



(12) SØKNAD

(19) NO

(21) 20161468

(13) A1

NORGE

(51) Int Cl.

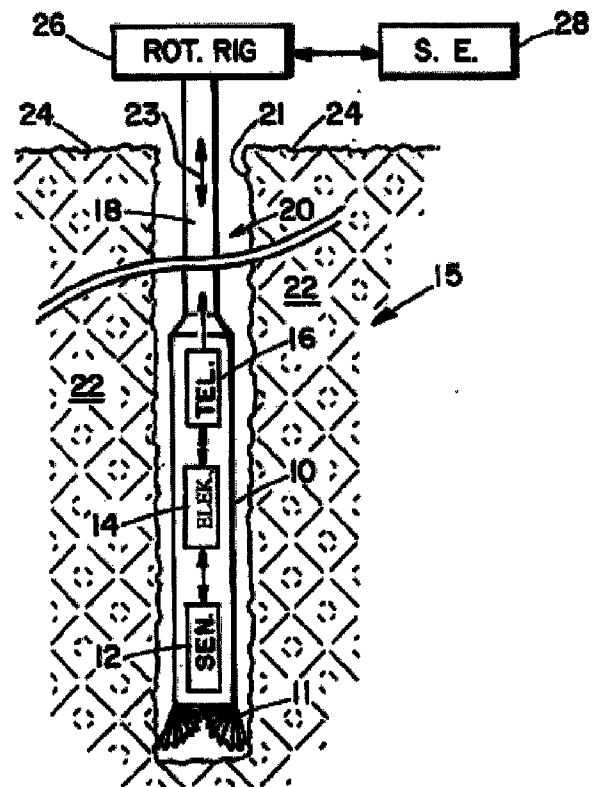
G01V 13/00 (2006.01)

G01V 5/06 (2006.01)

Patentstyret

| | | | | | |
|------|------------|---|------|---------------------------|----------------------------|
| (21) | Søknadsnr | 20161468 | (86) | Int.inng.dag og søknadsnr | |
| (22) | Inng.dag | 2016.09.15 | (85) | Videreføringssdag | |
| (24) | Løpedag | 2005.03.14 | (30) | Prioritet | 2004.03.15, US, 10/809,066 |
| (41) | Alm.tilgj | 2005.09.16 | | | |
| (62) | Avdelt fra | 20150834, med inndato 2015.06.25 | | | |
| (73) | Innehaver | Weatherford Canada Partnership, 2900 Manulife Place, 10180-101 Street, CA-ABT5J3V5 EDMONTON, Canada | | | |
| (72) | Oppfinner | Medhat W Mickael, 4910 Randall Oak Drive, US-TX77478 SUGAR LAND, USA Dale Allen Jones, 4407 Lavell Street, US-TX77018 HOUSTON, USA Donald A Phelps, 4914 Saddleback, US-TX76017 ARLINGTON, USA John E Wright, 6906 Peace River Drive, US-TX77379 SPRING, USA | | | |
| (74) | Fullmektig | Zacco Norway AS, Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO, Norge | | | |
| (54) | Benevnelse | System og fremgangsmåte for justering av forsterkningen til en gammastråledetektor ved gammastråle logging-under-boring | | | |
| (57) | Sammendrag | | | | |

System og fremgangsmåte for å bestemme konsentrasjoner av naturlig forekommende radio-aktive elementer i jordformasjoner samtidig som borehullet blir boret. Minst en gammastråledetektor tilveiebringes, og en kalibreringskilde anordnes i nærheten av nevnte gammastråledetektor. Med nevnte gammastråledetektor måles et gammastrålespekter som omfatter en første komponent fra nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element og en andre komponent fra nevnte kalibreringskilde. En første detektorforsterkningskorreksjon bestemmes fra trekk ved nevnte første komponent. En andre detektorforsterkningskorreksjon bestemmes fra nevnte andre komponent. Nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjon kombineres og forsterkningsforskyvninger i nevnte gammastråledetektor korrigeres for, under bruk av et resultat fra kombineringen. Trekk ved nevnte første komponent i et gammastrålespekter målt etter utførelse av kombineringen av nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjon kombineres med kalibreringskonstanter ved bruk av et forutbestemt forhold for å tilveiebringe nevnte elementkonsentrasjon av nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element.



Denne oppfinnelsen er rettet mot målingen av gammastråling fra jordformasjon som er gjennomtrengt av et brønnborehull. Mer spesielt er oppfinnelsen rettet mot bestemmelsen av konsentrasjoner av naturlig forekommende radioaktive elementer i jordformasjon ved analyse av energispektre målt av minst en gammastråledetektor mens borehullet blir boret.

Målingen av naturlig forekommende gammastråling som en funksjon av dybde inne i et brønnborehull er grunnlaget for et av de tidligste geofysiske borehullundersøkelses-system. Denne type system, vanligvis referert til som et naturlig gammastråleloggings-system, omfatter typisk minst en gammastråledetektor som er huset i et nede-i-hulls-verktøy som blir ført langs borehullet.

En type naturlig gammastråleloggingsystem omfatter et loggeverktøy som reagerer på total gammastråling utsendt av jordformasjonen, og verktøyet blir ført langs borehullet ved hjelp av en vireline. Dette "totale" naturlig gammastrålevirelinelloggesystemet var den første typen gammastrålemåling som ble brukt ved geofysisk borehullundersøkelse. Siden de fleste skifere er relativt rike på naturlig forekommende radioaktive elementer, blir disse logger primært brukt til å tegne skifer fra andre formasjoner, eller brukt til å måle skiferinnholdet til formasjoner. Dette virelinelloggesystemet blir brukt bare etter at borehullet har blitt boret.

Det er ofte fordelaktig å måle total naturlig gammastråling mens borehullet blir boret. Dette blir besørget ved å føre verktøyet langs borehullet ved hjelp av en borestreng. Denne type system blir vanligvis referert til som et total naturlig gammastrålelogging under boring (LWD) system.

Nok en annen type naturlig gammastråleloggesystem omfatter et loggeverktøy som måler et spektrum av gammastråling utsendt av jordformasjonen. Spekteret er definert et mål på intensitet av stråling som funksjon av strålingsenergi. Denne type loggesystem blir vanligvis referert til som et spektralt gammastråleloggingsystem. Spektrale gammastråleloggingsverktøy blir typisk ført langs borehullet ved hjelp av en vireline. Lav tellingshastighet og detektorstabilisering er hovedproblemet i et hvilket som helst type naturlige spektrale LWD systemer.

Mest naturlig forekommende gammastråling som finnes i jordformasjoner blir utsendt av kalium (K) og elementer innenfor nedbrytungskjedene av uran (U) og thorium (Th). Energi til naturlig forekommende gammastråling som kan måles i en borehullomgivelse

strekker seg typisk i et område på omtrent 0,1 til mindre enn 3,0 million elektronvolt (MeV). Elementene K, U og Th sender ut gammastråling ved forskjellige karakteristiske energier. Strålingskomponenter fra K, U og Th som bidrar til den totale målte gammastrålingen kan derfor bli tilveiebrakt ved å identifisere disse karakteristiske energier ved bruk av spektralt gammastråleloggingssystem. Ved hjelp av systemkalibrering og modellering kan disse komponenter derpå bli relatert til korresponderende elementkonsentrasjoner av disse elementer i formasjonen. Elementkonsentrasjoner av K, U og Th kan bli brukt til å bestemme parametere i tillegg til skiferinnhold tilveiebrakt fra totale naturlige gammastrålelogger. Disse ytterligere parametere innbefatter, men er ikke begrenset til, leiretype, litologiidentifikasjon, frakturdetektering og radioaktiv sporplassing.

Som i alle kjernefysiske loggesystemer, blir statistisk presisjon av en måling maksimalisert når tellehastigheten til strålingsdetektoren som benyttes for å tilveiebringe målingen er maksimalisert. Naturlig opptredende gammastråling er typisk mindre intens enn gammastråling induisert i formasjonsmaterialer av strålingskilder inne i et loggeverktøy. Det er derfor viktig å designe naturlig gammastråleverktøy for maksimalt målt gammastrålingstelhastighet.

Målt tellehastighet kan bli optimalisert ved å designe verktøyhus (både total gammastråle og spektral gammastråle) slik at gammastrålingsdemping inne i huset blir minimalisert. Det nedre energiområdet til det målte spekteret er spesielt viktig i spektrale gammastråleloggesystemer. Vireline spektral gammastråleloggeverktøy bruker ofte et verktøyhus fremstilt med materiale med relativt lavt atomnummer, snarere enn tyngere (og sterkere) materialer slik som stål. Disse såkalte "lav Z" verktøykassene minimaliserer gammastråledemping, spesielt ved den nedre enden av energispekteret, og maksimaliserer derved målt tellehastighet for en gitt strålingsintensitet og detektorstørrelse. Lav Z materialer tilfredsstillende ofte ikke strukturelle krav til LWD systemer.

Måle tellingshastigheter kan videre bli maksimalisert ved verktøydetektordesign. På grunn av de relativt høye energiene til den karakteristiske K, U og Th gammastrålingen, er det fordelaktig at gammastråledetektoren av en gitt type er dimensjonert så stor som praktisk mulig for å reagere med, og derved respondere på, disse strålinger. Typisk kan større detektorer bli anordnet i virelineverktøy med mindre dempingsmateriale mellom detektoren og formasjonen. LWD systemer anvender et relativt tykt verktøyhus, hvilket typisk har et vektrør med en borefluidstrømningsleder som passerer gjennom vektrøret.

En gammastråledetektor som omfatter en scintillasjonskrystall og en samvirkende lysavfølingsanordning, slik som et fotomultiplikatorrør, gir typisk den høyeste spektrale gammastråledetektoreffektiviteten for et gitt detektorvolum. Gammastråledetektorer gjennomgår signifikante temperaturendringer under en loggeoperasjon. Forsterkingen til et fotomultiplikatorrør endrer seg med temperaturen og i en mindre grad endrer tellehastigheten seg. Forsterkningsendringer, ofte referert til som forsterknings- ”forskyvninger”, påvirker gammastrålespektralanalyse på negativ måte. Det er typisk at en 100 graders Celsius (°C) endring i temperaturen forårsaker 100% endring i forsterkning. Temperaturvariasjoner av denne størrelsesorden er ikke uvanlig ved vireline eller LWD loggeoperasjoner. Det er derfor nødvendig å kompensere for detektorforsterknings-endringer for å kunne tilveiebringe nøyaktige og presise spektrale gammastrålemålinger. Denne kompensasjon er spesielt vanskelig å oppnå i LWD systemer. Som et eksempel, kan signifikante forsterkningsendringer opptre over et relativt kort tidsintervall. Data-hastighetene til tilgjengelige LWD telemetrisystemer mellom nede-i-hulls-verktøyet og overflateutstyr er typisk for lav for effektivt å overvåke og korrigere for hurtig forekommende forsterkningsforskyvninger. Automatisk nede-i-hulls-forsterkningskontroll er derfor høyst ønskelig i LWD systemer.

Fremgangsmåte, apparat eller system for logging av borehull på basis av gammastråling er omtalt i US 4698501A til Paske og i US 5120955A til Galford.

Som nevnt tidligere, er naturlig forekommende gammastrålespektralmålinger typisk lavtellingshastighet. Det er derfor ønskelig å bruke så mye av det målbare gammastrålespekteret som mulig for å kunne maksimalisere statistisk presisjon. Støt og vibrasjonseffekter på lavtellingshastighetssystemer kan forstyrre spektral form, spesielt i det nedre energiområdet av det målte spekteret. Dette problem er spesielt fremherskende i LWD systemer, som er utsatt for røffe boreomgivelser.

Den foreliggende oppfinnelse er rettet mot et spektralt gammastrålelogging-underboring (LWD) system. Systemet er designet for å gi elementkonsentrasjoner av naturlig forekommende radioaktivt materiale slik som K, U og Th. Det må imidlertid forstås at systemet kan benyttes for å tilveiebringe spektrale målinger av en hvilken som helst type gammastråling som erfares i en borehullomgivelse.

LWD nede-i-hulls-enheten eller ”verktøyet” omfatter et vektrør som er festet til den nedre enden av en borestreng. En borkrone terminerer den nedre enden av verktøyet. Sensor, elektronikk og nede-i-hulls-telemetrielementer er anordnet innenfor vektrøret.

Verktøyet blir ført langs et brønnborehull ved hjelp av en borestreng, som blir drevet av en roterende borerigg på jordoverflaten. Informasjon fra verktøyet blir telemetrert til overflaten via en telemetrolink og mottatt av et overflatetelemetrielement inneholdt i overflateutstyr som er operativt festet til boreriggen. Informasjon kan også bli sendt fra
5 overflateutstyret til verktøyet via telemetrolinken.

Sensorelementet omfatter en eller flere gammastråledetektorer som er anordnet så nær som praktisk mulig til omkretsen av verktøyet. Dette minimaliserer innvirkende materiale mellom den ene eller flere detektorer og kilden for gammastråling, som er
10 jordformasjon gjennomtrengt av borehullet. Som et resultat av denne detektorgeometri, blir spektral degradering minimalisert og målt tellehastighet maksimalisert for en gitt detektorstørrelse. Detektorgeometrien tillater også en asimutmåling av spektral gammastråle i et plan hovedsakelig perpendikulært på akse til verktøyet. Den ene eller flere gammastråledetektorene omfatter fortrinnsvis et scintillasjonskrystall som er
15 optisk koblet til en lysfølsom anordning slik som et fotomultiplikatorrør. Detektorelementet blir kalibrert under kjente forhold og til en "standard" detektorforsterkning. Sensorelementet kan også inneholde et system, slik som et magnetometer, som avføler orienteringen til verktøyet inne i borehullet.

20 Utgangssignaler fra sensorelementet blir innmatet i elektronikelementet. Signalene blir forsterket ved bruk av passende forforsterknings- og forsterkningskretser. Forsterkede sensorsignaler blir så innmatet til en prosessor for påfølgende behandling. Høyspenning for den ene eller flere gammastråledetektorer blir tilveiebrakt av en justerbar høyspenningseffektforsyning inne i elektronikelementet. Endringer i temperatur eller, i mindre
25 grad, endringer av målt gammastråletellehastighet resulterer i en detektorforsterkningsendring. Toppstrukturlokalisering og kontinuerlige områder av målte gammastrålespektre blir overvåket av prosessoren. Enhver forsterkningsendring blir detektert ved bruk av forutbestemte forhold og kriterier lagret inne i prosessoren. Et forsterkningskorreksjonssignal som er representativt for størrelsen av forsterkningsendringen blir
30 generert av prosessoren og innmatet til den justerbare høyspenningseffektforsyningen for derved å justere detektorhøyspenningen slik at forsterkningen blir gjenopprettet til standardforsterkningen. Dette forsterkningskontrollsystemet er automatisk og krever ingen påvirkning fra overflaten.

35 Med detektorforsterkningen stabilisert til standard forsterkning, blir elementkonsentrasjoner av K, U og Th bestemt i prosessoren ved bruk av forutbestemte forhold. Disse elementkonsentrasjoner kan bli innmatet til nede-i-hulls-telemetrielementet og

telemetrert til overflaten. Alternativt kan forsterkningsstabiliserte spektrale data bli innmatet til nede-i-hulls-telemetrielementet og telemetrert til overflaten for påfølgende behandling. Spektrale gammastrålingsdata og elementkonsentrasjonsbestemmelser kan bli registrert av en datalagringsinnretning inne i elektronikkelementet, og derpå bli
5 trukket ut for behandling og analysering når verktøyet er returnert til jordoverflaten.

Elementkonsentrasjoner av K, U og Th blir bestemt som en funksjon av dybde ettersom verktøyet blir ført langs borehullet. Dersom et antall av gammastråledetektorer blir brukt, blir de forsterkningsjusterte spektrale responsene til detektorene kombinert for å
10 tilveiebringe de ønskede elementkonsentrasjonene. Detektorresponsene blir fortrinnsvis kombinert før beregning av elementkonsentrasjoner.

Omkransen til detektorgeometrien tillater også en asimut spektral gammastrålemåling og korresponderende asimutelementkonsentrasjonsbestemmelser i et plan som i hoved-
15 saken er perpendikulært på aksene til verktøyet. Asimutreferansen blir tilveiebrakt ved å bruke en verktøyorienteringssensitiv anordning slik som et magnetometer anordnet inne i sensoren eller elektronikkelementet. Dersom en enkelt detektor blir brukt, kan asimut-
målinger bli tilveiebrakt bare når verktøyet blir rotert av borestrengen. Et mangfold
detektorer gir asimutinformasjon når verktøyet roterer eller ”glir” langs borehullet uten
20 rotasjon.

Oppfinnelsen er kjennetegnet ved de i patentkravene angitte trekkene.

For at måten hvorved de ovenfor angitte trekkene, fordeler og formål med den
25 foreliggende oppfinnelsen blir tilveiebrakt og kan forstås detaljert, kan en mer bestemt beskrivelse av oppfinnelsen, som er oppsummert ovenfor, fås med henvisning til utførelsene av denne som er illustrert i de medfølgende tegningene, der:

Fig. 1 illustrerer det spektrale naturlige gammastråle LWD systemet fremvist som en
30 helhet;

Fig. 2 er et funksjonsdiagram for hovedelementer og komponenter til det spektrale LWD systemet;

35 Fig. 3a er et tverrsnitt av et spektralt LWD verktøysensorelement som omfatter en gammastråledetektor;

Fig. 3b er et sidesnitt av sensorelementet som omfatter en gammastråledetektor;

Fig. 4 er et tverrsnitt av et spektralt LWD verktøysensorelement som omfatter tre gammastråledetektorer;

5

Fig. 5 er et typisk gammastråle naturlig gammastrålespekter målt med det spektrale gammastråle LWD verktøyet;

10 Fig. 6 viser et forhold mellom helningen til Compton-området til det målte gammastrålespekteret og temperaturen til gammastråledetektoren;

Fig. 7 illustrerer forhold mellom detektorforsterkningsjusteringsfaktor som er påkrevd for å tilveiebringe standard detektorforsterkning, en nødvendig høyspenningsjustering for å tilveiebringe standard detektorforsterkning, og detektortemperatur;

15

Fig. 8 er et mer detaljert riss av et målt gammastrålespekter og illustrerer hvordan en spektral topposisjon blir brukt for å tilveiebringe en andre ordens detektorforsterkningsjustering;

20 Fig. 9 er en grafisk illustrasjon av en fremgangsmåte for å lokalisere statistisk signifikant toppstruktur i et målt gammastrålespekter;

Fig. 10 er et flytskjema som viser trinn for automatisk å kontrollere eller styre forsterkningen til en gammastråledetektor ved bruk av en målt spektral analysefremgangsmåte;

25

Fig. 11 illustrerer grunnleggende konsepter som brukes for automatisk å kontrollere/styre forsterkningen til en gammastråledetektor ved bruk av en detektorkildeforsterkningskontrollfremgangsmåte;

30

Fig. 12 er et flytskjema som viser trinn for automatisk å kontrollere/styre forsterkningen til en gammastråledetektor ved bruk av detektorkildeforsterkningskontrollfremgangsmåten;

35 Fig. 13 viser ytterligere maskinvarekomponenter som er nødvendige for å tilveiebringe naturlige asimut gammastrålemålinger ved bruk av LWD systemet;

Fig. 14 er et eksempel på en spektral gammastråle LWD logg som viser konsentrasjoner av K, U og Th som en funksjon av dybde inne i et borehull; og

Fig. 15 er et eksempel på en asimut spektral gammastråle LWD logg og viser konsentrasjon av K, U og Th som en funksjon av asimut rundt borehullet og som en funksjon av dybde inne i borehullet.

Detaljer ved de foretrukne utførelser av LWD spektral gammastråleloggesystemet er presentert i avsnitt. Systemmaskinvare er først beskrevet. Dette blir fulgt av beskrivelse av metodologi som benyttes for å overvåke målte gammastrålespekter, og for å stabilisere forsterkningen til disse spektre ettersom borehulltemperatur varierer. To forsterkningsstabiliseringsfremgangsmåter er beskrevet. Med begge blir stabilisering besørget i sann tid og uten operatørrinnvirkning. Når forsterkningsstabilisering har blitt oppnådd, er fremgangsmåten for å bestemme elementkonsentrasjoner av naturlig forekommende K, U og Th beskrevet. Sluttlig blir måling av total og asimutkonsentrasjoner av K, U og Th beskrevet, og "logg"-presentasjoner av disse målinger er illustrert.

Oppfinnelsen er rettet mot målingen av gammastråling som forekommer naturlig i jordformasjon. Det må imidlertid forstås at de grunnleggende konseptene til oppfinnelsen kan anvendes på kvantitative målinger av en hvilken som helst type av gammastråling hvori en eller flere gammastråledetektorer blir utsatt for forsterkningsforskyvninger.

MASKINVARE

Fig. 1 illustrerer LWD systemet fremvist som en helhet. En nede-i-hulls-enhet eller "verktøy" omfatter et vektrør 10 som er festet til den nedre enden av en borestreng 18. En borkrone 11 terminerer den nedre enden av vektrøret 10. Inne i vektrøret 10 er det anordnet et sensorelement 12, et elektronikkelement 15 og en nede-i-hulls-telemetri 16. Verktøyet blir ført langs et brønnborehull 20, definert av borehullvegger 21 og som trenger gjennom formasjon 22, ved hjelp av borestrengen 18. Borestrengen 18 blir drevet fra overflaten 24 til jorden av en rotasjonsborerigg, som bare er illustrert konseptuelt ved 26 siden slike rigger er velkjent på området.

Formasjon fra verktøyet blir telemetrert til jordoverflaten 24 via en telemetrolink (illustrert konseptuelt av pilen 23) og mottatt av et overflatetelemetrielement (ikke vist) inneholdt i overflateutstyr 28 som er operativt forbundet med boreriggen 26.

Informasjon kan også bli sendt fra overflateutstyret 28 til verktøyet via telemetrilinken 23.

Flere detaljer ved sensorelementet 12, elektronikkomponenten 14 og nede-i-hulls-
 5 telemetrielementet 16 og deres driftsmessige forhold er vist i funksjonsdiagrammet på
 fig. 2. Sensorelementet 12, som er illustrert konseptuelt som en boks av brutte linjer,
 omfatter minst en gammastråledetektor som omfatter et scintillasjonskrystall 30 og et
 optisk koblet fotomultiplikatorrør 32. Utgangssignaler fra fotomultiplikatorrøret blir
 innmatet til elektronikkelementet, hvis komponenter er innelukket av boksen av brutte
 10 linjer, angitt som 14. Signalene blir forsterket ved bruk av passende forforsterknings- og
 forsterkningskretser 34. Forsterkede sensorsignaler blir innmatet til en prosessor 38.
 Spennning for fotomultiplikatorrøret 32 blir tilveiebrakt av en justerbar høyspennings-
 effektforsyning 36 inne i elektronikkelementet 14.

15 Fremdeles med henvisning til fig. 2, tilveiebringer prosessoren 38 innretning for
 automatisk å styre/kontrollere forsterkningen til minst en gammastråledetektor, og blir
 også brukt til å behandle signaler fra gammastråledektoren for å tilveiebringe
 elementkonsentrasjoner av K, U og Th. Som nevnt tidligere, blir verktøyet fortrinns-vis
 kalibrert på overflaten til en ”standard” forsterkning. Under logging endrer
 20 temperaturen til verktøyet og elementer i dette seg. Temperaturendringer eller, i mindre
 grad, endringer i målt gammastråletellingsmengder resulterer i detektorforsterknings-
 endring. Forsterkningsendringer blir reflektert i energispekteret til de målte detektor-
 signalene. Målte trekk ved spekteret blir brukt til å korrigere for disse forsterknings-
 endringer, slik det vil bli beskrevet detaljert i påfølgende avsnitt av beskrivelsen. Et
 25 forsterkningskorreksjonssignal som er representativt for størrelsen på forsterknings-
 endringen blir generert av prosessoren 38 og innmatet til den justerbare høyspenne
 effektforsyningen 36 for derved å justere detektorhøyspenning slik at forsterkningen blir
 gjenopprettet til ”standard”-forsterkningen. Elementkonsentrasjoner av K, U og Th blir
 bestemt fra forsterkningskorrigerte detektorspektre i prosessoren 38 ved bruk av
 30 forutbestemte forhold slik det vil bli beskrevet i det etterfølgende. Elementkonsentra-
 sjoner av K, U og Th blir innmatet til nede-i-hulls-telemetrielementet 16 og telemetrert,
 via telemetrilinken 23, til overflatetelemetrielementet inneholdt i overflateutstyr 28.

Fig. 3a og 3b er henholdsvis tverrsnitt og sidesnitt av vektørret 10 i området for sensor-
 35 elementet og viser et sensorelement som omfatter en gammastråledetektor. Fig. 3a viser
 tverrsnittet A-A’ til vektørret 10 med akse til en borefluidleder 44 forskjøvet fra akse
 til vektørret. En detektorkanal på omkretsen til vektørret 10 og definert av overflatene

40 mottar gammastråledetektoren som omfatter et scintillasjonskrystall 30 slik som NaI, CsI, BGO og lignende. Scintillasjonskrystallet 30 er innkapslet i en hermetisk tett, lysreflekterende kapsling 42. Volumet 46 er fortrinnsvis fylt med et materiale slik som RTV, epoksy og lignende. Vektrøret 10 er omgitt av en tynn hylse 48 i området for sensorelementet 12. Fig. 3b viser sidesnittet B-B' som innbefatter hovedaksen til vektrøret 10. Et fotomultiplikatorrør 32 er optisk koblet til scintillasjonskrystallet 30. Elektriske ledninger til fotomultiplikatorrøret er for tydelighetens skyld ikke vist.

Det refereres igjen til både fig. 3a og 3b, hvor det åpenbart at scintillasjonskrystallet 30 er anordnet så nært som praktisk mulig til omkretsen til vektrøret 10. Dette minimaliserer intervenserende materialet mellom detektoren og kilden for gammastråling, som er jordformasjon gjennomtrengt av borehullet (ikke vist). Ved å forskyve aksene til strømningslederen 44 blir diameteren, og således effektiviteten, til detektoren maksimalisert. For typisk LWD utstyr kan diameteren til scintillasjonskrystallet være 5,1 cm (2") eller større og fremdeles opprettholde strukturelle spesifikasjoner til vektrøret 10. Som et resultat av denne detektorgeometri, blir spektral gammastråleforringing minimalisert og målt tellemengde blir maksimalisert for en gitt detektorstørrelse.

Fig. 4 illustrerer et sensorelement som omfatter tre gammastråledetektorer. Dette tverrsnittsskissen viser scintillasjonskrystallene 30 til hver detektor. Hvert krystall 30 er innkapslet i hermetisk tett, lysreflekterende kapsling 42, og er anordnet i en detektorkanal definert av overflatene 40. Kanalene er anordnet i 120 graders vinkelavstand. Vektrøret 10 er i området til sensorelementet og er igjen omgitt av en tynn hylse 48. Et sidesnitt er utelatt for korthetens skyld, men et fotomultiplikatorrør (ikke vist) er igjen optisk koblet til hvert scintillasjonskrystall 30. Som med det enkle detektorsensorelementet vist på fig. 3a og 3b, er det åpenbart at scintillasjonskrystallene 30 er anordnet så nær som det er praktisk mulig til omkretsen av verktøyet for derved å minimalisere intervenserende materiale mellom detektorene og kilden for gammastråling inne i jordformasjonen. Ved bruk av multippeldetektorkonfigurasjonen er aksene til strømningslederen 44 sammenfallende med aksene til vektrøret 10. For typisk LWD utstyr, er diameteren til hvert scintillasjonskrystall begrenset til omtrent 3,8 cm (1,5") slik at strukturelle spesifikasjoner for vektrøret kan bli opprettholdt. Sammenlignet med den enkle scintillasjonskrystallsensorelementkonfigurasjonen vist på fig. 3a og 3b, er effektiviteten til hver detektor på fig. 4 redusert. Signaler fra hver detektor kan imidlertid bli kombinert for å tilveiebringe en total sensorelementeffektivitet som er lik eller overskrider effektiviteten til den enkle detektorkonfigurasjonen. I tillegg blir gir tredetektor-

sensorelementkonfigurasjonen fordeler ved asimut spektral gammastrålemålinger som vil bli beskrevet i påfølgende avsnitt av denne beskrivelsen.

Det må forstås at multiplere detektorsensorelementkonfigurasjonen ikke er begrenset til
 5 tredetektorkonfigurasjonen vist på fig. 4. Det må også forstås at vinkelavstanden mellom de multiple detektorene ikke behøver være lik. Sluttlig må det forstås at dimensjonene til de multiple detektorene ikke behøver å være like.

FORSTERKNINGSSTABILISERING

10

To fremgangsmåter for detektorforsterkningsstabilisering er beskrevet. Den første fremgangsmåten vil bli referert til som den "målte spektralanalyse"-fremgangsmåten, og den andre fremgangsmåten vil bli referert til som "detektorkilde"-forsterkningskorreksjonsfremgangsmåten. Forsterkningen til en LWD gammastråledetektor kan endre seg
 15 signifikant og hurtig i de røffe borehullboreomgivelsene. Telemetrolinker mellom verktøyet og overflaten er relativt sakte og tillater ikke forsterkningsovervåking og korreksjon fra overflaten. Forsterkningskontroll eller styring må være implementert automatisk inne i verktøyet. Begge de beskrevne fremgangsmåtene kan benyttes for effektivt å kontrollere/styre gammastråledetektorforsterkning.

20

Under hensyntagen til viktigheten av forsterkningskontroll og røffheten til borehullomgivelsene, er det ønskelig å bruke begge fremgangsmåter. De to fremgangsmåtene kan bli brukt med den ene som en primærfremgangsmåte for forsterkningskontroll, og den andre kan tjene som en backup-fremgangsmåte for forsterkningskontroll.
 25 Alternativt kan begge fremgangsmåtene bli brukt samtidig, og resultatene kombinert for å tilveiebringe en detektorforsterkningskorreksjon. En slik kombinasjon kan ha en rekke former innbefattende et enkelt numerisk gjennomsnitt eller et vektet gjennomsnitt.

MÅLT SPEKTRAL ANALYSEFREMANGSMÅTE

30

Fig. 5 er et typisk naturlig gammastrålespekter målt i jordformasjoner med en scintillasjonstype gammastråledetektor. Spekteret omfatter målt gammastråleintensitet som en funksjon av gammastråleenergi, representert ved kurven 50. Abscissen er gammastråleenergi i million elektron volt (MeV), og ordinaten i den naturlige logaritmen av målt
 35 tellemengde er energiinkrement. Inkrementene av energi er representerte energikanaler eller "kanaler" på toppskalaabszissen. Representativ toppstruktur fra K, U og Th er vist ved respektive energier 1,46 MeV, 1,76 MeV og 2,61 MeV. Under verktøykalibrering

blir detektorhøyspenten justert til å gi en detektorforsterkning for hvilken spesifikke energier av gammastråling faller innenfor forutbestemte energikanaler. Denne forsterkning er referert til som "standard"-forsterkningen. Verktøykalibrering vil bli beskrevet ytterligere i et påfølgende avsnitt av denne beskrivelsen.

5

Compton-spredeområdet til spekteret omfatter formasjonsgammastråling som har gjennomgått flere kollisjoner i intervenserende materiale før den når gammastråledetektoren. Dette området av spekteret er identifisert av henvisningstallet 52 og termineres ved lavenergiområdet av "humpen" 54 ved energi 56. Dette eksponentialutseende området 52 inneholder ingen direkte bidrag fra K, U og Th gammastråling. Helningen til dette området er hovedsakelig en funksjon av fotomultiplikatorforsterkningen og kan bli brukt for å overvåke detektorforsterkning.

Fig. 6 er en opptegning av målene til helningen av Compton-området 52 som en funksjon av detektortemperatur i grader Celsius (°C). Målte verdier for helning (ordinat) mot temperatur (abscisse) er indikert av datapunktene 62. En kurve 60 innpasset gjennom datapunktene 62 viser at det er en hovedsakelig 1:1 korrelasjon mellom helningen og detektortemperatur.

Kurve 66 på fig. 7 viser forholdet mellom en multiplikativ første ordens forsterkningsjusteringsfaktor F_1 og korresponderende detektortemperatur, hvor

$$(1) \quad G_{\text{std}} = F_1 G_{\text{obs}}$$

G_{obs} er den observerte detektorforsterkningen, og G_{std} er den tidligere definerte "standard"-forsterkningen for hvilken verktøyet er kalibrert. Forhold mellom helning mot temperatur vist grafisk som kurve 60 på fig. 6 kan bli kombinert med forsterkningsjusteringsfaktor som en funksjon av temperatur vist grafisk som kurve 66 på fig. 7 for å eliminere temperaturparameteren. Denne kombinasjon gir en funksjonsforhold mellom den målte helningen og den ønskede første ordens forsterkningsjusteringsfaktoren F_1 .

Ved dette punkt kan detektorhøyspenning bli justert for å korrigere detektorforsterkning for temperatureffekter. Kurve 68 på fig. 7 viser forholdet mellom nødvendig høyspenning justering for å tilveiebringe G_{std} og detektortemperatur. Når F_1 har blitt tilveiebrakt som beskrevet ovenfor, kan høyspenningen V_1 som kreves for å tilveiebringe G_{std} bli

35

bestemt. Det følgende eksempelet er representert som en grafisk løsning. Anta at fra en måling av Compton-helningen, har det blitt bestemt at $F_1 = 1,1$ som indikert på fig. 7 ved 70. En horisontal linje blir projisert inntil den krysser kurven 66 ved et punkt 71. En vertikal linje blir projisert inntil den krysser kurven 68 ved punkt 72. Sluttlig blir en horisontallinje projisert til den høyre ordinaten ved punkt 73 og gir en nødvendig høyspentkorreksjon på +10 volt. Det refereres igjen til fig. 2 hvor 10 volt tilføyd fotomultiplikatorrøret 32 fra den justerbare høyspenteffektleveringen vil justere forsterkningen til gammastråledetektoren til standardforsterkningen G_{std} .

- 10 For å oppsummere, blir forholdene vist grafisk på fig. 6 og 7 kombinert for å utvikle et forhold mellom målt helning i Compton-området som en funksjon av høyspent som er nødvendig for å opprettholde standard detektorforsterkning. Eksempelet beskrevet ovenfor er grafisk, men det bør forstås at løsningen kan reduseres til analytisk form som er egnet for beregning i en prosessor. Et mål på helning kan derfor bli brukt for å
- 15 korrigere detektorforsterkningsforskyvninger. Bruk av denne helning for å forutsi forsterkningsendringer er ekstremt robust siden den blir beregnet fra et antall datapunkter, den er immune for elektronikkstøy, og det er funnet at den ikke blir sterkt påvirket av borehull og formasjonsforhold. En første ordens detektorforsterkningskorreksjon kan bli utført for de fleste alvorlige forsterkningsendringer i området fra omtrent -60% av
- 20 standardforsterkningen til +150% av standardforsterkningen. Slike alvorlige forsterkningsendringer blir induisert av like alvorlige endringer i temperatur i området fra omtrent -60°C til omtrent +150°C, hvor 25°C er "standard"-kalibreringstemperaturen.

Som beskrevet ovenfor, kan et mål av helning bli brukt for å tilveiebringe en spenningsjustering som er nødvendig for å tilveiebringe standardforsterkning. Dette er en først

25 ordens korreksjon under hensyntagen til størrelsen av forsterkningsendringer som kan bli håndtert. Andre og tredje ordens korreksjoner blir utført for ytterligere å øke presisjon og nøyaktighet til detektorforsterkningsinnstillingene. På grunn av disse ytterligere korreksjonen blir det foretrukket å ikke justere detektorspenning etter den første

30 ordens forsterkningskorreksjonen. I stedet blir spekteret justert ved å justere tellemengden pr. energikanal ved bruk av den første ordens forsterkningskorreksjonsfaktoren F_1 . Ved bruk av det tidligere eksempelet på $F_1 = 1,1$, blir bredden til hver kanal "strukket" 10 prosent, og de målte tellemengdene blir redistribuert over de bredere kanalene. Denne metodologien kan bli tenkt som en "programvare"-forsterknings-

35 forskyvning, og blir fortrinnsvis utført i prosessor 38. Detektorforsterkningsjusteringen

blir nå ytterligere raffinert ved å undersøke en predominerende topp i dette modifiserte energispekteret. Fig. 8 viser et parti av det fulle spekteret 50 vist på fig. 5, og innbefatter en topp 80 ved 1,46 MeV fra K. Denne topp er typisk den mest prominente toppen i spekteret, og er egnet for den andre ordenens forsterkningsjustering. Etter å ha

5 modifisert spekteret ved bruk av metodologien beskrevet tidligere, blir det observert at maksimum til toppen 80 faller i en kanal Ch_{obs} ved 78. Verktøykalibrering krever at energien som korresponderer med denne maksimale topp faller i en modifisert kanal Ch_{std} ved 76, hvor kanalene har blitt justert i bredde med den første ordenens korreksjon F_1 . Forsterkningen til detektoren blir ytterligere justert til en andre ordens korreksjon

10 slik at maksimum til toppen 80 faller i Ch_{std} . Dette blir igjen besørget med en "programvare"-forsterkningsforskyvning ved å justere breddene til energikanalene og redistribuere de målte tellemengdene for å danne et andre modifisert spektrum. En andre ordens forsterkningskorreksjon F_2 blir tilveiebrakt fra ligningen

$$15 \quad (2a) \quad F_2 = (Ch_{std}/Ch_{obs}).$$

Forsterkningskorreksjonsprosessen kan bli avsluttet ved dette punkt uten noen ytterligere raffinering av forsterkningsinnstillingen. Dersom denne opsjonen blir valgt, blir den korresponderende høyspentinnstillingen V_2 som er nødvendig for å

20 tilveiebringe denne andre ordens korrigeret standardforsterkning uttrykt matematisk som

$$(2b) \quad V_2 = F_2 V_1$$

Topper i målt gammastrålespektere slik som kurven 50 vist på fig. 5 blir

25 identifisert med hensyn på kanal (og korresponderende energi) ved bruk av en annen derivert algoritme etter at et sterkt filter er påtrykt. Lokaliseringer av toppene blir bestemt ved bruk av en Gauss-kurvetilpasning rundt hver topp. Fig. 9 illustrerer effektiviteten til detekteringen og lokaliseringsfremgangsmåten. Kurve 86 representerer den andre deriverte d^2C/dCh^2 (høyre ordinat) til spektraltellemengden C som en

30 funksjon av korresponderende energikanal Ch for et spekter av typen vist på fig. 5. Topper er indikert når kurven 86 krysser $d^2C/dCh^2 = 0$. Siden spekteret innehar statistiske variasjoner, kan kurven også inneha en "nullgjennomgang" på grunn av

statistikk over tellemengde snarere enn virkelig toppstruktur. Det er derfor nødvendig å identifisere en ikke-statistisk eller "støy" nullgjennomgang fra en sann nullgjennomgang som indikerer en topp. kurvene 82 og 84 representerer øvre og nedre grenser for standardavvik i tellemengden C som en funksjon av energikanal, og er presentert i vilkårlige telle-mengdeenheter til den venstre ordinaten. Bare nullgjennomgangsforløp som strekker seg utenfor standardavviks-"konvolutten" blir ansett som statistisk signifikante indikasjoner på en topp. Det er bare en slik indikasjon i kurven 86 ved en kanal identifisert ved henvisningstallet 88. Dette korresponderer med K toppen ved 1,46 MeV vist tydelig på fig. 5.

10

Det foretrekkes å ytterligere raffinere forsterkningsinnstillingen. Når det andre modifiserte energispekteret har blitt beregnet, blir alle statistisk signifikante topper i det andre modifiserte spekteret lokalisert ved bruk av topplokaliseringsteknikken beskrevet ovenfor. Når energikanalene hvori disse topper er observert, blir de sammenlignet med deres korresponderende "standard"-kanaler bestemt ved verktøykalibrering. Denne metodologien er tilsvarende enkelttoppmetodologien som ble brukt til den andre ordens forsterkningskorreksjon, men alle topper blir brukt i denne tredje ordens korreksjon. Kanalbredde blir igjen justert og tellemengder redistribuert slik at alle identifiserbare topper faller i deres korresponderende standard energikanaler, korrigert for den første og andre ordens programvareforsterkningsjusteringer. Dette er den tredje ordens forsterkningskorreksjon og gir en tredje ordens forsterkningsjusteringsfaktor F_3 . Den ukorrigerte detektorspenningen V blir nå justert for å tilveiebringe en korrigert spenning V_{cor} ved bruk av forholdet

$$(3a) \quad V_{cor} = F_1 F_2 F_3 V.$$

Den korrigerte detektorforsterkningen G_{cor} er

$$(3b) \quad G_{cor} = H V_{cor}$$

30

hvor H er en multiplikativ konstant som relaterer seg til den tredje orden s korrigerte høyspent V_{cor} til den fullstendig korrigerte detektorforsterkningsfaktoren G_{cor} . Kanalbredder blir tilbakestillt til deres opprinnelige verdier.

- 5 Den målte spektralanalysefremgangsmåten for automatisk forsterkningskorreksjon er oppsummert i flytdiagrammet vist på fig. 10. Helningen til Compton-området 52 (se fig. 5) blir målt ved 90. Den første ordens forsterkningskorreksjonen F_1 blir bestemt ved 92 ved bruk av den målte helningen som beskrevet ovenfor. En identifiserbar topp blir lokalisert i det målte spekteret ved 94. Den andre ordens forsterkningskorreksjonen F_2 10 blir bestemt ved 96 ved bruk av tidligere beskrevet metodologi og ligning (2a). Alle statistisk signifikante topper i det målte gammastrålespekteret blir bestemt ved 98. Den tredje ordens forsterkningskorreksjonsfaktoren F_3 blir tilveiebrakt ved 100 av en programvareforsterkningsjustering som posisjonerer alle topper fluktende med deres tilordnede energikanaler tilveiebrakt ved verktøykalibrering. Den korresponderende 15 høyspent V_{cor} som er nødvendig for standard detektorforsterkning blir også bestemt ved 100 ved bruk av ligning (3a). Den korrigerte detektorforsterkningen G_{cor} blir innstilt ved 102 ved bruk av V_3 og ligning (3b). Det er igjen å merke seg at en virkelig spenningsjustering blir gjort bare etter den tredje ordens korreksjonen, hvor programvareforsterkningsjusteringer blir brukt i den første og andre ordens korreksjoner. Det bør også 20 forstås at andre algoritmer kan bli brukt for å tilveiebringe egnede programvareforsterkningsjusteringer for den første og andre ordens korreksjoner.

DETEKTORKILDEFORSTERKNINGSKORREKSJONSMETODE

- 25 Gammastråledetektorforsterkning kan bli overvåket ved bruk av en alternative teknikk. En liten radioaktiv "detektor"-kilde er anordnet nær eller inne i den ene eller flere scintillasjonskrystaller og omfatter det naturlig gammastråle LWD sensorelementet. Detektorkilden genererer en "kalibrerings"-topp i det målte gammastrålespekteret. Dersom forsterkningen til det målte spekteret endrer seg, forskyves posisjonen til 30 kalibreringstoppen med endringen i forsterkning. Et mål på posisjon av kalibreringstoppen kan derfor bli brukt til å overvåke og korrigere detektorforsterkning.

Kalibreringstoppen er fortrinnsvis ved en relativt lav energi slik at den ikke vil interferere med høyere energistråling fra K, U og Th som benyttes for å bestemme elementkonsentrasjoner. En egnet detektorkile er Americium-241 (^{241}Am) som sender ut gammastråling ved 0,060 MeV. Det refereres igjen til fig. 5, hvor et typisk målt
5 gammastrålespekter omslutter et energiområde fra 0,0 til 3,0 MeV over typisk 256 kanaler. Med denne "standard" detektorforsterkningsinnstilling er den lave energien til spekteret, som innbefatter 0,060 MeV kalibreringstoppen, svært utsatt for elektronikkstøy. I tillegg, siden spekteret sprer seg over omtrent 3,0 MeV og typisk 256 energikanaler, opptar ^{241}Am -toppen bare omtrent 3 av de 256 kanalene, hvilket gjør det
10 vanskelig å lokalisere topposisjonen nøyaktig.

Oppmerksomhet rettes mot fig. 11 som viser konseptuelt lavenergiområdet til et gammastrålespekter målt med en detektor som omfatter en ^{241}Am detektorkilde. Kurven 110 viser toppstrukturen med detektoren innstilt på standard forsterkning. Siden toppen
15 opptar tre energikanaler, er det vanskelig å lokalisere senteret til toppen ved bruk av tidligere beskrevne fremgangsmåter. Denne topp kan i prinsippet bli brukt som vist for å stabilisere detektorforsterkning. Enhver stabilisering som benytter ^{241}Am -toppen ved 0,060 MeV vil derfor være utsatt for store feil, spesielt i det høyere energiområdet til spekteret benyttet for elementkonsentrasjonsberegninger.

20

Nøyaktigheten til detektorforsterkningsstabilisering ved bruk av en lavenergi detektorkilde og kalibreringstopp blir forbedret ved bruk av duale forsterkningskretser. Spektersignalet fra gammastråledetektoren blir "avgrenet" og innmatet i første og andre forsterkningskretser som omfatter de duale forsterkningskretsene. Den første kretsen
25 omfatter en standard forsterkningskrets og genererer et spekter med standard forsterkning. 0,060 MeV ^{241}Am -toppen i dette standardspekteret er vist ved 110 på fig. 11. For forsterkningsstabiliseringsformål blir spektersignalet innmatet en andre forsterkningskrets med en forsterkningsfaktor som er N større enn forsterkningsfaktoren til standardforsterkningen. Den andre forsterkningskretsen genererer et forsterket spekter
30 med en "forsterket" forsterkning. For beskrivelsesformål vil det bli antatt at $N = 10$, selv om det må forstås at andre verdier av N kan bli brukt. Kurve 112 er det forsterkede forsterkningsspekteret som viser ^{241}Am -toppen ved 0,060 MeV forsterket ved en faktor

på $N = 10$. Toppen opptar nå omtrent 30 energikanaler, og tidligere beskrevne topplokaliseringsfremgangsmåter blir brukt for å bestemme at senteret til toppen er i energikanal P_{obs} , som identifisert ved 114. Fra verktøykalibrering er det kjent at energi 0,060 MeV skulle falle i energikanal P_{std} for standard forsterkning, eller i kanal $N \times P_{std}$ for den forsterkede forsterkning, vist ved 116 på fig. 11. Detektorhøyspenningen V blir justert til en korrigert verdi, V_{cor} , ved bruk av dette forholdet

$$(4) \quad V_{cor} = V (N P_{std}/P_{obs}).$$

Et signal som er proporsjonalt med $(N P_{std}/P_{obs})$ blir fortrinnsvis generert i prosessoren 38 og innmatet til den justerbare høyspenningseffektforsyningen 36. Dette genererer den korrigerede høyspent V_{cor} levert til detektoren. Korrigert standard forsterkningsforsterkning G_{cor} er uttrykt ved forholdet

$$(5) \quad G_{cor} = H V_{cor}$$

hvor H , som i ligning (3), er en multiplikatorkonstant som relaterer høyspent til detektorforsterkning.

Det bør forstås at forskjellige fremgangsmåter kan bli brukt for å øke detektorforsterkingen med en faktor på N . Som et eksempel kan forsterkningskretsen 34 (se fig. 2) inneholde et høyforsterkningselement som, under styringen av prosessoren 38, "avgrener" detektorinngang. Forsterkningen til en gren av inngangen med en faktor på N danner derved den forsterkede forsterkningen av kalibreringstoppen for formål å stabilisere kalibreringskildeforsterkning.

Forsterkningsstabiliseringsfremgangsmåten som benytter en radioaktiv "detektor"-kilde er oppsummert i flytdiagrammet på fig. 12. Lavenergidelen av det målte gammastrålespekteret blir økt med en faktor på N ved 120. Energikanalen P_{obs} , hvori stabiliseringstoppen er maksimalt, blir bestemt ved 122 ved bruk av en egnet topplokaliserings-
teknikk. Høyspent V_{cor} som kreves for å posisjonere toppmaksimalverdien i energi-

kanalen $N \times P_{std}$ blir bestemt (se ligning (4)) ved 124, og den korrekte detektorforsterkningen G_{cor} blir innstilt ved 126 (se ligning (5)).

Hybrid korreksjonsfremgangsmåte

5

Den målte spektralanalysefremgangsmåten og detektorkildeforsterkningskorreksjonsfremgangsmåtene kan bli kombinert for å gi en hybrid forsterkningskontrollfremgangsmåte. En kalibreringskilde blir anordnet inne i eller i den umiddelbare nærhet til minst en gammastråledetektor. Når den er i borehullet, produserer denne detektor et

10 gammastrålespekter som omfatter en første komponent fra naturlig forekommende radioaktive elementer inne i formasjonen og en andre komponent fra kalibreringskilden. En første detektorforsterkningskorreksjon blir bestemt fra spektrale trekk fra den naturlig forekommende gammastrålingen som tidligere beskrevet i den målte spektralanalysefremgangsmåten. Den andre forsterkningskorreksjonen blir bestemt fra kalibreringskildekomponten som tidligere beskrevet i detektorkildeforsterkningskorreksjons-

15 fremgangsmåten. De første og andre forsterkningskorreksjonene blir kombinert for å korrigere for forsterkningsforskyvning i detektoren.

ELEMENTKONSENTRASJONBESTEMMELSER

20

Med detektorforsterkning stabilisert til ”standard” forsterkning blir elementkonsentrasjoner av K, U og Th bestemt, fortrinnsvis i prosessoren 38 til elektronikkelementet 14 (se fig. 1 og 2), fra målte spektrale data. Disse elementkonsentrasjoner kan innmates til nede-i-hulls-telemetrielementet 16 og telemetrert via telemetrilinken 23 til

25 overflateutstyret 28. Alternativt kan de spektrale dataene bli innmatet i nede-i-hulls-telemetrielementet 16 og telemetrert til overflateutstyret 28 for påfølgende behandling. Siden telemetribåndbredden er begrenset og gammastrålespekteret er mye mer dataintensive enn elementkonsentrasjonene bestemt av disse, er det foretrukket å telemetere elementkonsentrasjonen av K, U og Th til overflaten. Alternativt kan spektrale

30 gammastråledata og elementkonsentrasjonsbestemmelser bli registrert av en data-lagringsinnretning inne i elektronikkelementet og deretter trukket ut for behandling og analyse når verktøyet er returnert til overflaten.

Den følgende metodologien blir foretrukket for å bestemme elementkonsentrasjoner av K, U og Th. Det må imidlertid forstås at andre spektralbehandlingsfremgangsmåter slik som spekterstripping, topparealanalyse og lignende kan bli brukt for å bestemme konsentrasjoner av K, U og Th. De nødvendige elementkonsentrasjonskalibreringskonstantene blir tilveiebrakt ved verktøykalibrering.

Elementkonsentrasjoner blir tilveiebrakt ved å løse matriseligningen

$$(6) \quad [C] = [A] [M].$$

[C] er en $m \times 1$ søylematrise som omfatter elementer c_i ($i = 1, \dots, m$) som representerer tellerate registrert i energikanal i (se fig. 5). Det er typisk at 256 energikanaler ($m = 256$) blir brukt, selv om flere eller færre kanaler kan bli brukt innenfor rammen av oppfinnelsen.

[A] er en $m \times j$ matrise som omfatter elementer a_{ij} med ($i = 1, \dots, m$) og ($j = K, U, Th$). Fysisk er elementet a_{ij} sensitivitet til energikanal i overfor elementet j , typisk i tellenheter pr. sekund pr. del pr. million (U og Th) eller tellinger pr. sekund pr. prosent (K). Matrisen [A] omfatter kalibreringskonstanter, og er referert til som en "sensitivitets"-matrise, og blir bestemt ved verktøykalibrering. Ved verktøykalibrering blir responsen til verktøyet målt i formasjoner som inneholder kjente konsentrasjoner av K, U og Th, og i "standard" borehullomgivelser, og med en eller flere detektorer i sensorelementet drevet ved "standard" forsterkning G_{cor} .

[M] er en $j \times 1$ søylematrise som omfatter elementer M_j ($j = K, U, Th$) som er parameterne av interesse, nemlig formasjonens elementkonsentrasjoner av K, U og Th. M_K er i prosent, og M_U og M_{Th} i deler pr. million (ppm). De ønskede elementkonsentrasjonene blir tilveiebrakt ved å løse ligning (6) for [M], fortrinnsvis ved bruk av en vektet minste kvadrattilpasning.

Målte gammastrålespektre fra en eller flere gammastråledetektorer i sensorseksjonen blir sporet som en funksjon av dybde til verktøyet i borehullet 20 (se fig. 1). Dersom sensorelementet 12 bare omfatter en gammastråledetektor som vist på fig. 3a og 3b, blir elementene til matrisen [C] tilveiebrakt fra denne detektor. Dersom sensorelementet
 5 omfattet et antall q detektorer, slik som $q = 3$ utførelsen vist på fig. 4, blir elementene til [C] matrisen tilveiebrakt ved å kombinere responser fra de q detektorene, typisk ved ganske enkelt å oppsummere responsene dersom alle detektorene innehar lik sensitivitet.

10 ASIMUTELEMENTKONSENTRASJONSBESTEMMELSER

Det spektrale gammastråle LWD systemet kan bli brukt for å måle elementkonsentrasjoner M_K , M_U and M_{Th} som en funksjon av asimut inne i borehullet så vel som en funksjon av dybde inne i borehullet. Asimutale målinger krever ytterligere komponenter
 15 anordnet fortrinnsvis inne i elektronikkelementet 14. Fig. 13 er et funksjonsdiagram for komponenter tilføyd til elektronikkelementet vist på fig. 2 slik at asimutale elementkonsentrasjoner M_K , M_U og M_{Th} kan bli bestemt. En anordning som avføler verktøyorientering, slik som et magnetometer 130, og en klokke 132 er operasjonsmessig forbundet med prosessoren 38. Som i den tidligere beskrivelsen av fig. 2, blir signaler
 20 fra den ene eller flere gammastråledetektorer og forsterkerkretser innmatet til prosessoren ved 136. Prosessoren 38 styrer igjen detektorforsterkningsjusteringer til detektorene ved 138 ved hjelp av den justerbare høyspenteffektforsyningen 36. Spektrale og elementkonsentrasjoner blir sendt ut fra prosessoren 134 som beskrevet nedenfor.

25

Ettersom verktøyet roteres 360 grader, blir gammastrålespektret med formen vist på fig. 5 målt under enkeltstående tidsintervaller Δt , hvor disse elementer er definert av klokken 132 som samvirker med prosessoren 38. Spektre blir lagret i lagerplasser i samsvar med tidsintervaller Δt hvori de er målt. Tidsintervallet Δt er fortrinnsvis
 30 omtrent 50 millisekunder. Under hvert tidsintervall blir den gjennomsnittlige avlesningen av magnetometeret 130 bestemt og definerer derved en asimutsektor tilordnet med hvert tidsintervall, og derved tilordnet en asimutsektor til hver lagerplass.

Hver lagerplass inneholder et gammastrålespekter målt i en kjent borehullasimutsektor. De spektrale datalagringene og gjennomsnittet av magnetometeravlesningene under hvert tidsintervall blir styrt av prosessoren 38. Lagrede spektrale data og korresponderende asimutsektorer blir fortrinnsvis lagret i prosessoren 38. Prosessen blir gjentatt over

5 multiple 360 graders rotasjoner innenfor et gitt dybdeintervall Δd for å kunne maksimalisere statistisk presisjon til hvert naturlig gammastrålespekter lagret i hver lagerplass. Forsterkningsstabiliseringsteknikker som tidligere er beskrevet detaljert, blir brukt til å styre forsterkningen til hvert lagret spekter. Tidligere beskrevne dataanalysefremgangsmåter blir brukt for å beregne matrisen $[M]$ for hvert lagret spekter og gir

10 derved elementkonsentrasjoner M_K , M_U og M_{Th} for hver asimutsektor rundt borehullet.

Dersom sensorelementet omfatter et mangfold av detektorer, blir detektorutgangssignaler faset av prosessoren 38 slik at ettersom hver detektor roterer gjennom hver asimutsektor, blir utgangssignaler fra denne detektor lagret inne i lagerplassen som

15 korresponderer med denne asimutsektor.

Verktøyet kan bli ført langs borehullet uten rotasjon. Denne føring blir vanligvis referert til som "gliding". Dersom sensorelementet 12 omfatter bare en gammastråledetektor, kan asimutale naturlig gammastrålespektralmålinger ikke bli utført når verktøyet glir.

20 Dersom sensorelementet omfatter et mangfold gammastråledetektorer, kan asimutale spektrale målinger bli tilveiebrakt under gliding. Størrelsene til asimutsektorene blir bestemt av antallet detektorer i sensorelementet. For sensorelementet som omfatter tre detektorer på 120 graders sentere som vist på fig. 4, vil hver asimutsektor være 120 grader. Dette gir en asimutal oppløsning som er typisk dårligere enn den som er

25 tilveiebrakt med roterende verktøy og med tidsintervaller Δt på omtrent 50 millisekunder.

LOGGPRESSENTASJONER

30 Fig. 14 viser et eksempel 140 på en naturlig gammastråle LWD loggpresentasjon av M_K , M_U og M_{Th} som en funksjon av dybde i borehullet. Mengdene M_K , M_U og M_{Th} blir beregnet fra målte spektraldata $[C]$ ved bruk av ligning (6). Enheter for konsentrasjoner

av K (%), U (ppm) og Th (ppm) er vist i de respektive feltene 141, 143 og 145.

Målestokker er typisk i % pr. kartdivisjon for K og ppm pr. kartdivisjon for U og Th.

Konsentrasjoner av M_K , M_U og M_{Th} er vist som en funksjon av dybde 148 i borehullet ved de respektive kurver 142, 144 og 146. Som et eksempel er utslag 147 og 149 i M_K

5 og M_U , respektivt, indikert ved en dybde på omtrent xx20. Et utslag 159 i M_{Th} er indikert ved en dybde på omtrent xx40. Det må forstås at andre formater kan bli brukt for å presentere de grunnleggende LWD naturlig gammastråleloggedataene.

Fig. 15 viser et eksempel 150 på en asimutal naturlig gammastråle LWD logg-

10 presentasjon. Elementkonsentrasjoner av M_K (%), M_U (ppm) og M_{Th} (ppm) er angitt med henholdsvis heltrukne, langstrekede og kortstrekede kurver 164, 162 og 160, som vist i felt 151. Korresponderende skalaer for disse konsentrasjonene er tabulert i felt 150 og er typisk i % pr. kartdivisjon for M_K og ppm pr. kartdivisjon for M_U og M_{Th} .

Konsentrasjoner M_K , M_U og M_{Th} , tilveiebrakt fra spektre summert over et dybde-
15 intervall Δd vist i feltet 153, er vist som en funksjon av asimutsektor 152, i grader, for dette dybdeintervall. Som et eksempel er utslag 156 og 154 i henholdsvis M_K og M_U , vist ved en asimutsektor på omtrent 180 grader over dybdeintervallet xx20. Som et annet eksempel, er et utslag 158 i M_{Th} vist ved en asimutsektor på omtrent 225 grader over dybdeintervallet xx40. Det må forstås at andre formater kan bli brukt for å
20 presentere de grunnleggende LWD asimutale naturlig gammastråleloggedataene.

Mens den forutgående beskrivelsen er rettet mot de foretrukne utførelsene av oppfinnelsen, er rammen for oppfinnelsen definert av patentkravene, som følger.

25 Et nytt gammastråle logge-under-boringssystem for å måle elementærkonsentrasjon til minst et naturlig forekommende radioaktivt element er tenk utført slik at systemet omfatter:

- (a) minst en gammastråledetektor; og
- (b) kalibreringskilde i nærheten av nevnte minst ene gammastråledetektor; hvori
- 30 (c) gammastråledetektoren måler et gammastrålespekter som omfatter en første komponent fra nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element og en andre komponent fra nevnte kalibreringskilde;

(d) en første detektorforsterkningskorreksjon blir bestemt fra trekk til nevnte første komponent;

(e) en andre detektorforsterkningskorreksjon blir bestemt fra nevnte andre komponent;

5 (f) nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjoner blir kombinert for å korrigere for forsterkningsforskyvninger i nevnte gammastråledetektor; og

(g) trekk fra den første komponenten blir kombinert med kalibreringskonstanter ved bruk av et forutbestemt forhold for å tilveiebringe nevnte elementærkonsentrasjon av nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element.

10

En ytterligere variant av det nye gammastråle logge-under-boringssystemet er tenk utført slik at nevnte elementærkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av dybde inne i et borehull.

15 En ytterligere variant av det nye gammastråle logge-under-boringssystemet er tenk utført slik at nevnte elementærkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av asimutsektor rundt et borehull.

En ny fremgangsmåte for måling av en elementærkonsentrasjon til minst et naturlig
20 forekommende radioaktivt element i en formasjon under boring er tenk utført slik at fremgangsmåten omfatter:

(a) å tilveiebringe minst en gammastråledetektor; og

(b) anordne en kalibreringskilde i nærheten av nevnte minst ene gammastråle-
detektor;

25 (c) måle med nevnte gammastråledetektor et gammastrålespekter som omfatter en første komponent fra nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element og en andre komponent fra nevnte kalibreringskilde;

(d) bestemme en første detektorforsterkningskorreksjon fra trekk ved nevnte første komponent;

30 (e) bestemme en andre detektorforsterkningskorreksjon fra nevnte andre komponent;

(f) kombinere nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjon for å

korrigere for forsterkningsforskyvninger i nevnte gammastråledetektor; og

(g) kombinere trekk ved nevnte første komponent med kalibreringskonstanter ved bruk av et forutbestemt forhold for å tilveiebringe nevnte elementærkonsentrasjon av nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element.

5

En første variant av den nye fremgangsmåten er tenk utført slik at minst en elementærkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av dybde inne i et borehull.

En andre variant av den nye fremgangsmåten er tenk utført slik at nevnte minst ene
10 elementærkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av asimutsektor rundt et borehull.

P a t e n t k r a v

1. Gammastråle logge-under-boringsystem for å måle elementkonsentrasjon til minst et naturlig forekommende radioaktivt element, k a r a k t e r i -
5 s e r t v e d at systemet omfatter:
- (a) minst en gammastråledetektor (12); og
 - (b) kalibreringskilde i nærheten av nevnte minst ene gammastråledetektor (12);
hvori
 - (c) gammastråledetektoren (12) er konfigurert til å måle et gammastrålespekter
10 som omfatter en første komponent fra nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element og en andre komponent fra nevnte kalibreringskilde; hvori systemet er konfigurert til å
 - (d) bestemme en første detektorforsterkningskorreksjon fra trekk til nevnte første komponent;
 - 15 (e) bestemme en andre detektorforsterkningskorreksjon fra nevnte andre komponent;
 - (f) kombinere nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjoner og å korrigere for forsterkningsforskyvninger i nevnte gammastråledetektor under bruk av et resultat fra kombineringen av nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjoner;
20 og
 - (g) kombinere trekk fra den første komponenten i et gammastrålespektrum målt etter utførelse av (f) med kalibreringskonstanter ved bruk av et forutbestemt forhold for å tilveiebringe nevnte elementkonsentrasjon av nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive element.
- 25
2. System ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte elementkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av dybde inne i et borehull.
- 30 3. System ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte elementkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av asimutsektor rundt et borehull.

4. Fremgangsmåte for måling av en elementærkonsentrasjon til minst et naturlig forekommende radioaktivt element i en formasjon under boring, k a r a k - t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten omfatter:

- 5 (a) å tilveiebringe minst en gammastråledetektor; og
 (b) å anordne en kalibreringskilde i nærheten av nevnte minst ene gammastråle-
 detektor;
 (c) å måle, med nevnte gammastråledetektor, et gammastrålespekter som
 omfatter en første komponent fra nevnte minst ene naturlig forekommende radioaktive
 10 element og en andre komponent fra nevnte kalibreringskilde;
 (d) å bestemme en første detektorforsterkningskorreksjon fra trekk ved nevnte
 første komponent;
 (e) å bestemme en andre detektorforsterkningskorreksjon fra nevnte andre
 komponent;
 15 (f) å kombinere nevnte første og nevnte andre forsterkningskorreksjon og å
 korrigere for forsterkningsforskyvninger i nevnte gammastråledetektor under bruk av et
 resultat fra kombineringen av de første og andre forsterkningskorreksjonene; og
 (g) å kombinere trekk ved nevnte første komponent i et gammastrålespekter målt
 etter utførelse av (f) med kalibreringskonstanter ved bruk av et forutbestemt forhold for
 20 å tilveiebringe nevnte elementkonsentrasjon av nevnte minst ene naturlig
 forekommende radioaktive element.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 4,
 k a r a k t e r i s e r t v e d at minst en elementkonsentrasjon blir
 25 tilveiebrakt som en funksjon av dybde inne i et borehull.

6. Fremgangsmåte ifølge krav 4,
 k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte minst ene
 elementkonsentrasjon blir tilveiebrakt som en funksjon av asimutsektor rundt et
 30 borehull.

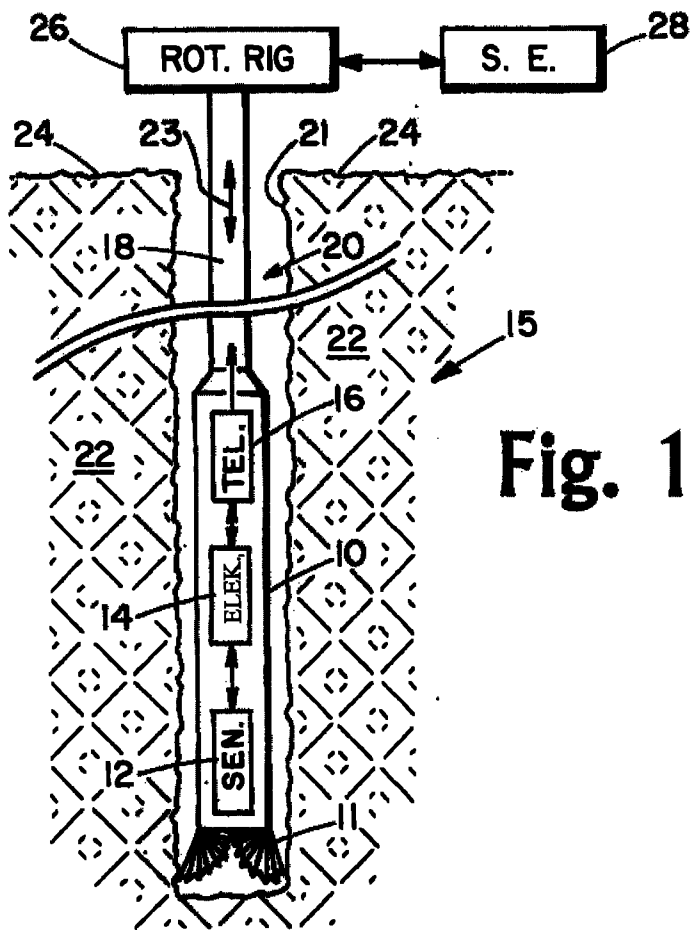


Fig. 1

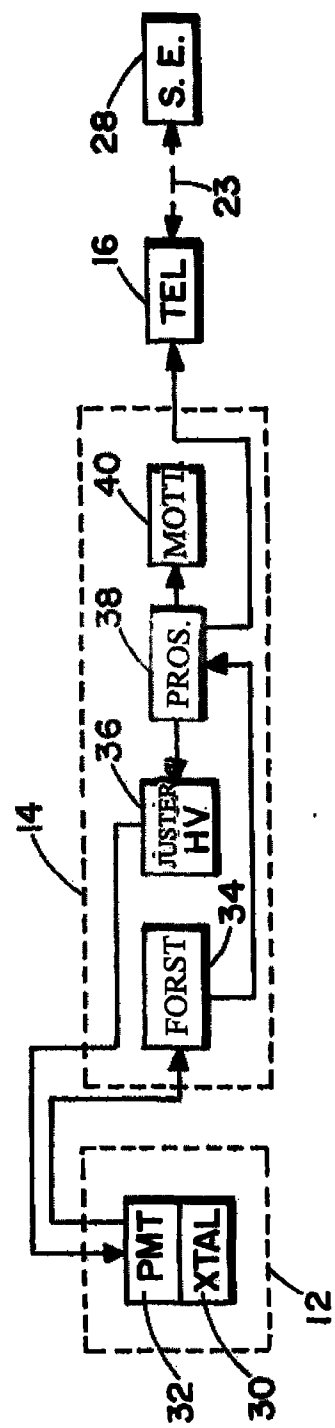


Fig. 2

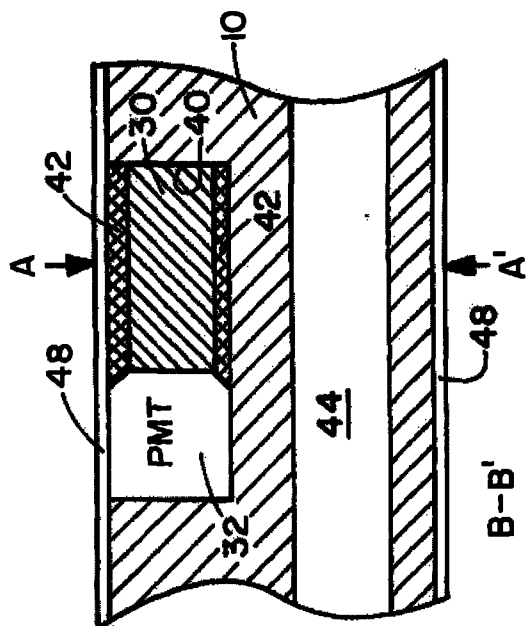


Fig. 3b

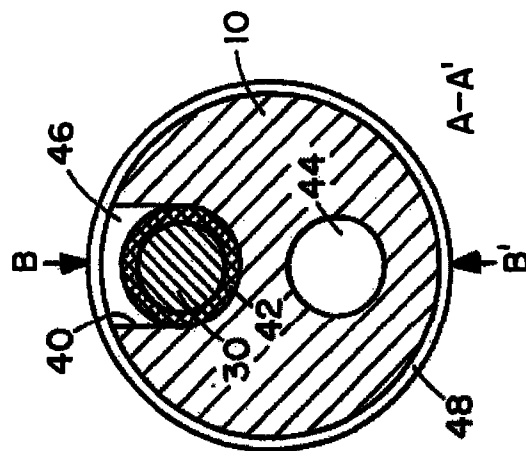


Fig. 3a

4/11

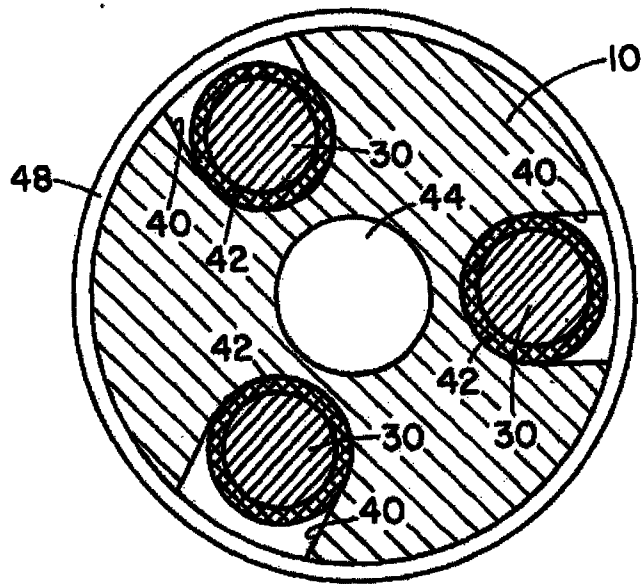


Fig. 4

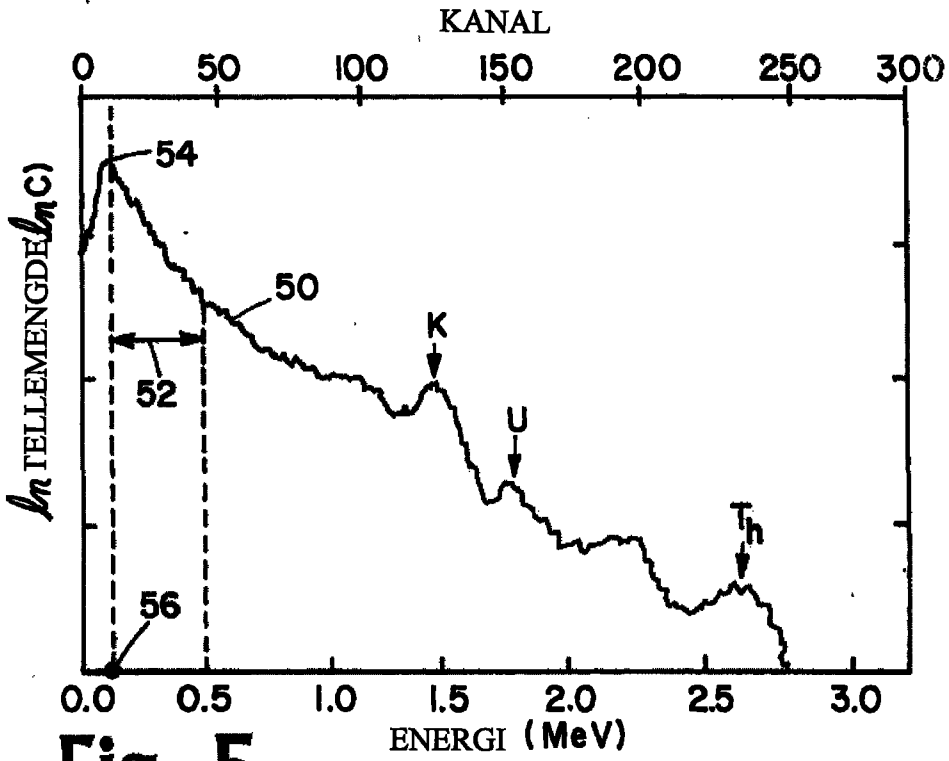


Fig. 5

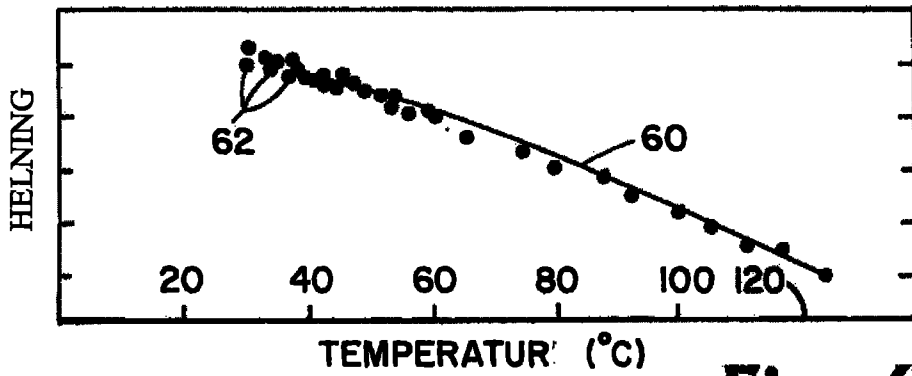


Fig. 6

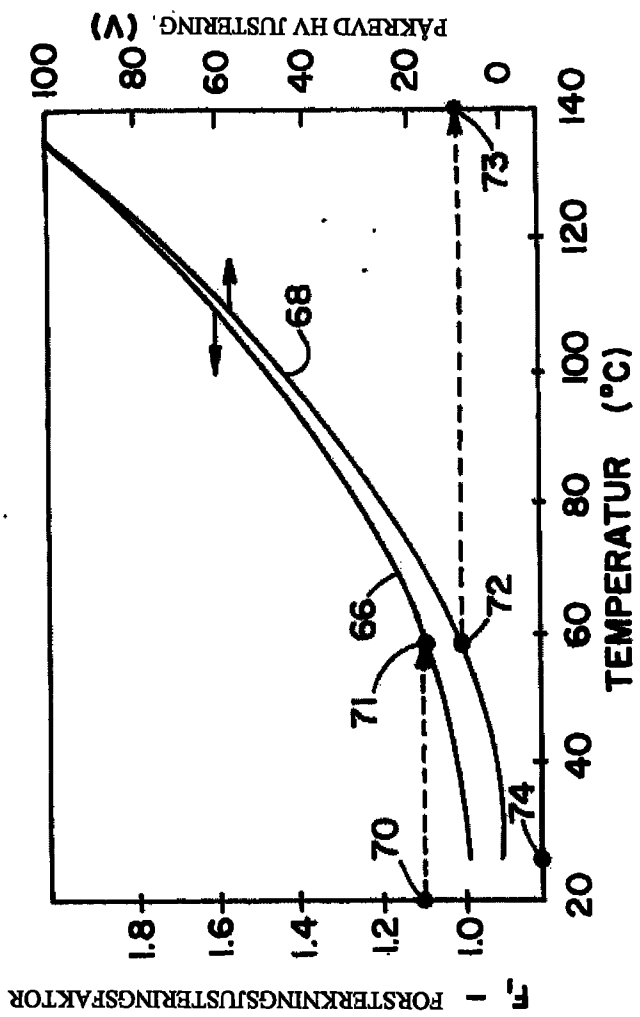


Fig. 7

7/11

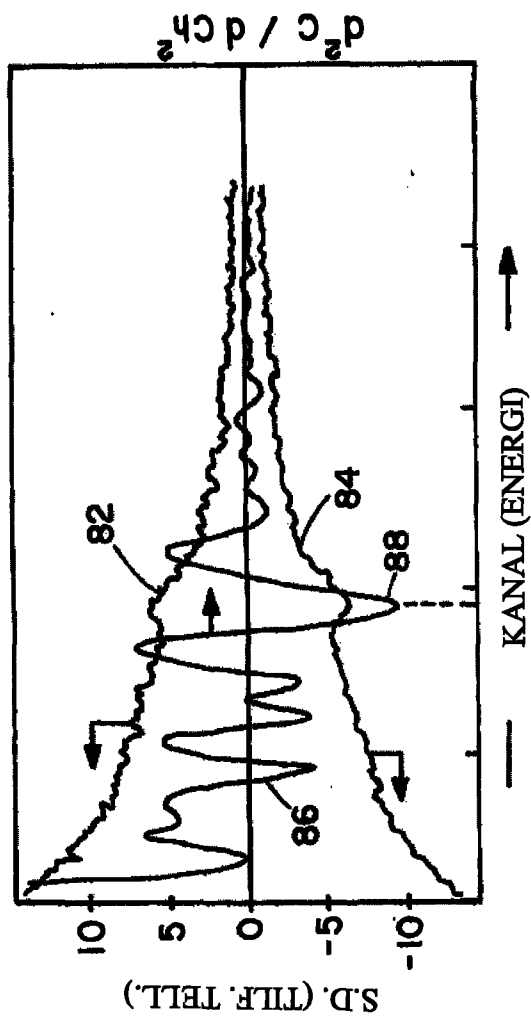


Fig. 9

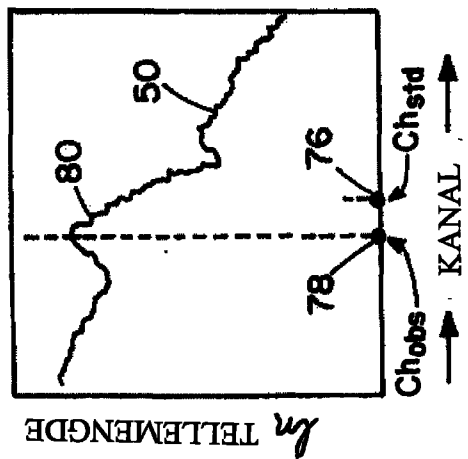


Fig. 8

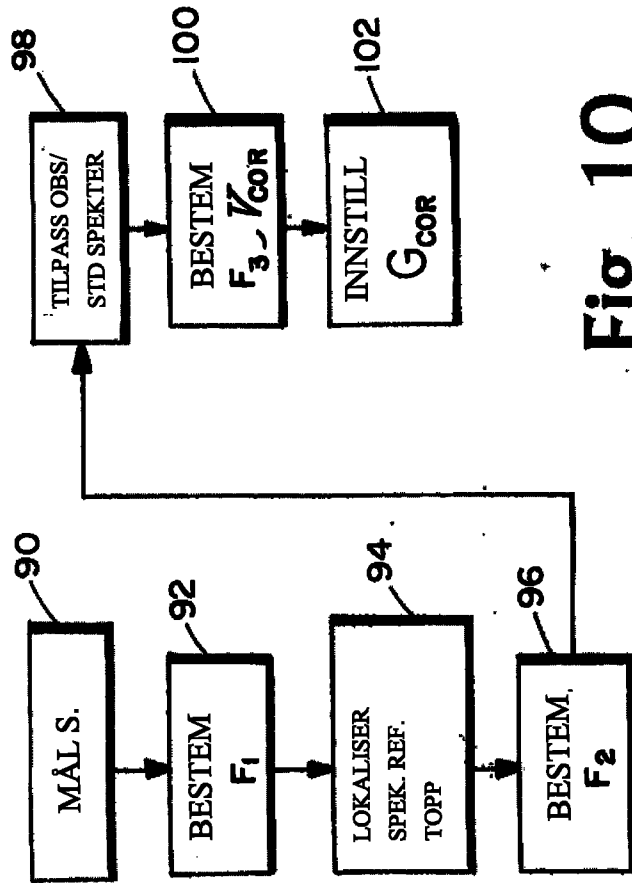


Fig. 10

9/11

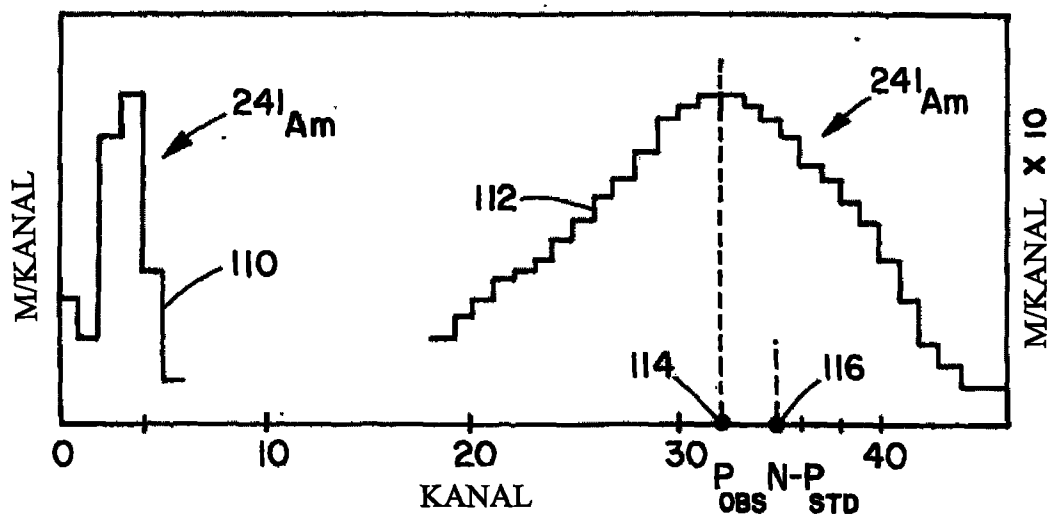


Fig. 11

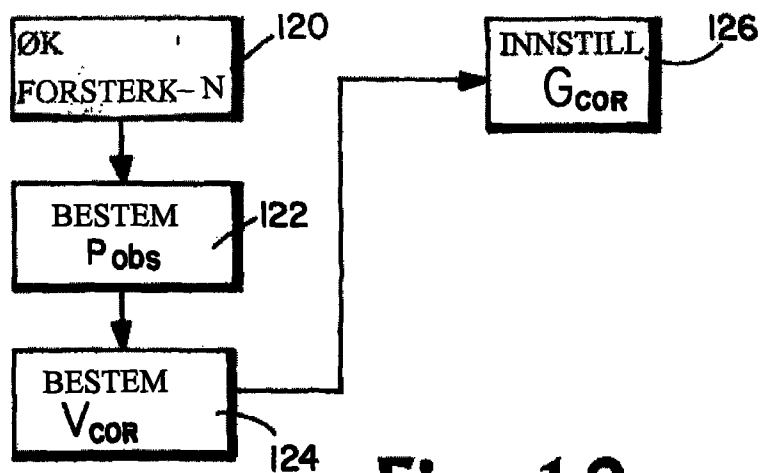


Fig. 12

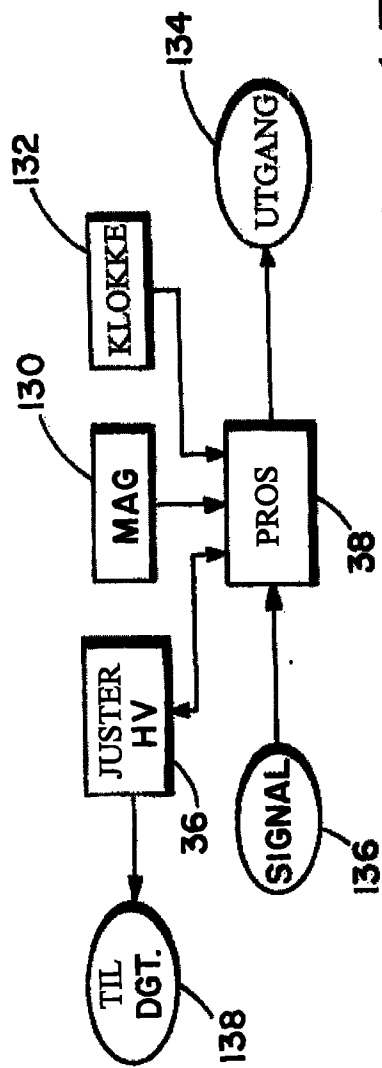


Fig. 13

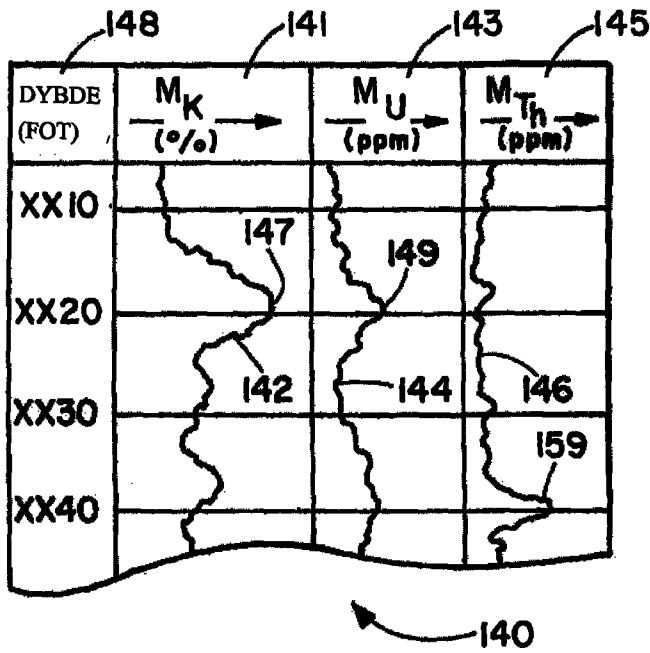


Fig. 14

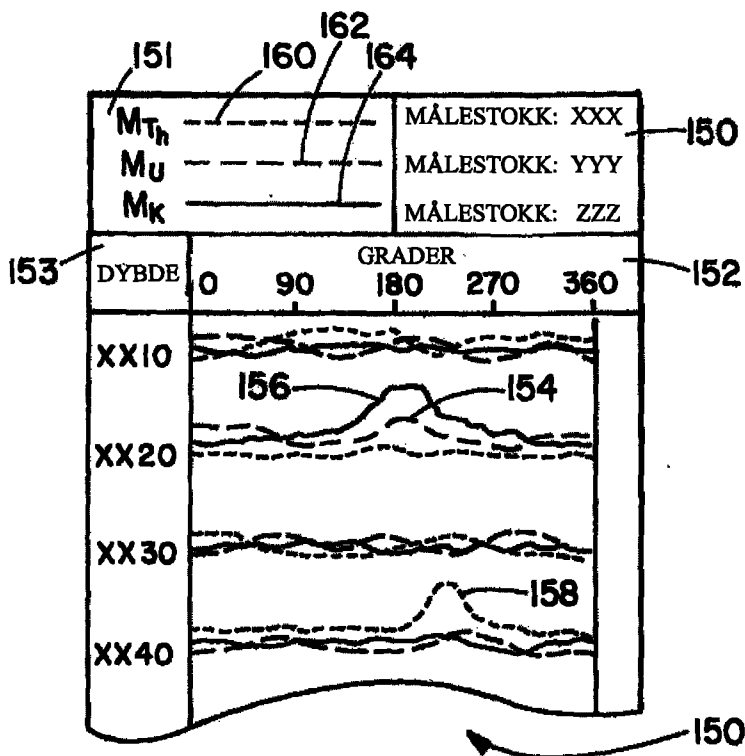


Fig. 15