

Mélyfúrások folytonos szelvényezése ultrahang segítségével

(Akustiklog, Cementlog)

J. H. GROHE

A mélyfúrások ultrahangimpulzusokkal történő szelvényezése azt a lehetőséget nyújtja, hogy az egész 80 cm vastagságú rétegek rétegebességét megadjuk, és az össz menetidőt regisztráljuk. A továbbiakban a hang amplitúdók mérése a csövezett lyukban a cementezés felülvizsgálatát is lehetővé teszi a különböző abszorpciók alapján.

Az elvi működési mód ábrázolása után a szeizmikus szondázás jelentőségét tárgyalja az alkalmazott szeizmika eljárásainál, a kiértékelésnél, továbbá a kőolajfúrások ellenőrző munkálatainál.

Az ultrahang fűrőlyukmérések fizikai alapjának tárgyalása vezet a szonikusszondák fejlődési irányához. Ezek a szondák kb. 30 kHz ultrahangimpulzusokkal, és mintegy 10 Hz-es impulzusfrekvenciával dolgoznak. A hangimpulzusok keltése magnetosztatikus rezgőkkel, vagy piezolán csőrezgőkkel van biztosítva. Alkalmazásra a kétfelvetős eljárás került és a radiális munkamód mindig biztosított.

A szondák négyeres kábelre vannak helyezve és 400 at nyomásig alkalmazhatók.

A szondák blokksemájának és a felszíni berendezésnek a magyarázata, valamint az új eszközök alkalmazási tartományának a tárgyalása zárja be az előadást.

Профилирование буровых скважин импульсами ультразвука дает ту возможность, что определяется пластовая скорость слоев толщиной до 80 см и регистрируем полный годограф. В дальнейшем имеется возможность на основании различных абсорбций измерения амплитуд звука и исследования цементирования в обсаженных скважинах.

После описания основ принципа действия, обсуждается значение сейсмического зондирования в методах прикладной сейсмоки и в интерпретации, далее в контроле действия нефтяных буровых скважин.

Обсуждение физических основ измерений при помощи ультразвука в буровой скважине приводит к путям развития ультразвуковых зондов. Эти зонда работают на импульсах ультразвука 30 Кгц и с частотой импульса 10 гц. Звуковые импульсы создаются при помощи магнетострикционных осцилляторов или трубчатых осцилляторами из пьезолана. В дальнейшем был применен способ с двумя приемниками и постоянно обеспечен радиальный метод работы.

Зонды укрепляются на четырехжильном кабеле и могут выдерживать давление до 400 атм.

В докладе рассматривается блок-схема зондов, поверхностная аппаратура, а также область применения новой аппаратуры.

Die Vermessung der Tiefbohrungen mittels Ultraschallimpulsen erschließt die Möglichkeit, sowohl die Schichtgeschwindigkeiten bis zu 80 cm Schichtdicke hinab zu ermitteln, als auch die Gesamtlaufzeit zu registrieren. Des weiteren ermöglicht die Messung der Schallamplituden auf Grund der unterschiedlichen Absorption die Überprüfung der Zementierung in den verrohrten Bohrlöchern.

Nach Darstellung der prinzipiellen Arbeitsweise der neuen Meßmethoden wird auf die Bedeutung der „Seismologs.“ für die Verfahrens- und Auswertetechnik der Prospektionsseismik und für die Testarbeiten an Erdölbohrungen eingegangen. Die Behandlung der physikalischen Grundlagen der Ultraschall-Bohrlochmessungen führt zu den Entwicklungsrichtungen für die Sonic-Sonden. Diese Sonden arbeiten mit Ultraschallstößen von etwa 30 kHz und Impulsfolgefrequenzen von etwa 10 Hz. Die Stoßschallerzeugung wird mit magnetostriktiven Schwingern oder auch mit Piezolanzrohrschwingern gewährleistet. Es kommt das Zwei-Empfänger – Verfahren zur Anwendung und die radiale Arbeitsweise ist immer gewährleistet.

Die Sonden sind auf 4-adriges Kabel ausgelegt und bis 400 Atmosphären einsetzbar.

Die Erläuterung der Blockschaltbilder der Sonden und der Übertageapparatur zu Akustik-Log sowie die Darlegung der Anwendungsbereiche der neuen Geräte schließen den Artikel ab.

1. Általános rész

A kutatószeizmikának már régóta szüksége van a fizikai változók pontosabb ismeretére a helyes értelmezés eszközlése céljából. A reflexiós szeizmikus mérések nagy sikerei ellenére a reflexiókat előidéző horizontok pontos természetete ismeretlen. Több kérdés mint pl.:

a) megadott sebességkülönbség mellett milyen vastagsággal kell rendelkeznie a rétegnek, hogy arról reflexiós beérkezést regisztráljunk,

b) milyen szerepük van a szeizmikában a sűrűségkülönbségeknek,

c) valamilyen formában különbözik-e a több vékony rétegről származó reflexió jellege az egyetlen vastag rétegről származó reflexió jellegétől,

d) lehetséges-e különbséget tenni azon reflexiók között, amelyek olyan határfelületről érkeznek ahol a sebesség növekszik, vagy olyanokról ahol a sebesség nő,

még a mai napig nagyjából megválaszolatlan.

A mélyfúrásokban történő folytonos sebességmérések segítségével lehetővé válik, hogy a kőzet tulajdonságokról adatokat nyerjünk. A kifejlesztett szondák eredetileg azt szolgálták, hogy kényelmesebben és olcsóbban jussunk szeizmikus sebességadatokhoz. Csakhamar azonban hasznosnak bizonyultak sztratigráfiai korrelációra is, formációhatárok meghatározására és a tároló kőzetek olaj, gáz és víz tartalmának kimutatására. A továbbiakban a kapott szeizmikus szondázások lehetőséget adnak a szeizmikus reflexiók keletkezésének tanulmányozására, és a fentebb felvetett kérdések megválaszolására. Feltehető, hogy a szeizmikus fúrólukszondák fő alkalmazási területe nem a fúróluk szeizmikus adatainak meghatározásában keresendő, hanem általános természetű kérdések megválaszolásában. Ez az alkalmazott geofizika számára teljesen új tudományágat nyitott meg, amelynek a kutatószeizmikára gyakorolt hatása és értéke még nem mérhető le.

Az első és szembetűnő különbség az általában akusztikus szondázással (akusztiklog) jelölt méréseknél, szemben az eddigi eljárással abban van, hogy itt olyan távolságokon mérhető rétegssebesség, amelyek már majdnem differenciálisnak tekinthetők.

2. Működési mód

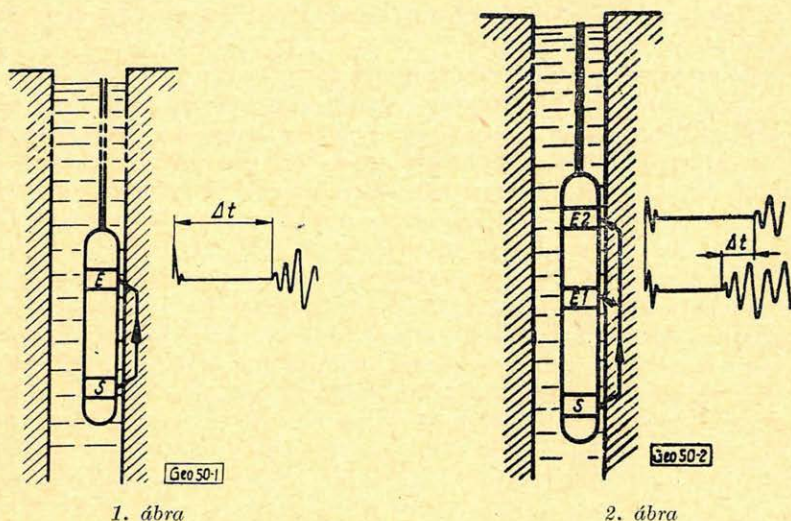
2.1. Egyfelvörös eljárás

A felépítést és a mérési elvet az 1. ábra mutatja. G hangfrekvenciás adó segítségével az iszapban rezgést keltünk, amely a fúróluk falának átadódik, majd ennek mentén tovaterjed és végül az iszapon keresztül a vevőhöz érkezik. Általában csak refraktált terjedésű utakkal szabad számolnunk. A terjedési időt azonban az impulzus iszapban megtett útja meghamisítja, ennek ellenére az egyvörös eljárás többek között Franciaországban is alkalmazást nyert, és pozitív eredményeket szolgáltatott. Az eredmények biztosítására azonban kiegészítő mérések elvégzése vált szükségessé. A késleltetési idő kiküszöbölése végett – az irodalomban „delay-time”-val jelölik –

hagyományos szeizmikus fúrólukméréseket és bőségméréseket végeztek, de ezen korrekciók ellenére is maradtak hibák vissza. Az egyfelvevős eljárást mindenestre első kísérletként kell értékelnünk, amelyet továbbfejlesztve fejlődött ki a kétfelvevős eljárás.

2.2. Kétfelvevős eljárás

Ennek az eljárásnak az előnye a késleltetési idő tekintélyes redukálásából adódik, amely most már csak a kőzet-iszap és a két felvevőig tartó terjedési idő különbségéből áll, ezáltal tehát már sokkal pontosabb mérés biztosítható. Mérjük a két felvevőnél a különbségi időket, és ezen terjedési idő különbségek összegét.



1. ábra

2. ábra

A 2. ábrán „S” ismét az adót jelenti, amelyből kiindulva az impulzus E_1 és E_2 felvevőkhöz érkezik. Mérjük a Δt -t, amelyre ideális esetben érvényes

$$\Delta t = \frac{d}{V \text{ kőzet}}$$

Az impulzust az adó az öblítő iszapnak adja át, ahonnan i kritikus szöggel lép a kőzetbe,

$$\sin i = \frac{V \text{ kőzet}}{V \text{ iszap}}$$

majd onnan i szöggel kilép és az öblítő iszapon keresztül éri el a felvevőt.

2.3. Különböző tényezők befolyása

Itt a tényezők két csoportját különböztetjük meg: egyrészt:

1. amelyek a szondák méretében a lyuk geometriai méreteiben a fúrásⁱ folyamat által befolyásolt fúróluk közeli rétegekben keresendők. Ezekhez tartoznak:

a fúróluk átmérőjének ingadozása,
szonda helyzete a fúrólukban,
az öblítőiszap befolyása és váltakozó sebessége,
az 1-es és 2-es felvevő távolsága az adótól,
a szivárgási zóna mélysége,
a fúrólukszonda s a rétegvastagság közti viszony,

2. másrészt, amelyek a kőzettartományon belüliek. Itt a legfontosabb és az olajgeológusok számára legérdekesebb tényezők vannak: porozitás, agyagtartalom, és pórufolyadék milyensége.

Milyen nagynek kell lennie az adó és az 1 felvevő közötti távolságnak és milyen távolság a legkedvezőbb?

Az adó- és vevő közti távolság növelését az határozza meg, hogy milyen mérvű az energiának az abszorpciója a kőzetben. Túl nagy távolságoknál nem kapunk kielégítően pontos eredményt. Lefelé a távolság az által rögzíthető, hogy a P tovaterjedő longitudinális hullám az adó és az 1 felvevő közti szakasznak legalább egy kis részét a kőzetben tegye meg. A feltétel mindenképpen az, hogy a kőzetsebesség nagyobb legyen az öblítő iszap sebességénél. Ebből viszont az adódik, hogy a minimális távolság a $\sin i$ függvénye. Minél alacsonyabb a kőzetsebesség, annál nagyobbobnak kell lennie a minimális távolságnak.

A két felvevő közti távolság is lényeges, mert ez határozza meg a feloldás mértékét. Minél kisebb a távolság, annál több részletet mutat a mérés, a nagyobb távolság viszont automatikusan kisimítást hoz magával, s így a görbe könnyebben olvasható. A Geofizikai Vállalatnál kifejlesztett szondánál az adó és az 1. felvevő közti távolságot 1,88 m, az 1 vevő – 2 vevő közti távolságot 0,82 m-nek választottuk.

3. Az akusztikus szondázás jelentősége

Fizikai szondázásokat a fúrólukban a leggyakrabban abból a célból végeznek, hogy a geológiai határokat megállapítsák és ezeket a szomszédos fúrásokkal korrelálják. Az ultrahanggal működő akusztikus szondázás az eddig szokásos elektromos és radioaktív fúrólukméréseket ugyan nem pótolja, de döntően kiegészíti. Az elektromos fúrólukmérések és sebességszelvényezések közös értelmezése mellett az akusztikus szelvénytérések egyedül maguk is képesek a formációhatárokat nagy pontossággal megállapítani. Ezáltal lehetséges, hogy a szeizmikus energia reflektorainak mélységét nagy pontossággal lerögzítsük. Fennáll ezenkívül annak lehetősége is, hogy kvalitatív állításokat tegyünk a reflexiók karakterét illetően, a rétegvastagságok, sebességkülönbségek, és sűrűségkülönbségek alapján.

A szeizmikus szondázások az olajelfordulást tekintve is értelmezhetők. Olyan kérdések mint pl. egy olajtermelő zóna elkülönítésének lehetősége olyan horizontokból, amelyek vizet tartalmaznak, vagy folyadék nélküliek, a gyakorlat számára rendkívül fontossággal bírnak. Sebességszondázás segítségével lehetővé válik, hogy ezekkel kapcsolatban is bizonyos állításokat tegyünk. A következőkben röviden azokat a paramétereket soroljuk fel, amelyek a szeizmikus sebességet a geológiai formáción belül befolyásolhatják és meghatározhatják:

- a) a kőzet felépítésében résztvevő komponensek elasztikus konstansai;
- b) a komponensek közti kötőanyag fajtája;
- c) szemcsesűrűség;
- d) pórusokban levő folyadék sűrűsége;
- e) hőmérséklet;
- f) a kőzetszerkezetre ható nyomás;
- g) a pórusokban levő folyadékra ható nyomás;
- h) porozitás;
- i) a pórusfolyadék összenyomhatósága.

A VEB geofizikai vállalatnál kifejlesztett műszer nem közvetlenül regisztrálja a rétegebességeket, hanem különbségi időket mér.

A reflexió szeizmikus kiértékelésben a mért egyes menetidők csak feltételesen találnak alkalmazást, mert az adó-vevő távolság, ill. a vevő-vevő mérési szakasz közti távolság segítségével a mindenkori rétegebesség adódik, a szeizmika azonban a reflektorig az átlagos terjedési időt méri, ezért az ennek megfelelő átlagebességadatra van szüksége.

Az egyes mérésekből tehát a mérési tartományon belül tetszőleges mélységig meg kell határozni az átlagebességeket, amely az egyes különbségi idők integrálása útján történik.

A matematikai összefüggéseket itt nem vizsgáljuk, a különbségi idők tiszta összege természetesen nem egyenlő az össz terjedési idővel, mert minden egyes mérési szakaszt a kábelsebesség és az impulzusfrekvencia szerint többször is felmérünk.

A kifejlesztett berendezésen belül elhelyezett integrálórész az össz menetidő regisztrálását lehetővé teszi.

4. Megoldás

Mivel a mélyfúrásokban relative magas hőmérséklet (geotermikus mélységlépcső $\Delta t \approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$ km-enként) és magas statikus nyomás ($\Delta p \approx 110 - 180$ -at km-enként) uralkodik, szükséges, hogy nyomás- és hőálló szondákat építsünk, és csak az elkerülhetetlenül szükséges elektromos elemeket helyezzük el a szondába. A tulajdonképpeni kiértékelés és regisztrálás a felszíni-műszerrészben történik. A méréseket a szonda felfelé történő mozgatása közben végezzük. A hangimpulzusok keltésére a szikratávíró elv mellett ultrahanggerjesztést alkalmaznak. Az elektromos fényív által az öblítő iszapban keltett miniatűr exploziók a statikus víznyomástól nagymértékben függenek, és egy ilyen hangforrás effektív teljesítménye kb. 300 méterenként 3 dB-t csökken. Ezért esett a választás az ultrahang impulzusra, ezen belül is egy magnetostrikiós rezgőgyűrűre. A magnetostrikiós rezgők nagy mechanikai szilárdságukkal és nagy impulzusteljesítményükkel tűnnek ki. A rezgőgyűrű megválasztását a fúrások geometriája tette szükségessé, és így fölöslegessé válik a szonda fúrólukfalhoz történő nyomása a leadó irányában. Mivel a kétfellevős szonda azt a lehetőséget kínálja, hogy az öblítőfolyadék hatását részben kiküszöböljük, kifejlesztettük a kétfellevős szondát. Ennek össz hossza 3,95 m, átmérője 95 mm és 400-at nyomásig alkalmazható. A szondát speciális kocsiiban szállítjuk, mely egyidejűleg az összes felszíni berendezést is tartalmazza úgy, hogy komplett mérőkocsi áll rendelkezésre.

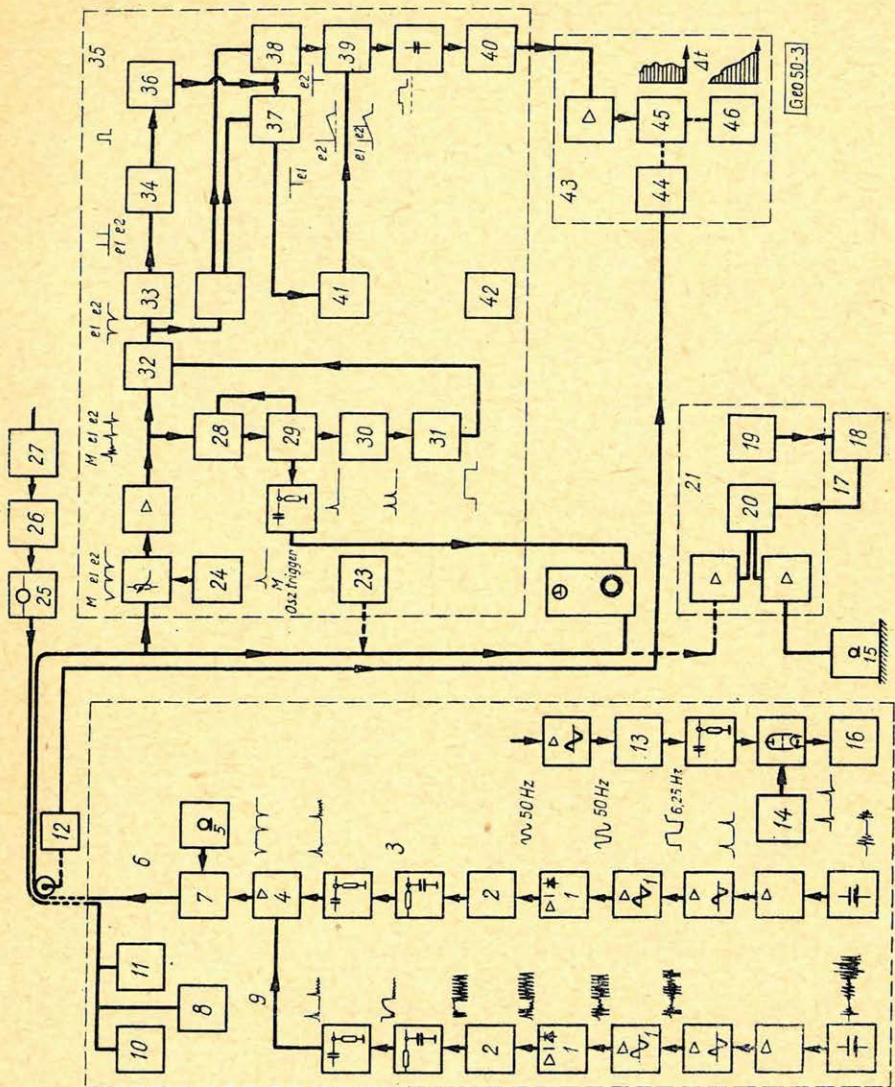
Fellevőnek piezoelektromos átalakítót alkalmaztunk, mert ezek a rezonancia frekvenciájuk alatt frekvencia független mikrofonérzékenységet mutatnak. A felvett rezgések frekvenciáját nemcsak a hangimpulzusadó határozza meg, hanem azt a közetek tulajdonságai is befolyásolják, ezért nagy jelentőségű a frekvenciafüggetlen mikrofonérzékenység. A báriumtitanát magas statikus nyomás és magas (100 °C) hőmérséklettel szembeni viszonylagosan jó viselkedése miatt piezolanrezgőket alkalmaztunk. A piezolan báriumtitanát bázison előállított keramikus piezo-anyag. Hogy a radiálisan kisugárzott ultrahangokat radiálisan felvehessük csőrezgőket építettünk be.

Az adó munkafrekvenciáját a lemez geometriai formája határozza meg. Kiválasztásánál azonban figyelembe kellett venni, hogy magas frekvenciáknál a közet csillapítása nagy, és az elektromos akusztikus határfok nagyon rossz. Ezzel szemben alacsony frekvenciáknál a rezgő geometriai méreteit túl nagyra kell megválasztani, és ezenkívül már a szondazörejek is a munkafrekvencia tartományába esnek. Ezért feltételeesen – a piaci ajánlat alapján – 23 KHz rezonanciafrekvenciájú rezgőt alkalmaztunk. Az impulzus frekvencia 6,25 Hz, mert egyrészt a folyamatos méréseket tekintve az impulzusok minimális számát követeljük meg, másrészt pedig az impulzusokkal együtt nő az impulzus generátor nagysága is. Az 50 Hz-el történő szinkronizáció konstans impulzus frekvenciát biztosít. A célból, hogy biztosítani tudjuk, hogy a fellevőhöz érkező első rezgés a közeten keresztül terjedjen, a szondába csillapító tagokat kellett beépíteni, melyek az adó és vevő közti direkt energiautakat kizárják. Beható vizsgálatok után végül is gumi-fém összekötést választottunk, amelynek egyrészt 400 at statikus víznyomásig nyomásállónak és 2000 kp húzási terhelésig húzásállóknak kell lennie. A húzási szilárdság 4-eres fűrólyukmérő kábelt feltételez. Két ér a szonda áramellátására van kihasználva, két ér pedig a jel oda- és visszavezetésére szolgál. Az erek közti 0,1 μ F/km nagyságrendű párhuzamos kapacitás miatt, nem lehetett mindkét fellevő jelét külön vezetéken a felszíni mérőberendezésbe juttatni. Ezért mindkét szonda erősítő berendezéseit, mindenkor tüimpulzusokká kell átalakítani, úgyhogy a különbségi időmérés az impulzus időbeli távolságának a meghatározásából áll. Ehhez a felszíni berendezésben különösen nagy, lineáris feszültségnövekedésű fűrészfoggenerátort alkalmaznak, amelyet az első impulzus vezérel és a második impulzussal beérkezést kapunk a fűrészfogon. A kábelfeszítés függvényében történő regisztrálásra a fotoregisztráló berendezés és a szalagíró jöhet számításba. A választás a utóbbira esett, mert a kompenzációs szalagíró használata azt a lehetőséget nyújtja, hogy a mechanikus integráló áttétel segítségével a különbségi időkből, a mérési előrehaladás figyelembevételével az összes terjedési időt megkapjuk, és mint második nyomot regisztráljuk. A 3. ábra a berendezés block kapcsolását mutatja a szondával és a felszíni berendezéssel.

Cement-karotázs

1. Bevezetés

Az olaj- és gázfúrásokat a fúrás után legtöbbször acélsövekkkel béléscsővezik. A cső és közet közti térséget cementtel öntik ki. A cementezés a cső mechanikus biztosításán kívül lényegében azt a célt szolgálja, hogy a megfűrt rétegeket egymástól ismét elszigetelje. A cementezésnél tehát nemcsak azt akarjuk elérni, hogy a cement a cső és a közet közti teret teljesen kitöltse, hanem a



3. ábra

1. Kézzel szabályozható; 2. Fázisfordító; 3. E_1 , E_2 erősítőkre ugyanazon feszültségalak érvényes, csak T_{ME} különböző; 4. Fázisfordító végfokozat; 5. Geofon; 6. E_2 erősítő; 7. Relé átkapcsoló; 8. Impulzusgenerátor; 9. E_1 erősítő; 10. E_1 erősítő hálózati része; 11. E_2 erősítő hálózati része; 12. Fordulatszámoló; 13. Multivibrátor; 14. Magasfeszültség előállítás; 15. Geofon; 16. Magnetostrikciós adó; 17. Időjel; 18. Lőmesteri telefon; 19. Telefon; 20. Regisztráló berendezés; 21. Szeizmikus állomás; 22. Oszcillográf; 23. Vizsgálógenerátor; 24. Érzékenység előfesz. szabályozó E_1 , E_2 erősítő; 25. I szonda = konstans; 26. Szabályozótrafó; 27. Mágneses stabilizátor; 28. || kapuáramkör fázisfordítás; 29. Multivibrátor 100 ms záróimpulzus || kapu számára; 30. Multivibrátor $a_2 \dots a_7$ ms; 31. Multivibrátor 2 ms újítóimpulzus I kapu számára; 32. Alapimpulzus leválasztása; 33. Vágófokozat; 34. Impulzusátalakító multivibrátor; 35. Akusztikus-karottázs berendezés; 36. Katódkövető; 37. 3 kapuáramkör 0,6 ms késleltetés zárva; 38. 4 kapuáramkör 0,6 ms késleltetés nyitva; 39. Amplitúdó komparátor; 40. Katódkövető; 41. Fűrészfoggenerátor; 42. Hálózati rész; 43. Szalagíró; 44. Fordulatszámoló; 45. Szalagíró; 46. Integrátor; 47. Kioltási idő

Cementkarotázs szonda

4 eres kábelre helyezve,
radialis munkamód.

Szondahossz $l = 4,47$ m

Szondatmérő $d = 85$ mm

Nyomási szilárdság $p = 4,00$ at

Hőmérséklet-állandóságra $t = 90$ C°

Munkafrekvencia $f_a = 23$ kHz

Impulzusfrekvencia $f_i = 10$ Hz

Központosítás $s = 6 \frac{3}{8}$ " (168 mm)

Központosítás $s = 5 \frac{1}{4}$ " (146 mm)

Központosítás $s = 4 \frac{1}{2}$ " (114 mm)

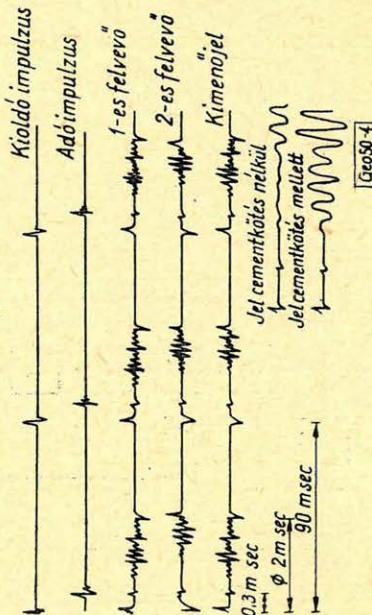
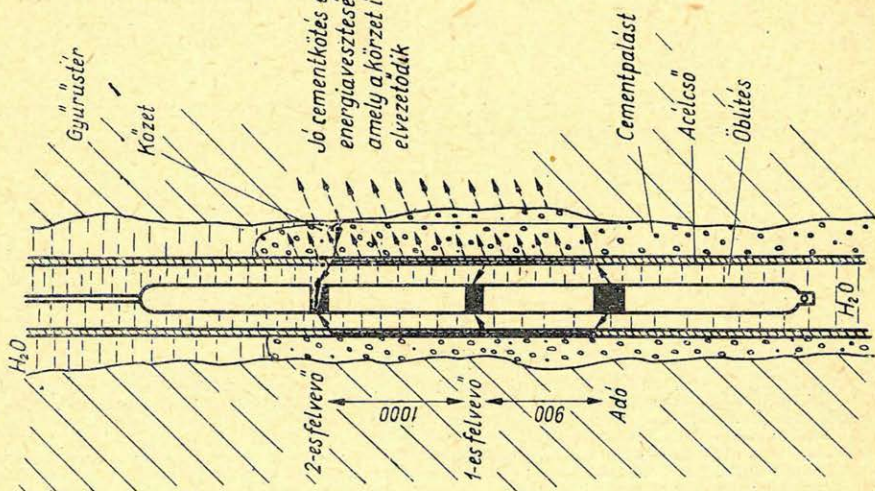
Kis mérési szakasz $q_1 = 90$ cm

vagy $q_1 = 110$ cm

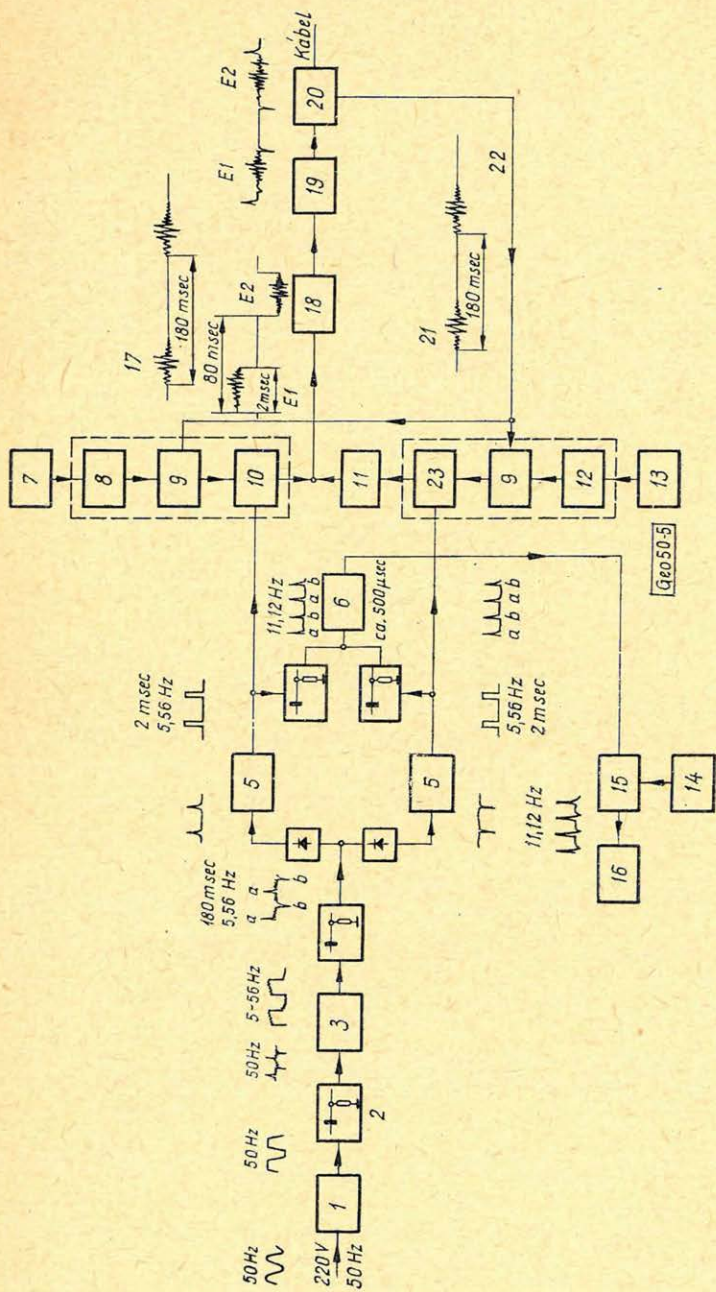
Nagy mérési szakasz $q_2 = 190$ cm

vagy $q_2 = 210$ cm

Jó cementkötés esetén
energiavesztés lép fel,
amely a körzet irányában
elvezetődik



4. ábra



5. ábra

1. Vágófokozat; 2. Differenciáló fokozat; 3. Fantastron; 4. Átalakító multivibrátor (Muyi); 6. Kioldó késleltetés multivibrátor (Muyi) kb. 500 μ s; 7, 2-s felvevő elerosztóje; 8, 2-s felvevő elerosztóje; 9. Erősítésszabályozás; 10. I. kapuáramkör; 11. Vágófokozat; 12, 1-s felvevő elerosztóje; 13, 1-s vevőkristály; 14. Nagyfeszültség előállítás; 15. Titratron; 16. Adókristály; 17. E_2 -jel; 18. Vezérlőfokozat; 19. Végerősítő; 20. Elektromkapcsoló; 21. E_2 jel; 22. Szabályozó egyenfeszültség; kézi szabályozáshoz; 23. II. kapuáramkör.

cementnek jó kötést is kell biztosítani a kőzettel és az acélsővel. Különösen az utóbbi kötés nagyon kritikus az acélső sima felszíne és különböző tágulási koefficiense miatt. Tekintettel ennek jelentőségére, ellenőrző mérések váltak szükségessé a jó cementáció megtörténte érdekében.

Az eddig alkalmazásra kerülő ellenőrzési lehetőségek (hőmérsékletmérés, gammamérés) nem voltak nagyon kielégítőek, mert magáról a kötésről semmiféle állítást nem lehetett eszközölni, csak a cement kiterjedését lehetett megállapítani.

2. Működési mód

A cement-karottázs az akusztikus karottázshoz hasonló felépítést mutat. Egy kutatási megbízás kapcsán kifejlesztettünk egy gyűrű alakú ultrahangadóval és két ultrahang vevővel ellátott szondát. Adó és vevőként ebben az esetben piezonal gyűrűszegzőket építettünk be, amelyeket báriumtitanát bázison állítottunk elő. Egy impulzugenérátor és egy impulzustranzformátor segítségével 12,5 Hz-es 10–40 KHz-es frekvenciaspektrumú hangimpulzusokat juttatunk az öblítőfolyadékba, és a környező csőfalba. Az energia egy részét az acélső továbbvezeti és az öblítőszapon történő ismételt áthaladás után a felvevő észleli. Az energia másik része behatol a cementpalástba és itt vagy a kőzet, vagy a cement átmenetnél reflektál, vagy behatol a kőzetbe. Ezek az energiarészek a csőhullámhoz viszonyítva időkéssel érkeznek meg a felvevőkhöz és a vevőtávolság növekedésével az időkéseletetés is megnő. Ez használható ki a jel elemzésénél, a cement és a kőzet közti kötést tekintve. Rövid mérési szakasz az eredmények jobb értékelését engedi meg a cső-cement kötést illetően, ezért a két felvevőt 0,9 m, ill. 1,9 m-es távolságban helyeztük el.

A távolságok a felvett jel csillapítását döntően meghatározzák, mert a víz és cement tömegek, amelyek a csövet hullámvezetőként veszik körül, energiát vezetnek el. Ha első közelítésben az elektromos hullámvezetők elméletét az akusztikus hullámvezetésre alkalmazzuk az adódik, hogy a csillapítás azzal a felszínnel arányos, amelyről akusztikus energia vezetődik el.

Grosmanin, Kokesh és Majani közöltek méréseket, mely szerint a csillapodásnövekedés a jó cementáció következtében m^2 -enként 54 dB-t tesz ki, ami 14 cm cső-átmérő esetén m-es mérőtávolságonként kb. 26 dB csillapítást jelent. Kötés nélkül a csillapítás ezzel szemben csak kb. 2,6 dB/m. A csillapítás ugrásszerű csökkenése a hangimpulzusok terjedése során két különböző közeg határán létrejövő fejhullámok kialakulásával indokolható. Mivel az acélban a legnagyobb a hangsebesség a folyadékban nyomási, a cementben nyomási és nyíróhullám keletkezik. Mindezen hullámokat a hangimpulzus „feje” gerjeszti, és a hangimpulzusok energiájából folyamatosan energiát vonnak el. Nyírási fejhullámok gerjesztése azonban csak úgy lehetséges, ha a cement és acélső között szilárd mechanikus kötés van, mert különben nem adódnak át eltolási feszültségek. A cement-kőzet határról reflektált hangenergia menetideje a kőzet távolsága szerint ingadozik. Hogy az egyes energiacsoportokat egymásból kivonhassuk, az adó és vevő között nagyobb távolságot kell megválasztani. Az 1,9, ill. 2,1 méteres választott távolságnál lehetséges a jelből azt az energiaprészt kirekeszteni, amely a kőzetfalról reflektál. Gyakran a cementáció átlagos megítélése is kívánatos. Itt a meghatározási intervallumot olyan nagyinak választjuk, hogy meg tudjuk fogni mind a beléscsővön terjedő jelet, mind azt az energiaprészt, amely lehetőség szerint a cement-kőzet határról reflektálódik.

A cementkarottázsszonda működési módja a 4. ábrán van felvázolva. A jobb oldalon megkíséreltük ábrázolni az 1. és 2. felvevő jelének továbbítását. A viszonylag magas párhuzamos kapacitás (kb. $0,4 \mu F/km$ az egyes kábelerek között) és a magas jelfrekvencia (420 kHz) miatt az időben kb. 300 ms-onként következő rezgéseket nem lehet egy időben továbbítani, mert „átszórások” fordulnának elő. Ezért a szondába beépítettünk egy elektromos vezérlőrészt, amely az első és második felvevő jeleit váltakozva juttatja a mérőkábelhez. A kapesoló adót kioldó impulzusok két kaput nyitnak meg 2 ms-onként úgy, hogy a tíz hangimpulzusból mindenkor az egyik és másik vevő öt felvett rezgést ad le a közös végfokozaton keresztül a felszíni berendezésnek. A két felvevőtől érkező rezgéssorozat jellemzése az ellentett polaritású vizsgálóimpulzussal történik. A felszíni berendezésben levő trigger-szelektor a jeleket szétválasztja és a megfelelő csatornákhöz irányítja. Az 5. ábra mutatja a szonda blokkkapcsolását a jellemző impulzusformával egyetemben.

3. Alkalmazási terület

A cementkarottázs bevezetésének a következő alkalmazási területeit találjuk.

1. Cementkötés ellenőrzése, cementfej lokalizálása, repedések kimutatása.
2. A cementező eljárás javítása a nyert általános tapasztalatok alapján. A nyomáscementezés méréssel történő ellenőrzése a cementáció előtt és után.
3. További alkalmazási területek adódnak a csövezés nem cementezett szakaszán is, amennyiben puha üledékek veszik körül a bélészsövet. Ezek csillapítólag hatnak a csőben levő jelre. A csillapítás nagysága rétegről rétegre különböző, így a cementkarottázs a csövezés mögötti rétegek rétegsorát is visszatükrözi.