

A sokelektrodás laterolog szondák és a mérőkábel szigetelésproblémái

KUBINA ISTVÁN

A cikkben ismertetjük a laterolog mérések leggyakoribb hibájának — a szigetelatlenségből és átcsatolásokból keletkező külső zavarok — elvi okait, elhárításuknak lehetséges módjait és az üzem közbeni szigetelésellenőrzés lehetőségét.

В работе излагаются принципиальные причины наиболее частых погрешностей результатов бокового каротажа — внешних помех, обусловленных плохой изоляцией и утечками — а также возможные способы их устранения и возможности проверки изоляции в процессе работы.

Es werden die prinzipiellen Gründe der öftesten Fehler in den Ergebnissen der laterologen Bohrlochmessungen — der durch schlechte Isolation und Ableitungen hervorgerufenen äusseren Störungen — als auch die möglichen Weisen deren Beseitigung und die Möglichkeiten der Isolationskontrolle im Betrieb erörtert.

Az ismertetésre kerülő vizsgálat elvégzése az elmúlt években — főleg sós iszapú fúrásokban — végzett laterolog méréseknél előforduló hibás mérési eredmények okainak tisztázására vált szükségessé. A szóban forgó esetekben a laterolog berendezések műszaki és specifikációs szempontból kifogástalanok voltak, tehát a hibák okait máshol kellett keresni, amelyek mint látni fogjuk elsősorban a szondák és esetenként a kábel szigetelésének nem kielégítő minőségében találhatók meg.

A mérés hibája konstans I_0 esetén bizonyíthatóan csak az I_1 áram hibájától függ, nevezetesen annál kisebb, vagy közel egyenlő azzal. A szabályozó berendezés pontatlanságából eredő hibát egy előző cikk [1] kimerítően tárgyalta, most az I_1 áram azon hibáját vizsgáljuk meg részletesen, amely az R_{m0} , R_m ágba és a szabályozó berendezés bemeneti ágába szuperponálódó, a berendezés üzemi frekvenciájával és referencia fázishelyzetével azonos frekvenciájú és fázishelyzetű U_z zavarjelek hatására keletkezik. Továbbá bemutatjuk, hogyan lehet e zavarokat felismerni, megszüntetni, vagy hatásukat elfogadható értékre korlátozni.

A cikkben használt laterolog térjellelmzők leírása és az egyes szondákra jellemző értékei megtalálhatók az [1]-ben pontos mennyiségi adatként is. Következőkben a megértéshez feltétlen fontos néhány definíciót ismertetünk röviden.

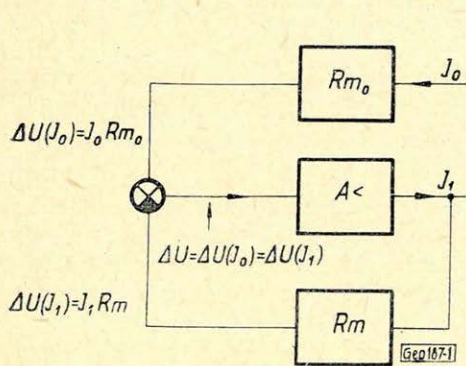
Az 1. ábrán látható a laterolog szabályzó tömbvázlata. Az I_0 áram az R_{m0} transzfer ellenálláson hozza létre a $\Delta U(I_0) = I_0 R_{m0}$ alapjelet az $S_1 S_2$ elektrodák között, míg az I_1 terelő áram az R_m transzfer ellenálláson a $\Delta U/I_1 = I_1 R_m$ visszacsatolt jelek ugyanott. E két jel különbsége a ΔU hibajel, amely az automatikus szabályozó berendezést vezérli. A szabályozás h hibája¹ ekkor

$$h = \frac{1}{1 + AR_m} \quad (1)$$

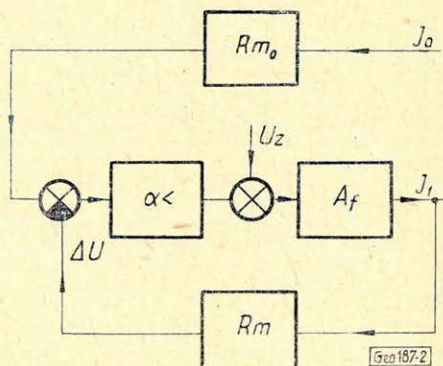
alakban írható.

¹ Lásd bővebben az [1] (18) összefüggését és a vele kapcsolatos szövegrészt.

Elsőnek a ΔU ágba becsatolt zavarjel hatását vizsgáljuk a 2. ábrán látható tömbvázlat alapján. Az $S_1 S_2$ elektródák között keletkező ΔU hibajel először egy α erősítésű fokozatra jut, majd ezután szuperponálódik a ΔU jelhez az U_z zavarjel. Az így keletkező U_v vezérlő jel vezérli az A_f erősítésjellemezőjű szabályozó berendezést, amely az I_1 terelő áramot szolgáltatja. A szabályozó hurok egyensúlyi egyenletét következő képpen írhatjuk fel: a hibajel



1. ábra Φuz. 1. Fig. 1.



2. ábra Φuz. 2. Fig. 2.

$$\Delta U = \Delta U(I_0) - I_1 R_m \quad (2)$$

a vezérlő feszültség a szabályzó bementén.

$$U_v = \alpha \Delta U + U_z \quad (3)$$

a termelő áram

$$I_1 = U_v A_f \quad (4)$$

A (3)-at és (4)-et a (2)-be helyettesítve, rendezve és ΔU -t kifejezve

$$\Delta U = \frac{\Delta U(I_0)}{1 + \alpha A_f R_m} - U_z \frac{A_f R_m}{1 + \alpha A_f R_m} \quad (5)$$

A szabályzás hibája²

$$H = \frac{I_1^* - I_1}{I_1^*} \quad (6)$$

ahol

$$I_1^* = \frac{R_{m0}}{R_m} I_0 \quad (7)$$

² Lásd az [1] (2) összefüggést.

A terelőáram hibája a (7) alapján

$$H = \frac{1}{1 + A_f R_m} + \frac{U_z}{\Delta U(I_0)} \cdot \frac{A_f R_m}{1 + A_f R_m} \quad (14)$$

ami megegyező (9)-el, ha $\alpha = 1$, tehát nem számít, hogy a zavarforrás a ΔU ágban, vagy a visszacsatoló ágban van.

Végül vizsgáljuk meg, hogy módosul-e az eddigi eredmény abban az esetben, ha a zavarforrás az R_{m0} ágban van. A 4. ábra alapján felírhatók az előzőekhez hasonlóan az alábbi összefüggések:

$$U_v = U_z + \Delta U(I_0) - I_1 R_m \quad (15)$$

$$I_1 = U_v A_f \quad (16)$$

A (15) és (16)-ból

$$I_1 = A_f \frac{U_z + \Delta U(I_0)}{1 + A_f R_m} \quad (17)$$

behelyettesítve a (6)-ba és rendezve a terelőáram hibája

$$H = \frac{1}{1 + A_f R_m} - \frac{U_z}{\Delta U(I_0)} \cdot \frac{A_f R_m}{1 + A_f R_m} \quad (18)$$

értéküre adódik, ami megegyező az előző eredményekkel.⁵

Megállapítható, hogy a szabályozó körbe bekerülő üzemi frekvenciás azonos fázisú zavarjel által okozott hiba igen nagy lehet, ha az közvetlen az $S_1 S_2$ elektródákon, vagy azokat a szabályzó bemenetével összekötő vezetéseken jelenik meg. Ilyenkor csupán az szabja meg – az egyébként jól működő – szabályozó berendezés által beállított I_1 áram hibáját, hogy az U_z és a $\Delta U(I_0)$ viszonya mekkora. Ugyanis ekkor a (10), (14) és (18) összefüggések jó közelítéssel

$$H \approx \frac{U_z}{\Delta U(I_0)} \quad (19)$$

alakot öltenek, mivel $A_f R_m \gg 1$ és $\alpha = 1$.

Ebből a tényből következik, hogy a laterolog szondák szigetelési minőségének igen jónak kell lennie, mert csak így biztosítható a kifogástalan szelvényminőség. Ez a megállapítás fokozottan érvényes sós iszapok esetében, mivel a $\Delta U(I_0) = I_0 R_{m0}$ összefüggésben szereplő R_{m0} értéke egyenesen arányos az iszapellenállással⁶, így csökkenő iszapellenállás esetén a $\Delta U(I_0)$ érték is csökken és az U_z értéke esetleg alig változik! Ennek következtében sós iszapoknál esetleg a mérés minősége nem lesz jó olyan szondával, amelyikkel normál iszapok esetén még elfogadható.

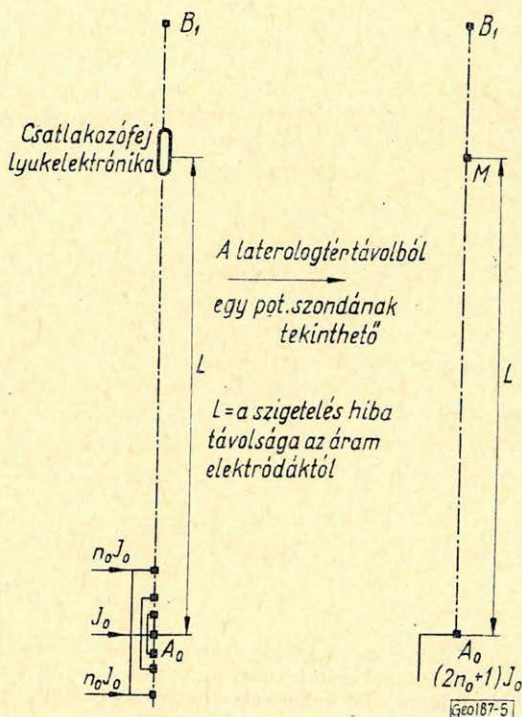
⁵ A (8), (13) és (17) azonos kifejezések kivéve, a második tag előjelét, amely attól függ, hogy a zavarforrás melyik ágban van. Az előjeltől joggal eltekinthetünk, mivel az U_z véletlenszerű esemény hatására keletkezik és előjele úgysem állapítható meg előre. Meg kell jegyezni, hogy gyakorlatilag a zavarforrás ágankénti elhelyezése nem bír reális jelentőséggel, ugyanis a szonda terében nem lehet a zavarforrást egyértelműen egyik, vagy másik ágba helyezni, csupán az $S_1 S_2$ elektródán a szabályzó bemenete felől nézve észlelhető az U_z zavarjel. Annak oka, hogy mégis megvizsgáljuk a különböző ágakba helyezett zavarjel hatását pusztán az, hogy a kapott ekvivalens eredmények alapján belátható legyen – bármilyen szigetelatlanságra, vagy egyéb átcsatlásra fellépő zavarjel azonos típusú hibát okoz és így egyformán kezelhető.

⁶ Lásd az [1] (30) összefüggését és az 5. ábráját.

Az előbbi megállapítás teljes mértékben alkalmazható a lyukelektronika nélküli laterolog méréseknél a kábelben becsatolt zavarjelek esetére. Ugyanis ekkor még teljesen jó szonda esetén is előfordulhat, hogy sós iszapban nem kapnak elfogadható szelvényt, mert az I_0 hatására keletkező ΔU sokkal kisebb lesz, mint a kábelben becsatolt reaktív hiba, mivel az gyakorlatilag független az iszapellenállástól.

A kábelben fellépő zavarjelek hatásának csökkentésére a (10) összefüggés alapján van lehetőség. Ugyanis ha az $S_1 S_2$ elektródák és a zavarforrás közé megfelelően nagy erősítésű erősítőt iktatunk, akkor elérhető, hogy az U_z által okozott zavar elhanyagolható lesz. A lyukműszerben alkalmazott ΔU köri előerősítő még inkább szükséges olyan fúrásokban, ahol a sós iszap mellett nagy a hőmérséklet és a nyomás, ugyanis ilyen helyeken a kábelben nemcsak reaktív átcsatolások keletkezhetnek, hanem a szonda fejekben és a kábeléren fellépő ideiglenes szigetelés-csökkenés miatt az U_z jel azonos fázisú komponense nagyságrendnyit is növekedhet.

Ismételten hangsúlyozni kell azonban, hogy a lyukelektronika előtti átcsatolt zavarjeleket semmilyen más módon nem lehet hatástalanná tenni, csak az elektródrendszer és az elektronika bemenetéig terjedő vezetékek kifogástalan szigetelése képes meggátolni kialakulásukat. Ezért feltétlenül fontos a szondák megfelelő technológiai kialakítása a legsúlyosabb üzemi körülmények esetére is!



5. ábra Физ. 5. Fig. 5.

A lyukerősítő alkalmazásával a kábelben fellépő káros csatolások hatását megszüntetni csak igen nagy erősítésekkel lenne lehetséges, azonban az erősítés növelésének vannak technikai akadályai. Emiatt továbbra is elég szigorú követelményeket kell az egyes kábelerek szigetelésével szemben támasztani, azonban ezek jóval enyhébbek, mint a lyukelektronika nélküli esetben.

A kábelzavar végleges kiküszöbölése csak a teljes szabályzóáramkörnek a lyukműszerben történő elhelyezésével lehetséges.

Következőekben néhány tájékoztató adatot adunk a szükséges kábelszigetelési értékekkel kapcsolatban. A legjobb szigetelésűnek az A_0 elektródához és a lyukműszerhez csatlakozó ereknek kell lenniök. Ezek szigetelésének a fúrólyukban a maximális igénybevétel esetén néhány tíz kohm nagyságrendűnek kell lenni (felszíni ellenőrzés esetén megohm nagyságrendű szigetelésnek felel meg). Valamivel enyhébb követelményeket lehet támasztani az M és A_1 erekkel szemben, mivel az M ér szimmetrikusan terheli a mérendő közettestet és viszonylag nagy a rajta levő jel, az A_1 éren pedig az automatikus szabályozó berendezés úgy állítja be az I_1 áram értékét, hogy az $A_1A'_1$ elektródákból kilépő áram közelítse meg elfogadható mértékben a $\Delta U = 0$ feltételhez tartozó I_1 értéket. Ilyen körülmények között pl. 10 kohm érszigetelés nem okoz hibát. A legkisebb szigetelési követelményeket a B_0 és B_1 erekkel szemben kell támasztani. Ezek esetleg zárlatosak is lehetnek, a mérési eredmény akkor is jó. Fel kell azonban hívni a figyelmet, hogy pseudolaterolog esetén a B_1 ér szigetelésének ugyanolyannak kell lenni, mint az A_1 érének, mivel nem közömbös, hogy az I_1 áram a $B_1B'_1$ elektródákon, vagy máshol tér vissza, ugyanis az utóbbi esetben a pseudolaterolog tér teljesen eltorzulhat.

Meg kell még említeni, hogy egyes esetekben elvégezhető a mérés akkor is, ha esetleg a lyukelektronikát tápláló erek közül az a kábelér, amelyik a felszínen földelve van a rossz szigetelésű. Azonban minden esetben gondos mérlegelést kíván annak eldöntése, hogy a kapott szelvény jó-e. Az ellenőrzést a (10) alapján lehet elvégezni oly módon, hogy az 5. ábrán látható szondaelrendezésből, illetve az ekvivalens potenciálszondából az U_z jel valószínű nagyságrendjét, a rendelkezésre álló R_{m0} görbeseregéből meghatározzuk az adott lyukviszonyoknak és a használt I_0 -nak megfelelő $\Delta U(I_0) = I_0R_{m0}$ értéket és – figyelembe véve, hogy az α a lyukelektronika erősítése (amely a jelenlegi lyukelektronikánál 3000), kiszámítjuk a H értékét. A szelvény elfogadható, ha a $H < 0,01$ értékre adódik. (Ezt az értéket ráhagyással kell megadni, mivel a különböző rétegek hatását még becsülni is nehéz elfogadható pontossággal az U_z alakulása szempontjából).

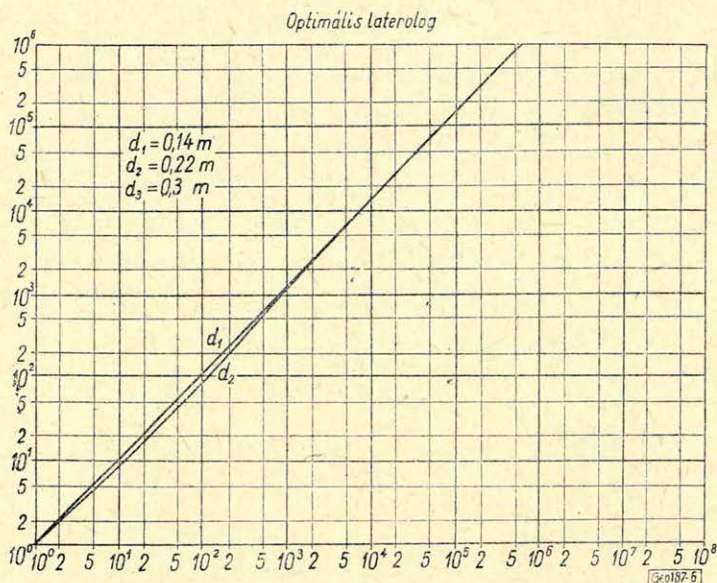
Az U_z értékét a következőképpen határozhatjuk meg: a laterolog szonda A_0 ; $A_1A'_1$ elektródáiból kilépő áramokat úgy tekintjük, mintha azok egyetlen A elektródából lépnének ki és a szigetelési hiba helyén,⁷ mint mérőelektródán az így keletkezett potenciál értékét a q_π és q_c körülbelüli értékének ismeretében a potenciál szondákra vonatkozó közismert összefüggés alapján

$$U_z = U_M = I_0(2n_0 + 1) \frac{q_e |q_c| [q_\pi / q_c]}{k} \quad (20)$$

⁷. Természetesen nem minden esetben lehet a szigetelési hiba helyét egyértelműen meghatározni a fúrólyuknál, de az eddigi üzemi tapasztalatok szerint a jelenleg használt kábelek elfogadható minőségűek; az esetek túlnyomó többségében a szondafejknél és a páncélkábelfej-kábel összekötéseknél lépnek fel a szigetelési meghibásodások.

határozhatjuk meg. A q_π értékére valamely más szelvényből származó olyan átlagértékeket kell venni, amely a szelvényt uralja. Ez a számító eljárás elvileg akkor alkalmazható, ha a B_0 és B_1 elektródák a végtelenben vannak.

A gyakorlatban ezeket az elektródákat véges távolságban helyezük el. Hatásukat nem vesszük figyelembe biztonsági okokból, jól lehet az kedvező, hiszen általában csökkenti a hibahely potenciálját. Célszerű ellenőrizni, hogy az adott elektród elrendezésnél a hibahely és a B , illetve a hibahelyek és az A elektródák közötti távolság közül melyik a kisebb, és lényeges eltérés esetén a kisebbel számolni, ugyanis így kedvezőtlenebb értéket kapunk H -ra. Ez a nagy biztonságra törekvés feleslegesnek látszik, azonban figyelembe kell venni, a terepi méréseknél nem végtelen vastag rétegekkel van dolgunk s ezért, hogy az utólagos meglepetéseket elkerüljük, érdemes biztonsággal számolni.

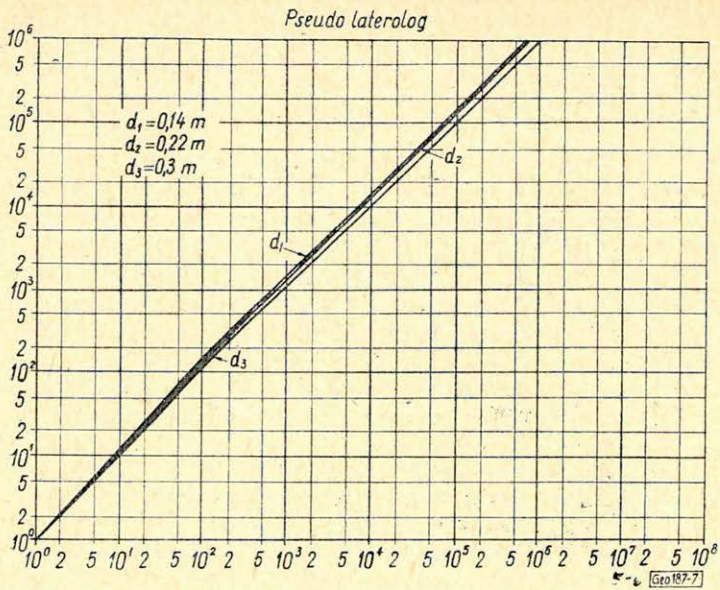


6. ábra Фиг. 6. Fig. 6.

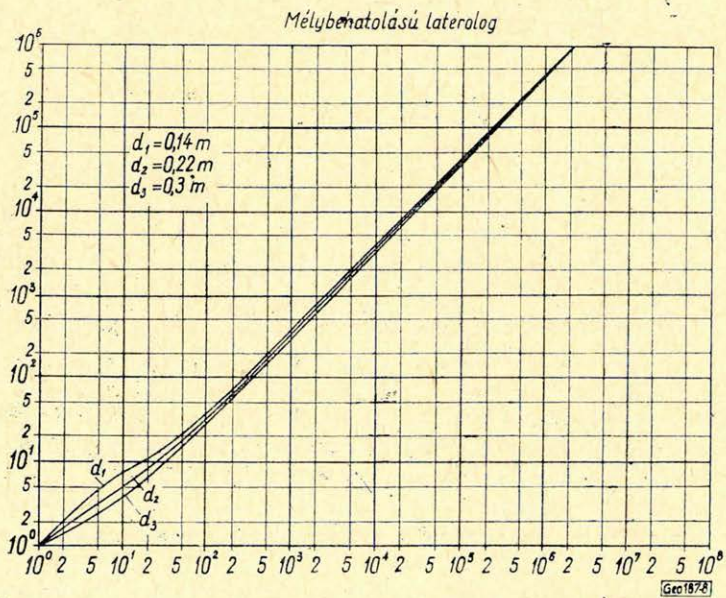
Természetesen ezt az engedményt csak szükségmegoldásként lehet javasolni – az üzemszerű megoldás a jóminőségű szigetelés.

Foglalkozni kell még röviden a szondák üzemkötési, tehát fúrólýukkörnyelmények között történő ellenőrzésével, amely igen fontos tevékenység az üzemi gyakorlatban, mert csak ekkor lehet biztosan eldönteni, hogy a szigetelések kielégítő minőségűek-e? Természetesen szigetelésmérést elvi okokból nem lehet végezni (hiszen az elektródák az iszapon keresztül zárlatosak), hanem a szonda által szolgáltatott adatokat kell felhasználni ellenőrzésre.

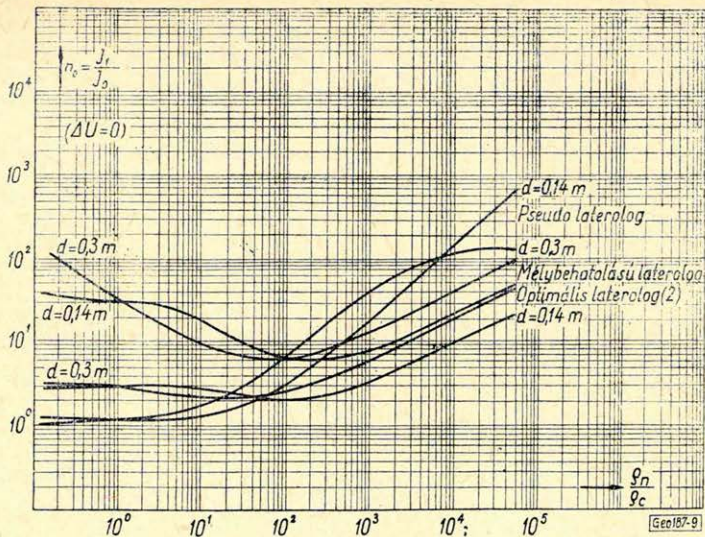
Az ellenőrzés főleg az impermeabilis (kétréteges) viszonylag vastag rétegekben végezhető el megbízhatóan a rendelkezésre álló $q_l/q_c = f[q_\pi/q_c]$ összefüggések és az $I_1 = f[q_\pi/q_c] = 2n_0 I_0$ görbeseregek alapján. Az egyes szondákra vonatkozó $q_e/q_c = F[q_\pi/q_c]$ görbék a 6., 7. és 8. ábrákon láthatók, míg az $n_0 = f[q_\pi/q_c]$ görbék az optimális-, pseudo- és mély behatolású-laterolog szondákhoz a 9. ábrán található.



7. ábra Фиг. 7. Fig. 7.



8. ábra Фиг. 8. Fig. 8.



9. ábra Физ. 9. Fig. 9.

Az ellenőrzés menete a következő: A jól ismert d átmérőjű fúrólukban kiválasztunk egy – lehetőleg kis ellenállású, impermeabilis, elég vastag⁸ réteget és lehetőleg a réteg szimmetriasíkjának közelében megállva leolvassuk a ρ_l látszólagos ellenállásértékét és a terelőáram $I_1 = 2n_0 I_0$ értékét. A $\rho_l / \rho_c = f[\rho_\pi / \rho_c]$ görbékéből az iszapellenállás ρ_c ismeretében meghatározzuk a ρ_π / ρ_c értéket, majd ennek birtokában az n_0 értékét a 9. ábra görbéi alapján. A mérésből és a görbeseregek alapján meghatározott két n_0 értéknek 10–20%-ra meg kell egyeznie jó szigetelésű szonda, illetve kábel esetén. Természetesen a d -t elég pontosan kell ismerni, mert emiatt lényeges eltérés adódhat pl. kavernásodás esetén. Az I_0 értékét az U_0 / R_0 alapján célszerű meghatározni, ahol U_0 a mérőáramkört generátor kapocsfeszültsége, R_0 a korlátozó ellenállás.

Másik ellenőrzési mód a különböző laterológ szondák indikációinak összehasonlítása azonos mélységű impermeabilis helyeken a 6., 7. és 8. ábrák alapján. Főként az M ér szigeteletlenségét lehet ezzel a módszerrel felderíteni (ha a hitelesítés hibátlan) közepes ρ_π / ρ_c kontrasztoknál, mivel ott az előző módszer az $n_0 = f[\rho_\pi / \rho_c]$ görbék lapos minimuma miatt nem mindig szelektív eléggé.

A leggyakoribb hibák és jellemző ismérvek, valamint legvalószínűbb okaik a következők:

– Az I_1 áramot a szabályozó visszafogja zérus, vagy igen kis értékre, a látszólagos ellenállás igen kicsi ahhoz az értékhez viszonyítva, amely a kérdéses helyen várható lenne.

⁸ A minimális rétegvastagság 8–15 m szondatípustól függően. Optimális laterolog szondánál a kisebb, pseudo és mélybehatolású szondáknál a nagyobb értéket kell választani. Természetesen befolyásolja az elfogadható rétegvastagságot az ágyazó kőzetek ellenállása, pl. nagyellenállású mészkő területen az itt megadott vastagság két-háromszorosát kell venni.

Az A_0 vagy az S_1 ér szigetelése rossz, vagy az I_0 kör szakadt.

– Az I_1 áramot a szabályzó igen nagy értékre állítja, gyakorlatilag rendszerint a teljes I_1 áramot kiadja.

Az S_2 vagy az A_1 ér sérült meg.

– Más szelvények alapján (pl. mélybehatolásúnál optimális alapján stb.) az I_1 értéke megfelel az I_0 értékének, de a mért látszólagos ellenállás nem.

Az M ér sérült meg.

– A szelvényen sorozatosan negatív ellenállás-indikációk fordulnak elő, a szabályzó rendszertelenül működik stb.

Több ér szigetelésének egyidejű sérülése szondafejben, azonos szintű csatlakozásoknál stb.

– A lyukelektronikát tápláló egyenáram hirtelen megnő.

Az ún. S_1^0 – pozitív polaritású ér – szigetelése hibásodott meg.

– A lyukelektronikát tápláló S_2^0 ér felszíni megszakítása esetén a tápláló egyenáram nem szűnik meg, csak kissé lecsökken, egyébként kissé nagyobb a tápáram, mint az a műszer normális üzeme esetén.

Az S_2^0 ér szigetelése hibásodott meg. (Ez esetben lehetséges a mérés elvégzése kedvező körülmények esetén, mint azt már az előbbieken ismertettük.)

Végezetül ismételten fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a jó laterológ mérés egyik legfontosabb feltétele a kifogástalan minőségű szonda és kábel. Igaz a jóminőségű szondák kialakítása és azok ipari szinten történő üzemeltetése nem egyszerű feladat, de mint azt az eddigi gyakorlati eredmények bizonyítják megoldható.

IRODALOM

- [1] Kubina I.: A 7 és 9 elektródás laterológ szabályzási viszonyai.
Magyar Geofizika 1966. VII. 4. szám.