

## A TEREPI DIGITÁLIS REGISZTRÁLÁS SZÜKSÉGESSÉGE A LYUKSZELVÉNYEZÉS JELENLEGI FEJLETTSÉGI FOKÁN

SALAMON BATUR\*

### Bevezetés

Bármilyen digitális technika csak számítógépes adatfeldolgozással együtt hatékony. A hatékonyság, vagyis a nagyobb számítási pontosság és nagy adathalmazok gyorsabb, sokoldalú feldolgozása ott domborodik ki, ahol ez — az analóg technikához viszonyítva — bizonyítható gazdasági előnnyel jár együtt.

Az analitikus korszakába lépett lyukszelvényezés által szolgáltatott információk nagy mennyisége, a nehezen tisztázható, vagy területfüggő összefüggések meghatározása előtérbe hozza a digitális technikát. Ehhez járul, hogy az interpretációval foglalkozó szakemberek a számítógépben „megváltót” látnak, hiszen meg akarnak szabadulni az analóg felvételek fáradságos kiértékelésétől és az analóg kiértékeléssel szükségképpen velejáró szubjektív minősítések felelősségétől. Az utóbbi tényező valószínűleg a legfontosabb alapja azoknak a szemléleti vitáknak, amelyeknek középpontjában a *gépi feldolgozás és emberi értelmezés* egymáshoz való viszonya áll. Mielőtt ebben a kérdésben állást foglalnánk, hadd emlékeztessünk arra, hogy a meghatározandó földtani adatokhoz mindenképpen csak közvetett úton juthatunk. A különböző mérőszondák által szolgáltatott ún. elsődleges információkból a kívánt földtani paramétert, ill. a tárolók tulajdonságainak legtöbbjét: pl. a víztelítettséget, szénhidrogén-tartalmat stb. csak további számításokkal kaphatjuk meg.

A méréstechnikai és interpretációs módszerek legszélesebb köre a szénhidrogén-kutatásban és -termelésben alakult ki, mivel a termelés volumene és gazdaságossága a kedvező körülményeket itt megteremtette. Nem szabad azonban megfelelkezni a szilárd ásványi nyersanyagok, valamint a vízkutatás igényeiről sem. Az utóbbi években ezeken a területeken is korszerű mérési eljárások születtek, amelyek a szokásos krotázs-információ (a telep indikációja, mélysége) túlmenően a kitermelendő anyag tulajdonságainak (pl. hamutartalom, érc tartalom) *in-situ* meghatározására is alkalmasak. Az itt alkalmazandó méréstechnikánál és technikai újításoknál a gazdaságosság még élesebben vetődik fel, mint a szénhidrogéniparban.

A digitális adatfeldolgozás lyukgeofizikai bevezetésének, ill. alkalmazásának különféle irányzatai vannak (STEINBRECHER, 1968; SEBESTYÉN, 1972), de ezek kritikája nem feladatunk. Feltételezzük, hogy a számítógépes adatfeldolgozás hívei a *mit, miért, mennyiért* kérdésre bármikor felelni tudnak. Azt is adottnak vesszük, hogy megfelelő számítógép, jól szervezett adatátviteli hálózat és adekvát programrendszer áll rendelkezésünkre, a végeredmények tehát a megrendelőhöz gyorsan eljutnak. Mindezek *elé* kell a krotázsszelvények számítógépbe adható formában rögzített digitális szalagja.

\* M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest  
A kézirat beérkezése: 1973. okt. 15.

A karotázsszelvények digitálásának kétféle módja van. Az egyik az irodai, amely lehet kézi vagy automatikus. A másik a terepi, vagyis közvetlenül a fúrólukon készülő digitális felvétel.

Az irodai szelvénydigitáló berendezések számos változata alkalmas arra, hogy a hagyományos úton, analóg görbe formájában rögzített szelvényeket digitálissá alakítsa. Ezek a berendezések nemcsak azért jöttek létre, mert egyszerűek és olcsók, hanem azért is, mert a szelvényezés eredményének filmre, vagy papírra rögzítése ma még uralkodó. A legfontosabb ok azonban az, hogy a régebben készült felvételeket érdemes digitálisan újra feldolgozni, természetesen csak akkor, ha megfelelő programjaink vannak. Megfelelő programozásokkal igen sok rejtett információ napfényre hozható, és a kidolgozott programokat éppen ezekkel az anyagokkal lehet a legjobban kipróbálni, hiszen a korábbi értelmezéseket fúrással már rendszerint ellenőrizték, és a fúrások tényei igazolhatják a programok helyességét. Így — viszonylag kis befektetéssel — óriási mennyiségű adathoz juthatunk, és egy regionális feldolgozás földtanilag különösen hasznos lehet.

Ha tehát a digitális feldolgozás bizonyított információöbbltetet nyújt, a további lyukszelvényező méréseknél kihagyhatjuk az irodai eljárást és a közvetlen terepi digitálásnak előnyt kell adni, különösen ha gyorsabb és nagyobb pontosságú. Vizsgáljuk meg ezt közelebbről.

### Divat vagy megfontolás?

Aki a szakirodalmat visszamenőleg is tanulmányozza, észreveheti, hogy számos tudományág fejlődésében gyakoriak a divatos áramlatok. A szakemberek mindenáron korszerűek akarnak lenni és előrehaladásuk feltételeként a legmodernebb technikai vívmányokra törekednek. A geofizikus is szívesen kijelenti, hogy a *legkorszerűbb műszerek* nélkül nem tud hatásosan dolgozni. Ez így önmagában nem is kárhoztatható, de a korszerűség követelményének a teljes mérési-feldolgozási-értelmezési láncra ki kell terjednie.

A szeizmikus kutatásban ma már nem lehet vita az analóg és a digitális mérési-feldolgozási technika fölött, mert a mérendő jelekben rejlő *többletinformációk* és egyáltalában az *óriási tömegű adatok* csak digitális úton dolgozhatók fel. De a lyukszelvényezésben megkérdezhetjük: ma már minden mérészondánk olyan tökéletes kapcsolatban áll a föld fizikai paramétereivel, hogy kizárólag a terepi digitálás hiányzik?

Mielőtt a kérdésre válaszolunk, vizsgáljuk meg tudományos-műszaki szempontból a kérdést. Ismeretes, hogy az USA-ban és a Szovjetunióban egyaránt intenzíven foglalkoznak digitális fejlesztéssel, és Magyarországon is megtörténtek már az első kísérletek. A fejlesztési szempontok — a témát megvilágítandó bizonyos egyszerűsítéssel — két típusba sorolhatók:

a) a műszerkocsiban levő digitális regisztráló *egyszerű* szerkezet legyen, amely a fotoregisztrálóval párhuzamosan a filmre kerülő analóg jeleket számjegyesen is rögzíti;

b) a műszerkocsiban levő digitális regisztráló *komplex* szerkezet legyen, amelybe az a) változat képességein túl új funkciókat (nukleáris spektrum, akusztikus hullámkép stb.) is beépítenek.

Nem említjük külön változatként azt a törekvést, hogy mindkét műszertípust célszámítógéppel, vagy különböző bonyolultságú processzorokkal egészítsék ki, amelyek egyaránt lehetnek analóg vagy digitális szervezésűek.



A két műszertípusnál a digitális mérés technika elektronikai teljesítőképességét azonosnak kell tekintenünk. A mérési eredmények értékelésekor a mérési láncban (jelforrás — mérőműszer — mért érték) elsősorban a jelforrást kell megvizsgálni. A karotázsméréseknél alkalmazandó digitális regisztráló működési alapelve, hogy az egyes mérőcsatornák (a szondák és a hozzájuk tartozó jelkondicionáló áramkörök) jeleit a mélység szerint mintavételezzük és tároljuk. A bemenő adatok tehát a mélységértékek és a mérőcsatornák jelei. Bármilyen mért paramétert a fúrt lyuk tengelyének egy pontjához kell rendelni, ezért a karotázsmérések eredményeinek értékelése során a mélységmeghatározás pontossága igen fontos. A termelési szakemberek szerint „a tárolók részletes elemzését 0,5 m vastagságú rétegszakaszonként kellene elvégezni” (FERENCZY, 1971). Ez az igény csak az egyes szelvényező módszerek eredményeinek matematikai és geofizikai korrelációjával biztosítható, mivel a kábel szelvényezések mélységmérésének abszolút pontossága ennél rosszabb.

A lyukszelvényezéshez ma már általában páncélkábeleket használnak. Ezek használata még kisebb mélységű kutatásoknál is sokkal kedvezőbb, mint a különböző műanyagborításúaké. Egy átlagos sűrűségű fúróiszapba lebecsátott, 13,2 mm átmérőjű, héteres páncélozott karotázskábelben 5000 méter mélységig, saját súlya és a hőmérséklet hatására 25 méter nyúlás is bekövetkezhet! Ezért alkalmazzák a gyakorlatban valamilyen definiált terhelés mellett a kábelre felrakott mágnesjeleket. Ezekkel a mélységmérés pontossága 1%-re biztosítható (ГОРЬЕНКО, 1967). Ezt az értéket a megjelölések pontossága, az átlagos felszíni és lyukbeli hőmérséklet-változás, a különféle iszapok fajsúlykülönbsége, a lyukműszerek terhelésnövelő hatása, valamint az eltérő vontatási sebességek hatása alakítja ki (SZILÁGYI, 1966).

A digitális regisztráló mélység szerinti vezérlését a kábel által meghajtott mérőkerékről lehet megoldani, valamilyen rezolverrel. A kábel előbb említett nyúlása, valamint a mérőkerék előtti csúszása ily módon közvetlen hibaként jut a digitális regisztrálóba. Ezért szükséges a kábelre felvitt jelekkel korrekciót végezni. Ezeket a jeleket pedig csak a fenti pontossággal észlelhetjük.

A mélységmérés tehát nem digitális probléma. A digitális regisztrátor a mélységmérés pontosságát nem növeli. Korszerű elektronikus kapcsolásokkal a korrigálás automatikussá tehető, de a kábelre felrakott jelek egyszerű észlelése nem elegendő még az 1% pontosság biztosításához sem, ha az adott lyuk ide vonatkozó jellemzőit nem vesszük figyelembe.

A digitáló mérőcsatornákra különféle jelek kerülnek. A következő gondolatmenetnél tisztán a műszerek elektronikus jellemzőit — a működési módot, a pontosságot, a stabilitást — vesszük figyelembe. A mérőszondáknak a lyukfallyal való tökéletlen kapcsolatát nem tekintjük. A specifikációkból kiolvasható hibahatárt statisztikus jellemzőnek értelmezzük, és úgy számolunk vele, mintha a műszer bemérési „standard deviációja” volna.

Egy ellenállásszelvény készítésekor használt elektronikus áramgenerátor kimeneti áramának instabilitása  $\pm 2\%$ , a mérőerősítő hosszú idejű instabilitása sem jobb  $\pm 1\%$ -nál. A hitelesítéskor felhasznált ellenállások pontossága  $\pm 0,5\%$ . Tehát a megmért fajlagos ellenállás értéke 68,3% valószínűséggel,  $\pm 2,3\%$  relatív hibával terhelt.

Nukleáris méréseknél természetesen a radioaktív sugárzás statisztikus ingadozása a meghatározó. Az általános szelvényezési gyakorlatban ez  $\pm 2\%$  relatív, egyszeres szórás szint. Ehhez járul még a szonda detektorának és elektronikájának kb.  $\pm 2\%$ -os instabilitása, a ratemeterek kb.  $\pm 2\%$  hibája és instabilitása. Az elsődleges nukleáris indikáció átlagértéke tehát 68,3% valószínűséggel,  $\pm 3,5\%$  relatív hibával terhelt.

Ezt a becslést alkalmazva, a használatos mérési eljárások műszereinek elektronikus instabilitásából eredő mérési „bizonytalanságok” a következők:

Elektromos ellenállás	$\pm 2,3\%$
Indukciós	$\pm 3,5\%$
SP	$\pm 3,0\%$
Laterolog	$\pm 3,0\%$
Nukleáris (egyszerű)	$\pm 3,5\%$
Akusztikus	$\pm 4,0\%$

Tegyük még hozzá, hogy ha a pontosság definiálásában a mérések reprodukálhatóságának is szerepet juttatunk (HORVÁTH, 1972), akkor a mérőszondák megállapíthatatlan mozgása és a fúrólyuk egyéb zavaró hatásai következtében az elérhető mérési pontosság tovább csökken: a bizonytalanság átlagosan  $\pm 5\%$ -ra növekszik (SZILÁGYI, 1970).

A digitális észlelés nem módszer! A digitálás a leírt mérési pontosságot önmagában természetesen nem növelheti meg és félő, hogy a digitalizálás elektronikus bővölete a mérési módszerek tökéletesítésétől a figyelmet (és főleg a pénzt) eltereli. Nyugodtak lehetünk, hogy az elektronikai ipar, a maga fejlődési útján, egyre jobb digitális regisztráló műszereket kínál. De vajon nem marad-e el maga a geofizika jelenlegi eszközeinek javításában és újabbak kutatásában?

A digitális regisztráló „a” típusú fejlesztésével elégedetlen szakember nyilvánvalóan a „b” típusú fejlesztésre törekszik, különös tekintettel az új funkciókra (nukleáris spektrum, akusztikus hullámkép stb.; BARLAI, CZEGLÉDI, MÜLLER, 1973).

Mindenekelőtt ne feledkezzünk el arról, hogy az akusztikus hullámkép amplitúdó – idő pontossága sem jobb néhány százaléknál, mégha ezt elegendőnek tartják is egy új eljárás kezdeti kísérleteinél. A nukleáris spektrális szelvények pontossága pedig, ha szondánk véletlenül instabil (és igen sokszor az), rendkívül rossz lehet. Továbbmenve: a mélységpontonként mintavételezett teljes nukleáris spektrum gyűjtési időtartama, a szonda folyamatos mozgása miatt rövid. Ezért olyan kevés impulzust tartalmaz, hogy a statisztikus hiba következtében nem értékelhető.

A példaként kiemelt két újabb módszer még elméletileg sincs teljesen kidolgozva. Mindkettőt ígéretesnek tartjuk, de el kellene gondolkozni, hogy vajon nem a mérési módszertani alapjának kutatása fontosabb-e, mint a módszertanilag megalapozatlan mérések adatainak digitális jelfrögzítése?

A digitális elven működő voltmérő, amely az „a” típusúhoz, valamint a sokcsatornás amplitúdóanalizátor, amely a „b” típusúhoz szükséges, régóta ismert műszerek. A lyukszelvényezéshez való adaptálásuknak nincs akadálya (ha a divat is úgy kívánja), de ezekkel a föld érintett fizikai paramétereit *nem pontosabban, csak digitálisan* mérhetjük.

### Műszaki színvonal

Az utóbbi években az elektronikai iparon belül az integrált áramkörökkel készített, komplett alegységek (A/D, D/A konverterek, analóg multiplexerek, speciális műveleti erősítők, függvénymodulok, tápegységmodulok stb.) kutatása és gyártása óriási mértékben fejlődött. Segítségükkel szinte gyerekjáték egy digitális mérőrendszert összeállítani. Ma már számos cég hoz forgalomba különböző specifikációjú

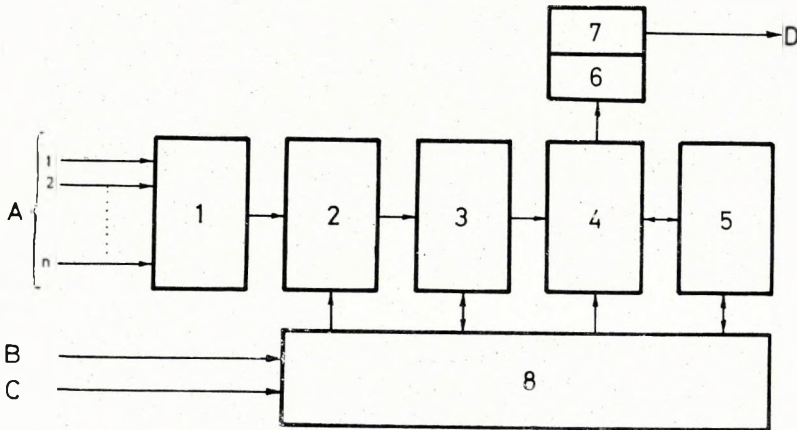


adatgyűjtő berendezéseket. Könnyű felismerni, hogy a lyukszelvényező mérésekben alkalmazandó terepi digitális regisztráló előbb jellemzett egyszerű („a”) típusa lényegében egy kereskedelemben kapható adatgyűjtő berendezéssel azonos. Milyen specifikációt kell egy ilyen műszernek kielégítenie?

Mindenekelőtt tekintsük át igen röviden a közismert adatgyűjtő rendszerek működését (1. ábra). A feldolgozandó jelek az ún. skálaerősítőkön keresztül a multiplexerre kerülnek, amely ezeket, valamilyen sorrendben, az analóg-digitál konverterre kapcsolja. A konverzió eredményét a viszonylag lassabb működésű mágnesszalagos regisztráló miatt átmenetileg tárolni kell. A tároló tartalmát szokásos számjegyesen kijelezni, valamint (digitál-analóg konverzióval) analóg monitorként megjeleníteni. Az egész rendszer működését, a működés ütemszerűségét, a programozó egység külső utasításra, valamilyen paraméter szerint — a lyukszelvényezésben a mélység függvényében — vezérli.

A továbbiakban, tényekre alapozva, végezzünk egy tipikus, de a szélsőségeket is szem előtt tartó méretezést. A közhelyek használatát mentse, hogy valójában nem is annyira közhelyek.

A *bemeneti jelek* valamelyik szelvényezési mód felszíni egységéből a regisztráló felé kimenő jelek. A bemeneti csatornák számát az egyidejűleg regisztrálható adatok száma határozza meg. Ez a szám, aszerint, hogy a szonda egyszerűbb vagy bonyolultabb, többnyire 2 és 5 között van. Dipmétereknél maximálisan 9, tehát 10-et biztonsággal vehetünk. A bemenő jelek feszültséghatárai általában: 5 és 500 mV.



1. ábra. Egy adatgyűjtő rendszer elvi vázlata: *A* bemeneti jelek, *B* mélységimpulzusok, *C* mélységkorrekció, *D* analóg kimenet, 1 skálaerősítő, 2 multiplexer, 3 A/D konverter, 4 puffertároló, 5 mágnesszalagos regisztráló, 6 számjegyes kijelzés, 7 D/A konverter, 8 programozó egység

Fig. 1. Sketch of a data acquisition system; *A* input signals; *B* depth pulses; *C* depth correction; *D* analog output; 1 scale amplifiers; 2 multiplexer; 3 A/D converter; 4 buffer memory unit; 5 magnetic tape recorder; 6 numerical display; 7 D/A converter; 8 programming unit;

Рис. 1. Схема системы накопления данных: *A* — входные сигналы; *B* — импульсы глубин; *C* — поправки за глубины; *D* — аналоговый выход; 1 — усилители шкалы; 2 — коммутатор каналов; 3 — преобразователь аналог-код; 4 — буферная память; 5 — регистратор с магнитной записью; 6 — цифровое индикаторное устройство; 7 — преобразователь код-аналог; 8 — программирующее устройство

A regisztrálókban levő galvanométerek ezt a jeltartományt kényelmesen fedik. A galvanométerek másik tulajdonsága, a kislekvenciás átvitel, biztosítja a hasznos jelre szuperponálódó nagyfrekvenciás zavarok vágását.

Nem ismeretes olyan tanulmány, amely az analóg lyukszelvények frekvencia-spektrumát tárgyalná. A regisztrátum, a szonda mozgatása miatt, időfüggvénynek tekinthető. Az analóg szelvények alakja a szondák geometriai hatásterétől, a vontatási sebességtől és természetesen a mindenkori földtani viszonyoktól függ. A frekvenciasávot elektromos méréseknél a regisztráló működési sebessége, nukleáris méréseknél az integráló áramkör időállandója korlátozza. A jelenlegi szelvényezések leggyorsabbika, az ellenállás-szelvényezés, kielégítő pontossággal elvégezhető 1 Hz sávzélességű regisztrálóval, amit az évtizedes gyakorlat is igazol.

A bemeneteken nincs szükség digitális jelfogadásra, mert a mai gyakorlatban a regisztrálandó jelek lassan változó, analóg jelek. A nukleáris méréseknél nincs szükség az impulzusszám rögzítésére, ha már a felvétel során az impulzusokat valamilyen függvény szerint, valamilyen földtani paraméterre (sűrűség, porozitás) átszámítottuk. Vannak ugyan konstruktőrök, akik a ratemeterek időállandójában rejlő vontatási sebességkorlát miatt az impulzusszámlálást fontolgatják. *A nukleáris jelenségek statisztikus természete azonban minden ilyen elképzeléssel szemben áll.* A karotázs gyakorlatban szokásos 2%-os valószínű hiba biztosításához ugyanis a mérési időnek az átlagbeütésszámmal való szorzata 1100 kell, hogy legyen. Példának okáért 3 sec mérési időhöz — ami 4 m/min (kis) vontatási sebességnél 20 cm-es mintavételezésnek felel meg — 22 000 cpm átlagbeütésszámot kell biztosítani. A mai gyakorlatban ez általában még nem teljesíthető.

A skálaerősítők feladata a bemeneti jelek megfelelő szintre való erősítése vagy csillapítása és a kellő sávzélességű frekvenciaátvitel. A differenciális bemenet a legcélszerűbb, annak ellenére, hogy a felszíni egységek kimenetei gyakran aszimmetrikusak. A szükséges erősítés mértékét az A/D konverter érzékenysége és a bemeneti jelek nagysága határozza meg. Célszerű az erősítést változtathatóvá tenni, hogy a skálák kalibrálásakor tetszőleges számjegyes értéket be lehessen állítani. Ezáltal a digitálisan mért értékeket — éppúgy, mint az analógokat — azonnal hitelesített skálában rögzíthetjük, és későbbi számítógépes előrendezésre nincs szükség.

Amennyiben az A/D konverter működési tartománya  $\pm 1$  V, az analóg multiplexerek átviteli tényezője 1, a skálaerősítők maximális erősítési tényezője 200 kell, hogy legyen. Az aluláteresztő szűréshez a fotoregisztrálók galvanométereinek 0–1 Hz sávja eddig elegendő volt. Ezt a jövőben sem érdemes bővíteni, mert a szondák vontatási sebessége más okokból amúgysem növelhető. Az átviteli sáv után 30–40 dB/D meredekségű vágással elérhetjük, hogy 15–20 Hz-cel működő mechanikus vagy elektronikus pulzátorok zaja elhanyagolhatóan kicsi legyen.

A multiplexer kiválasztásánál probléma nem lehet, a gyártott típusok minden adata megfelel a lyukszelvényezés igényeinek. Egyetlen probléma, hogy 8 bemenetű egységeket gyártanak, a 10 bemenet megvalósítása tehát kissé gazdaságtalan (6 felesleges). Differenciális előrendezésre a multiplexernél nincs szükség, mert a skálaerősítők bemenetén ez már megvan.

Az A/D konverter a legfontosabb egység; specifikációját több szempontból kell megközelíteni. Az egyes mérési módszerek (ellenállásszelvényezés, laterolog, indukciós karotázs, akusztikus és nukleáris karotázs) mérési dinamikája nem azonos. Legnagyobb az ellenállásmérések dinamikája: 0,2–2000 ohmm. Meg kell azonban jegyezni, hogy a gyakorlatban, a különféle szelvényezéseknél, 100-szorosnál nagyobb átfogás ritkán fordul elő, például 1–100 ohmm, vagy 10–1000 ohmm. A dinamika bizto-



sítására tehát előjelképzéssel egy 12 bit-es, vagy egy  $3\frac{1}{2}$  BCD tartományú konverter megfelel. Az utóbbi kényelmesebb decimális kijelzést tesz lehetővé. A mérési pontosságra vonatkozóan megállapíthatjuk, hogy  $\pm 1$  LSB feloldással valamennyi mérési módszer pontossága kielégíthető. Ez a számítás egyébként megfelel annak az elfogadott definíciónak (Ривкин, 1964), amely szerint a karotázs regisztráló műszerek dinamikája nem más, mint a legnagyobb regisztrálható jel és a még leolvasható legkisebb kitérés (érzékenységi küszöb) viszonya. Galvanométeres regisztrálónál ez a viszonyszám kb. 2000.

### I. táblázat

Különbféle lyukszelvényező mérések sebességi jellemzői

Mérés típusa	max. szelvényezési seb. $V$ (m/min)	Mintavételi köz $Z$ (cm)	max. csatornaszám $N$	$S = \frac{V \cdot N}{Z}$ (1/sec)
Ellenállásmérés, indukciós, laterolog	30	10	5	25
Akusztikus	15	10	2	5
Mikrolog, mikrolaterolog	9	2	4	30
Nukleáris, (gamma, komp. sűrűség porozitás)	9	10	4	6
Diplog	6	5	9	18
Termikus neutronélettartam	6	10	6	6

Az A/D konverter kiválasztását az egész adatgyűjtő rendszer működési sebessége határozza meg. Az I. táblázatban röviden összefoglaltuk az egyes módszerekre vonatkozó sebességi jellemzőket. Ezek azonban csak egy-egy módszerre érvényesek, nem pedig kombinációkra. Ha például akusztikus, vagy indukciós szondát gamma-sugár-detektorral kombinálunk, a szelvényezési sebességet csökkenteni kell. A mintavételi közt Kotelnjikov elmélete szerint végzett számításból (ИТЕНБЕРГ, 1972), 2,5%-os pontosságú szelvényezéshez állapítottuk meg. Az utolsó oszlop adata a másodpercenkénti konverziók számát adja meg. Láthatjuk, hogy a leggyorsabb módszerhez tartozó konverziós idő nem több, mint 33 msec. Ez kis működési sebesség, tehát nyugodtan választhatunk integráló típusú és kettős meredekségű A/D konvertert. Ennek integráló üzemmódja jó zajelnyomást biztosít, és ennél nincs szükség mintavevő és tartó áramkörre. Átlagoló tulajdonsága van. Ha tehát az integráló idő 5 msec, akkor 1 ezrelékes mintavételi hibával 5 Hz-es jel mintatávételezése lehetséges. Ha a teljes konverziós idő 5 msec, akkor 9 csatornáé 45 msec; diplog méréseknél alkalmazott vontatási sebesség mellett ez nem egészen fél centiméter mélységtorzulást okoz, ami elhanyagolható.

Az 1. ábra jelfolyamatának logikáját megszakítva, térjünk most át a *mágnesszalagos regisztrálóra*. Ilyen berendezéseket igen nagy választékban gyártanak. A számítógép-technikában a mágnesszalagos regisztrálónak sok változata terjedt el. Ezeket elsősorban a folyamatos, vagy inkrementális üzemmód, a sávok száma és az ehhez kialakított szabványos felírási formátumok szerint lehet csoportosítani. A kiválasztandó típust a számítógépes kompatibilitás is motiválhatja, mivel azonban

minden eddigi tervezés arra vezetett, hogy a lyukszelvényezésben igényelt rögzítési eljárás formája a számítógépbe adás előtt még egy átírást, vagy szalag-szalag konverziót igényel, a mágnesszalagos regisztráló egység megválasztásánál egyéb műszaki szempontok kerülhetnek előtérbe. Ilyenek: a tárolási kapacitás és a működési sebesség.

A modern adatgyűjtő berendezéseket egyszerű, kazettás mágnesszalagos regisztrálóval készítik, amelyek minden jellemzőjükkel felülmúlják az elődjüknek tekinthető lyukszalagperforátokat. Az utolsó években megjelent típusok működése 480 BPI felírási sűrűséget is biztosít, tehát egy standard kazettán több mint  $10^6$  bit tárolható. Ez azt jelenti, hogy ha a maximálisan előforduló 9 csatorna 14 bit információját (13 bit mérési tartomány + 1 előjel bit) a hozzá tartozó paritásbittel 5 cm mintavételi sűrűséggel kell tárolni, akkor egy kazettára 400 méter szelvény fér rá. Az átlagoshoz közelebb álló esetben, például a kompenzált sűrűségmérésnél, a 4 adat, 10 cm-es mintavételi sűrűséggel, 1800 méter szelvény készítését engedi meg.

Az inkrementális kazettás mágnesszalagos regisztrálók működési sebessége eléri a 800 bit/sec értéket, ami az I. táblázat szerint minden módszer sebességét (S) meghaladja.

Az üzembiztonság sem elhanyagolandó szempont. A mágnesszalagos regisztrátum hibátlanóságát szigorúan kell venni, mert a lyukszelvényezési műveletet általában nem lehet megismételni. Ismeretes az ún. visszhang-ellenőrzés (a felírás utáni azonnali visszaolvasás), elsősorban a nagyobb kategóriájú regisztrálóknál. A prospektusok kazettás regisztrálókra minimálisan az  $1:10^6$  hibaarányt adják meg. Ez azt jelenti, hogy egy teljes kazettán levő kb.  $10^6$  bit-ből átlagosan csak egy lehet hibás, vagyis csak egyetlen információs adatot kell elvetni. Kéértékelési hibát ez nem okozhat, mivel egy 1000 méteres szelvényből 10 cm kiesése elhanyagolható.

A kazettás mágnesszalagos regisztráló kiválasztásánál megemlítendő még, hogy lényeges az inkrementális üzemmód, ugyanis változó csatornaszámnál és szelvényezési sebességnél a tárolási kapacitás gazdaságos kihasználása csak így biztosítható. Ezenkívül célszerű, ha a regisztráló író és olvasó üzemmódban egyaránt tud működni, minthogy a műszerkocsiban csak az azonnali visszaolvasás szolgáltathatja annak gyors ellenőrzését, hogy a berendezés helyesen működik-e.

A puffertároló a gyors mintavételezéssel előállított adatokat átmenetileg tárolja és az ugyanolyan mélységhez tartozókat egyszerre írja át a mágnesszalagos regisztrálóra. Ha az írási sebesség 800 bit/sec, akkor egy 10 csatornától származó 14 bit-es blokkot 180 msec alatt lehet felírni, holott 10 csatorna mérési ideje 50 msec, tehát a tárolás elkerülhetetlen. A tároló kapacitását  $10 \times 14$  bit-re tehetjük; D-típusú tárolóregiszterekkel ez egyszerűen megvalósítható.

Ez a tároló csak a regisztrálón belüli működés időviszonyait rendezi. Igény van arra is, hogy a komplex mérőszondákban levő detektorok információját egy vonatkozási pontra vetítve vegyük fel. Például a kompenzált sűrűségmérő szondában a természetes gammasugárzást mérő detektor jeleit kb. 2 méterrel kellene késleltetni. Ha ezt a feladatot a tárolóval akarjuk megoldani — mert a mintavételi utasítással való késleltetés is ismeretes — akkor az üzemmódot a ma már kapható, ún. „silómemóriákkal” igen célszerűen kialakíthatjuk. Ha a leírt példánál maradunk, 10 cm-es mintavételezésnél  $20 \times 14$  bites kapacitás szükséges.

A puffertároló tartalmát célszerű *számjegyesen kijelezni*. Ez a mérések hitelesítését és az egész rendszer működésének vizuális áttekintését szolgálja.

Emellett egy *D/A konverter* egyfelől lehetőséget ad a felvétel közben egy tetszőleges csatorna jeleinek szimultán analóg regisztrálására (ez egyben a nagymér-



tékú hibák egyszerű ellenőrzése), másfelől a mágnesszalagra vett adatok kirajzolását is megoldja.

A programozó egység feladata az egész rendszer működésének vezérlése, rendeltetészerűen elsősorban a mélységimpulzusokkal, amelyek 2,5, 10, 20 cm-enként, ill. ezek egészszámú többszöröseiként érkeznek. A mélységszámlálást is célszerű kijelezni, különös tekintettel arra, hogy a mérés kezdetekor be is kell állítani. A mélységkorrekciós jelek a karotázgyakorlatban a kábelre helyezett, egész számú méterhez tartozó referenciajelek, amelyekkel a valódi mélységet csak az előzőkben vázolt korlátú pontossággal lehet megadni. A vezérlőegységben kell beállítani a mérendő csatornák számát, amelyeket egy ciklus alatt letapogat és egy blokkba foglalva a mágnesszalagra ír. Ugyanitt kell elhelyezni többek között a felvétel előtt rögzítendő ún. fejléc áramköröket, amelyekkel a kezelő a fúrásra és a felvételre vonatkozó azonosító kódokat jegyzi fel.

A bemutatott nagyvonalú tervezés csak egy a lehetőségek közül, de véleményünk szerint a jelenlegi gyakorlatot döntő többségében kielégíti. A megoldás irányába azzal a megfontolással kell haladnunk, hogy a mai üzemelő berendezésekhez kell illeszkedni, lehetőleg kis méretben, egyszerűen és olcsón. A digitális regisztráló így lesz szívesen fogadott „doboz” egy műszerkocsiban!

### Költségek

Egy vezető amerikai szelvényező cégtől származó információ szerint (LOUGHNANE, 1973), az USA-ban a szelvényezéseknek mindössze 10%-át dolgozzák fel digitálisan. Ennek nyilván meg van a maga gazdasági és technikai oka. Még Magyarország kis földrajzi távolságai mellett is nehézkes egy olyan lyukszelvényezési technika, hogy a mérés eredményét hordozó mágnesszalagokat valamilyen úton egy számítóközpontba szállítják, majd az eredményt vissza. Ez azért lényeges, mert a terepi digitális regisztráló kutatásának és fejlesztésének pénzügyi kérdéseit nem lehet az egész rendszer kialakításához szükséges befektetésektől elvonatkoztatva szemlélni.

A magyarországi igényeket tekintve: a kőolajipari szükségleteket 8–10 digitális berendezéssel ki lehet elégíteni (CZEGLÉDI, 1970). Az egyéb iparágak igénye — a szerző megítélése szerint — az 5-öt nem haladja meg, de ez is csak akkor áll fenn, ha a berendezések ára az ésszerűség mértékét nem haladja meg. A II. táblázatban, a szélesebb véleményalkotás érdekében, néhány összehasonlító gazdasági adatot közlünk. Megjegyzendő, hogy pontos és minden tekintetben összehasonlító adat gyakorlatilag nincs, de a táblázat összefoglalása jó közelítésnek tekinthető. A dollárárakat a tényleges importárfolyamnak megfelelően (1 \$ ≈ 60 Ft) tüntettük fel.

Az amerikai és magyar adatok többnyire hasonlítanak. Lényeges az eltérés az irodai, kézi szelvénydigitáló berendezés eladási és szolgáltatási ára között [az amerikai adat 1970-es (EVANS, 1970), a magyar adat 1973-as], a mágnesszalagra regisztráló terepi digitáló berendezés szolgáltatási ára között, de a magyar adat egy kísérleti berendezésre vonatkozik.

A tárgyhoz szorosabban tartozó terepi digitális regisztrálók eladási áraiban mutatkozó eltéréssel kapcsolatban megjegyezzük, hogy az INCRE-DATA CORP. ár nem kifejezetten a lyukszelvényezés célját betöltő digitálóra vonatkozik, de véleményünk szerint kis változtatással erre is megfelelő. A magyar „a” és „b” típusú műszerek nagy árkülönbségének oka az utóbbi bonyolultságában kereshető.

## II. táblázat

Digitáló berendezések eladási és szolgáltatási árának közelítő összehasonlítása amerikai és magyar viszonylatban

Eladás, ill. szolgáltatás		USA adatok	Magyar adatok
Különböző szelvényezések filmre		0,3–0,5 \$/m (USA-ban) 0,6–2 \$/m (Európában)	0,1–2 \$/m
Irodai kézi szelvény- digitalizáló	eladás	20 000 \$	4500 \$
	szolgáltatás	0,02–0,06 \$/m	2,5 \$/m
Terepi mágnesszalagos digitáló	eladás	20 000 \$(1) 42 000 \$(2)	10 000 (3) 60 000 (4)
		0,06–0,1 \$/m (csak 1 görbére!)	2 \$/m 10 görbére!)
Számítógépes adatfeldolgozás		0,1–1,6 \$/m	n. a.
Kézi adatfeldolgozás		n. a.	1 \$/óra

(1) INCRE-DATA CORP.

(2) DRESSER ATLAS

(3) „a” típusú műszer

(4) „b” típusú műszer

Ha a terepi digitáló berendezés árát, komplett felszerelésű, kőolajipari lyukszelvényező műszerkocsik árához viszonyítjuk, akkor azt látjuk, hogy a terepi digitáló ára egy nagy kategóriájú kocsik árának kb. 2–10%-a, egy közepes kategóriájú kocsik árának pedig 10–50%-a, a típus függvényében. És ezért a pénzért a vevő csak azt kapta, hogy mérési adatai a műszerkocsijában levő hagyományos optikai regisztrátum mellett digitális formában is megvannak. A további adatkezelés — olcsó, minikomputeres *wellsite* analízis vagy távközlés és központi számítógépes értelmezés — minőségétől és mennyiségétől függ, hogy megéri-e. Ha a további adatkezelés nem elégséges vagy nem kellő színvonalú, a digitális adapter teherré válik, a digitális regisztrátumok munkatöbbletet okoznak, a kiértékelő pedig rémülten viszszaemerkül hagyományos analóg görbéihez.

\*

A szerző mindenestre hiszi, hogy a lyukszelvényezésben is a *célszerűen* szervezett digitális méréstechnikáé a jövő.

## IRODALOM

- BARLAI Z.—CZEGLÉDI I.—MÜLLER P., 1973: A Review of the Status of the Basic Well Logging and Interpretation Methods Applied in Hungary. SPWLA Fourteenth Annual Logging Symposium, Houston, Proceedings, May 6–9, 1973.
- CZEGLÉDI I., 1970: Digitális elektronikus számítógépek felhasználási feltételei és lehetőségei a mélyfúrású geofizikában. Magyar Geofizika, XI. évf. 1–2., Budapest.
- EVANS B.—HILTON, 1970: Status and trends in logging. Geophysics, v. 35, no. 1.



- FERENCZY I., 1971: Kútgeofizikai vizsgálatok helyzete és fejlesztésének iránya a termelő mérnök szemével nézve. Magyar Geofizika, XII. évf. 2—3., Budapest.
- Горбенко Л. А., 1967: Каротажные кабели и их эксплуатация. Издательство «Недра», 1967, Москва.
- HORVÁTH SZ. B., 1972: A fúrólukmérésekből levezetett kőzetfizikai paraméterek megbízhatósága. Magyar Geofizika, XIII. évf. 1—2., Budapest.
- Инстберг С. С., 1972: Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Издательство «Недра», 1972, Москва.
- LOUGHNANE B. P. (Dresser Atlas), 1973: Szóbeli közlés. Budapest, ELGI.
- Ривкин И. Я., 1964: Автоматические каротажные станции (на многожильном кабеле). Издательство «Недра», Москва.
- SEBESTYÉN K., 1972: Modern geofizikai eljárások, különös tekintettel az adatrögzítés és kiértékelés automatizálására. Magyar Geofizika, XIII. évf. 1—2., Budapest.
- STEINBRECHER D., 1968: Internationaler Stand der Anwendung der Digitaltechnik in der Bohrlochmessung. Wissenschaftlicher-Technischer Informationsdienst, Jahrgang 9/1968. Heft 11.
- SZILÁGYI E., 1966: Vizsgálatok a mélyfúrású geofizikai mélységmeghatározás köréből. Magyar Geofizika, VII. évf. 2—3., Budapest.
- SZILÁGYI E., 1970: A DRSZT—1 típusú szondával végzett neutron-neutron termikus szelvényezés interpretációs tapasztalatai. Magyar Geofizika, XI. évf. 6., Budapest.

### Hozzászólás

A cikket lektoráltam, megjelentetését javasoltam és a szerzővel folytatott alapos konzultációk után véleményemet röviden a következőkben foglalom össze.

A szerző munkájában valójában többet ad, mint amit az olvasó a címből várna. Eljut arra a felismerésre, hogy a lyukszelvényezés hazai gyakorlatában a digitális regisztrálás konkrét igényné vált. Eppen ezért részletesen elemzi azokat a fejlesztési irányzatokat, amelyekkel ennek az igénynek a kielégítésére törekszenek. A szerző gondolatai a felhasználó gyakorlati szakember számára nagyon rokonszenvesek. Különösen értékeltem azokat a fejtegetéseket, amelyek a hatékonyság és a gazdaságosság követelményeinek következetes érvényesítésével foglalkoznak.

Nem hallgathatom el azonban, hogy az ilyen fejtegetések és megfontolások egy fejlesztési munkának a *tervtanulmány*, ill. *tervcél* stádiumában hasznosak igazán. Kár, hogy több mint öt esztendő ilyen irányú fejlesztési munka után is helyénvaló még erről beszélni.

Megszívlelendőnek tartom továbbá azokat az elveket, amelyekkel a szerző a mélyfúrású geofizikai műszeres család valamennyi tagjának (valamint a felszíni és lyukműszerek) arányos fejlesztését szorgalmazza.

A dolgozat néhány olyan véleményt is tartalmaz, amely részletesebb kifejtést érdemelne. Közelebbi magyarázat nélkül ugyanis ezek vitát váltanak ki. Mivel az érintett kérdésekre és értelmezésük kifejtése a hozzászólás kereteit meghaladná, csak megemlítésükre szorítkozom: a gépi és emberi értelmezés viszonya; az egyes mérésfajták pontossága; az analóg szelvények frekvenciatartománya; a távközlés szerepe.

Deres János  
az OKGT geofizikai fejlesztési  
osztályának vezetője

### A Szerkesztő megjegyzése

A szerző a hozzászóló által felvetett problémákkal egy későbbi tanulmányban kíván foglalkozni.





# THE NECESSITY OF DIGITAL FIELD RECORDING IN VIEW OF THE PRESENT TECHNICAL LEVEL OF WELL-LOGGING

B. SALAMON\*

## Introduction

Any digital technology is only profitable together with computer processing. The profitability, namely greater accuracy and quicker, versatile processing of masses of data should result in economical advantages as compared to the analog approach.

Well logging has reached its analytic stage. The large quantity of information supplied, the evermore complicated expressions and correlations have brought digital technology into the foreground. This development has always been welcomed by the interpreters who regard computers as as many answers from Heaven to their prayers to be saved from the responsibility of subjective judgement inherent to tiring analog interpretation. The disputes: "*man or computer*", are very likely rooted in the latter. Before voting for either, the reader is reminded that the final geological information can, by all means, be obtained indirectly only. The geological parameters required, and the best part of reservoir characteristics (e.g. saturation, CH content, etc.) are products of calculations base don the so-called primary information of the down-hole tools.

The widest range of recording and interpretation methods has come into existence in CH exploration and production. And no wonder, for the bulk and economy of CH production is a very "friendly environment" to such. Recently, however, solid minerals and water need more and more well loggings and require special modern methods rendering new informations as compared to the usual ones, such as e.g. ash content, ore content, and these *in situ*, at that. This technology is even more vulnerable to economical considerations than that in CH industry.

Several trends of introducing and executing digital data processing are known (e.g. STEINBRECHER, 1968; SEBESTYÉN, 1972). The ir analysis, however, is beyond the scope of this paper. It is assumed that the adherents can always answer the questions: *what kind of?*, *why?*, and *for how much?* Also it is taken for granted that a proper computer, a well-organized data-transmitting network and an adequate program package are at disposal. A digital tape of the log compatible with the computer applied should serve as the *first* link in this chain.

Logs can be digitized in two ways. The one is office work, either manually or automatically. The other is field work, namely a digital log measured digitally directly in the well.

Office digitizers are suitable to convert traditional, analog curves into digital form. These devices came into existence for being not only simple and cheap but also for the fact that recording on film or paper is still dominant today. The most press-

\* Roland Eötvös Geophysical Institute, Budapest  
Manuscript received: 15, 10, 1973

ing circumstance, however, might have been that old logs are sometimes worth to be digitally re-interpreted (if there are adequate programs, of course). Thus a mass of hidden information might come to daylight, and this is the most convenient way to check up the programs themselves because earlier interpretations have already been checked up by the geological facts of drillings. And after all, this is an inexpensive way of obtaining a mass of data and a means for correlations and a regional overview.

If it can be regarded as proven that digital processing offers plus-information then why not omit office digitization and start directly in the field with digital recording which is regarded as quicker and more accurate, by the way? Let us have a closer look at this problem.

### Vogue or reason?

Thumbing literature some time back, one cannot help but observe ebbs and tides of fashionable tendencies in the history of several branches of learning. Scientists always prefer to be in the vanguard of their profession, the condition of which is the highest technical achievement available. A geophysicist is also inclined to stipulate the *most up-to-date equipments* for his efficient work. No one can be blamed for it, of course, but the requirement of up-to-dateness should cover the entire chain: measurement—processing—interpretation.

In the field of seismic prospecting the disputes over analog or digital preference are over since years, for the complete information-content of a seismic record and the immense bulk of data exclude every way of processing and interpretation, except digital. In well logging, however, we are still faced with the question: is everything all right with the fitting of our down-hole tools to the physical parameters of the Earth, that only digital field recording has remained to be met?

Before answering the question let us have a look at it from the scientific-technical point of view. It is known that both in the United States and in the Soviet Union digital development is intensely tackled, moreover, also in Hungary the first experiments are under way. The main trends of these developments can be classified into two groups:

a) the digital recorder in the truck should be a *simple* device which, parallel with the analog photo-recorder accepts and records signals in digital form;

b) the digital recorder in the truck should be a *complex* equipment which encases, beyond the abilities of variety a), additional functions (nuclear spectrum, acoustic wave pattern, etc.).

There is no need to establish separate subgroups for such endeavours which strive at completing both varieties with special mini-computers or with processors of different level of sophistication organized either analogly or digitally.

The electronic performance of either type is assumed to be identical. When appreciating the results, the first link of the measuring chain (source—equipment—value recorded) should be given the closest scrutiny. The operating principle of digital recording in well logging is that the signals of every single *channel* (probes and signal conditioning circuits attached) are sampled and stored in function of depth. Hence, input data are: depth values and the signals of the measuring channels. Any parameter measured should correspond to some fixed point of the axis of the hole, therefore the accuracy of depth determination in well log analysis is highly important. According to production people "a detailed analysis of pay horizons should be carried



out by considering oil-bearing lenses as small as of 0,5 m thickness" (FERENCZY, 1971). This requirement cannot be fulfilled but through a mathematical and geo-physical correlation of the results of several logging methods, for the absolute accuracy of the depth determination of wire-line loggings is worse than that.

In well logging, nowadays, armoured cables are used, as a rule. They offer more advantages, even in shallow holes than the plastic coated ones. An armoured cable of 13,2 mm diameter, with seven cores, lowered into a mud of average density can, under the effect of its own weight and the temperature, stretch as much as 25 m, in 5000 m depth! This is the reason of applying magnetic marks, tested under some well-defined artificial loading, on the cables. Thus an accuracy of 1% can be achieved (ГОРБЕНКО, 1967). This value is, in fact, a resultant of the accuracy of the marking, of the average temperature variation on the surface and in the hole, of the density differences between different muds, of the load-increasing effect of down-hole tools and of the effect of different hoisting speeds.

A digital recorder can be controlled by the cable-driven counting wheel, through a resolver. The stretching of the cable, mentioned above, and its shift before the counting wheel are, thus, sources of error for the recording system. This explains the necessity of corrections with magnetic marks. The marks can, however, be detected with the error described, only.

Depth determination is, consequently, not a digital problem. A digital recorder cannot increase the accuracy of depth determination. Correction itself can be automatized by modern electronic circuitries, but a simple depth encoding is insufficient to attain even 1% accuracy as long as the influential factors of a given well are not considered.

The digital channels receive several kinds of signals. In what follows, the electronic characteristics of the equipments, e.g. mode of operation, accuracy, stability, will *exclusively* be considered. The imperfect coupling between probes and side-wall will be neglected. The error limits, as usually specified, will be regarded as statistical characteristics and will be taken into account as if they were "standard deviations" of the equipments, when tested.

The instability of the output current of an electronic current generator in resistivity logging is  $\pm 2\%$ . The long-term instability of the measuring amplifier is not better than  $\pm 1\%$  either. The accuracy of calibrating resistances is  $\pm 0,5\%$ . Hence, the resistivity values measured are burdened with a relative error of  $\pm 2,3\%$  with 68,3% probability.

In nuclear logging the statistical fluctuation of radiation is the decisive factor. In general logging practice this means a  $\pm 2\%$  relative single dispersion level. Adding the approximately  $\pm 2\%$  instability of detectors and down-hole electronics, and a further  $\pm 2\%$  error of ratemeters, one will find that the primary nuclear information is, with 68,3% probability, burdened with a relative error of  $\pm 3,5\%$ .

Going on with this estimation, the "uncertainties" of the usual logging methods, arising from electronic instabilities of the equipments, are as follows:

Resistivity	$\pm 2,3\%$
Induction	$\pm 3,5\%$
SP	$\pm 3,0\%$
Laterolog	$\pm 3,0\%$
Nuclear (simple)	$\pm 3,5\%$
Acoustic	$\pm 4,0\%$

Let us add, that if in defining accuracy also reproducibility is taken into consideration (HORVÁTH, 1972), then the untraceable movements of the probes and the different disturbing effects of the hole further decrease accuracy: the uncertainty increases to  $\pm 5\%$  (SZILÁGYI, 1970). Digital recording is by no means a novel logging method! Digitizing, in itself, cannot increase accuracy, and there is reason to believe that the electronic spell of digitalization diverts attention (and money) from *developing a proper methodology*. As to the development of electronic industry the author has no fears, in the future it will always offer better and better digital recorders. But what about perfecting the present geophysical equipments and searching for new ones?

A logging specialist, unsatisfied by a type "a" development of digital recorder, will obviously prefer type "b", especially for its additional functions (nuclear spectrum, acoustic wave pattern, etc.; BARLAI, CZEGLÉDI, MÜLLER, 1973).

First of all, one should never forget that the amplitude—time accuracy of acoustic wave patterns is not better than a few percents either, even if this were regarded as sufficient in the experimental stage of a new method. As for the accuracy of nuclear spectral logs, if the probe happens to be instable (and it frequently is), it may be very unsatisfactory. Going further: the sampling interval of a complete nuclear spectrum sampled at depth-points is, because of the movement of the probe, short. Hence, it contains too few pulses to be evaluated properly in a statistical sense.

The two methods picked out at random to make the point clear are even theoretically not elaborated. Should one not reflect on what is more important: to do basic methodological research, or to record digitally methodologically suspicious measurements?

The digital voltmeter necessary to type "a", and the multichannel amplitude analyzer necessary to type "b", are equipments well known of yore. There is no obstacle against applying them in well logging (especially if in vogue) but with their aid the involved physical parameters will *not* be measured *more accurately, only digitally*.

### Technical level

Within electronic industry, the research and production of complete IC sub-units (A/D, D/A converters, analog multiplexers, special amplifiers, function-modules, power supply panels, etc.) have recently made giant strides forward. To construct a digital recording system out of them is hardly more than child's play. Numerous firms offer data acquisition devices of different specifications. It is easy to recognize that the *simple* ("a") type of digital field recorder described earlier is actually identical with a data acquisition device available in the market. What are the specifications to be met by such an equipment?

Before proceeding, let us make a very brief survey of the operation of the commonly known data acquisition devices (Fig. 1). The signals to be processed go, through the so-called scale amplifiers, to a multiplexer which transfers them, in some succession, to the A/D converter. The result of conversion, because of the relatively slower tape recorder, must temporarily be stored. The content of the storage unit is digitally displayed as a rule, and (after D/A conversion) plotted as an analog monitor. The complete unit is operated and synchronized by the program unit, by outer command, in function of some parameter; in well logging e.g.: in function of depth.

In what follows let us make an experimental design, based on facts, and let it be typical, keeping, however, also extremities in mind. The reader will excuse the platitudes. Sometimes they are, actually, not so much platitudes either.

The *input signals* of the recorder are, in fact, output signals from the surface unit of some of the logging methods. The number of input channels is determined by the number of simultaneously recordable data. This number varies depending on the build of the probe (its sophistication, as some prefer to call it), between 2 and 5. In case of dipmeters it is 9 at most, thus if taking 10, one does not cross the security limit. The voltage limits of input signals range, in general, between 5 and 500 mV. This range can easily be covered by the galvanometers of the recorder. Another quality of the galvanometers, the low pass namely, renders cutting high frequency superimposed noises likewise easy.

The literature fails to deal with frequency spectra of analog logs. The record, because of the moving probe, can be regarded as a time function. The shape of analog logs depends on the geometrical range of the probe in question, on hoisting speed and, of course, on the geology of the site. The frequency band is limited by the operational speed of the recorder in electric measurements, and on the time-constant of the integrating circuit in nuclear methods. The quickest present type of loggings, namely resistivity logging, can be done with sufficient accuracy by a recorder of 1 cps band-width, as verified by long practice.

The inputs do not require a digital signal reception for, in the present practice, the signals are slowly varying, analog ones. Neither do nuclear measurements require pulse number counting, especially if, in the course of logging, the pulses had already been turned into geological parameters (density, porosity). There are though specialists who, because of the hoisting speed limit inherent to the time-constant of ratemeters, give a consideration to pulse counting. *The statistical nature of nuclear phenomena, however, contradicts all such conceptions.* To attain, namely, a  $\pm 2\%$  error as accepted in well-logging practice, the product of multiplication of the measuring time with the average counting rate must be 1,100. For example: a measuring time of 3 sec, which corresponds to 20 cm sampling interval if hoisting with a (low) speed of 4 m/min, requires 22,000 CPM average counting rate. The present practice cannot afford it, as a rule.

The task of *scale amplifiers* is amplifying or attenuating input signals to the level required, and to render a pass of the appropriate frequency band-width. A differential input is advisable, although the outputs of surface units are often asymmetrical. The gain required is determined by the sensitivity of the A/D converter and by the input signal intensity. A variable gain is suggested in order to set arbitrary figures when calibrating the scales. Thus, values recorded digitally (as well as analogly) can directly be set in calibrated scale and there will arise no need for a later editing by computer.

If the working range of an A/D converter is  $\pm 1$  V, and the transfer factor of an analog multiplexer is taken as unity, the maximum gain of scale amplifiers must be 200. Up to now, the 0-1 cps band of the galvanometers of photo-recorders has been sufficient for low-pass filtering. It should not be stretched in the future either, for hoisting speed, for other reasons, cannot be increased. Applying a cut off of 30-40 dB/D slope after the pass-band, one can reduce the noise due to the mechanical or electronic pulsators operating at 15-20 cps, to a negligible low level.

In selecting the proper *multiplexer* no problem will be confronted for the specifications of those on sale meet the demands of well logging. The only problem is



that they consist of 8 inputs and we have 10, so we understand that there will be some waste (6 channels). No differential arrangement is needed for it is already provided by the inputs of scale amplifiers.

The most important unit is the *A/D converter*; its specification should be approached from different points of view. The dynamic range of the individual logging methods (resistivity, laterolog, induction, acoustic, nuclear logging) is by no means the same. Resistivity measurements have the widest range: 0,2–2000 ohmm. As a matter of fact, however, a coverage greater than hundredfold is rare, if any: e.g. 1–100 ohmm or 10–1000 ohmm. To provide the dynamics needed, a converter of 12 bits or one of  $3\frac{1}{2}$  BCD range is suitable, with regards to the sign, however. The latter permits an easier decimal display. As to accuracy, a resolving power of  $\pm 1$  LSB seems satisfactory for every method. This calculation, by the way, corresponds to a definition widely accepted (Ривкин, 1964) that the dynamics of well logging equipments is nothing but the ratio of the largest recordable signal and of the least readable deflection (sensitivity threshold). In case of galvanometer recorders this ratio is approximately 2,000.

The selection of the A/D converter is motivated by the operational speed of the entire data collecting system. Table I contains a brief summary of speed characteristics for the individual methods. These, however, are valid for single methods only, and not for combinations. If, for example, acoustic or induction logging is combined with a gamma detector, hoisting speed should be decreased. Sampling interval has been determined from a calculation based on information theory (ИТЕНБЕРГ, 1972) for a logging of  $\pm 2,5\%$  accuracy. Figures in the rightmost column represent conversions per seconds. It is clear that the conversion time of even the quickest method is not more than 33 msec. This is a low operational speed, hence one can easily select an A/D converter of dual-slope integrating mode of operation. This is very convenient in noise suppression and does not require sample and hold circuit. If the integrating time is 5 msec, a 1% sampling error still permits a sampling of signals of 5 cps. If the total conversion time is 5 msec, in case of 9 channels this goes to 45 msec and at the usual hoisting speeds of diplog measurements depth lag will remain below 0,5 cm, which is negligible.

Interrupting our excursion on the "flow-chart" of Fig. 1 let us now pass over to the *magnetic tape recorder*. Such equipments are on sale in wide variety. They can be classified into groups according to their mode of operation (continuous or incremental), the number of tracks and the corresponding standard of writing. Of course, the selection can be motivated also by computer-compatibility. Since, however, every design, up to now, has led to the conclusion that, before feed-in, a transcription or a tape to tape conversion is inevitable, in selecting the tape-recorder, other technical considerations might come into the foreground. Such are e.g. storage capacity and operational speed.

Up-to-date data acquisition devices are provided with simple cassette recorders, surpassing in every respect their predecessors: the punch-tape perforators. The recent types ensure 480 BPI writing density, thus a standard cassette can store more than  $10^6$  bits. This means that if 14 bit information (13 bit amplitude + 1 sign) of the maximum possible 9 channels, together with the parity bit, has to be stored with a sampling interval of 5 cm, a single cassette can hold a 400 m long piece of a log. In a less extreme case (as e.g. in compensated density logging), there are four data channels and a sampling interval of 10 cm, which permit the storage of 1800 metres of a log.

The operational speed of incremental cassette tape recorders reaches 800 bit/sec, outdoing the speed ( $S$ ) of every method listed in Table I.

Table I

Speed characteristics of different well loggings

Method	max. logging speed $V$ (m/min)	Sampling interval $Z$ (cm)	max. channel number $N$	$S = \frac{V \cdot N}{Z}$ (1/sec)
Resistivity, induction, laterolog	30	10	5	25
Acoustic	15	10	2	5
Microlog, microlaterolog	9	2	4	30
Nuclear (gamma, comp. density, porosity)	9	10	4	6
Diplog	6	5	9	18
Therm. neutr. life time	$\pm 6$	10	6	6

The safety of operation is another important aspect. One should be strict about the faultless operation of a tape recorder, for loggings, in general, cannot be repeated. Here the well-known echo-check (immediate play-back) is to be mentioned, in view of larger category recorders, in the first place. Catalogs allow, for cassette recorders, a minimal error-rate of  $1:10^6$ . It means that from the total amount of data on a tape ( $10^6$  bit) a single bit alone can be deficient, i.e. at most a single data has to be rejected. The interpretation error arising from it is negligible for a 10 cm gap in a log of some 1000 m length has no effect whatever.

In the proper selection of tape recorder the incremental mode of operation is an essential factor since an economic utilization of storage capacity, in case of varying number of channels and hoisting speed, can be vouched for this way alone. It is advisable, further, that the recorder should work in both *write* and *read* modes, for the best check of correct operation is immediate play-back.

The *buffer memory* temporarily stores the data obtained in one sampling cycle and when all samples belonging to the same depth have been gathered transcribes them simultaneously onto the tape recorder. If the writing speed is 800 bit/sec, then a block of 14 bits consisting of data from 10 channels can be written in 180 msec, even though the measuring time-span of 10 channels is only 50 msec, i.e. the storage is inevitable. The capacity of the buffer memory can be estimated as  $10 \times 14$  bits, easily attainable with storage registers of D-type.

This unit organizes the due succession of data within the recorder only. In some cases, however, there is a certain delay between signals referring to the same datum point. For instance, in the probe, used in compensated density logs, the signals of the detectors measuring natural gamma rays should be delayed by 2 m. If this operation has to be performed by the storage unit (it could be done by a sampling command as well), it is still possible to use the so-called "silo-memories", on

sale nowadays. Referring to the previous example, for a sampling interval of 10 cm a  $20 \times 14$  bit capacity is required.

Further, it is advisable to have a *numerical display* facility of the content of the buffer memory unit. This is a test of the measurement and a visual check of the operation of the whole system. If we attach a *D/A converter* it renders simultaneous analog recording possible (to check gross errors) together with plotting the data recorded on tape.

The task of *programming unit* is to control the complete system, first of all with depth encoder pulses arriving at every 2,5, 10 or 20 centimetre or their integer multiples. Depth encoding as well should be displayed, especially because it has to be set before measurement. Depth-correction marks are reference marks on the cable, they give depth values with the uncertainty described in the foregoing. The number of channels is set in the control unit. The channels are scanned in due turn in every sampling-cycle, comprised in a block, and written on the tape. The so-called header circuits for the preamble (i.e. identification of drilling and logging) are inserted into this same unit.

This overall, sketchy design is only a single possibility of the many, but it mostly meets the present demands. The motto of considerations should be that a digital adapter *must fit to presently* operating equipments, as simply, as cheaply and in as small a size as possible. If so, the digital recorder will be a welcome "box" in the instrument-truck.

### Expenses

The author has been informed by a leading American well logging corporation (LOUGHNANE, 1973) that in the United States some 10% of the logs are handled digitally. This percentage ratio obviously has both its economic and technical reasons. Even in Hungary, no matter how small she is, it would be rather troublesome to transport taped logs into a computer centre and the results back. This is mentioned in order to warn that digital field development must be judged with due regards to the financial background of the *entire system*.

As to our home needs: CH industry can be satisfied with 8-10 digital equipments (CZEGLÉDI, 1970). The rest of mining branches are thought to require 5 more equipments but within reasonable price limits only. Table II contains some comparative financial data. There are no exact and in every respect comparable data at disposal but Table II is a rather close approximation. In the Hungarian column, the dollar-prices correspond to actual foreign trade prices, meaning actually ones c.i.f. Budapest.

The American and Hungarian data are mostly close enough to each other. Serious difference can be observed in the sales and service prices of manual office digitizers [the American price dates back to 1970 (EVANS, 1970), the Hungarian price is valid in 1973], in the service prices of field tape digitizers; the Hungarian figure, however refers to an experimental specimen.

As to the price difference in digital field recorders (which we are dealing with, actually), the price of INCRE-DATA CORP. refers not to a well logging digitizer exactly, but to one suitable for this purpose with a slight alteration. The large price difference between Hungarian recorders of "a" and "b" type finds its explanation in the complicated build of the latter.



Table II

An approximate comparison of digital field recorders on sale and in service in American and Hungarian relation

Sale and Service		USA data	Hungarian data
Recordings on film		0,3–0,5 \$/m (USA) 0,6–2 \$/m (Europe)	0,1–2 \$/m
Office manual digitizer	sale	20,000 \$	4,500 \$
	service	0.02–0.06 \$/m	2.5 \$/m
Digital field tape recorder	sale	20,000 \$ (1) 42,000 \$ (2)	10,000 (3) 60,000 (4)
	service	0.06–0.1 \$/m (for 1 curve!)	2 \$/m (for 10 curves!)
Computer processing		0.1–1.6 \$/m	no data
Manual processing		no data	1 \$/hour

(1) INDRE-DATA CORP.

(2) DRESSER ATLAS

(3) Equipment Type „a”

(4) Equipment Type „b”

Comparing the price of a field digital recorder to that of the completely outfitted well logging equipments usually applied in CH industry, it will be clear that the price of a digital field recorder is 2–10% of a heavy duty equipment, and 10–50% of a medium category one, depending on the type. And what the customer gets for his money is nothing more than a parallel digital record together with the traditional optical ones. It depends on the quality and quantity of further data handling—well-site analysis with a truck-mounted mini-computer or telecommunication, and central computerized interpretation—if it is worth while or not. If this further data handling is insufficient or of an inadequate level, the digital adapter will be a burden, the digital record causes an extra work, and the terrified interpreter takes refuge with the traditional analog curves.

At any rate, the author is still convinced that a *well organized* digital technology will conquer the field of well logging too, sooner or later.

\*

For the *Reference list* see the end of the Hungarian text.

В. ШАЛАМОН

## О ЗНАЧЕНИИ ПОЛЕВОЙ ЦИФРОВОЙ ЗАПИСИ ДАННЫХ В ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКЕ ПРИ НАСТОЯЩЕМ УРОВНЕ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Цифровая техника записи и обработки данных покорила ряд областей научной и быденной жизни. Это связано, кроме ее безродействия, с удобством и широкими возможностями обработки данных (при наличии соответствующих программ), а также с снижением расходов, что в настоящее время сопровождается развитием техники.

В области геофизических работ цифровая техника господствует в сейсмических методах, представляющих большие объемы данных. В промысловой геофизике, поступившей уже в этап аналитических методов интерпретации, несколько лет назад были сделаны первые шаги в направлении внедрения цифровой техники. Еще не поздно поставить вопрос: достаточно развиты различные методы промысловой геофизики для применения цифровой техники? При положительном ответе возникает дополнительный вопрос: кодирующие устройства какой мощности и, в частности, какой стоимости применять для этой цели?

В первое время разрабатывались камеральные кодирующие устройства, так как проводилось преобразование аналоговых каротажных кривых в цифровой код. Однако, в настоящее время достигнутый технический уровень и развитие электронной техники позволяют получать при сравнительно невысоких расходах, цифровые записи прямо на скважине, параллельно с аналоговой записью или вместо ней.

Каким должно быть полевое кодирующее устройство? В связи с этим пока еще ведутся значительные концепционные дискуссии, но все же намечаются два основных направления, а именно, применение простого варианта, когда регистратор с цифровой записью работает параллельно с фоторегистратором, и комплексный вариант, когда цифровой регистратор выполняет новые операции (запись спектра при РК, запись акустической волновой картины), и оусуществляет более сложные преобразования в измерении глубины.

При любом типе цифрового регистратора записывать следует выходные сигналы зондов или панелей, а также сигналы, отмечающие глубины. При настоящем уровне развития электронной промышленности могут изготавливаться высокоточные и сложные схемы. Но во избежание излишних затрат, необходимо проверить задачи каротажных работ и особенности записываемых сигналов.

Точность определения глубин является одной из основных проблем промыслово-геофизических работ. Теоретические расчеты и опыт показывают (Горбенко, 1967), что точность измерения глубин при помощи кабельных методов, проводимого при различных условиях, не выше 0,1 % даже при тщательном вводе поправок. Цифровая техника не может увеличить эту точность, так как она определяется качеством кабеля и техническими особенностями скважин.

По данным каталогов, точность и устойчивость электронных схем зондов и наземных панелей, применяемых при различных методах каротажа, составляет, как правило,  $\pm 2-4\%$ . Но, за счет неуверенной связи зонда с стенками скважины — характеризуемой степенью воспроизводимости кривых — погрешность записываемых сигналов увеличивается не менее чем до  $\pm 5\%$ . Естественно, что цифровая техника *само по себе* не может увеличивать эту точность и можно опасаться, что «очарование» цифровой техники отвлечет внимание (и главным образом денежные средства) от усовершенствования методики каротажных работ.

Существующие современные типы каротажной аппаратуры уже с удовлетворительной точностью выполняют прямые аналоговые расчеты, так напр. они непосредственно записывают кажущуюся плотность и пористость. Следовательно, при таких условиях можно сильно оспаривать необходимость цифровой записи первичной информации, получаемой зондами, с тем, чтобы напр. оба упомянутых параметра определить впоследствии при помощи ЭВМ, находясь в центре.

Некоторые сторонники внедрения цифровой техники в промысловую геофизику утверждают, что при соответствующей оснащенности цифрового регистратора можно разработать новую концепцию применявшихся до сих пор методов. Однако, это является не только техническим вопросом, ввиду того, что можно создать аппаратуру с любыми способностями; но какая из крупных каротажных организаций заменит свою аппаратуру высокого уровня сразу и за большие затраты, в то время, как аналоговая информация еще в ряде областей устраивает их. Цифровая запись не представляет собой новый метод и по смыслу вышеизложенного преобразованная в цифровой код информация не обладает повышенной точностью по сравнению с аналоговой, только лишь она цифровая. В связи с этим кажется, что на первом этапе целесообразно создать простой цифровой регистратор, укладываемый в существующую оснащен-

ность каротажных станций и с материальной точки зрения оказывающийся приемлимым в исследовании не только нефтяных, но и более мелких скважин (бурящихся на твердые полезные ископаемые, но воды).

На рис. 1 представлена схема строения общеизвестных систем накопления данных, подходящих для такой цели в промысловой геофизике. Уровни *входных сигналов*, динамический и частотный диапазоны могут определяться в соответствии с требованиями применяемых в настоящее время методов исследований. Характеристика основного ее элемента, *преобразователя аналог-код*, обуславливается, кроме этого, скоростями подъема, приведенными в таблице I. В качестве *регистратора с магнитной записью* целесообразно использовать простой кассетный регистратор — как более современный перфоратор лент. Тактирование регистратора осуществляется программным устройством на основе меток глубин, получаемых соответствующим прибором, ощущающим смещение кабеля.

При оценке расходов необходимо иметь в виду, что полевой цифровой регистратор нельзя рассматривать отдельно от соответствующей системы передачи и обработки данных. Для иллюстрации этих соотношений приводится таблица II. Поскольку легко видеть, что при настоящем уровне развития электронной промышленности всякие аппаратурные требования могут быть удовлетворены, степень внедрения цифровой техники в промысловую геофизику должна определяться пропорциональностью капвложений, если дополнительная информация, получаемая хорошими скважинными приборами, при соответствующей системе дистанционной связи и программ обеспечивает подтвержденные преимущества.

Как во всех областях, в промысловой геофизике будущее благоприятствует развитию цифровой техники. Многосторонняя система программ действительно позволяет получить дополнительную информацию из новых (или старых) фактических материалов, записанных или преобразованных в цифровой код. Рассуждения автора касаются исключительно только настоящего времени.



