



(12) PATENT

(19) NO

(11) 337982

(13) B1

NORGE

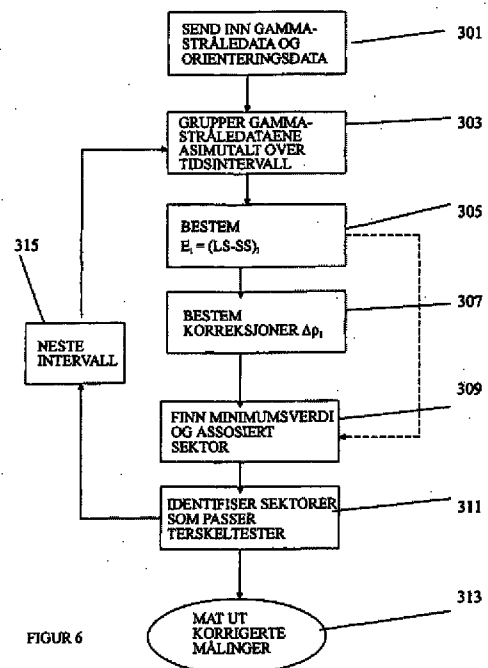
(51) Int Cl.

G01V 5/12 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20064016	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2005.02.24 PCT/US2005/06090
(22)	Inng.dag	2006.09.06	(85)	Videreføringsdag	2006.09.06
(24)	Løpedag	2005.02.24	(30)	Prioritet	2004.02.26, US, 60/547,838
(41)	Alm.tilgj	2006.11.24			
(45)	Meddelt	2016.07.18			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Incorporated, P.O. Box 4740, US-TX77210-4740 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Matthias Meister, Lückenweg 21, DE-29227 CELLE, Tyskland Matt John Sale, 15323 Walters Road, US-TX77068 HOUSTON, USA Tobias Kischkat, Huenenweg 6, DE-29227 CELLE, Tyskland			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Asimut gruppering av tetthets- og porøsitetsdata fra en jordformasjon			
(56)	Anførte publikasjoner	US 6584837 B2 US 5473158 A US 6696684 B2			
(57)	Sammendrag				

En tetthetssensor for logging-under-boring inkluderer en gammastrålekilde og minst to NaI-detektorer som har en avstand fra kilden for bestemmelse av målinger som er betegnende for formasjonens tetthet. Et magnetometer på vektørret måler den relative asimut for NaI-detektorene. Målinger som er foretatt av detektorene deles opp i grupper som er definert av asimut. En kompensert bulk tetthet bestemmes for valgte asimutale sektorer som oppfyller en terskeltest som er relatert til en minimumsdifferanse mellom målinger eller en minimumskorreksjon. Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan også anvendes sammen med nøytronporøsitet-loggeinnretninger.



FIGUR 6

Denne oppfinnelsen vedrører generelt anordninger og fremgangsmåter for borehullslogging for utførelse av målinger som er basert på nukleær stråling. Mer bestemt vedrører oppfinnelsen en ny og forbedret anordning for å utføre formasjonstetthetslogging i sanntid ved bruk av gammastråler i et verktøy for måling-under-boring (measurement-while-drilling, MWD).

Logging av oljebrønner har vært kjent i mange år, og forsyner en borer for olje- og gassbrønner med informasjon om den bestemte jordformasjon som blir boret. I konvensjonell oljebrønnlogging, etter at en brønn har blitt boret, blir en probe, kjent som en sonde, senket inn i borehullet og brukt til å bestemme enkelte karakteristika ved de formasjoner som brønnen har gjennomskåret. Proben er typisk en hermetisk tettet stålsylinder som henger ved enden av en lang kabel som gir mekanisk bæring for sonden og tilveiebringer effekt til instrumenteringen inne i sonden. Kabelen tilveiebringer også kommunikasjonskanaler for sending av informasjon opp til overflaten. Det blir således mulig å måle en parameter i jordens formasjoner som en funksjon av dybde, dvs. mens sonden blir trukket oppover i hullet. Slik "vaierledning"-målinger gjøres vanligvis i sanntid (disse målingene utføres imidlertid lenge etter at den faktiske boring har skjedd).

En vaierledningssonde sender vanligvis energi inn i formasjonen, så vel som en passende mottaker for detektering av den samme energi som returnerer fra formasjonen. Disse kan inkludere resistivitetsmålinger, akustiske målinger eller nukleære målinger. Den foreliggende oppfinnelse omtales med henvisning til et tetthetsmåleverktøy som emitterer nukleær energi, og mer bestemt gammastråler, men fremgangsmåten ifølge den foreliggende er like anvendbar også på andre typer av loggeinstrumenter. Vaierledningsgammastråle-tetthetsprober er velkjente, og omfatter innretninger som inkorporerer en gammastrålekilde og en gammastråledetektor, skjermet fra hverandre for å hindre telling av stråling som emitteres direkte fra kilden. Under operasjon av proben, går gammastråler (eller fotoner) som emitteres fra kilden inn i formasjonen som skal studeres, og vekselvirker med de atomære elektroner i materialet i formasjonen ved hjelp av fotoelektrisk absorpsjon, ved Compton-spredning, eller ved pardannelse. I fotoelektrisk absorpsjon og pardannelsesfenomener, blir de bestemte fotoner som er involvert i vekselvirkningen fjernet fra gammastrålebunten.

I Compton-spredningsprosessen, mister det involverte foton noe av sin energi mens det forandrer sin opprinnelige bevegelsesretning, idet tapet er en funksjon av spredningsvinkelen. Noen av de fotoner som emitteres fra kilden inn i prøven blir
5 følgerelig spredt mot detektoren. Mange av disse når aldri detektoren, siden deres retning forandres av en annen Compton-spredning, eller de absorberes av den fotoelektriske absorpsjonsprosess i pardannelsesprosessen. De spredte fotoner som når detektoren og vekselvirker med den telles av det elektroniske utstyr som er forbundet med detektoren.

Eksempler på vaierledningstetthetsinnretninger ifølge kjent teknikk er
10 beskrevet i US-patent 3,202,822; 3,321,625; 3,846,631; 3,858,037; 3,864,569 og 4,628,202. Vaierledningsformasjons-evalueringsverktøy, så som de ovennevnte gammastråletetthetsverktøy, har mange mangler og ulemper, inkludert tap av boretid, kostnaden og forsinkelsen som er involvert i uttrekking av og innkjøring av borestrengen, for å gjøre det mulig å senke vaierledningen inn i borehullet, og både
15 oppbyggingen av en betydelig slamkake og invasjon i formasjon av borefluidene under tidsperioden mellom boring og utførelse av målinger. En forbedring i forhold til disse teknikker ifølge kjent teknikk er teknikken med måling-under-boring (measurement-while-drilling, MWD), hvor mange av formasjonens karakteristika bestemmes i hovedsak samtidig med boringen av borehullet.

20 Logging ved måling-under-boring eliminerer enten delvis eller fullstendig nødvendigheten av å avbryte boreoperasjonen for å fjerne borestrengen fra hullet for å foreta de nødvendige målinger ved hjelp av vaierledningsteknikker. I tillegg til muligheten for å logge formasjonens karakteristika ved hjelp av borkronens passering, tilveiebringer denne informasjonen på en sanntidsbasis betydelige sikkerhetsfordeler
25 for boreoperasjonen.

Et potensielt problem med MWD-loggeverktøy er at målingene typisk gjøres mens verktøyet roterer. Siden målingene gjøres kort etter at borkronen har boret borehullet, er utvaskinger et mindre problem enn ved vaierledningslogging. Likevel kan det være noe variasjon i avstanden mellom loggeverktøyet og borehullets vegg
30 ("instrumentavstand" ("standoff")) med asimut. Nukleære målinger blir særlig redusert av store instrumentavstander, hvilket skyldes den spredning som frembringes av borehullsfluider mellom verktøyet og formasjonen.

US-patent 5,397,893 tilhørende *Minette*, hvis innhold fullstendig innlemmes heri som referanse, beskriver en fremgangsmåte for analysering av data fra et måling-under-boring (MWD) formasjonsevalueringsloggeverktøy som kompenserer for rotasjon av loggeverktøyet (sammen med resten av borestrengen) under måle-

5 perioder. Tetthetsmålingene kombineres med målingen fra en borehullskalibermåler, så som en akustisk kalibermåler. Den akustiske kalibermåler måler kontinuerlig instrumentavstanden når verktøyet roterer rundt borehullet. Hvis kalibermåleren er innrettet med tetthetskilden og detektorene, gir dette en bestemmelse av instrument-

10 avstand foran detektorene ved ethvert gitt tidspunkt. Denne informasjonen brukes til å separere tetthetsdataene i en rekke grupper basert på mengden av instrument-

avstand. Etter et forhåndsvalgt tidsintervall, så kan tetthetsmålingen foretas. Det første trinn i denne prosessen er beregning av kort avstand (shortspace, SS) og lang avstand (longspace, LS) tettheter fra dataene i hver gruppe. Deretter kombineres disse tetthetsmålingene på en måte som minimerer den totale feil i tetthets-

15 beregningen. Denne korreksjonen påføres ved bruk av "spine and ribs" algoritmen og grafer så som den som er vist på fig. 2. På figuren er abscissen 110 differansen mellom LS og SS tetthetene, mens ordinaten 103 er den korreksjon som anvendes på LS tettheten for å gi en korrigert tetthet ved bruk av kurven 105.

US-patent 5,513,528 tilhørende *Holenka et al.* beskriver en fremgangsmåte og

20 en anordning for måling av informasjonskarakteristika som en funksjon av asimut omkring borehullet. Måleanordningen inkluderer et verktøy for logging-under-boring som dreier seg i borehullet under boring. Ned-vektoren for verktøyet avledes først ved bestemmelse av en vinkel N mellom en vektor i forhold til jordens magnetiske nordpol, slik det henvises til tverrsnittsplanet for et verktøy for måling-under-boring

25 (MWD) og en gravitasjon-ned-vektor slik det henvises i planet. Verktøyet for logging-under-boring (logging-while-drilling, LWD) inkluderer magnetometeret og akselerometeret som er plassert ortogonalt i et tverrsnittsplan. Ved bruk av magnetometrenes og/eller akselerometerets målinger, kan verktøyfrontvinkelen vanligvis bestemmes. Vinkelen N overføres til verktøyet for logging-under-boring, hvilket muliggjør en

30 kontinuerlig bestemmelse av en gravitasjon-ned-posisjon i verktøyet for logging-under-boring. Kvadranter, dvs. vinkelavstandssegmenter, måles fra ned-vektoren. Med henvisning til fig. 3, det gjøres en antagelse om at ned-vektoren definerer en situasjon hvor instrumentavstanden er ved et minimum, hvilket tillater en god "spine

and rib" korreksjon. En ulempe med fremgangsmåten ifølge *Holenka* er at antagelsen om minimum instrumentavstand ikke nødvendigvis er oppfylt, slik at ned-posisjonen faktisk kan korrespondere til en betydelig instrumentavstand: uten en instrument-avstandkorreksjon og resultatene kan bli feilaktige.

I et sentralisert eller stabilisert verktøy, vil instrumentavstanden generelt være enhetlig med asimut. *Holenka* (US 5,513,528) og *Edwards* (US 6,307,199) viser også hvordan asimutale målinger av tetthet kan være diagnostiske for lagsgrenser som krysses av et skråstilt borehull. Ved fravær av instrumentavstandkorreksjoner, kan dette kun være en kvalitativ måling, og de absolutte tetthetsmålinger kan være tvilsomme.

US-patent 6,584,837 tilhørende *Kurkoski*, og som har den samme rettsetterfølger som den foreliggende søknad, er rettet mot problemet med varierende instrumentavstand ved bruk av kalibermålinger for å måle instrumentavstanden. En tetthetssensor for logging-under-boring innbefatter en gammastrålekilde og minst to Nal-detektorer som er atskilt fra kilden for bestemmelse av målinger som indikerer formasjonstettheten. Et magnetometer som er anordnet på et vektør, er egnet til å måle den relative asimut for Nal-detektorene. En akustisk kaliber blir brukt til å utføre avstandsmålinger for Nal-detektorene. Ved bruk av kalibermålingene og orienteringsmålingene, defineres romlige grupper som dekker både asimut og forskyvning. Innenfor hver asimutale sektor, gir et vektet gjennomsnitt av tetthetsverdiene en asimutal tetthetsmåling som er overlegen i forhold til tidligere metoder. Metoden til *Kurkoski* krever bruk av en kalibermåler. I tillegg kan det være nødvendig at det tas gjennomsnittet av målingene over mange verktøyrotasjoner, for å tilveiebringe meningsfull statistikk for målinger innenfor hver romlige gruppe. Dette kan resultere i redusert vertikal oppløsning. Det er et behov for en fremgangsmåte for bestemmelse av asimutal tetthet i jordformasjoner uten bruk av kalibermålinger, som ikke krever akkumulering av målinger over for mange rotasjoner av verktøyet. Den foreliggende oppfinnelse oppfyller dette behov.

Den foreliggende oppfinnelse er en fremgangsmåte for logging av en jordformasjon. Jordformasjonen bestråles ved bruk av en strålingskilde på et logge-verktøy i et borehull i jordformasjonen. Målinger foretas med et par av strålings-detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand under kontinuerlig rotasjon av verktøyet, og over et valgt tidsintervall deles de opp i en flerhet av asimutale

sektorer. En i flerheten av asimutale sektorer for hvilken en funksjon av de oppdelte målinger oppnår en minimumsverdi identifiseres, og en egenskap for jordformasjonen ved bruk av målingene innenfor den identifiserte i flerheten av asimutale sektorer. Strålingskilder kan være en gammastrålekilde eller en nøytronkilde.

5 Detektoren kan være en gammastråledetektor eller en nøytrondetektor. Funksjonen kan være en differanse mellom målinger som er foretatt med de to detektorer. Oppdelingen kan gjøres basert på målinger som er foretatt av en orienteringssensor på loggeverktøyet. Minimumsverdien kan sammenlignes med en terskel før bestemmelsen av formasjonsegenskapen. Målinger fra ytterligere sektorer kan
10 brukes hvis de er lavere enn terskelen. Den bestemte egenskap kan være en tetthet av porøsitet for formasjonen.

En annen utførelse av oppfinnelsen er en anordning for bruk i en brønnboring i en jordformasjon. Anordningen inkluderer et verktøy som inkluderer en strålingskilde som bestråler jordformasjonen. Verktøyet har også et par av detektor som er
15 anordnet i en innbyrdes avstand, og som måler stråling under kontinuerlig rotasjon av verktøyet. En prosessor deler opp målingene som er foretatt av de to detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand over et valgt tidsintervall i en flerhet av asimutale sektorer, og identifiserer en i flerheten av asimutale sektorer for hvilken en funksjon av de oppdelte målinger oppnår en minimumsverdi. Prosessoren bestemmer deretter
20 en egenskap for jordformasjonen ved bruk av målingene innenfor den identifiserte i flerheten av asimutale sektorer. Kilden kan være en gammastrålekilde eller en nøytronkilde. Detektorene kan være gammastråledetektorer eller nøytrondetektorer. Funksjonen kan være en differanse mellom målingene som er foretatt av de to detektorer. En orienteringssensor foretar målinger av orienteringen av verktøyet,
25 hvilke deretter brukes av prosessoren i oppdelingen. Orienteringssensoren kan være et magnetometer. Prosessoren kan sammenligne minimumsverdien med en terskel før bestemmelse av formasjonsegenskapen. Prosessoren kan videre identifisere ytterligere sektorer hvor målingene ligger under terskelen og bruke de ytterligere målinger for bestemmelsen av formasjonsegenskapen. Egenskapen kan være en
30 tetthet av eller en porøsitet. Verktøyet kan transporteres inn i borehullet på et bore-rør.

En annen utførelse av oppfinnelsen er et datamaskin-lesbart medium til bruk sammen med en anordning som transporteres i en brønnboring i en jordformasjon.

Anordningen inkluderer et verktøy som har en strålingskilde som bestråler jordformasjonen og et par av strålingsdetektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand, og som måler stråling under kontinuerlig rotasjon av verktøyet. Verktøyet inkluderer også en orienteringssensor. Mediet inkluderer instruksjoner som muliggjør oppdeling av målingene som er foretatt av to detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand over et valgt tidsintervall i en flerhet av asimutale sektorer, identifikasjon av en i flerheten av asimutale sektorer for hvilke en funksjon av de oppdelte målinger oppnår en minimumsverdi, og bestemmelse av en egenskap for jordformasjonen ved bruk av målingene innenfor den ene i flerheten av asimutale sektorer. Mediet velges fra (i) en ROM, (ii) en EPROM, (iii) en EAROM, (iv) et flashminne, og (v) en optisk disk.

For en detaljert forståelse av den foreliggende oppfinnelse skal det vises til den følgende detaljerte beskrivelse av oppfinnelsen, sett sammen med de ledsagede tegninger, hvor like elementer har blitt gitt like talltegn og hvor:

Figur 1 (kjent teknikk) illustrerer en loggeinnretning for måling-under-boring (MWD) som er egnet til bruk sammen med den foreliggende oppfinnelse;

Figur 2 (kjent teknikk) viser et eksempel på hvordan tetthetsmålinger som er foretatt fra et lang-avstands-verktøy og et kort-avstands-verktøy kombineres til en gitt korrigert tetthet;

Figur 3 (kjent teknikk) viser en idealisert situasjon hvor et roterende verktøy i en brønnboring har en minimum instrumentavstand når verktøyet er ved bunnen av brønnboringen;

Figur 4 (kjent teknikk) illustrerer arrangementet av de nukleære sensorer på en innretning for logging-under-boring;

Figur 5 (kjent teknikk) viser en eksemplifiserende konfigurasjon av kalibermålere og et magnetometer på et nedihulls-loggeverktøy; og

Figur 6 illustrerer noen av de trinn som brukes i fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse.

Figur 1 viser et skjematisk diagram av et boresystem 10 som har en nedihulls-sammenstilling som inneholder et akustisk sensorsystem og overflateinnretninger i henhold til en utførelse av den foreliggende oppfinnelse. Som vist inkluderer systemet 10 et konvensjonelt boretårn 11 som er oppreist på et boredekk 12 som bærer et rotasjonsbord 14 som roteres av en drivmotor (ikke vist) ved en ønsket rotasjonshastighet. En borestreng 20 som inkluderer en borerørsseksjon 22 strekker

seg nedover fra rotasjonsbordet 14 inn i et borehull 26. En borkrone 50 som er innfestet til den nedihulls ende av borestrengen knuser de geologiske formasjoner når den roteres. Borestrengen 20 er forbundet med en borevinsj 30 via en kelly 21, en svivel 28 og en vaier 29 gjennom et system av taljer 27. Under boreoperasjonene blir borevinsjen 30 operert til å styre vekten på borkronen og penetrasjons-
5 hastigheten for borestrengen 20 inn i borehullet 26. Operasjonen av borevinsjen er velkjent innen teknikken, og blir således her ikke beskrevet i detalj.

Under boreoperasjoner blir et passende borefluid (vanligvis innen teknikken referert til som "slam") 31 fra en slamgrop 32 sirkulert under trykk gjennom bore-
10 strengen 20 ved hjelp av en slampumpe 34. Borefluidet 31 passerer fra slampumpen 34 og inn i borestrengen 20 via et trykkstøt fjerner 36, fluidledning 38 og kelly 21. Borefluidet avgis ved borehullets bunn 51 gjennom en åpning i borkronen 50. Borefluidet sirkulerer oppover i hullet gjennom det ringformede rom 27 mellom borestrengen 20 og borehullet 26, og avgis inn i slamgropen 32 via en returledning
15 35. Et mangfold av sensorer (ikke vist) kan utplasseres på overflaten i henhold til kjente metoder innen teknikken, for å tilveiebringe informasjon om forskjellige bore-relaterte parametere, så som fluidstrømningsmengde, vekt på borkronen, kroklast, osv.

En overflatestyringsenhet 40 mottar signaler fra nedihullssensorene og -innret-
20 ningene via en sensor 43 som er plassert i fluidledningen 38, og behandler slike signaler i henhold til programmerte instruksjoner som er gitt til overflatestyrings-enheten. Overflatestyringsenheten viser ønskede boreparametere og annen informasjon på et display/monitor 42, hvilken informasjon anvendes av en operatør for å styre boreoperasjonene. Overflatekontrollenheten 40 inneholder en datamaskin,
25 minne for lagring av data, dataregistreringsenhet og andre periferienheter. Overflatestyringsenheten 40 inkluderer også modeller og behandler data i henhold til programmerte instruksjoner, og responderer på brukerkommandoer som legges inn gjennom et passende middel, så som et tastatur. Styringsenheten 40 kan være tilpasset til å aktivere alarmer 44 når visse usikre eller uønskede operasjonstilstander
30 opptrer.

En boremotor eller slammotor 55 som er koblet til borkronen 50 via en driv-aksel (ikke vist) som er anordnet i en lagersammenstilling 57 roterer borkronen 50 når borefluidet 31 føres gjennom slammotoren 55 under trykk. Lagersammen-

stillingen 57 bærer de radiale og aksiale krefter fra borkronen, det nedoverrettede trykk fra boremotoren og den reaktive, oppoverrettede belastning fra den påførte vekt på borkronen. En stabilisator 58 som er tilkoblet til lagersammenstillingen 57 virker som en sentreringsenhet for det nederste parti av slammotorsammenstillingen.

5 I en utførelse av systemet ifølge den foreliggende oppfinnelse er nedihulldelsammenstillingen 59 (også referert til som bunnhullssammenstillingen (bottom hole assembly) eller "BHA") som inneholder de forskjellige sensorer og MWD-innretninger for å tilveiebringe informasjonen om formasjonen og nedihulls boreparametere og slammotoren innkoblet mellom borkronen 50 og borerøret 22.

10 Nedihullssammenstillingen 59 er fortrinnsvis modulær i konstruksjon, ved at de forskjellige innretninger er sammenkoblede seksjoner, slik at de individuelle seksjoner kan byttes ut når det er ønskelig.

Med fortsatt henvisning tilbake til fig. 1, BHA-en kan inneholde sensorer og innretninger i tillegg til de ovenfor beskrevne sensorer. Slike innretninger inkluderer
15 en innretning for måling av formasjonens resistivitet nær borkronen, en gammastråleinnretning for måling av formasjonens gammastråleintensitet og innretninger for bestemmelse av inklinasjonen og asimut for borestrengen. Formasjonsresistivitetsmåleinnretningen 64 kan være innkoblet ovenfor den nedre avvikspunkt-delsammenstilling 62 som tilveiebringer signaler, fra hvilke resistivitet i formasjonen nær eller
20 foran borkronen 50 bestemmes. En dual forplantningsresistivitetsinnretning (Dual propagation resistivity device, "DPR") som har et eller flere par av sendeantennene 66a og 66b i en avstand fra et eller flere par av mottaksantennene 68a og 68b brukes. Det anvendes magnetiske dipoler som opererer i mellomfrekvensspekteret og det nedre høyfrekvensspektrum. I operasjon blir de overførte elektromagnetiske bølger
25 perturbert når de forplanter seg gjennom formasjonen som omgir resistivitetsinnretningen 64. Mottaksantennene 68a og 68b detekterer de perturberte bølger. Formasjonens resistivitet avledes fra fasen og/eller amplituden av de detekterte signaler. De detekterte signaler behandles ved hjelp av en nedihullskrets som kan være plassert i et hus 70 over slammotoren 55 og sendes til overflatestyringsenheten
30 40 ved bruk av et passende telemetrisystem 72. Bestemmelse av formasjonens resistivitet fra amplitude- og fasemålinger er velkjent innen kjent teknikk. US-patent 5,811,973 tilhørende Meyer, som har den samme rettsetterfølger som den foreliggende oppfinnelse, og hvis innhold innlemmes fullstendig heri som referanse,

beskriver videre bestemmelsen av resistivitet for det opprinnelige formasjonsfluid, den di-elektriske konstant for den tørre bergartmatriks, og den vannfylte porøsitet for formasjonen. Slike bestemmelser kan også gjøres med den foreliggende oppfinnelse ved bruk av de fremgangsmåter som beskrives av *Meyer*. Inklinometeret 74 og
5 gammastråleinnretningen 76 er passende plassert langs resistivitetsmåleinnretningen 64 for respektiv bestemmelse av inklinasjonen av partiet av borestrengen nær borkronen 50 og formasjonens gammastråleintensitet. Et hvilket som helst egnet inklinometer og en hvilken som helst gammastråleinnretning kan imidlertid anvendes for formålet ved oppfinnelsen. I tillegg kan en asimutinnetning
10 (ikke vist), så som et magnetometer eller en gyroskopisk innretning, anvendes for å bestemme borestrengens asimut. Slike innretninger er kjent innen teknikken og blir derfor ikke beskrevet i detalj her. I den ovenfor beskrevne konfigurasjon, overfører slammotoren 55 effekt til borkronen 50 via en eller flere hule aksler som går gjennom resistivitetsmåleinnretningen 64. Den hule aksel gjør det mulig for borefluidet å
15 passere fra slammotoren 55 til borkronen 50. I en alternativ utførelse av borestrengen 20, kan slammotoren 55 være innkoblet nedenfor resistivitetsmåleinnretningen 64 eller på et hvilket som helst annet passende sted.

Borestrengen inneholder en modulær sensorsammenstilling, en motor-sammenstilling og avvikspunktovergangsstykker. I en utførelse inkluderer sensor-sammenstillingen en resistivitetsinnretning, gammastråleinnretning og inklinometer.
20 En prosessor (ikke vist) er lokalisert nede i hullet for behandling av dataene. På grunn av store mengder av data som fremskaffes og behandles nede i hullet, er en minneinnretning som har tilstrekkelig kapasitet nødvendig.

De ovenfor angitte innretninger overfører data til nedihulls-telemetrisystemet
25 72, som i sin tur sender de mottatte data oppover i hullet til overflatestyringsenheten 40. Nedihulls-telemetrien mottar også signaler og data fra den opphulls styringsenhet 40 og sender slike mottatte signaler og data til de passende nedihullsinnretninger. Den foreliggende oppfinnelse kan anvende en slampulstelemetriteknikk for å kommunisere data fra nedihullssensorer og -innretninger under boreoperasjoner. En
30 transduser 43 som er plassert i slamtilførselsledningen 38 detekterer slampulsene som er responsive for data som sendes av nedihullstelemetrien 72. Transduseren 43 genererer elektriske signaler som respons på slamtrykkvariasjoner og sender slike signaler via en leder 45 til overflatestyringsenheten 40. Andre telemetriteknikker, så

som elektromagnetiske og akustiske teknikker, eller en hvilken som helst annen egnet teknikk, kan anvendes for formålet ved denne oppfinnelse. Boresammenstillingen inkluderer også en retningssensor. Uten å begrense omfanget av oppfinnelsen, kan retningssensoren være et magnetometer eller av treghetstypen.

I en utførelse av oppfinnelsen er en boresensormodul 59 plassert nær borkronen 50. Boresensormodulen inneholder sensorer, kretssystem og behandlingsprogramvare og algoritmer som er relatert til de dynamiske boreparametere. Slike parametere kan inkludere hopping av borkronen, fastkjøring-løsning av boresammenstillingen, bakoverrotasjon, dreiemoment, støt, borehullstrykk og ringromstrykk, akselerasjonsmålinger og andre målinger av borkronens tilstand. En passende telemetrirørdele eller kommunikasjonsrørdele 72 som for eksempel bruker to-veis telemetri, er også tilveiebrakt, som vist i boresammenstillingen 90. Boresensormodulen behandler sensorinformasjonen og sender den til overflatestyringsenheten 40 via telemetrisystemet 72.

Det skal nå vises til fig. 4, et diagram over de grunnleggende komponenter for et eksemplifiserende gammastråletetthetsverktøy. Dette verktøyet omfatter en øvre seksjon av en bunnhullssammenstilling (bottom hole assembly, BHA) som inkluderer et vektør 210. Det borerør som brukes for transport av BHA-en er velkjent innen teknikken, og skal her ikke beskrives. Loggeverktøyet ifølge den foreliggende oppfinnelse inkluderer en gammastrålekilde 214 og to gammastråledetektor-sammenstillinger 216 og 218 som er anordnet i en innbyrdes avstand. Alle tre komponentene er plassert langs en enkelt akse som har blitt lokalisert parallelt til akselen i verktøyet. Detektoren 216 nærmest gammastrålekilden vil bli referert til som "kort-avstands-detektoren", og den som er lengst bort, 218, refereres til som "lang-avstands-detektoren". Gammastråleskjerming (ikke vist) er lokalisert mellom detektorsammenstillingene 216, 218 og kilden 214. Vinduer (porter) åpner opp til formasjonen fra begge detektorsammenstillingene og kilden. Den valgfrie akustiske kalibermåler (A1) 120 er in-line og nær gammadetektorene (LS og SS). Et lag av borefluid (slam) er tilstede mellom formasjonen og detektorsammenstillingene og kilden. Figur 4 viser også den nedre seksjon av bunnhullssammenstillingen 222 og borkronen 224 og en eller flere ytterligere sensorsammenstillinger 212.

Figur 5 illustrerer tverrsnitt av en akustisk kalibermålerinnretning. Fire sensorer R1, R2, R3 og R4 er vist anordnet langs omkretsen omkring vektørret med en

asimutal separasjon på 90°. Hver sensor bruker akustiske målinger for å bestemme en gangtid til det nærmeste punkt på borehullet. For en slik kalibermåler, er en vanlig utgangsmåling i brønnlogging mengden

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{2(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)}{4} + T \\
 S_{x\text{-axis}} &= \frac{2(x_1 + x_3)}{2} + T \\
 S_{y\text{-axis}} &= \frac{2(x_2 + x_4)}{2} + T
 \end{aligned} \tag{1}$$

hvor x_i er instrumentavstandsmålinger som er foretatt av kalibermålerne henholdsvis R1, R2, R3 og R4, T er vektørrets (verktøyets) diameter, S_1 er en enkel kalibermåler, $S_{x\text{-axis}}$ er en enkel kalibermåler i x-aksen, $S_{y\text{-axis}}$ er en enkel kalibermåler i y-aksen. Den akustiske sensor R1 er i den samme asimutale posisjon som gammastråle-detektorsammenstillingene som er vist på fig. 4. Den anordning som er vist på fig. 5 illustrerer det som brukes i *Kurkoski*. I den foreliggende oppfinnelse er kalibermålinger ikke nødvendig, men en orienteringssensor, så som et magnetometer, er nødvendig for å bestemme verktøyfrontorienteringen for BHA-en.

I en utførelse av den foreliggende oppfinnelse inkluderer sensorarrangementet et magnetometer 234 som vist på fig. 5. Magnetometeret M1 foretar målinger av retningen av jordens magnetfelt. Med unntak av det sjeldne tilfelle hvor borehullet blir boret langs retningen for jordens magnetfelt, kan magnetometerets utgang i forbindelse med undersøkelsesinformasjonen for borehullet brukes til å bestemme den relative orientering av sensoren R1 i forhold til vertikalen.

Det skal nå vises til fig. 6, hvor et flytskjema over trinn som er involvert ved utføring av fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse er vist. Flytskjemaet er spesifikt for bruken av gammastrålemålinger som brukes for tetthetsmålinger, men dette er ikke en begrensning ved fremgangsmåten. Fremgangsmåten kan også brukes for eksempel sammen med målinger som foretas med nøytronporøsitetssensorer. Gammastråletellingene foretas med lang-avstandssensoren og kort-avstandssensoren, sammen med de korresponderende orienteringssensormålinger 301 under kontinuerlig rotasjon av BHA-en. LS- og SS-målingene blir deretter

gruppert asimutalt ved hjelp av verktøyfrontvinkel 303 over et spesifisert tidsintervall. I en utførelse av oppfinnelsen er tidsintervallet valgt til å være 10 sekunder, selv om andre verdier også kan brukes. Differansen mellom LS- og SS-sensormålingene $E_i = (LS - SS)_i$, $i=1,2, \dots, n$, for hver av de i -grupper bestemmes 305. I en utførelse av oppfinnelsen defineres fire grupper. I en annen utførelse av oppfinnelsen brukes åtte grupper. Andre verdier for n kan også brukes. Valget av tidsintervall og antallet av grupper er basert på behovet for å ha tilstrekkelig statistikk innenfor hver gruppe, mens man samtidig har en tilfredsstillende vertikal oppløsning med kontinuerlig penetrasjon av jordens formasjon ved hjelp av borkronen.

I en utførelse av oppfinnelsen anvendes "spine and rib"-metoden til å bestemme tetthetskorreksjonene Δ_i 307 for hver av gruppene. Deretter blir verdiene for korreksjonene over flerheten av gruppen skannet, og minimumsverdien bestemmes 309. Dette kan angis med $\Delta_{\min}$. Denne minimumstetthetskorreksjonen vil korrespondere til den gruppe hvor instrumentavstanden for sensoren fra borehullets vegg er minimum. I et borehull med stort avvik, eller i et tilnærmet horisontalt borehull, er den sektoren som har minimumsverdien vanligvis bunnsektoren, selv om dette ikke nødvendigvis behøver å være tilfelle, ettersom det er en tendens til at delen av borkronen "klatrer" opp borehullets vegg under kontinuerlig rotasjon.

Så snart minimumsverdien har blitt identifisert, gjøres en sjekk for å se om denne minimumskorreksjonen ligger under en utsilingsterskel. Dette kan angis med testen:

$$\Delta p_{\min} \leq T_1 \quad (2)$$

Hvis testen ikke oppfylles, har data for det valgte tidsintervall en for stor instrumentavstand og brukes ikke. Hvis testen oppfylles, blir andre sektorer hvor korreksjonene Δ_i er innenfor en viss terskel for en minimumskorreksjon identifisert. Dette kan angis ved identifisering:

$$i: \Delta p_i \leq T_2 \cdot \Delta p_{\min} \quad (3)$$

De to terskeltester er på fig. 6 vist med 311. Dataene fra den sektor som har minimumsverdien og sektorene som oppfyller ligning (3) blir deretter brukt til å

bestemme en tetthetsverdi for det valgte tidsintervall. Dette gjøres ved dannelsen av en vektet sum av de valgte tetthetsverdier mates ut 313. Data fra et etterfølgende tidsintervall 315 blir deretter behandlet med nytt utgangspunkt i 303.

I en annen utførelse av oppfinnelsen, gjøres bestemmelsen av minimum på differansene E_i istedenfor på korreksjonene Δ_i . Fordi "spine and rib"-korreksjonen som er gitt av fig. 2 er en monoton funksjon av feil E_i , vil den samme vektor bli identifisert som at den har en minimumsverdi. De sektorer som passerer terskeltesten 311 kan imidlertid være noe forskjellige. I ethvert tilfelle blir de korrigerede tetthetsverdier matet ut ved 313 ved bruk av vektingen.

Vektingen som brukes i en utførelse av oppfinnelsen er en eksponentiell vekting av korrigerede tetthetsverdier fra alle de sektorer som passerer terskeltestene. Sluttresultatet ved bruk av fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse er en tetthetsverdi som er korrigert for instrumentavstand uten bruk av instrumentavstandmålinger. Dette er forskjellig fra *Kurkoski*, hvor sluttresultatet er en tetthetsavbildning. På grunn av den skjennsgjærning at gruppering av instrumentavstand ikke brukes, kan statistikken for målingene bli bedre enn i fremgangsmåten ifølge *Kurkoski*.

Behandlingen av dataene kan utføres ved hjelp av en nedihullsprosessor. Implisitt i styringen og behandlingen av dataene er bruken av et datamaskinprogram som er implementert på et passende maskinlesbart medium som gjør det mulig for prosessoren å utføre styringen og behandlingen. Det maskinlesbare medium kan inkludere ROM, EPROM, EAROM, flashminne og optiske disk.

Selv om den foregående offentliggjøring er rettet mot de spesifikke utførelser av oppfinnelsen, vil forskjellige modifikasjoner være åpenbare for de som har fagkunnskap innen teknikken. Det er meningen at alle variasjoner innenfor omfanget og ideen av de vedføyde krav skal omfattes av den foregående offentliggjøring.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for logging av en jordformasjon, omfattende følgende trinn:

(a) bestråling av en jordformasjon ved anvendelse av en strålingskilde på et

5 loggeverktøy i et borehull (26) i jordformasjonen;

(b) foretakelse av målinger med et par av strålingsdetektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand, under kontinuerlig rotasjon av verktøyet;

(c) oppdeling av målingene som er foretatt av de to detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand over et valgt tidsintervall i en flerhet av asimutale sektorer;

10 (d) identifisering av en i flerheten av asimutale sektorer for hvilke en funksjon av de oppdelte målinger oppnår en minimumsverdi;

(e) sammenligning av minimumsverdien med en terskel; og

(f) bestemmelse av en egenskap for jordformasjonen ved anvendelse av målingene innenfor den ene i flerheten av asimutale sektorer basert på sammen-

15 ligningen.

2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor strålingskilden omfatter en gamma-strålekilde (214), og at paret av detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand, omfatter gammastråledetektorer (216, 218).

20

3. Fremgangsmåte som angitt i krav 2, hvor funksjonen er en differanse mellom målinger ved hjelp av de to detektorer (216, 218).

4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor oppdelingen er basert i det minste delvis på målinger som er foretatt av en orienteringssensor på loggeverktøyet.

25

5. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, videre omfattende følgende trinn:

(i) identifisering av minst én ytterligere en i flerheten av sektorer for hvilken funksjonen er mindre enn terskelverdien, og

30 (ii) anvendelse av målingene innenfor den minst ene ytterligere i flerheten av asimutale sektorer for bestemmelse av egenskapen for jordformasjonen.

6. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor egenskapen er tetthet av jordformasjonen.

7. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor detektorene omfatter nøytron-detektorer, og at egenskapen er en porøsitet for jordformasjonen.

8. Anordning for bruk i en brønnboring (26) i en jordformasjon, hvilken anordning omfatter:

(a) et verktøy som omfatter en strålingskilde som bestråler jordformasjonen;

(b) et par av strålingsdetektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand på verktøyet, og som måler stråling under kontinuerlig rotasjon av verktøyet; og

(c) en prosessor som er egnet til å:

(i) dele opp målingene som er foretatt av de to detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand over et valgt tidsintervall i en flerhet av asimutale sektorer;

(ii) identifisere en i flerheten av asimutale sektorer for hvilken en funksjon av de oppdelte målinger oppnår en minimumsverdi;

(iii) sammenligne minimumsverdien med en terskel; og

(iv) bestemme en egenskap for jordformasjonen ved anvendelse av målingene innenfor den ene i flerheten av asimutale sektorer basert på sammenligningen.

9. Anordning som angitt i krav 8, hvor strålingskilden omfatter en gammastrålekilde (214), og at paret av detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand, innbefatter gammastråledetektorer (216, 218).

10. Anordning som angitt i krav 8, hvor funksjonen er en differanse mellom målinger ved hjelp av de to detektorer.

11. Anordning som angitt i krav 8, videre omfattende en orienteringssensor på verktøyet, hvor prosessoren er egnet til å foreta oppdeling basert i det minste delvis på målinger som er foretatt av orienteringssensoren.

12. Anordning som angitt i krav 11, hvor orienteringssensoren omfatter et magnetometer (234).

13. Anordning som angitt i krav 8, hvor prosessoren videre er egnet til å:

- 5 (i) identifisere minst én ytterligere en i flerheten av sektorer for hvilken funksjonen er mindre enn terskelverdien, og
- (ii) anvende målingene innenfor den minst ene ytterligere en i flerheten av asimutale sektorer for bestemmelse av egenskapen for jordformasjon.

10 14. Anordning som angitt i krav 8, hvor egenskapen er en tetthet av jordformasjonen.

15. Anordning som angitt i krav 8, hvor detektorene omfatter nøytrondetektorer, og at egenskapen er en porøsitet for jordformasjonen.

15

16. Anordning som angitt i krav 8, videre omfattende et borerør (22) som transporterer verktøyet inn i borehullet (26).

20 17. Datamaskin-lesbart medium til bruk sammen med en anordning som transporteres i en brønnboring (26) i en jordformasjon, hvilken anordning omfatter:

- (a) et verktøy som omfatter en strålingskilde som bestråler jordformasjonen;
- (b) et par av strålingsdetektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand på verktøyet, hvilke måler stråling under kontinuerlig rotasjon av verktøyet; og
- (c) en orienteringssensor;

25 idet mediet omfatter instruksjoner som muliggjør:

- (d) oppdeling av målingene som er foretatt av de to detektorer som er anordnet i en innbyrdes avstand over et valgt tidsintervall i en flerhet av asimutale sektorer;
- (e) identifikasjon av en i flerheten av asimutale sektorer for hvilken en funksjon av de oppdelte målinger oppnår en minimumsverdi;
- 30 (f) sammenligning av minimumsverdien med en terskel; og

- (g) bestemmelse av en egenskap for jordformasjonen ved bruk av målingene innenfor den ene i flerheten av asimutale sektorer ved anvendelse av resultatet fra sammenligningen.
- 5 18. Medium som angitt i krav 17, videre omfattende minst én av: (i) en ROM, (ii) en EPROM, (iii) en EAROM, (iv) et flashminne, og, (v) optisk disk.

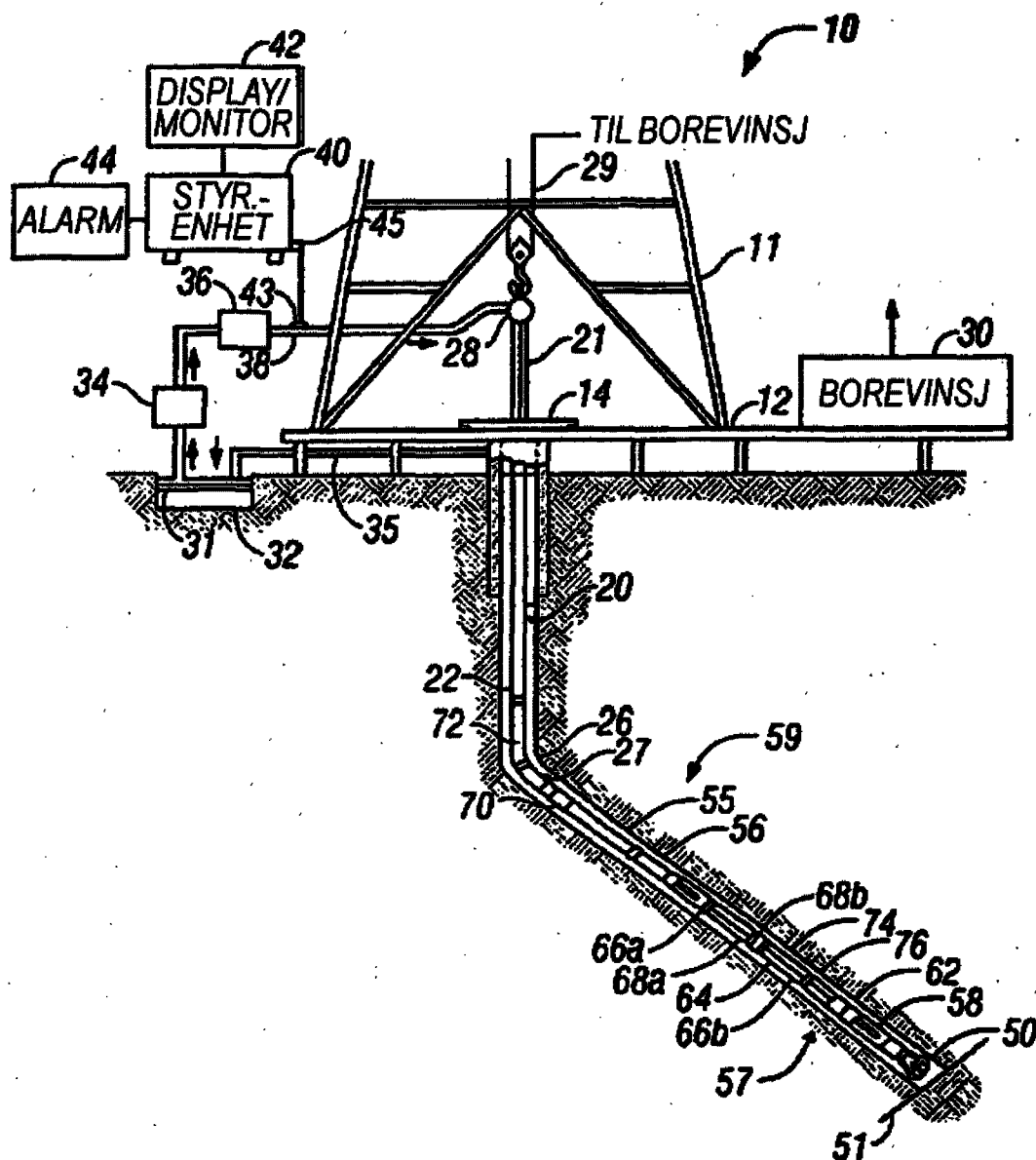
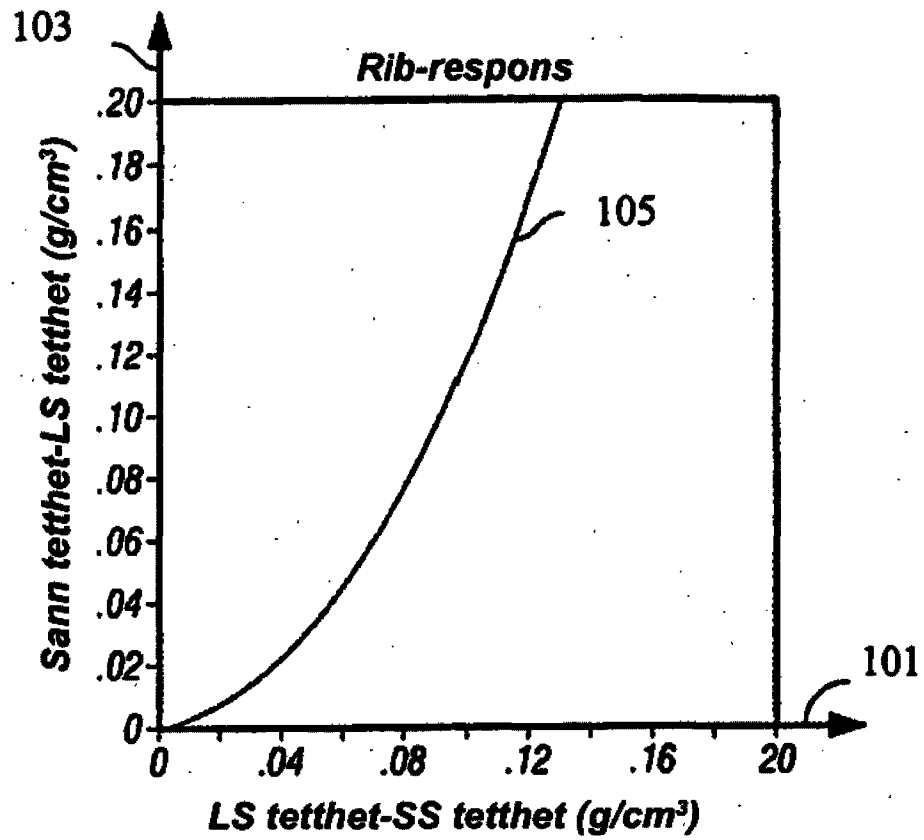
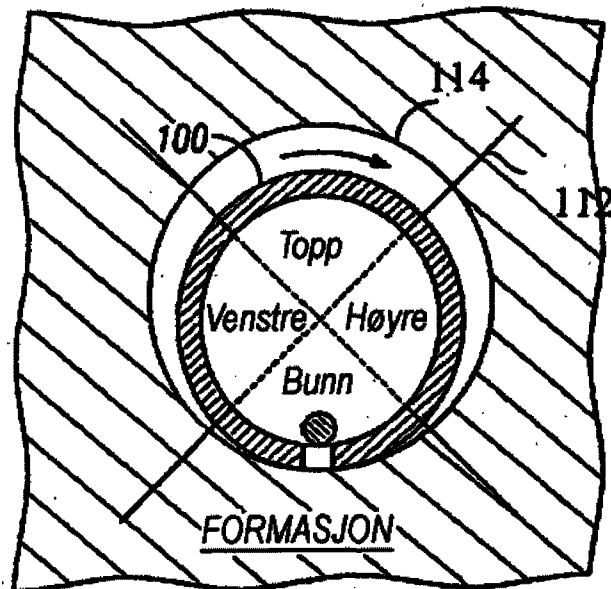


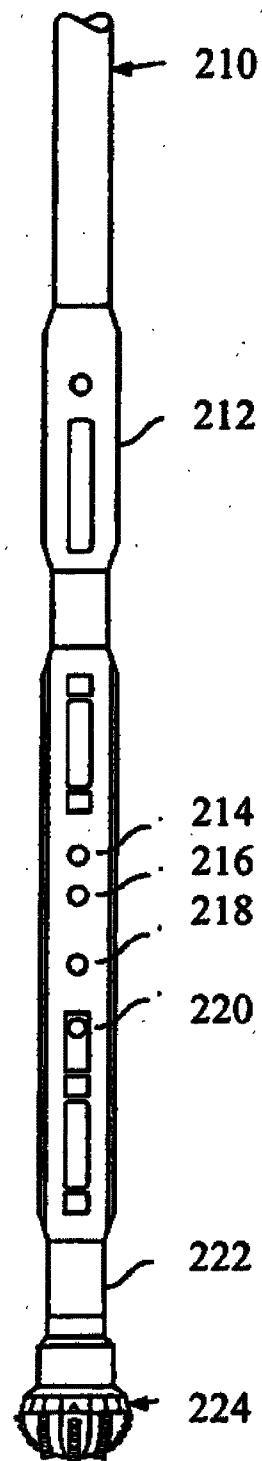
FIG. 1
(Kjent teknikk)



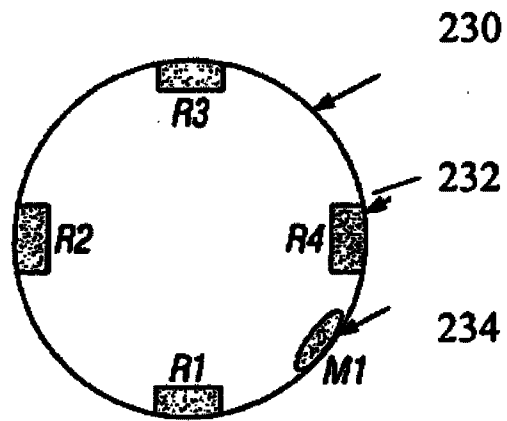
Figur 2
(Kjent teknikk)



Figur 3
(Kjent teknikk)



Figur 4
(Kjent teknikk)



Figur 5

