



NORGE

[NO]

**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 141067

(51) Int. Cl.² G 01 V 5/00

(21) Patentsøknad nr. 2528/73
(22) Inngitt 18.06.73
(23) Løpedag 18.06.73

(41) Ålment tilgjengelig fra 20.12.73
(44) Søknaden utlagt, utlegningsskrift utgitt 24.09.79
(30) Prioritet begjært 19.06.72, USA, nr. 264106

(54) Oppfinnelsens benevnelse . Fremgangsmåte til å undersøke jordformasjoner som omgir borehull.

(71)(73) Søker/Patenthaver TEXACO DEVELOPMENT CORPORATION,
135 East 42nd Street,
New York, NY 10017,
USA.

(72) Oppfinner ROBERT WILLIAM PITTS, JR.,
Houston, TX,
USA.

(74) Fullmektig Bryns Patentkontor A/S, Oslo.

(56) Anførte publikasjoner Norsk (NO) patent nr. 137520
Fransk (FR) patent nr. 83862 som er tillegg til
nr. 1183557
USA (US) patent nr. 3510655, 3662172
"Instrumentation and experimental Techniques",
jan. febr. 1969, nr. 1, side 68-70, E.I. Podol'ny &
Y.E. Sclyaninov:
"Automatic Background Subraction", (USA).

Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte til å undersøke jordformasjoner som omgir borehull, omfattende bestråling av jordformasjonene med pulser av hurtige neutroner, detektering hovedsaklig samtidig med hver puls av gammastråling som skyldes uelastisk spredning av disse neutroner pluss bakgrunnsgammastråling og en første telling som representerer den samlede gammastråling, detektering av bakgrunnsgammastrålingen og en andre telling som representerer denne, og kombinerings av den første og andre telling for å tilveiebringe en korrigert telleverdi som representerer den uelastiske gammastråling.

Det er vel kjent at olje og gass trolig finnes i økonomisk forsvarlige kvantiteter i jordformasjoner som er forholdsvis porøse og gjennomtrengelige enn i meget faste jordformasjoner. Det er også kjent at olje- og gassinneholdende formasjoner kan lokaliseres ved at en neutronkilde senkes ned i borehullet og styrken av sekundær gammastråling som skyldes neutronstråling kan måles som en funksjon av borehullets dybde.

Særlig klorkjerner som har et meget stort virknings- tverrsnitt for langsomme neutroner, større enn for kjerner av andre ofte forekommende elementer, er en god indikator for lokalisering av saltvann. Kalksten- eller sandstensjikt som er fylt med vann vil derfor ha større makroskopisk virknings- tverrsnitt for langsomme neutroner enn sjikt som er mettet med olje. Kombinert med andre informasjoner om porøsitet kan olje oppdages ved å bestemme klorinnholdet i en formasjon. Slik måling er i det siste anvendt for måling av enten klors opptak av gammastråling eller neutronenes levetid eller desintegrasjons- konstant for langsomme neutroner i jordlag som undersøkes.

Den ovenfor nevnte teknikk for å oppdage saltvann har

vist seg meget nyttig for lokalisering av jordformasjoner som inneholder olje og gass. Man har imidlertid fått sporadiske indikasjoner ved denne teknikk som skyldes tilstedeværelsen av store mengder natriumklorid eller andre klorinneholdende salter i væskeformasjoner. Det har på markedet ikke forekommet undersøkelsesmetoder som med pålitelighet kan skille olje fra vann i jordformasjoner hvor saltholdigheten er liten. F.eks. nødvendig- gjør den ovenfor nevnte klor- eller neutronlevetidsundersøkelse en vannholdighet som overskrider ca. 30.000 deler pr. millioner natriumklorid- eller andre klorsaltdeler, før olje som er opptatt i porene i den formasjon som undersøkes, kan skilles fra vann som er opptatt i disse porer.

Hittil har det følgelig vært foreslått å måle i det minste en del av gammastrålingsenergispekteret som skyldes uelastisk neutronspreddning fra neutronbestrålte jordformasjoner som omgir et borehull. Dette er foreslått fordi karbon og oksygen har vesentlig uelastisk spredningstverrsnitt men relativt lite virkningstverrsnitt. Karbon- og oksygenkjerner i jordformasjoner som omgir borehull kan derfor delta i betydelig uelastisk spredningsvirksomhet med bombarderende neutroner. Gammastråling som følge av denne uelastiske neutronspreddningsvirksomhet skal derfor i det følgende betegnes uelastisk gammastråling. Uelastisk gammastråling som opptrer med bestemt energikarakteristikk for uelastisk spredning ved karbon- og oksygenkjerner, kan derfor anvendes som en indikator for de relative kvanta av disse elementer i jordformasjonene som omgir borehullet.

Dette forsøk har hittil imidlertid vært begrenset i en viss grad fordi uelastisk spredningstverrsnitt for karbon og oksygen bare gjør seg gjeldende hvis neutroner med stort energiinhold står til rådighet for å frembringe uelastisk spredningsvirksomhet. Hittil har det vært vanskelig å tilveiebringe et tilstrekkelig kvantum neutroner med høyt energiinhold for pålitelig å kunne utføre slike målinger i borehull. Utviklingen av generatorer for pulsede neutroner for borehullmålinger har imidlertid gjort det mulig å måle energispekteret for uelastisk gammastrålespredning fra jordformasjoner som bestråles med neutroner med høyt energiinhold. Forsøk er gjort på å måle uelastisk spredningsvirkning fra karbon og oksygen

med neutroner på 14 MEV som er frembragt i pulsede neutron-generatorer med deuterium-tritium reaksjon.

Hittil har imidlertid ingen av de foreslåtte metoder basert på dette forslag vist seg pålitelige. En av hovedgrunnene for mangel på suksess ved disse forsøk har vært at karbon har vært til stede i vesentlig grad i jordformasjonene. Kalkstenformasjoner er imidlertid stort sett bestående av kalsiumkarbonat. En vanninnholdende kalkstensformasjon kan derfor frembringe mer gammastråling som følge av uelastisk spredning fra karbonkjerner enn oljefyllt siliciumsand eller oljemettet skiferformasjon. Videre har karbon-oksygenforholdet for jordformasjoner vist seg å være en funksjon av formasjonens porøsitet. Det har imidlertid vist seg at vannmetning av jordformasjoner kan måles nøyaktig ved anvendelse ved fremgangsmåter av apparater som skal beskrives og som bestemmer karbon-oksygenforholdet.

Selv om de forbedrede pulsede neutronkilder som nå står til rådighet for å frembringe uelastisk neutronspreddning ved undersøkelse av borehull, må neutronemisjonen begrenses til forholdsvis små antall neutroner i løpet av hver puls fra den pulsede neutronkilde, slik at pulsopphopning i det elektroniske system ikke vil ødelegge oppløsningen av signalet for uelastiske gammastråler frembragt i formasjonen. Pulsopphopningen skyldes at systemet omfatter elektroniske kretser og kabelen for utstyret som senkes i borehullet ikke er i stand til effektivt å telle pulssignaler med en bestemt momentan telletakt. I den henseende blir også avstanden mellom neutronkilden og gammastråledetektoren kritisk ved regulering av telletakten slik at den ikke overskrider den bestemte momentane telletaktbegrensning for systemet. For å øke den statistiske nøyaktighet for uelastisk spredningsmåling som vanligvis er en funksjon av det samlede telletall, kan derfor avstanden mellom kilde og detektor og pulsrepetisjonstakten for den pulsede neutronkilde varieres for å oppnå et optimalt resultat. Av den grunn er varigheten av hver enkelt neutronpuls gjort så kort som mulig f.eks. 5 mikrosekunder. Ved anvendelse av slike korte pulser er det mulig å oppnå en avstand mellom kilde og detektor og en pulsrepetisjonstakt som vil gi et maksimalt antall tellinger uten å overskride telletaktbegrensningen for systemet ved uelastisk

gammastrålingsmåleintervaller som faller sammen med neutronpulsens varighet. Ved å holde neutronpulsens varighet så kort som mulig, minskes også telletakten på grunn av opptaket av langsomme neutroner. Denne ønskede virkning skyldes at det ikke er tilstrekkelig tid for vesentlig oppbygning av en bakgrunn for slike langsomme neutroner i løpet av en kort neutronpuls. Økning av pulsrepetisjonstakten for meget for å øke tellesummen, kan imidlertid lede til telling av uelastisk gammastråling fra en større ansamling langsomme neutroner fra en tidligere neutronpuls som fremdeles befinner seg i omgivelsene av måleutstyret i borehullet.

Hensikten med oppfinnelsen er på effektiv måte å fjerne virkningen av enhver større bakgrunn av langsomme neutroner fra tellingen i et karbon-oksygenundersøkelsessystem for å bestemme tilstedeværelsen av olje i jordinformasjoner som er fylt med forholdsvis ferskt vann.

Det er uten videre klart for fagmannen at den foregående utredning om parameterne som kan endres for å øke undersøkelseshastigheten og tellingen av uelastisk neutronspreddning av et visst avhengighetsforhold, ikke bare innbyrdes men også med hensyn til fysiske parametere for borehullet hvor undersøkelsen finner sted. F.eks. kan borehullets diameter, den relative tykkelse av utføring av borehullet og typen borehullvæske kan påvirke telletakten for uelastisk gammastråling. For derfor å oppnå rimelig tellehastigheter med rimelig avstand mellom kilde og detektor og allikevel opprettholde reproduerbare gammastrålepulser som ikke er for meget ødelagt av pulsoppbygning, er det nødvendig å gi neutronpulsene en hurtig takt.

Hensikten med oppfinnelsen er derfor å tilveiebringe en fremgangsmåte til å bestemme karbon-oksygenforholdet i jordformasjoner som omgir et borehull ved anvendelse av hurtig gjentatte neutronpulser og måling av uelastisk neutronstråling.

Dette oppnås ifølge oppfinnelsen ved at pulsene har en repetisjonsfrekvens på minst 4000 pr. sek., at bakgrunnsgammastrålingen detekteres mellom hver neutronpuls i en andre telleperiode som er hovedsaklig lik en første telleperiode og avsluttes hovedsaklig umiddelbart før starten av den neste første periode, og at kombineringen består i subtraksjon av den andre telleverdi fra den første telleverdi.

Videre trekk og fordeler ved oppfinnelsen vil fremgå av patentkravene 2-4.

Et utførelseseksempel på oppfinnelsen skal forklares nærmere under henvisning til tegningene.

Fig. 1 viser skjematisk et apparat ifølge oppfinnelsen.

Fig. 2 viser et tidsdiagram for forholdet mellom neutronkildens og detektorens innkoplingstid i forhold til gammastrålingen som skyldes uelastiske spredningsneutroner og langsomme bakgrunnsneutroner i området av borehullet.

Fig. 1 viser et borehull 2 som strekker seg gjennom jordformasjoner 3, hvilket borehull er forsynt med en stålføring 4 og fylt med en væske 5. Stålføringen 4 er støpt fast med et betonglag 6 som også tjener til å hindre væske-kommunikasjon mellom til hverandre grensende jordformasjoner 3.

Den del av apparatet som senkes ned i borehullet består av et langstrakt, væsketett hus eller sonde 7 som under målingene føres i sin lengderetning gjennom føringen 4 og er dimensjonert for dette. Den del av apparatet som befinner seg på overflaten skal beskrives nærmere nedenfor og omfatter utstyr for behandling og opptegning av de elektriske målinger som er utført ved hjelp av sonden 7. En kabel 8 som løper over en trinse 9 bærer sonden 7 i borehullet og overfører elektriske signaler til og fra sonden 7. Kabelen 8 kan være av vanlig armert type og kan ha én eller flere elektriske ledere for overføring av signalene. Det er imidlertid å foretrekke ifølge oppfinnelsen at kabelen er en armert koaksialkabel. En slik kabel har den ønskede båndbredde for overføring av målingene og opprettholdelse av formen av de pulser som frembringes av sonden.

Sonden 7 inneholder en kilde 11 for meget energirike neutroner. Neutronkilden som er egnet for dette formål er en pulset neutronkilde basert på deuterium-tritium reaksjon. Det er imidlertid klart at oppfinnelsen ikke er begrenset til en slik neutronkilde. Andre typer pulsede neutronkilder kan anvendes hvis ønskelig. En egnet strålingsdetektor omfatter en fotomultiplikator 10 og et detektorkrystall 12 for detektering av gammastråling fra uelastisk spredning av meget energirike neutroner ved hjelp av jordformasjonene 3 som omgir borehullet 2. En skjerm 13 av stål, bly eller annet egnet materiale skiller

neutronkilden 11 fra detektorkrystallet 12 enten på utsiden eller innsiden av sondeveggen. En skjermplate 16 er anordnet mellom strålingsskjermen 13 og detektorkrystallet 12 for å minske muligheten for at langsomme neutroner når detektorkrystallet. Dette neutrons kjermingsmateriale kan bestå av bor eller et annet egnet materiale med stort virkningstverrsnitt for langsomme neutroner. Detektorkrystallet 13 kan bestå av thalium dopet med natrium jodid eller cesium jodid eller et annet dopingsmateriale som er optisk koplet med fotomultiplikatoren 10.

Strålingsskjermen 13 minsker muligheten for direkte bestråling av detektorkrystallet med neutroner som stammer fra den pulsede neutronkilde 11. Strålingsskjermen tjener til å minske muligheten for langsomme neutroner som følger en kroket bane og er bremsed ned til liten energi som følge av borehullvæsken 5 eller skjermmateriale 13 slik at strålingen ikke når detektorkrystallet og forårsaker neutronaktivitet i jod eller annet materiale i krystallet.

Neutrons kjermen minsker muligheten for langsomme neutroner fra en tidligere neutronpuls for å påvirke materialer i selve sonden eller detektorkrystallet og bevirke emisjon av gammastråling i det tidsintervall da den uelastiske gammastråling skal iakttas. Slik det skal forklares nærmere nedenfor er det imidlertid tatt hensyn til bakgrunnsstråling med langsomme neutroner som fremdeles er tilstede under den uelastiske gammabestrålingstelleperiode.

Som kjent frembringer scintillasjonskrystallet et atskilt lysblink når en gammastråle passerer krystallet og utveksler energi med dette og gitterverket i krystallet. Fotomultiplikatoren 10 frembringer en spenningspuls som er proporsjonal med styrken av hver slik scintillasjon som opptrer i krystallet 11. Styrken av scintillasjonene er en funksjon av energien av gammastrålen som bevirker lysblinket. En spenningspuls som frembringes av fotomultiplikatoren har derfor en amplitude som er en funksjon av energien av vedkommende gammastråle. Disse proporsjonale spenningspulser som frembringes av fotomultiplikatoren 10 omfatter da et detektorsignal som tilføres en lineær forsterker 17 via en diskriminator 18 hvis ønskelig. Diskriminatoren 18 kan anvendes f.eks. til å skille

ut bakgrunnsgammastråling med liten energi som stammer fra aktiviteten i detektorkrystallet ved reaksjonen:

$$I^{127} (N, \gamma) I^{128}$$

Et forhåndsinnstillet forspenningsnivå kan anvendes for bare å la pulser som overskrider et nivå som svarer til 1,78 MEV gammastråling frembragt av uelastisk spredning av neutroner ved silicium. Bakgrunnsgammastråling med liten energi som ellers ville forårsake pulsopphopning kan elimineres på denne måte. Anbringelse av diskriminatoren 18 nede i sonden minsker også telletakttilførsel til kabelen slik at muligheten for å unngå pulsopphopning bedres. Diskriminatoren 18 er ikke nødvendig i systemet og kan sløyfes hvis ønskelig.

Neutronkilden 11 drives fortrinnsvis ved hjelp av en pulskrets 14 som kan være av vanlig kjent art. Pulskretsen 14 driver neutronkilden 11 i kortvarige pulser. Pulskretsen 14 kan styres av tidspulser fra overflaten f.eks. fra en oscillator 39 og overføres gjennom kabelen 8 og kan også frembringes av en pulskilde 20 i sonden. Pulskretsen 14 kan styres av tidspulsene for å emittere neutroner i et bestemt tidsrom. Frekvensen for neutronemisjonen kan styres fra overflaten ved hjelp av oscillatoren 39. I det tilfellet at tidspulsene tilveiebringes i sonden er det på overflaten sørget for detektering av tidspulsene slik at de kan anvendes for å styre portkretsene slik det skal beskrives nedenfor. Ved målinger med uelastisk spredning ifølge oppfinnelsen er det ønskelig å anvende neutronpulser med en varighet på ca. 5 mikrosekunder som gjentas 5000 - 20.000 ganger pr. sekund eller mer i gjentatte intervaller.

Fig. 2 viser tidsforholdet mellom neutronpulsene og gammastrålingsdetektorens periode. Neutronkildens periode på fig. 2 er vist med en optrukket kurve 33. Den uelastiske gammastråling i nærheten av detektorkrystallet 12 er vist med en streket kurve 31. Gammastrålingen som skyldes opptak av langsomme neutroner i området av detektoren er vist med en prikket kurve 32. Detektorperioden er vist med optrukket kurve 34 under kurvene 31, 32 og 33. Det skal bemerkes at rett før hver neutronpuls med en varighet på ca. 5 mikrosekunder som er vist med kurven 33 aktiviseres detektoren med et tidsrom A' for måling av enhver gjenstående opptreden av langsomme neutroner i

nærheten av detektoren. Rett før begynnelsen av kildeperioden blir det i et tidsrom A foretatt telling av gammastråler som skyldes uelastisk neutronspreddning. Disse tidsrom styres ved tilførsel av tidspulser fra tidsgeneratoren 39 til signalportkretser 22 og 44 for å tilveiebringe tidsrekkefølgen som vist på fig. 2 idet det også tilføres tidspulser via kabelen 8 for pulskretsen 14 som styrer pulsingen av neutronkilden.

Det skjer en plutselig og hurtig oppbygning av uelastisk gammastråling (kurve 31) som bare er tilstede i vesentlig grad i løpet av neutronpulsens. Gammastrålingen ved opptak av langsomme neutroner (kurven 32) bygger seg opp langsommere og når en topp bare etter at neutronpulsens på 5 mikrosekunder er avsluttet. En del av de langsomme neutroner er imidlertid fremdeles til stede fra foregående pulser og er en funksjon av bakgrunnsstråling som telles i tidsrommet A' og som ifølge foreliggende oppfinnelse anvendes for korreksjon av uelastisk gammastråling som følge av gammabakgrunnsstråling som skyldes langsomme neutroner. Det skal bemerkes at på fig. 2 har neutronpulsene tilstrekkelig tidsavstand til at de fleste av de langsomme neutroner (kurven 32) forsvinner før neste puls. Videre vil skjermmaterialet 15 og 16 ytterligere minske detektering av sporadisk gammastråling som følge av langsomme neutroner i området av detektoren i borehullet.

I løpet av den tid neutronkilden 11 aktiviseres, vil utgangssignalet fra fotomultiplikatoren 10 via diskriminatoren 18 og den lineære forsterker 17 og en drivenhet 19 tilføres kabelen. Et referansesignal med en kjent amplitude tilføres også av tidspulsgeneratoren 20 til inngangen av diskriminatoren 18. Referanse-pulsene fra generatoren 20 anvendes til en forsterkningsreguleringskrets eller spektrumstabiliseringskrets 23 på overflaten for å styre forsterkningen i apparatet.

Da både pulskretsen 14 og portkretsene 22 og 44 styres av samme tidsgenerator 39 er det klart at synkronisme opprettholdes mellom utstyret på overflaten og i sonden. Data-signalene kan styres på overflaten for å velge deler av disse for behandling i ønsket tidsforhold til emisjonen av neutroner som nevnt under henvisning til fig. 2.

Selv om det ikke er vist på fig. 1 er det klart at elektrisk energi kan tilføres fra overflaten via kabelen 8 til

sonden 7. Likeledes er det klart at energikilder kan anbringes i sonden for drift av utstyret i denne.

Utgangssignalene som leveres til kabelen 8 fra sonden omfatter en rekke tellepulser som følge av detektert gammastråling i detektorkrystallet 12 i løpet av tidsintervallene A' og A. I løpet av tidsintervallet A omfatter signalene en kombinasjon av bakgrunnsstråling pluss uelastisk gammastråling, idet bakgrunnsstrålingen hovedsakelig skyldes gammastråling som følge av langsomme neutroner som tidligere nevnt. En akkurat bestemmelse av denne bakgrunnsstråling skjer ved gammastråletelling i tidsrommet A' som har samme varighet som tidsrommet A, men som opptrer rett før begynnelsen av hver neutronpuls. Gammastrålepulser som opptrer i begge tidsrom A og A' tilføres en pulsanalysator 24, en krets 25 som bestemmer karbon-oksygenforholdet og en krets 26 som bestemmer silicium-kalciumforholdet. Utgangssignalene fra kretsene 24,25 og 26 tilføres for databehandling en krets 27 for å bestemme porøsiteten, en krets 28 for å bestemme kalkinnholdet og en krets 29 som bestemmer vannmetningen.

Utgangssignalene fra kretsene 27,28 og 29 sammen med karbon-oksygenforholdet og silicium-kalciumforholdet tilføres en opptegningsinnretning 30 som tegner opp de forskjellige størrelser som funksjon av borehullets dybde. Opptegningsmediet 41 drives som funksjon av borehullets dybde ved hjelp av en elektrisk eller mekanisk forbindelse med rullen 9 som antydnet med streket linje 42 på fig. 1, når sonden 7 beveges vertikalt gjennom borehullet.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte til å undersøke jordformasjoner som omgir borehull, omfattende bestråling av jordformasjonene med pulser av hurtige neutroner, detektering hovedsaklig samtidig med hver puls av gammastråling som skyldes uelastisk spredning av disse neutroner pluss bakgrunnsgammastråling og en første telling som representerer den samlede gammastråling, detektering av bakgrunnsgammastrålingen og en andre telling som representerer denne, og kombinerer av den første og andre telling for å tilveiebringe en korrigert telleverdi som representerer den uelastiske gammastråling, k a r a k t e r i s e r t v e d at pulsene har en repetisjonsfrekvens på minst 4000 pr. sek., at bakgrunnsgammastrålingen detekteres mellom hver neutronpuls i en andre telleperiode som er hovedsaklig lik en første telleperiode og avsluttes hovedsaklig umiddelbart før starten av den neste første periode, og at kombineringen består i subtraksjon av den andre telleverdi fra den første telleverdi.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at både den første og andre telleverdi foretas i hvert sitt av minst to forskjellige energivinduer i gammastrålingsenergispektret, og at den andre telleverdi subtraheres fra den første telleverdi i forhold til hvert energivindu.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at pulsrepetisjonsfrekvensen er hovedsaklig 20.000 pr. sek.
4. Fremgangsmåte ifølge et av kravene 1-3, k a r a k t e r i s e r t v e d at hver puls hovedsaklig har en varighet av 5 mikrosekunder.

FIG. 1

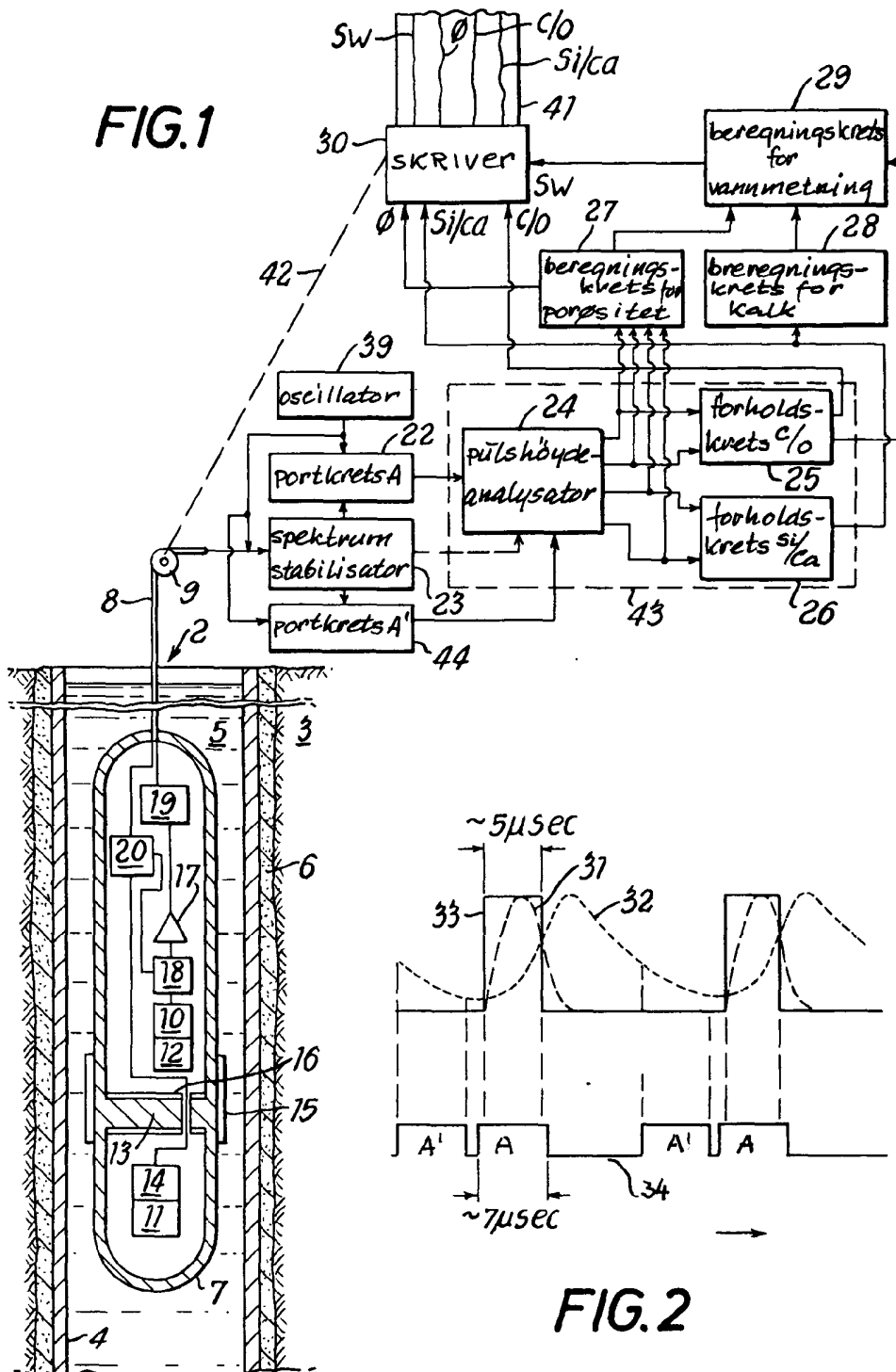


FIG. 2