



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336947

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

E21B 47/00 (2006.01)
G01V 1/50 (2006.01)

Patentstyret

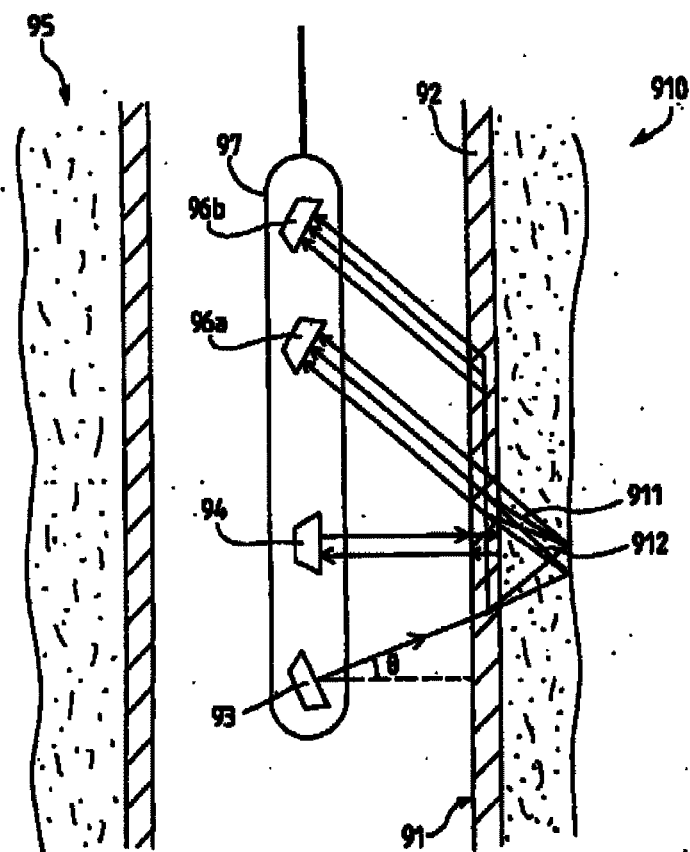
(21)	Søknadsnr	20060648	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2004.08.02 PCT/EP2004/08666
(22)	Inng.dag	2006.02.09	(85)	Videreføringsdag	2006.02.09
(24)	Løpedag	2004.08.02	(30)	Prioritet	2003.08.08, EP, 03291990
(41)	Alm.tilgj	2006.05.08			
(45)	Meddelt	2015.11.30			
(73)	Innehaver	Schlumberger Technology B.V., Parkstraat 83-89, NL-2514JG HAAG, Nederland			
(72)	Oppfinner	Emmanuel Legendre, c/o Etudes et Productuons Schlumberger, 1, rue Henri Becquerel, FR-92142 CLAMART CEDEX, Frankrike Benoit Fr%lich, c/o Etudes et Productuons Schlumberger, 1, rue Henri Becquerel, FR-F92142 CLAMART CEDEX, Frankrike Smaine Zeroug, c/o Etudes et Productuons Schlumberger, 1, rue Henri Becquerel, FR-92142 CLAMART CEDEX, Frankrike Jean-Luc le Calvez, c/o Etudes et Productuons Schlumberger, 1, rue Henri Becquerel, FR-92142 CLAMART CEDEX, Frankrike			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54) **Benevnelse** Flermodus akustisk avbildning i førede brønner

(56) **Anførte publikasjoner**
US 5377160 A
US 5924499 A
WO 9935490 A

(57) **Sammendrag**

Det sendes lyd mot et brønnføringsrør med en første akustisk bølge i en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett som inkluderer ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus. Et første ekko mottas ved en første akustisk transduser for mottak, et første signal produseres og en første måling ekstraheres fra det første signal. Det sendes deretter lyd mot foringsrøret med en annen akustisk bølge i en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi, men som er forskjellig fra den første modus. Et annet ekko mottas ved en valgt annen akustisk transduser for mottak og et annet signal produseres. En annen måling ekstraheres fra det annet signal. Sonen bak foringsrøret i brønnen evalueres fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling.



Oppfinnelsen vedrører generelt en fremgangsmåte og en anordning for akustisk avbildning av førede brønner.

I en brønnskomplettering settes et føringsrør eller et rør i en brønnboring, og et fyllmateriale, typisk sement, presses inn i et ringrom mellom føringsrøret og en formasjon. Den primære hensikt med slik sement er å separere olje- og gassproduserende lag fra hverandre, og fra vannholdige strata.

Fig. 1 viser et skjematisk diagram over en føret brønn. Den førede brønn inkluderer generelt et antall grenseflater 12_1 , 12_2 , 12_3 ved kontakt mellom forskjellige materialer i en brønnboring 11. En "første grenseflate" 12_1 eksisterer ved kontakten mellom et borehullsfluid 13 i et føringsrør 14 og føringsrøret 14. Føringsrøret 14 er typisk laget av stål. En "annen grenseflate" 12_2 er dannet mellom føringsrøret 14 og et ringrom 15 bak føringsrøret 14. Hvis sement 112 på riktig måte plasseres i ringrommet 15, eksisterer den "annen grenseflate" 12_2 mellom føringsrøret 14 og sementen 112. En "tredje grenseflate" 12_3 eksisterer mellom ringrommet 15 og en formasjon 16. Formasjonen 16 kan omfatte en flerhet av lag, eksempelvis et oljeproduserende lag 17, et gassproduserende lag 18 og et vannholdig lag 19.

Et mikroringrom 111 kan forekomme ved den annen grenseflate 12_2 , mellom føringsrøret 14 og sementen 112. En dannelse av mikroringrommet 111 skyldes en variasjon i trykk inne i føringsrøret 14. Selv om mikroringrommet 111 er tilstede, kan lagene 17, 18, 19 på riktig måte avtettes av sementen 112.

Hvis det imidlertid forekommer et hulrom 113 mellom føringsrøret og formasjonen, kan det være at sementen ikke tilveiebringer isolasjon mellom lagene 17, 18, 19. Fludier, eksempelvis olje, gass eller vann, under trykk kan migrere fra ett lag 17, 18, 19 til et annet gjennom hulrommet 113, og danne en farlig tilstand eller redusere produksjonseffektiviteten. Særlig kan migrasjon av vann inn i det oljeproduserende lag 17 under enkelte omstendigheter gjøre at en brønn ikke kan utvinnes. Videre migrasjon av olje inn i det vannholdige lag 19 miljømessig og økonomisk uønsket. Avbildning av ringrommets innhold, og særlig detektering av den tredje grenseflate 12_3 mellom ringrommet 15 og formasjonen 16, kan således være viktig for pålitelig bestemmelse av den hydrauliske isolasjon av de forskjellige lag i en formasjon.

Et annet behov for avbildning gjennom fôringsrøret eksisterer i prosessen med hydraulisk frakturering, hvilken typisk skjer etter at en brønn har blitt fôret, og brukes til å stimulere brønnen for produksjon. Fraktureringsprosessen er ofte ledsaget av sandinnstrømming, hvorved visse strata i formasjonen frigjør fin sand som strømmer gjennom fôringsrørperforeringer og inn i brønnen, og deretter opp til overflaten, hvor den kan skade produksjonsutstyr. Dette problemet kan avhjelpes hvis de samproduserende soner detekteres, hvilket f.eks. kan gjøres med en avbildningsteknologi som er i stand til å operere gjennom fôringsrøret.

Forskjellige sementevalueringsteknikker hvor det brukes akustisk energi har ved kjent teknikk blitt brukt til å undersøke en beskrivelse av en sone bak en tykk fôringsrørvegg med et verktøy som er lokalisert inne i fôringsrøret 14.

Første sementevalueringsteknikk ifølge kjent teknikk

Fig. 2 inneholder et skjematisk diagram over en første sementevalueringsteknikk som involverer akustiske bølger som har en ekstensjonsmodus inne i et fôringsrør 24. Den første sementevalueringsteknikk er beskrevet i US-patent nr. 3,401,773 tilhørende Synott, et al. Et loggeverktøy 21 som omfatter en konvensjonell sonisk transduser for sending 22 og en transduser for mottak 23 med en innbyrdes avstand i lengderetningen brukes til å undersøke en brønn 28. Begge transdusere opererer i frekvensområdet mellom omtrent 20 kHz og 50 kHz. Et fyllmateriale 25 isolerer fôringsrøret 24 fra en formasjon 26. Loggeverktøyet 21 er opphengt inne i fôringsrøret 24 med en kabel 27.

Den soniske transduser for sending 22 sender lyd mot fôringsrøret 24 med en akustisk bølge 27 som forplanter seg langs fôringsrøret 24 som en ekstensjonsmodus hvis karakteristika primært er bestemt av den sylindriske geometri til fôringsrøret og dets elastiske bølgeegenskaper. En brutt bølge 29 mottas av transduseren for mottak 23 og omformes til et mottatt signal.

Det mottatte signal prosesseres for å ekstrahere en del av det signal som påvirkes av tilstedeværelsen eller fraværet av sement 25 bak fôringsrøret 24. Den ekstraherte del analyseres deretter for å tilveiebringe en måling av dens energi, som en indikasjon på tilstedeværet eller fraværet av sement på utsiden av fôringsrøret 24. Hvis et fast stoff, eksempelvis sement, er i kontakt med fôringsrøret 24, blir amplituden av den akustiske bølge 211, som forplanter seg som en eksten-

sjonsmodus langs fôringsrøret 24, delvis redusert; energien i den ekstraherte del av det mottatte signal er følgelig relativt liten. Derimot, hvis en væske, eksempelvis slam, er i kontakt med fôringsrøret 24, blir amplituden av den akustiske bølge 211 som forplanter seg som en ekstensjonsmodus langs fôringsrøret 24 mye mindre

5 redusert; energien i den ekstraherte del av det mottatte signal er følgelig relativt høy. En tilstand, eksempelvis væske eller faststoff, av stoffet bak fôringsrøret 24 evalueres således fra verdien av den mottatte energi. Denne teknikk tilveiebringer nyttig informasjon om tilstedeværelsen eller fraværet av sementen rett ved siden av den annen grenseflate 210 mellom fôringsrøret 24 og ringrommet.

10 Den første sementevalueringsteknikk bruker imidlertid lavfrekvente lydbølger (20 til 50 kHz). De som kjenner akustisk teori generelt og sonisk borehull spesielt vil være enig i at denne fôringsrørestensjonsmodusen involverer vibrasjoner i hele den sylindriske struktur av fôringsrøret 24. Som en følge av dette er det ingen asimutal oppløsning. Resultatene kan plottes i en kurve kun som en funksjon av dybde.

15

Annen sementevalueringsteknikk ifølge kjent teknikk

Fig. 3 inneholder et skjematisk diagram over en annen sementevaluerings-
teknikk for undersøkelse av kvaliteten av en sementbinding bak et fôringsrør 32 og
20 et ringrom 38 i et borehull 39 tildannet i en formasjon 310. Den annen sementevaluerings-
teknikk er beskrevet i US-patent nr. 2,538,114 tilhørende Mason og US-
patent nr. 4,255,798 tilhørende Havira. Målingen er basert på en ultralydpulsekko-
teknikk, hvor en enkelt transduser 31, som er montert på et loggeverktøy 37, sender lyd mot fôringsrøret 32 i tilnærmet normal innfallsvinkel, og mottar reflekterte
25 ekkoer 33.

Transduseren 31 sender lyd mot fôringsrøret 32 med en akustisk bølge 34 som har en sekvens som er valgt til å stimulere et valgt radially segment av fôringsrøret 32 til en tykkelsesresonans. En del av den akustiske bølge overføres til fôringsrøret og reflekteres mellom en første grenseflate 311 og en annen grenseflate
30 35. Den første grenseflate 311 eksisterer ved kontakten mellom et borehullsfluid i et fôringsrør 32 og fôringsrøret 32. Den annen grenseflate 35 er tildannet mellom fôringsrøret 32 og ringrommet 38 bak fôringsrøret 32. En ytterligere del av den akustiske bølge forsvinner i ringrommet 38 ved hver refleksjon ved den annen

grenseflate 35, hvilket resulterer i et tap av energi for den akustiske bølge. Den akustiske bølge mister mer eller mindre energi avhengig av tilstanden til stoffet 312 bak føringsrøret 32.

5 Refleksjoner ved den første grenseflate 311 og den annen grenseflate 35 gir opphav til en reflektert bølge 33 som sendes til transduseren 31. Et mottatt signal som korresponderer til den reflekterte bølge 33 har en amplitude som svekkes med tiden. Dette signalet prosesseres til å ekstrahere en måling av amplitudens svekkingshastighet. Fra amplitudens svekkingshastighet beregnes en verdi av den akustiske impedans for stoffet bak føringsrøret 32. Verdien av impedansen for 10 vann er tilnærmet 1,5 MRayl, mens verdien av impedansen for sement typisk er høyere (f.eks. er denne impedansen nær 8 MRayl for en sement av klasse G). Hvis den beregnede impedans er under en forhåndsdefinert terskel, anses stoffet for å være vann eller slam. Og hvis den beregnede impedans er over den forhåndsdefinerte terskel, anses stoffet for å være sement, og kvaliteten av bindingen 15 mellom sementen og føringsrøret anses for å være tilfredsstillende.

Den annen sementevalueringsteknikk bruker ultralydbølger (200 til 600 kHz). De som kjennere akustisk teori generelt vil være enige i at den eksiterte føringsrørtrykkelsesmodus involverer vibrasjoner i segmentet av føringsrøret begrenset til et asimutalt område. Den annen sementevalueringsteknikk tilveiebringer 20 således romlig oppløsning, i motsetning til den første sementevalueringsteknikk.

Verdiene av impedansen kan plottes i et kart som en funksjon av en dybde og en asimutal vinkel. Dybden og den asimutale vinkel kan plottes respektivt på en første og en annen akse. Verdien av impedansen kan representeres av en farge.

25 Den første sementevalueringsteknikk og den annen sementevaluerings- teknikk tilveiebringer imidlertid hovedsakelig kun informasjon om tilstanden i det stoff som er lokalisert ved den annen grenseflate 35.

US-patent nr. 5,763,773 tilhørende Birchak et al. beskriver en loggeanordning i flere deler som består av pulsekko og pitch-catch-transdusere for å undersøke sementen på utsiden av et føringsrør. Et pitch-catch-system refererer til 30 bruken av separate sende- og mottakstransdusere hvis innrettingsvinkel i forhold til normalen på føringsrøret er forskjellig fra null (dvs. ikke-normal innfallsvinkel). Offentliggjøringen beskriver innretting av alle pitch-catch-transdusere i vinkler, som i forhold til normalen på føringsrørets innvendige vegg, er mindre enn en

kritisk vinkel for skjærbølger ved den første grenseflate mellom føringsrøret og et fluid, eksempelvis olje eller gass, som er i dette. Det er i tillegg beskrevet en fremgangsmåte for å evaluere kvaliteten av en sementtetting. Denne fremgangsmåten er basert på kvantifisering av dempingen av energien som forplanter seg mellom transdusere.

Tredje sementevalueringsteknikk ifølge kjent teknikk

En tredje sementevalueringsteknikk er beskrevet i US-patent nr. 6,483,777 tilhørende Zeroug. Fig. 4 tilveiebringer en illustrasjon av den tredje sementevalueringsteknikk. Et loggeverktøy 41 som omfatter en akustisk transduser for sending 42 og en akustisk transduser for mottak 43 som er montert deri, brukes til å undersøke en brønn 411. Transduseren for sending 42 og transduseren for mottak 43 er innrettet i en vinkel θ . Vinkelen θ måles i forhold til normalen på den lokale innvendige vegg i føringsrøret N. Vinkelen θ er større enn en kritisk vinkel for skjærbølger for en første grenseflate 41 mellom et føringsrør 44 og et fluid 47, eksempelvis olje eller gass, som er deri. Transduseren for sending 42 eksiterer således en bøye- bølge A i føringsrøret 44 ved utsending av lyd mot føringsrøret 44 med en eksitasjon som er innrettet med vinkelen θ som er større enn den kritiske vinkel for skjærbølger for den første grenseflate 46.

Bøyebølgen A forplanter seg inne i føringsrøret 44 og gir fra seg energi til fluidet 47 inne i føringsrøret 44 og til fyllmaterialet 45 bak føringsrøret 44. En del B av bøyebølgen forplanter seg inne i et ringrom 410, og kan brytes bakover ved en tredje grenseflate 412. Et ekko 49 registreres av transduseren for mottak 43. En måling av en forplantningstid kan ekstraheres fra et signal ved en utgang fra transduseren for mottak 43, korresponderende til ekkoet 49.

En hastighet av bølgen inne i ringrommet 410 kan beregnes fra forplantningstiden, forutsatt at tykkelsen av ringrommet 410 er kjent. Hastigheten til bølgen avhenger av en karakter av den akustiske bølge inne i ringrommet, hvilket i seg selv avhenger av kvaliteten av fyllmaterialet.

Hvis en ytterligere transduser for mottak (ikke vist på figuren) er tilveiebrakt ved en lokalisering på loggeverktøyet over den akustiske transduser for mottak 43, kan et ytterligere signal produseres ved en utgang fra den ytterligere transduser

for mottak. En bøyebølgedemping kan ekstraheres fra signalet og fra et ytterligere signal. Bøyebølgedempingen avhenger av kvaliteten av fyllmaterialet inne i ringrommet 410.

5 Kvaliteten av sementen bak fôringsrøret 44 kan evalueres fra hastigheten til bølgen inne i ringrommet 410 og/eller bøyebølgedempingen. Kvaliteten, eksempelvis en tilstand i stoffet, kan plottes i et kart som en funksjon av dybde og asimutal vinkel.

10 Siden delen B av bøyebølgen forplanter seg inne i ringrommet 410, tilveiebringer det korresponderende signal informasjon om stoffet i sin helhet inne i ringrommet 410, dvs. over en uavkortet avstand som separerer fôringsrøret 44 og den tredje grenseflate.

Publikasjonen US 5377160 A beskriver et sonisk brønnloggeverktøy som radially måler periferiske sementtilstander i lengderetningen langs et brønnfôringsrør. Publikasjonen US 5924499 A beskriver et system for sending og mottaking av akustiske datasignaler i en brønn inneholdende en borestreng. 15 Publikasjonen WO 9935490 A beskriver en fremgangsmåte og apparat for å benytte bøyeeksitasjoner for å karakterisere og/eller avbilde en fôret brønn.

Den foreliggende oppfinnelse vedrører en fremgangsmåte for avbildning av en beskrivelse av en sone bak et fôringsrør i en brønn, hvilken fremgangsmåte 20 bruker et loggeverktøy som kan posisjoneres inne i fôringsrøret, hvor loggeverktøyet bærer en flerhet av akustiske transdusere, hvilken fremgangsmåte er kjennetegnet ved at den omfatter:

25 sending av lyd mot fôringsrøret med en første akustisk bølge ved bruk av en første akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den første akustiske bølge har en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett av modi som er definert som følger: ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus;

30 utvelging av minst en første akustisk transduser for mottak blant flereheten av transdusere, idet den første akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som korresponderer til den første akustiske bølge;

mottaking av, ved den første akustiske transduser for mottak, det første ekko, og produsering av et første signal;

ekstrahering av en første måling fra det første signal;

5 sending av lyd mot fôringsrøret med en annen akustisk bølge ved bruk av en annen transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den annen akustiske bølge har en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi, og er forskjellig fra den første modus;

utvelging av i det minste en annen akustisk transduser for mottak blant flerheten av transdusere, idet den annen akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske bølge;

10 mottaking av, ved den annen akustiske transduser for mottak, det annet ekko og produsering av et annet signal;

ekstrahering av en annen måling fra det annet signal;

evaluering av, fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling, beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret i brønnen.

15 Den foreliggende oppfinnelse vedrører også et system for avbildning av en beskrivelse av en sone bak et fôringsrør i en brønn, hvilket system omfatter:

et loggeverktøy som kan posisjoneres inne i fôringsrøret og som bærer en flerhet av akustiske transdusere;

kjennetegnet ved at systemet videre omfatter:

20 en første akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, for å sende lyd mot fôringsrøret med en første akustisk bølge som har en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett av modi som er definert som følger: ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus;

25 en annen akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, for å sende lyd mot fôringsrøret med en annen akustisk bølge som har en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi og som er forskjellig fra den første modus;

30 minst en første akustisk transduser for mottak med en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som korresponderer til den første akustiske bølge, for å produsere et første signal;

minst en annen akustisk transduser for mottak med en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske bølge, for å produsere et annet signal;

ekstraheringsmidler for å ekstrahere en første måling og en annen måling respektivt fra det første signal og det annet signal; og

prosesseringsmidler for å evaluere en kvalitet av beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling.

5 Ytterligere utførelsesformer av fremgangsmåten og systemet fremgår av de uselvstendige patentkrav.

I et første aspekt tilveiebringer oppfinnelsen en fremgangsmåte for avbildning av en beskrivelse av en sone bak et fôringsrør i en brønn, hvilken fremgangsmåte bruker et loggeverktøy som kan posisjoneres i fôringsrøret, hvor loggeverktøyet bærer en flerhet av akustiske transdusere, fremgangsmåten omfatter sending av lyd mot fôringsrøret med en første akustisk bølge ved bruk av en første akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den første akustiske bølge har en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett av modi som er definert som følger: ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus. Minst en første akustisk transduser for mottak velges blant flerheten av transdusere, idet den første akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som korresponderer til den første akustiske bølge. Det første ekko mottas ved den første akustiske transduser for mottak, og et første signal produseres. En første måling ekstraheres fra det første signal.

10 Fremgangsmåten omfatter videre sending av lyd mot fôringsrøret med en annen akustisk bølge ved bruk av en annen transduser for sending blant flerheten av transdusere, idet den annen akustiske bølge har en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi. Den annen modus er forskjellig fra den første modus. I det minste en annen akustisk transduser for mottak velges blant flerheten av transdusere, den annen akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske bølge. Det annet ekko mottas ved den annen akustiske transduser for mottak og et annet signal produseres. En annen måling ekstraheres fra det annet signal. Beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret i brønnen evalueres fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling.

20
25
30

I en første foretrukket utførelse, karakteriseres beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret av en kvalitet av et fyllmateriale som er anordnet i et ringrom mellom fôringsrøret og en formasjon.

I en annen foretrukket utførelse er den første modus en bøyemodus og den annen modus er en tykkelsesmodus.

I en tredje foretrukket utførelse er den første måling en måling av en forplantningstid og den annen måling er en måling av en amplitudesvekkingshastighet med tid.

I en fjerde foretrukket utførelse beregnes en verdi av en impedans for stoffet inne i ringrommet og en verdi av en hastighet for en kompresjonsbølge inne i ringrommet fra målingen av forplantningstiden og målingen av amplitudens svekkingshastighet. En verdi av en tetthet for stoffet inne i ringrommet evalueres fra den beregnede verdi av den akustiske impedans og den beregnede verdi av kompresjonsbølgens hastighet.

I en femte foretrukket utførelse velges en ytterligere akustisk transduser for mottak blant flerheten av akustiske transduser. Den ytterligere akustiske transduser for mottak er forskjellig fra den første akustiske transduser for mottak. Den ytterligere akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et ytterligere ekko som korresponderer til den første akustiske bølge. Det ytterligere ekko mottas ved den ytterligere akustiske transduser for mottak, og et ytterligere signal produseres. En måling av en første amplitude ekstraheres fra det første signal og en måling av en ytterligere amplitude ekstraheres fra det ytterligere signal.

I en sjette foretrukket utførelse beregnes en flerhet av observerte parametere i det minste fra målingen av forplantningstiden og målingen av amplitudens svekkingshastighet. Et sett av kvalitetshendelser for stoffet inne i ringrommet defineres. For hver kvalitetshendelse beregnes en a posteriori sannsynlighet for kvalitetshendelsen for de beregnede verdier av de observerte parametere. Den mest sannsynlige kvalitetshendelse velges.

I en sjuende foretrukket utførelse estimeres en flerhet av kvalitetsparametere fra den valgte kvalitetshendelse og fra de beregnede verdier av de observerte parametere.

I en åttende foretrukket utførelse omfatter flerheten av observerte parametere en impedans for stoffet inne i ringrommet, en tilsynelatende hastighet av den første akustiske bølge og en bøyebølgedemping av den første akustiske bølge langs føringsrøret. Flerheten av kvalitetsparametere omfatter en tetthet av stoffet

inne i ringrommet, en skjærbølgehastighet av den første akustiske bølge gjennom stoffet og en kompresjonsbølgehastighet av den første akustiske bølge gjennom stoffet.

5 I en niende foretrukket utførelse er den første modus en bøyemodus og den annen modus er en ekstensjonsmodus.

I en tiende foretrukket utførelse sendes det lyd mot fôringsrøret med en tredje akustisk bølge ved bruk av en tredje akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den tredje akustiske bølge har en tredje modus, den tredje modus er forskjellig fra den første modus og den annen modus. 10 En tredje akustisk transduser for mottak velges, den første transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et tredje ekko som korresponder til den tredje akustiske bølge. Det tredje ekko mottas ved den tredje akustiske transduser og et tredje signal produseres. En tredje måling ekstraheres fra det tredje signal. Beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret i brønnen evalueres fra en kombi- 15 nasjon av den første måling, den annen måling og den tredje måling.

Fyllmaterialet er fortrinnsvis sement.

I en ellefte foretrukket utførelse blir loggeverktøyet styrt og rotert inne i fôringsrøret for å evaluere beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret innenfor et område av dybder og asimutale vinkler.

20 I et annet aspekt tilveiebringer oppfinnelsen et system for avbildning av en sammensetning av en sone bak et fôringsrør i en brønn, hvilket system omfatter et loggeverktøy som kan posisjoneres inne i fôringsrøret og som bærer en flerhet av akustiske transdusere. Systemet omfatter videre en første akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, for sending av lyd mot fôrings- 25 røret med en første akustisk bølge som har en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett av modi som er definert som følger: ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus. Systemet omfatter videre en annen akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere for sending av lyd mot fôringsrøret med en annen akustisk bølge som har en annen modus som kan 30 være en hvilken som helst modus i settet av modi, og som er forskjellig fra den første modus. Systemet omfatter videre minst en første akustisk transduser for mottak blant flerheten av akustiske transdusere. Den første akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som kor-

responderer med den første akustiske bølge. Den første akustiske transduser for mottak produserer et første signal. Systemet omfatter videre minst en annen akustisk transduser for mottak blant flerheten av akustiske transduser med en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den
5 annen akustiske bølge. Den annen akustiske transduser for mottak produserer et annet signal. Systemet omfatter videre ekstraheringsmidler for å ekstrahere en første måling og en annen måling respektivt fra det første signal og det annet signal. Systemet omfatter videre prosesseringsmidler for å evaluere en kvalitet av sammensetningen av sonen bak fôringsrøret fra en kombinasjon av den første
10 måling og den annen måling.

I en tolvte foretrukket utførelse er den første akustiske transduser for sending og den første akustiske transduser for mottak innrettet i en vinkel som er større enn en kritisk vinkel for skjærbølger for en grenseflate mellom fôringsrøret og et fluid inne i fôringsrøret, idet vinkelen måles i forhold til en normal på den lokale
15 innvendige vegg i fôringsrøret.

I en trettende foretrukket utførelse er den annen akustiske transduser for sending rettet mot normalen på den lokale innvendige vegg i fôringsrøret. Den annen akustiske transduser for sending har et frekvensspektrum som er valgt til å stimulere et valgt radiale segment av fôringsrøret til en tykkelsesresonans.

I en fjortende foretrukket utførelse omfatter systemet videre en ytterligere akustisk transduser for mottak blant flerheten av akustiske transduser med en lokalisering som er tilpasset til å motta en ytterligere akustisk bølge som korresponderer til den første akustiske bølge. Den ytterligere akustiske transduser for mottak er forskjellig fra den første akustiske transduser for mottak. Den ytterligere
20 akustiske transduser for mottak reduserer et ytterligere signal.

I en femtende foretrukket utførelse omfatter systemet videre en oppstilling av transduserelementer som er lokalisert på en periferi av loggeverktøyet, for å sende lyd mot fôringsrøret i det minste med den første akustiske bølge og den annen akustiske bølge i forplantning inne i fôringsrøret med respektivt den første
25 modus og den annen modus.

Andre aspekter og fordeler ved oppfinnelsen vil fremgå av den følgende beskrivelse og de vedheftede krav.

Kort beskrivelse av tegningene:

Fig. 1 inneholder et skjematisk diagram av en fôret brønn ifølge kjent teknikk.

Fig. 2 inneholder et skjematisk diagram av en første sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

5 Fig. 3 inneholder et skjematisk diagram av en annen sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

Fig. 4 inneholder et skjematisk diagram av en tredje sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

10 Fig. 5A viser en graf av simulerte målinger av akustisk impedans i henhold til en annen sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

Fig. 5B viser en graf av simulert evaluering av en tilstand i et stoff i henhold til en annen sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

Fig. 6A viser en graf av simulerte målinger av akustisk impedans i henhold til en tredje sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

15 Fig. 6B viser en graf av simulert evaluering av en tilstand i et stoff i henhold til en tredje sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk.

Fig. 7 tilveiebringer et flytskjema av en eksemplifiserende fremgangsmåte for avbildning av et ringromsinhold i henhold til den foreliggende oppfinnelse.

20 Fig. 8A viser en graf av simulerte målinger av akustisk impedans som en funksjon av simulerte målinger av bøyebølgedemping i henhold til oppfinnelsen.

Fig. 8B viser en graf av simulert evaluering av en tilstand i henhold til oppfinnelsen.

Fig. 9 inneholder en illustrasjon av en eksemplifiserende anordning i henhold til den foreliggende oppfinnelse.

25 Fig. 10 illustrerer en annen eksemplifiserende utførelse av den foreliggende oppfinnelse.

Generell oversikt

30 Hver og en av sementevaluerings-teknikkene ifølge kjent teknikk tilveiebringer én eller flere målinger med en relativt høy usikkerhet. Feil kan opptre når tilstanden i fyllmaterialet inne i ringrommet evalueres fra målingen.

Fig. 5A viser en graf av simulerte verdier av akustisk impedans i henhold til den annen sementevaluerings-teknikk ifølge kjent teknikk. En flerhet av sett av

karakteristika som korresponderer til en flerhet av stoffer er tilveiebrakt. For et bestemt sett av karakteristika beregnes en verdi av akustisk impedans. En flerhet av verdier av akustisk impedans plottes således i grafen på fig. 5A. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en flytende tilstand, plottes en sirkel. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand, plottes et kryss.

Det kan i grafen på fig. 5A observeres at et sett av tegn for et stoff i en fast tilstand kan tilveiebringe en i hovedsak lav verdi av akustisk impedans, eksempelvis mellom 1 MRayl og 2 MRayl. Disse verdier er lokalisert med et samme område av verdier som en flerhet av verdier av akustisk impedans som er tilveiebrakt for stoffene i en væsketilstand. Estimering av tilstanden i et stoff fra en bestemt verdi av en korresponderende beregnet impedans kan generere feil.

Fig. 5B viser en graf av simulert evaluering av en tilstand fra den annen sementevalueringsteknikk. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et bestemt stoff, beregnes en korresponderende verdi av akustisk impedans, som i fig. 5A. En sannsynlighet for at stoffet er i en væsketilstand evalueres fra de korresponderende beregnede verdier av akustisk impedans. En flerhet av sannsynligheter for å være i en væsketilstand plottes som en funksjon av den simulerte akustiske impedans. For et bestemt sett av karakteristika for et bestemt stoff i en flytende tilstand, plottes en sirkel. For et bestemt sett av karakteristika for et bestemt stoff i en fast tilstand, plottes et kryss.

Det kan fra grafen på fig. 5B observeres at et sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand kan tilveiebringe en sannsynlighet for å være i en væsketilstand som er høyere enn 0,5. Videre, et sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand og et sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en væsketilstand kan ha svært nære simulerte sannsynligheter for å være i en væsketilstand. En blandet sone 51 kan defineres, idet den blandede sone omfatter plott som korresponderer til et stoff i en væsketilstand og en flerhet av plott som korresponderer til et stoff i en fast tilstand. Det kan være at evaluering av tilstanden til ett bestemt stoff som har et korresponderende plott inne i den blandede sone ikke er pålitelig.

Fig. 6A viser en graf av simulerte verdier av bøyebølgedemping i henhold til den tredje sementevalueringsteknikk ifølge kjent teknikk. En flerhet av verdier av

bøyebølgedemping beregnes fra en flerhet av sett av karakteristika som korresponderer til en flerhet av stoffer. Flerheten av verdier av bøyebølgedemping plottes på grafen på fig. 6A. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et bestemt stoff i en flytende tilstand, plottes en sirkel. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et bestemt stoff i en fast tilstand, plottes et kryss.

Tilsvarende kan det i grafen på fig. 6A observeres at et sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand kan tilveiebringe en i hovedsak lav verdi av bøyebølgedemping, eksempelvis under 1 dB/cm, tilsvarende til dempingen i en væske. Estimering av tilstanden i et bestemt stoff fra verdien av den korresponderende simulerte bøyebølgedemping kan generere feil.

Fig. 6B viser et plott av en flerhet av verdier av en sannsynlighet for å være i en væsketilstand. For et bestemt sett av karakteristika evalueres verdien av sannsynligheten for å være i en væsketilstand fra en korresponderende verdi av en bøyebølgedemping. For et bestemt sett av karakteristika for et bestemt stoff i en flytende tilstand, plottes en sirkel. For et bestemt sett av karakteristika for et bestemt stoff i en fast tilstand, plottes et kryss.

Det kan observeres at et sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand kan ha sannsynligheter for å være i en væsketilstand som er høyere enn 0,5. En blandet sone 61 kan defineres, idet den blandede sone omfatter plott som korresponderer til et stoff i en væsketilstand og en flerhet av plott som korresponderer til et stoff i en fast tilstand. Det kan være at evaluering av tilstanden til et bestemt stoff som har et korresponderende plott inne i den blandede sone ikke er pålitelig.

Videre, en ny sement som har en lavere tetthet enn konvensjonelle sementer har blitt utviklet, og brukes i økende grad for å fylle ringrommet bak føringsrøret. Som en konsekvens av den lavere tetthet, har den nye sementen en relativt lav akustisk impedans som i hovedsak kan være lik 3 MRayl. Denne verdien av den akustiske impedans er relativt nær verdien av den akustiske impedans for vannet. Usikkerheten som er relatert til den akustiske impedans i den første sementevalueringsteknikk og den annen sementevalueringsteknikk er slik at evalueringen av tilstanden i stoffet kan være enda mindre pålitelig enn hvis det brukes konvensjonell sement med en impedans på 8 MRayl.

Oppfinnelsen tilveiebringer en fremgangsmåte og en anordning for forbedring av påliteligheten ved evalueringen av en beskrivelse av en sone bak fôringsrøret.

Fig. 7 tilveiebringer et flytskjema over en eksemplifiserende fremgangsmåte for avbildning av en beskrivelse av en sone bak et fôringsrør i en brønn i henhold til den foreliggende oppfinnelse. Fremgangsmåten bruker et loggeverktøy som kan posisjoneres inne i fôringsrøret i brønnen. Loggeverktøyet bærer en flerhet av akustiske transdusere. En første akustisk transduser for sending blant flerheten av transdusere sender lyd mot 72 fôringsrøret med en første akustisk bølge. Den første akustiske bølge emitteres med en forhåndsbestemt frekvens og en forhåndsbestemt vinkel i forhold til en normal på fôringsrøret, for å forplante seg inne i fôringsrøret med en første modus. Den første modus kan være en hvilken som helst modus blant et sett av modi som er definert som følger: ekspansjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus. I det minste en første akustisk transduser for mottak velges 71 blant flerheten av transdusere. Den første akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som korresponderer til den første akustiske bølge. Den første akustiske transduser for mottak registrerer 73 det første ekko og produserer et første signal ved en utgang.

Signalet ved utgangen fra den første akustiske transduser for mottak er et elektrisk signal som har en amplitude som er en funksjon av en akustisk amplitude for det ekko som ses av den første akustiske transduser for mottak.

En annen akustisk transduser for sending blant flerheten av transdusere sender lyd mot 74 fôringsrøret med en annen akustisk bølge. Den annen akustiske bølge emitteres med en forhåndsbestemt frekvens og en forhåndsbestemt vinkel i forhold til en normal på fôringsrøret, for å forplante seg inne i fôringsrøret med en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi. Den annen modus er forskjellig fra den første modus. Minst en annen akustisk transduser for mottak velges 79. Den annen akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske bølge. Den annen akustiske transduser for mottak mottar det annet ekko og produserer 75 ved en utgang et annet signal som korresponderer til den annen akustiske bølge.

Det første signal og det annet signal analyseres: en første måling ekstraheres 76 fra det første signal og en annen måling ekstraheres fra det annet signal 77.

5 En beskrivelse av sonen bak fôringsrøret evalueres 78 fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling. Beskrivelsen av sonen kan karakteriseres ved en kvalitet av et fyllmateriale, eksempelvis sement, som er anordnet i et ringrom. Kvaliteten av fyllmaterialet avhenger av en tilstand i et stoff inne i ringrommet: hvis stoffet er en flytende tilstand, kan sementen omfatte et hulrom eller en utetthet.

10 Ved fremgangsmåtene ifølge kjent teknikk, evalueres kvaliteten av fyllmaterialet fra kun en enkelt måling, eller fra en flerhet av målinger som ekstraheres fra et enkelt signal som korresponderer til en enkelt bølge. Fremgangsmåten i henhold til den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en mer pålitelig evaluering av tilstanden i stoffet inne i hulrommet, siden en enkelt evaluering utføres fra en flere-
15 het av målinger som avledes fra en flerhet av akustiske bølger.

Fig. 8A viser en graf av simulerte verdier av bøyebølgedemping som en funksjon av simulerte verdier av akustisk impedans i henhold til den foreliggende oppfinnelse. En flerhet av sett av karakteristika som korresponderer til en flerhet av stoffer er tilveiebrakt. For hvert sett av karakteristika plottes den simulerte verdi av bøyebølgedempingen som en funksjon av den korresponderende simulerte
20 verdi av den akustiske impedans. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en flytende tilstand, plottes en sirkel. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand, plottes et kryss.

Ved sammenlikning av grafene på fig. 5A og 6A, kan det observeres at plott som korresponderer til et stoff i en væsketilstand er mye mer separert fra plott som korresponderer til et stoff i en fast tilstand enn i grafene ifølge kjent teknikk.
25

Fig. 8B viser en graf av evaluerte sannsynligheter for å være i en væsketilstand simulert fra settet av karakteristika på fig. 8A. For hvert sett av karakteristika, evalueres en sannsynlighet for at det korresponderende stoff er i en væsketilstand fra den korresponderende simulerte verdi av bøyebølgedempingen og den korresponderende simulerte verdi av den akustiske impedans. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en flytende tilstand, plottes en
30

sirkel. For et bestemt sett av karakteristika som korresponderer til et stoff i en fast tilstand, plottes et kryss.

5 Ved sammenlikning av grafene på fig. 5B og 6B, kan det observeres at kun noen få plott som korresponderer til et stoff i en fast tilstand oppviser en sannsynlighet for å være væske som er større enn 0,5. Videre, de plott som korrespon-

10 derer til et stoff i en væsketilstand er mye mer isolert fra de plott som korresponderer til et stoff i en fast tilstand enn i grafene ifølge kjent teknikk. En sone 81 med væsketilstand kan defineres, idet sonen med væsketilstand kun omfatter plott som korresponderer til stoff i en væsketilstand. Estimering av en tilstand i et stoff bak et

10 fôringsrør er således mer pålitelig med fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse enn med fremgangsmåtene ifølge kjent teknikk.

Første eksemplifiserende utførelse

15 Fig. 9 inneholder en illustrasjon av en eksemplifiserende anordning i henhold til den foreliggende oppfinnelse. En beskrivelse av en sone bak et fôringsrør 92 evalueres ved estimering av en kvalitet i et fyllmateriale inne i et ringrom mellom fôringsrøret 92 og en formasjon. Et loggeverktøy 97 er anordnet inne i fôringsrøret 92 i en brønn 910. Loggeverktøyet 97 omfatter en første transduser for sending 93 og en annen transduser for sending 94.

20 Loggeverktøyet kan beveges langs en vertikal akse inne i fôringsrøret, og kan roteres rundt den vertikale akse, hvilket tilveiebringer en evaluering av beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret innenfor et område av dybder og asimutale vinkler.

25 Den første transduser for sending 93 sender lyd mot fôringsrøret 92 med en første akustisk bølge. I denne eksemplifiserende utførelse emitteres den første akustiske bølge med en vinkel θ i forhold til en normal på fôringsrøret 92 som er større enn en kritisk vinkel for skjærbølger for den første grenseflate 91. Den første akustiske bølge forplantes således inne i fôringsrøret 92 overveiende som en bøyemodus. En del av energien i den første akustiske bølge overføres til ringrommet 95. En ytterligere del av energien brytes inne i fôringsrøret 92.

30

En første transduser for mottak 96a og en ytterligere transduser for mottak 96b mottar respektivt et første ekko og produserer respektivt et første signal og et ytterligere signal som korresponderer til den første akustiske bølge. Den første

transduser for mottak 96a og den ytterligere transduser for mottak 96b kan være lokalisert på en vertikal akse for loggeverktøyet 97.

Etter den første akustiske bølge, sender den annen transduser for sending 94 lyd mot føringsrøret 92 med en annen akustisk bølge. I denne eksemplifiserende utførelse kan den annen transduser for sending 94 brukes som en annen transduser for mottak 94. Den annen transduser for sending 94 er hovedsakelig rettet mot en normal på føringsrøret 92, og den annen akustiske bølge har en frekvens som er valgt for å stimulere et valgt radiallyt segment av føringsrøret 92 til en tykkelsesresonans.

Den annen transduser for mottak 94 mottar et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske bølge.

I en første alternativ utførelse kan den annen transduser for sending sende lyd mot føringsrøret med en annen akustisk bølge som har en ekstensjonsmodus, eller en hvilken som helst modus som er forskjellig fra den første modus.

I en annen alternativ utførelse sendes den første og den annen akustiske bølge samtidig henholdsvis fra den første og den annen transduser for sending. Den første transduser for mottak registrerer et første råsignal. Det første råsignal kan representeres som en sum av et første signal og et annet signal som respektivt korresponderer til den første akustiske bølge og den annen akustiske bølge. Det første råsignal prosesseres for å separere det første signal fra det annet signal. I den annen alternative utførelse kan den første transduser for mottak brukes som den annen transduser for mottak. Det første signal og det annet signal ekstraheres fra et enkelt første råsignal som registreres ved en enkelt første transduser for mottak.

I en tredje alternativ utførelse, sendes den første akustiske bølge og den annen akustiske bølge samtidig respektivt fra den første og den annen transduser for sending. Den første transduser for mottak er forskjellig fra den annen transduser for mottak. Den første transduser for mottak og den annen transduser for mottak registrerer respektivt et første og et annet råsignal. Både det første og det annet råsignal kan representeres som en vektet sum av et første og et annet mottatt signal som respektivt korresponderer til den første og den annen akustiske bølge. Både det første og det annet råsignal prosesseres for å separere det første og det annet mottatte signal. Prosesseringen tilveiebringer således fire signaler: et

separert første signal fra den første transduser for mottak, et separert annet signal fra den første transduser for mottak, et separert første signal fra den annen transduser for mottak og et separert annet signal fra den annen transduser for mottak. Et første signal dannes fra verdiene av det separerte første signal fra den første transduser for mottak og det separerte første signal fra den annen transduser for mottak. Tilsvarende dannes et annet signal fra verdiene av det separerte annet signal fra den første transduser for mottak og det separerte annet signal fra den annen transduser for mottak. Den tredje alternative utførelse tilveiebringer en mer pålitelig evaluering av de første og andre signaler enn den annen alternative utførelse.

I en fjerde alternativ utførelse er en tredje transduser for sending og en tredje transduser for mottak anordnet ved to atskilte lokaliseringer langs en akse i et loggeverktøy. Den tredje transduser for sending sender lyd mot føringsrøret med en tredje akustisk bølge. Den tredje akustiske bølge forplanter seg med en tredje modus, eksempelvis en ekstensjonsmodus, idet den tredje modus er forskjellig fra den første modus og den annen modus. Den tredje transduser for mottak produserer et tredje signal som korresponderer til et tredje ekko fra den tredje akustiske bølge. En tredje måling ekstraheres fra det tredje signal. Kvaliteten av fyllmaterialet evalueres fra en kombinasjon av den første måling, den annen måling og den tredje måling.

I en femte alternativ utførelse sendes det lyd mot et føringsrør med minst fire bølger, idet hver bølge har en forskjellig modus. En flerhet av akustiske transduser er anordnet ved en flerhet av lokaliseringer på et loggeverktøy, idet hver lokalisering avhenger av en korresponderende modus. Minst fire målinger ekstraheres fra fire signaler som korresponderer respektivt til de fire bølger. Kvaliteten av fyllmaterialet evalueres fra en kombinasjon av de fire målinger.

Prosesseringstrinn

Det første signal og det annet signal registreres og analyseres. Prosesseringsmidler ekstraherer en første måling og en annen måling respektivt fra det første signal og det annet signal. En flerhet av observerte parametere beregnes fra den første måling og den annen måling.

I denne eksemplifiserende utførelse kan den annen måling være en verdi av en amplitudesvekkingshastighet for det annet signal. Verdien av amplitudesvekkingshastigheten tilveiebringer en verdi av en akustisk impedans for et stoff inne i ringrommet 95.

5 En måling av en ytterligere amplitude ekstraheres i denne utførelse fra det ytterligere signal, og en måling av en første amplitude ekstraheres fra det første signal. En verdi av en bøyebølgedemping av den første akustiske bølge langs føringsrøret 92 beregnes fra målingen av den ytterligere amplitude og målingen av den første amplitude.

10 Den første måling kan være en verdi av en forplantningstid. Verdien av forplantningstiden gjør det mulig å beregne en verdi av en tilsynelatende hastighet av bølgen inne i ringrommet.

Den tilsynelatende hastighet kan være en skjærbølgehastighet, en kompresjonsbølgehastighet, eller en blandet hastighet for de to typer av bølger. Hvis ringrommet 95 er fylt med gass, kan ingen detekterbar akustisk bølge forplante seg inne i gassen. Hvis ringrommet 95 er fylt med en væske, eksempelvis vann eller slam, kan kun en kompresjonsbølge forplante seg inne i fluidet. I målingen som er basert på bøyemodus, hvis ringrommet 95 er fylt med en sement med høy tetthet, kan kun en skjærbølge forplante seg gjennom sementstoffet. Hvis ringrommet 95 er fylt med sement som har en lav tetthet, kan både skjærbølgen og kompresjonsbølgen forplante seg gjennom sementstoffet.

Den tilsynelatende hastighet kan være en blandet hastighet kun i dette sistnevnte tilfelle. Den blandede hastighet korresponderer til en blanding av en skjær-kompresjonsbølge 912 og en kompresjons-skjærbølge 911. Skjær-kompresjonsbølgen 912 forplanter seg forover med en skjærmodus og bakover med en kompresjonsmodus. Kompresjons-skjærbølgen 911 forplanter seg forover med en kompresjonsmodus og bakover med en skjærmodus. Skjær-kompresjonsbølgen 912 og kompresjons-skjærbølgen 911 kan nå den første transduser for mottak samtidig, hvilket genererer en enkelt komponent av signalet. Det kan således måles en enkelt hastighet v_{pssp} .

For et fast stoff, så som sement, er kompresjonsbølgehastigheten generelt betydelig høyere enn skjærbølgehastigheten. For eksempel er kompresjonsbølgehastigheten i hovedsak lik 3300 m/s, mens skjærbølgehastigheten i hovedsak er

lik 1800 m/s. En karakter av den tilsynelatende hastighet (skjær, kompresjon eller blandet) kan evalueres direkte fra verdien av den tilsynelatende hastighet. I dette sistnevnte tilfelle kan kvaliteten av fyllmaterialet evalueres ved estimering av en tilstand i stoffet inne i ringrommet (fast eller væske).

5

Evalueringstrinn

I den utførelse som er vist på fig. 9, evalueres kvaliteten av fyllmaterialet ved estimering både av tilstanden i stoffet inne i ringrommet og karakteren av den tilsynelatende hastighet. Det foretas ingen beslutning om karakteren av den tilsynelatende hastighet før estimeringen av kvaliteten av fyllmaterialet inne i ringrommet. Hvis stoffet inne ringrommet er i en flytende tilstand, kan kun en kompresjonsbølge forplante seg. Et sett av kvalitetshendelser som omfatter fire kvalitetshendelser betraktes således:

(a) Stoffet inne i ringrommet er i en flytende tilstand og den tilsynelatende hastighet er en kompresjonsbølgehastighet;

(b) Stoffet inne i ringrommet er i en fast tilstand og den tilsynelatende hastighet er en kompresjonsbølgehastighet;

(c) Stoffet inne i ringrommet er i en fast tilstand og den tilsynelatende hastighet er en skjærbølgehastighet;

(d) Stoffet inne i ringrommet er i en fast tilstand og den tilsynelatende hastighet er en blandet hastighet.

Ingen gasstilstand betraktes, siden de akustiske bølger praktisk talt ikke forplanter seg gjennom gass.

Kvaliteten av fyllmaterialet inne i ringrommet 95 evalueres fra de beregnede verdier av både bøyebølgedempingen og den akustiske impedans.

I denne eksemplifiserende utførelse kan en sannsynlighetstetthetsfunksjon av de observerte parametere (bøyebølgedempingen og den akustiske impedans), idet man kjenner kvalitetshendelsen, approksimeres analytisk fra kunnskap om sementering. A posteriori sannsynligheter for hver kvalitetshendelse, idet man har målt den observerte impedans og den observerte bøyebølgedemping, kan således evalueres ved bruk f.eks. av en metode som er kjent som Bayes regel, eller en hvilken som helst annen metode.

Når sannsynlighetene for hver kvalitetshendelse er evaluert, foretas det en beslutning vedrørende tilstanden i stoffet inne i ringrommet 95 og karakteren av den tilsynelatende hastighet, i henhold til de evaluerte a posteriori sannsynligheter.

Et siste trinn i denne utførelse består i estimering av en flerhet av kvalitetsparametere, eksempelvis tettheten ρ , skjærbølgéhastigheten v_s og kompresjonsbølgehastigheten v_p , fra den evaluerte tilstand, den observerte akustiske impedans, den observerte bøyebølgedemping og fra den tilsynelatende hastighet v_a .

I en annen utførelse kan det f.eks. brukes nevrale nettverk til å fremskaffe minst én kvalitetsparameter, eksempelvis en karakter av en tilsynelatende hastighet for en bølge gjennom ringrommet 95, fra de ekstraherte målinger.

Annen eksemplifiserende utførelse

Fig. 10 illustrerer en annen eksemplifiserende utførelse av den foreliggende oppfinnelse. I denne eksemplifiserende utførelse omfatter et loggeverktøy 100 en oppstilling 101 av transduserelementer 102. Hvert transduserelement 102 er i stand til å sende et signal i henhold til en instruksjon fra en krets (ikke vist). Ved påføring av forsinkelser på de sendte signaler, kan en styring i en forhåndsbestemt retning være mulig. I det minste et første transduserelement for sending sender lyd mot et føringsrør 103 i en brønn 104 med en første akustisk bølge som har en forhåndsbestemt vinkel i forhold til normalen på føringsrøret. Den første akustiske bølge forplanter seg således inne i føringsrøret med en første modus. Den første modus kan være en av de følgende modi: ekstensjonsmodus, bøyemodus og tykkelsesmodus. Minst et første transduserelement for mottak blant oppstillingen 101 av transduserelementer 102 registrerer et første signal som korresponderer til den første akustiske bølge.

Tilsvarende, etter registreringen av det første signal, emitteres en annen akustisk bølge ved hjelp av minst ett annet transduserelement for sending i oppstillingen 101 av transduserelementet 102. En retning av den annen akustiske bølge bestemmes i henhold til forsinkelsene av sendte signaler. Den annen akustiske bølge forplanter seg således inne i føringsrøret 103 med en annen modus. Den annen modus er forskjellig fra den første modus. Minst ett annet transduserelement for mottak blant oppstillingen 101 av transduserelementer 102 registrerer et annet signal som korresponderer til den annen akustiske bølge.

Det første og det annet signal prosesseres deretter for respektivt å ekstrahere en første måling og en annen måling.

En kvalitet av et stoff 105 inne i et ringrom 106 som omgir føringsrøret 103, så som en tilstand i stoffet 105, evalueres fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling.

Oppstillingen av transdusere behøver ikke å roteres inne i føringsrøret for å tilveiebringe en evaluering av beskrivelsen av sonen som omgir føringsrøret. Ved elektronisk utvelgning av transduserelementene for sending langs oppstillingens omkrets, blir ultralydbølgen elektronisk rotert.

I en annen alternativ utførelse kan kvalitetsparameteren være en tetthet til et stoff inne i ringrommet. En første måling ekstraheres fra et første mottatt signal. Den første måling kan tilveiebringe en verdi av den akustiske impedans for stoffet. Tilsvarende kan en annen måling tilveiebringe en verdi av en hastighet av en bølge gjennom ringrommet. En verdi av tettheten kan evalueres fra en kombinasjon av verdien av den akustiske impedans og verdien av hastigheten. Verdien av tettheten kan evalueres ved at den settes lik et forhold mellom verdien av den akustiske impedans og verdien av hastigheten.

Målingen kan være et hvilket som helst data som ekstraheres fra minst ett signal, som når det kombineres med en annen måling, kan brukes til å tilveiebringe en evaluering av beskrivelsen av sonen bak føringsrøret i brønnen, eksempelvis amplituden av en topp av signalet, en forplantningstid, osv.

De observerte parametere kan være en hvilken som helst parameter som kan beregnes fra minst én måling, eksempelvis impedansen i stoffet inne i ringrommet, den tilsynelatende hastighet, bøyedempingen, osv. Kvalitetshendelsen kan være en hvilken som helst hendelse som gjør det mulig å evaluere beskrivelsen av sonen bak føringsrøret. Kvalitetshendelsen er typisk tilstanden i stoffet inne i ringrommet (fast, væske eller gass). Kvalitetshendelsen kan også omfatte karakteren av den tilsynelatende hastighet (skjær, kompresjon eller blandet).

Kvalitetsparametrene kan være en hvilken som helst parameter som karakteriserer en utside av føringsrøret, så som en skjærbølgehastighet av en akustisk bølge bak føringsrøret, en tetthet av stoffet bak føringsrøret, osv.

Beskrivelsen av sonen bak føringsrøret kan være en hvilken som helst karakteristikk av utsiden av føringsrøret. Beskrivelsen av sonen bak føringsrøret om-

fatter kvaliteten av fyllmaterialet. Kvaliteten av fyllmaterialet avhenger typisk av tilstanden i stoffet inne i ringrommet. Kvaliteten av fyllmaterialet kan imidlertid karakteriseres ved en hvilken som helst kvalitetsparameter som tilveiebringer informasjon om en isolerende kapasitet til stoffet inne i fôringsrøret, så som den 5 akustiske impedans eller tettheten av stoffet inne i fôringsrøret. Beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret kan også karakteriseres ved en hvilken som helst parameter som tilveiebringer informasjon om et lag eller en sandproduserende sone.

Selv om oppfinnelsen har blitt beskrevet med hensyn på et begrenset antall utførelser, vil fagpersoner innen teknikken, som har fordel av å ha denne offentlig- 10 gjøring, forstå at det kan tenkes ut andre utførelser som ikke avviker fra omfanget av oppfinnelsen slik den her er beskrevet. Omfanget av oppfinnelsen skal følgelig begrenses kun av de vedføyde krav.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for avbildning av en beskrivelse av en sone bak et fôringsrør i en brønn, hvilken fremgangsmåte bruker et loggeverktøy som kan posisjoneres inne i fôringsrøret, hvor loggeverktøyet bærer en flerhet av akustiske transdusere, hvilken fremgangsmåte er
- 5 karakterisert ved at den omfatter:
- sending av lyd mot (72) fôringsrøret med en første akustisk bølge ved bruk av en første akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den første akustiske bølge har en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett av modi som er definert som følger: ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøyemodus;
 - utvelging (71) av minst en første akustisk transduser for mottak blant flerheten av transdusere, idet den første akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som korresponderer til den første
 - 15 akustiske bølge;
 - mottaking (73) av, ved den første akustiske transduser for mottak, det første ekko, og produsering av et første signal;
 - ekstrahering (76) av en første måling fra det første signal;
 - 20 sending av lyd mot (74) fôringsrøret med en annen akustisk bølge ved bruk av en annen transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den annen akustiske bølge har en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi, og er forskjellig fra den første modus;
 - utvelging (79) av i det minste en annen akustisk transduser for mottak blant
 - 25 flerheten av transdusere, idet den annen akustiske transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske bølge;
 - mottaking (75) av, ved den annen akustiske transduser for mottak, det annet ekko og produsering av et annet signal;
 - 30 ekstrahering (77) av en annen måling fra det annet signal;
 - evaluering (78) av, fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling, beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret i brønnen.

2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1,
karakterisert ved at beskrivelsen av sonen bak føringsrøret (92)
karakteriseres ved en kvalitet av et fyllmateriale som er anordnet i et ringrom (95)
mellom føringsrøret (92) og en formasjon.
- 5
3. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 2,
karakterisert ved at den første modus er en bøyemodus;
den annen modus er en tykkelsesmodus.
- 10
4. Fremgangsmåte som angitt i krav 3,
karakterisert ved at:
den første måling er en måling av en forplantningstid;
den annen måling er en måling av en amplitudesvekkingshastighet med tid.
- 15
5. Fremgangsmåte som angitt i krav 4,
karakterisert ved at den videre omfatter:
beregning av en verdi av en impedans i et stoff inne i ringrommet og en
verdi av en hastighet av en kompresjonsbølge inne i ringrommet fra målingen av
forplantningstiden, og målingen av amplitudesvekkingshastigheten;
20 evaluering av en verdi av en tetthet av stoffet inne i ringrommet fra den be-
regnede verdi av den akustiske impedans og den beregnede verdi av kompre-
sjonsbølgehastigheten.
- 25
6. Fremgangsmåte som angitt i krav 4,
karakterisert ved at den videre omfatter:
utvelging, blant flerheten av akustiske transdusere, en ytterligere akustisk
transduser for mottak (96b), idet den ytterligere akustiske transduser for mottak
(96b) er forskjellig fra den første akustiske transduser for mottak (96a), den ytter-
ligere akustiske transduser for mottak (96b) har en lokalisering som er tilpasset til
30 å motta et ytterligere ekko som korresponderer til den første akustiske bølge;

mottaking av, ved den ytterligere akustiske transduser for mottak (96b), det ytterligere ekko og produsering av et ytterligere signal;

ekstrahering av en måling av en første amplitude fra det første signal og en måling av en ytterligere amplitude fra det ytterligere signal.

5

7. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 4 eller 6, karakterisert ved at den videre omfatter:

beregning av en flerhet av observerte parametere, i det minste fra målingen av forplantningstiden og målingen av amplitudesvekkingshastigheten;

10

definering av et sett av kvalitetshendelser for et stoff inne i ringrommet;

beregning av, for hver kvalitetshendelse, en a posteriori sannsynlighet for kvalitetshendelsen for de beregnede verdier av de observerte parametere;

utvelging av en mest sannsynlig kvalitetshendelse.

15

8. Fremgangsmåte som angitt i krav 7,

karakterisert ved at den videre omfatter:

estimering av minst en kvalitetsparameter fra den valgte kvalitetshendelse og fra de beregnede verdier av de observerte parametere.

20

9. Fremgangsmåte som angitt i krav 8,

karakterisert ved at:

flerheten av observerte parametere omfatter en impedans for stoffet inne i ringrommet (15, 38, 410, 95, 106) og en bøyebølgedemping av den første akustiske bølge (A) langs føringsrøret (14, 24, 32, 44, 92, 103);

25

en flerhet av kvalitetsparametere estimeres, idet flerheten av kvalitetsparametere omfatter en tetthet av stoffet inne i ringrommet (15, 38, 410, 95, 106), en skjærbølgehastighet for den første akustiske bølge gjennom stoffet og en kompresjonsbølgehastighet for den første akustiske bølge gjennom stoffet.

30

10. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 2,

karakterisert ved at den første modus er en bøyemodus;

den annen modus er en ekstensjonsmodus.

11. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 10,
karakterisert ved at den videre omfatter:

5 sending av lyd mot fôringsrøret med en tredje akustisk bølge ved bruk av en tredje akustisk transduser for sending blant flerheten av akustiske transdusere, idet den tredje akustiske bølge har en tredje modus, den tredje modus er forskjellig fra den første modus og den annen modus;

utvelging av en tredje akustisk transduser for mottak, idet den første transduser for mottak har en lokalisering som er tilpasset til å motta et tredje ekko som korresponderer til den tredje akustiske bølge;

10 mottaking av, ved den tredje akustiske transduser, det tredje ekko og produsering av et tredje signal;

ekstrahering av en tredje måling fra det tredje signal;

evaluering av, fra en kombinasjon av den første måling, den annen måling og den tredje måling, beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret i brønnen.

15

12. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 11,
karakterisert ved at:

fyllmaterialet er sement.

20 13. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 12,
karakterisert ved at den videre omfatter:

styring og rotering av loggeverktøyet inne i fôringsrøret for å evaluere beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret innenfor et område av dybder og asimutale vinkler.

25

14. System for avbildning av en beskrivelse av en sone bak et fôringsrør (92) i en brønn, hvilket system omfatter:

et loggeverktøy (97) som kan posisjoneres inne i fôringsrøret (92) og som bærer en flerhet av akustiske transdusere;

30 karakterisert ved at systemet videre omfatter:

en første akustisk transduser for sending (93) blant flerheten av akustiske transduser, for å sende lyd mot fôringsrøret (92) med en første akustisk bølge som har en første modus som kan være en hvilken som helst modus i et sett av modi som er definert som følger: ekstensjonsmodus, tykkelsesmodus, bøye-
 5 modus;

en annen akustisk transduser for sending (94) blant flerheten av akustiske transduser, for å sende lyd mot fôringsrøret (92) med en annen akustisk bølge som har en annen modus som kan være en hvilken som helst modus i settet av modi og som er forskjellig fra den første modus;

10 minst en første akustisk transduser for mottak (96a) med en lokalisering som er tilpasset til å motta et første ekko som korresponderer til den første akustiske bølge, for å produsere et første signal;

minst en annen akustisk transduser for mottak (94) med en lokalisering som er tilpasset til å motta et annet ekko som korresponderer til den annen akustiske
 15 bølge, for å produsere et annet signal;

ekstraheringsmidler for å ekstrahere en første måling og en annen måling respektivt fra det første signal og det annet signal; og

prosesseringsmidler for å evaluere en kvalitet av beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret (92) fra en kombinasjon av den første måling og den annen måling.

20

15. System som angitt i krav 14,
 k a r a k t e r i s e r t v e d a t beskrivelsen av sonen bak fôringsrøret (62) karakteriseres ved en kvalitet av et fyllmateriale som er anordnet i et ringrom (95) mellom fôringsrøret (62) og en formasjon.

25

16. System som angitt i et av kravene 14 eller 15,
 k a r a k t e r i s e r t v e d a t den første akustiske transduser for sending (93) og den første akustiske transduser for mottak (96a) er innrettet i en vinkel som er større enn en kritisk vinkel for skjærbølger for en grenseflate (91) mellom fôrings-
 30 røret (92) og et fluid inne i fôringsrøret (92), idet vinkelen måles i forhold til en normal på den lokale innvendige vegg i fôringsrøret (92).

17. System som angitt i et av kravene 14 til 16,
karakterisert ved at den annen akustiske transduser for sending (94)
er rettet mot normalen på den lokale innvendige vegg i føringsrøret (92);

5 den annen akustiske transduser for sending (94) har et frekvensspektrum
som er valgt til å stimulere et valgt radially segment av føringsrøret (92) til en tykkelsesresonans.

18. System som angitt i et av kravene 14 til 17,
karakterisert ved at det videre omfatter:

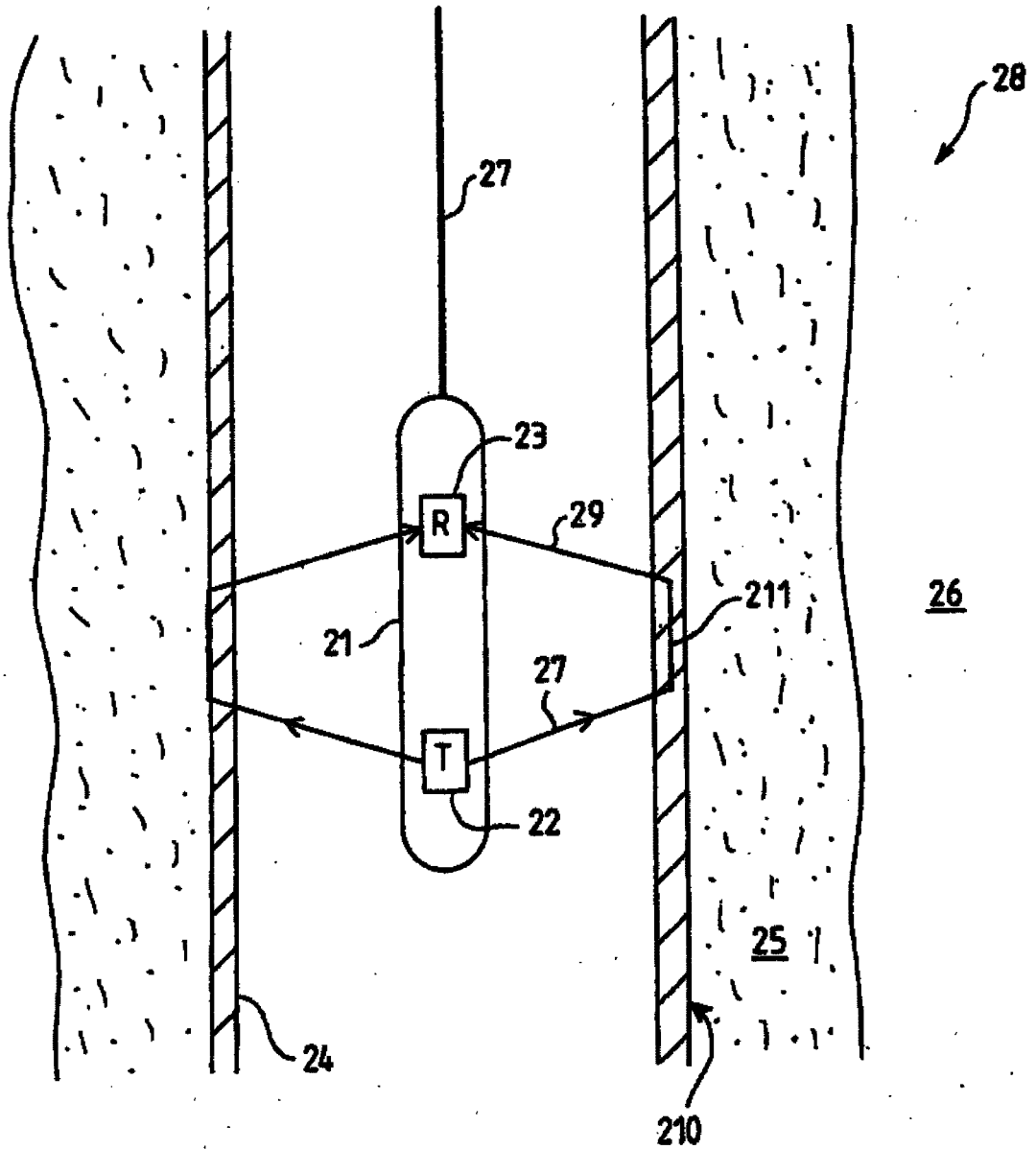
10 en ytterligere akustisk transduser for mottak (96b) blant flerheten av akustiske transduser, idet den ytterligere akustiske transduser for mottak (96b) har en lokalisering som er tilpasset til å motta en ytterligere akustisk bølge som korresponderer til den første akustiske bølge, idet den ytterligere akustiske transduser for mottak (96b) er forskjellig fra den første akustiske transduser for mottak (96a),
15 for å produsere et ytterligere signal.

19. System som angitt i et av kravene 14 til 18,
karakterisert ved at det videre omfatter:

20 en oppstilling (101) av transduserelementer som er lokalisert på en periferi av loggeverktøyet, for å sende lyd mot føringsrøret (103) i det minste med den første akustiske bølge og den annen akustiske bølge som forplanter seg inne i føringsrøret (103) med henholdsvis den første modus og den annen modus.

20. System som angitt i et av kravene 14 til 19,
25 karakterisert ved at:

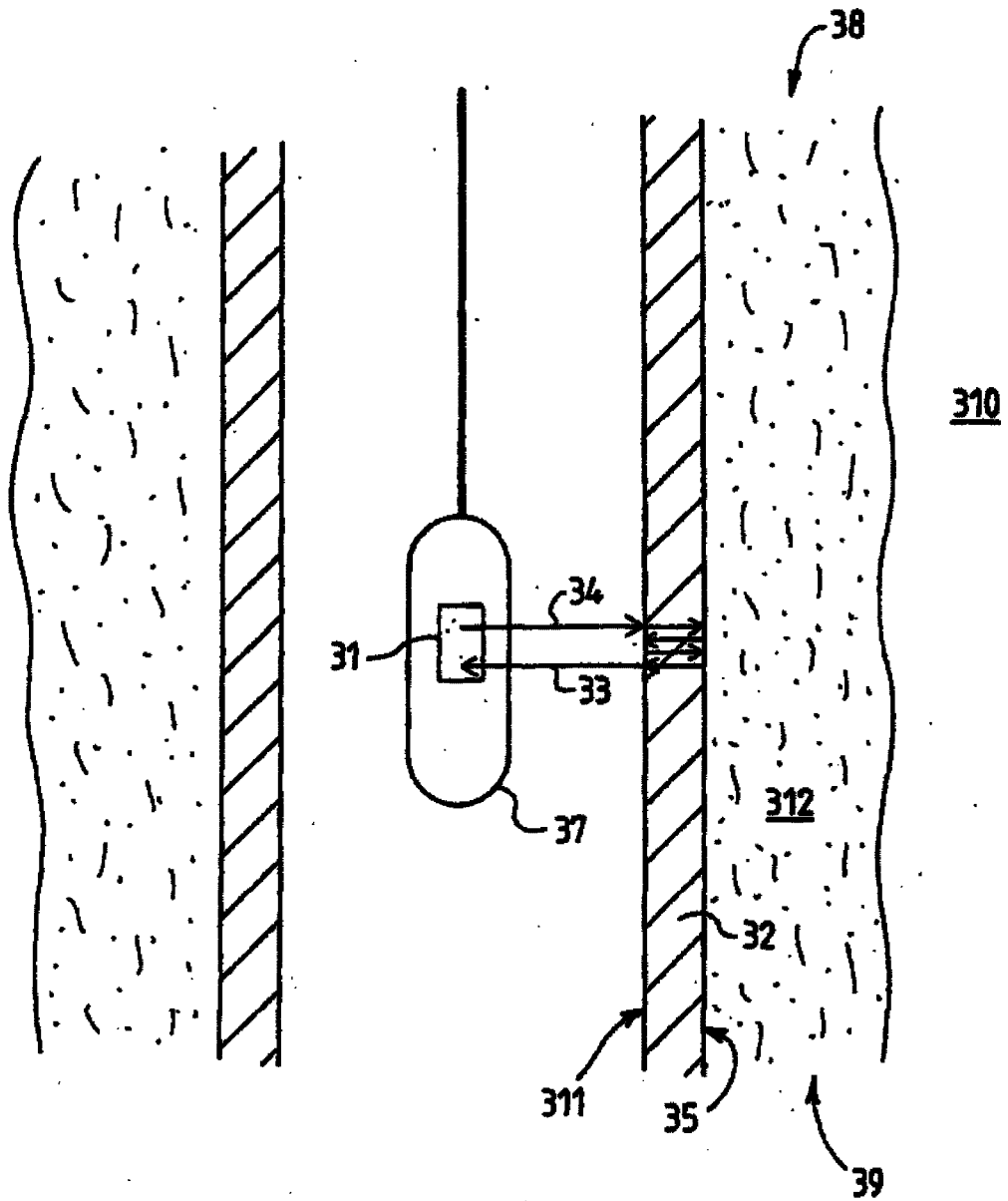
fyllmaterialet er sement.



KJENT TEKNIKK

FIG.2

3/13



KJENT TEKNIKK

FIG.3

5/13

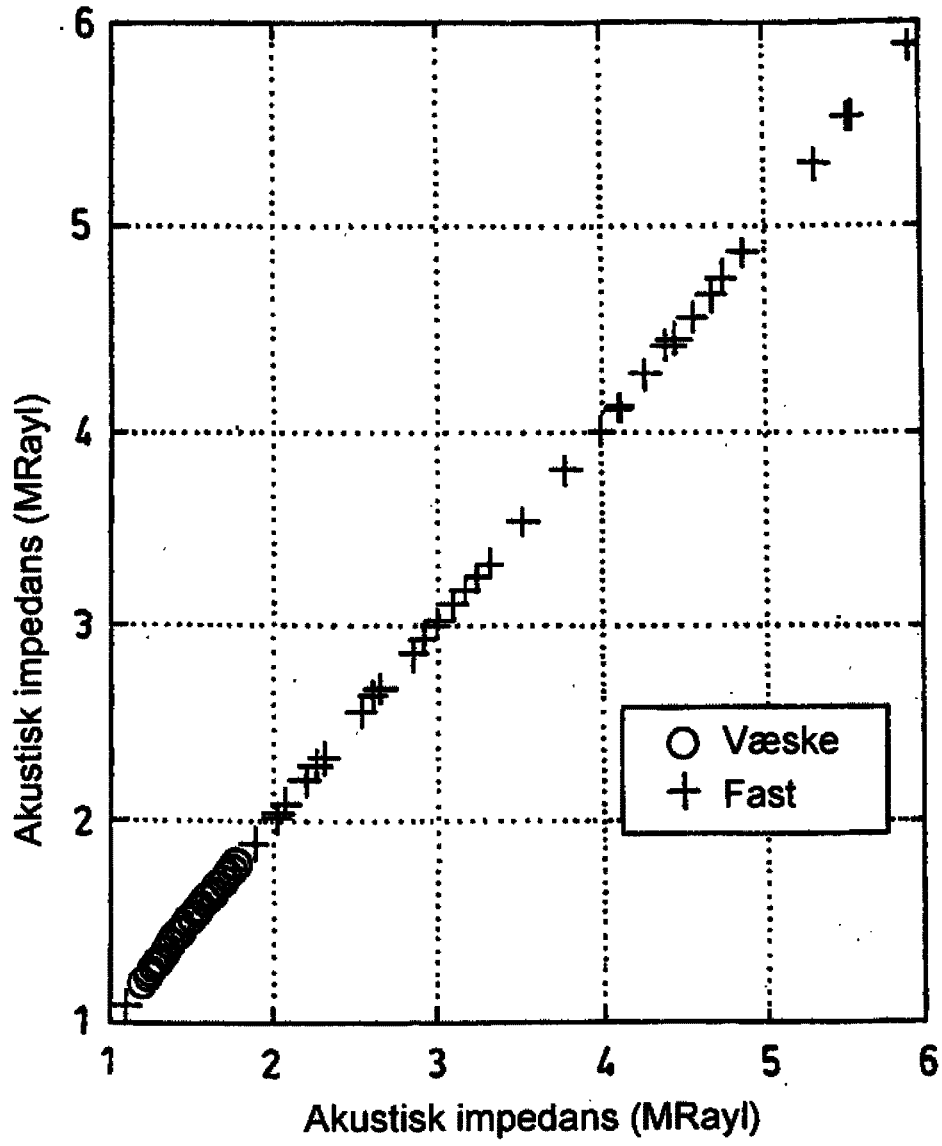


FIG.5A

6/13

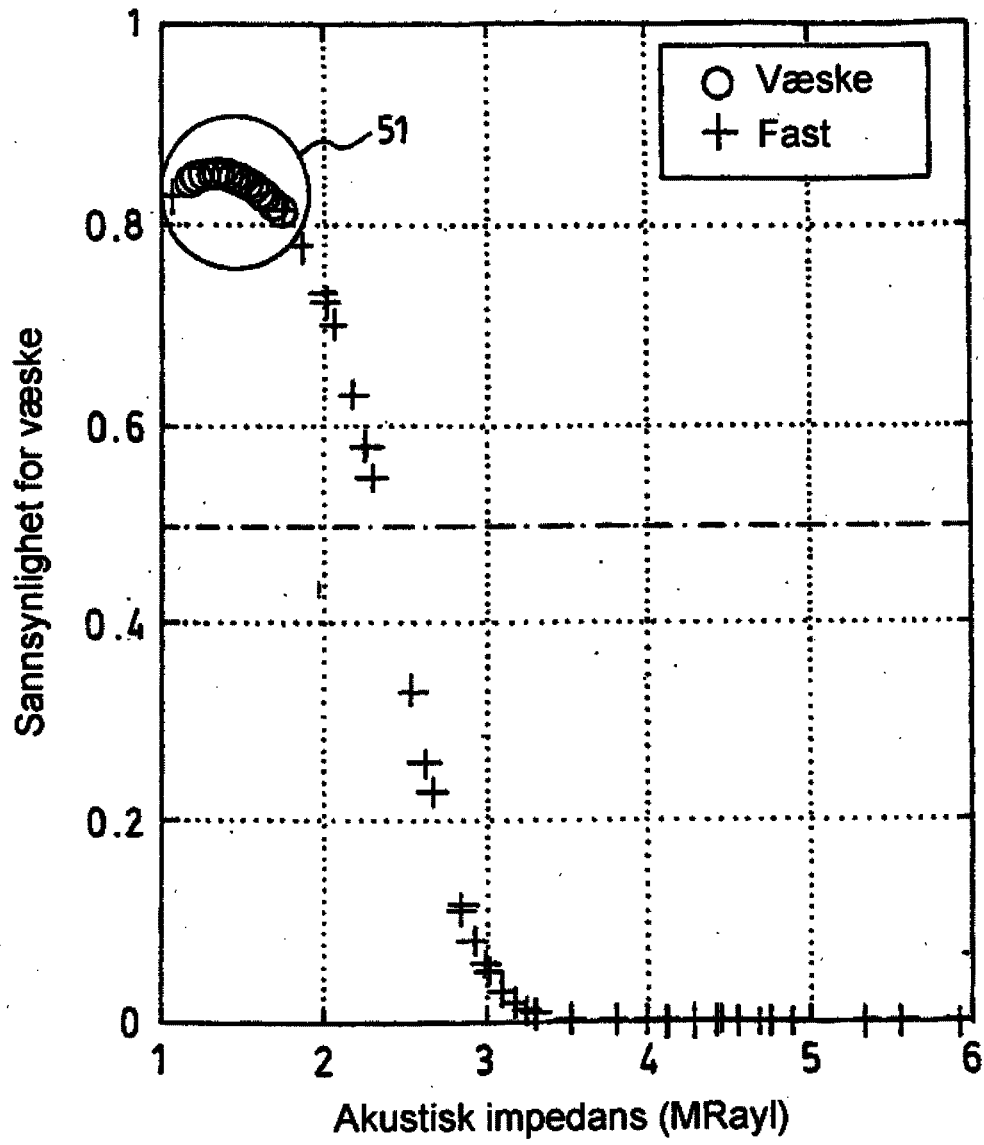


FIG.5B

7/13

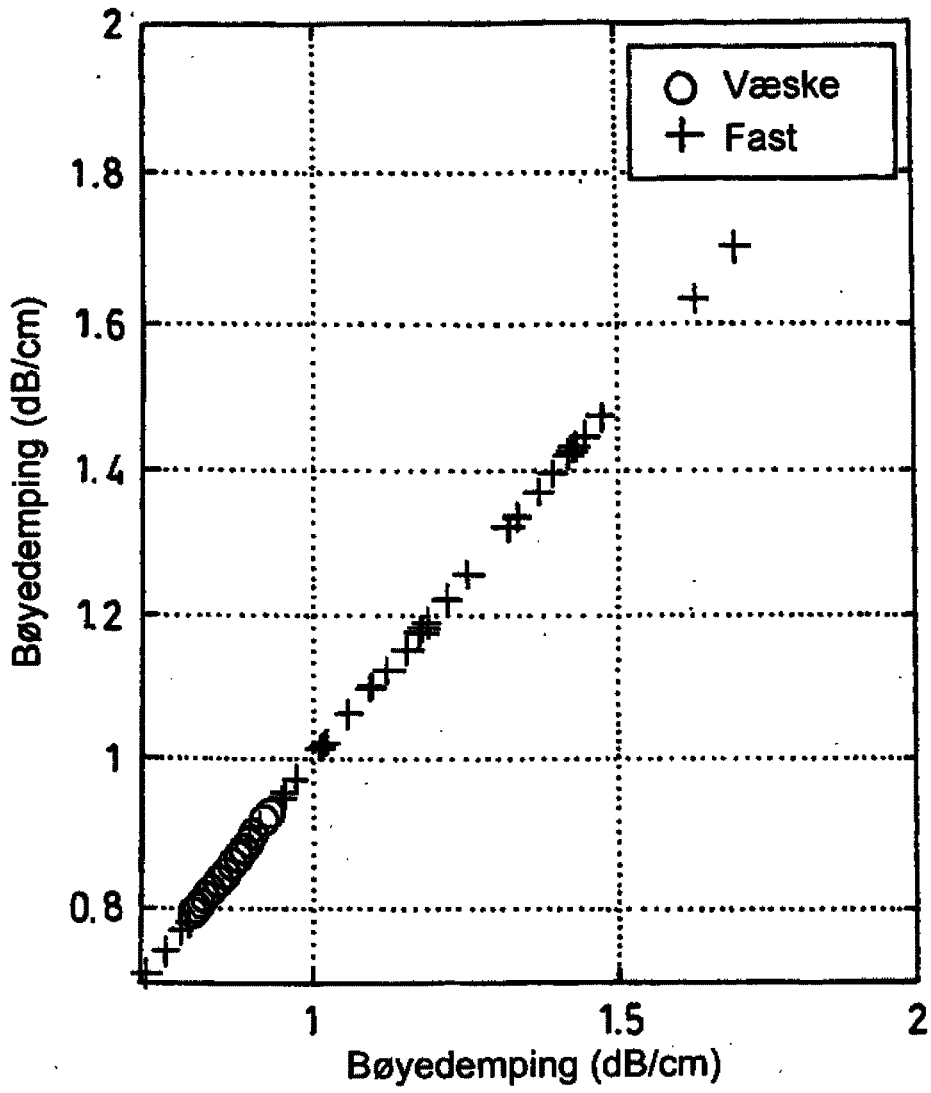


FIG.6A

8/13

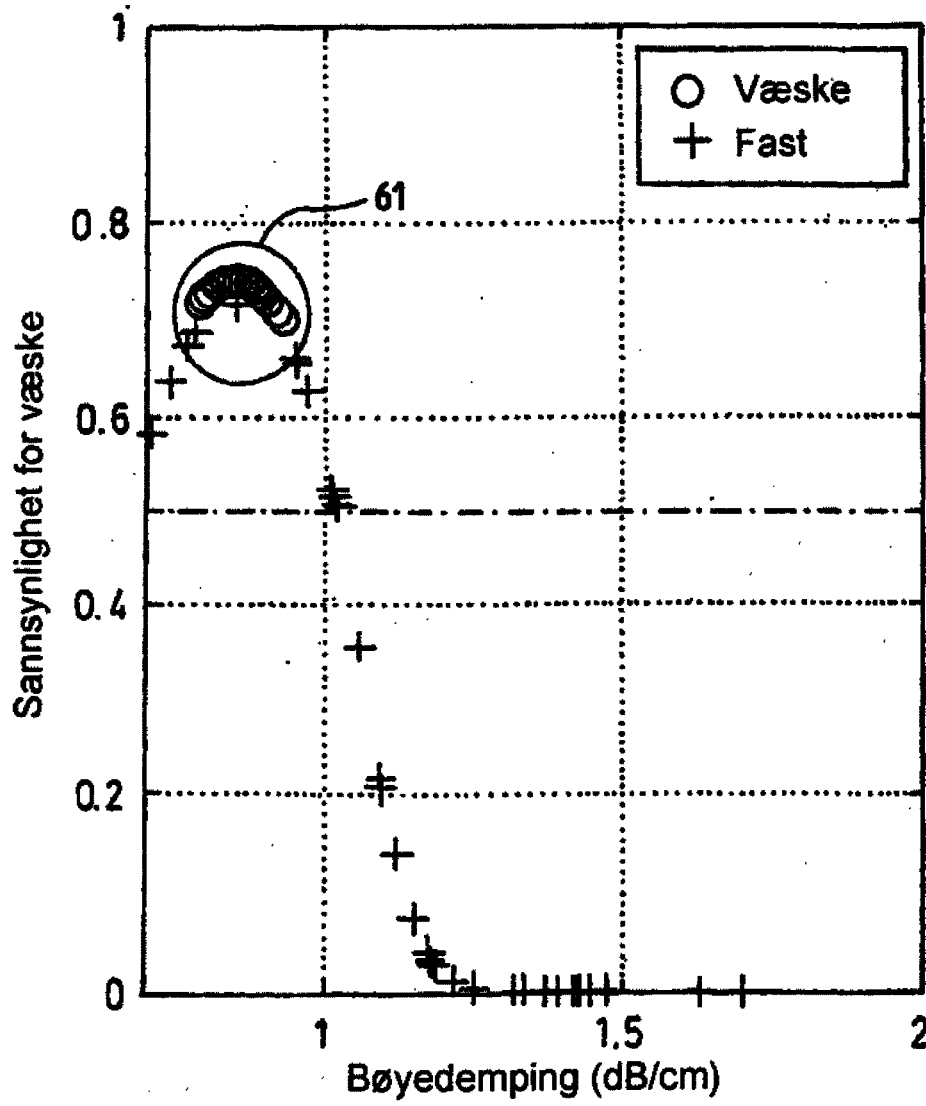


FIG. 6B

9/13

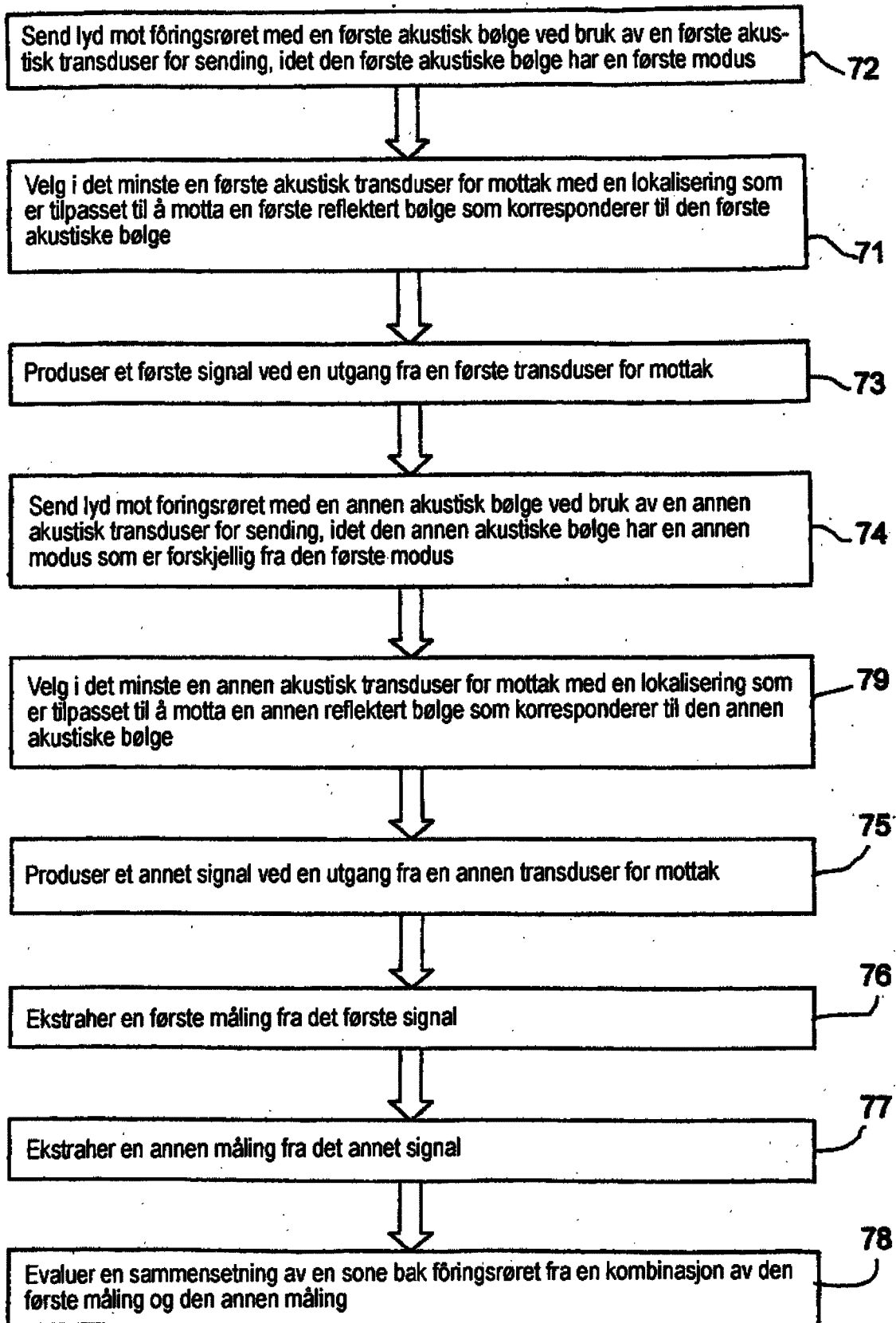


FIG.7

10/13

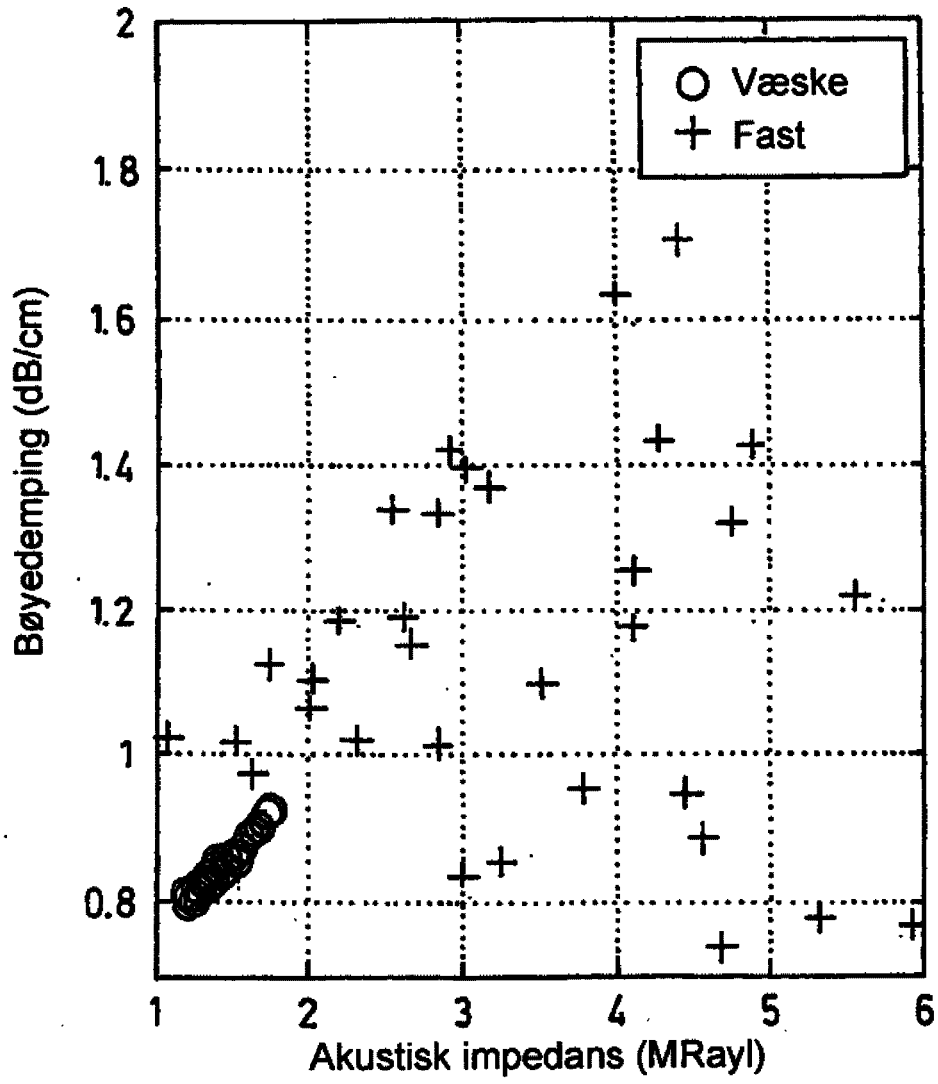


FIG.8A

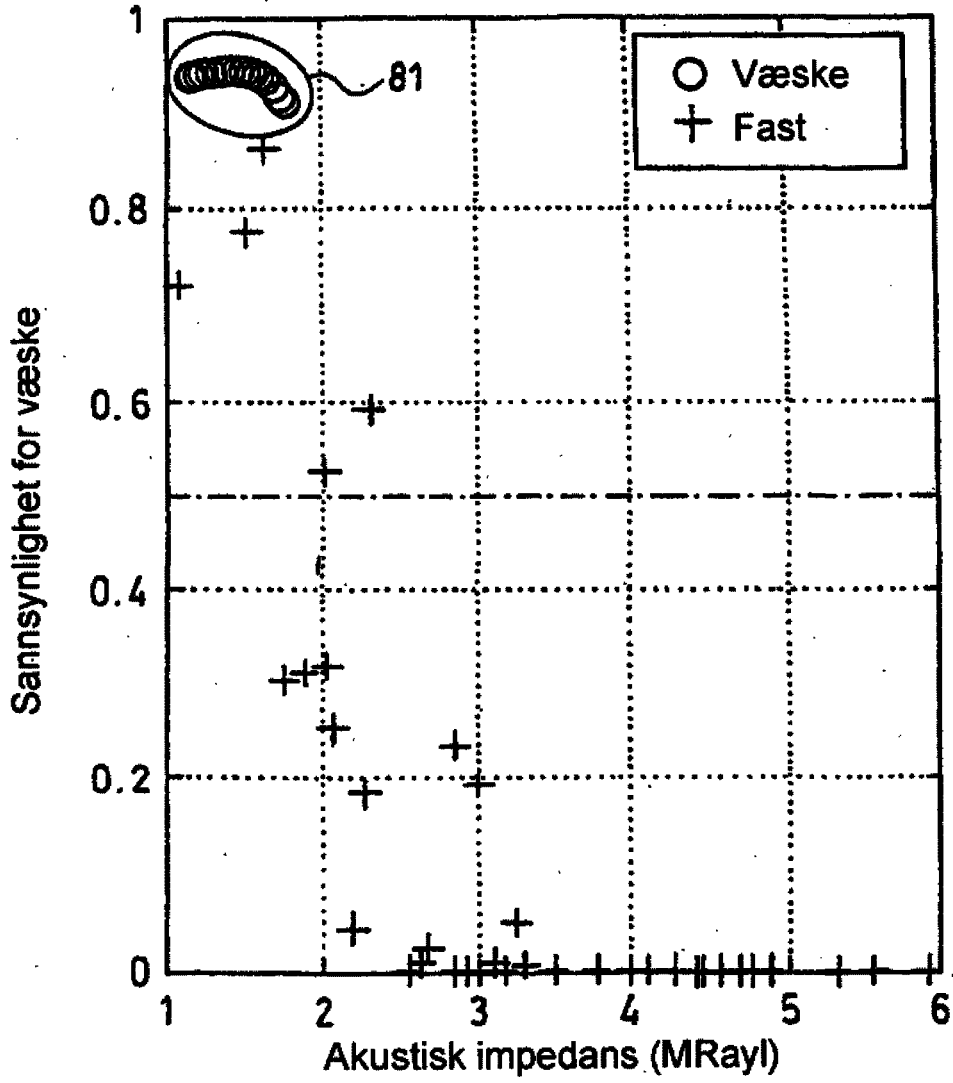


FIG.8B

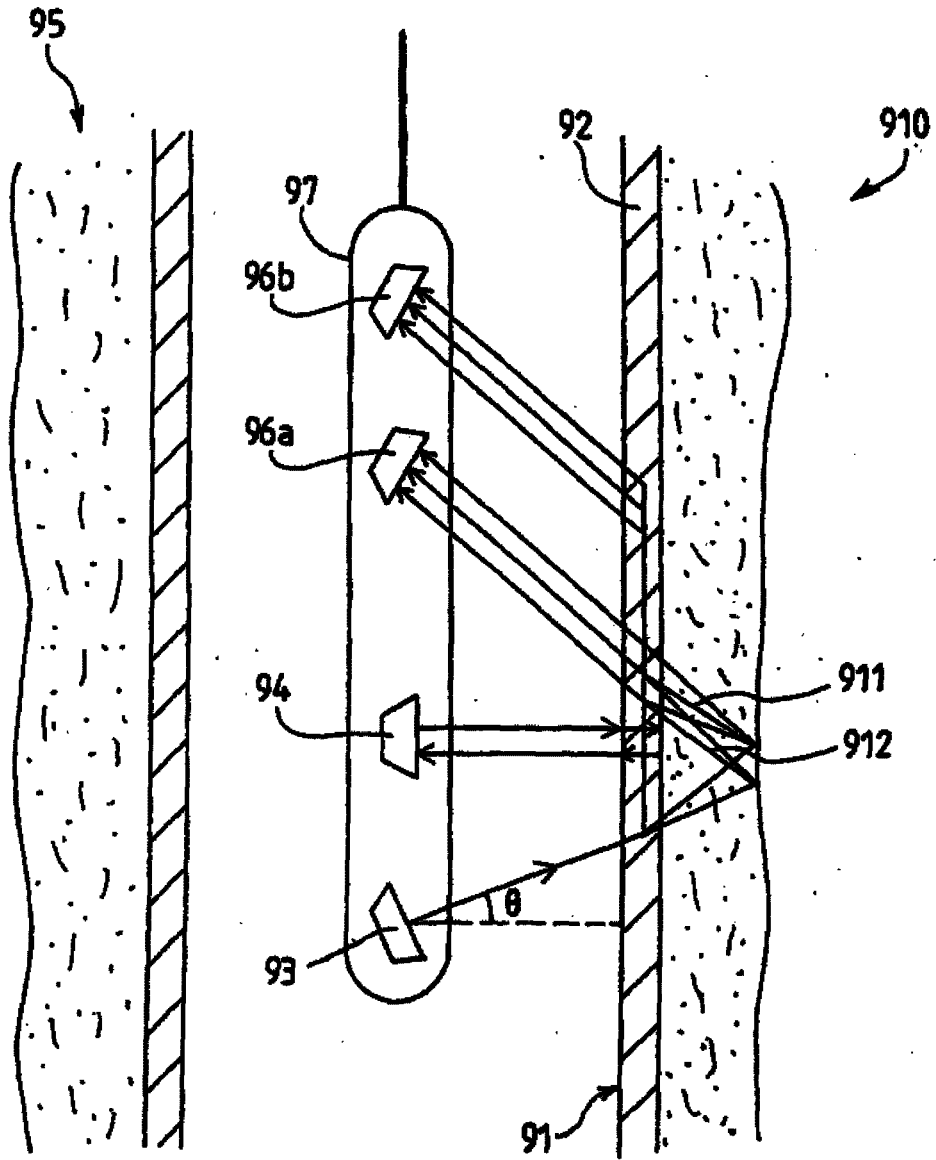


FIG. 9

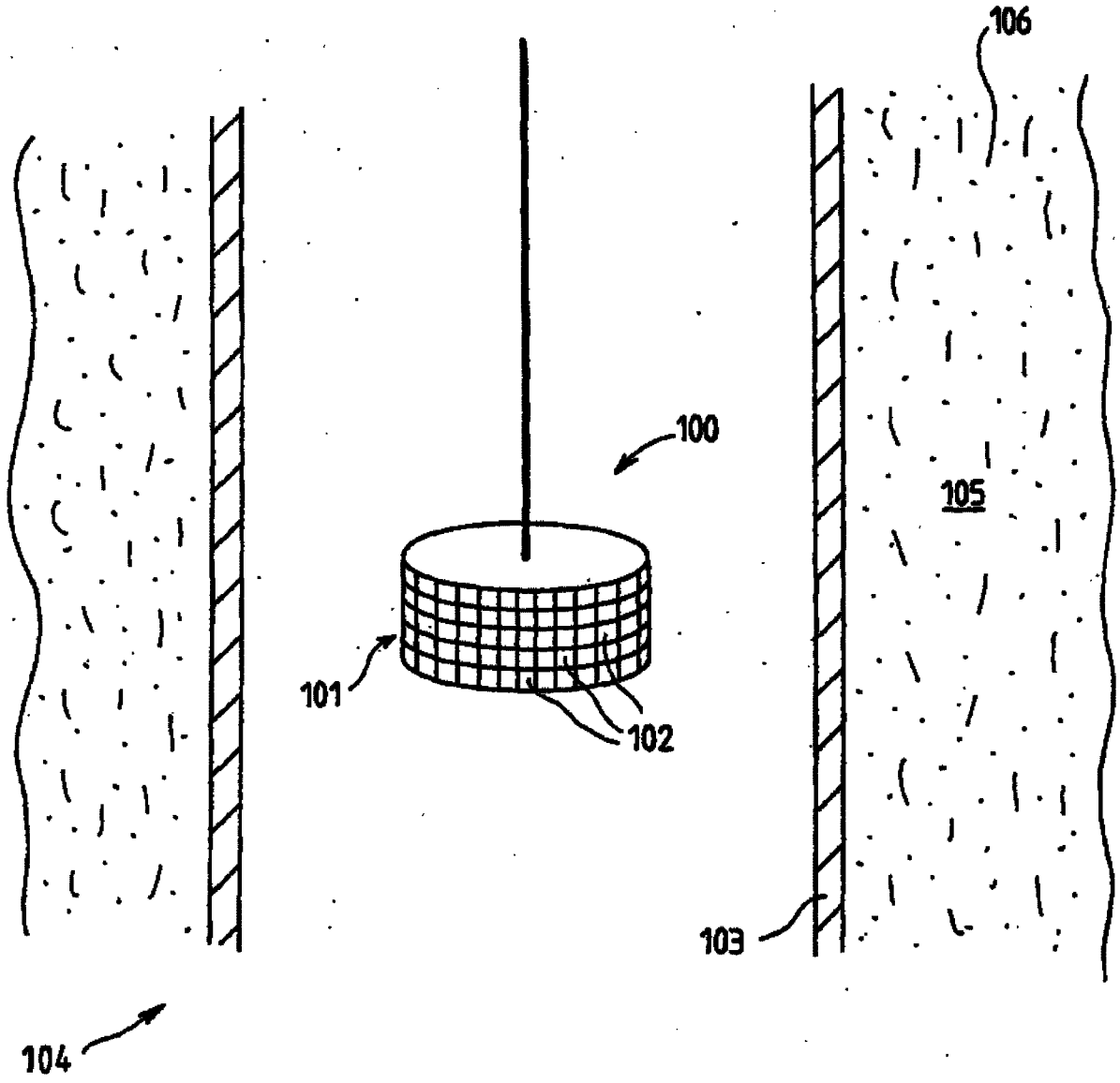


FIG.10