



(12) PATENT

(19) NO

(11) 337008

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

E21B 49/08 (2006.01)

E21B 49/00 (2006.01)

E21B 49/10 (2006.01)

Patentstyret

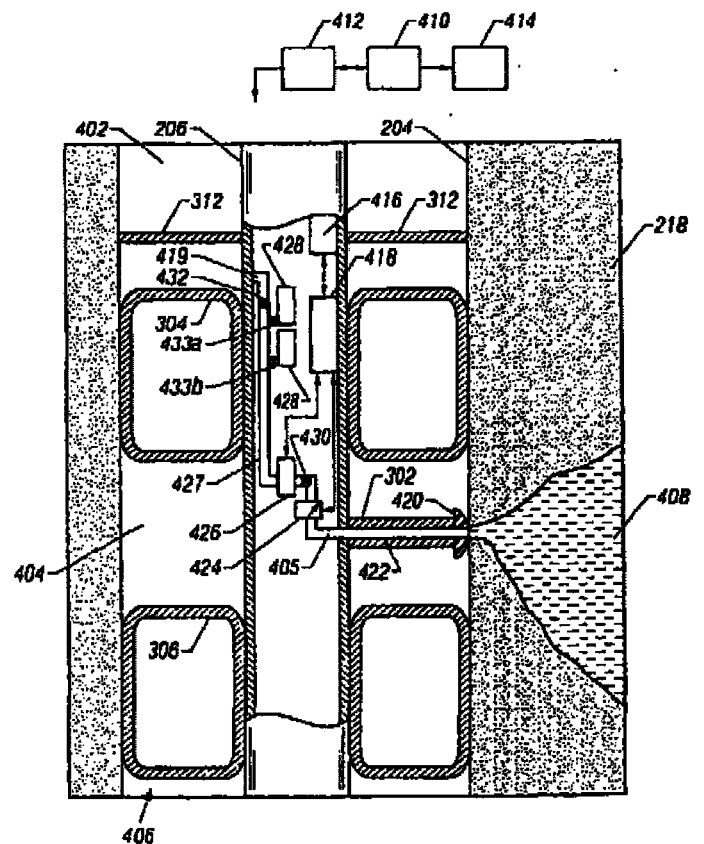
(21)	Søknadsnr	20054033	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2004.03.10 PCT/US2004/07224
(22)	Inng.dag	2005.08.31	(85)	Videreføringsdag	2005.08.31
(24)	Løpedag	2004.03.10	(30)	Prioritet	2003.03.10, US, 453316 2003.04.23, US, 464917 2004.03.10, US, 797815
(41)	Alm.tilgj	2005.10.06			
(45)	Meddelt	2015.12.21			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Incorporated, P O Box 4740, US-TX77210-4740 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Jaedong Lee, 1326 Remington Crest Drive, US-TX77094 HOUSTON, USA Michael Shammai, 2203 Garden Steam Court, US-TX77062 HOUSTON, USA			
(74)	Fullmektig	Acapo AS, Postboks 1880 Nordnes, 5817 BERGEN, Norge			

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte og apparat forpumpe kvalitetskontroll ved formasjonsrateanalyseteknikker**

(56) Anførte publikasjoner US 5587525 A

(57) Sammendrag

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en fremgangsmåte og en anordning for å bestemme kvaliteten til en formasjonsfluidprøve, innbefattende å overvåke permeabilitet og mobilitet som funksjon av tid for å bestemme nivået for en filtratforurensning, en énfasetilstand uten gass og faststoffer i formasjonsfluidet, slik det eksisterer i formasjonen, og bestemmelse av laminær strømning fra formasjonen. Foreliggende oppfinnelse muliggjør også bestemmelse av en optimal pumpehastighet for tilpasning til undergrunnsformasjonens evne til å produsere en énfaseprøve fra formasjonen på minst mulig tid. Fremgangsmåten og anordningen detekterer også pumpeproblemer slik som sandproduksjon og tetningstap i borehullet.



Bakgrunn for oppfinnelsen

Teknisk område

Foreliggende oppfinnelse angår generelt kvalitetskontroll for formasjonsfluidsampling, og spesielt bestemmelse av permeabilitet og mobilitet som funksjon av tid for å tilveiebringe en indikasjon med hensyn til om en formasjonsprøve er i en enkeltfasetilstand, oppviser laminær strømming og lav filtratforurensning, for å sikre innsamling av en enkeltfaseprøve med optimal renhet og i samme tilstand som den eksisterende i formasjonen ved å anvende formasjonshastighetsanalyse under pumping av en prøve fra en formasjon. Fremgangsmåten og anordningen sørger også for deteksjon av pumpeproblemer (korrelasjonskoeffisient for trykk som funksjon av formasjonsstrømningshastighet) og tilpasningen av en optimal pumpehastighet til formasjonens evne til å produsere (mobilitet, kompressibilitet).

Oppsummering av beslektet teknikk

For å fremskaffe hydrokarboner slik som olje og gass, blir borehull boret ved å rotere en borkrone som er festet til enden av borestreng. En stor andel av den aktuelle boringsaktiviteten innebærer retningsboring, dvs. boring av avvikende og horisontale borehull for å øke hydrokarbonproduksjonen og/eller for å hente ut ytterligere hydrokarboner fra grunnformasjonene. Moderne retningsboringssystemer anvender generelt en borestreng med en bunnhulls-anordning (BHA) og en borkrone ved dennes ende som blir rotert av en boremotor (slammotor) og/eller ved å rotere borestrengen. Et antall brønnhulls-anordninger plassert tett ved borkronen måler visse driftsparametere i brønnhullet i forbindelse med borestrengen. Slike anordninger omfatter typisk inklinasjonsmålingsanordninger og en resistivitetsmålingsanordning for å bestemme forekomsten av hydrokarboner

og vann. Ytterligere brønnhullsinstrumenter, kjent som verktøy for logging under boring (LWD) er ofte festet til borestrengen for å bestemme formasjonsgeologien og formasjonsfluidtilstandene under boringsoperasjonene.

5 Kommersiell utvikling av hydrokarbonfelter krever betydelige mengder med kapital. Før feltutviklingen begynner ønsker operatører å ha så mye data som mulig for å evaluere reservoaret for kommersiell levedyktighet. Til tross for fremskrittene ved datainnsamling under boring ved bruk av MWD-
10 systemer, er det ofte nødvendig å utføre ytterligere testing av hydrokarbonreservoarer for å fremskaffe ytterligere data. Etter at brønnen er blitt boret, blir derfor hydrokarbonsonene ofte testet med annet testutstyr.

15 En type etterboringstest innebærer å produsere fluid fra reservoaret, stenge brønnen, samle inn prøver med en sonde eller dobbeltpakninger, redusere trykket i et testvolum og tillate trykket å bygge seg opp til et statisk nivå. Denne sekvensen kan gjentas flere ganger ved flere forskjellige dybder eller punkter inne i et enkelt reservoar og/eller ved
20 flere forskjellige reservoarer innenfor et gitt borehull. Et av de viktige aspektene ved data som er innsamlet under en slik test, er trykkoppbyggingsinformasjonen som er samlet etter å ha trukket trykket ned. Fra disse dataene kan det utledes informasjon med hensyn til permeabilitet og reservoars størrelse. Videre må virkelige prøver av reservoarfluidet
25 fremskaffes, og disse prøvene må testes for å samle trykk/volum/temperatur- og fluidegenskaper slik som densitet, viskositet og sammensetning.

30 For å utføre disse viktige testene krever noen systemer opptrekking av borestrengen fra borehullet. Deretter blir et annet verktøy utformet for testingen, kjørt inn i borehullet. En kabel blir ofte brukt til å senke testverktøyet inn i borehullet. Testverktøyet utnytter noen ganger pakninger for å

isolere reservoaret. Mange kommunikasjonsanordninger er blitt utformet som tilveiebringer manipulasjon av testenheten, eller alternativt sørger for dataoverføring fra testenheten. Noen av disse utformingene innbefatter slampulsteleometri til eller fra
5 brønnhullsmikroprosessorer plassert inne i eller tilknyttet testenheten. Alternativt kan en kabel senkes fra overflaten inn i et landingsmottak plassert inne i en testenhet for å opprette elektrisk signalkommunikasjon mellom overflaten og testenheten. Uansett hvilken type testutstyr som for tiden
10 brukes og uansett den type kommunikasjonssystem som brukes, er den tiden og de pengene som er nødvendige for å hente opp borestrengen og kjøre en annen testrigg inn i hullet, betydelig. Hvis hullet videre er meget avvikende, kan en kabel ikke brukes til å utføre testingen fordi testverktøyet ikke
15 kan komme dypt nok ned i hullet til å nå den ønskede formasjonen.

US-patent nr. 5,587,525 tilhørende Shwe m.fl. viser en fremgangsmåte for bestemmelse av volumet til en fluidprøve som er trukket ut fra en jordformasjon. Et formasjonstesteverktøy
20 inkludert en sonde, et prøvekammer, midler for å måle volumet i kammeret og midler til å måle trykk blir brukt til å trekke ut fluidet. Et ekspansjonsvolum blir bestemt der trykket synker mindre raskt relatert til en økning i kammervolumet. Volumet til fluidprøven blir bestemt ved å trekke
25 ekspansjonsvolumet fra et totalt volum av fluid som er trukket inn i prøvekammeret.

En anordning og en fremgangsmåte for måling av formasjonstrykk og permeabilitet er beskrevet i US-patent nr. 5,233,866 utstedt til Robert Desbrandes, heretter kalt '866-
30 patentet. Fig. 1 er en reproduksjon av en figur fra '866-patentet som viser en nedtrekkingstestmetode for å bestemme formasjonstrykk og permeabilitet. Det vises til fig. 1 hvor fremgangsmåten innbefatter å redusere trykket i en strømnings-

ledning som er i fluidkommunikasjon med en borehullsvegg. I trinn 2 blir et stempel brukt til å øke strømningsledningsvolumet for derved å minske trykket i strømningsledningen. Trykkminskningshastigheten er slik at formasjonsfluid som kommer inn i strømningsledningen kombineres med fluid som forlater strømningsledningen for å skape en hovedsakelig lineær trykkminskning. En "beste tilpasning til en rett linje" blir brukt til å definere en rettlinjert referanse for en forutbestemt akseptabel avviksbestemmelse. Det akseptable avviket som er 2σ fra den rette linjen. Når den rettlinjede referansen er bestemt, blir volumøkningen opprettholdt ved en stabil hastighet. Ved en tid t_1 overskrider trykket grensen på 2σ , og det blir antatt at strømningsledningstrykket som er under formasjonstrykket, forårsaker avviket. Ved t_1 blir nedtrekkingen avbrutt og trykket blir tillatt å stabilisere seg i trinn 3. Ved t_2 blir en annen nedtrekkingsperiode startet som kan innbefatte bruk av en ny rettlinjert referanse. Nedtrekkingsperioden blir gjentatt inntil strømningsledningen stabiliseres ved et trykk to ganger. Trinn 5 starter ved t_4 og viser en siste nedtrekkingsperiode for å bestemme permeabiliteten til formasjonen. Trinn 5 slutter ved t_5 når strømningsledningens trykk bygges opp til borehullstrykket P_m . Med strømningsledningstrykket utlignet til borehullstrykket, er risikoen for fastkiling av verktøyet redusert. Verktøyet kan så flyttes til en ny testposisjon eller fjernes fra borehullet.

En ulempe ved '866-patentet er at den tid som er nødvendig for testing, er for lang på grunn av stabiliseringstid under "minioppbyggingsperiodene". I tilfelle av en formasjon med lav permeabilitet kan stabiliseringen ta fra titalls minutter til flere dager før stabilisering inntreffer. En eller flere perioder som følger etter den første perioden, forverrer bare tidsproblemet.

Uansett om det brukes kabel eller MWD, måler kjente formasjonstrykk- og permeabilitetsmålesystemer trykk ved å trekke ned trykket til en del av borehullet til et punkt under det forventede formasjonstrykket i et trinn til et

5 forutbestemt punkt godt under det forventede formasjonstrykket, eller fortsetter nedtrekkingen ved en etablert hastighet inntil formasjonsfluidet som kommer inn i verktøyet, stabiliserer verktøytrykket. Trykket blir så tillatt å stige og stabilisere seg ved å stoppe nedtrekkingen. Ned-

10 trekkingsperioden kan gjentas for å sikre at et gyldig formasjonstrykk blir målt, og i noen tilfeller krever tapte eller ødelagte data en ny test. Dette er en tidkrevende måleprosess.

Hovedsøknaden for foreliggende oppfinnelse, US-patent nr. 6,609,569 B2 tilveiebringer en anordning og en fremgangsmåte

15 for formasjonshastighetsanalyse (FRA) som tar hensyn til noen av de ulempene som er beskrevet ovenfor, ved å benytte en anordning og fremgangsmåte med en lukket sløyfe for å utføre formasjonstrykk- og permeabilitets-tester hurtigere enn anordningene og fremgangsmåtene som er beskrevet ovenfor. Med

20 raskere formasjonstesting kan flere tester som tilveiebringer aktuelle trykk og permeabilitet tilveiebringes for å forbedre brønnoperasjonseffektiviteten og sikkerheten. Krueger-søknaden tilveiebringer en anordning og en fremgangsmåte som er i stand til å skape et testvolum inne i et brønnhull og inkrementalt

25 minske trykket inne i testvolumet ved en variabel hastighet for å muliggjøre periodiske målinger av trykk mens testvolumtrykket minsker. Justeringer av minskningshastigheten blir gjort før trykket stabiliseres for derved å eliminere behovet for flere perioder. Denne inkrementale ned-

30 trekkingsanordningen og fremgangsmåten vil i betydelig grad redusere den totale måletiden og derved øke boringseffektiviteten og sikkerheten.

Det er behov for å bestemme fluidmobilitet under pumping

for å tilveiebringe kvalitetskontroll og konfidens under prøvetakning. Det er behov for å bestemme formasjonsfluidkvaliteten og sammensetningen. Det er også behov for å detektere problemer under pumping i forbindelse med tap av pakningstetning, sandproduksjon og prøvefluid som går til to faser.

Oppsummering av oppfinnelsen

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en fremgangsmåte og en anordning for å anvende formasjonshastighetsanalyse (FRA) ved slutten av hvert pumpe­slag under prøvetakningsoperasjoner for å tilveiebringe konfidens om at en enkeltfaseprøve med optimal renhet er fremskaffet fra formasjonen. Foreliggende oppfinnelse måler trykk og pumpe­stem­pel­posisjon og beregner formasjonsfluidkompressibilitet, mobilitet og en korrelasjonskoeffisient som indikerer at pumpe­hastigheten er tilpasset formasjonens evne til å produsere formasjonsfluid, dvs. formasjonsmobilitet.

Foreliggende oppfinnelse plotter kompressibiliteten til formasjonsfluid som funksjon av tid under pumping for å tilveiebringe et mål på konfidensen for at formasjonsfluid er tilstrekkelig fritt for filtratforurensning før innfangning av en prøve. Bestemmelse av permeabilitet som funksjon av tid gir også en indikasjon på om en formasjonsprøve er i en enkeltfasetilstand og oppviser laminær strømming. Kompressibiliteten til filtrat er betydelig mindre enn kompressibiliteten til formasjonsfluidet som inneholder oppløste gasser. Foreliggende oppfinnelse plotter også trykk som funksjon av strømningshastighet for å bestemme en korrelasjonskoeffisient for å detektere pumpeproblemer slik som sandinnslag som indikerer sammenbrudd av reservoar på grunn av for hurtig pumping. Foreliggende oppfinnelse tilpasser også pumpe­hastigheten til formasjonsmobiliteten for å sikre en enkeltfaseprøve

på kortest mulig tid. For hurtig pumping kan få forma-
 sjonsfluidet oppstrøms for pumpen til å gå inn i en tofase-
 strømning (gass og væske), og pumping for langsomt benytter
 for lang pumpetid som unødvendig kan koste tusenvis av dollar
 5 ekstra.

Beskrivelse av figurene

De nye trekkene ved oppfinnelsen samt selve oppfinnelsen
 vil best kunne forstås fra de vedføyde tegningene sammen med
 10 den følgende beskrivelse, hvor like henvisningstegn refererer
 til like deler, og hvor:

Fig. 1 er en grafisk, kvalitativ representasjon av en forma-
 sjonstrykktest ved bruk av en spesiell tidligere kjent frem-
 gangsmåte;

15 Fig. 2 er et oppriss av et offshore-boresystem i henhold til
 en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

Fig. 3 viser en del av en borestreng som omfatter forelig-
 gende oppfinnelse;

20 Fig. 4 er et skjematisk system ifølge foreliggende oppfin-
 nelse;

Fig. 5 er et oppriss av en kabelutførelsesform i henhold til
 foreliggende oppfinnelse;

25 Fig. 6 er et diagram av plottet trykk som funksjon av tid og
 pumpevolum som viser forutsagt nedtrekkingsoppførsel ved bruk
 av spesielle parametere for beregning;

Fig. 7 er et diagram over trykk som funksjon av tid som viser
 den tidlige delen av en trykkoppbyggingskurve for en formasjon
 med moderat lav permeabilitet;

30 Fig. 8 er et diagram over en fremgangsmåte som benytter
 iterative gjetninger for å bestemme formasjonstrykk;

Fig. 9 er et diagram av en fremgangsmåte for å finne forma-
 sjonstrykk ved bruk av ufullstendige trykkoppbyggingsdata;

Fig. 10 er et diagram over trykk som funksjon av trekkings-

hastighet som illustrerer en beregningsteknikk benyttet i en fremgangsmåte i henhold til foreliggende oppfinnelse til å bestemme formasjonstrykk;

5 Fig. 11 er en grafisk representasjon som illustrerer en fremgangsmåte i henhold til foreliggende oppfinnelse;

Fig. 12 er en illustrasjon av et kabelformasjonsprøvetakningsverktøy utplassert i et brønnhull;

10 Fig. 13 er en illustrasjon av en toveis formasjonsfluidpumpe for å pumpe formasjonsfluid inn i brønnhullet under pumping for å frigjøre prøven fra filtrat og pumpe formasjonsfluid inn i en prøvetank etter prøverensing;

Fig. 14 viser formasjonshastighetsanalysedataverdier for tre slag av formasjonsfluidpumpen;

15 Fig. 15 er en plotting av formasjonsfluidpumpetrykk, pakningstrykk, lineær volumforskyvning av pumpestempelet og pumpevolumet for tre slag fra prøvetakningspumpen i et første eksempel på problemfri pumping av formasjonsfluid;

20 Fig. 16 er en plotting av pumpestrykk som funksjon av formasjonsstrømningshastighet for de tre slagene som er illustrert på fig. 14 og fig. 15. Legg merke til at korrelasjonskoeffisienten (R^2) på fig. 16 og fig. 14 er over 0,99, noe som indikerer at pumpingshastigheten er godt tilpasset formasjonsstrømningshastigheten;

25 Fig. 17 er et annet eksempel på pumpingshistorie som viser en plotting av formasjonsfluidpumpetrykk, pakningstrykk, lineær volumforskyvning av pumpestempelet og et pumpingsvolum for tre slag av prøvetakningspumpen i et annet eksempel på pumping av formasjonsfluid hvor et problem er opplagt;

30 Fig. 18 er en plotting av trykk som funksjon av formasjonshastighet for alle pumpeslag i eksempelet på fig. 17, som viser en korrelasjonskoeffisient (R^2) på bare 0,052, noe som indikerer et problem; og

Fig. 19 er en plotting av trykk som funksjon av formasjons-

hastighet for de første to pumpeslagene i eksempelet på fig. 17 som viser en korrelasjonskoeffisient (R^2) lik 0,9323, noe som indikerer en kvalitetsprøve opp til dette punktet; og Fig. 20 er en illustrasjon av et prøvetakningsverktøy hvorved en kvalitetsprøve blir pumpet fra en formasjon under måling av mobilitet/permeabilitet som funksjon av tid for å sikre en enkeltfaseprøve med lav filtratforurensning, idet prøven har de samme fysiske karakteristikker som den hadde da prøven befant seg i en formasjon.

10

Beskrivelse av utførelseseksempelet

Fig. 2 er en boringsanordning i henhold til en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. En typisk borerigg 202 med et borehull 204 som strekker seg fra denne, er illustrert som vanlige fagkyndige på området lett vil forstå. Boreriggen 202 har en arbeidsstreng 206 som i den viste utførelsesformen er en borestreng. Borestrengen 206 har tilfestet en borkrone 208 for boring av borehullet 204. Foreliggende oppfinnelse er også nyttig ved andre typer arbeidsstrenger, og den er nyttig med en kabel (som vist på fig. 12), sammenskjøtt rørledning, oppkveilingsrør eller andre arbeidsstrenger med liten diameter slik som snubberør. Boreriggen 202 er vist posisjonert på et boreskip 222 med et stigerør 224 som strekker seg fra boreskipet 222 til havbunnen 220. En hvilken som helst boreriggutforming slik som en landbasert rigg, kan tilpasses implementering av foreliggende oppfinnelse.

Om denne brukes, kan borestrengen 206 ha en boremotor 210 nede i hullet. Inkorporert i borestrengen 206 over borkronen 208 er en typisk testenheter som kan ha minst en sensor 214 til å avføle brønnhullskarakteristikker i borehullet, borkronen og reservoaret med slike sensorer som er velkjente på området. En nyttig anvendelse av sensorene 214 er å bestemme retning, asimut og orientering av borestrengen 206 ved å bruke et

30

akselerometer eller en lignende sensor. BHA inneholder også formasjonstestanordningen 216 ifølge foreliggende oppfinnelse, som vil bli beskrevet mer detaljert i det følgende. Et telemetrisystem 212 er lokalisert på et egnet sted på arbeidsstrengen 206, slik som over testanordningen 216. Telemetrisystemet 212 blir brukt til kommando- og data-kommunikasjon mellom overflaten og testanordningen 216.

Fig. 3 er en seksjon av borestrengen 206 som innbefatter foreliggende oppfinnelse. Verktøyseksjonen er fortrinnsvis lokalisert i en BHA nær borkronen (ikke vist). Verktøyet omfatter en kommunikasjonsenhet og en kraftforsyning 320 for toveis kommunikasjon til overflaten og for levering av kraft til brønnhullskomponentene. I utførelseseksempelet krever verktøyet et signal fra overflaten bare for testinnledning. En brønnhullsstyringsenhet og prosessor (ikke vist) utfører all etterfølgende styring. Kraftforsyningen kan være en generator drevet av en slammotor (ikke vist), eller den kan være en hvilken som helst annen egnet kraftkilde. Innbefattet er også flere stabilisatorer 308 og 310 for stabilisering av verktøyseksjonen i borestrengen 206 og pakninger 304 og 306 for forsegling av en del av ringrommet. En sirkulasjonsventil anordnet fortrinnsvis over den øvre pakningen 304 blir brukt til å tillate fortsatt sirkulasjon av boreslam over pakningene 304 og 306 mens rotasjon av borkronen er stanset. En separat ventilerings- eller utjevningsventil (ikke vist) blir brukt for å ventilere fluid fra testvolumet mellom pakningene 304 og 306 til det øvre ringrommet. Denne ventileringen reduserer testvolumtrykket som er nødvendig for en nedtrekkingstest. Det er også tenkt at trykket mellom pakningene 304 og 306 kan reduseres ved å trekke fluid inn i systemet eller ventilere fluid til det nedre ringrommet, men i alle fall vil en fremgangsmåte for å øke volumet av det mellomliggende ringrommet for å minske trykket være nødvendig.

I en utførelsesform av foreliggende oppfinnelse er et utstrekkt putetetningselement 302 for inngrep med borehullsveggen 4 (fig. 1) anordnet mellom pakningene 304 og 306 på testanordningen 216. Putetetningselementet 302 kan brukes
 5 uten pakningene 304 og 306 fordi en tilstrekkelig tetning med brønnveggen kan opprettholdes med puten 302 alene. Hvis pakningene 304 og 306 ikke blir brukt, er det nødvendig med en motkraft slik at puten 302 kan opprettholde tetningskontakt med veggen i borehullet 204. Tetningen skaper et testvolum ved
 10 putetetningen og strekker seg bare inn i verktøyet til pumpen istedenfor også å bruke volumet mellom pakningselementer.

En måte å sikre at tetningen blir opprettholdt, er å sikre større stabilitet av borestrengen 206. Selektivt utstrekkbare gripeelementer 312 og 314 kan være omfattet i borestrengen 206 for å forankre borestrengen 206 under testen.
 15 Gripeelementene 312 og 314 er vist innbefattet i stabilisatorene 308 og 310 i denne utførelsesformen. Gripeelementene 312 og 314 som vil ha en grov endeoverflate for inngrep med brønnveggen, vil beskytte myke komponenter slik
 20 som putetetningselementet 302 og pakningene 304 og 306 fra skade som skyldes verktøybevegelse. Gripeelementene 312 vil være spesielt ønsket i offshoresystemer slik som det som er vist på fig. 2 fordi bevegelse forårsaket av hiv kan forårsake for tidlig utsliting av tetningskomponenter.

Fig. 4 viser verktøyet på fig. 3 skjematisk med interne brønnhulls- og overflatekomponenter. Selektivt utstrekkbare gripeelementer 312 er i kontakt med borehullsveggen 204 for å forankre borestrengen 206. Pakningselementer 304 og 306 som er velkjente på området, strekker seg til kontakt med borehullsveggen 204. De utstrakte pakningene atskiller brønningrommet i tre seksjoner, et øvre ringrom 402, et mellomliggende ringrom 404 og et nedre ringrom 406. Den forseglede ringromsseksjonen (eller den forseglede seksjonen ganske
 25
 30

enkelt) 404 er ved siden av en formasjon 218. Montert på borestrengen 206 og utstrekkelig inn i den forseglede seksjonen 404 er det selektivt utstrekkelig putetetningselementet 302. En fluidledning som tilveiebringer fluidkommunikasjon mellom

5 rent formasjonsfluid 408 og verktøysensorer slik som trykksensoren 424 er vist å strekke seg gjennom puteorganet 302 for å tilveiebringe en åpning 402 i det forseglede ringrommet 404. Den foretrukne utformingen for å sikre at rent fluid blir testet eller tatt prøver av, er å ha pakninger 304

10 og 306 i tettende inngrep med veggen 204 og å ha et forseglet forhold mellom veggen og det utstrekkelige elementet 302. Reduksjon av trykket i den forseglede delen 404 forut for kontakt med puten 302, vil innlede fluidstrømning fra formasjonen inn i den forseglede seksjonen 404. Med

15 formasjonsstrømning når det utstrekkelige elementet 302 kommer i kontakt med veggen, vil den åpningen 420 som strekker seg gjennom puten 320 bli eksponert for uberørt fluid 408. Styring av orienteringen til det utstrekkelige elementet 302 er meget ønskelig ved boring av avviksbrønner eller horisontale

20 brønner. Eksempelorienteringen er mot en øvre del av borehullsvæggen. En sensor 214 slik som et akselerometer, kan brukes til å avføle orienteringen av det utstrekkelige elementet 302. Det utstrekkelige elementet kan så orienteres til den ønskede retningen ved å bruke fremgangsmåter og ikke

25 viste komponenter som er velkjente på området, slik som retningsboring med en bendkomponent. F.eks. kan boringsanordningen omfatte en borestreng 206 rotert ved hjelp av en rotasjonsdrivanordning på overflaten (ikke vist). En brønnhullsslammotor (se fig. 2 ved 210) kan brukes til uavhengig å rotere borkronen. Borestrengen kan således roteres

30 inntil det utstrekkelige elementet blir orientert til den ønskede retning som antydnet ved hjelp av sensoren 214. Rotasjonsdrivanordningen på overflaten blir stoppet for å stanse

rotasjonen av borestrengen 206 under en test, mens rotasjon av borkronen kan fortsette ved bruk av slammotoren.

En brønnhullsstyringsenhet 418 styrer fortrinnsvis testen. Styringsenheten 418 er koplet til minst en system-

5 volumstyringsanordning (pumpe) 426. Pumpen 426 er et fortrinnsvis liten stempel drevet ved hjelp av en kuleskrue og en skrittmotor eller en annen variabel styremotor, på grunn av evnen til interaktivt å forandre systemets volum. Pumpen 426 kan også være en fortrenningspumpe. Ved bruk av andre typer

10 pumper bør en strømningsmåler også være innbefattet. En ventil 430 for regulering av fluidstrømning til pumpen 426, er anordnet i fluidledningen 422 mellom en trykksensor 424 og pumpen 426. Et testvolum 405 er volumet under tilbakeslagsstempelet til pumpen 426 og innbefatter fluid-

15 ledningen 422. Trekkensoren blir brukt til å avføle trykket i testvolumet 404. Det skal bemerkes her at testen kan være like verdifull hvis den utføres med puteorganet 302 i tilbake-

trukket stilling. I dette tilfellet innbefatter testvolumet volumet til det mellomliggende ringrommet 404. Dette muliggjør

20 en "hurtig" test, noe som betyr at det ikke vil være nødvendig med tid til puteutstrekking og tilbaketrekking. Sensoren 424 er forbundet med styringsenheten 418 for å tilveiebringe tilbakekopplingsdataene som er nødvendige for et styresystem med lukket sløyfe. Tilbakekoplingen blir brukt til å justere

25 parameterinnstillinger slik som en trykkgrense for etterfølgende volumendringer. Brønnhullsstyringsenheten innbefatter en prosessor (ikke vist separat) for ytterligere å redusere testtiden, og et valgfritt database- og lagringssystem kan være innbefattet for å lagre data for

30 fremtidig analyse og for å tilveiebringe normalinnstillinger.

Ved nedtrekking eller trykkreduksjon i den forseglede seksjonen 404, blir fluid ventilert til det øvre ringrommet 402 via en utjevningsventil 419. En ledning 427 som forbinder

pumpen 426 med utjevningsventilen 419, innbefatter en velgbar intern ventil 432. Hvis fluidprøvetakningen er ønsket, kan fluidet avledes til valgfrie prøvereservoarer 428 ved å bruke de interne ventilene 432, 433a og 433b istedenfor ventilering
5 gjennom utjevningsventilen 419. For typisk fluidprøvetakning blir det fluidet som befinner seg i reservoarene 428 hentet opp fra brønnen for analyse.

Et utførelseseksempel for å teste formasjoner med lav mobilitet (tette formasjoner) innbefatter minst en pumpe (ikke
10 vist separat) i tillegg til pumpen 426 som er vist. Den andre pumpen bør ha et indre volum som er meget mindre enn det indre volumet til hovedpumpen 426. Et antydnet volum for den andre pumpen er 1/100 av volumet til hovedpumpen. En typisk T-kopling med en velgerventil styrt av brønnhullsstyringsenheten
15 418 kan brukes til å forbinde de to pumpene med fluidledningen 422.

I en tett formasjon blir hovedpumpen brukt til den innledende nedtrekkingen. Styringsenheten kopler til den andre pumpen for operasjoner under formasjonstrykket. En fordel ved
20 den andre pumpen med et lite indre volum er at oppbyggingstidene er hurtigere enn med en pumpe som har et større volum.

Resultater av data behandlet i brønnhullet kan sendes til overflaten for å levere brønnhullstilstander til en bore-
25 operatør eller for å validere testresultater. Styringsenheten sender behandlede data til et toveis datakommunikasjonssystem 416 anordnet i brønnhullet. Brønnhullssystemet 416 sender et datasignal til et overflatekommunikasjonssystem 412. Det finnes flere fremgangsmåter og anordninger som er kjent på
30 området, egnet for overføring av data. Ethvert passende system vil kunne benyttes for formålene med foreliggende oppfinnelse. Når signalet blir mottatt på overflaten, omformer og overfører en styringsenhet og prosessor 410 på overflaten dataene til en

passende utgang eller en lagringsanordning 414. Som beskrevet foran blir overflatestyringsenheten 410 og overflatekommunikasjonssystemet 412 også brukt til å sende testinnledningskommandoen.

5 Fig. 5 er en kabelutførelsesform i henhold til foreliggende oppfinnelse. En brønn 502 som gjennomskjærer en formasjon 504 som inneholder et reservoar med gass 506, olje 508 og vann 510 er vist. Et kabelverktøy 512 understøttet av en armert kabel 514 er anordnet i brønnen 502 ved siden av
10 formasjonen 504. Fra verktøyet 512 strekker det seg eventuelle gripeelementer 312 for stabilisering av verktøyet 512. To utstrekkelige pakninger 304 og 306 er anordnet på verktøyet 512 og er i stand til å separere ringrommet i borehullet 502 i et øvre ringrom 402, et forseglet mellomliggende ringrom 404 og
15 et nedre ringrom 406. Et selektivt utstrekkelig puteelement 302 er anordnet på verktøyet 512. Gripeelementene 312, pakningene 304 og 306 og det utstrekkelige puteelementet 302 er hovedsakelig de samme som de som er beskrevet på fig. 3 og 4, derfor er de detaljerte beskrivelsene ikke gjentatt her.

20 Telemetri for kabelutførelsesformen er en toveis brønnhullskommunikasjonsenhet 516 forbundet med en toveis overflatekommunikasjonsenhet 518 ved hjelp av en eller flere ledere 520 i den armerte kablen 514. Overflatekommunikasjonsenheten 518 befinner seg i en overflatestyringsenhet som
25 innbefatter en prosessor 412 og en utmatingsanordning 414 som beskrevet på fig. 4. En typisk kabelskive 522 blir brukt til å føre den armerte kablen 514 inn i borehullet 502. Verktøyet 512 innbefatter en brønnhullsprosessor 418 for styring av formasjonstester i samsvar med fremgangsmåter som skal
30 beskrives i detalj senere.

Utførelsesformen som er vist på fig. 5, er ønskelig for å bestemme kontaktpunkter 538 og 540 mellom gassen 506 og oljen 508, og mellom oljen 508 og vannet 510. For å illustrere denne

anvendelsen er en plotting 542 av trykk som funksjon av dybde vist overlagret på formasjonen 504. Brønnhullsverktøyet 512 innbefatter en pumpe 426, et antall sensorer 424 og eventuelle prøvetanker 428 som beskrevet ovenfor i forbindelse med den utførelsesformen som er vist på fig. 4. Disse komponentene blir brukt til å måle formasjonstrykk ved varierende dybder i borehullet 502. Trykket som er plottet som vist, indikerer fluid- eller gassdensitet som varierer distinkt fra et fluid til det neste. Det å ha flere trykkmålinger M_1 - M_n gir derfor data som er nødvendig for å bestemme kontaktpunktene 538 og 540.

Målestrategier og beregningsprosedyrer for å bestemme effektiv mobilitet (k/μ) i et reservoar i henhold til foreliggende oppfinnelse blir beskrevet nedenfor. Måletidene er ganske korte og beregningene er robuste for et stort område med mobilitetsverdier. Den innledende trykknedtrekkingen anvender en meget lavere pumpeuttrekkingshastighet, 0,1 til 0,2 cm^3/s , enn hastigheter som typisk brukes for tiden. Ved å bruke lavere hastigheter, reduseres sannsynligheten for formasjonsskade på grunn av finandelsmigrasjon, reduserer temperaturendringer relatert til fluideksponansjon, reduserer treghetsstrømningsmotstand som kan være betydelig i sondepermeabilitetsmålinger, og tillater hurtig opprettelse av stabil strømning inn i sonden for alt bortsett fra meget lave mobiliteter.

Stabil strømning er ikke nødvendig for mobilitet med lave verdier (mindre enn omkring 2 md/cp). For disse målingene blir fluidkompressibilitet bestemt fra den innledende delen av nedtrekkingen når trykket i sonden er større enn formasjonstrykket. Effektiv mobilitet og fjernt formasjonstrykk, p^* , blir bestemt fra den tidlige delen av trykkoppbygningen ved hjelp av fremgangsmåter som blir presentert her, for derved å eliminere behovet for den langvarige siste

delen av oppbygningen der trykket gradvis når en konstant verdi.

For høyere mobiliteter hvor stabil strømning blir nådd ganske hurtig under nedtrekkingen, blir pumpen stoppet for å
 5 innlede den hurtige trykkoppbyggingen. For en mobilitet på 10 md/cp, og de tilstandene som er brukt for prøveberegningene som beskrives i det etterfølgende, (innbefattende en pumpehastighet på 0,2 cm³/s), inntreffer stabil strømning ved en nedtrekking eller reduksjon på omkring 54 psi under forma-
 10 sjonstrykket. Den følgende oppbyggingen (til innenfor 0,02 psi av formasjonstrykket) krever bare omkring 6 sekunder.

Nedtrekkingen er mindre og oppbyggingstiden er kortere (begge omvendt proporsjonale) for høyere mobiliteter. Mobilitet kan beregnes fra den stabile strømningshastigheten og differansen
 15 mellom formasjons- og nedtrekkingstrykk. Forskjellige pumpehastigheter kan brukes til å kontrollere intern strømningsmotstand. Instrumentidentifikasjoner kan være nødvendige for å ta hensyn til de laveste pumpehastighetene og de laveste trykkforskjellene.

20 Det vises til fig. 4, hvor, etter at pakningene 304 og 306 er satt og pumpestempelet er i sin innledende posisjon med et gjenværende fullt tilbaketrekkingsslag, pumpen 426 blir startet fortrinnsvis ved å bruke en konstant hastighet (q_{pump}). Sonden og forbindelsesledningene til trykkmåleren og pumpen
 25 omfatter "systemvolumet", V_{sys} som blir antatt å være fylt med et uniformt fluid, f.eks. boreslam. Så lenge trykket i sonden er større enn formasjonstrykket og formasjonsflaten ved omkretsen til borehullet er forseglet med en slamkake, skal ikke noe fluid strømme inn i sonden. Hvis det forutsettes at
 30 det ikke er noen lekkasjer forbi pakningen og ingen arbeidsrelaterte ekspansjonsmessige temperaturminskninger, blir trykket i "systemet", ved grunnlinjen til trykkmåleren, styrt av fluidekspansjon som er lik pumpetilbaketrekking-

volumet. Når A_p er tverrsnittsarealet til et pumpestempel, x er slaglengden til stempelet, C er fluidkompressibilitet og p er systemtrykk, er trykkreduksjonshastigheten avhengig av den volumetriske ekspansjonshastigheten som vist i ligning 1:

5

$$q_{pump} = A_p \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{dV_p}{dt} = -CV_{sys} \left(\frac{dp}{dt} \right) \quad (1)$$

Ligning 2 viser systemvolumøkningene når pumpestempelet blir trukket tilbake:

10

$$V_{sys}[t] = V_0 + (x[t] - x_0)A_p = V_0 + V_p[t] \quad (2)$$

og differensiering av ligning 2 viser at:

15

$$\frac{dV_{sys}}{dt} = \frac{dV_p}{dt} \quad (3)$$

Innsetting av resultatene fra ligning 3 i ligning 1 og omordning, gir derfor:

20

$$\frac{-dV_{sys}}{CV_{sys}} \equiv \frac{-d \ln V_{sys}}{C} = dp \quad (4)$$

For konstant kompressibilitet kan ligning 4 integreres for å gi trykk i sonden som en funksjon av systemvolum:

25

$$P_n = P_{n-1} + \frac{1}{C} \ln \left[\frac{V_{sys_{n-1}}}{V_{sys_n}} \right] \quad (5)$$

Trykk i sonden kan relateres til tid ved å beregne systemvolumet som en funksjon av tid fra ligning 2. Hvis

derimot kompressibilitet ikke er konstant, er dens gjennomsnittsverdi mellom to systemvolumer:

$$C_{avg.} = \frac{\ln \left[\frac{V_{sys_{n-1}}}{V_{sys_n}} \right]}{P_2 - P_1} \quad (6)$$

5

hvor subindeksene 1 og 2 ikke er begrenset til å være påfølgende par med avlesninger. Legg merke til at hvis temperaturen minsker under nedtrekkingen, vil den tilsynelatende kompressibiliteten bli for lav. En plutselig økning i kompressibilitet kan indikere et pumpeproblem slik som sandproduksjon utvikling av gass eller en lekkasje forbi pakningen på tetningen mellom sondeflaten og borehullsveggen. Beregningen av kompressibilitet er under enhver omstendighet ugyldig når trykket i sonden er mindre enn formasjonstrykket når fluid kan strømme inn i sonden og gi inntrykk av en markert økning i kompressibilitet. Legg imidlertid merke til at kompressibiliteten til virkelige fluider nesten uansett øker litt med avtagende trykk.

Fig. 6 viser et eksempel på nedtrekking fra et innledende hydrostatisk borehullstrykk på 5000 psia til (og under) et reservoartrykk (p^*) 608 på 4626,168 psia, beregnet ved bruk av følgende betingelser som et eksempel:

- Effektiv sonderadius, r_i , lik 1,27 cm;
- Dimensjonløs geometrisk faktor, G_0 , lik 4,30;
- Innledende systemvolum, V_0 , på 267,0 cm³;
- Konstant volumetrisk pumpetilbaketrekkingshastighet Q_{pump} på 0,2 cm³/s; og
- Konstant kompressibilitet, C , lik 1×10^{-5} psi⁻¹.

Beregningen forutsetter ingen temperaturendring og ingen lekkasje inn i sonden. Trykkreduksjonen er vist som en funksjon av tid eller som en funksjon av pumpetilbaketrekking-

30

volum, vist ved henholdsvis bunnen og toppen av fig. 6. Den innledende del 610 av nedtrekkingen (over p^*) blir beregnet fra ligning 5 ve å bruke V_{sys} beregnet fra ligning 2. Fortsettelsen av nedtrekkingen til under reservoartrykket for ingen strømming inn i sonden, er vist ved "null"-mobilitetskurven 612. Legg merke til at hele "ingen strømming"-nedtrekkingen er svakt buet på grunn av det progressivt økende systemvolumet.

Når trykket faller til under p^* og permeabiliteten er større enn null, begynner normalt fluid fra formasjonen å strømme inn i sonden. Når $p = p^*$ er strømningshastigheten lik null, men øker gradvis etter hvert som p avtar. I praksis kan endelig differanse være nødvendig før slamkaken begynner å falle av den del av borehullsveggen som er under den indre radien til sondepakningstetningen. I dette tilfellet vil en diskontinuitet bli observert i tid/trykk-kurven istedenfor den glatte overgangen fra "ingen strømming"-kurven som er vist på fig. 6. Så lenge hastigheten til systemvolumøkningen (fra pumpetilbaketrekkingshastigheten) overskrider hastigheten til fluidstrømmingen i sonden, vil trykket i sonden fortsette å avta. Fluid som befinner seg i V_{sys} ekspanderer for å fylle strømningshastighetsmangelen. Så lenge strømming fra formasjonen følger Darcys lov, vil den fortsette å øke proporsjonalt med $(p^* - p)$. Til slutt blir strømming fra formasjonen lik pumpehastigheten, og trykket i sonden forblir deretter konstant. Dette er kjent som "stabil" strømming. Den ligningen som styrer stabil strømming, er:

$$\frac{k}{\mu} = \frac{14,696 q_{pump}}{G_0 r_i (p^* - p_{ss})} \quad (7)$$

30

For de tilstandene som er gitt for fig. 6, er den stabile nedtrekkingstrykkdifferansen, $p^* - p_{ss}$, lik 0,5384 psi for $k/\mu =$

1000 md/cp, 5,384 psi for 100 md/cp, 53,84 psi for 10 md/cp, osv. For en pumpehastighet lik $0,1 \text{ cm}^3/\text{s}$, vil disse trykkdifferansene blir halvert; og de vil bli doblet for en pumpehastighet lik $0,4 \text{ cm}^3/\text{s}$, osv.

5 Som vist senere har disse reduksjonene ved høy mobilitet meget hurtige oppbygninger etter at tilbaketrekkingen av pumpestempelet er stanset. Verdien av p^* kan finnes fra det stabiliserte oppbyggingstrykket etter noen få sekunder. I tilfelle av høye mobiliteter ($k/\mu > 50 \text{ md/cp}$), kan pumpehastigheten måtte økes i en eller flere etterfølgende nedtrekninger for å oppnå en tilstrekkelig trykkreduksjonsdifferanse (p^*-p). For lavere mobiliteter bør det reduseres for å sikre at inertialstrømningsmotstanden (ikke-Darcy-strømning) ikke er betydelig. Totalt tre forskjellige pumpehastigheter vil være ønsket i disse tilfellene.

Beregninger for stabil tilstand er meget ønskelig for de høyeste mobilitetene fordi kompressibiliteten faller ut av beregningen, og mobilitetsberegninger er enkle. Instrumentkravene er imidlertid høye: 1) pumpehastigheter bør være konstante og enkle å endre, og 2) trykkdifferanser (p^*-p_{ss}) er små. Det vil være ønskelig å ha et lite stempel drevet av en kuleskrue og en skrittmotor for å regulere trykkfallet under tilnærmelsen til stabil strømning for lave mobiliteter.

Fig. 6 viser at innenfor den illustrerte tidsperioden, nådde nedtrekkingen for kurven 614 for $1,0 \text{ md/cp}$ og lavere mobiliteter ikke stabil tilstand. Avvikene fra nullmobilitetskurven for $0,1 \text{ md/cp}$ 616 og under dette, er videre bare så vidt observerbare. Ved en total tid på 10 sekunder er f.eks. nedtrekkingstrykkdifferansen for $0,01 \text{ md/cp}$ bare 1,286 psi mindre enn for ingen strømning. Meget høyere trykkoppsettinger enn dette som skyldes ikke-isotermiske tilstander eller små endringer i fluidkompressibiliteten, er forventet. Nedtrekninger større enn 200-400 psi under p^* er ikke anbe-

falt; signifikant inertialstrømningsmotstand (ikke-Darcy-strømning) er nesten garantert, formasjonsskade på grunn av migrasjon av fine partikler er sannsynlig, termiske forstyrrelser er nesten uunngåelige, gassutvikling er sannsynlig og pumpekraftbehovene er øket.

Under den perioden hvor $p > p^*$ og før stabil strømning er oppnådd, er tre hastigheter operative: 1) pumpehastigheten som øker systemvolumet med tid, 2) fluidstrømningshastighet fra formasjonen inn i sonden, og 3) ekspansjonshastigheten til fluidet i systemvolumet, som er lik differansen mellom de første to hastighetene. Hvis det forutsettes isotermiske tilstander, ingen Darcy-strømning i formasjonen, ingen permeabilitetsskade nær sondeflaten og konstant viskositet, blir nedtrekkingskurver for 10, 1 og 0,1 md/cp mobiliteter 618, 614 og 616, vist for fig. 6, beregnet fra en ligning basert på forholdet mellom disse tre hastighetene som diskutert ovenfor:

$$p_n = P_{n-1} + \frac{q_{f_n}(t_n - t_{n-1}) - (V_{pump_n} - V_{pump_{n-1}})}{C \left[V_0 + \frac{1}{2}(V_{pump_n} + V_{pump_{n-1}}) \right]} \quad (8)$$

hvor strømningshastigheten inn i sonden fra formasjonen ved tidstrinn n , er beregnet fra:

$$q_{f_n} = \frac{kG_0 r_i \left[p^* - \frac{1}{2}(p_{n-1} + p_n) \right]}{14.696 \mu} \quad (9)$$

Fordi p_n er nødvendig for beregningen av q_{f_n} i ligning 9, som er nødvendig for løsning av ligning 8, ble det brukt en iterativ prosedyre. For de laveste mobilitetene var konvergens hurtig ved bruk av p_{n-1} som den første gjetning for p . For kurven 10 md/cp var imidlertid mange flere iterasjoner

nødvendige for hvert tidstrinn, og denne prosedyren ble ustabil for mobilitetstilfeller ved 100 md/cp og høyere. Mindre tidstrinn og/eller meget høyere dempning (eller en løsnings-teknikk istedenfor en iterativ prosedyre) er nødvendig.

5 Pumpestempelet blir stoppet (eller bremsset) for å innlede trykkoppbyggingen. Når stempelet er stanset, forblir systemvolumet konstant, og strømming inn i sonden fra forma-sjonen forårsaker kompresjon av fluid som befinner seg i systemvolumet, og den følgende trykkstigningen. For målinger
10 ved høy mobilitet der bare beregninger for stabile tilstander blir utført, er bestemmelsen av fluidkompressibiliteten ikke nødvendig. Oppbyggingen blir bare brukt til å bestemme p^* , slik at pumpen er fullstendig stanset for oppbyggingen. For de tilstandene som er gitt for fig. 6, er oppbyggingstiden for å
15 nå innenfor 0,01 psi av p^* , omkring 6, 0,6 og 0,06 sekunder for respektive mobiliteter lik 10, 100 og 1000 md/cp 618, 620 og 622.

For lavmobilitetsmålinger hvor den stabile tilstanden ikke ble nådd under trykkreduksjonen, blir oppbyggingen brukt
20 til å bestemme både p^* og k/μ . Det er imidlertid ikke nødven-dig å måle hele oppbyggingen. Dette tar en urimelig lang tid fordi at ved slutten av oppbyggingskurven, nærmer drivkraften for å nå p^* seg null. En teknikk for å unngå denne langvarige delen av målingen, vil bli presentert i neste avsnitt.

25 Den ligningen som styrer trykkoppbyggingen hvis det antas konstant temperatur, permeabilitet, viskositet og kompressibilitet, er:

$$\frac{kG_0 r_i (p^* - p)}{14.696 \mu} = -CV_{sys} \left(\frac{dp}{dt} \right) \quad (10)$$

30

Omordning og integrering gir:

$$t-t_0 = \frac{14.696 \mu C V_{sys}}{k G_0 r_i} \ln \left(\frac{p^* - p_0}{p^* - p} \right) \quad (11)$$

hvor t_0 og p_0 er henholdsvis tiden og trykket i sonden ved starten av oppbyggingen, eller ved et hvilket som helst

5 vilkårlig punkt i oppbyggingskurven.

Fig. 7 er en plotting av den tidlige delen av en oppbyggingskurve 630 for en mobilitet lik 1 md/cp, som starter ved 4200 psia, og hvis den kjøres til slutten, vil ende ved en p^* ved 4600. Dette er beregnet fra ligning 11. I tillegg til de

10 andre parameterne som er vist på denne figuren, er $p_0 = 4200$ psia.

Bestemmelse av p^* fra en ufullstendig oppbyggingskurve kan beskrives ved hjelp av et eksempel. Tabell 2 representerer hypotetiske forsøksdata. Utfordringen er å bestemme nøyaktig

15 verdien av p^* som ikke vil være tilgjengelig på annen måte. Å fremskaffe p^* eksperimentelt ville ha tatt minst 60 s istedenfor de 15 s som er vist. Den eneste informasjon som er kjent i hypotesen, er systemverdiene for fig. 6 og V_{sys} på 269,0 cm³. Kompressibiliteten, C , blir bestemt fra de

20 innledende nedtrekkingsdataene som starter ved det hydrostatisk borehullstrykket, ved å bruke ligning 6.

Tabell 2

Hypotetiske trykkoppbyggingsdata fra et reservoar med moderat

25 lav permeabilitet

t-t ₀ , s	p, psia	t-t ₀ , s	p, psia
0,0000	4200	7,1002	4450
0,9666	4250	8,4201	4475
2,0825	4300	10,0354	4500
3,4024	4350	12,1179	4525
5,0177	4400	15,0531	4550

5,9843 4425

Den første gruppen på høyre side av ligning 11 og forut for den logaritmiske gruppen, kan betraktes som tidskonstanten, τ , for trykkoppbyggingen. Ved å bruke denne definisjonen og omordne ligning 11, fås:

$$\ln\left(\frac{p^*-p_0}{p^*-p}\right) = \left(\frac{1}{\tau}\right)(t-t_0) \quad (12)$$

En plotting av venstre side av ligning 12 som funksjon av $(t-t_0)$ er en rett linje med helning lik $(1/\tau)$, og avskjæring lik null. Fig. 8 er en plotting av data fra tabell 2 ved å bruke ligning 12 med forskjellige gjetninger for verdien av p^* . Vi kan se at bare den korrekte verdien, 4600 psia, gir den nødvendige rette linjen 640. For gjetninger som er lavere enn den korrekte p^* , er videre den tidlige tidsdelen av en kurve 646 mindre enn helningen ved senere tidspunkter. For gjetninger som er for høye, er derimot den tidlige tidshelningen høyere enn de senere tidshelningene for kurvene 642 og 644.

Disse observasjonene kan brukes til å konstruere en hurtig fremgangsmåte for å finne det korrekte p^* . Beregn først gjennomsnittshelningen fra en vilkårlig tidsdel av dataene som er vist i tabell 2. Denne helningsberegningen begynner ved t_1 , og p_1 , og ender ved t_2 og p_2 . Beregn deretter den gjennomsnittlige seneste tidshelningen fra en senere del av tabellen. Subindeksene for begynnelse og slutt av denne beregningen vil være lik henholdsvis 3 og 4. Divider deretter den tidlige tidshelning med helningen ved det senere tidspunktet for et forhold R :

$$R = \frac{\ln\left(\frac{p^* - p_1}{p^* - p_2}\right)(t_4 - t_3)}{\ln\left(\frac{p^* - p_3}{p^* - p_4}\right)(t_2 - t_1)} \quad (13)$$

Anta at vi velger det andre settet med datapunkter fra tabell 2: 2,0825 s og 4300 psia for begynnelsen av den tidlige helningen. Anta videre at vi velger data fra settene 5, 9 og 11 som henholdsvis slutten av den tidlige helningen og begynnelsen og slutten av den seneste helningen, med tilsvarende superindekser 2, 3 og 4. Vi gjetter nå at p^* er 4700 psia, setter så disse tallene inn i ligning 13, slik at den beregnede verdien av R blir 1,5270. Fordi dette er høyere enn 1, var gjetningen for høy. Resultater av dette og andre gjetninger for p^* ved bruk av de samme data som ovenfor, er vist som en kurveplotting 650 på fig. 9. Den korrekte verdien av p^* , 4600 psia, inntreffer ved $R = 1$. Disse beregningene kan lett inkorporeres i en løsningsrutine som hurtig konvergerer til den korrekte verdien av p^* uten plottinger. Mobilitet blir, etter å ha funnet den korrekte p^* , beregnet fra en omordning av ligning 11 ved bruk av den kompressibiliteten som er fremskaffet fra den innledende hydrostatiske trykkreduksjonen.

For virkelige data skal generelt den meget tidlige delen av oppbyggingen unngås ved beregningene av p^* og så k/μ . Denne fjerneste delen av oppbyggingen med høye trykkdifferanser, har den største termiske forvrengningen på grunn av kompresjonsoppvarming, og har den høyeste sannsynligheten for ikke-Darcy-strøm. Etter at p^* er blitt bestemt som beskrevet ovenfor, bør hele datasettet plottes som på fig. 7. Hver gang den innledende del av plottingen viser en økende helning med økende tid, fullt av en progressivt mer lineær kurve, kan dette være en sterk indikasjon på ikke-Darcy-strømning ved de

høyeste trykkdifferansene.

En annen fremgangsmåte ifølge foreliggende oppfinnelse kan beskrives under henvisning til fig. 10. Fig. 10 viser et forhold mellom verktøytrykk 602 og formasjonsstrømnings-

5 hastighet q_{fn} 604 sammen med virkningen av hastighet under og over visse grenser. Darcys lov lærer at trykk er direkte proporsjonal med fluidstrømningshastighet i formasjonen. Plotting av trykk som funksjon av reduserende stempel-

10 trekkhastighet vil derfor danne en rett linje når trykket i verktøyet er konstant mens stempelet beveger seg med en gitt hastighet. Plottingen av strømningshastigheter og stabiliserte trykk vil videre danne en rett linje, typisk med en negativ helning (m) 606 mellom en nedre og øvre hastighetsgrense. Helningen blir brukt til å bestemme mobilitet (k/μ) for fluid

15 i formasjonen. Ligning 8 kan omordnes for formasjonsstrømningshastigheten:

$$q_{fn} = \frac{(V_{pump_n} - V_{pump_{n-1}}) - C \left[V_0 + \frac{1}{2} (V_{pump_n} + V_{pump_{n-1}}) \right] (p_{n-1} - p_n)}{(t_n - t_{n-1})} \quad (14)$$

20 Ligning 14 er gyldig for ikke-stabile tilstander så vel som stabile tilstander. Formasjonsstrømningshastighet q_{fn} kan beregnes ved å bruke ligning 14 for ikke-stabile tilstander når C er kjent rimelig nøyaktig for å bestemme punkter langs plottingen på fig. 10.

25 Stabile tilstander forenkler ligning 14 fordi $(p_{n-1} - p_n) = 0$. Under stabile tilstander kan kjente verktøyparameter og målte verdier brukes til å bestemme punkter langs det rette linjeområdet på fig. 10. I dette området kan pumpehastigheten q_{pump} så settes inn. Ved å bruke q_{pump} i ligning 9, fås:

30

$$\frac{k}{\mu} = \frac{-14696}{mG_0 r_i} \quad (15)$$

I ligning 15 er $m = (p^* - p_{ss}) / q_{pump}$. Enhetene for k/μ er i md/cp, p_n og p^* er i psia, r_i er i cm, q_{fn} er cm^3/s , V_{pump} og V_0 er i cm^3 , C er i psi^{-1} , og t er i s. Hvert trykk på den rette linjen er et stabilt trykk ved den gitte strømningshastigheten (eller nedtrekkingshastigheten).

I praksis kan et avvik fra en rett linje nær null formasjonsstrømningshastighet (filtrat) være en indikator på boreslamlekkasje inn i verktøyet (strømningshastigheten nærmer seg null). Avviket ved høye strømningshastigheter er typisk en ikke-Darcy-effekt. Formasjonstrykket kan imidlertid bestemmes ved å utvide den rette linjen til en skjæring med null reduksjonshastighet. Det beregnede formasjonstrykket p^* bør være lik et målt formasjonstrykk innenfor en neglisjerbar feilmargin.

Formålet med en trykktest er å bestemme trykket i reservoaret og bestemme mobiliteten til fluid i dette reservoaret. En prosedyre for å justere stempeltrekkingshastigheten inntil trykkavlesningen er konstant (null helning) gir informasjon for å bestemme trykk og mobilitet uavhengig av en "stabil" trykkoppbygging ved bruk av et konstant volum.

Noen fordeler ved denne prosedyren er å sikre kvalitet gjennom egenvalidering av en test hvor et stabilt oppbyggingstrykk blir observert, og sikring av kvalitet gjennom sammenligning av nedtrekkingsmobilitet med oppbyggingsmobilitet. Når en oppbyggingsdel av en test ikke er tilgjengelige (i tilfelle med tapt sondetetning eller for lang oppbyggingstid) gir p^* også formasjonstrykket.

Fig. 11 er et plotteeksempel av verktøytrykk som funksjon av tid ved å bruke en annen fremgangsmåte i henhold til foreliggende oppfinnelse. Plottingen illustrerer en fremgangs-

måte som innebærer å endre nedtrekkingstrykkstempelets trekkhastighet basert på helningen av trykk/tid-kurven. Sensordata innsamlet ved et hvilket som helst punkt, kan brukes sammen med ligning 14 til å utvikle en plotting som på fig. 10, eller

5 brukes i automatiske løsningsrutiner styrt av en datamaskin. Datapunkter som definerer stabile trykk ved forskjellige strømningshastigheter kan brukes til å validere tester.

Prosedyren begynner ved å bruke et MWD-verktøy som beskrevet på fig. 4 eller et kabelverktøy som beskrevet på

10 fig. 5. En verktøysonde 420 blir innledningsvis tettet mot borehullet og testvolumet 405 inneholder hovedsakelig bare borefluid ved ringrommets hydrostatiske trykk. Fase I 702 i testen blir innledet ved hjelp av en kommando overført fra overflaten. En brønnhullsstyringsenhet 418 styrer fortrinnsvis

15 etterfølgende handlinger. Ved å bruke styringsenheten til å styre en nedtrekkingspumpe 426 som innbefatter et nedtrekkingsstempel, blir trykket i testvolumet minsket med konstant hastighet ved å fastsette nedtrykkingshastigheten til nedtrykkingsstempelet til en forutbestemt hastighet. Sensorer

20 424 blir brukt til å måle i det minste trykket i fluidet i verktøyet ved forutbestemte tidsintervaller. De forutbestemte tidsintervallene blir justert for å sikre at minst to målinger kan gjøres i løpet av hver fase av prosedyren. Ytterligere fordeler blir oppnådd ved å måle systemvolumet, temperaturen

25 og/eller endringshastigheten av systemvolumet med passende sensorer. Kompressibiliteten til fluidet i verktøyet blir bestemt under fase 1 ved å bruke de beregningene som er diskutert ovenfor.

Fase II av testen 704 begynner når verktøytrykket faller

30 til under formasjonstrykket p^* . Helningen til trykkkurven endrer seg på grunn av at formasjonsfluidet begynner å komme inn i testvolumet. Endringen i helningen blir bestemt ved å bruke en brønnhullsprosessor til å beregne en helning fra

målingene tatt ved to tidsintervaller innenfor fasen. Hvis nedtrekkingshastigheten ble holdt konstant, ville verktøytrykket ha en tendens til å stabilisere seg ved et trykk under p^* .

5 Trekkingshastigheten blir øket ved et forutbestemt tids-
punkt 706 for å påbegynne fase 3 i testen. Den økte ned-
trekkingshastigheten reduserer trykket i verktøyet. Når
trykket avtar, øker strømningshastigheten for formasjonsfluid
inn i verktøyet. Verktøytrykket vil ha en tendens til å
10 stabilisere seg ved et verktøytrykk som er lavere enn trykket
som oppleves i fase II, fordi nedtrekkingshastigheten er
større i fase III enn i fase II. Nedtrekkingshastigheten blir
minsket igjen ved en tid 708 som påbegynner fase IV av testen
når intervallmålinger indikerer at trykket i verktøyet nærmer
15 seg stabilisering.

Nedtrekkingshastigheten kan så bremses eller stoppes slik
at trykket i verktøyet begynner å bygge seg opp. Kurve-
helningen endrer fortegn når trykket begynner å øke, og
endringen indikerer fase V 710 hvor nedtrekkingshastigheten så
20 blir øket for å stabilisere trykket. Det stabiliserte trykket
blir indikert når trykkmålingene gir null helning.
Nedtrekkingsstempelhastigheten blir så minsket for fase VI 712
for å muliggjøre oppbygging inntil trykket igjen stabiliseres.
Når trykket er stabilisert, blir nedtrekkingsstempelet stoppet
25 ved fase VII 714, og trykket i verktøyet blir tillatt å bygge
seg opp inntil verktøytrykket stabiliseres ved forma-
sjonstrykket p_f . Testen blir så fullført og styringsenheten
utjevner testvolumet 716 til det hydrostatiske trykket i
ringrommet. Verktøyet kan så trekkes tilbake og flyttes til en
30 ny posisjon eller fjernes fra borehullet.

Stabiliserte trykk bestemt under fase V 710 og fase VI,
712 sammen med tilsvarende stempelhastigheter, blir brukt av
brønnhullsprosessen til å bestemme en kurve som på fig. 10.

Prosessoren beregner formasjonstrykk p^* fra de målte datapunktene. Den beregnede verdien p^* blir så sammenlignet med målt formasjonstrykk p_f fremskaffet ved hjelp av verktøyet under fase VII 714 i testen. Sammenligningen tjener til å validere det målte formasjonstrykket p_f for derved å eliminere behovet for å utføre en separat valideringstest.

Andre utførelsesformer som bruker en eller flere av fremgangsmåteelementene som er diskutert ovenfor, blir også ansett å være innenfor rammen av oppfinnelsen. Det vises fremdeles til fig. 11 hvor en annen utførelsesform omfatter fase I til fase III og så fase VII. Denne fremgangsmåten er ønskelig med moderat permeable formasjoner når det er ønskelig å måle formasjonstrykk. Det vil typisk være en liten variasjon i profilen for fase IV i denne utførelsesformen. Fase VII vil bli innledet når målinger viser en hovedsakelig nullhelning av trykkkurven 709. Utjevningsprosedyren 716 vil også være nødvendig før flytting av verktøyet.

En annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse innbefatter fase I 702, fase II 704, fase VI 712, fase VII 714 og utjevningsprosedyren 716. Denne fremgangsmåten blir brukt i formasjoner med meget lav permeabilitet eller når sondetetningen går tapt. Fase II vil ikke være så distinkt avvik som vist, slik at den rette linjedelen 703 i fase I vil synes å strekke seg godt under formasjonstrykket p_f .

Fig. 12 er en illustrasjon av et kabelformasjonsprøvetakningsverktøy utplassert i et brønnhull uten pakninger. Det vises nå til fig. 12 som viser en annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse som befinner seg i et formasjonstestingsinstrument. Fig. 12 er en illustrasjon av et formasjonstestingsinstrument tatt fra Michaels m.fl. US-patent nr. 5,303,775 som herved inkorporeres ved referanse i sin helhet. Michaels' 775-patent beskriver en fremgangsmåte og en anordning for bruk i forbindelse med et testinstrument for en

brønnhullsformasjon for innsamling av en faseintakt prøve av formasjonsfluid for levering via en trykkholdig prøvetank til et laboratorieanlegg. En eller flere fluidprøvetanker som befinner seg i instrumentet, blir trykbalansert med hensyn til borehullet ved formasjonsnivået og blir fylt med en formasjonsfluidprøve på en slik måte at under fylling av prøvetankene, blir trykket til formasjonsfluidet opprettholdt i det forutbestemte området over boblepunktet til fluidprøven. Prøvetanken innbefatter et indre, frittflytende stempel som separerer prøvetanken i prøveholdige og trykbalanserende kamre der trykbalanseringskamre er i kommunikasjon med borehullstrykket. Prøvetanken er forsynt med en sperreventil som gjør det mulig å opprettholde trykket i fluidprøven etter at formasjonstestingsinstrumentet er blitt hentet opp fra brønnhullet for transport til et laboratorieanlegg. For å kompensere for trykkminskning ved avkjøling av prøvetanken og dens innhold, er stempelpumpemekanismen i instrumentet i stand til å øke trykket i prøven tilstrekkelig over boblepunktet til prøven slik at eventuell trykkreduksjon som inntreffer ved avkjøling ikke vil minske trykket i fluidprøven til under dens boblepunkt.

Fig. 12 er en billedmessig illustrasjon som omfatter et blokkskjema som skjematisk illustrerer et formasjonstestingsinstrument konstruert i samsvar med foreliggende oppfinnelsen og som er posisjonert ved formasjonsnivå inne i et brønnhull med sin prøvesonde i kommunikasjon med formasjonen for det formål å utføre tester og samle inn en eller flere formasjonsprøver. Som vist på fig. 12, gjennomtrenger en seksjon av et borehull 10 en del av grunnformasjonene 11, vist i vertikalsnitt. Anordnet inne i borehullet 10 ved hjelp av en kabel eller ledning 12, er et prøvetaknings- og målingsinstrument 13. Prøvetaknings- og målingsinstrumentet omfatter et hydraulisk kraftsystem 14, en fluidprøvelagringsseksjon 15

og en prøvetakningsmekanismeseksjon 16. Prøvetakningsmekanismeseksjonen 16 omfatter et selektivt utstrekkbart brønnkontaktputeorgan 17, et selektivt utstrekkbart prøvetakningssondeorgan 18 som tillater innløp av fluid, og et
 5 toveis pumpeorgan 19. Pumpeorganet 19 kan også være plassert over prøvetakningssondeorganet 18 om ønsket.

Under drift blir prøvetaknings- og målingsinstrumentet 13 posisjonert inne i borehullet 10 ved å vikle opp eller vikle av kabel 12 fra heiseanordningen 20, omkring hvilken kablet 12
 10 blir spolet. Dybdeinformasjon fra dybdeindikatoren 21 blir koblet til signalprosessen 22 og registreringsanordningen 23 når instrumentet 13 er anordnet ved siden av en grunnformasjon av interesse. Elektriske styresignaler fra styrekretser 24 innbefattende en prosessor (ikke vist) blir sendt gjennom
 15 elektriske ledere i kablet 12 til instrumentet 13.

Disse elektriske styresignalene aktiverer en hydraulisk driftspumpe i det hydrauliske kraftsystemet 14 som er vist, som gir hydraulisk kraft for instrumentdrift og som gir hydraulisk kraft som forårsaker at brønnkontaktputeorganet 17
 20 og fluidorganet 18 beveger seg sideveis fra instrumentet 13 inn i inngrep med grunnformasjonen 11 og det toveis pumpeorganet 19. Det fluidinnslippende organet eller prøvetakningssonden 18 kan så plasseres i fluidkommunikasjon med grunnformasjonen 11 ved hjelp av elektriske styresignaler fra
 25 styrekretser 24 som selektivt aktiverer magnetventiler i instrumentet 13 for å ta en prøve av et hvilket som helst produserbart formasjonsfluid som befinner seg i grunnformasjonen av interesse.

Fig. 13 er en illustrasjon av en toveis formasjonsfluidpumpe for å pumpe formasjonsfluid inn i brønnhullet under pumping for å frigjøre prøven av filtrat og pumpe formasjonsfluid inn i en prøvetank etter rensing av prøven. Fig. 13
 30 viser en del av et multitesterinstrument for en brønnhulls-

formasjon, som er konstruert i samsvar med foreliggende oppfinnelse og som illustrerer skjematisk en stempelpumpe og et par prøvetanker inne i instrumentet. Figurene 12 og 13 er tatt fra Michaels m.fl. '775-patent og er beskrevet der i detalj.

5 Som illustrert i den delvise tverrsnittsskissen og skjematisk skissen på fig. 13, er formasjonstestingsinstrumentet 13 på fig. 12 vist å innbefatte en toveis stempelpumpe-mekanisme vist generelt ved 24, som er illustrert skjematisk på fig. 13. Inne i instrumenthuset 13 er det også anordnet

10 minst en og fortrinnsvis et par prøvetanker som er vist generelt ved 26 og 28 og som kan ha identisk konstruksjon om ønsket. Stempelpumpemekanismen 24 definerer et par motstående pumpekamre 62 og 64 som er anordnet i fluidkommunikasjon med de respektive prøvekanalene via forsyningsledninger 34 og 36.

15 Utløp fra de respektive pumpekamre til forsyningsledningen for en valgt prøvetank 26 eller 28 blir styrt ved hjelp av elektronisk energiserte treveisventiler 27 og 29 eller ved hjelp av et hvilket som helst annet styreventilarrangement som muliggjør selektiv fylling av prøvetankene. De respektive

20 pumpekamrene er også vist å ha evne til fluidkommunikasjon med undergrunnsformasjonen av interesse via forsyningspassasjer 38 og 40 i pumpekamrene, som er definert av prøvetakningssonden 18 på fig. 12 og som blir styrt ved hjelp av passende ventiler. Forsyningspassasjene 38 og 40 kan være utstyrt med

25 tilbakeslagsventiler 39 og 41 for å tillate overtrykk i fluidet og bli pumpet fra kamrene 62 og 64 om ønsket. LMP 47 sporer posisjonen og hastigheten til stemplene 58 og 60 hvorfra pumpevolum over tid for en kjent stempelsylinderstørrelse kan bestemmes.

30 Fig. 14 for formasjonshastighet analyserer dataverdier for tre slag av formasjonsfluidpumpen. Fig. 15 er en plotting av formasjonsfluidpumpetrykk, pakningstrykk, lineær volumforskyvning av pumpestempelet og pumpevolumet for tre slag av

prøvetakningspumpen i et første eksempel på en problemfri pumping av formasjonsfluid.

Fig. 16 er en plotting av pumpetrykk som funksjon av formasjonsstrømningshastighet for de tre slagene som er
5 illustrert på fig. 14 og fig. 15. Legg merke til at korrelasjonskoeffisienten (R^2) på fig. 16 og fig. 14 er over 0,99, noe som indikerer at pumpehastigheten er godt tilpasset formasjonsstrømningshastigheten. Fig. 17 er et annet eksempel på pumpingshistorie som viser en plotting av formasjonsfluid-
10 pumpetrykk, pakningstrykk, lineær volumforskyvning av pumpestempelet og pumpevolum for tre slag av prøvetakningspumpen i et annet eksempel på pumping av formasjonsfluid hvor et problem kan ses.

Fig. 18 er en plotting av trykk som funksjon av formasjonshastighet for alle pumpe­slag i eksempelet på fig. 17, som
15 viser en korrelasjonskoeffisient (R^2) på bare 0,052, noe som indikerer et problem. Fig. 19 er en plotting av trykk som funksjon av formasjonshastighet for de to første pumpe­slagene i eksempelet på fig. 17, som viser en korrelasjonskoeffisient
20 (R^2) lik 0,9323, noe som indikerer en kvalitetsprøve opptil dette punktet.

Foreliggende oppfinnelse kjører FRA ved slutten av hvert pumpe­stempe­slag på sugesiden av pumpen, mens formasjonen bygges opp til å bestemme mobilitet, kompressibilitet og
25 korrelasjonskoeffisienter. Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en plotting av mobilitet som funksjon av tid som kan leveres til en prøvetakningsklient som en indikasjon på konfidens av integriteten til prøven. FRA plotter trykk som funksjon av formasjonsstrømningshastighet som vist på fig. 16.
30 Jo nærmere plottingen er en rett linje jo høyere er korrelasjonskoeffisienten. En korrelasjonskoeffisient over 0,8 indikerer at pumpingshastigheten er bra tilpasset formasjonens evne til å produsere formasjonsfluid.

Plottingen av trykk som en funksjon av tid gir formasjonstrykket p^* som et resultat av løsning av ligningen $P(t) = P^* - [\text{den resiproke verdien av mobiliteten}] \times [\text{formasjonsstrømningshastighet}]$. Helningen av denne plottingen er negativ og y-skjæringen er P^* med P på den vertikale akse.

5 Den resiproke verdien av plottingen er mobiliteten. Den grad med hvilken plottingen stemmer overens med en rett linje, er korrelasjonskoeffisienten. Når korrelasjonskoeffisienten faller under 0,8, indikerer det et problem. Foreliggende

10 oppfinnelse vil gi en oppadrettet pil som indikerer for operatøren at han skal øke pumpehastigheten når formasjonen er i stand til å levere formasjonsfluid ved en enkelt fase med en raskere pumpehastighet, og en nedadrettet pil for å minske pumpehastigheten når pumpehastigheten overskrider formasjonens

15 evne til å levere enkeltfaseformasjonsfluid ved den eksisterende pumpehastigheten.

Pumpevolumet til kamrene 62 og 64 er kjent, og posisjonen og bevegelseshastigheten for stemplene 58 og 60 er kjent fra LMP 47 slik at FRA blir utført på toveispumpen ved slutten av

20 hvert pumpeslag. Når nedtrekkingshastigheten og pumpevolumene er kjent fra posisjonen av stempelet og endringshastigheten til posisjonen samt dimensjonene til kammeret 62 og 64, er nedtrekkingsvolumet også kjent eller kan beregnes.

$P_{\text{saturation}} - P^* = -(1/\text{mobilitet})(\text{formasjons-hastighet})$.

25 $P_{\text{saturation}} - P^*$ representerer toleransevinduet til prøven før den går inn i en tofasetilstand. Ved å bruke FRA blir formasjonsfluidmobiliteten bestemt slik at formasjonsstrømningshastigheten blir beregnet og en passende pumpehastighet q_{dd} i ligning 16 blir beregnet for tilpasning til formasjons-

30 strømningshastigheten som diskutert nedenfor. Styringsenheten i verktøyet justerer pumpehastigheten automatisk ved å sende tilbakekoplings signaler til det hydrauliske reguleringsventil-system ved pumpen eller sender et signal til operatøren om å

justere pumpehastigheten for å oppnå optimal pumpehastighet for tilpasning til formasjonens mobilitet.

Under pumping når det toveis pumpestempelet 58, 60 når slutten av et pumpeslag, blir FRA anvendt på sugesiden av pumpen. Før pumpestempelet 58, 60 beveges, benytter FRA forma-
5 sjonsoppbygging ved enden av hvert pumpeslag til å bestemme kompressibilitet, mobilitet og en korrelasjonskoeffisient for det formasjonsfluidet som pumpes. Under pumping blir det således ved hjelp av FRA mulig å fremskaffe et korrekt
10 nedtrekkingsvolum og en korrekt nedtrekkingshastighet under prøvetaking av enkeltfaser ved å bruke LMP-data og pumpedimensjoner. FRA-data for mobilitet, kompressibilitet og FRA-plottinger for trykkgradienter validerer prøvetakningsdataene og trykktestdataene. FRA sikrer derfor
15 under pumping at den riktige nedtrekkingshastigheten blir brukt til å utføre en nøyaktig trykktest og fremskaffe en enkeltfaseprøve som er representativ for formasjonen.

I samsvar med den aktuelle utførelsesform av foreliggende oppfinnelse som er vist på figurene 12-19, tilveiebringer
20 foreliggende oppfinnelse en anordning og en fremgangsmåte for overvåking av pumpingen av formasjonsfluider fra en hydrokarbonførende formasjon og tilveiebringer kvalitetskontroll for pumpingen ved bruk av FRA-teknikkene som er beskrevet ovenfor, anvendt etter hvert pumpeslag. FRA blir
25 anvendt på sugesiden av pumpen under overvåking av formasjonsoppbyggingen ved å bruke FRA til å beregne mobilitet, kompressibilitet, korrelasjonskoeffisient og P^* som funksjon av tid i samsvar med foreliggende oppfinnelse. Den foreliggende utførelsesform er en fremgangsmåte som analyserer måle-
30 data fra et formasjonstestverktøy for formasjonstrykk og formasjonsfluidmobilitet ved å anvende FRA-teknikkene som er beskrevet ovenfor ved slutten av hvert pumpeslag for den toveis pumpen som er vist på fig. 13. Formasjonstestverktøy

utfører typisk utpumping eller gjennompumping av formasjonsfluid fra formasjonen inn i brønnhullet for å rense slamfiltratet før det tas formasjonsfluidprøver. Pumpingen kan vare i flere timer i et forsøk på å fremskaffe formasjonsfluid som er fritt for filtrat (renset). Opprettholdelse av pumpehastigheten på den mest effektive måte uten å støte på problemer slik som verktøytilstopping, pakningslekkasje, sandproduksjon eller formasjonssvikt er dessuten en kritisk oppgave. Foreliggende oppfinnelse anvender FRA på pumpedata ved å bruke det kjente pumpevolumet til det toveis pumpekammeret 62 eller 64.

Det vises nå til fig. 13 hvor FRA blir anvendt på hvert pumpeslag eller på flere kombinerte slag. FRA blir anvendt på pumpe laget eller pumpe lagene til de toveis pumpevolumene 62 og 64 og stemplene 58 og 60 for å bestemme formasjonsmobilitet, fluidkompressibilitet og korrelasjonskoeffisient. FRA-bestemt mobilitet indikerer formasjonens evne til å produsere hydrokarboner. Det er uhyre viktig for effektive oljeutvinningsoperasjoner å tilpasse formasjonens evne til å produsere med en passende pumpehastighet. Når man kjenner formasjonens evne til å produsere hydrokarboner blir det mulig å tilpasse denne evnen til en passende pumpehastighet ved enten å redusere pumpehastigheten for lav mobilitet eller øke pumpehastigheten for høy mobilitet. Tilpasning av pumpehastigheten til formasjonens evne til å produsere, bidrar til å oppnå effektiv pumping. Ved å bruke verdien for mobilitet som er bestemt ved bruk av FRA under pumping, blir en maksimal pumpehastighet beregnet som holder det strømmende formasjonsfluidtrykket over metnings- eller boblepunkttrykket. Ved å anvende den riktige pumpehastigheten som bestemt ved hjelp av FRA under pumpingsberegninger øker sjansene for å samle inn en uberørt, enkeltfaseprøve som virkelig er representativ for formasjonen.

Bestemmelsen av FRA-korrelasjonskoeffisienten tilveie-

bringer en indikasjon på pumpingskvaliteten og problemer. Pumpingsprosessen kan støte på en lang rekke problemer. Ved deteksjon av et tegn på et slikt problem tidlig, gir en viktig mulighet til å unngå kostbare, om ikke katastrofale svikt i

5 verktøyet og gjør det mulig for en verktøyoperatør å endre pumpingshastigheten eller endog avslutte eller utsette pumpingsprosessen. I et utførelseseksempel informerer prosessoren som er anordnet i brønnhullsverktøyet, operatøren med hensyn til ønskede pumpingshastigheter uansett om det

10 gjelder å øke eller minske pumpingshastigheten ved å fremvise en oppadpekende eller nedadpekende pil for operatøren på overflaten, og tilstopping eller automatiske justeringer av pumpehastigheten eller stopping av pumpingen for å ta hensyn til detekterte problemer under pumping.

15 FRA-korrelasjonskoeffisienten for en rekke kontinuerlige pumpe­slag vil være forholdsvis høy, dvs. over 0,8-0,9 når pumpingsaktivitetene er problemfrie, men FRA-korrelasjonskoeffisienten vil bli ødelagt og bli lav igjen når problemer påtreffes i pumpingsprosessen. FRA-kompressibiliteten blir

20 brukt som en indikator for fluidtypeendring under pumping. Med kontinuerlig overvåkning av formasjonsfluidet kompressibilitet blir en endring i den type fluid som pumpes fra formasjonen, hurtig detektert. Når det er en betydelig forskjell mellom slamfiltratkompressibilitet og formasjonsfluidets

25 kompressibilitet, er det derfor forholdsvis enkelt å overvåke formasjonsrensing ettersom kompressibilitetsendringer fra en verdi som indikerer slamfiltrat til en verdi som indikerer formasjonsfluid lett kan detekteres. Overvåkning av nær

30 infrarøde, optiske spektraldensitetsmålinger blir kombinert med FRA-kompressibilitet til å bestemme formasjonsprøverensing.

Som vist på figurene 12-19 tilveiebringer foreliggende utførelsesform av oppfinnelsen en anordning og en fremgangs-

måte for pumpekvalitetskontroll ved hjelp av formasjons-
hastighetsanalyse eller FRA for hvert pumpe­slag over tid.
Pumpingen kan vare i timer, og det å opprettholde pumpepro-
sessen på den mest effektive måten fri for problemer slik som
5 verktøytilstopping, pakningslekkasje eller formasjonssvikt er
en meget viktig oppgave. Foreliggende oppfinnelse anvender FRA
på pumpedata når pumpevolumet er kjent. FRA blir anvendt på
hvert pumpe­slag eller på flere slag kombinert. FRA på
pumpe­slaget eller pumpe­slagene gir formasjonsmobilitet, fluid-
10 kompressibilitet og en korrelasjonskoeffisient. Foreliggende
oppfinnelse benytter FRA-bestemt mobilitet til å indikere
formasjonens evne til å produsere. Foreliggende utførelsesform
av oppfinnelsen benytter bestemmelsen av formasjonens evne til
å produsere, til å velge en passende pumpe­hastighet for derved
15 å tilpasse en mindre evne (dvs. en FRA-bestemmelse av
mobilitet) til å produsere med en lavere pumpe­hastighet ved å
redusere pumpe­hastigheten eller øke pumpe­hastigheten når
formasjonen har en større evne til å produsere (hvis den har
høy mobilitet) muliggjør forbedret effektivitet ved å anvende
20 en komplementær pumpings­hastighet for tilpasning til
formasjonens mobilitet. Ved å bruke FRA-pumpingsbestemmelser
for formasjonsmobilitet, beregnet og anvender foreliggende
oppfinnelse den maksimale, komplementære pumpings­hastigheten
som vil holde trykket i den prøven som strømmer gjennom pumpen
25 og verktøyet, over metnings- eller boblepunkttrykket og ikke
ta lenger enn nødvendig for å fremskaffe en prøve ved å pumpe
for langsomt. Sjansene for å samle inn en uberørt
representativ prøve økes ved å anvende den maksimale,
komplementære pumpe­hastigheten som er beregnet ved hjelp av
30 foreliggende oppfinnelse under bruk av FRA ved slutten av hver
pumpe­periode for toveispumpen.

Styring av formasjonspumpings­hastigheten i henhold til
formasjonsmobiliteten optimaliserer pumpings­prosessen ved å

tilpasse pumpehastigheten til formasjonsproduksjonshastigheten. Tilpasning av pumpingshastigheten til formasjonens evne til å produsere, sikrer at formasjonsprøven som pumpes inn i en prøvetank, forblir i enkeltfasen under prosessen ved ikke å pumpe hurtigere enn formasjonen kan produsere for derved ikke å senke trykket på formasjonsprøven til under boblepunktet. Foreliggende oppfinnelse muliggjør også kvalitetsovervåkning i sann tid for å indikere og detektere eventuelle problemer etter hvert som de inntreffer, og indikere eller automatisk endre pumpingsparametrene for å minimalisere den ugunstige effekten. Formasjonsrensing blir overvåket ved hjelp av endringen i FRA-kompressibiliteten. Foreliggende oppfinnelsen muliggjør derfor optimalisering av pumpeprosessen ved hjelp av integrert FRA under pumping. Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer således en fordel ved å fremskaffe en representativ formasjonsprøve.

FRA-teknikken for pumpingsdataene blir lett integrert inn i brønnhullsprøvetakningsverktøy som en mulighet til å bli slått på og slått av. Når pumpeoptimaliseringsprosessen er aktivert, blir FRA-mobiliteten, kompressibiliteten og korrelasjonskoeffisienten overvåket konstant i sann tid. Foreliggende utførelsesform av oppfinnelsen utfører fortrinnsvis følgende trinn.

Foreliggende oppfinnelse benytter FRA på et kjent pumpevolum for toveispumpekamrene 62 og 64 eller et enveispumpekammer. FRA-teknikken kan anvendes på et enkelt pumpeslag sammen, og mobiliteten, kompressibiliteten og korrelasjonskoeffisienten vil bli beregnet for slaget eller slagene. Ved å bruke den FRA-bestemte formasjonsmobiliteten beregner foreliggende oppfinnelse den optimale pumpehastigheten for å opprettholde strømningstrykket over metningstrykket og varsler verktøyteknikeren om en endring i pumpingsparametrene er nødvendige for å oppnå det optimale trykket eller justerer auto-

matisk pumpingshastigheten for å oppnå det optimale trykket hvor pumpingshastighetstrykket er tilpasset formasjonens evne til å produsere. Foreliggende oppfinnelse overvåker kontinuerlig FRA-mobiliteten, kompressibiliteten og korrelasjons-

5 koeffisienten under pumpingsprosessen for å observere betydelige endringer i FRA-mobiliteten, kompressibiliteten og korrelasjonskoeffisienten for å bestemme formasjonens evne til å produsere eller for å detektere problemer under pumping.

FRA-teknikken muliggjør beregning av formasjonshastigheten for analyse. Den følgende ligning (16) er grunnlaget for analysen:

10

$$p(t) = p^* - (\mu / (kG_0 r_i)) (C_{sys} V_{sys} (dp(t) / dt) - q_{dd}) \quad (16)$$

15 Hele leddet, $C_{sys} V_{sys} (dp(t) / dt) + q_{dd}$, i den andre parentesens på høyre side av ligningen, er den formasjonshastigheten som blir beregnet ved å korrigere stempelhastigheten (q_{dd}) for verktøylagrings-effekter. C_{sys} er kompressibiliteten til fluidet i verktøystrømningsledningen og V_{sys} er volumet til

20 strømningsledningen. G_0 er den geometriske faktoren og r_i er sonderadien.

De følgende uttrykk er brukt på figurene 15-29:
 APQK/trykk-kurve for pumpetrykket i psi; APQL/trykk-kurven for pakningstrykket i psi; LMP-kurven for den lineære volum-

25 forskyvningen av pumpestempelet eller prøve-kammerstempelet for å bestemme pumpevolumet. Posisjonsindikatorpotensiometeret 47 for LMP-pumpestempelet er vist på fig. 13. LMP er nyttig når det gjelder å spore både stempelposisjon og stempel-

bevegelsehastighet. Nedtrekkingsvolumet (DDV) og pumpevolumet

30 (PTV) blir beregnet fra denne kurven ved å bruke pumpestempelets tverrsnittsareal i cm; pumpe-(PTV-BB)-volumkurven er i cm³. FRA kan anvendes på pumping med pumpen med lite volum 56 cc når pumpevolumet blir angitt i pumpevolumet

(PTV)-kurven.

Et eksempel på FRA anvendt på pumpedataene for pumpen med det lille pumpevolumet er gitt på fig. 14. Dataene omfatter p* 1410, mobilitet 1412, kompressibilitet 1414 og

5 korrelasjonskoeffisient 1416. Pumpedataene ble undersøkt og analysert slag for slag. De tre pumpe slagdataene 1402, 1404, 1406 ble så kombinert 1408. Fig. 15 viser den historiske plottingen av de anvendte pumpedataene. Som vist ble tre slag fra en pumpe med lite volum brukt. Analyseresultatene er

10 oppsummert på fig. 14. Legg merke til at pumpevolumkurven (PTV) ble brukt istedenfor et nedtrekkingsvolum (DDV) for nedtrekkingshastighetsberegningen.

Fig. 15 viser pumpetrykk 1506, pakningstrykk 1504, stempelposisjon 1502 og pumpingsvolum 1508. På fig. 15 er det

15 brukt en historie over pumpedata, tre slag av BB 56 cc samplingspumpen. På fig. 16 er FRA-plottingen for de tre slagene på fig. 15 kombinert. Fig. 16 er en pumpingshistorie som viser korrelasjonskoeffisienten på 0,9921 for de tre slagene som er vist på fig. 15.

På fig. 14 er det vist mobilitets- og kompressibilitetsendringer for hvert pumpe slag, men de er meget nær hverandre. Mobiliteten øker bare svakt. FRA for tre pumpe slag i kombinasjon, genererer et defakto gjennomsnitt av typer over tre pumpe slag for kompressibilitet og mobilitet. Det vises nå til

25 fig. 16 hvor FRA-plottingen 1604 for de tre pumpe slagene er kombinert, som vist på fig. 16, og illustrerer en forholdsvis god korrelasjon med en rett linje 1602 på 0,9921. Det ovennevnte eksempelet indikerer at FRA kan anvendes med hell på

30 56 cc (BB) pumpen blir brukt og pumpevolumkurvene (PTV) er slått på. FRA blir anvendt på hvert slag eller kan anvendes på flere slag sammen for å spare beregningstid.

FRA blir anvendt på et problemscenario for et pumpe slag-

datasett som vist på fig. 17. Som vist på fig. 17 og 18 inntraff de første få slagene uten problemer, men senere viser trykket tegn på et problem (f.eks. tett formasjon, høy viskositet eller verktøytilstopping). FRA-plottingen av trykk som funksjon av formasjonsstrømningshastighet for hele settet med slag, er gitt på fig. 18, hvor det er lite eller intet tegn på korrelasjon (korrelasjonskoeffisienten er meget lav, bare 0,03). FRA på de første få slagene, som vist på fig. 19, er imidlertid rimelig god med en korrelasjonskoeffisient på 0,93 og mobilitet på 1040 md/cp, og en kompressibilitet lik $4,1 \text{ E-4}$ (1/psi). Dette eksempelet illustrerer bruk av FRA under pumping som en kvalitetsindikator for pumpingen. Foreliggende oppfinnelse anvender FRA-analyse på noen få pumpeslag og beregnes eller detekterer en endring i FRA-plottingen eller korrelasjonskoeffisienten for å detektere eventuelle tegn på pumpeproblemer. Foreliggende utførelsesform av oppfinnelsen bestemmer enhver signifikant endring og spør eller varsler operatøren om eller opererer automatisk for å endre pumpehastigheten, kontrollere eventuelle problemer, eller stopper pumpingen på grunn av en oppfattet tilstand som krever opphør av pumpingen.

Metningstrykket til formasjonsfluidet eller blandingen av formasjonsfluid og filtrat kan estimeres ved hjelp av ekspansjonstester i brønnhullet, eller det kan estimeres fra en kjent database med korrelerte verdier. Når formasjonsmobiliteten er fremskaffet fra FRA, blir den maksimale pumpehastigheten som fremdeles kan opprettholde strømningstrykket over metningstrykket, beregnet ved å bruke FRA. Enhver signifikant endring, f.eks. halvparten eller en størrelsesorden i FRA-kompressibilitet innebærer også endring i den fluidtypen som strømmer inn i verktøyet, noe som vil være en indikator på formasjonsrensing.

Foreliggende oppfinnelse velger en del av totale nedtrek-

kingspumpeslag og oppbyggings-FRA-data basert på den beregnede nedtrekkingshastigheten. Med pumpedataene blir det valgt et analyseintervall basert på antallet pumpeslag istedenfor nedtrekkingshastigheten. Foreliggende oppfinnelse benytter et

5 variabelt antall slag over pumpingen, idet det velges små pumpeslag ved begynnelsen, f.eks. to eller tre pumpeslag, og progressiv økning av antallet pumpeslag opp til et valgt, fast maksimalt antall slag, f.eks. 10 slag, eller i det foreliggende eksempelet, omkring 500 cc eller cm^3 med pumpet fluid.

10 Det vises nå til fig. 20 hvor en illustrasjon av et prøvetakningsverktøy er presentert. Foreliggende oppfinnelse muliggjør FRA under pumping av en prøve fra en formasjon. FRA muliggjør beregning av kompressibilitet, permeabilitet og mobilitet som funksjon av tid. Overvåkingen av permeabiliteten

15 som funksjon av tid, muliggjør et estimat eller en bestemmelse av graden av filtratforurensning i prøven. Når kompressibiliteten til formasjonsfluidet er større enn kompressibiliteten til filtratet og kompressibiliteten dermed avtar jevnt og flater ut asymptotisk til en stabil tilstandsverdi når

20 formasjonsprøven blir rensset og filtrat blir fjernet under pumping av formasjonsfluidprøven fra formasjonen.

Som vist på fig. 20 pumper pumpen 2018 formasjonsfluid fra formasjonen 2010. Formasjonsfluidet fra formasjonen 2010 blir rettet enten til borehullsutgangen 2012 under prøverensning eller til en enkeltfaseprøvetank 2020 og innfanget som

25 prøve 2021 straks det er bestemt at formasjonsprøven er rensset. Foreliggende oppfinnelse muliggjør overvåking av kompressibilitet, permeabilitet og mobilitet som funksjon av tid i sann tid for å muliggjøre kvalitetskontroll av prøven

30 slik at prøven forblir i samme tilstand som den var i da den befant seg i formasjonen.

Sugesiden 2014 til pumpen 2018 faller under formasjonsstrykket for å muliggjøre strømming av formasjonsfluidet fra

formasjonen inn i pumpen 2018. Størrelsen av trykkfallet under formasjonstrykket på sugesiden av pumpen, blir fastsatt ved hjelp av foreliggende oppfinnelse. Størrelsen av trykkfallet blir satt slik at prøvetrykket ikke går under boblepunkttrykket. Størrelsen av trykkfallet på sugesiden blir også fastsatt slik at trykket ikke faller under det trykk der asfalter ikke utfelles fra prøven for derved å sikre at prøven forblir i den flytende formen i hvilken den fantes i formasjonen. Et første trykkfall blir således satt slik at trykkfallet under pumping ikke går under boblepunkttrykket og gassbobler blir dannet. Et annet trykkfall blir satt slik at trykkfallet under pumping ikke går under det trykk ved hvilket faststoffer slik som asfalter, felles ut fra formasjonsfluidet. Tilveiebringelsen av de første og andre trykkfallene sikrer dermed levering av en formasjonsfluidprøve uten endring i tilstand av ytterligere gasser eller faststoffer. De første og andre trykkfallverdiene blir bestemt av boblepunkttrykket og faststoffutfellingstrykket ved hjelp av modellering eller tidligere dataanalyse av formasjonen. Overvåkingen av prøvefiltratrensingen sikrer også at formasjonsfluidprøven ikke inneholder filtrat, eller inneholder en minst mengde med filtrat slik at sammensetningen av formasjonsfluidprøven er representativ for sammensetningen av formasjonsfluidet slik det er i formasjonen.

I en annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse er fremgangsmåten implementert som et sett med datamaskinutførbare instruksjoner på et datamaskinlesbart medium, omfattende et ROM, RAM, CD ROM, Flash eller et hvilket som helst annet datamaskinlesbart medium, som nå er kjent eller ukjent og som når de utføres, får en datamaskin til å implementere fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse.

Selv om den foregående beskrivelsen er rettet mot utførelseseksemplene av oppfinnelsen, vil forskjellige

modifikasjoner være opplagte for fagkyndige på området. Det er ment at alle varianter innenfor rammen av de vedføyde patentkrav skal omfattes av den foregående beskrivelsen.

Eksempler på de viktigste trekkene ved oppfinnelsen er blitt

5 oppsummert istedenfor detaljbeskrevet slik at den etterfølgende beskrivelsen bedre kan forstås, og for at bidraget til teknikkens stand kan forstås. Det er selvsagt ytterligere trekk ved oppfinnelsen som vil bli beskrevet i det etterfølgende og som vil utgjøre innholdet av de vedføyde patent-

10 krav.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å estimere en strømningshastighet (604) for et fluid (408) fra en formasjon (218), omfattende følgende
5 trinn:
 - å pumpe for å fjerne fluidet (408) fra formasjonen (218);
 - å måle fluidtrykk (424) og volum som er pumpet under pumpingen;k a r a k t e r i s e r t v e d trinnene med:
10 å estimere minst én av: permeabiliteten, mobiliteten og kompressibiliteten til fluidet (408) fra strømningshastigheten (604).
 - å pumpe fluidet (408) ved en hastighet basert på strømningshastigheten (604) for å samle inn fluidet (408)
15 hovedsakelig i en enkelt fase; og
 - å maksimalisere pumpehastigheten basert på strømningshastigheten (604) for å innhente fluidet (408) i en eneste fase; og
 - å estimere strømningshastigheten (604) til fluidet (408)
20 fra det målte trykket og volumet.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor pumpingen av fluidet (408) omfatter: å pumpe fluidet (408) fra formasjonen (218) inn i en strømningsledning og et prøvekommer.
25
3. Fremgangsmåte ifølge krav 2, hvor målingen av fluidtrykket omfatter: å måle trykket i strømningsledningen.
4. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre
k a r a k t e r i s e r t v e d:
30 å detektere et pumpeproblem hvis strømningshastigheten (604) er utenfor en forutbestemt grense.
5. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre

k a r a k t e r i s e r t v e d:

å estimere en kvalitet for fluidet (408) fra
strømningshastigheten (604) over tid.

5 6. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre

k a r a k t e r i s e r t v e d:

å bestemme en korrelasjonskoeffisient for estimer av strømningshastigheten (604); og

10 å detektere et pumpeproblem basert på korrelasjonskoeffisienten.

7. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre

k a r a k t e r i s e r t v e d:

15 å overvåke strømningshastigheten (604) som funksjon av tid for å bestemme formasjonsrensing.

8. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre

k a r a k t e r i s e r t v e d:

20 å overvåke om en formasjonsfluidprøve er i en enkeltfase-tilstand.

9. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre

k a r a k t e r i s e r t v e d:

25 å estimere om pumpeoperasjonen omfatter et begrenset trykkfall i fluidet (408).

10. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre

k a r a k t e r i s e r t v e d:

30 å plote strømningshastigheten (604) som funksjon av trykket (602); og

å estimere formasjonsrensing fra en helning (606) av
plottingen av strømningshastighet (604) som funksjon av trykk.

11. Anordning for innhenting av et fluid (408), omfattende:
en pumpe (426) der pumpen er innrettet slik at
dennespumpevolum kan registreres, og der pumpen (426) er
innrettet til å pumpe fluidet fra en formasjon (218);
5 en trykkmåler (424) som måler et fluidtrykk i fluidet (408);
og
k a r a k t e r i s e r t v e d:
en prosessor (418) innrettet til å estimere hvorvidt
pumpeoperasjonen omfatter et begrenset trykkfall i fluidet
10 (408);
der prosessoren (418) videre er innrettet til å estimere
permeabilitet, mobilitet og kompressibilitet; og
der prosessoren (418) er innrettet til å gi en indikator for å
maksimalisere pumpehastigheten basert på egenskapen, mens
15 innsamling av enkeltfasefluid (408) sikres.
12. Anordning ifølge krav 11, hvor prosessoren (418) endrer
hastigheten til pumpen (426) for å optimalisere innhenting.
- 20 13. Anordning ifølge krav 11, videre
k a r a k t e r i s e r t v e d:
en tank (26) for å romme fluidet(408).
- 25 14. Anordning ifølge krav 11, hvor prosessoren (418) plotter
egenskapen som funksjon av tid for å bestemme fluidets
kvalitet.
- 30 15. Anordning ifølge krav 11, videre
k a r a k t e r i s e r t v e d:
at prosessoren (418) er innrettet til å tilveiebringe en
indikator for tilpasning av pumpehastigheten til en egenskap
valgt fra en gruppe bestående av permeabilitet, mobilitet og

kompressibilitet for å sikre innsamling av enkeltfasefluid (408).

16. Anordning ifølge krav 11, hvor prosessoren (418)
5 detekterer et pumpeproblem basert på egenskapen.

17. Anordning ifølge krav 11, hvor prosessoren (418)
bestemmer en korrelasjonskoeffisient for plottingen og
detekterer et pumpeproblem basert på
10 korrelasjonskoeffisienten.

18. Anordning ifølge krav 11, hvor prosessoren (418) er
innrettet til å overvåke egenskapen som funksjon av tid for å
bestemme formasjonsrensing.
15

19. Anordning ifølge krav 11, hvor prosessoren (418) er
innrettet til å overvåke egenskapen som funksjon av tid for å
bestemme om en formasjonsfluidprøve (218) er i en enkelt-
eller enfasetilstand.
20

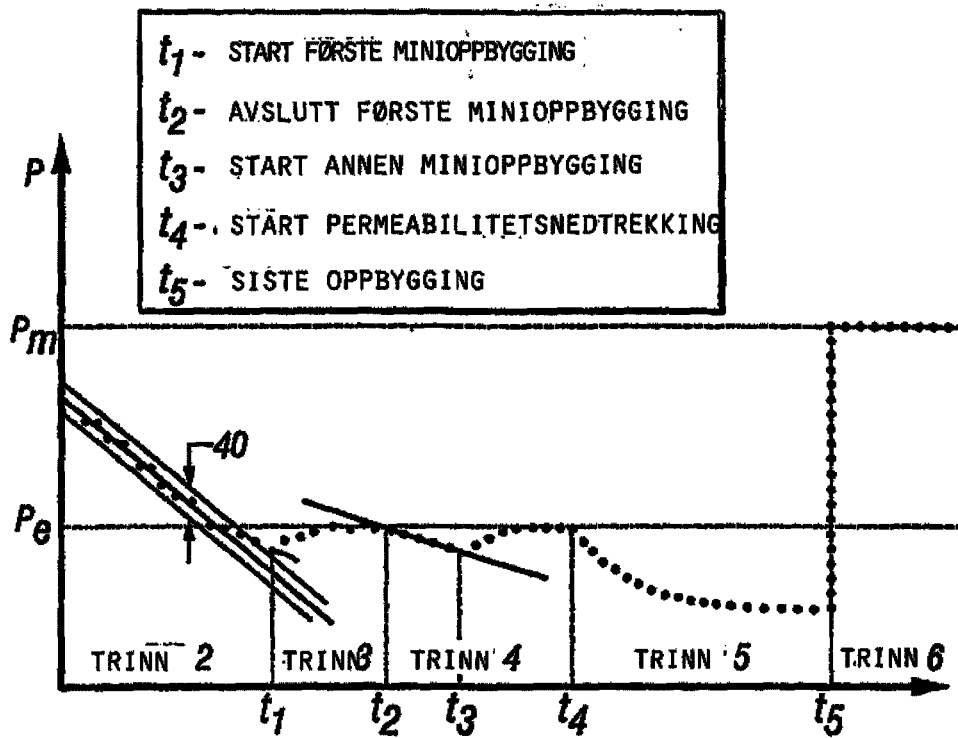


FIG. 1
(KJENT TEKNIKK)

2/16

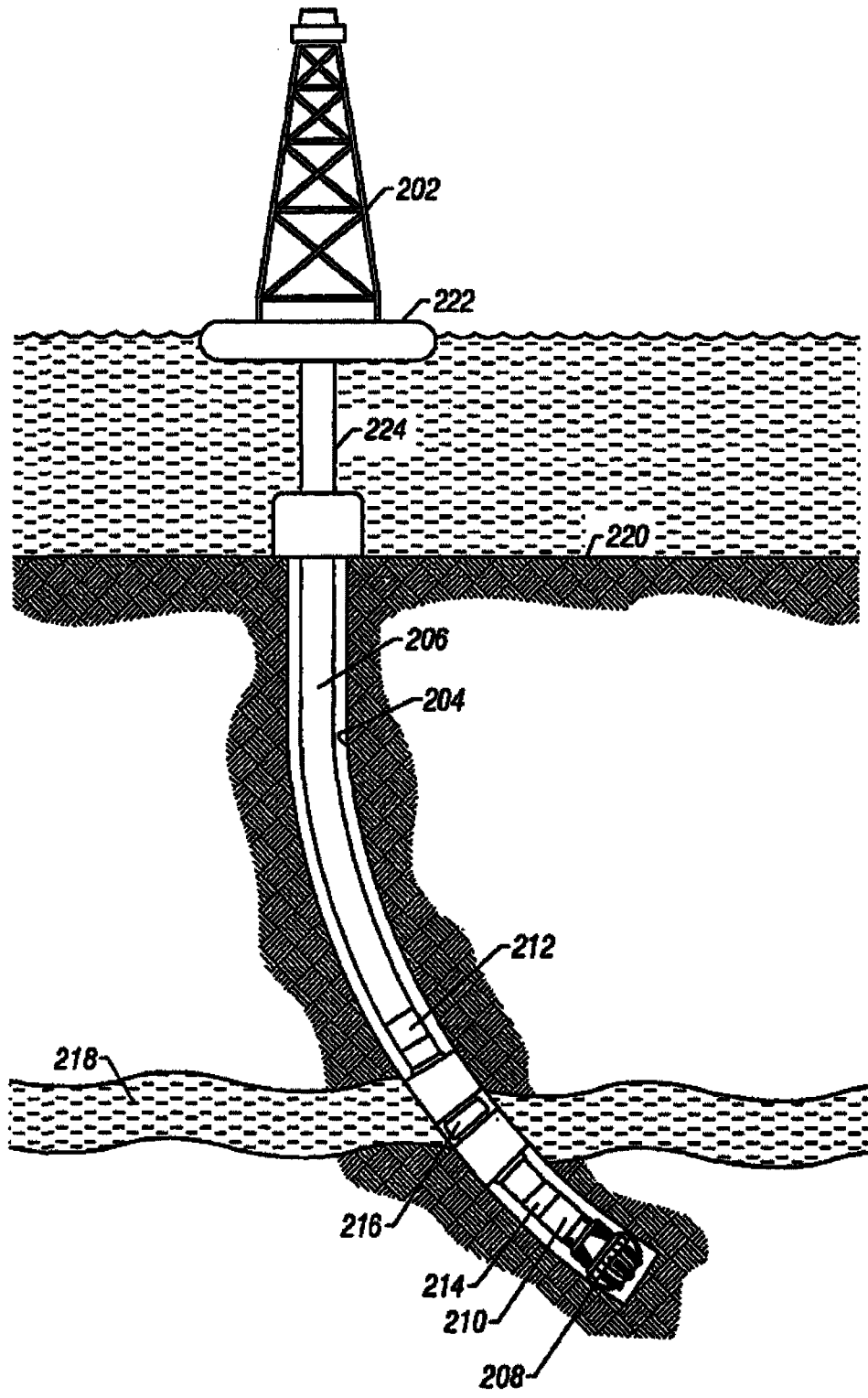


FIG. 2

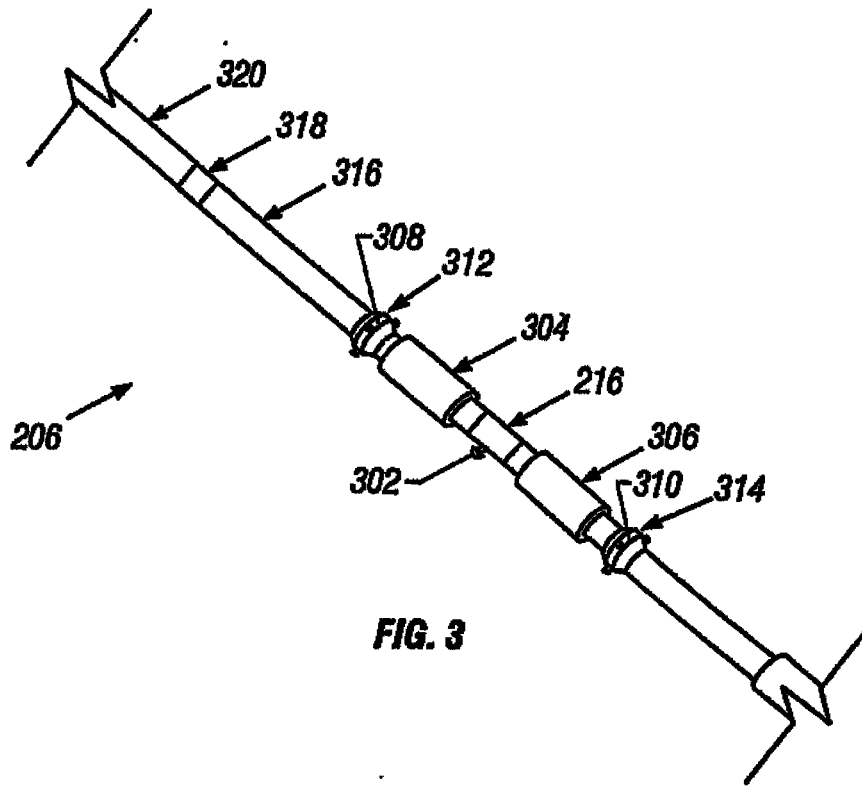


FIG. 3

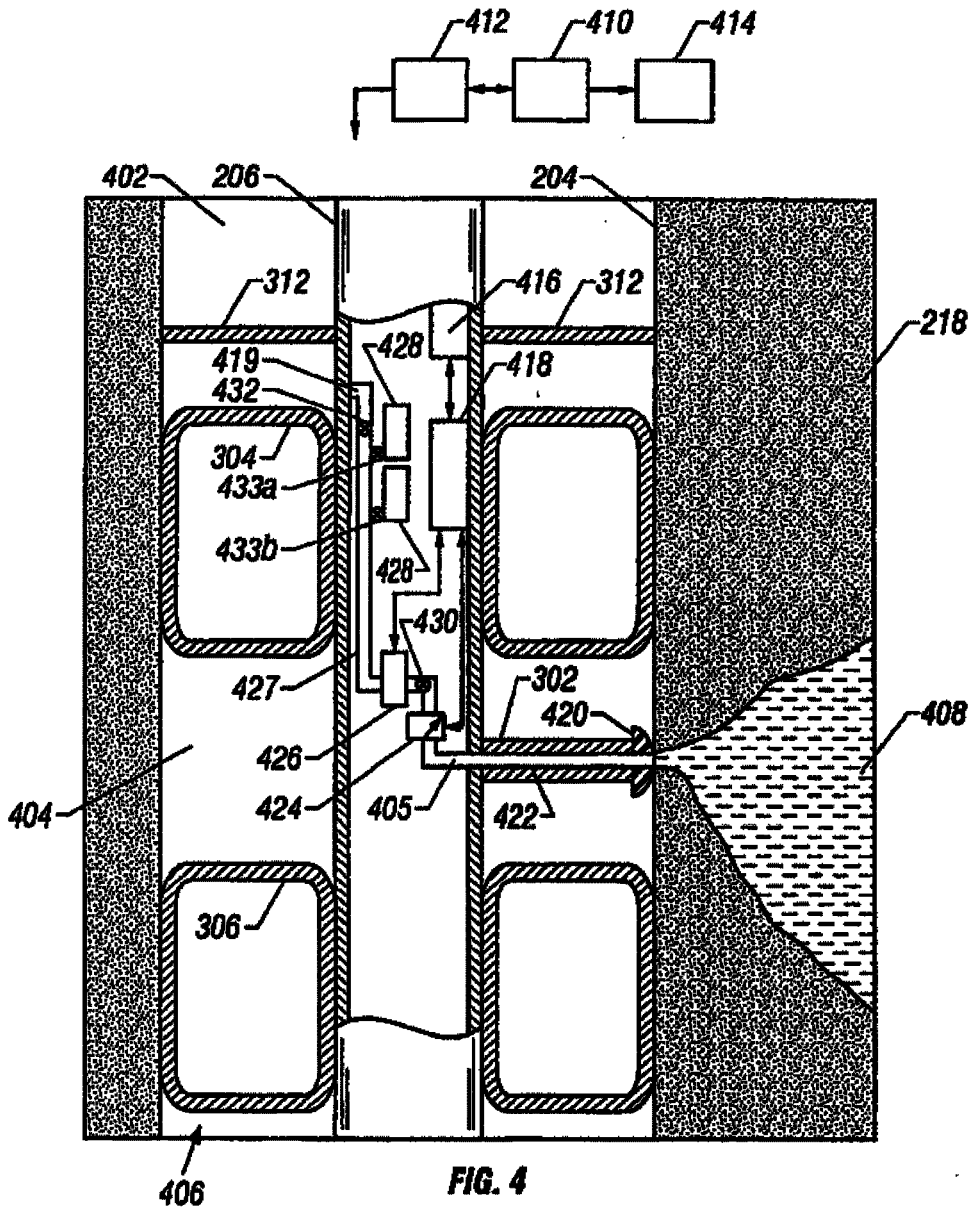


FIG. 4

5/16

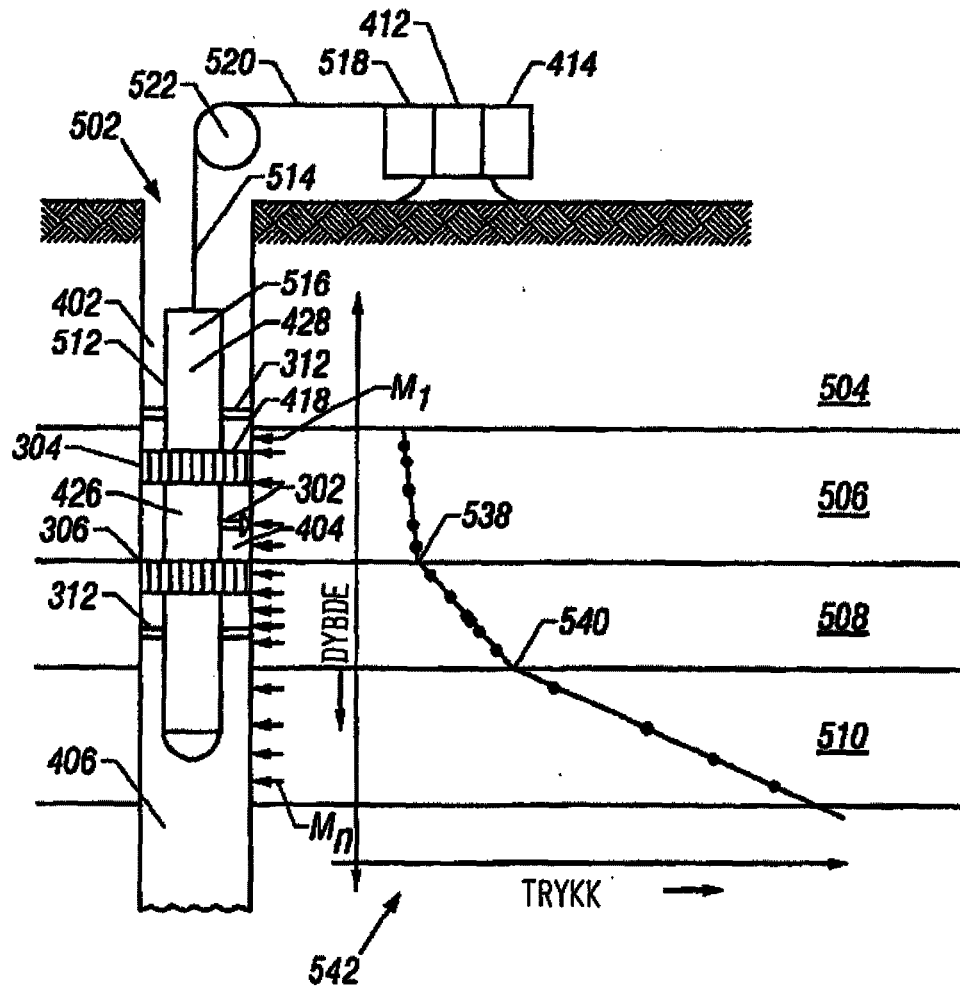


FIG. 5

6/16

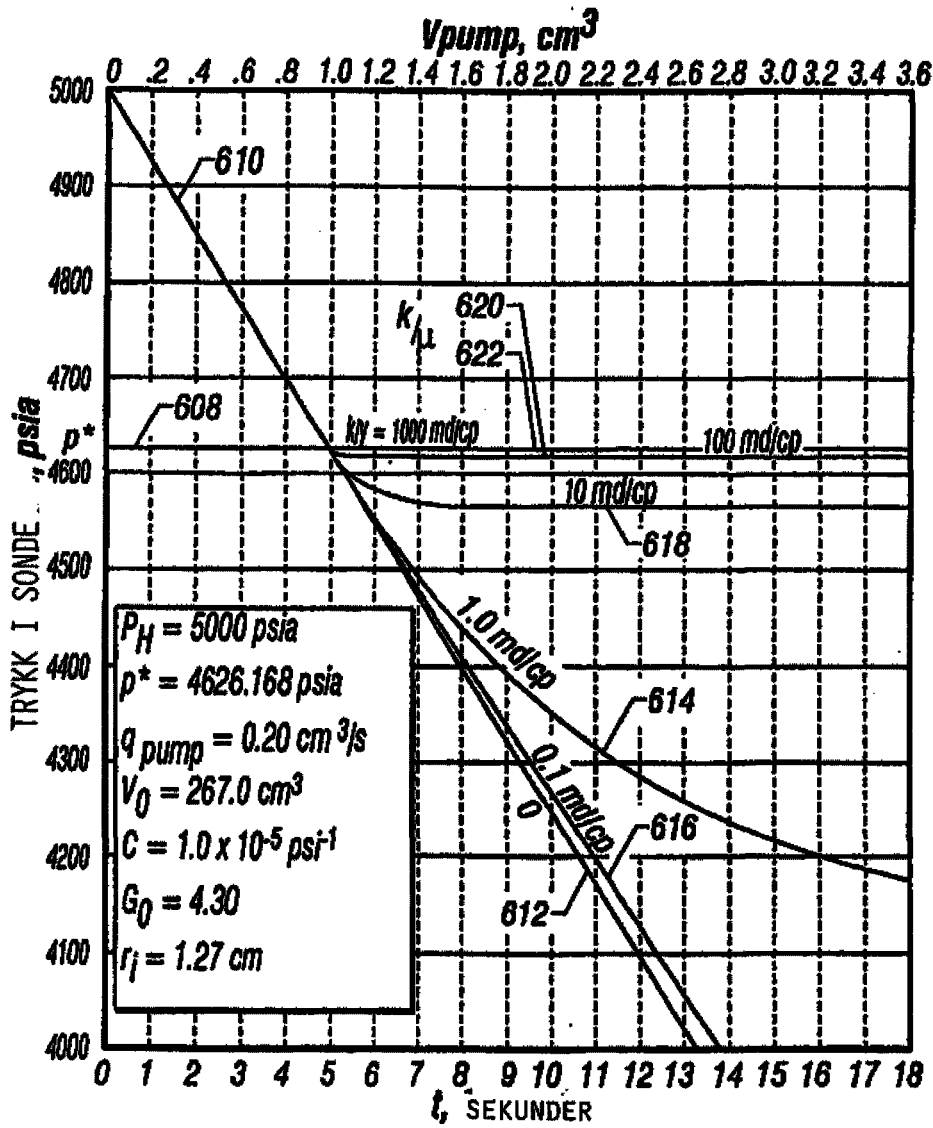


FIG. 6

.7/16

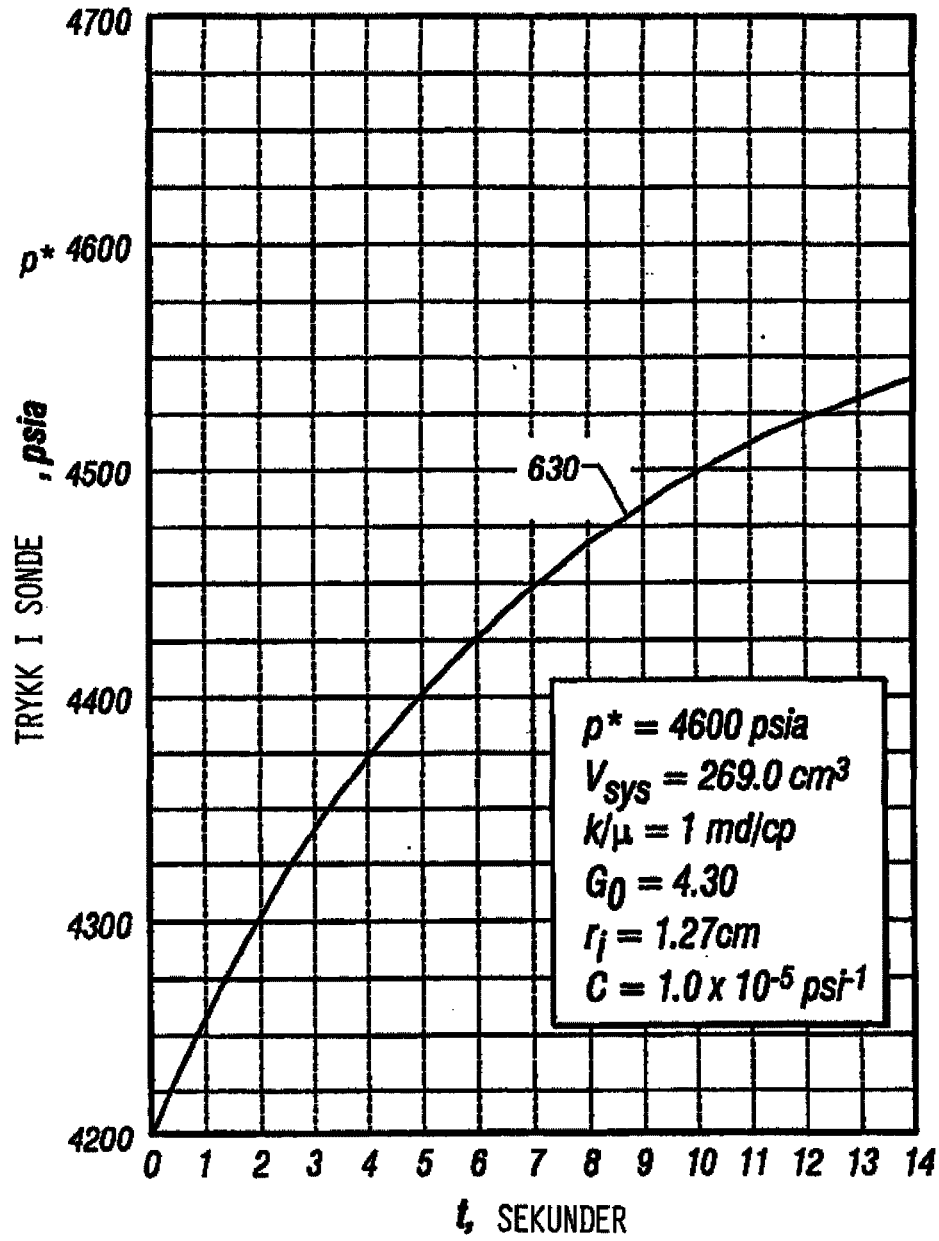


FIG. 7

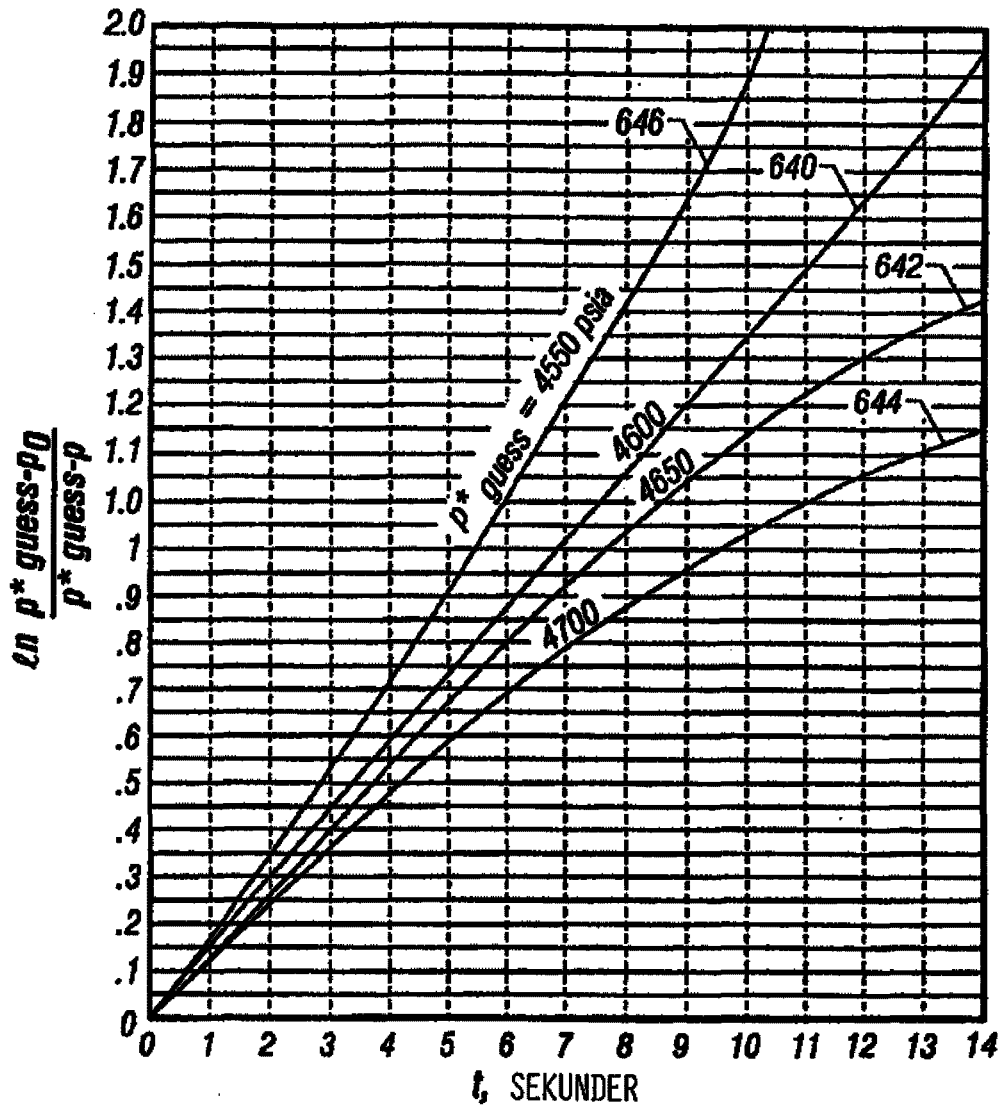


FIG. 8

9/16

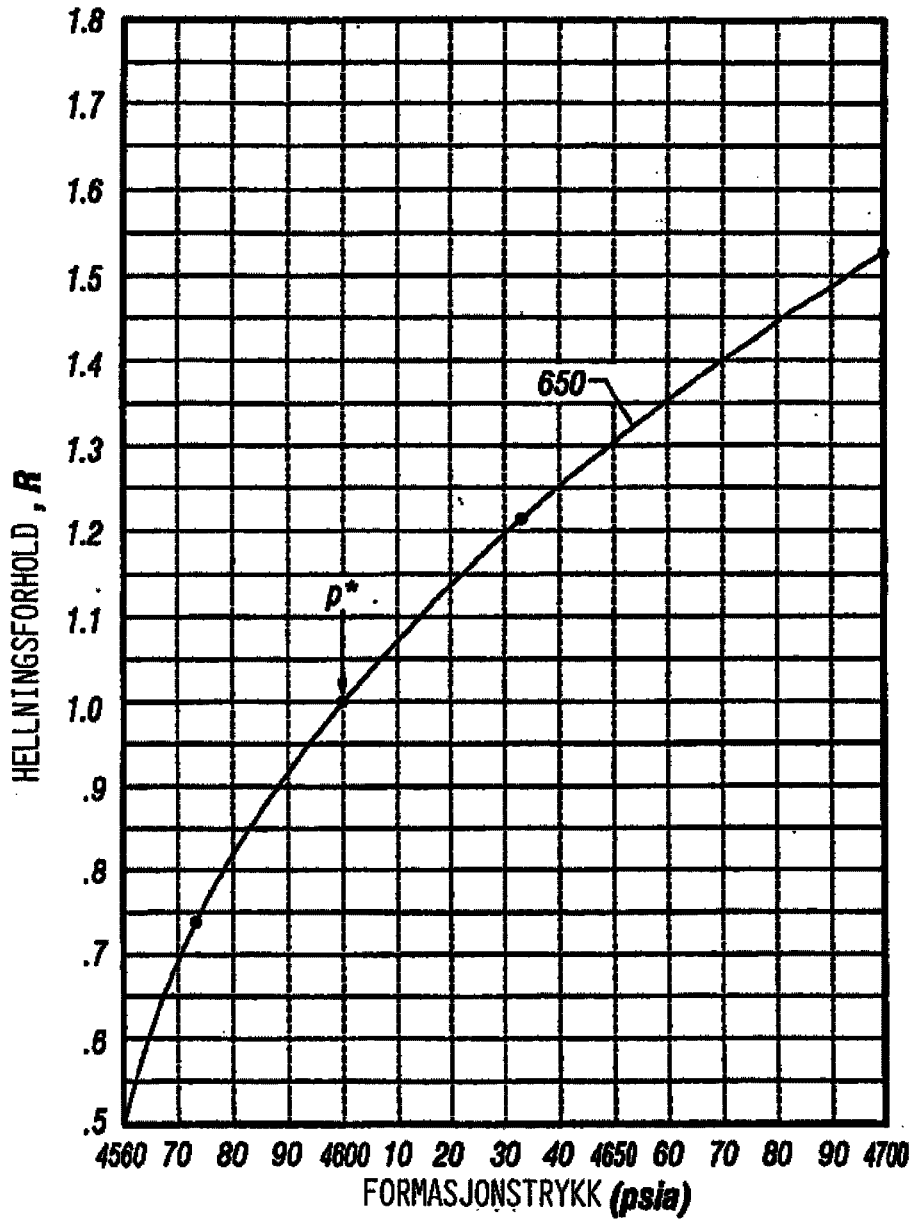


FIG. 9

10/16

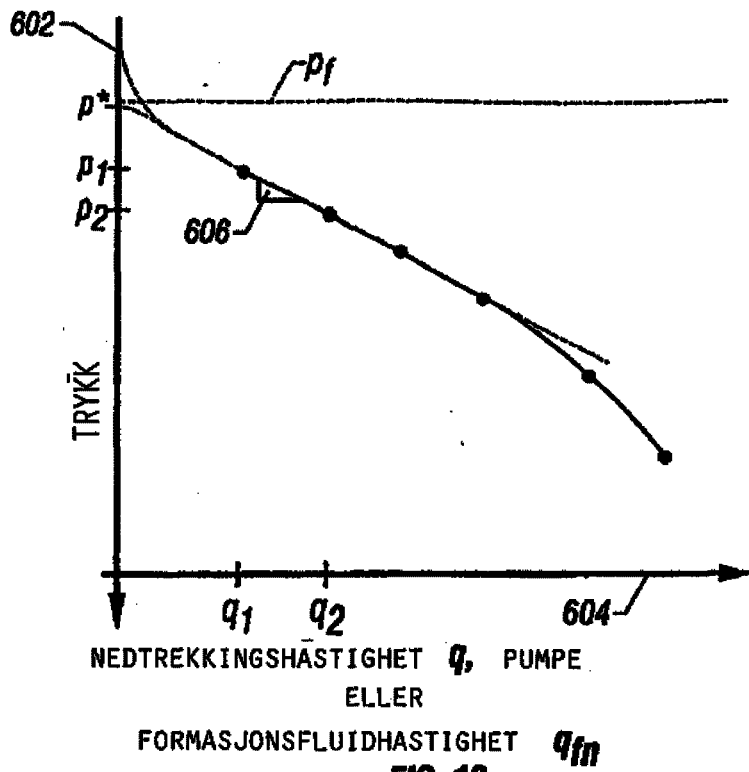


FIG. 10

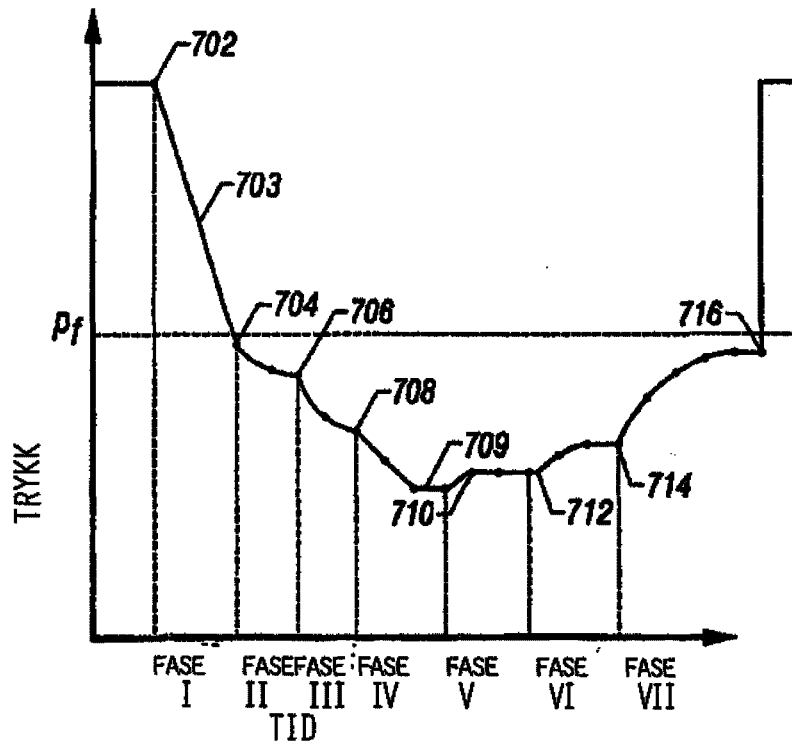


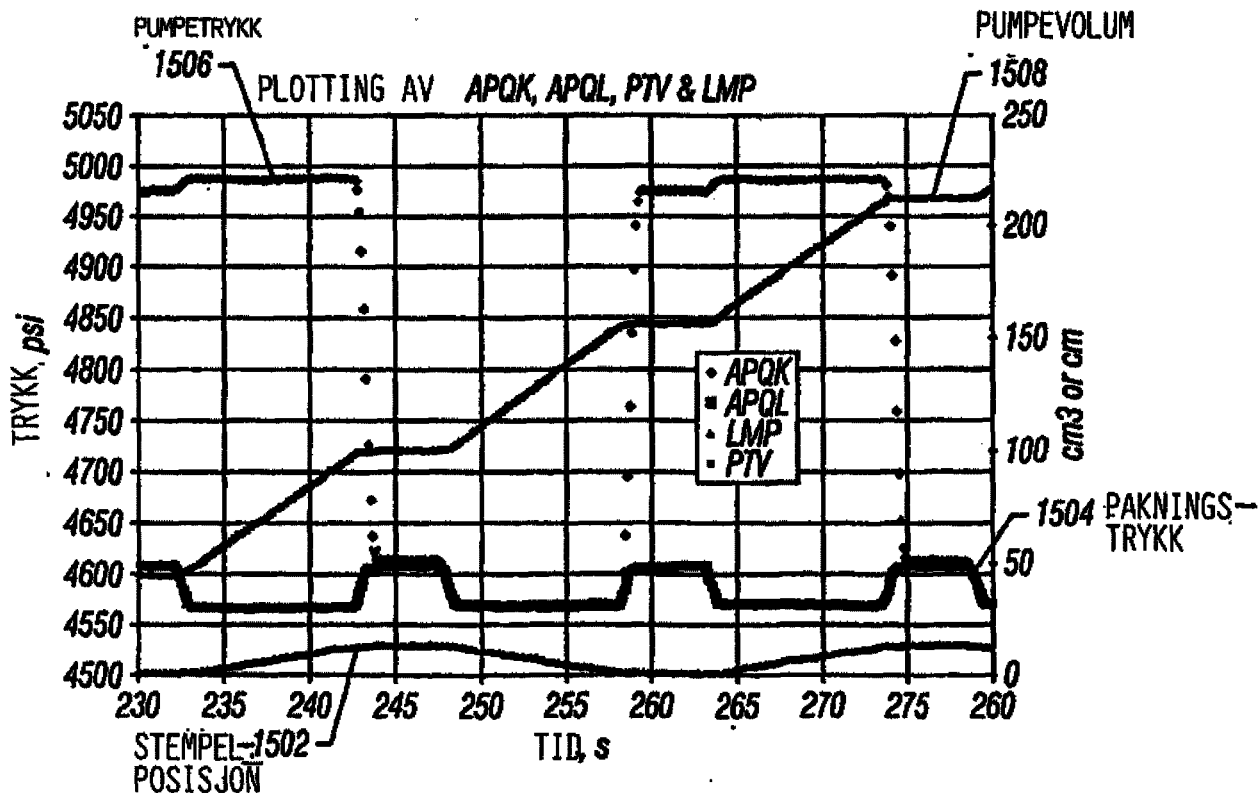
FIG. 11

13/16

OPPSUMMERING AV EKSEMPLER

	P^* (psi)	MOBILIT ² (md/cp)	C_t (1/psi)	KORREL. KOEFF.
FØRSTE SLAG	4607.3	321.8	2.76E-5	0.99
ANDRE SLAG	4606.4	335.7	1.73E-5	0.99
TREDJE SLAG	4606.7	347.6	1.5E-5	0.99
TRE KOMBINERT	4606.9	334.1	2.0E-5	0.99

FIG. 14



HISTORISK PLOTING AV ANVENDTE PUMPEDATA:
TRE BB-PUMPESLAG

FIG. 15

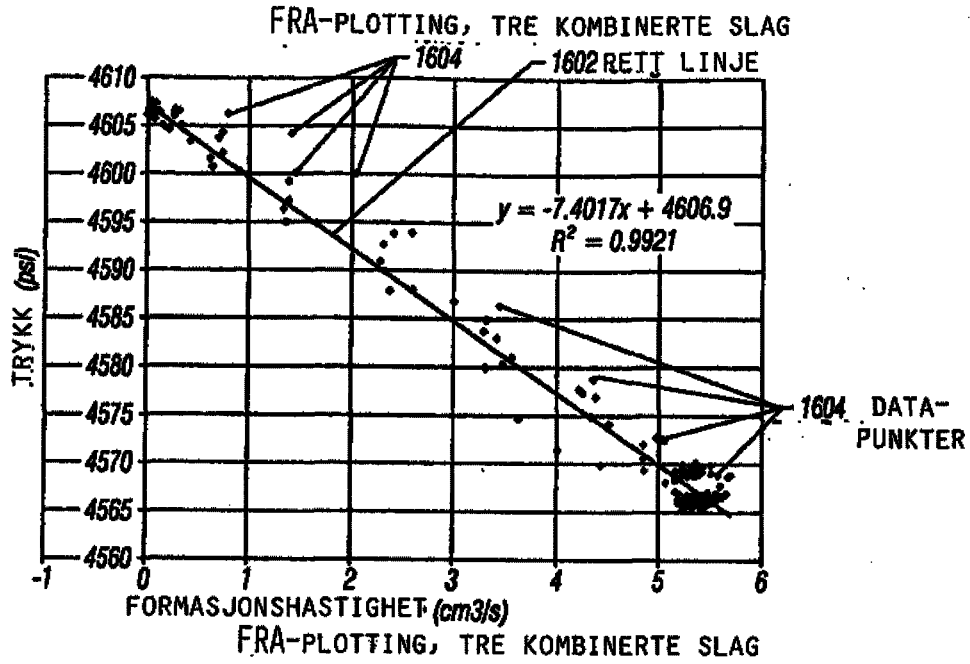


FIG. 16

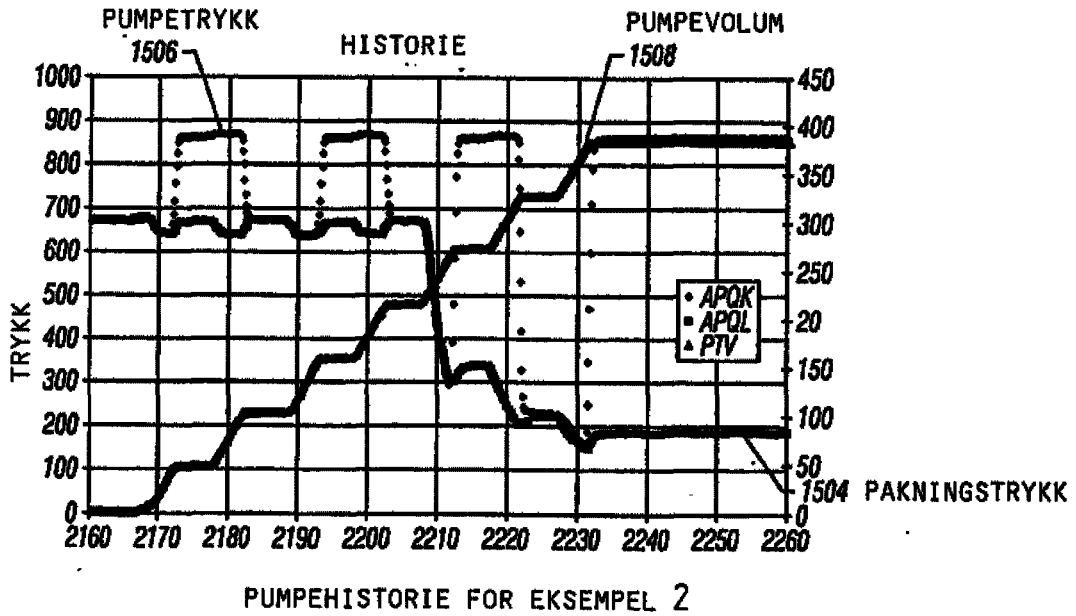


FIG. 17

15/16

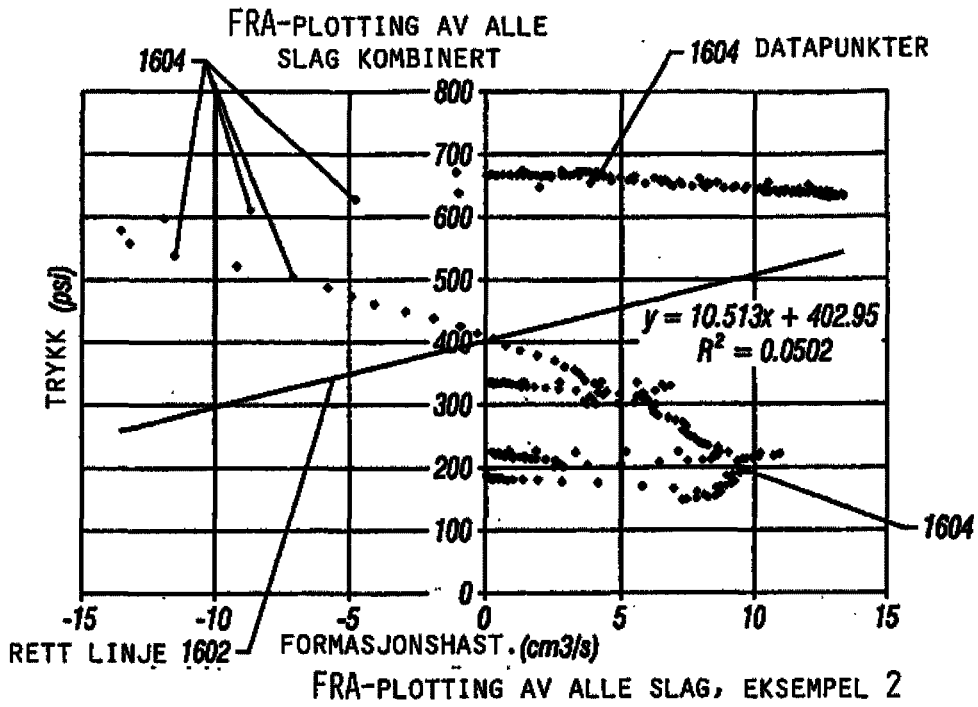


FIG. 18

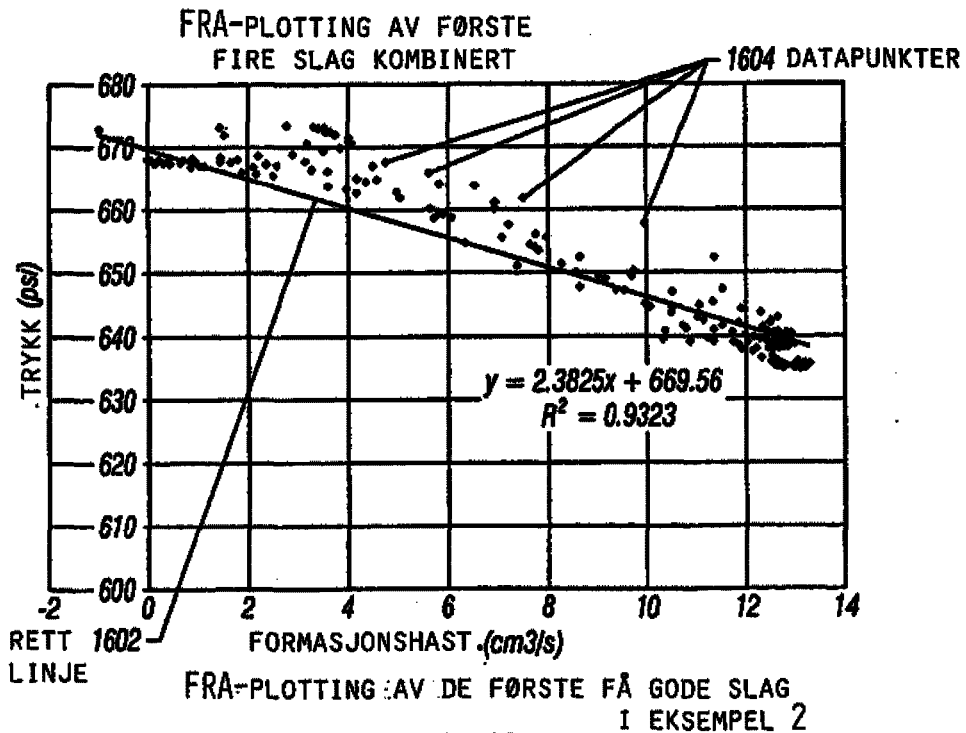


FIG. 19

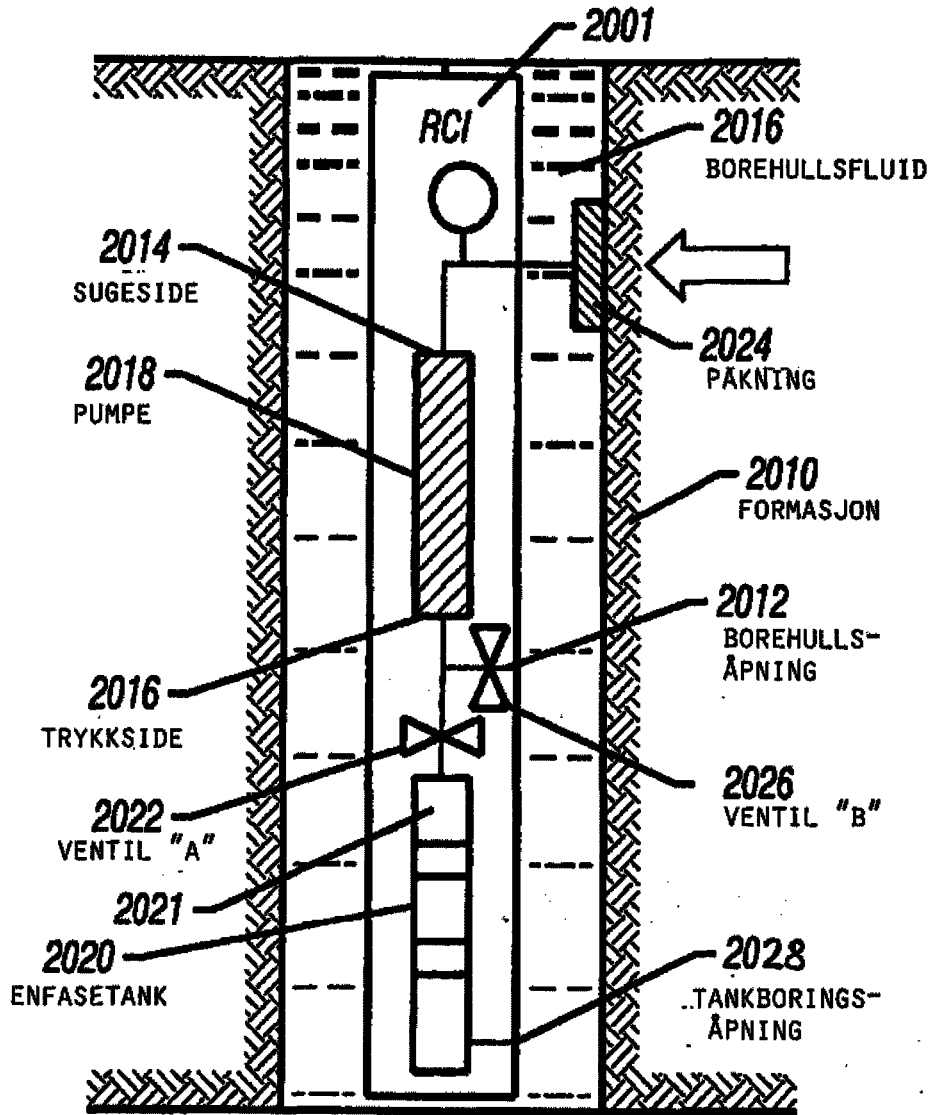


FIG. 20