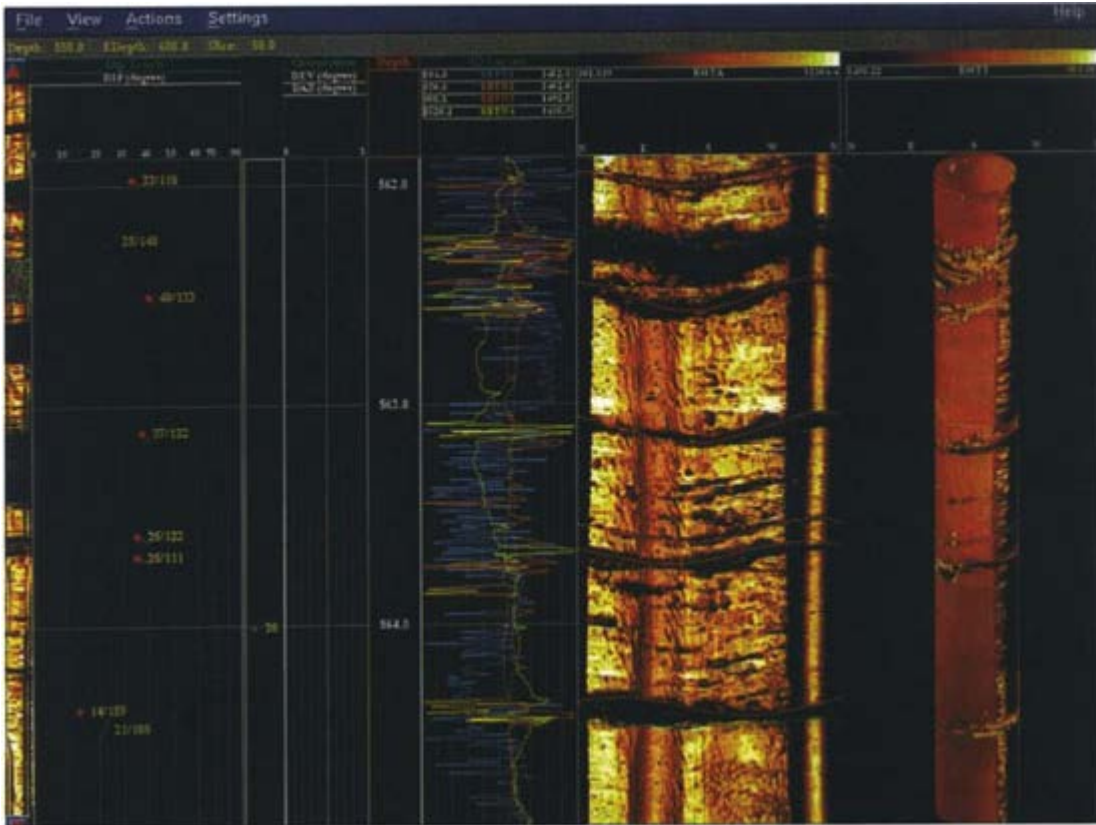


### INTERNETES KITEKINTÉS

Bővebben a Schlumberger által kifejlesztett rendszerről az alábbi helyen olvashatunk:  
[http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline\\_open\\_hole/geology/fmi\\_br.ashx](http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/geology/fmi_br.ashx) 

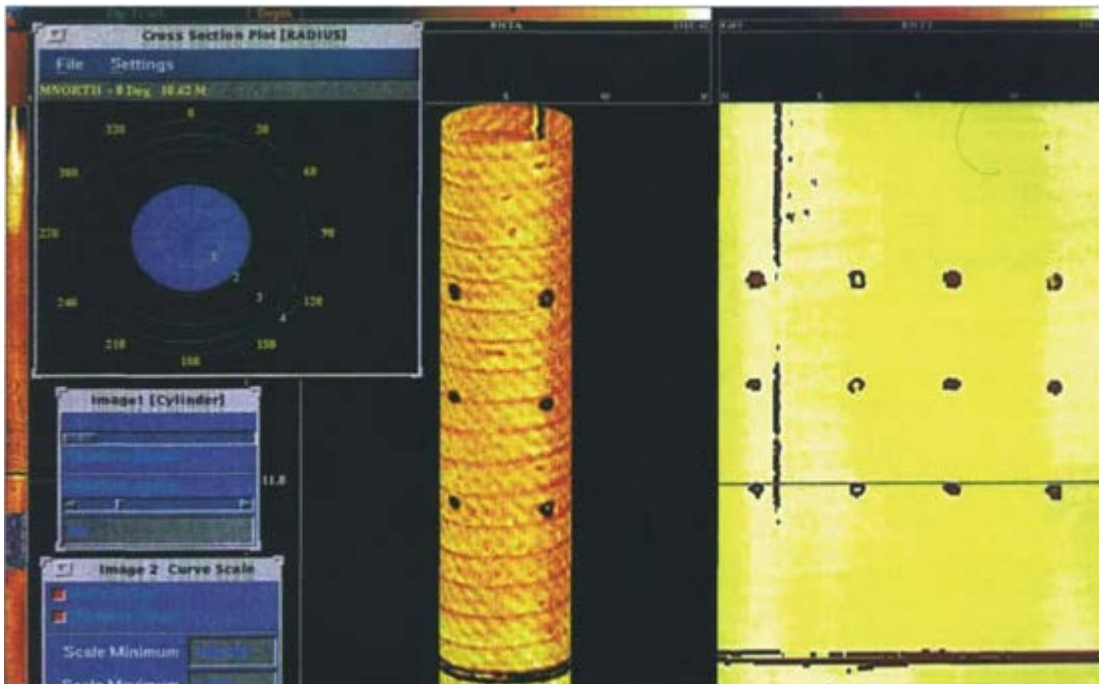
Az **akusztikus lyukfal-televíziós mérés** is a lyukfal-leképezési eljárások közé tartozik. A szondában lévő motor nagy fordulatszámmal forgatja meg az akusztikus adó-vevő rendszert és kis húzási sebesség mellett a lyukfal vagy a béléscső változásairól mm-es nagyságrendű felbontással ad leképezést a módszer. Az akusztikus csatolás miatt szükséges a fúróiszap jelenléte. A lyukfalról reflektált akusztikus hullám amplitúdóját és a reflektált hullám beérkezési idejét méri. Ennek megfelelően a lyukátmérő változás mellett a lyukfal akusztikus impedanciájának képét határozzák meg. A **11.18. és 11.19. ábrán** a *CBIL* (*Western Atlas* fejlesztése) által mért eredményeket mutatjuk be **Tóth** és **Berényi** (1998) alapján. A **11.18. ábrán** nyitott, a **11.19. ábrán** béléscsövezett fúrásban készült mérési anyag látható.

A szonda vízszintes felbontóképessége 2,5mm, függőleges felbontóképessége 4,5mm 1,5m/perc szondavontatási sebesség mellett. Két (1,5 és 2 colos) piezokerámiás adó-vevő rendszer közül lehet választani, az adó-vevő rendszer frekvenciája 250kHz, fordulatszáma pedig 6 fordulat/másodperc.



11.18. ábra: CBIL lyukfal-televízió felvétele nyitott lyukban [xv]

A lyukfal-televízió alkalmazásával nyitott lyukban a környezetéhez képest akusztikus impedancia változást mutató mikro-rétegek, repedezett zónák mutathatók ki, továbbá a nyitott és kitöltött repedések jól elkülöníthetők egymástól a megadott felbontás mellett (11.18. ábra). A módszer alkalmas a béléscső falán jelentkező meghibásodások (pl. korrózió okozta átlyukadás) és a perforálási helyek kimutatására is. Ez utóbbira látunk példát a 11.19. ábrán.






11.19. ábra: CBIL lyukfal-televízió felvétele béléscsövezett fúrólyukban [xvi]

A béléscsövezett fúrásokban elvégezhető nukleáris eljárások közül meg kell említeni az **indukált gamma spektroszkópiát (GST)**. A módszer lényege, hogy a neutron és az atommag különböző kölcsönhatásai (ezek közül

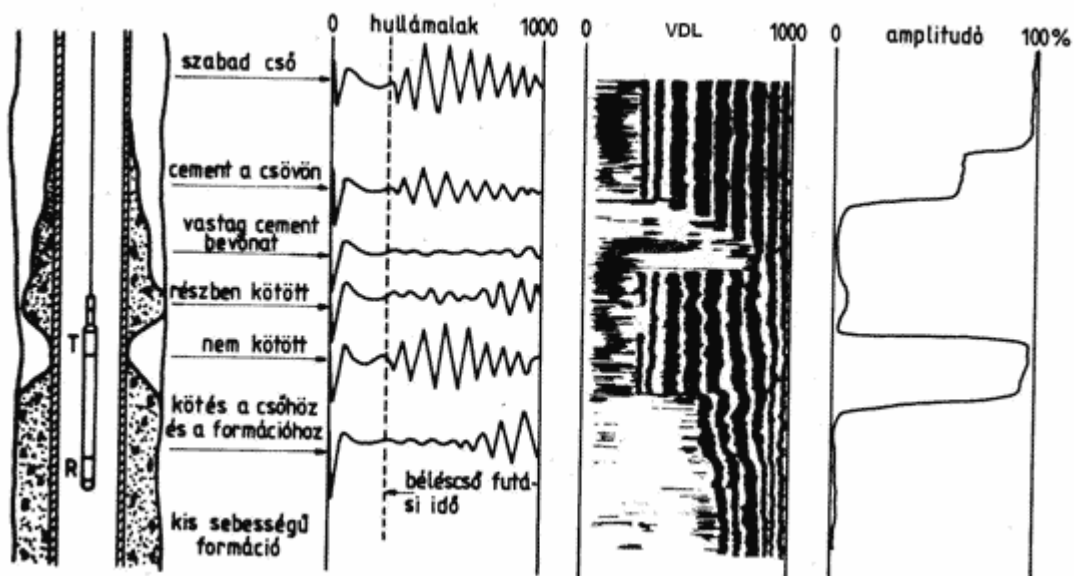
korábban hármát ismertettünk) miatt az atommagokból a rájuk jellemző, különböző energiájú gamma-sugárzás emittálódik, és a spektrális vizsgálat alapján lehet következtetni az őt létrehozó elem gyakoriságára. A gyors neutronok és az atommag kölcsönhatásai közül indukált gamma-sugárzás keletkezhet a rugalmatlan 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 (pl. C/O, Cl/H), melyekből többek között litológiára, CH rezervoár termelvény összetételének időbeli alakulására lehet következtetni. 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.

A CH-ipari **termelésgeofizikai mérések** (*production well logging, PWL*) célja a termelés vagy besajtolás optimalizálásának elősegítése, az esetleges kútproblémák (pl. cső mögötti áramlások, átfajtódések) felderítése, másrészt technikai kútproblémák (pl. tömítetlenségek, bélésű sérülésének, termelőcső sérülésének, cementpalást hibáinak) kimutatása. A méréseket dinamikus körülmények között végzik el. A termelés geofizikai mérés komplexumnak része a karmantyú lokátoros, a természetes gamma, a folyamatos áramlás, a hőmérséklet, a gradiomanométeres, a víztartalom, a folyadék sűrűség, zaj, a nyomás és a radioaktív nyomelemzős mérés.

INTERNETES KITEKINTÉS

Részletesebben: Schlumberger (1989), továbbá:  
[http://www.slb.com/services/evaluation/wireline\\_cased\\_hole/production\\_logging.aspx](http://www.slb.com/services/evaluation/wireline_cased_hole/production_logging.aspx)   
<http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?navid=148&pageid=17&prodgrpid=MSE%3a%3a1045762092730648>   
<http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?navid=166&pageid=156&prodgrpid=MSE%3a%3a1QTW8HKSY> 

Tekintettel a rétegek közötti, bélésű mögötti átfajtódésekre, másrészt a Magyarországon korábban lemélyített fúrások nagy számára és azok jelenlegi állapotára, továbbá jövőbeni (feltételezett) felhasználására, az akusztikus cementpalást mérés fontosságára is felhívjuk a figyelmet (**11.20. ábra**). Az ábrán látható esetben megállapítható, hogy az alsóbb szakaszon jó a cement minősége, ugyanis az első beérkezés amplitúdója kicsi, és a cement megléte miatt akusztikus csatolás van a cement és a kőzet között, így reflexiót kapunk a cement kőzet határfelületről. Ha nem lenne cement a gyűrűstérben, akkor nem kapnánk reflexiót a kőzetről, és nagy lenne a bélésűvön végigfutó hullám első beérkezésének az amplitúdója.

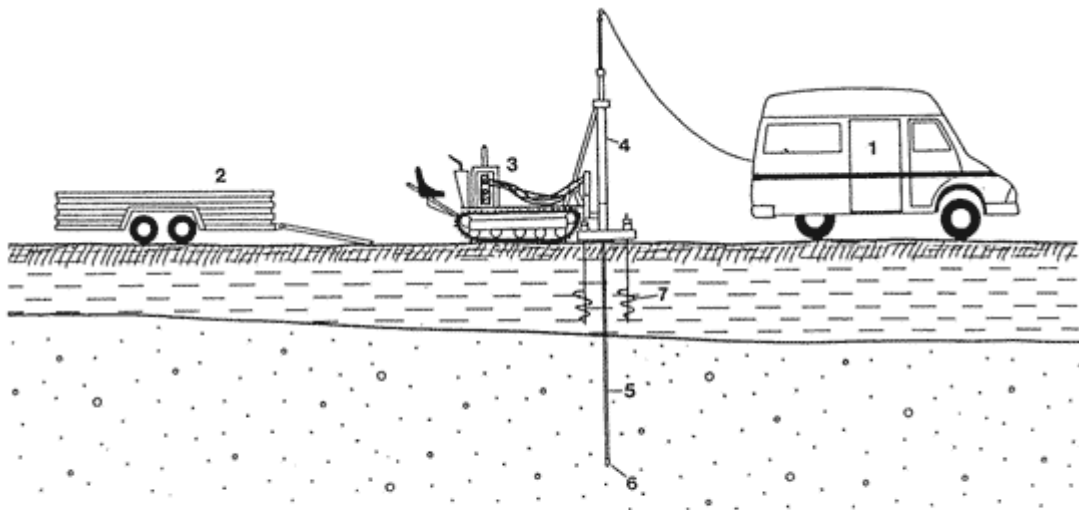


11.20. ábra: Szónikus tejes hullámkép (VDL), az első beérkezés amplitúdója szelvény a bélésű mögötti cement minőségének ellenőrzésére [xvii]



## Mérnökgeofizikai szondázás

Ez a módszer a nyomó (statikus) szondázás (CPT, Cone Penetration Test) eljárásból fejlődött ki. Ennek során egy szabványosított méretű kúpot rudazat segítségével nyomással juttatnak a talajba és mérik a benyomáshoz szükséges erőt. Alapvetően fontos, hogy a behatolás során méréssel külön lehessen választani a köpenysúrlódást és a csúcsellenállást. A pórusvíznyomás mérésére is lehetőség van. A geotechnikai paraméterekkel bővebben **Faur** és **Szabó** (2011) foglalkozik. A szondázási mélység általában 10-30 méter között változik, de hazánkban 50m-nél nagyobb mélységű szondázást is végeztek kedvező körülmények között. Kavicsban, kemény agyagban (márgában), építési törmelékben a módszer nem használható. A **11.21. ábra** mutatja be a mérnökgeofizikai szondázó rendszer főbb részeit **Fejes** (1996) alapján. Mind a mechanikai paramétereket mind a geofizikai paramétereket 10 cm-es mélységközzel határozzák meg. A geofizikai paraméterek a következők: sűrűség (gamma-gamma méréssel), természetes gamma intenzitás, víz térfogati részaránya (neutron-neutron mérésből), fajlagos ellenállás. A nukleáris szondákat a mérőszár belsejében mozgatják, a mért paraméterek olyan in-situ paraméterek, melyeknél a szondázás kivitelezéséből adódóan nem jelentkezik az elárasztás hatása (ami az iszappal mélyített fúrások geofizikai szelvényezésekor általában korrigálandó hatást eredményez). A kiértékelés során a laza üledékek osztályozására a csúcsellenállást, a gamma-gamma módszerrel meghatározott sűrűséget és a természetes gamma aktivitást használják fel. A **11.22. ábra** felső része mutatja be, hogy a különböző (laza) képződmények ebben a rendszerben (háromdimenziós paramétertérben) milyen jól elkülönülnek. A **11.22. ábra** alsó része az ábra felső részén elkülönített agyag, kőzetlisztes finom homok, homok, kavics képződmények kumulatív szemmagyság eloszlási görbéit mutatja be.



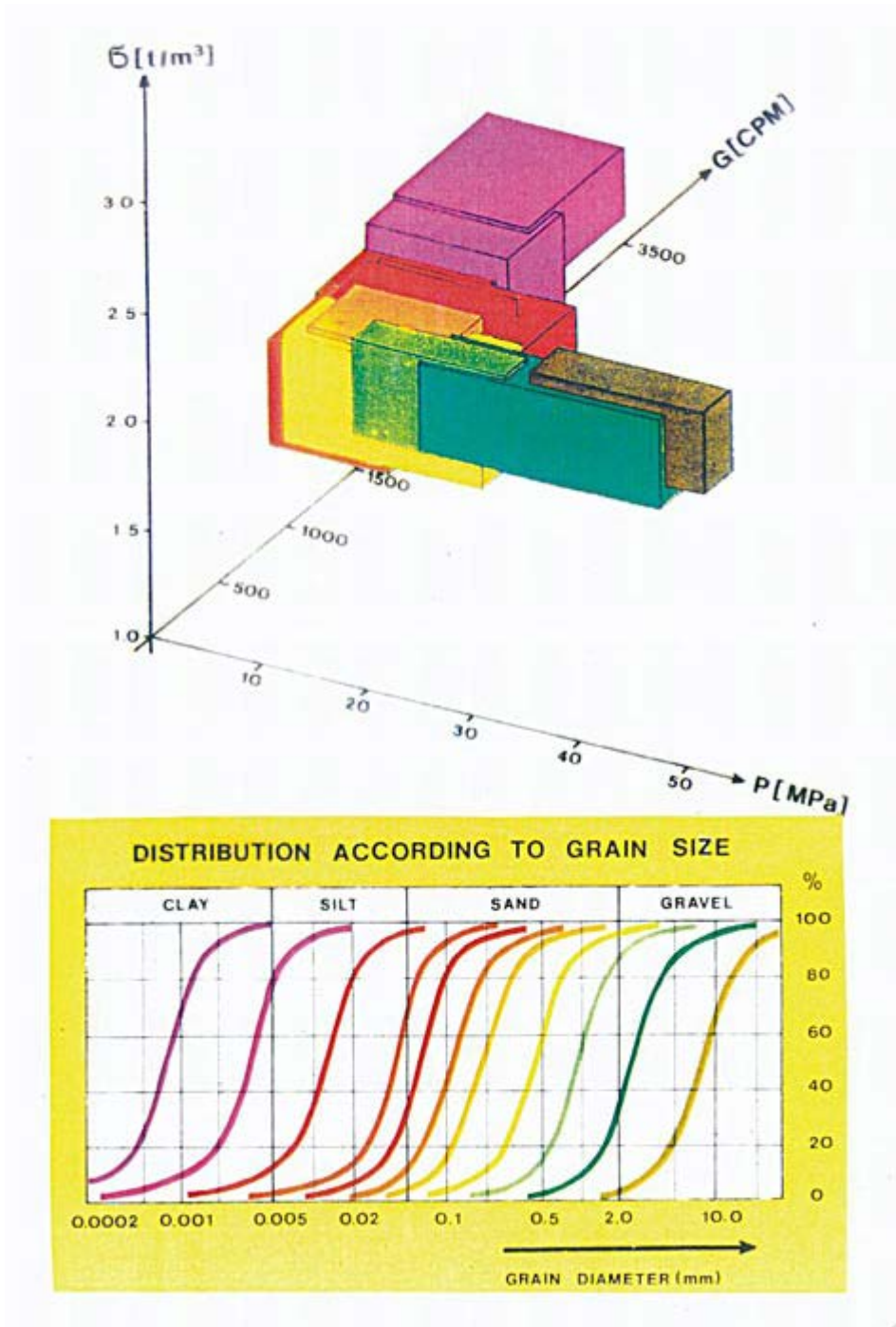
Mérnökgeofizikai szondázás

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

11.21. ábra: Mérnökgeofizikai szondázó rendszer főbb elemei [xviii]

A mérnökgeofizikai szondázás a geofizikai és geotechnikai paraméterek mérésével - gyakran felszíni geofizikai és laboratóriumi elemzésekkel kiegészítve - a környezeti feladatok megoldásában eredményes és gyakran megkerülhetetlen.

A legfontosabb területek a geotechnikai állékonysági vizsgálatok (pl. árvízvédelmi gátak, lösz magas-partok, egyéb felszínmozgások), kommunális hulladéklerakók és ipari tározók hatásvizsgálata, továbbá környezetföldtani (többek között vízbázisok védettségével kapcsolatos) vizsgálatok.



11.22. ábra: Alluviális képződmények elkülönítése háromdimenziós paraméterterben felül, és a különböző színű tömböknek megfelelő képződmények szemmagyság eloszlási görbéi (agyag, kőzetlisztes finom homok, homok, kavics balról jobbra haladva) alul. [xix]

## 6. SZELVÉNYEZÉSI ALKALMAZÁSOK

A fenti alfejezetekben a módszerek ismertetésekor kitértünk az adott módszer –fizikai alapjaiból adódó – legfontosabb felhasználási területeire.

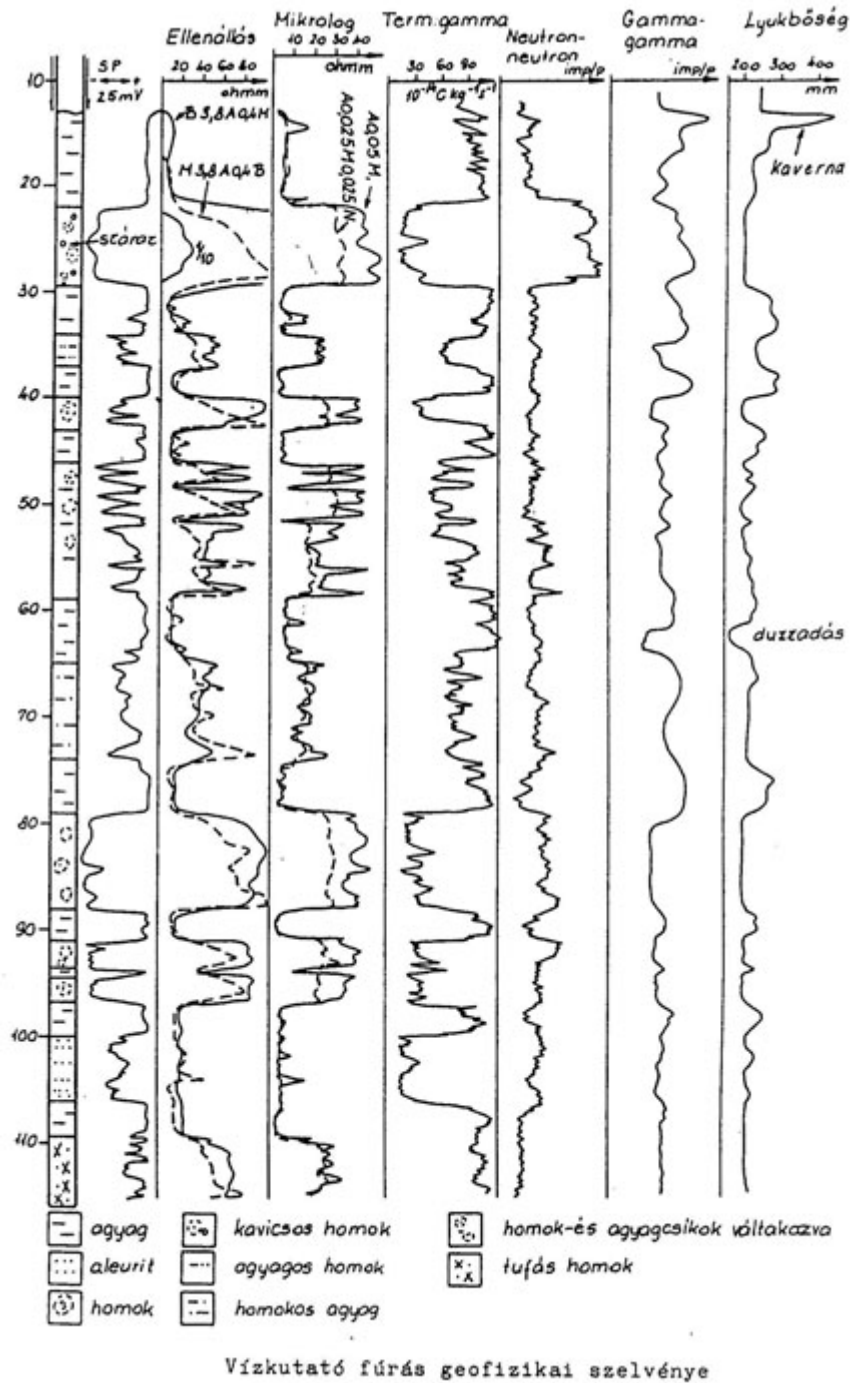


### INTERNETES KITEKINTÉS

A legjobb összefoglalást a szelvény indikációk földtani magyarázatára <http://www.petrolog.net/news-detail.asp?iNewsID=75> helyen találjuk.

A szénhidrogén-kutatás területén fontos információkat kapunk Csókás (1993) jegyzetében és a <http://www.halliburton.com/ps/default.aspx?navid=149&pageid=143&prodgrp=MSE%3a%3a1045758887679589> továbbá a <http://www.slb.com/services/evaluation.aspx> oldalakon. A szelvények sokoldalú felhasználását és feldolgozási eljárások ismertetését találjuk meg a [http://www.alt.lu/pdf/WellCAD\\_Basics.pdf](http://www.alt.lu/pdf/WellCAD_Basics.pdf) helyen.

A szilárd ásványi nyersanyagok, ércek fúrási geofizikai módszereivel **Csókás** (1993) foglalkozik. A vízkutatás részletes szelvényezési ismertetését **Hursán** (2011) adja meg. Ebből a jegyzetből egy, a vízkutatásra jellemző szelvényezési együttes eredményeit adjuk meg a geológiai rétegsorral együtt.



11.23. ábra: Vízkutató fúrásokban elvégzett geofizikai mérések eredményei [1]

Az itt bemutatott alföldi vízkutató fúrásban a természetes gamma és PS (litológiai szelvények); a négy darab fajlagos ellenállás (0,4 m-es rövid normál és 4m-es gradiens, 2,5 cm-es elektróda közű mikronormál és mikrogradiens) szelvény; két porozitáskövető (neutron-neutron és gamma-gamma) szelvény és egyetlen technikai szelvény (lyukbőség) lett felvéve. A legvastagabb homokok a 20-30 és 80-90m között találhatóak, azonban a felső száraz, így csak az alsóból lehetséges a vízkivétel. A szelvények együttes elemzését **Hursán** (2011) adja meg részletesen.



## 7. HIVATKOZÁSOK, IRODALOMJEGYZÉK

Csókás 1993: *Mélyfúrési geofizika*

Draskovits, Magyar, Stickel 2008: *Oktatási anyag környezetgeofizikus mérnökhallgatóknak*

Faur, Szabó 2011: *Geotechnika*

Fejes 1996: *Talajmechanikai paraméterek meghatározása mérnökgeofizikai szondázások alapján*. Közúti közlekedés- és mélyépítéstudományi szemle, XLVI. ÉVF. 11., pp. 440-449

Ferenczy, Kiss 1993: *Szénhidrogén-tárolók mélyfúrési geofizikai értelmezése I.*

Hursán 1994: *A nyitott fúrásokban alkalmazott lyukszelvényezés* (Gyakorlati Geofizika , Áttekintés a gyakorlati geofizika kutatómódszereiről VII. fejezet)

Hursán 2011: *Víz kutatás, kútdiagnosztika*

Hurst, Lovell, Morton 1990: *Geological Applications of Wireline Logs*

Hurst, Griffiths, Worthington 1992: *Geological Applications of Wireline Logs II.*

Markó, Sebestyén, Stegena 1970: *Geofizikai kutatási módszerek II.*, Mélyfúrési Geofizika

Sebestyén, Markó 1962: *Mélyfúrési Geofizika*, in Boldizsár: *Bányászati Kézikönyv*, III. kötet, 1962

Schlumberger 1987: *Log Interpretation Principle/ Applications*

Schlumberger 1989: *Cased Hole Log Interpretation Principle/ Applications*

O. & L. Serra 2004: *Well Logging Data Acquisition and Applications*

O. & L. Serra 2003: *Well Logging and Geology*

Takács 1987: *Geofizika* (Bányászati szak)

Tóth, Berényi 1998: *Akusztikus lyukfalleképezés-mérés (CBIL) alkalmazása*, BKL, Kőolaj és Földgáz, 31. pp.173-180

## 8. ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

### 11. LECKE: FÚRÓLYUK GEOFIZIKA - FELADATOK

Többször megoldható feladat, **elvégzése kötelező**.  
A feladat végső eredményének a mindenkor **legutolsó megoldás** számít.

**Jelölje meg a helyesnek tartott válaszokat a felkínált lehetőségek közül!**

**1. Hány év telt el a franciaországi Pechelbronn (1927) olajmezőn és a magyarországi Görgeteg-1. sz. fúrásban elvégzett fajlagos ellenállás mérés között?**

8 év.

Több mint 10 év.

Több mint 15 év.

**2. Mire utal a módszer francia (carottage) elnevezése?**

Arra utal, hogy a fúrólukbéli geofizikai mérésekkel a magmintavételt helyettesíteni lehet.

A magmintavételnél a minta geometriai alakjára.

Sárgarépára.

**3. Milyen főbb részekből áll a hagyományos kábeles szelvényező mérőrendszer?**

Attól függ, hogy milyen a mérés jellege (LWD, PWL, stb.).

Két részből áll, mérő és feldolgozó egység.

A mérőrendszer három fő részből áll: szonda, karottázs kábel, felszíni egység.

**4. A szelvényezést a szonda felfelé húzása vagy lefelé engedése közben végzik?**

Mindig lefelé menetben.

A mérést ritka kivételtől (pl. folyamatos hőmérséklet mérés) felfelé húzás közben végzik el.

Mindegy, mert méréskor a szondát meg kell állítani.

**5. Porózus, permeábilis formációt, továbbá az iszap hidrosztatikus nyomását nagyobbak feltételezve mint a pórusnyomás, a fúróluk tengelyétől sugárirányban haladva milyen részeket/zónákat lehet megkülönböztetni?**

Izap - kevert zóna - érintetlen zóna.

Fúróiszap - iszaplepeny - az elárasztott zóna kisépért, majd kevert része - (annulus ha CH tároló a réteg) - végül érintetlen zóna.

**6. Milyen szonda kombináció teszi lehetővé a rétegnyitás során a perforátor mélységhelyes beállítását?**

MWD&LWD.

PS&TG.

Karmantyúlokátor mellett természetes gamma.

**7. A felsorolt módszerek közül melyik a legfontosabb három porozitáskövető eljárás?**

Gamma-gamma.

Neutron módszerek.

Szónikus módszer.

Lyukfal televízió.

**8. A porozitáskövető módszereknél a porozitás meghatározása az alábbi összefüggés alapján történik:  $P_{mert} = \Phi P_{fluid} + (1 - \Phi) P_{matrix}$ . Mi**

szerepel ebben a formulában  $P_{mért}$  helyén a szónikus módszernél?

A hullám terjedési sebessége. Terjedési idő ( $\Delta t_{mért}$ )

A hang terjedési sebessége.

9. A porozitáskövető módszereknél a porozitás meghatározása az alábbi összefüggés alapján történik:  $P_{mért} = \Phi P_{fluid} + (1 - \Phi) P_{matrix}$ . Mi szerepel ebben a formulában  $P_{mért}$  helyén a neutron módszernél?

Hidrogén index ( $HI_{mért}$ ). Neutronfluxus.

Spektrális gammasugár intenzitás.

10. A porozitáskövető módszereknél a porozitás meghatározása az alábbi összefüggés alapján történik:  $P_{mért} = \Phi P_{fluid} + (1 - \Phi) P_{matrix}$ . Mi szerepel ebben a formulában  $P_{mért}$  helyén a gamma-gamma módszernél?

Ekvivalens dózis. Elektronsűrűség.

Közetsűrűség ( $P_{mért}$ )

11. Mikor lehet használni a Wyllie-féle formulát?

Csak tiszta (azaz agyagmentes), kompakt formációra érvényes.

Természetes gamma és neutron gamma méréseket követően.

Ha ismerjük a neutron porozitást.

12. Milyen fókuszált áramterű rendszer jelentette a megoldást a sós fúróiszapban elvégzett fajlagos ellenállás mérésekre?

Rövid normál. Laterolog.

Indukciós.

13. Milyen szonda jelentette a megoldást az olajbázisú fúróiszapban elvégzett fajlagos ellenállás mérésekre?

Indukciós. Laterolog.

Hosszú normál.

14. Miből fejlődött ki a mérnökgeofizikai szondázás?

A nyomó (statikus) szondázás (CPT, cone penetration test) eljárásból.

A fúrási geofizikai szelvényezésből.

Vertikális elektromos szondázásból.

**15. A felsorolt szelvényezési eljárások közül szénkutatósnál melyik az a módszer, amit biztosan nem hagyja ki?**

Lyukferdeség mérés.

Sűrűség (gamma-gamma) mérés.

Áramlás mérés.



**KIFEJTENDŐ KÉRDÉSEK**

- Melyek a legfontosabb potenciálok, melyek a fúrólukbéli PS kialakulását eredményezik?
- Ismertesse a membrán és a diffúziós potenciál, továbbá az elektrokinetikus potenciál kialakulásának az okát!
- Milyen módosulatai vannak a fúrólukbéli természetes gamma mérésnek, mire lehet a szelvény indikációkból következtetni?
- Milyen feltételeknek kell ahhoz teljesülni, hogy az integrális természetes gamma és a PS szelvények között jó korreláció legyen?
- Adja meg az abszolút, az effektív, az elsődleges, a másodlagos és a vegyes porozitás definícióját!
- Milyen kölcsönhatások léphetnek fel a gamma sugarak és az atomi elektronok között?
- Milyen kölcsönhatások léphetnek fel a neutron és az atommag között?
- Ismertesse a neutronforrásokat és a gamma-gamma mérésnél használt forrásokat!
- Ismertesse a lyukhatásra kompenzált gamma-gamma módszer lényegét!
- Ismertesse a neutron-neutron és a neutron-gamma módszerek lényegét!
- Ismertesse a szónikus módszer lényegét!
- Milyen formalizmus és milyen szondák mért értékei szükségesek a tiszta homok vagy homokkő esetén a kitermelhető CH meghatározására?
- A hőmérséklet mérésnek milyen alkalmazásait ismeri?
- Ismertesse a nukleáris mágneses rezonancia (NMR) szelvényezés lényegét!
- Ismertesse az akusztikus lyukfal-televízió működését!
- Ismertesse az indukált gamma spektroszkópia (GST) módszerét!
- A neutron élettartam szelvényezés alapjai, alkalmazásai.
- A termelésgeofizikai (production well logging, PWL) mérések célja, és szonda típusai.
- Mi az alapja a mérnökgeofizikai szondázásnak és milyen fizikai mennyiségeket lehet a módszerrel mérni?
- Milyen fúrési geofizikai mérések elvégzését javasolná vízkutató fúrásokban?

## BIBLIOGRÁFIA:

---

- [i] Sebestyén, Markó (1962) alapján
- [ii] Takács (1987) alapján
- [iii] Sebestyén, Markó (1962) alapján
- [iv] Hursán (1994) alapján
- [v] Hursán (1994) alapján
- [vi] Csókás (1993) alapján
- [vii] Hursán (1994) alapján
- [viii] Hursán (1994) alapján
- [ix] Ferenczy és Kiss (1993) alapján
- [x] Csókás (1993) alapján
- [xi] Takács (1987) alapján
- [xii] Csókás(1993) alapján
- [xiii] Takács (1987) alapján
- [xiv] Csókás 1993 nyomán
- [xv] Tóth és Berényi (1998) alapján
- [xvi] Tóth és Berényi (1998) alapján
- [xvii] Csókás (1993) alapján
- [xviii] Fejes (1996) alapján
- [xix] Draskovits et al.(2008) alapján