



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336063

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.
E21B 49/08 (2006.01)

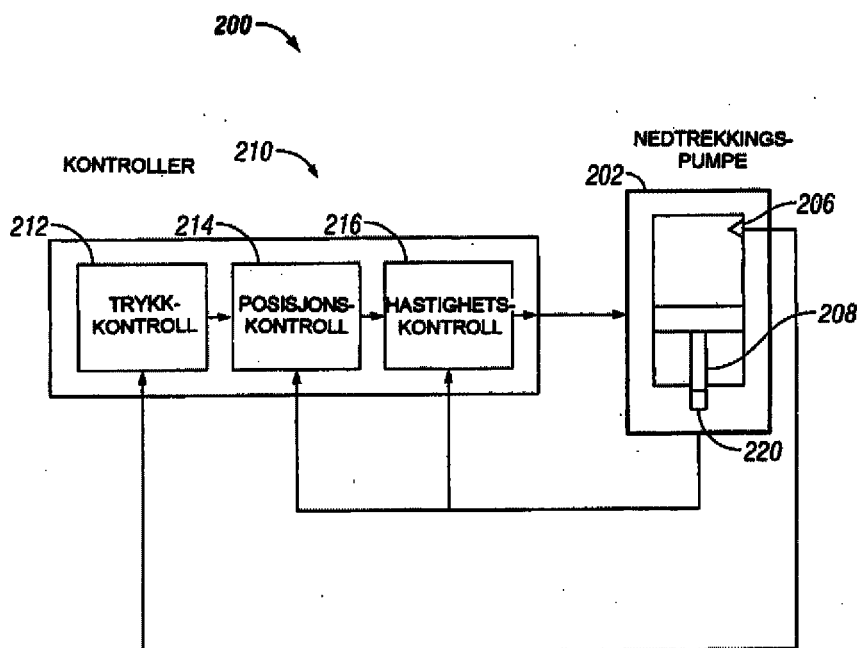
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20055131	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2004.04.26 PCT/US2004/12711
(22)	Inng.dag	2005.11.02	(85)	Videreføringsdag	2005.11.02
(24)	Løpedag	2004.04.26	(30)	Prioritet	2003.04.25, US, 10/423,420
(41)	Alm.tilgj	2005.11.24			
(45)	Meddelt	2015.05.04			

(73)	Innehaver	Baker Hughes Incorporated, P O Box 4740, US-TX77210-4740 HOUSTON, USA
(72)	Oppfinner	Matthias Meister, Lückenweg 21, DE-29227 CELLE, Tyskland Jaedong Lee, 1326 Remington Crest Drive, US-TX77094 HOUSTON, USA Sven Krueger, Runde Strasse 39, DE-29308 WINSEN/ALLER, Tyskland Eick Niemeyer, Rambergsstrasse 33, DE-30161 HANNOVER, Tyskland
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte og apparat for in situ bestemmelse av en ønsket formasjonsparameter av interesse
(56)	Anførte publikasjoner	US 2002185313 A US 2004050588 A1 US 5703286 A
(57)	Sammendrag	

En fremgangsmåte og apparat for å bestemme en formasjonsparameter av interesse. Fremgangsmåten inkluderer anbringelse av et verktøy i kommunikasjon med formasjonen for å teste formasjonen, en første formasjonskarakteristikk bestemmes under en første testdel, en andre testdel initieres, idet den andre testdel har testparametre bestemt i det minste delvis av bestemmelsene foretatt under den første testdel, en andre formasjonskarakteristikk bestemmes under den andre testdel, og formasjonsparameteren bestemmes fra en av den første formasjonskarakteristikk og den andre formasjonskarakteristikk. Apparatet inkluderer en nedtrekkingsenhet og et kontrollsystem for lukket sløyfekontroll av nedtrekkingsenheten. En mikroprosessor i kontrollsystemet bearbejder signaler fra en føler i nedtrekkingsenheten for å bestemme formasjons-karakteristikker og å bestemme testparametrene for etterfølgende testdeler.



Bakgrunn for oppfinnelsen

1. Oppfinnellesområdet

Denne oppfinnelse vedrører generelt testing av underjordiske formasjoner eller reservoarer. Mer spesielt vedrører denne oppfinnelse en fremgangsmåte og apparat for sanntidstest verifikasjon ved bruk av lukket sløyfekontroll av et nedtrekingsystem ("draw down system").

2. Beskrivelse av beslektet teknikk

US 2002185313 A1 omtaler et minimums volumapparat og fremgangsmåte som innbefatter et verktøy for å oppnå i det minste én parameter av interesse i en underjordisk formasjon in situ. Verktøyet omfatter en bæredel, en valgfri forlengbar del montert på bæredelen for å isolere et ringromsparti, en port som kan eksponeres for formasjonsfluid i det isolerte ringrommet, et stempel integrerende anbrakt innen den forlengbare del for å presse fluidet inn i porten, en sensor operativt forbundet med porten for å detektere i det minste én parameter av interesse av fluidet.

US 2004050588 omtaler et apparat og fremgangsmåte for å bestemme i det minste én brønnformasjonssegenskap. Apparatet innbefatter en sonde og et forhåndsteststempel som kan plasseres i fluidkommunikasjon med formasjonen, og en rekke av strømningsledningstrykkmålere, og ventiler konfigurert for valgfritt å trekkes inn i apparatet for måling av én av formasjonsfluid og slam. Fremgangsmåten omfatter å utføre en første forhåndstest for å bestemme en beregnet formasjonsparameter, ved å benytte den første forhåndstest for å utforme en andre forhåndstest og generere forbedrede formasjonsparametre hvorved formasjonsegenskaper kan bestemmes.

US 5703286 A omtaler en teknikk for å tolke trykkdata målt under en formasjonstest. Teknikken benytter en eksakt sfærisk strømningsmåler som betrakter virkningene av strømningsledningslagring og denne kan løses i lukket, analytisk form.

For å oppnå hydrokarboner som olje og gass bores brønnhull ved å rotere en borekrone festet ved en borestrengende. Borestrengen kan være et roterbart rør med skjøter eller et spolerør. En stor andel av den nåværende boreaktivitet inne-

bærer retningsstyrt boring, dvs. boring av borehull som avviker fra vertikale og/eller horisontale borehull, for å øke hydrokarbonproduksjonen og/eller å trekke ut ekstra hydrokarboner fra jordformasjonene. Moderne retningsstyrte boresystemer anvender generelt en borestreng med en bunnhullssammenstilling BHA ("bottom hole assembly") og en borekrone ved en ende derav som roteres av en boremotor (slammotor) og/eller borestrengen. Et antall av anordninger anbrakt nede i brønnen i tett nærhet til borekronen måler bestemte operative brønnparametre assosiert med borestrengen. Slike anordninger inkluderer typisk følere for å måle brønntemperatur og brønntrykk, anordninger for å måle asimut og inklinasjon og resistivitetsmålede anordninger for å bestemme nærværet av hydrokarboner og vann. Ytterligere brønninstrumenter, kjent som verktøy for måling under boring MWD ("measurement while-drilling") eller verktøy for lukking under boring LWD ("logging while-drilling") er ofte festet til borestrengen for å bestemme formasjonsgeologi og formasjonsfluidtilstander under boreoperasjonene.

En type av test under boring innebærer å produsere fluid fra reservoaret, samling av prøver, brønninnstengning, reduksjon av et testvolumtrykk, og tillate at trykket bygges opp til et statisk nivå. Denne sekvens kan gjentas flere ganger med flere forskjellige reservoarer inne i et gitt borehull eller ved flere punkter i et enkelt reservoar. Denne type av test er kjent som en trykkoppbygningstest ("Pressure Build-up Test"). Et viktig aspekt av data samlet under en slik trykkoppbygningstest er trykkoppbygningsinformasjonen som samles etter nedtrekning av trykket i testvolumet. Fra disse data kan informasjon avledes med hensyn til permeabilitet og størrelse av reservoaret. Videre kan reelle prøver av reservoarfluidet oppnås og testes for å samle trykk-volum-temperaturdata relevante til reservoarets hydrokarbonfordeling. Noen systemer krever opphenting av borestrengen fra borehullet for å utføre trykktesting. Borestrengen fjernes og et trykkmåleverktøy innføres i borehullet ved bruk av et kabelverktøy med pakninger for å isolere reservoaret. Selv om kabelinnførte verktøy er i stand til å teste et reservoar er det vanskelig å innføre et kabelverktøy i et avvikende borehull.

Den mengde av tid og penger som kreves for å hente opp borestrengen og innføre en andre testtrigg i borehullet er signifikant. Videre, når et borehull er sterkt avvikende kan kabeloppnådde testtall ikke anvendes på grunn av at friksjonskraft

mellom testriggeren og borehullet overstiger tyngdekraften som bevirker at testriggeren stanser før den når den ønskede formasjon.

Et mer nylig system er vist i U.S. Patent 5,803,186 (Berger et al.). '186-patentet tilveiebringer et MWD-system som inkluderer bruk av trykk- og resistivitetssfølere med MWD-systemet, for å tillate sanntidsdatatransmisjon av disse målinger. '186-anordningen muliggjør oppnåelse av statiske trykk, trykkoppbygninger, og trykknedtrekkinger med en arbeidsstreng, som for eksempel en borestreng, på stedet. Databehandling av permeabilitetsparametre og andre reservoarparametre basert på trykkmålingene kan gjennomføres uten å fjerne borestrengen fra borehullet.

Ved anvendelse av en anordning som beskrevet i '186-patentet beregnes densiteten av borefluidet under boring for å regulere boreeffektiviteten under opprettholdelse av sikkerheten. Densitetsberegningen er basert på det ønskede forhold mellom vekten av boreslamsøylen og de brønntrykk som forutsies å opptre. Etter at en test er tatt foretas en ny forutsigelse, slamdensiteten reguleres etter behov og borekronen går videre fremover inntil en ytterligere test tas.

En mangel ved denne type av verktøy opptrer når forskjellige formasjoner penetreres under boring. Trykket kan endes signifikant fra en formasjon til den neste og over korte avstander på grunn av forskjellige formasjonssammensetninger. Hvis formasjonstrykket er lavere enn forventet kan trykket fra slamsøylen bevirke unødvendig skade på formasjonen. Hvis formasjonstrykket er høyere enn forventet kunne et trykk brønnsparke resultere.

Slik formasjonstrykktesting kan hemmes av en rekke forskjellige faktorer inklusive utilstrekkelig nedtrekningsvolum, verktøy- eller formasjonsplugging under en test, tetningssvikt, eller trykkoverladning. Disse faktorer kan resultere i feilaktig trykkinformasjon. Trykktester med for sterk nedtrekkingstakt, dvs. takten for volumøkning i systemet, eller tester med et utilstrekkelig nedtrekningsvolum bør unngås. Den for sterke nedtrekkingstakt resulterer ofte i et for stort deltetrykkfall mellom testvolumet og formasjonen og dette bevirker lange oppbygningstider. Videre vil kompressibilitet av fluid i verktøyet dominere trykkresponsen hvis formasjonen ikke kan tilveiebringe nok fluid for det for store trykkfall. Med en for sterk nedtrekkingstakt kan trykkfallet overstige fluidets boblepunkt slik at det bringer gass til å utvikles fra fluidet og dette korrupperer testresultatet.

Med utilstrekkelig nedtrekkingsvolum vil trykket i verktøyet ikke falle under formasjonstrykket og dette resulterer i liten eller ikke noe trykkoppbygning. I meget permeable formasjoner kan utilstrekkelig nedtrekkingsvolum feilaktig indikere en tett formasjon.

5 Trykkoverlading, eller enkelt overlading, eksisterer når trykket ved sandflaten nær borehullveggen er større enn det reelle formasjonstrykk. Overlading bevirkes av fluidinvasjon fra boreprosessen og som ikke er blitt fullstendig dissipert inn i formasjonen. Overlading bevirkes også av ringroms-fluidtrykk som forbipasserer en tetning gjennom slamkaken. Følgelig blir målt trykkinformasjon typisk
10 målt mer enn en gang for å tilveiebringe verifikasjon av informasjonen.

Den typiske verifikasjonstest innebærer flere nedtrekkingstester hvor det anvendes identiske nedtrekkingsparametre, for eksempel nedtrekkingstakt, delta-trykk og testvarighet. I noen tilfeller kunne parameterne varieres ifølge en forutbestemt verifikasjonsprotokoll. Den multiple nedtrekkingstest under anvendelse av
15 de samme testparametre lider av ineffektivitet med hensyn til tid og muligheten for å gjenta feilaktige resultater. Ved bare å følge en forutbestemt testprotokoll øker dette ikke effektiviteten, på grunn av at protokollen ikke tar hensyn til sanntidsbetingelser på en riktig måte. Videre vil forutbestemte protokoller ikke nødvendigvis verifisere tidligere testresultater.

20 Hvilke som helst av de i det foregående identifiserte problemer kan føre til feilaktig informasjon vedrørende formasjonsegenskaper og bortkastet riggtid. Det foreligger derfor et behov for å tilveiebringe en fremgangsmåte og apparat for å utføre multiple verifikasjonstester uten operatørringripen.

25 **OPPSUMMERING AV OPPFINNELSEN**

Målene med foreliggende oppfinnelse oppnås ved en fremgangsmåte for in situ å bestemme en ønsket formasjonsparameter av interesse, omfattende:

- a) et verktøy innføres i et brønnhull som traverserer en formasjon;
- b) verktøyet anbringes i kommunikasjon med formasjonen for å teste for-
30 masjonen, idet testen inkluderer en første testdel og en andre testdel;
- c) en første karakteristikk bestemmes under den første testdel;
- d) den andre testdel initieres,
kjennetegnet ved at

den andre testdel har testparametere bestemt i det minste delvis ved bestemmelsene foretatt under den første testdel; hvori fremgangsmåten videre omfatter trinnene med:

- e) en andre karakteristikk bestemmes under den andre testdel; og
 5 den ønskede formasjonsparameter bestemmes fra en eller flere av den første karakteristikk og den andre karakteristikk.

Foretrukne utførelsesformer av fremgangsmåten er utdypet i kravene 2 til og med 15.

Videre oppnås målene med oppfinnelsen ved et apparat for in situ bestem-
 10 melse av en ønsket formasjonsparameter av interesse, omfattende:

- a) et verktøy som kan innføres i et brønnborehull som traverserer en formasjon;
 b) en testenheter i verktøyet, idet testenheteren er tilpasset for kommunikasjon med formasjonen for å teste formasjonen, idet testen inkluderer en
 15 første testdel og en andre testdel;
 c) en kontroller assosiert med testenheteren for å kontrollere testparamet-erne anvendt av testenheteren;
 d) en anordning for å bestemme en formasjonskarakteristikk under den første testdel,
 20 kjennetegnet ved
 e) en prosessor for å bestemme den ønskede formasjonsparameter fra en eller flere av den første formasjonskarakteristikk og den andre karakteristikk,
 idet den andre testdel gjennomføres ved bruk av testparametre basert
 25 delvis på den bestemte formasjonskarakteristikk, idet anordningen ytterligere bestemmer en andre karakteristikk under den andre testdel.

Foretrukne utførelsesformer av apparatet er vider utdypet i kravene 17 til og med 27.

Den foreliggende oppfinnelse avhjelper noen av ulempene drøftet i det
 30 foregående ved å tilveiebringe et apparat og fremgangsmåte for måling under boring MWD som muliggjør prøvetagning og målinger av formasjons- og/eller verktøy-parametre anvendt for å redusere den tid som kreves for å verifisere testresultater.

En fremgangsmåte for å bestemme en parameter av interesse av en formasjon er omtalt. Fremgangsmåten omfatter innføring av et verktøy i et brønnhull som traverserer en formasjon og anbringelse av verktøyet i kommunikasjon med formasjonen for å teste formasjonen ved anvendelse av en første testdel og en andre testdel. En første formasjons- eller verktøykarakteristikk bestemmes under den første testdel, og den andre testdel initieres ved bruk av testparametre bestemt i det minste delvis ved bestemmelse foretatt under den første testdel. En andre formasjons- eller verktøykarakteristikk bestemmes under den andre testdel, og den ønskede formasjonsparameter bestemmes fra en eller flere av den første formasjonskarakteristikk og den andre formasjonskarakteristikk.

I en fremgangsmåte kan den første testdel være en standard nedtrekkings-syklus hvori et testvolum anbringes i fluidkommunikasjon med formasjonen og testvolumet økes med en konstant takt i en tidsperiode for å redusere testvolumtrykket til under formasjonstrykket. Testvolumet holdes så konstant for å tillate oppbygning av trykk i volumet. En eller flere bestemmelser foretas, som kan være mobilitet, formasjonstrykk, og/eller kompressibilitet. Bestemmelsen anvendes for å bestemme optimale testparametre for den etterfølgende testdel. Den andre testdel initieres så ved bruk av de nye testparametre, som kan være en endring i nedtrekkingstakten, nedtrekkingsvarigheten, og/eller deltetrykket.

Den første testdel kan være en initial nedtrekkingsdel av en trykktest og den andre testdel kan være en andre nedtrekkingsdel av en enkelt nedtrekkings-syklus. Formasjonskarakteristikker nevnt under den initiale nedtrekkingsdel anvendes for å bestemme en andre nedtrekkingstakt for anvendelse i den andre nedtrekkingsdel. Den andre nedtrekkingsdel kan være en nedtrekkingstakt for å skape et stabilt tilstandstrykk mens fluid fortsetter å strømme inn i verktøyet.

En kvalitetsfaktor eller kvalitetsindikator kan tildeles til en hvilken som helst del av testen, hvor kvalitetsindikatoren bestemmes fra en formasjonsstrømningsmengdeanalyse. Kvalitetsindikatoren er en korrelasjon av strømningsmengder til trykk, idet denne korrelasjon representeres ved en ligning for en rett linje. Ekstrapolasjon kan så anvendes for å bestemme og/eller verifisere formasjonstrykk. I en utførelsesform kan således en ønsket formasjonsparameter bestemmes under den første testdel og verifiseres av kvalitetsindikatoren og den andre testdel kan derfor være en avbrytelse for å forkorte den totale testtid.

En ytterligere fremgangsmåte kan tilveiebringe kontroll av et brønntestverktøy. Fremgangsmåten inkluderer innføring av verktøyet i et borehull, verktøyet bringes i kommunikasjon med en formasjon som traverseres av borehullet. Verktøykarakteristikk bestemmes under en første testdel, og en andre testdel kontrolleres ved å etablere testparametre basert på verktøykarakteristikkene bestemt under den første testdel.

Et apparat for å bestemme en ønsket formasjonsparameter av interesse er videre omtalt. Apparatet inkluderer et verktøy som kan føres inn i et brønnhull som traverserer en formasjon. Verktøyet er tilpasset for fluidkommunikasjon med formasjonen. En testenhet i verktøyet anvendes for å teste formasjonen, idet testen inkluderer en første testdel og en andre testdel. En kontroller er assosiert med testenheten for å kontrollere testparameterne anvendt av testenheten. Testenheten inkluderer en anordning for å bestemme en første formasjonskarakteristikk eller verktøy-karakteristikk under den første testdel. Den andre testdel initieres med testparametre bestemt i det minste delvis av bestemmelsene foretatt under den første testdel. Anordningen bestemmer så en andre formasjonskarakteristikk eller verktøykarakteristikk under den andre testdel. En prosessor er inkludert for å bestemme den ønskede formasjonsparameter fra en eller flere av den første karakteristikk og den andre karakteristikk.

Testenheten og kontrolleren kan operere autonomt og i lukket sløyfe kontroll etter at testen er initiert. Verktøyet føres ned i brønnen på en arbeidsstreng (borestreng eller kabel) og anbringes i kommunikasjon med formasjonen for å teste formasjonen. En føler bestemmer en karakteristikk (verktøykarakteristikk eller formasjonskarakteristikk) under en første testdel. En kontroller mottar et følersignal fra føleren og opererer ifølge programmerte instruksjoner for å bearbeide de mottatte signaler for å etablere testparametre basert i det minste delvis på den bestemte karakteristikk. En krets assosiert med kontrolleren og verktøyet anvendes for å overføre testparameterne til en andre testdel.

Et system for in situ bestemmelse av en ønsket formasjonsparameter av interesse er også omtalt. Systemet inkluderer en arbeidsstreng for å føre et verktøy inn i et brønnhull som traverserer en formasjon og en testenhet i verktøyet, idet testenheten er tilpasset for kommunikasjon med formasjonen for å teste formasjonen, idet testen inkluderer en første testdel og en andre testdel. En føler i

verktøyet anvendes for å bestemme en første karakteristikk under den første testdel. En kontroller mottar et utgangssignal fra føleren idet kontrolleren opererer ifølge en eller flere programmerte instruksjoner for å bearbeide de motsatte signaler for å etablere en eller flere testparametre basert i det minste delvis på den bestemte karakteristikk. En sløyfe assosiert med kontrolleren og verktøyet for å føre testparameterne til en andre testdel, idet føleren bestemmer en andre karakteristikk under den andre testdel. En prosessor bearbeider den første karakteristikk og den andre karakteristikk for å tilveiebringe bearbeidet informasjon, idet den bearbeidede informasjon indikerer formasjonsparameteren av interesse.

Kort beskrivelse av tegningene

De nye trekk ved denne oppfinnelse, såvel som selve oppfinnelsen, vil lettest forstås fra de vedføyde tegninger, i kombinasjon med den følgende beskrivelse, hvori lignende henvisningsbetegnelser refererer til lignende deler og hvori:

Figur 1A er et oppriss av et offshore boresystem ifølge en utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse;

Figur 1B viser en alternativ utførelsesform av testapparatet i figur 1A;

Figur 2 viser en nedtrekkingsenhet og lukket sløyfekontroll ifølge den foreliggende oppfinnelse;

Figur 3 er en graf som illustrerer formasjonstesting ved bruk av strømningsmengde;

Figur 4A viser en standard nedtrekkingstestsyklus;

Figur 4B viser en strømningsmengde grafisk fremstilling med den standard nedtrekkingstestsyklus i figur 4A sammen med en kvalitetsindikator ifølge den foreliggende oppfinnelse;

Figur 4C er et eksempel på en test med en lavkvalitetsindikator;

Figurene 5A-B viser en fremgangsmåte for formasjonstesting ifølge den foreliggende oppfinnelse ved bruk av flere nedtrekkingssykluser; og

Figurene 6A-B illustrerer en ytterligere metode for formasjonstesting ifølge den foreliggende oppfinnelse ved bruk av flere nedtrekkingssykluser og avtrinnet nedtrekking.

Beskrivelse av den foretrukne utførelsesform

Figur 1A viser et boreapparat **100** ifølge en utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse. En typisk borerigg **102** med et borehull **104** som strekker seg derfra er illustrert, som lett forstås av de vanlig fagkyndige. Boreriggen **102** har en arbeidsstreng **106** som i den viste utførelsesform er en borestreng. Borestrengen **106** er påsatt en borekrone **108** for å bore borehullet **104**. Den foreliggende oppfinnelse er også nyttig i andre typer av arbeidsstrenger og er nyttig med en arbeidsstreng i form av en kabel, oppdelt produksjonsrør, spolerør eller annen arbeidsstreng med liten diameter som for eksempel et nedtauingsrør. Boreriggen **102** er vist posisjonert på et boreskip **122** med et stigerør **124** som strekker seg fra boreskipet **122** til havbunnen **120**. En hvilken som helst borerigg-konfigurasjon for eksempel en landbasert rigg eller en arbeidsstreng kan innrettes for å implementere den foreliggende oppfinnelse.

Borestrengen **106** kan hvis den er brukbar ha en boremotor **110** nede i brønnen. Innlemmet i borestrengen **106** over borekronen **108** er en typisk testenheter, som kan ha minst en føler **114** for å avføle brønnkarakteristikker i borehullet, borekronen, og reservoaret, idet slike følere er velkjent på området. En nyttig anvendelse av føleren **114** er å bestemme retning, asimut og orientering av borestrengen **106** under bruk av et aksellerometer eller lignende føler. Bunnhullsammenstillingen BHA inneholder også formasjonstestapparatet **116**. Testapparatet **116** inkluderer foretrukket en tetningsanordning **126** og en åpning **128** for å tilveiebringe fluidkommunikasjon med en underjordisk formasjon **118**. Tetningen **126** kan være kjente ekspanderbare pakninger som vist, eller som vist i figur **1B** kan tetningen **126** være en "pad" **132** på en utvidbar sonde **130** hvor den utvidbare sonde **130** er en del av et testapparat **116A**. Det er også tatt i betraktning og innenfor rammen for den foreliggende oppfinnelse å inkludere en utvidbar sonde **130**, med eller uten en "pad"-tetning **132**, i testapparatet **116** for å utvide og komme i kontakt med formasjonen under en pakning **126A** eller mellom et par av pakninger **126A**. Pakningene **126A** er vist i stiplet strek for å indikere at pakningene er ønskelige men eventuelle når testapparatet **116A** inkluderer en forlengbar sonde **130** med en "pad"-tetning **132**. Utvidbare sonder med tetnings-"pad" er kjent og krever ikke videre illustrasjon heri. Testanordningen **116/116a** skal beskrives mer detal-

jert med henvisning til **figur 2**. Et telemetrisystem **112** er lokalisert i en passende lokalitet på arbeidsstrengen **106** som for eksempel over testapparatet **116**. Telemetrisystemet **112** anvendes for kommando og datakommunikasjon mellom overflaten og testapparatet **116**.

5 **Figur 2** illustrerer en testanordning med lukket sløyfekontroll ifølge den foreliggende oppfinnelse. Anordningen **200** inkluderer en nedtrekkingsenhet **202** med et testvolum **204** og et element **208** for å kontrollere volumet av testvolumet. En føler **206** er assosiert med testvolumet for å måle karakteristikkene av fluid i volumet.

10 Testvolumet **204** er foretrukket integrert til en strømningsledning i fluidkommunikasjon med formasjonen. En slik anordning minimerer det totale systemvolum, noe som tilveiebringer mer responsivitet til formasjonens innvirkning, for eksempel trykkrespons. Volumet behøver imidlertid ikke å være begrenset til et lite volum. For eksempel er metodene assosiert med den foreliggende oppfinnelse nyttige ved borestrengtesting, som typisk inkluderer et stort systemvolum.

15 Volumkontrollelementet **208** er foretrukket et stempel men kan være en hvilken som helst annen nyttig anordning for å endre et testvolum. Alternativt kan elementet være en pumpe eller annen bevegelsesanordning for å redusere trykket inne i testvolumet **204**.

20 Føleren **206** er foretrukket en kvarts trykkføler. Føleren kan imidlertid alternativt ytterligere inkludere andre følere etter ønske. Andre følere som kan være nyttige i variasjoner av metodene beskrevet heri kan inkludere temperaturfølere, strømningsfølere, radioaktivitetsdetektor, optiske følere, resistivitetsfølere, eller andre kjente følere for å måle karakteristikkene av volumet **204**.

25 Anordningen inkluderer videre en kontroller **210** for å kontrollere testenheten **202**. Kontrolleren inkluderer foretrukket en mikroprosessor **218** og kretskopling for stempel (eller pumpe) trykkkontroll **212**, posisjonskontroll **214** og hastighetskontroll **216**. En eller flere følere **220** assosiert med nedtrekkingssystemet anvendes for å sende signaler til kontrolleren for å tilveiebringe den lukkede sløyfekontroll.

30 Testanordningen **200** utfører formasjonstrykktesten i løpet av en kort borepause på omtrent 5 minutter, som er den tid som trengs for å tilføye et ytterligere borerør når anordningen er innlemmet i en borende BHA. Denne korte testperiode

reduserer faren for differensial fastsitting under boring gjennom en tom reservoar-seksjon hvor boreprosessen ikke bør avbrytes i en lengre tid med BHA stasjonær i borehullet.

Kontrolleren **210** inkluderer lagring for bearbejdede data og for programmer for å gjennomføre databehandling nede i brønnen. Programmene for å bestemme formasjonsparametere fra de målte verdier anvendes i forbindelse med pumpekontrollkretsene for å tilveiebringe lukket sløyfekontroll for kontroll av posisjon, hastighet og trykk.

For trykkmålinger er en høy nøyaktighetskvart trykkmåler **206** foretrukket for sin gode oppløsning. Mindre foretrukne trykkfølere som også kunne anvendes er deformasjonsmålere eller piezoelektriske resistivitetstransdusere. En foretrukket utførelsesform er trykktransduseren anbrakt meget nær et "pad" tetningselement **126**. En slik føleranbringelse overviner problemer som opptrer i kabelmålinger som mangler nøyaktighet når gass akkumuleres i strømningsledningen.

Foretrukket inkluderer verktøyet tilstrekkelig elektronisk hukommelse for å lagre opptil **200** eller flere testresultater for videre detaljert ettertest analyse etter at dataene er ført opp til overflaten. Med disse data kan en loggeingeniør ytterligere fortolke trykkdataene og korrelere dem til geologien og trykkmålingene fra nabobrønner.

For å kontrollere formasjonstestverktøyet nede i brønnen sendes initiasjonssignaler fra overflaten til verktøyet ved bruk av standard slampuls telemetri. Brønnkontrolleren er foretrukket programmert til å utføre en test ifølge den foreliggende oppfinnelse som skal beskrives detaljert i det følgende. Den forventede overbalanse og mobilitet er foretrukket programmert for en spesiell brønn for ytterligere å påskynde optimeringsprosessen og derfor minske den totale måletid.

Når testen begynner opererer verktøyet foretrukket i en autonom modus for å utføre testen uavhengig. Verktøyet kan stenges som en nødfunksjon ved å syklisere slampumper til å signalere en kommando for å stanse måleprosessen.

En foretrukket test i en horisontal brønnanvendelse begynner med en verktøy-fremsidemåling for å tilveiebringe en indikasjon om at "pad"-testingselementet ikke skyves nedover mot formasjonen hvor kuttelaget er lokalisert. En slik orientering ville sannsynligvis resultere i en manglende evne til å tette eller i verktøyplugging. Hvis "pad"-tetningselementet peker nedover overføres den aktuelle posisjon

til overflaten for å tillate en ny orientering av verktøyet ved å rotere verktøyet fra overflaten.

Når verktøyet først er riktig orientert skyves "pad"-tetningselementet mot borehullveggen på en styrt måte. Tetningstrykket overvåkes kontinuerlig inntil effektiv tetning er oppnådd. En liten trykkøkning i det indre systemvolum som målt ved hjelp av kvartsmåleren indikerer en god tetning.

Avhengig av den valgte testopsjon begynner verktøyet sin trykkmåleprosess. Verktøyet frigir "pad"-tetningselementet fra borehullveggen og overfører de målte data til overflaten via slampulsteleometri etter komplettering av hver test eller serier av tester etter ønske. Ved overflaten er de følgende data foretrukket gjort tilgjengelige: to ringromstrykk (før og etter testen), opptil tre eller flere formasjons-trykk i de individuelle trykktester, nedtrekkingstrykk av de første to tester, mobilitetsverdien beregnet fra den siste test, og en kvalitetsindikator fra korrelasjonsfaktoren når formasjonsstrømningsmengde metoder anvendes.

Data er således direkte tilgjengelig umiddelbart etter hver test eller serier av tester og kan anvendes for ytterligere planlegging av borehullet. Ved å tilveiebringe gjentatte målinger kan trykkdata sammenlignes fra bare en trykkmåling. Dette tilveiebringer høy konfidens i trykktesten ettersom feil i trykkmåleprosessen som skyldes lekkasjer eller andre virkninger kan iakttas direkte i varierende trykkdata.

Etter at nå verktøyet og den generelle testprosedyre er blitt beskrevet skal nå metoder for testing av formasjonen på forskjellige parametre av interesse nå beskrives i detalj. **Figur 3** viser en grafisk fremstilling av strømningsmengde for bruk i en analytisk metode kjent som strømningsmengdeanalyse FRA ("flow rate analysis"). US Patent 5,708,204 (Kasap), som er innlemmet heri som referanse, beskriver en FRA basisteknikk. FRA tilveiebringer ekstensiv analyse av trykknedtrekkings- og trykkoppbyggingsdata. Den matematiske metode anvendt i FRA er en form av multivariant regresjonsanalyse. Ved bruk av multivariant regresjons-beregninger kan parametre som for eksempel formasjonstrykk (p^*), fluid kompressibilitet (C) og fluid mobilitet (m) bestemmes samtidig når data representative for oppbyggingsprosessen er tilgjengelig.

FRA-metoden er basert på materialbalansen for formasjon testverktøyets volum i strømningsledningen hvor trykk og kompressibilitet av det innsluttede volum er tatt i betraktning. I likning (1) vises den standard Darcy likning

$$q \approx \frac{k}{\mu} \cdot \Delta p, \text{ eller } q = \frac{kA}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L} \quad (1)$$

som etablerer det proporsjonsmessige forhold mellom strømningsmengde (q), permeabilitet (k), dynamisk viskositet (μ) og differensialtrykk (Δp). Det samme gjelder hvis fluid strømmer gjennom en kjerne med tverrsnittsflaten (A) og lengden (L) som i tilfellet av en borestrengtest. Et nøkkelbidrag av FRA er å anvende formasjonsstrømningsmengden i Darcy likningen i stedet for en stempel tilbaketrekningstakt. Formasjonsstrømningsmengden beregnes ved å korrigere nedtrekingsstempeltakten for verktøyets lagringseffekter. Å representere den komplekse strømningsgeometri av sondetesting med en geometrisk faktor gjør FRA-metoden mer praktisk for å oppnå formasjonstrykk (ρ^*), permeabilitet, og fluidkompressibilitet.

Darcy's likning uttrykkes med en geometrisk faktor for isotermisk, stabil tilstandsstrømning av en væske når treghetsstrømnings (Forchheimer) motstanden kan neglisjeres,

$$q_f = \frac{kG_o r_i (\rho^*(t))}{\mu}, \quad (2)$$

hvor q_f er den volumetriske strømningsmengde inn i sonden fra formasjonen, ρ^* er formasjonstrykket, og $\rho(t)$ er trykket i sonden som en funksjon av tiden. G_o er en geometrisk faktor som svarer for den spesielle strømningsgeometri nær sonden inklusive borehullet. Ved anvendelse av denne modifiserte Darcy's likning og kompressibilitets likningen for verktøyets lagringseffekt kan materialbalanselikningen omordnes som:

$$\rho(t) = \rho^* - \left(\frac{\mu}{kG_o r_i} \right) \left(C_{sys} V_{sys} \frac{d\rho(t)}{dt} + q_{dd} \right). \quad (3)$$

Fluidkompressibiliteten i verktøyets strømningsledning er C_{sys} , og V_{sys} er volumet av strømningsledningen. Bemerk at betegnelsene mellom de siste parenteser i likning 3 tilsvarer henholdsvis akkumulasjonstakten og stempelnedtrekingstakten (q_{dd}). Disse takter virker mot hverandre under en nedtrekkingsperiode og virker sammen under en oppbyggingsperiode, men kombinasjonen er essensielt strømningsmengden fra formasjonen. Likning 3 er en momentan Darcy's likning som anvender stempelnedtrekkingstakten men korrigert for å oppnå formasjonsstrømningsmengden. Korreksjonen utgjør det viktige trekk ved FRA-metoden. En grafisk fremstilling av $p(t)$ versus formasjonsstrømningsmengden, gitt i likning 3 som betegnelsen i parentesene, bør resultere i en rett linje med en negativ helling og avskjæring ved p^* .

Metodene beskrevet heri anvender visse aspekter av de kjente FRA metoder og tilveiebringer forbedret testing og redusert testtid ved hjelp av sanntidsverifikasjon. I et aspekt utføres verifikasjon ved flere nedtrekkings-sykluser, mens i andre aspekter anvendes det og selvverifiseres en enkelt nedtrekkings syklus.

Ifølge den foreliggende oppfinnelse avledes en kvalitetsindikator eller faktor R^2 fra den beste rettlinjede tilpasning til FRA-dataene. Kvalitetsindikatoren avledes analytisk for eksempel ved bruk av minste kvadraters metode for å bestemme hvor godt datapunktene passer til den rette linje. Kvalitetsindikatoren er foretrukket et dimensjonsløst tall mellom 0 og 1. Her anses en kvalitetsindikator på omtrent 0,95 eller høyere som indikator på en god test for verifikasjonsformål.

Under en enkelt syklus av en nedtrekkingstest ved bruk av metodene ifølge den foreliggende oppfinnelse kan formasjonsstrømningsmengde måles i kubikk centimeter pr. sekund (cm^3/s). Trykkrespons av systemvolumet **204** i tilfellet av store volumsystemer eller testvolumet **204** påvirkes av fluidstrømningen fra formasjonen. Trykkresponsen måles i kilo pr. kvadratcentimeter (kg/cm^2) eller i bar (bar) ved bruk av følerne **206**. Trykkresponskurver kan avsettes eller på annen måte samles elektronisk for å oppnå multiple datapunkter for anvendelse med de nevnte multiple regresjonsanalysemetoder.

Fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse bevirker at det kan foretas bestemmelser av mobilitet (m), fluid kompressibilitet (C) og formasjonstrykk (p^*) under nedtrekkingsdelen av syklusen ved å variere nedtrekkingstakten

av systemet mellom nedtrekkingsdelene. Denne tidlige bestemmelse tillater tidligere kontroll av boresystemparametere basert på det beregnede formasjonstrykk p^* , som forbedrer den samlede systemytelse og kontrollkvaliteten. Ifølge den foreliggende oppfinnelse anvendes de samme bestemmelser for optimering av etterfølgende tester eller testdeler ved å anvende informasjonen for å bestemme kontrollparametre anvendt av kontrolleren **210** til å kontrollere hastighet, volum, deltetrykk og stempelposisjon i nedtrekkingsenheten **202**.

En metode ifølge den foreliggende oppfinnelse anvender evnen av et lukket sløyfe nedtrekkingssystem som beskrevet i det foregående og vist i **figur 2** for å optimere suksessive testsykluser eller testdeler ved å foreta bestemmelser av formasjonsparametre.

En foretrukket metode som enten anvender FRA-metoder eller variable nedtrekkingstakter som beskrevet i det foregående inkluderer separering av enten en enkelt testsyklus eller flere testsykluser i suksessive testdeler. En test initieres og formasjonsparametere, for eksempel trykk, mobilitet, kompressibilitet, og test kvalitetsindikatorer bestemmes under den første testdel. Den første testdel kan være en nedtrekkingsdel for for eksempel å bestemme kompressibilitet, eller den første testdel kan inkludere en nedtrekkings- og oppbyggingsisyklus for å bestemme en første tilnærming av formasjonstrykk.

Bestemmelsene foretatt under den første testdel anvendes så for å bestemme testparametre anvendt av nedtrekkingsenheten **200** for mer effektivt å gjennomføre den etterfølgende testdel. I tidligere metoder som anvender suksessive tester eller testdeler blir hver påfølgende testdel typisk foretatt med forutbestemte verdier for nedtrekkingsperioden, volumendringstakt, deltetrykk, etc. Den foreliggende oppfinnelse bestemmer neste trinn parametre i sanntid ved bruk av brønnprosessoren i kontrolleren **210** delvis basert på målinger og bestemmelser i den umiddelbart foregående testdel.

Testopsjoner

Den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer evnen til å utføre forskjellige testmetoder for å muliggjøre testverifisering ved å endre testmetoden for en spesiell nedtrekkingstest. Apparatet kan også programmeres til å utføre en standard nedtrekkingstest, som så kan verifiseres ved etterfølgende sykluser initiert ifølge

den foreliggende oppfinnelse. Eksempelvis opsjoner uten å begrense omfanget av den foreliggende oppfinnelse inkluderer 1) en standard test som anvender en nedtrekkings- og oppbyggingstest med fiksert volum og takt innenfor en definert testvarighet, 2) gjentatte nedtrekkings- og oppbyggingstester med forskjellige nedtrekkingstester, og 3) suksessive nedtrekkingstester med forskjellige nedtrekkings-
 5 takter etterfulgt av en trykkoppbygging. Alle tester kan avsluttes når et forutbestemt tidsvindu overstiges eller når trykkoppbyggingen minsker under en bestemt takt.

Figurene 4A-B viser test-avledede grafiske fremstillinger av en standard nedtrekkingstest. **Figur 4A** viser en grafisk fremstilling av trykk versus tid for en enkelt nedtrekkingssyklus. **Figur 4B** viser trykk versus strømningsmengde. En kvalitetsindikator på 0,98 er indikert ved dette spesielle datasett slik at testen ville bli betraktet som en god test. **Figur 4C** viser en ytterligere testavledet strømningsmengde grafisk fremstilling for å vise resultatet av en test med en lavkvalitets indikator.
 10
 15

Optimert gjentatt test

Den optimerte gjentatte nedtrekkings- og oppbyggingstest inkluderer gjennomføring av flere nedtrekkings syklustester i sekvens og sammenligning av de resulterende trykk for gjentagbarhet. Hvis oppbyggingstrykkene ikke avleser det korrekte formasjonstrykk vil da trykkene ikke bli gjentatt innenfor en akseptabel margin (generelt mindre enn målegjentagbarheten). Under gjentagelsestestene kan det anvendes forskjellige nedtrekkingstakter basert på brønnanalyseresultatene av den foregående test. Brønnkontrollsystemet analyserer hvert trykk testresultat med formasjonsstrømningsmengde analyse FRA og optimerer nedtrekkingstakten, volumet og oppbyggingsvarigheter basert på FRA kvalitetsindikatoren og den bestemte formasjonsmobilitet. Slike gjentagelsestester stadfester testene. Hvis oppbyggingskriteria ikke tilfredsstilles i forbindelse med en akseptabel kvalitetsindikator kan testen avbrytes tidlig for å unngå unødvendige sykluser og å redusere testtidene.
 20
 25
 30

Figurene 5A-5B viser testavledede grafiske fremstillinger av en optimert gjentagelses nedtrekkingstest ifølge den foreliggende oppfinnelse. Bemerk at

parameterne for hver testdel som følger en initial testdel er blitt modifisert for å redusere deltetrykket mellom verktøy- og formasjonstrykket. Denne prosedyre optimerer de etterfølgende tester ved å redusere oppbyggingstiden. Videre er nedtrekkingstakten i hver etterfølgende test optimert basert på den initiale testdel for å sikre at nedtrekkingstakten ikke overstiger fluidets boblepunkt.

Suksessive nedtrekkinger

En ytterligere metode ifølge den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer suksessive nedtrekkinger før en trykkoppbyggingstest. De suksessive nedtrekkinger utføres foretrukket med forskjellige nedtrekkingstakter etterfulgt av en trykkoppbyggings testdel. I denne type test er det følgelig bare en formasjonstrykkavlesning. En fordel ved denne testprosedyre er å sikre kommunikasjon med formasjonen under nedtrekkinger. Hvis sonde- eller "pad"-tetningen **126** er sikkert festet til formasjonen under alle de suksessive nedtrekkingstestdelene, vil da den grafiske FRA-fremstilling av hele testsettet generere en enkelt rett linje. Enda selv om nedtrekkingstakter er forskjellige vil testene respondere til den samme formasjonsmobilitet og hellingen av den grafiske FRA-fremstilling vil være den samme for de forskjellige nedtrekkings-takter. Den resulterende trykkoppbygging vil videre føre til formasjonstrykket med mer konfidens etter bekreftelse av tetningen og strømningsmengdene gjennom nedtrekkingsdelene.

Figurene 6A-6B viser testavlede grafiske fremstillinger av en versjon av den suksessive nedtrekkingstest som beskrevet i det foregående. Den initiale nedtrekking er her vist som en standard nedtrekkingstest. Dette viser seg å være protokollen anvendt for denne spesielle test. En standard nedtrekkingsyklus for den initiale testdel er imidlertid ikke nødvendig. Den andre testdel av den grafiske fremstilling i figur 6 viser en variasjon av den suksessive nedtrekkingstest hvorved hver suksessive nedtrekking tilveiebringer en del med hovedsakelig stabil tilstandsstrømning. Den samlede nedtrekkingsdel ser da ut som en enkelt av trinnet nedtrekking. Den grafiske strømningsmengdeavsetning i figur 6B er basert på testen i figur 6A. Figur 6B viser at strømningsmengdedatapunktene mellom teststart og testendepunkter er mye mer tallrike enn i den standard nedtrekkingsyklus i figur 4B. Den rette linje tilpasning representerer således mer nøyaktig dataene og kvalitetsindikatoren 0,9862 er likeledes noe høyere.

De ovenfor beskrevne metoder er eksempelvis for tester assosiert med den foreliggende oppfinnelse og er ikke ment å begrense omfanget av den foreliggende fremgangsmåte eller å ekskludere andre testopsjoner. For eksempel kan den første testdel inkludere at kontrolleren kan anvende signaler fra enten følerne

5 **220** for å bestemme en verktøykarakteristikk som stempelhastighet, posisjon eller testvolumtrykk, og/eller kontrolleren kunne anvende signaler fra formasjonsegenskapføleren **206** for å bestemme en formasjonskarakteristikk under den første testdel for å bestemme testparametere for den andre testdel. Deretter kan den andre testdel inkludere bruk av signaler fra enten verktøyfølerne **220** eller

10 formasjonsegenskapføleren **206** for å bestemme en andre karakteristikk, verktøy- og/eller formasjonskarakteristikk, under den andre testdel. Deretter kan prosessoren i kontrolleren **210** evaluere karakteristikkene under anvendelse av FRA eller annen brukbar metode for å bestemme en ønsket formasjonsparameter, for eksempel trykk, kompressibilitet, strømningsmengde, resistivitet, dielektriske eller

15 kjemiske egenskaper, nøytronporøsitet etc., avhengig av den eller de valgte følere.

Mens den spesielle oppfinnelse som er vist og beskrevet i detalj heri er fullt ut i stand til å oppnå formålene og tilveiebringe de formål som er angitt i det foregående, skal det forstås at denne beskrivelse bare er illustrerende for de hittil foretrukne utførelsesformer av oppfinnelsen og at ikke noen andre begrensninger enn

20 dem som er beskrevet i de etterfølgende patentkrav skal tillempes.

NYE PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for in situ å bestemme en ønsket formasjonsparameter av interesse, omfattende:
 - 5 a) et verktøy (106) innføres i et brønnhull (104) som traverserer en formasjon (118);
 - b) verktøyet (106) anbringes i kommunikasjon med formasjonen (118) for å teste formasjonen (118), idet testen inkluderer en første testdel og en andre testdel;
 - 10 c) en første karakteristikk bestemmes under den første testdel;
 - d) den andre testdel initieres,
karakterisert ved at
den andre testdel har testparametere bestemt i det minste delvis ved bestemmelsene foretatt under den første testdel; hvori fremgangsmåten
15 videre omfatter trinnene med:
 - e) en andre karakteristikk bestemmes under den andre testdel; og
 - f) den ønskede formasjonsparameter bestemmes fra en eller flere av den første karakteristikk og den andre karakteristikk.
- 20 2. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at den første testdel inkluderer økning av et testvolum (204) i verktøyet (106) i en første takt i et forutbestemt tidsintervall.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 2,
25 karakterisert ved at den første testdel inkluderer en flertakts nedtrekking.
4. Fremgangsmåte ifølge krav 3,
karakterisert ved at den flertakts nedtrekking inkluderer en trinnvis
30 nedtrekking.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 2,
karakterisert ved at den første testdel inkluderer nedtrekking av test-
volumtrykket under formasjonstrykket og kontroll av nedtrekkingstakten for å ska-
pe vestentlig likevekt mellom nedtrekkingstakten og strømningsmengden inn i
5 verktøyet (106).
6. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at den første testdel inkluderer bestemmelse av en
eller flere av i) formasjonsmobilitet; ii) formasjonstrykk; iii) fluidkompressibilitet; og
10 iv) en kvalitetsindikator.
7. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at den andre testdel inkluderer økning av et testvo-
lum (204) i verktøyet (106) med en andre takt i løpet av et forutbestemt tids-
15 intervall.
8. Fremgangsmåte ifølge krav 7,
karakterisert ved at den andre testdel inkluderer en flertakts ned-
trekking.
20
9. Fremgangsmåte ifølge krav 8,
karakterisert ved at den flertakts nedtrekking inkluderer en trinnvis
nedtrekking.
- 25 10. Fremgangsmåte ifølge krav 7,
karakterisert ved at den andre testdel inkluderer nedtrekking av test-
volumtrykket til under formasjonstrykket og kontroll av nedtrekkingstakten for å
skape vesentlig likevekt mellom nedtrekkingstakten og strømningsmengden inn i
verktøyet (106).

11. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at den andre testdel inkluderer bestemmelse av en eller flere av i) formasjonsmobilitet; ii) formasjonstrykk; iii) fluidkompressibilitet; og iv) en kvalitetsindikator.
- 5
12. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at den første testdel inkluderer økning av et testvolum (204) i et verktøy ved en første nedtrekkingstakt i en forutbestemt tidsperiode, testvolumet (204) måles ved et konstant volum for å tillate at testvolumtrykket stabiliseres, idet testparameterne for den andre testdel inkluderer en andre nedtrekkingstakt for å øke testvolumet (204), idet den andre nedtrekkingstakt ikke er lik den første nedtrekkingstakt.
- 10
13. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at den andre testdel inkluderer avbrytelse av testen, hvori den ønskede formasjonsparameter bestemmes basert delvis på den bestemte karakteristikk.
- 15
14. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at formasjonsstrømningsmengdeanalyse anvendes i å bestemme den første karakteristikk.
- 20
15. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
karakterisert ved at formasjonsstrømningsmengdeanalyse anvendes i å bestemme den andre karakteristikk.
- 25
16. Apparat for in situ bestemmelse av en ønsket formasjonsparameter av interesse, omfattende:
- a) et verktøy (106) som kan innføres i et brønnborehull (104) som traverserer en formasjon (118);
- 30

- b) en testenhet (116, 116a, 200) i verktøyet (106), idet testenheten (116, 116a, 200) er tilpasset for kommunikasjon med formasjonen (118) for å teste formasjonen (118), idet testen inkluderer en første testdel og en andre testdel;
- 5 c) en kontroller (210) assosiert med testenheten (116, 116a, 200) for å kontrollere testparameterne anvendt av testenheten (116, 116a, 200);
- d) en anordning for å bestemme en formasjonskarakteristikk under den første testdel,
karakterisert ved
- 10 e) en prosessor for å bestemme den ønskede formasjonsparameter fra en eller flere av den første formasjonskarakteristikk og den andre karakteristikk,
idet den andre testdel gjennomføres ved bruk av testparametre basert delvis på den bestemte formasjonskarakteristikk, idet anordningen ytterligere bestemmer en andre karakteristikk under den andre testdel.
- 15

17. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at kontrolleren (210) kontrollerer den første testdel ved å øke testvolum (204) i testenheten (116, 116a, 200) med en første takt i et forutbestemt tidsintervall.

20

18. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at kontrolleren (210) kontrollerer den første testdel ved å øke testvolum (204) i testenheten (116, 116a, 200) ved bruk av en flertakt nedtrekking.

25

19. Apparat ifølge krav 18,
karakterisert ved at den flertakt nedtrekking inkluderer en trinnvis nedtrekking.

30

20. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at testenheten (116, 116a, 200) inkluderer et testvolum (204) for å motta fluid fra formasjonen (118), kontrolleren (210) kontrollerer

den første testdel ved å nedtrekke testvolumtrykket under formasjonstrykket og kontrollere en nedtrekkingstakt for å skape vesentlig likevekt mellom nedtrekkingstakten og en strømningsmengde inn i verktøyet.

5 21. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at prosessoren anvendes for å bestemme under den første testdel en eller flere av i) formasjonsmobilitet; ii) formasjonstrykk; iii) fluid kompressibilitet; og iv) en kvalitetsindikator.

10 22. Apparat ifølge krav 17,
karakterisert ved at kontrolleren (210) kontrollerer den andre testdel ved å øke testvolumet (204) med en andre takt i et forutbestemt tidsintervall.

15 23. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at kontrolleren (210) kontrollerer den andre testdel ved å øke et testvolum (204) i testenheten (116, 116a, 200) ved bruk av en flertakts nedtrekking.

20 24. Apparat ifølge krav 23,
karakterisert ved at den flertakts nedtrekking inkluderer en trinnvis nedtrekking.

25 25. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at testenheten (116, 116a, 200) inkluderer et testvolum (204) for å motta fluid fra formasjonen (118), idet kontrolleren (210) kontrollerer den andre testdel ved å trekke ned testvolumtrykket under formasjonstrykket og kontrollere en nedtrekkingstakt for å skape vesentlig likevekt mellom nedtrekkingstakten og en strømningsmengde inn i verktøyet.

30 26. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at prosessoren anvendes for å bestemme under den andre testdel en eller flere av i) formasjonsmobilitet; ii) formasjonstrykk; iii) fluid kompressibilitet; og iv) en kvalitetsindikator.

27. Apparat ifølge krav 16,
karakterisert ved at kontrolleren (210) kontrollerer den andre testdel
ved å øke testvolum (204) i testenheten (116, 116a, 200) med en første nedtrek-
5 kingstakt i en forutbestemt tidsperiode og holde testvolumet (204) med et konstant
volum for å tillate at et testvolumtrykk stabiliseres, idet testparameterne for den
andre testdel inkluderer en andre nedtrekkingstakt for å øke testvolumet (204),
idet den andre nedtrekkingstakt ikke er lik den første nedtrekkingstakt.

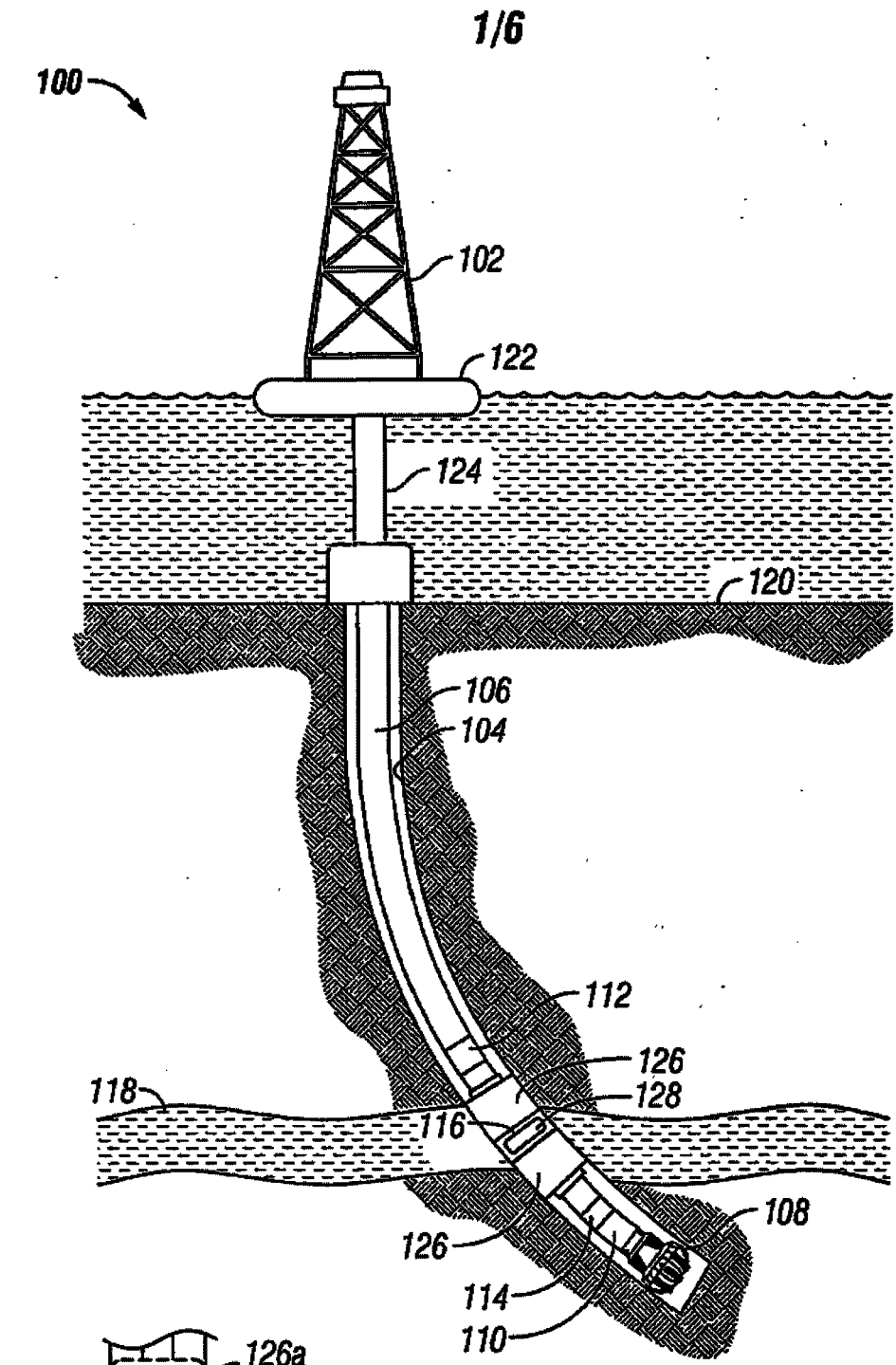


FIG. 1A

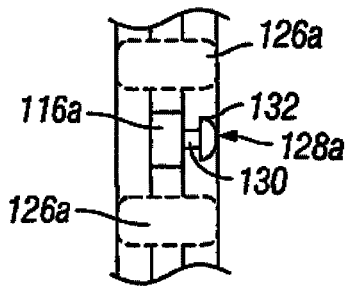


FIG. 1B

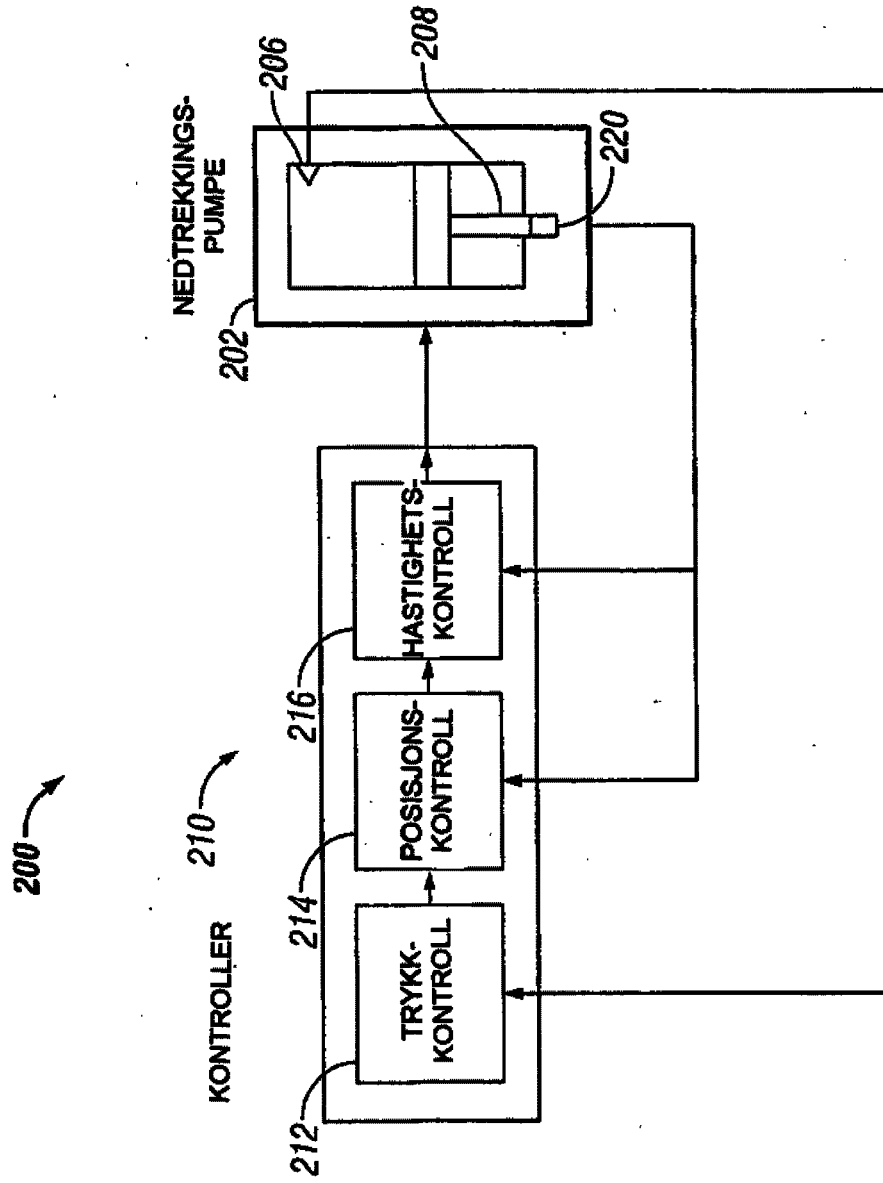


FIG. 2

3/6

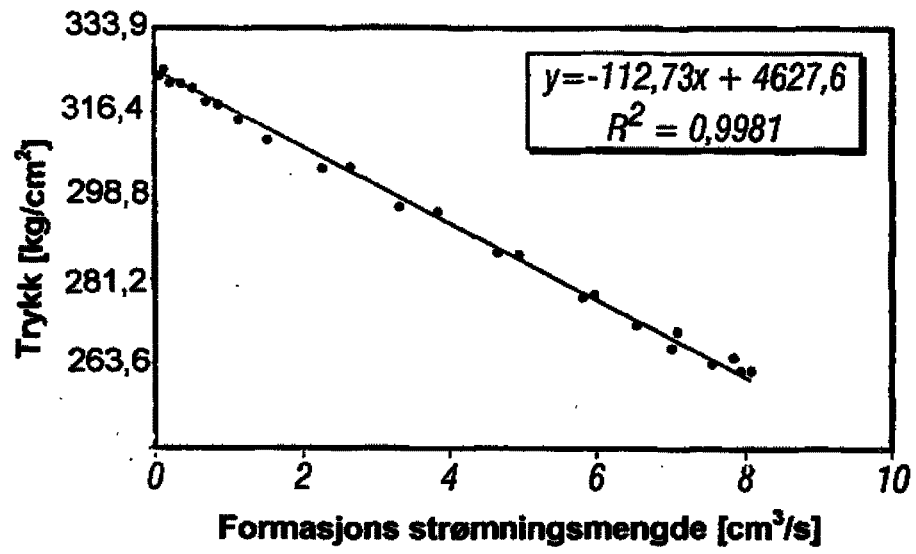


FIG. 3

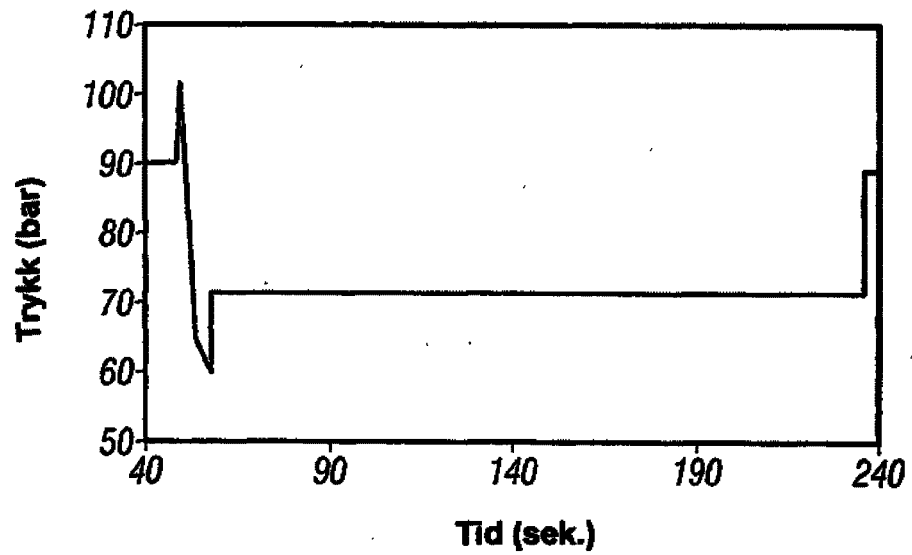


FIG. 4A

4/6

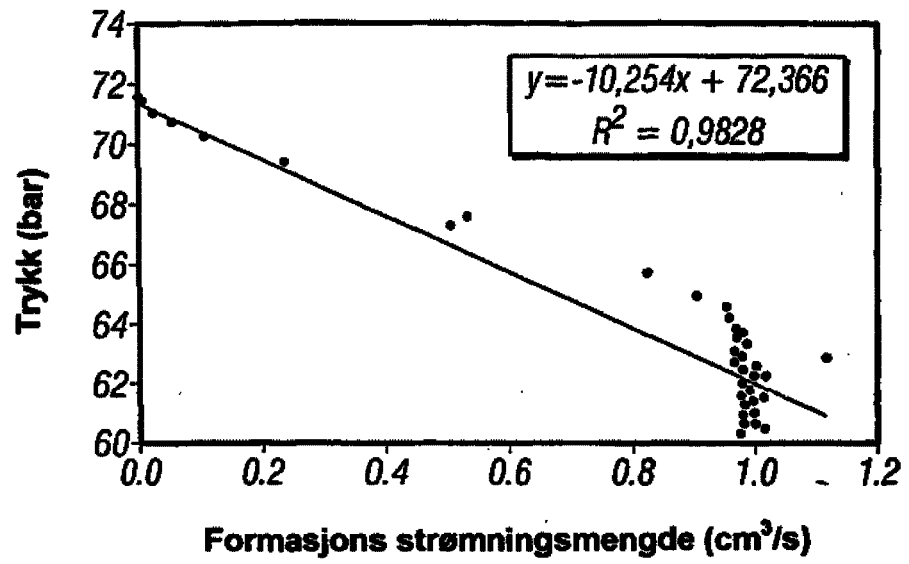


FIG. 4B

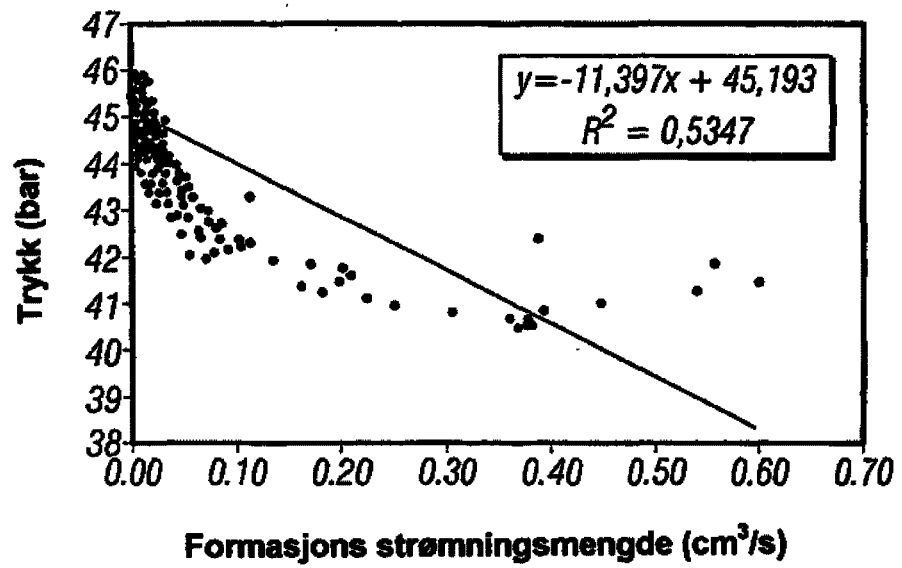


FIG. 4C

5/6

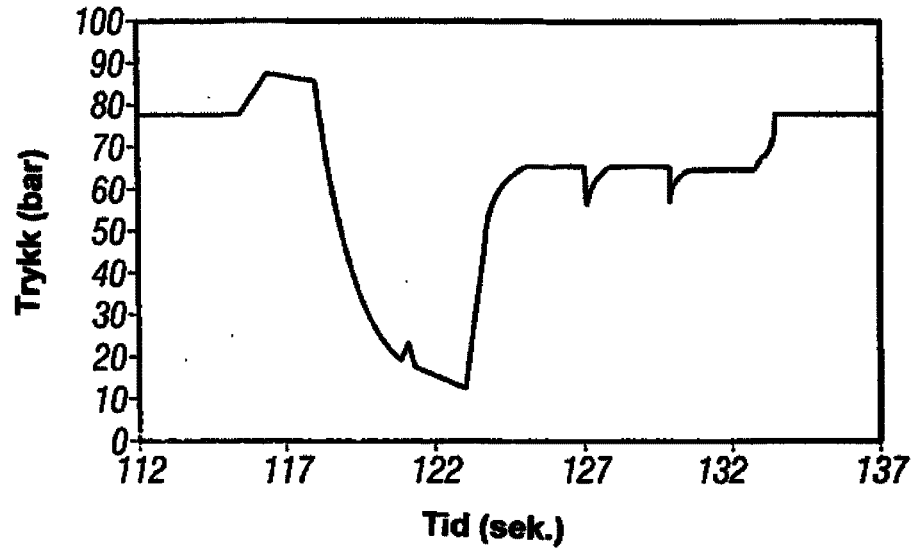


FIG. 5A

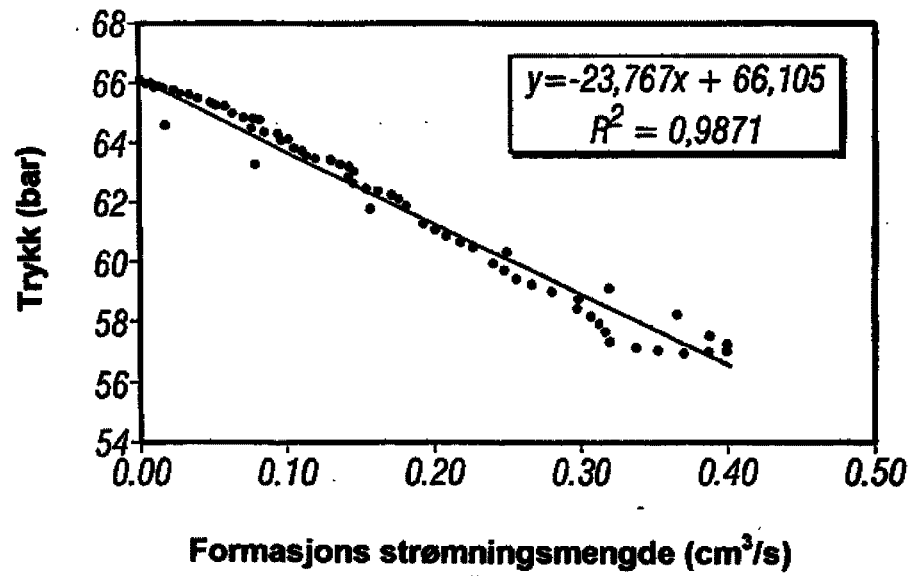


FIG. 5B

6/6

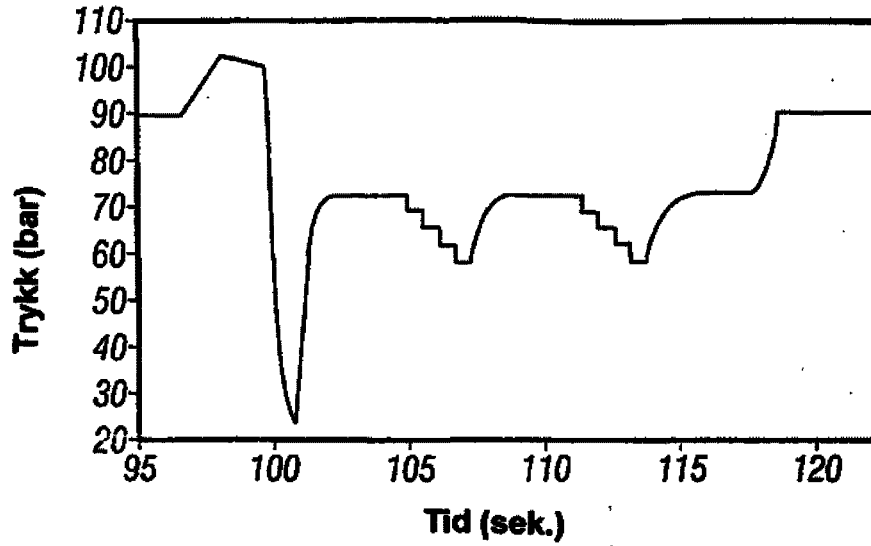


FIG. 6A

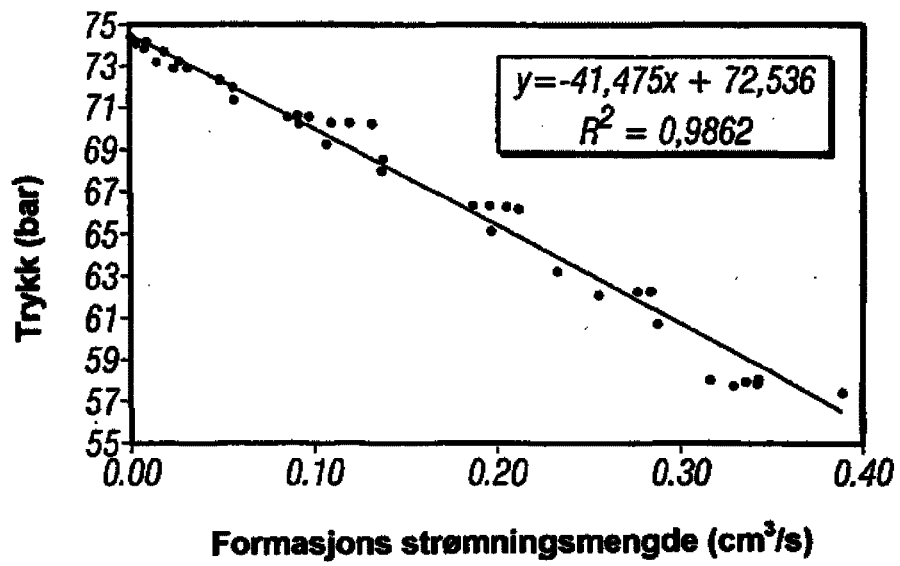


FIG. 6B