



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **317139**

(13) **B1**

(51) Int Cl⁷

E 21B 33/138

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19995729	(86)	Innt.inng.dag og søknadsnr	1998.05.14 PCT/US98/10092
(22)	Inng.dag	1999.11.22	(85)	Videreføringdag	1999.11.22
(24)	Løpedag	1998.05.14	(30)	Prioritet	1997.05.23, US, 47620 1998.04.17, US, 62167 1997.06.30, US, 885507
(41)	Alm.tilgj	2000.01.21			
(45)	Meddelt:	2004.08.23			
(71)	Søker	Exxon Production Research Co , P.O. Box 2189, Houston, TX 77252-2189, US			
(72)	Oppfinner	James Robert Bragg, 2119 Goldsmith Street, Houston, TX 77030, US			
(74)	Fullmektig	Oslo Patentkontor AS , Postboks 7007 Majorstua, 0306 OSLO, NO			

(54)	Benevnelse	Oljeutvinning ved anvendelse av en faststoffstabilisert emulsjon			
(56)	Anførte publikasjoner	US 4274956, US 3208515, US 5294353, DE 2347110, NO B 149324, NO B1 303507			
(57)	Sammendrag				

Den beskrevne oppfinnelsen tilveiebringer en fremgangsmåte ved gjenvinning av hydrokarboner fra en underjordisk formasjon ved å injisere en emulsjon, omfattende olje og vann, inn i formasjonen. Mer spesifikt stabiliseres emulsjonen ved anvendelse av uløste faste partikler hvilke fortrinnsvis er minst delvis oleofile. Den faststoffstabiliserte emulsjonen kan anvendes enten som et drivende fluid for å erstatte hydrokarboner i formasjonen eller for å skape en barriere for å avlede strømning av væsker i formasjonen. Slike faste partikler kan enten være faste partikler fra formasjonen (det vil si indigene i formasjonen) eller faste partikler som ikke er fra formasjonen (det vil si oppnådd fra utsiden av formasjonen). Faste partikler som ikke kommer fra formasjonen kan enten være naturlig forekommende eller syntetiske. Noen foretrukne faststoffer inkluderer leirer, kvarts, feltspat, gips, karbonstøv, asfaltener og polymere. Karbondioksid eller en annen gass kan tilsettes emulsjonen for å justere emulsjonens viskositet til det ønskede nivået.

Oppfinnelsens område

Foreliggende oppfinnelse vedrører en fremgangsmåte ved utvinning av hydrokarboner fra en underjordisk formasjon ved å injisere en emulsjon inn i formasjonen. Mer spesifikt stabiliseres emulsjonen ved anvendelse av ikke-oppløste 5 faste partikler og kan benyttes enten for å fortrenge hydrokarboner fra formasjonen eller å gi en barriere for å avlede strøm av fluider i formasjonen. Karbondioksid eller en annen gass kan tilsettes til emulsjonen for å justere 10 emulsjonens viskositet til det ønskede nivå.

Oppfinnelsens bakgrunn

Oljeutvinning er vanligvis ineffektiv i underjordiske formasjoner (heretter for forenkling betegnet formasjoner), hvor mobiliteten av in-situ-oljen som utvinnes er vesentlig 15 mindre enn det til fortrenningsfluidet som benyttes for å fortrenge oljen. Mobilitet til en fluidfase i en formasjon defineres ved forholdet mellom fluidets relative permeabilitet til dets viskositet. Dersom vanninjeksjon for eksempel benyttes for å fortrenge svært viskøs tung olje i 20 en formasjon, er prosessen svært ineffektiv grunnet oljens mobilitet som er mye mindre enn vannmobiliteten. Vannet kanaliseres gjennom formasjonen til produksjonsbrønnen, og strømmes forbi det meste av oljen og etterlater den uprodusert. I Saskatchewan, Kanada, rapporteres det at 25 primær produksjonsråolje utgjør cirka 2 til 8 % av den forefinnende oljen, og der vannflømming gir kun ytterligere 2 til 5 % utbytte av den forefinnende oljen. Således er det et behov for enten å gjøre vannet mer viskøst eller anvende et annet fortrenningsfluid som ikke kan kanaliseres 30 gjennom oljen. Grunnet behov for store volum av fortrenningsfluid, må det være billig og stabilt ved formasjonens strømningsbetingelser. Oljefortrenning er mest virksom når mobiliteten av fortrenningsfluidet er vesentlig mindre enn mobiliteten til oljen, så det er 35 størst behov for en fremgangsmåte for å generere et

lavmobilitets fortrenningsfluid på en kostnadseffektiv måte.

Oljeutvinning kan også påvirkes av ekstreme variasjoner i bergartpermeabilitet, så som når høypermeabilitets "tyvsoner" mellom injeksjons- og produksjonsbrønner tillater det meste av det injiserte fortrenningsfluidet å kanaliseres raskt til produksjonsbrønner, og etterlater olje i andre soner relativt u-utvunnet. Det er behov for et lavkostnadsfluid som kan injiseres inn i slike tyvsoner (fra enten injeksjonsbrønner eller produksjonsbrønner) for å redusere fluidmobilitet, for således å avlede trykkenergi i å fortrenge olje fra tilgrensende lavpermeabilitetssoner.

I gitte formasjoner kan oljeutvinning bli redusert pga. koning av enten gassen nedover eller vannet oppover til intervallet hvor olje produseres. Derfor er det behov for et lavkostnads injeksjonsmiddel som kan anvendes for å etablere en horisontal "pute" av fluid med lav mobilitet som tjener som en vertikal barriere mellom den oljeprodukerende sone og sonen hvor koning oppstår. Et slikt fluid med lav mobilitet vil hindre vertikal koning av gass eller vann, og derved forbedre oljeproduksjon.

For moderat viskøse oljer, de med viskositeter på cirka 20-100 centipoise (cp), har vannløselige polymere, så som polyakrylamider eller xantangummi blitt benyttet for å øke viskositeten til vannet som injiseres for å fortrenge olje fra formasjonen. Polyakrylamid ble for eksempel tilsatt til vann som ble benyttet til vannflømming av en 24 cp olje i Sleepy Hollow Field, Nebraska. Polyakrylamid ble også benyttet til å øke viskositeten til vann benyttet for vannflømming av en 40 cp olje i Chateaugay-feltet, Frankrike. I denne fremgangsmåten løses polymere i vannet, slik at viskositeten derved øker.

Selv om vannløselig polymere kan benyttes for å gi lav til moderat viskøse oljer en fordelaktig mobilitet, kan frem-

gangsmåten vanligvis ikke benyttes økonomisk for å oppnå en fortrenkning med fordelaktig mobilitet av mer viskøse oljer - de med viskositeter fra cirka 100 cp eller høyere. Disse oljer er så viskøse at mengden polymer nødvendig for å oppnå et fordelaktig mobilitetsforhold vil normalt være uøkonomisk. Som videre kjent blant fagpersoner, desorberes ofte de oppløste polymerene fra det fortrenkende vannet på overflaten av formasjonsbergartene, hvilket gjør at de fanges og blir uvirksomme til å øke vannets viskositet. Dette fører til tap av mobilitetskontroll, dårlig oljeutvinning og høye polymerkostnader. Av disse grunner er anvendelsen av polymeroversvømming ved utvinning av oljer utover 100 cp vanligvis ikke teknisk eller økonomisk gjennomførbar. Virkningen til mange polymerer påvirkes også av konsentrasjonen av oppløste ioner som typisk finnes i formasjoner, hvilket derved begrenser deres anvendelse og/eller virksomhet.

Vann-i-olje-makroemulsjoner er foreslått som en metode ved fremstilling av viskøse fortrenkningsfluider som kan opprettholde en effektiv mobilitetskontroll, idet de fortrenger moderate, viskøse oljer. Anvendelse av vann-i-olje- og olje-i-vann-makroemulsjoner er for eksempel evaluert som fortrenkningsfluider for å forbedre oljeutvinning av viskøse oljer. Slike emulsjoner er dannet ved tilsats av natriumhydroksid til syrlige råoljer fra Kanada og Venezuela. I denne studie, ble emulsjonene stabilisert med såpefilm dannet ved forsåpning av syrlige hydrokarbonkomponenter i råoljen med natriumhydroksid. Disse såpefilmer reduserte olje-/vanngrenseflatespenningen ved å virke som overflateaktige stoffer for å stabilisere vann-i-olje-emulsjonen. Det er derfor velkjent at stabiliteten på slike emulsjoner i vesentlig grad avhenger av anvendelsen av natriumhydroksid (det vil si kaustisk) ved dannelsen av en såpefilm for å redusere olje-/vanngrenseflatespenningen. Ulike studier ved anvendelse av kaustiske stoffer for dannelsen av slike emulsjoner har vist seg teknisk gjen-

nomførbare. Den praktiske anvendelse av denne fremgangsmåte ved utvinning av olje er imidlertid begrenset av de høye kostnader til det kaustiske stoffet, likeledes adsorpsjon av såpefilmer på formasjonsbergartene, hvilket fører til
5 gradvis nedbrytning av emulsjonen, og emulsjonsviskositetens følsomhet for små endringer i vannets salinitet og vanninnhold. Da de fleste formasjoner inneholder vann med flere oppløste faststoffer mislykkes med emulsjoner som krever fersk eller destillert vann ofte i å oppnå
10 designpotensiale, fordi slike lave salinitetsbetingelser er vanskelige å oppnå og opprettholde innen den aktuelle formasjon. Ioniske forbindelser kan løses fra fjellformasjonen og det injiserte ferskvann kan blandes med forefinnende vann med høyere saltinnhold, hvilket forårsaker
15 nedbrytning av den stabiliserte emulsjon med lave spenninger.

Ulike fremgangsmåter er blitt anvendt for selektivt å redusere permeabiliteten til høypermeabilitetssoner i en prosess som vanligvis betegnes som "profilmodifikasjon".
20 Typiske forbindelser som er blitt injisert inn i reservoaret for å oppnå en reduksjon i permeabilitet av kontaktede soner inkluderer polymergeler eller kryssbundne aldehyder. Polymergeler dannes ved å kryssbinde polymere, slik som polyakrylamid, xantan, vinylpolymerer eller
25 lignosulfonater. Slike geler injiseres inn i formasjonen, der kryssbindingsreaksjoner forårsaker at gelene blir relativt rigide og således reduserer permeabiliteten for strømning gjennom de behandlede soner.

Ved de fleste anvendelser av denne fremgangsmåte er den
30 region av formasjonen som er påvirket av behandlingen begrenset til nær brønnområdet, grunnet kostnad og reaksjonstiden av de geldannende forbindelser. Så snart behandlingen er foretatt, er gelene relativt umobile. Dette kan være en ulempe, fordi det injiserte fluid (for eksempel
35 vann i en vannflømming) til sist finner en vei rundt den umobile gelen, og derved reduserer dens virkning. Bedre

virkning kan forventes dersom den profilmodifiserende forbindelse langsomt kunne beveges gjennom formasjonen for å tette fersk dannede tyvsoner, som strekker seg over signifikante avstander fra injeksjons- eller
5 produksjonsbrønnene.

US Patent nr. 4.274.956 beskriver en fremgangsmåte for overføring, ved ekstraksjon, av minst en forbindelse fra en fluidfase til en første væskefase mottakelig for en slik forbindelse.

10 US Patent nr. 3.208.515 beskriver utvinning av olje fra underjordiske oljereservoar ved en fremgangsmåte hvori et viskøst fluid anvendes som fortrenningsfluid. DE 2.347.110 beskriver en fremgangsmåte for utvinning av olje fra underjordiske reservoar som inneholder olje og et vandig
15 fluid ved at et fluid blir injisert ved injeksjonsboring der fluidet inneholder hydrokarbonløsningsmidler, kolloid silika, vann og en høymolekylær polymer.

US Patent nr. 5.294.353 beskriver en fremgangsmåte for fremstilling av stabile olje-eksterne/vandig-interne
20 emulsjoner, som omfatter å kombinere den vandige væsken med en partikkelformig silisiumforbindelse i en slurry deri, der oljen har et overflateaktivts stoff som fremmer dannelsen av den iblandete emulsjonen

I US patent nr. 5,350,014 beskriver McKay en fremgangsmåte
25 for å utvinne tungolje eller bitumen fra en formasjon som gjennomgår termisk utvinning. Produksjon oppnås i form av olje-i-vann-emulsjoner ved forsiktig bevaring av temperaturprofilen i den flømmede sonen over en minimum temperatur. Emulsjoner generert ved slik kontroll av
30 temperaturprofilen innen formasjonen viser seg å være anvendbare ved dannelsen av en barriere for tetting av vannutarmede "tyvsoner" i formasjoner dannet ved termiske metoder, inkluderende styring av vertikal koning av vann. Denne fremgangsmåte krever imidlertid nøye regulering av

temperaturen innen formasjonssonene og er derfor kun nyttig for termiske utvinningsprosjekter. Således kan fremgangsmåten beskrevet av McKay ikke anvendes ved ikke-termiske (betegnet som "kald strøm") utvinning av tungolje.

- 5 Tilsvarende er det behov for en fremgangsmåte for å produsere en emulsjon som kan gjøres økonomisk, og er i stand til å virke under et stort spenn av formasjonsbetingelser inkluderende saltinnhold, temperatur og permeabilitet.

10 **Sammendrag av oppfinnelsen**

I samsvar med oppfinnelsen er det tilveiebragt en fremgangsmåte for fremstilling av etfluid av hydrokarboner fra en undersjøisk formasjon med hydrokarboner og formasjonsfaststoffer omfattende:

- 15 a) å danne en faststoffstabilisert emulsjon som inneholder vann, olje og uløste faststoffer, hvilke faststoffer omfatter partikler valgt fra gruppen bestående av formasjonsfaststoffer, ikke-formasjonsfaststoffer og kombinasjoner derav;
- 20 b) å kontakte formasjonen med nevnte emulsjon; og
- c) å produsere nevnte fluid fra formasjonen ved anvendelse av nevnte emulsjon.

- Slike faststoffer omfatter fortrinnsvis partikler med minst noe oleofil karakter for dannelselse av en oljeekstern emulsjon eller noe hydrofil karakter for dannelselse av en vannekstern emulsjon. Slike partikler vil mer fortrinnsvis ha en gjennomsnittlig partikkelstørrelse som er cirka 2 mikrometer eller mindre, der den gjennomsnittlige partikkelstørrelsesmålingen er den største av hver av tre målinger tatt langs x-, y- og z-aksen til hver slik partikkel og der gjennomsnittet bestemmes ved anvendelse av
- 25
- 30

enten en vekt- eller mengdefordeling av slike partikler i en representativ prøve av slike faststoffer. Om ønskelig kan karbondioksid eller annen gass tilsettes til emulsjonen for å minske emulsjonens viskositet.

5 Kort beskrivelse av tegningsfigurene

Foreliggende oppfinnelse og dennes fordeler forstås bedre ved henvisning til den følgende detaljerte beskrivelse og de vedlagte tegninger, der:

Figur 1 er et ternæradiagram som illustrerer noen, men ikke alle, partikkelformer som kan være karakteristiske for partiklene anvendt for å sette sammen faststoffer benyttet for å lage en faststoffemulsjon;

Figur 2 er en grafisk fremstilling av viskositeten til en faststoffstabilisert emulsjon, med en skjærrate på 75 sek^{-1} mot emulsjonens volummessige prosentvise vanninnhold;

Figur 3 er en grafisk fremstilling av viskositeten til en faststoffstabilisert emulsjon med 58 volumprosent vann mot skjærraten, "gitt i" sek^{-1} ;

Figur 4 er en grafisk fremstilling av vannkutt gitt i volumprosent, i fluid produsert i en laboratoriekjernetest mot total faststoffstabilisert emulsjon injisert, gitt i porevolumer;

Figur 5 er en grafisk fremstilling av gjennomsnittlig vannmetning i prosent porevolum i en laboratoriekjernetest mot totalvolum av faststoffstabilisert emulsjon injisert, gitt i porevolumer;

Figur 6 er en grafisk fremstilling av konsentrasjonen av to ulike sporstoffer produsert i en laboratoriekjernetest: bromid for å spore vann, som er en del av en injisert faststoffstabilisert emulsjon og diklorbenzen for å spore

olje som er del av en injisert faststoffstabilisert emulsjon mot totalvolum av faststoffstabilisert emulsjon injisert, gitt i porevolumer;

Figur 7 er en grafisk fremstilling av trykktap over en laboratoriekjernetest, gitt i kPa, mot totalvolum av faststoffstabilisert emulsjon injisert, gitt i porevolumer;

Figur 8 er en grafisk fremstilling av tre ulike målinger av oljeproduksjon fra en laboratoriekjernetest, som en prosent av opprinnelig olje til stede (OOIP) mot totalvolum av faststoffstabilisert emulsjon injisert, gitt i porevolumer;

Figur 9 er en grafisk fremstilling av viskositeten til en faststoffstabilisert emulsjon inneholdende 60 volumprosent vann, som en funksjon av konsentrasjonen av karbondioksid løst, gitt i emulsjonen;

Oppfinnelsen vil bli beskrevet i sammenheng med den foretrukne utformingen. I den grad den følgende detaljerte beskrivelse er spesifikk for en spesiell utforming eller en spesiell anvendelse av oppfinnelsen, er dette imidlertid ment å være kun illustrativt, og er ikke ment å være begrensende for omfanget til oppfinnelsen. På den annen side er den ment å dekke alle alternativer, modifikasjoner og ekvivalenter, hvilke er inkludert i ånden og omfanget av oppfinnelsen, som definert i de vedlagte krav.

Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen

En "faststoffstabilisert" emulsjon laget med partikler omfattende fine, faste partikler er vesentlig ved utførelsen av oppfinnelsen som er mer beskrevet under. Faststoffstabiliserte emulsjoner betyr at faste partikler er de primære midler, men ikke nødvendigvis de eneste midler, hvorved filmene som omslutter de interne fasedråpene i en emulsjon opprettholdes i en stabil tilstand under formasjonsbetingelser i en tilstrekkelig tid

til å benytte en emulsjon som tiltenkt (for eksempel forbedre rate og/eller mengden hydrokarbonproduksjon fra en formasjon). Slike faste partikler er motstandsdyktige mot de kjemiske reaksjoner som tenderer til å deaktivere overflatestoffer, for derved å forårsake destabilisering eller brytning av emulsjonen. Faststoffstabiliserte emulsjoner er i så måte stabile over et stort område av saltinnhold i formasjonsvann.

Som her anvendt, betyr også terminologien "fast" en substans i dens mest høykonsentrerte form, det vil si atomene eller molekylene omfattende substansen er mer tettpakket med hverandre relativ til væske- eller gasstilstandene til substansen, enten ved formasjons- eller ikke-formasjons betingelser. Noen substanser som kvalifiserer som faststoff under den foregående definisjon, slik som polymerer eller noen keramiske materialer inklusiv, uten begrensning, glass eller porselen, klassifiseres ofte ved en streng materialvitenskapelig definisjon som høyviskøse væsker, fordi de er amorfe (det vil si mangler en krystallinsk struktur). Slike substanser er imidlertid ment å falle innenfor betydningen "fast" som heri benyttet, til tross for deres mer strenge klassifisering som "væsker".

Faststoffkilden benyttet for å lage en faststoffstabilisert emulsjon kan også finnes i formasjonen, hvor slike emulsjoner benyttes, heretter kjent som formasjonsfaststoffer, eller kan oppnås ekstern fra formasjonen, enten tatt fra en annen formasjon, utvunnet eller syntetisert, heretter betegnet ikke-formasjonsfaststoffer.

I gitte tilfeller kan både formasjons- og ikke-formasjonsfaste stoffer være sammensetningsvis tilsvarende, men avledet fra ulike kilder.

Partiklene som utgjør faststoffene anvendt ved fremstilling av faststoffstabiliserte emulsjoner presentert i denne

oppfinnelse kan ha et stort antall kjemiske sammensetninger, former og størrelser. De faste partikler bør imidlertid ha gitt fysiske og kjemiske egenskaper.

For det første bør de faste partikler ha minst noe oleofil karakter for å danne en oljeekstern emulsjon eller noe hydrofil karakter for å danne en vannekstern emulsjon. Slik karakter er viktig for å sikre at partiklene kan bli tilstrekkelig våtet av den eksterne kontinuerlige fasen, enten olje, vann eller et annet løsemiddel, som holder den interne diskontinuerlige fase. Den passende oleofile eller hydrofile karakter kan være en iboende karakteristikk fra de faste partikler eller enten forbedret eller ervervet ved behandling av partiklene. De faste partikler kan være omfattet av substanser inkluderende, uten begrensning, leirer, kvarts, feltspat, gips, metallsulfider, metallsulfater, metalloksider, karbonstøv, asfaltener eller polymere. Partiklene omfatter imidlertid fortrinnsvis minst cirka 5 vektprosent av en ionisk og ikke-organisk substans, hvor en organisk substans, som heri benyttet betyr en substans bestående av i det minste karbon- og hydrogenatomer.

For det andre må de faste partikler forbli uløst enten i vann eller hydrokarbonfasen under formasjonsbetingelser, men ha en egnet ladningsfordeling for å stabilisere en grenseplatefilm mellom den interne dråpefase, fortrinnsvis vann, men alternativt olje, og den eksterne kontinuerlige fase, fortrinnsvis olje, men alternativt vann, for å gi enten en faststoffstabilisert oljeekstern emulsjon eller vannekstern emulsjon, henholdsvis.

For det tredje bør den virkelige individuelle partikkelstørrelse være tilstrekkelig liten til å tilveiebringe adekvat overflatearealsdekning av den interne dråpefase. Partikkelstørrelsen kan måles ved en lang rekke partikkelstørrelsesanalyseteknikker, inkluderende laserlysspredning, maskesjiktclassifisering, Coulter-

tellemetode og sedimenteringshastighet (som anvender Stokes lov for å omdanne en faststoffprøves sedimenteringshastighet i et fluid til en gjennomsnittlig partikkelstørrelse). Hver av disse teknikker gir imidlertid en "virksom" partikkeldiameter, hvilket er det resultat som ville ha blitt gitt ved en korresponderende testprøve omfattet av partikler med en sfærisk form. I så måte gir en partikkels effektive diameter en mindre nøyaktig tilnærming av dens sanne størrelse, ettersom partikkelens form avviker ytterligere fra en sfærisk form. I de fleste fall er partikler imidlertid ofte uregelmessige og ikke uniforme i form.

Uten at denne begrenser omfanget til oppfinnelsen, illustrerer figur 1 dette poenget med et ternærdiagram, 114, med tre fundamentale formgrupper. Den første gruppe er en plate eller en kakeform, 102 og 104; den andre er en stolpe eller en sylinderform, 106 og 108, og den tredje er en kube eller en sfærisk form, 110 og 112. Partikler som typisk utgjør faststoffene anvendt for å lage en faststoffstabilisert emulsjon som heri presentert, vil ha noe sammensatt, uregelmessig form som er noe mellom de to eller tre basisformgruppene illustrert i ternærdiagram 114. I samsvar med dette, er størrelsen på partiklene som omfatter slike faststoffer fortrinnsvis bestemt ved anvendelse av en avsningsprøvemikroskopteknikk (Scanning probe microscopy technique) (SPM). Ett eksempel på en slik teknikk er atomstyrkemikroskopi. Digital Instruments i Santa Barbara, California, produserer et atomstyrkemikroskop (AFM) kjent som Nanoscope Multimode™, hvilket har blitt anvendt for å karakterisere den gjennomsnittlige størrelse og formen til noen av de faste partikler anvendt i eksemplene beskrevet under.

Ved anvendelse av AFM eller en annen SPM-teknikk, kan de maksimale dimensjoner til en partikkel langs dens x, y og z-akser bestemmes. Med mindre henvisning til en annen alternativ partikkelstørrelsesanalysemetode indikeres,

betyr henvisning til partikkelstørrelse den største av de tre dimensjoner målt langs partikkelens x, y og z-akser, som målt ved en SPM-teknikk. I fall av en perfekt sfære, 112, eller kube, 110, er hver dimensjon lik, mens i fall av en partikkel i form av en kake, 104, eller plate, 102, er tykkelsen til partiklene målt langs dennes z-akse liten relativ til lengde, x, og bredde, y. Den "gjennomsnittlige" partikkelstørrelse for en spesiell prøve kan bestemmes ved å oppnå et tilstrekkelig antall målinger, fortrinnsvis 50 eller flere, av den største dimensjon av en rekke av partikler som analyseres. Den gjennomsnittlige størrelse kan utregnes ved anvendelse både av vektgjennomsnitts- og mengdegjennomsnittsmetoder. Mengdegjennomsnittsmetoden benytter antallet partikler blant de totalt målte med en spesiell x, y eller z-verdi, avhengig av hvilken verdi som er størst, vektgjennomsnittsmetoden anvender vektfordelingen av de respektive partikler med en spesiell x, y eller z-verdi, avhengig av hvilken verdi som er størst, blant den totalt vekt av alle partikler målt. Den minste av hver av disse to gjennomsnitt vil være det relevante gjennomsnitt anvendt ved utførelse ved oppfinnelsen som her er beskrevet.

Den faststoffstabiliserte emulsjon presentert heri, kan benyttes i et stort antall områder innen en formasjon for å forbedre oljeutvinningen, inkluderende, uten begrensning, anvendelse av slike emulsjoner:

- a) som fortrenningsfluider for å fortrenge oljer som er for viskøse for virksom utvinning ved vannflømming i ikke-termiske (eller "kaldstrøms"-) eller termiske anvendelser;
- b) å fylle høypermeabilitetsformasjonszoner for "profil-modifikasjons"-anvendelser for å forbedre etterfølgende vannflømningsutførelse, især i formasjoner inneholdende oljer med lavere viskositet (<100cp); og

c) å danne virksomme horisontale barrierer for vertikal strøm av vann eller gass for å redusere koning av vannet eller gassen til den oljeproduiserende sone i en brønn

Faststoffstabiliserte emulsjoner som anvendes ved utførelse
5 av oppfinnelsen genereres fortrinnsvis over grunnen og injiseres som forblandet emulsjon. Alternativt kan en faststoffstabilisert emulsjon generes "in situ" ved å injisere de påkrevde faste partikler fordelt i vann inn i en formasjon med hydrokarboner, hvilke kan anvendes for å
10 danne emulsjonen in situ.

Oljen som anvendes for å danne den faststoffstabiliserte emulsjon bør inneholde en tilstrekkelig mengde asfaltener, polare hydrokarboner eller polare harpikser for å hjelpe stabilisering av fastpartikkel-olje vekselvirkningen.
15 Emulsjonens olje omfattes fortrinnsvis av olje tidligere produsert fra formasjonen, hvor emulsjonen skal brukes, eller, dersom emulsjonen dannes in situ, vil emulsjonsoljen være olje i formasjonens region, der emulsjonen dannes. De faststoffstabiliserte emulsjoner som heri presenteres
20 benyttes fortrinnsvis for eksempel for å utvinne moderate viskøse eller tunge oljer (det vil si cirka 20 cp til cirka 3 000 cp). Utfra deres natur inneholder slike oljer sammensetninger normalt tilstrekkelige asfaltener eller polare hydrokarboner, hvilke vil hjelpe stabilisering av
25 den faststoffstabiliserte emulsjon. Der emulsjonsoljen imidlertid ikke inneholder en tilstrekkelig mengde asfaltener eller polare hydrokarboner, kan disse substanser tilsettes sammen med faststoffene til en konsentrasjon påkrevet for stabilisering av emulsjonen. Emulgeringstesten
30 som beskrives i detalj under, kan anvendes for å bestemme hvorvidt justering i asfaltenkonsentrasjonen eller den polare hydrokarbonkonsentrasjonen er påkrevet.

Vannet som anvendes ved fremstilling av den faststoffstabiliserte emulsjon bør ha tilstrekkelig ionekonsentrasjon for å holde emulsjonen stabil under formasjons-
35

betingelsene. Formasjonsvann anvendes fortrinnsvis for å danne emulsjonen. Ferskvann kan imidlertid anvendes og ionekonsentrasjonen kan justeres etter behov for å stabilisere emulsjonen under formasjonsbetingelsene.

5 Som nevnt over er partikkelstørrelse også kritisk for dannelsen av faststoffstabilisert emulsjon ved formasjonsbetingelser. Den gjennomsnittlige partikkelstørrelse, som definert over, bør være cirka ti mikrometer eller mindre, men fortrinnsvis cirka to mikrometer eller mindre, mer
10 fortrinnsvis cirka en mikrometer eller mindre, og mest fortrinnsvis 100 nanometer eller mindre. Partikkelform kan også bidra til emulsjonens stabilitet ved formasjonsbetingelser.

Andre faktorer å vurdere i utviklingen av en faststoffstabilisert emulsjon inkluderer, uten begrensning, i
15 hvilken rekkefølge fluidene kombineres og blandes for å forme den ønskede eksterne og interne fase, mengde blandingsenergi som benyttes for å fordele dråper av den interne fase inn i den eksterne fase, og vateegenskaper til
20 faststoffene, hvilket påvirker typen emulsjon som dannes ved blanding av olje og vann. Faststoffer som våtes av olje (dvs. oleofile faststoffer) tenderer for eksempel til å danne en oljeekstern emulsjon, og faststoffer som våtes av vann (dvs. hydrofile faststoffer) tenderer til å danne en
25 vannekstern emulsjon. Da blandeprosedyrer spiller en vesentlig rolle i dannelsen av virksomme faststoffstabiliserte emulsjoner, er noen generelle prinsipper vedrørende dannelsen av faststoffstabiliserte emulsjoner, oljeeksterne, vanneksterne og emulsjonsinnholdende gass gitt
30 nedenfor.

Dannelse av oljeeksterne faststoffstabiliserte emulsjoner

Faststoffer som benyttes for å danne vann-i-olje- (dvs. oljeeksterne) emulsjoner bør fortrinnsvis ha oleofile eller blandede vateegenskaper. Slike faststoffer kan dersom de

ikke naturlig våtes av olje eller har blandet våtning, kan forkontaktes med oljen, eller forbehandles i en gitt tid tilstrekkelig til å tillate adsorpsjon av polare hydrokarboner eller asfaltener på deres overflate for å gjøre dem delvis eller totalt oleofile før de blandes med endelige konsentrasjoner av olje og vann. Annen behandling, så som å la silanolgrupper reagere på overflaten av mineralfaststoffer med kjemikalier, så som organosilaner, eller adsorpsjon av overflateaktive stoffer på overflaten til de faste stoffer, kan benyttes for å gjøre overflatene oleofile før de tilsettes til oljen og vann.

En foretrukket fremgangsmåte for generering av slike faststoffstabiliserte vann-i-olje-emulsjoner er å først fordele faststoffet (forbehandlet om nødvendig) i oljefasen og deretter blande den nevnte oljefaststoffblanding med vann og utsette blandingen for tilstrekkelig skjær/blandingsenergi for å gi vanndråper tilstrekkelig små til å bli fordelt og stabilisert i oljen.

Blanderekkefølgen og blandemåten kan ha stor innvirkning på egenskapene til den resulterende emulsjonen. Oljeeksterne emulsjoner med høyt vanninnhold fremstilles for eksempel best ved å tilsette vann til oljen frem for å tilsette oljen til vann. Vannet kan tilsettes oljen for å øke dets konsentrasjon i små trinn, med kontinuerlige skjæring, til den totale ønskede vannmengde er oppnådd. Slik prosessering kan gi vanndråper med en gjennomsnittlig diameter fra submikro til cirka 30 mikrometer avhengig av typen og mengden av skjærenergi tilført, størrelsen og konsentrasjon av faste partikler benyttet, viskositetene til oljen, sammensetning av polare og asfaltene hydrokarboner, og av mindre betydning den ioniske sammensetning av vannet som benyttes. Andre metoder for å blande emulsjoner kjent blant fagpersoner kan anvendes så lenge den resulterende emulsjon er oljeekstern, stabil ved formasjonsbetingelsene, og har den egnede viskositet.

Fremstilling av vanneksterne faststoffstabiliserte emulsjoner

Faststoffer som anvendes for å danne olje-i-vann- (dvs vanneksterne) emulsjoner bør fortrinnsvis ha hydrofile
5 vætningsegenskaper, og fortrinnsvis bør slike faststoffer ikke ha vært eksponert for hydrokarboner før anvendelse ved stabilisering av emulsjon. En foretrukket fremgangsmåte ved generering av slik olje-i-vann-emulsjoner er først å fordele faststoffet i vann, deretter tilsette olje til
10 blandingen med tilstrekkelig kontinuerlig skjær/blande-energi for å få oljedråper fordelt og stabilisert i vannfasen. Olje kan tilsettes vannet i små porsjoner om nødvendig med kontinuerlig skjæring, for å forhindre dannelse av oljeeksterne emulsjoner, til det totale ønskede
15 oljeinnhold er nådd. Slik prosessering kan gi oljedråper med gjennomsnittlig diameter i området fra submikro til cirka 30 mikrometer, avhengig av typen og mengden skjærenergi tilført, størrelsen og konsentrasjonen til de faste partikler som benyttes, viskositeten til oljen,
20 sammensetningen av polare og asfaltene hydrokarboner, og, i en mindre grad, den ioniske sammensetningen av vannet som benyttes. Andre metoder for blanding av emulsjoner kjent blant fagpersoner anvendes så lenge den resulterende emulsjon er vannekstern, er stabil ved formasjonsbetingel-
25 sene, og har den ønskede viskositet.

Generelle prinsipper anvendbare for både oljeeksterne og vanneksterne emulsjoner

Så snart dråpene er påført skjæring for derved å gi den ønskede dråpestørrelsen, innordner de faste partikler seg
30 selv i posisjon på olje/vanngrenseflaten på en måte som hindrer dråpesammenføyning, for således å danne en stabil emulsjon. Emulsjoner generert på denne måte er trolig ikke termodynamisk stabile slik som sanne mikroemulsjoner, men de kan forbli stabile i måneder eller år i en metastabil

tilstand, og er tilstrekkelig stabile for praktisk anvendelse for utvinning av olje fra formasjoner.

Ved å generere emulsjonene over grunnen og deretter injisere dem enten som fortrenningsfluider eller som viskøse dammer for å tjene som strømningsbarrierer tilveiebringer den beste fremgangsmåten ved regulering av raten av olje, vann og faststoffer i emulsjonen og for å sikre kvalitetskontroll av den oppnådde viskositet, dråpestørrelsesdistribusjonen og så videre. Dersom blanding over grunnen imidlertid ikke er praktisk mulig, kan vann inneholdende de fordelte faststoffer injiseres inn i formasjonen, slik at blanding oppstår in situ med formasjonsolje. Skjæring oppnås naturlig in situ ved strømming av væsker gjennom det porøse fjell.

15 Anvendelse av faststoffstabiliserte oljeeksterne og vanneksterne emulsjoner i en formasjon

Faststoffstabiliserte emulsjoner kan benyttes innen et stort anvendelsesområde, og en typisk anvendelse er å benytte slike emulsjoner for å fortrenge tungolje (for eksempel 325 cp) fra en formasjon ved omgivende formasjonstemperatur (for eksempel 60°C). En faststoffstabilisert oljeekstern emulsjon som anvendes i en slik situasjon kan gi en emulsjon med en mobilitet som er lavere enn den til råoljen som fortrenses. For å minimere prosesskostnader, anvendes fortrinnsvis olje produsert fra formasjonen og vann fra en lokal kilde (fra undergrunnen eller en annen kilde) og faststoffer omfattende leirpartikler med en gjennomsnittlig størrelse fortrinnsvis mindre enn 2 mikrometer.

30 Denne oppfinnelse finner best anvendelse i formasjoner med fjell med en absolutt permeabilitet som er tilstrekkelig høy, slik at poreåpningene er tilstrekkelig nok til å tillate individuelle emulsjonsdråper til å passere uhindret gjennom porene. Den nedre grense for permeabilitet er

således ikke kun avhengig av fjellporestrukturen, men også av dråpestørrelsesfordelingen i emulsjonen. I de fleste anvendelser forventes fjellpermeabiliteten ikke å være en begrensende faktor. Mange formasjonsfjell inneholder for eksempel tungoljeavsetninger med en absolutt permeabilitet fra 2 000-15 000 millidarcies (md). Slike fjell har poreåpninger med gjennomsnittlig diameter fra cirka 20-200 mikrometer. Dråpestørrelser i emulsjoner som injiseres inn i disse fjell varierer sannsynligvis i diameter fra mindre enn 1,0 mikrometer til 15 mikrometer, og dråpene skal således ikke hindres i strømming gjennom slikt fjell. Små dråpestørrelser er imidlertid foretrukket for å redusere muligheten for innestengning av den interne fase.

Den nedre grense av fjellpermeabilitet som tillater strømming av en spesifikk emulsjon kan bestemmes i laboratorietester ved å strømme nevnte emulsjon gjennom en serie av fjell av minkende, men kjent absolutt permeabilitet. Prosedyrer for gjennomføring av slike kjernestrømningstester er kjent blant fagpersoner og involverer å måle trykkfallet over kjernen ved en gitt strømningsrate og bestemme hvorvidt emulsjonen innestenges innen fjellets porer eller strømmer uhindret gjennom fjellet. En eksakt nedre grense for anvendelse av slike faststoffstabiliserte emulsjoner er ennå ikke etablert, men den antas å være under 1000 md for emulsjoner med en gjennomsnittlig dråpediameter på mindre enn cirka 5 mikrometer. Slike kjernestrømningstester utført i fjell representative for anvendelse i målformasjonene er per i dag den beste metode for å bestemme om dråpestørrelsesfordelingen i emulsjonen er tilstrekkelig liten til å tillate emulsjonsstrømning uten innestengning av dråper ved poreåpningene. Dersom slike kjernestrømningstester antyder at innestengning oppstår, kan tilførsel av ekstra skjærenergi for å ytterligere redusere gjennomsnittlige dråpestørrelse ved formulering av emulsjonen begrense eller unngå problemet. En sammenlignbar kjernestrømningstest der en alternativ faststofftype med en væting som er mer eller mindre oleofil

enn den opprinnelige faststofftype testet, kan i tillegg anvendes for å bestemme om økt stabilitet kan oppnås under strømming. I samsvar med dette kan slike komparative kjernestrømmingstester anvendes for å finne den optimale faststofftype, væting og konsentrasjon.

Fremstilling og anvending av faststoffstabiliserte emulsjoner inneholdende gass

Selv om beskrivelsen ovenfor beskriver hvordan vann, olje og fine faste partikler kan anvendes for å danne en emulsjon anvendbar ved flere anvendelsesområder innen formasjoner for å forbedre oljeutvinningen, kan anvendelse av slike fine faststoffer for å stabilisere emulsjoner også videreføres til emulsjoner inneholdende gass. En gass inneholdende enten naturgass, karbondioksid, nitrogen, brenngass, luft eller annen gass kan inkorporeres inn i slike emulsjoner som beskrevet over for å modifisere tettheten til emulsjonen, modifisere dens viskositet eller for å gi den andre egenskap som er fordelaktige for oljeutvinning.

Skum er spesialtilfelle av emulsjoner inneholdende svært mye gass med interne gassbobler som er stabilisert ved grenseflatefilmer inneholdende vann, hydrokarboner eller andre væsker, og stabilisert ved andre overflateaktive stoffer eller andre emulgeringsmidler. Overflateaktive stoffer anvendes ofte for å skape stabile filmer ved dannelse av skum. I denne fremgangsmåte skal stabil film dannes ved blanding av olje, vann og fine faste partikler, der de faste partikler samvirker med oljen og vannet stabiliserer skumfilmen.

Tilsats av gass til emulsjonsblanding på det tidspunkt da oljen, vannet og faststoffene blandes, mikses og skjæres tillater generering av enten en emulsjon omfattende primært væske med en mindre fraksjon gass, eller et skum omfattende primært gass, med kun tilstrekkelig væske til å gi stabilt

skum, avhengig av de ønskede egenskaper til den endelige blanding. Et eksempel på anvendelse av denne oppfinnelse er i de fall der tettheten til en vann-i-olje-emulsjon uten inkludert gass kan være vesentlig høyere enn tettheten til olje som skal fortrennes innen formasjonen. Dersom nevnte emulsjon uten gass injiseres for å fortrenge olje, kan gravitasjonsunderstrømming av oljen oppstå fordi emulsjonen tenderer å synke under oljen til lavere deler av formasjonen. Tilstrekkelig gass kan imidlertid inkluderes i emulsjonen for å fjøre emulsjonens tetthet ved formasjonsbetingelsene lik tettheten til oljen som fortrennes, og således unngå gravitasjonsunderstrømming.

Andre anvendelsesområder av slike gassinneholdende emulsjoner eller skum stabilisert av fint faststoff er kjent blant fagpersoner utfra foregående beskrivelse. Noen eksempler er inkludering av gass for å redusere viskositeten til den injiserte emulsjon, eller å inkludere kompressibel gass for å lagre energi for frigjøring idet emulsjonen opplever lavtrykkssoner innen formasjonen.

20 Justering av emulsjonens viskositet ved tilføring av gass

Som nevnt over, kan gass tilsettes en emulsjon for å justere emulsjonens viskositet. Som vist i figur 2, er en viktig egenskap til oljeeksterne (det vil si vann-i-olje) emulsjoner som stabiliseres av faststoffer at viskositeten til emulsjonen alltid er høyere enn viskositeten til basisoljen som benyttes for å danne den eksterne fase. Idet figur 2 viser viskositeten til én oljeekstern emulsjon målt ved en skjærrate på 75 sek^{-1} som funksjon av vanninnhold, vil økningen i viskositet som funksjon av vanninnhold bli tilsvarende for alle oljeeksterne emulsjoner. Dersom emulsjonen benyttes som et fortrenningsfluid for å fortrenge oljen i et reservoar, oppnås den mest virksomme oljeutvinningen dersom vanninnholdet i emulsjonen er høyt, for eksempel 60-70 volumprosent vann eller høyere. Ved slike vanninnhold kan viskositeten til emulsjonen være

cirka 10-20 ganger høyere enn viskositeten til oljen
anvendt til å danne emulsjonen. Dersom oljen som anvendes
for å danne emulsjonen har den samme viskositet som oljen i
reservoaret som skal fortrennes av emulsjonsflømming, vil
5 emulsjonens viskositet være høyere enn hva som er nødvendig
for virksom flømming.

For å oppnå virksom oljefortrengning i et reservoar, bør
mobiliteten til den fortrengende emulsjonsvæsken
fortrinnsvis være likt eller mindre enn mobiliteten til
10 oljen som skal fortrennes. Som nevnt over, kan mobiliteten
til fluidet defineres som forholdet mellom fluidets
relative permeabilitet og fluidets viskositet. Den relative
permeabilitet til oljen som skal fortrennes eller til
emulsjonen som inneholder en bestemt mengde vann avhenger
15 av bergartegenskapene, så som litologi, porestørrelses-
fordeling og væting. Disse parametrene styres naturlig av
væskfjellsystemet og kan normalt ikke justeres. Vis-
kositeten til emulsjon kan imidlertid justeres for å
regulere dens mobilitet. Ved normale områder for oljere-
20 lativ permeabilitet og emulsjonsrelativ permeabilitet vil
en emulsjonsviskositet på cirka to til seks ganger større
enn oljens viskositet resultere i et forhold mellom emul-
sjonsmobilitet/oljemobilitet på cirka 1,0 eller mindre.
Dette vil gi en virksom fortrengning av olje, mens
25 akseptabel emulsjonsinjektivitet og flømming tillates. En
emulsjonsviskositet som er høyere enn nødvendig for å oppnå
dette mobilitetsforhold vil fremdeles gi meget virksom
fortrengning av olje, men vil også føre til høyere pumpe-
kostnader og lengre flømming, hvilke begge reduserer den
30 økonomiske fortjeneste ved prosessen.

En virksom fremgangsmåte ved justering av viskositeten til
en oljeekstern emulsjon er å tilsette gass som er løselig i
oljefasen (den kontinuerlige eller eksterne fase) til
emulsjonen og reduserer dens viskositet. Tilsats av
35 hydrokarbongasser, så som metan, etan, propan, butan eller
naturgassblandinger, kan gi reduksjon i oljeviskositet.

Andre gasser, så som karbondioksid og svoveldioksid kan imidlertid være spesielt virksomme ved reduksjon av oljeviskositet ved kun moderate konsentrasjoner. Emulsjonens viskositet kan derfor reduseres ved å inkorporere en gass i emulsjonen. En tilstrekkelig mengde gass bør vanligvis tilsettes for å redusere emulsjonens viskositet til mindre enn cirka ti ganger (mer fortrinnsvis mindre enn cirka seks ganger) viskositeten til oljen som skal utvinnes. Dette kan oppnås ved å mette emulsjonen med gass ved et trykk nødvendig for å oppnå de ønskede likevektskonsentrasjoner i både olje- og vannfasene av emulsjonen.

Figur 9 viser viskositeten til en emulsjon som i utgangspunktet inneholder 60 volumprosent vann i olje som en funksjon av løst karbondioksidkonsentrasjon målt ved 60°C. Emulsjonen ble først fremstilt ved å blande vann med en råolje på 325 cp viskositet. Oleofil silikaskum (Aerosil®R972) ble inkorporert som stabilisator ved en konsentrasjon på 0,5 g/l emulsjon. For å generere data fremstilt i figur 9, ble karbondioksid deretter tilsatt til emulsjonen ved et fast trykk, som indikert, og emulsjonen ble omdannet til emulsjonen var mettet med karbondioksid ved en temperatur på 60°C. Emulsjonens viskositet og karbondioksinkonsentrasjonen ble deretter målt. Figur 9 viser at ved et trykk på 4 826 kPa (700 psig) inneholdt emulsjonen 3,5 m³ (123 scf) karbondioksid, og emulsjonens viskositet var redusert til 1,1 kPa·s (1 100 cP) fra den opprinnelige viskositet på 5 kPa·s (5 000 cP) uten oppløst karbondioksid. Forholdet mellom emulsjonens viskositet/-basisoljeviskositet var således redusert fra 15,4 til 3,4.

I feltet kan karbondioksid tilsettes oljen og vannet før blanding av emulsjonen, eller alternativt kan emulsjonen blandes før tilsats av karbondioksid. Tilsats av karbondioksid til oljen og vannet før blanding av emulsjonen har den tilførte fordel at viskositeten til væskene reduseres under blandingen, for således å redusere behovet for blandeenergi. Karbondioksid kan tilsettes væskene ved

anvendelse av ethvert av et antall mekaniske blandemetoder kjent blant fagpersoner. Karbondioksidgassen kan for eksempel injiseres inn i væsken oppstrøms en høyskjærs blandedanordning som er opprettholdt ved et trykk

5 tilsvarende større gassens metningstrykk, eller karbondioksid kan blandes inn i væsken i et motstrøms absorpsjonstårn som drives ved det ønskede trykk. Uavhengig av anordninger som anvendes for blanding, er trykket inni overflateutstyret som er nødvendig for å inkorporere den

10 ønskede mengde karbondioksid (for eksempel cirka 2 758 kPa (400 psi) til 6 895 kPa (1 000 psi)) mye mindre enn trykk som emulsjonen i det etterfølgende vil utsettes for innen injeksjonsledningene, injeksjonsbrønnene eller oljereservoaret. Derfor vil karbondioksid forbli oppløst i emul-

15 sjonen i løpet av det meste av dets anvendelige livsløp, forutsatt stabil viskositetsjustering av prosessen.

Selv om eksempelet over illustrerer tilsetningen av karbondioksidgass til emulsjonen for å redusere viskositeten, må det forstås at andre gasser også kan anvendes for å

20 justere viskositeten uten å avvike fra oppfanget til den foreliggende oppfinnelse. Selv om reduksjon i viskositet som oppstår ved tilsats av en gass mest sannsynlig vil være størst der emulsjonen er en oljeekstern emulsjon, kan tilsats av en gass også være fordelaktig for å redusere

25 viskositeten til en vannekstern emulsjon. I samsvar med dette inkluderer foreliggende oppfinnelse tilsats av karbondioksid eller en annen gass til både oljeeksterne og vanneksterne emulsjoner for å redusere viskositeten derav.

Utvalg og behandling av mulige faststoffer

30 Forbedret emulsjonsstabilitet kan oppnås ved anvendelse av faststoffer som har: et stort overflateareal/volumforhold, liten masse og en gjennomsnittlig partikkelstørrelse på to mikrometer eller mindre, som tiltrekkes til polare eller asfaltene hydrokarboner i oljefasen, og som har overflater

35 som er enten delvis eller i vesentlig grad oleofile (for

danning av oljeeksterne emulsjoner) eller hydrofile (for danning av vanneksterne emulsjoner). For å danne en oljeekstern emulsjon, behandles faststoffer som kan møte disse kravene, så som leire, slik som kaolinitt eller bentonitter, eller silikaskum for å gjøre overflatene delvis eller vesentlig oleofile.

Oleofilt silikaskum, så som Aerosil®R972 eller Aerosil®R974, fremstilt av Degussa AG, CAB-O-SIL® TS-530 eller CAB-O-SIL® TS-610 fremstilt av Cabot Corporation, består av små sfærer av silikaskum som har blitt behandlet med organosilaner eller organosilasaner for å gjøre overflatene oleofile. Dette er virksomme faststoffer for å stabilisere mange råoljeemulsjoner. Slike partikler er ekstremt små, med primærpartikler bestående av sfærer med diameter så små som cirka 10-20 nm, til tross for at primærpartiklene samvirker for å danne større aggregater. Konsentrasjoner av disse silisiumoksider er funnet virksomme ved konsentrasjoner fra cirka 0,5 g/l emulsjon til 20 g/l emulsjon.

Naturlige leirer kan utvinnes og prosesseres for å danne rimelige faststoffer med stort forhold mellom overflateareal og masse. Partikler av kaolinitt med cirka 1,0 mikrometer eller mindre i effektiv diameter, som målt ved laserlysspredningsteknikk, tilveiebringer for eksempel stort overflateareal (cirka 10-20 m²/g). Disse leirer har normalt hydrofile overflater. De kan imidlertid blandes med råolje ved formasjonstemperatur i en passende beholder og holdes tilstrekkelig lenge til å tillate polare hydrokarboner og asfaltener med høy molekylvekt å adsorbere på leireoverflatene og gjøre dem delvis eller i vesentlig grad oleofile. Blandingen bør omrøres forsiktig eller blandes for å holde partiklene i suspensjon og sikre god kontakt med råoljen. En kontakttid på 24-27 timer eller lenger er vanligvis tilstrekkelig for å oppnå oleofile overflater.

Bentonittleirer, slik som de som utvinnes i Wyoming, Georgia, eller andre utallige lokasjoner rundt i verden, er særlig velegnet som stabilisatorer for råoljeemulsjoner. Disse leirer består ved utvinning naturlig av aggregater av partikler, hvilke kan fordeles i vann og brytes opp ved skjæring i enheter med gjennomsnittlig partikkelstørrelser på 2 mikrometer eller mindre, som målt ved laserlysspredningsteknikk. Hver av disse partikler er imidlertid en laminert enhet inneholdende cirka 100 lag av fundamentale silikatlag med en 1 nm tykkelse bundet sammen ved inkluderte atomer, så som kalsium i lagene. Ved å bytte ut atomene, så som kalsium med natrium eller litium (hvilke er større og trekker sterkt på vannmolekyler i ferskvann), og deretter eksponere bentonittet for ferskvann, kan bentonittet brytes opp i individuelle 1 nm tykke lag, kalt fundamentale partikler. Kjemien i denne delamineringsprosessen er velkjent blant fagpersoner innen leirekjemi. Delaminering oppstår i ferskvann fordi natrium- eller litiumioner tiltrekker tilstrekkelige vannmolekyler mellom lagene (i en hydreringsprosess) til at lagene deles opp i fundamentale partikler. Denne fremgangsmåte kan derfor anvendes til å øke overflatearealet per enhetsmasse bentonitt med cirka 100 ganger, forutsatt ekstremt små (1 nm tykke ganger 1 mikrometer eller mindre i bredde) og aktive partikler ved lave kostnader.

Faste partikler som anvendes for å danne en emulsjon kan også behandles til enten å utvikle eller forbedre deres oleofile eller hydrofile karakter. Delaminerte bentonittpartikler kan for eksempel forkontaktes med råolje ved formasjonstemperaturen for å tillate adsorpsjon av polare hydrokarboner og asfaltener for å gjøre dem delvis eller i vesentlig grad oleofile. Det skal forstås at dette er et eksempel på én av mange måter å forbedre adsorpsjonen av polare hydrokarboner på faststoffene for å gjøre dem oleofile; andre metoder kan anvendes uten å avvike fra det samme omfang av denne oppfinnelse.

Tastprosedyrer

Faseforløp sikttester

Olje produsert fra målformasjonen og kildevann (eller syntetisk vann fremstilt for å fortrenge kildevannsammen-
5 setningen) testes først for emulgeringsvirkning med ulike mulige faststoffer. I denne sikttesten ble 40 ml råolje forvarmet til formasjonstemperaturen og først tilsatt 250 ml sentrifugeringsrør. Deretter tilsettes en innveid masse av leirepartikler (for eksempel så som bentonitt, kao-
10 linitt, illitt eller annen leire med partikkelstørrelsesområde fra mindre enn 1 mikrometer til 2 mikrometer i diameter), eller alternativt en annen type submikro-
størrelsesfaststoff, så som silikaskum eller karbonstøv til oljen. Faststoffene deles deretter i oljen ved å innføre en
15 laboratorieblander inn i oljefasen, hvilke kan tilføre høyt skjær (for eksempel en Silverson modell L4RT som drives med full hastighet eller cirka 6 000 rpm), hvilken skjærer oljen/faststoffblandingen i 2 minutter. Den ønskede mengde vann (som er forvarmet til formasjonstemperatur) tilsettes
20 trinnvis under kontinuerlig skjæring (60 ml vann kan for eksempel tilsettes i tre 20 ml porsjoner i løpet av en 6 minutters periode for å tilveiebringe totalt 100 ml testblanding). Blandingen skjæres deretter i 10 minutter, røret korkes, og røret plasseres i en ovn, der temperaturen
25 holdes ved formasjonstemperaturen.

Røret holdes stillestående i 24 timer og volumet i fritt utskilt vann observeres visuelt. Prøven sentrifugeres ved 1
000 rpm i 20 minutter (eller ved en annen hastighet og tid vurdert som egnet som målt på emulsjonsstabilitet), og
30 volumet av fritt utskilt vann måles på ny. Dersom ikke noe fritt vann observeres, sentrifugeres prøven igjen ved 2 000 rpm i ytterligere 10 minutter. Emulsjoner som ikke utskiller fritt vann under disse testbetingelser kan vurderes som gode kandidater for videre testing i kjerne-
35 fløimming. Prøver som viser overordnet stabilitet kan også

settes tilbake i ovnen, der deres stabilitet i stillestående tilstand kan observeres så lenge som ønsket (for eksempel over måneder).

For hvert mulig fast stoff, bør en serie testemulsjoner som
5 inneholder ulike forhold av vann, olje og faststoff
konsentrasjoner genereres for å bestemme den optimale
konsentrasjonen av hver. En typisk konsentrasjon av
partikler nødvendig for å stabilisere slike emulsjoner kan
10 variere fra mindre enn 0,1 g/l emulsjon til 20 g/l emul-
sjon. Den foretrukne vannkonsentrasjonen i emulsjonen kan
varierte fra 50 % til 90 %, avhengig av ønsket emulsjons-
viskositet og andre vurderinger gitt ved anvendelser i
formasjonen. Derfor kan ytterligere klassifiseringstester
involvere målinger av emulsjonsviskositet. Ytterligere
15 tester kan inkludere måling av dråpestørrelsesfordeling og
gjennomsnittlig dråpestørrelse ved anvendelse av mikroskopi
eller NMR-metoder. Foretrukne gjennomsnittlige dråpestør-
relser vil variere fra mindre enn 1,0 mikrometer til 10
mikrometer. Dersom faststoffene tilsatt oljen ikke gir den
20 ønskede dråpestørrelsen, kan ytterligere faststoff med en
annen størrelsesfordeling og/eller sammensetning tilsettes
oljen for å oppnå den ønskede dråpestørrelsesfordelingen.
Justering av størrelsesfordelingen av faststoffer anvendt
er kun én av mange parametre som kan justeres for å oppnå
25 den ønskede størrelsesfordelingen av dråper og vanninnhold
i emulsjonen. Størrelsesforholdet mellom gjennomsnittlig
partikkelstørrelse/gjennomsnittlig dråpediameter kan
varierte fra cirka 0,001 til cirka 1 med et foretrukket
forhold mindre enn cirka 0,5. Det nøyaktige forholdet vil
30 avhenge av størrelsesfordelingen av partikler anvendt,
sammensetningen av partiklene anvendt, mengden skjærenergi
tilført, og så videre. En blanding av faststoffer som har
forskjellige sammensetninger og/eller væting kan også
anvendes. Endelig valg av faststoffkonsentrasjon, vann-
35 innhold i emulsjonen, emulsjonsfasetilstand og dråpe-
størrelse bør imidlertid baseres på tester utført i

kjerneflømming ved formasjonsbetingelse der emulsjonen må forbli stabil idet den strømmer gjennom fjellporer.

Kjerneflømmingstester

Endelig valg av emulsjonssammensetning bør bestemmes ved testing der mulige emulsjoner injiseres inn i en kjerne representativ for formasjonsfjell, og som inneholder formasjonsråolje og saltløsning (eller syntetisk saltløsning av sammensetning tilsvarende formasjonssaltløsning), som alle holdes ved formasjonstemperaturer. Dette er viktig da statiske eller sentrifuge faseforløpstester ikke utsetter emulsjonene for det konstante lave skjæring som alltid forefinnes under strømning gjennom porøse media, og sentrifugetester utsetter dråpene for høyere gravitasjonskrefter enn i porøse media. Kjerneflømming bør derfor fortrinnsvis utføres ved poreroms-strømningshastigheter representative for de som er sannsynlige ved feltanvendelser (for eksempel 0,3-1 m/d) for å teste fasestabiliteten til emulsjonen og dens evne til virksomt å fortrenge og utvinne oljen.

Kjerneflømmingstestprosedyrer er velkjent blant fagpersoner, men det følgende sammenfatter tester anvendt for å vurdere oljefortrenningsvirkningsgrad av emulsjonsflømming. Ikke-reducerbar (eller fossil) vannmetning etableres først ved å injisere råolje inn i en kjerne fylt med formasjonssaltløsning. Kjernen bør være enten opprinnelig bevart kjerne fra formasjonen eller sand/fjell antatt å være representativ for formasjonen. Kjernen bør deretter tillates å være i likevekt med råoljen for å oppnå riktig væting av bergarten før flømming påbegynnes. Emulsjonen injiseres deretter inn i kjernen ved konstant mengde, og trykkgradienter fra innløpet til utløpet av kjernen, og eventuelt over målte aksielle avstander innen kjernen, måles mot volumet av injisert emulsjon. Volumet av vann og olje produsert måles, og vann og oljemetning inne i kjernen beregnes som en funksjon av volum av injisert emulsjon.

Vannfase- og oljefasesporstoffer kan også anvendes i mange fluider for å behjelpe bestemmelsen av stabiliteten til emulsjonen under strømming. Primære mål på emulsjonsstabilitet er: oljeutvinningsvirkningsgrad, mengden separasjon av vann fra emulsjonen og stabile trykkgradienter i emulsjonsforrådet mot tid og avstand langs kjernen. Optimering av emulsjonsformuleringen kan oppnås ved å sammenligne resultater av kjerneflømming som funksjon av emulsjonssammensetning og fremgangsmåte ved emulsjonsfremstilling. Som kjent blant fagpersoner innen forbedret oljeutvinning, kan den optimale emulsjonen være den som vurderes å tilfredsstillе én eller flere subjektive kriterier så som maksimering av oljeutvinningen eller minimering av driftsforrådsmobilitet.

15 Tillagning og anvendelse av en oljEEKstern emulsjon i feltet

Den følgende beskrivelsen, presentert uten begrensninger og for å illustrere, er kun ett eksempel på hvordan oppfinnelsen kan benyttes feltmessig. Andre fremgangsmåter for fremstilling og anvendelse av faststoffstabiliserte emulsjoner vil være opplagte for fagpersoner i lys av den følgende feltanvendelsen. Den ønskede konsentrasjonen og typen av oleofile faststoffer, bestemt fra laboratorieklassifiseringstester, tilsettes til en tank inneholdende råolje fortrinnsvis produsert fra samme formasjonen. Tanken og rørledningene er isolert for å holde oljen på eller nær formasjonstemperaturen og faststoffene fordeles gjennom kontinuerlig pumping av olje gjennom tanken for å holde den omrørt idet faststoffene tilsettes. Andre blandearrangementer kan benyttes, hvilket er klart blant fagpersoner. Denne tanken gir en konsentrert dispersjon av faststoffer i råolje.

Emulsjonen kan lages ved å blande det påkrevde volumforholdet av råolje-/faststoffkonsentrat med råolje og vann i enten en kontinuerlig strømningsprosess gjennom en serie av

én eller flere kolloidalmøller (eller gjennom skjæranordninger kjent blant fagpersoner), eller fluider kan resirkuleres gjennom en enkel skjæranordning fra én lagringstank til en annen i satsvis modus. Dersom kolloidalmøller for eksempel benyttes i en kontinuerlig (engangs) modus, kan antallet møller og deres rotasjonshastighet og åpningsinnstilling justeres for å behjelpe produksjonen av vanddråper av ønsket gjennomsnittlig diameter (fortrinnsvis cirka 5 mikrometer eller mindre). Vann kan tilsettes trinnvis mellom hver kolloidalmølle for å oppnå den endelige målverdien uten uønskede faseinversjoner. Emulsjonen er deretter klar til å injiseres inn i formasjonen for å fortrenge oljen.

Ved slik eksempelvis anvendelse, dersom oljens viskositet er 0,325 kPa·s (325 cP) og vanninnholdet er 80 %, kan emulsjonens viskositet være cirka 3 kPa·s (3000 cp) ved 10 sek⁻¹. I gitte tilfeller kan imidlertid injektiviteten til slike viskøse emulsjoner være lavere enn ønskelig for å oppnå et økonomisk flømmingslivsløp. En metode for å øke injektiviteten til slike emulsjoner vil være å varme opp emulsjonen før injeksjonen, slik at emulsjonens viskositet reduseres i nærbrønnområdet. Lenger vekk fra nærbrønnområdet vil den oppvarmede emulsjonen avkjøles til formasjonstemperatur og målviskositeten vil oppnås. Derfor kan en virksom fortrenkning av den tunge oljen oppnås enten med eller uten oppvarming av emulsjonen som egnet. Den endelige vannmetningen i brønnsveipte soner av formasjonen kan være cirka 80 %, eller det samme som vannkonsentrasjonen i den injiserte emulsjonen. Ved de beste driftsforholdene bør derfor den injiserte emulsjonen oppnå en tilnærmet stempellignende fortrenkning av oljen foran emulsjonen på grunn av dens vesentlige lavere mobilitet sammenlignet med oljen. Ved disse betingelsene der emulsjonen er meget viskøs og oljeekstern og derfor mer lignende olje med tanke på relativ permeabilitet enn vann, oppnår den en endelig oljemetning som er mindre enn det som til sist vil realiseres ved vannflømming, men med vesentlig

mindre volum injisert. Ved disse formasjonsbetingelsene kan et vannflømmingsmønster forventes å utvinne 20 % eller mindre av oljen til stede etter 1,0 porevoluminjeksjon, mens netto utvinning av olje ved emulsjonsflømming kan overgå 50 % av den opprinnelige oljen tilstede, eller nesten 3 ganger vannflømmingsutvinningen.

Vurdering av faststoffstabiliserte emulsjoner - labeksempler

De følgende laboratorietestene ble utført for å demonstrere virkningen av en faststoffstabilisert emulsjon som en fortrenningsfluid for å fortrenge og utvinne tungolje fra en formasjon. I denne testen ble en oljeekstern emulsjon stabilisert med kaolinittleirepartikler med en median partikkelstørrelse på cirka 2,2 mikrometer, som målt ved laserlysspredningsteknikk tilberedt og injisert inn i en kjerne av formasjonssand inneholdende tungolje med 325 cp viskositet ved formasjonstesttemperatur på 60°C.

Kjemiske sporstoffer blir tilsatt oljen og vannet i emulsjonen for å tillate identifisering av de forbindelsene i fluidet produsert fra kjernen og deres differensiering fra resident olje og saltlake i kjernen ved begynnelsen av testen. Data ble også innsamlet for å måle totalt trykkfall, oljeutvinning, vannkutt i det produserte fluidet og gjennomsnittlig fluidmetninger innen kjernen, alle som funksjoner av volum av injisert emulsjon.

Ukonsolidert sand fra utskilte kjerner fra en tungoljeformasjon ble benyttet for å tillage en kjernetestprøve. Kjernen ble tillaget ved først å fylle en blytrukket kjerneholder med sanden. Metalltrådsikter ble plassert ved innløpet og utløpet av kjernen for å holde sanden, og den ytre lengden av montasjen ble deretter pakket med plastfilm og aluminiumsfolie og deretter plassert i et gummihylster på samme måte som er alminnelig ved tillagning av ukonsoliderte sandkjerner for flømming. Denne kjerne-

montasjen ble deretter plassert i en triaksiell kjerneholder og en overdekningsbelastning på 12 411 kPa (1800 psi) ble plassert på kjernen for å simulere typiske formasjonsoverdekningsbetingelser. Trykkmålværdiomformere ble anvendt for å måle det totale trykkfallet over kjernen. Kjerneholderen ble deretter plassert i en ovn som holdt en konstant formasjonstemperatur på 60°C. Alle de etterfølgende flømmingstrinnene ble deretter utført ved denne temperaturen, inkluderende tillagning og lagring av emulsjonen. Tabell 1 sammenfatter relevante egenskaper målt for kjernen.

TABELL 1

Kjerneegenskaper	Målt verdi
Permeabilitet for olje ved S_{wi}	3,440 md
15 Porøsitet	27,9 %
S_{wi} (ikke-reduserbar vannmetning)	20,1 % pv
Kjernelengde	16,1 cm
Kjernens tverrsnittsareal	11,4 cm ²
Kjernens porevolum (pv)	51,2 cm ³
20 Netto overdekningsbelastning	12,411 kPa (1,800 psi)

En saltløsning ble tillaget ved å tilsette natriumklorid og kaliumklorid til destillert vann for å gi konsentrasjonene vist i tabell 2. Denne saltløsningen ble benyttet til å mette kjernen og å formulere emulsjonen som skulle injiseres.

TABELL 2

Komponent	Konsentrasjon (mg/kg saltløsning)
30 K^+ ion	5,244
Na^+ ion	7,867

Cl ⁻	16,888
Totalt oppløst faststoff	30,000

For å forberede kjernen for testflømmingen ble vakuum påført kjernen og saltløsningen strømmet inn i kjernen for å oppnå 100 % vannmetning. En tung olje med viskositet på 325 cp ble deretter injisert inn i kjernen ved en rate på 2 cm³/min. for å etablere en ikke-reduserbar (fossil) vannmetning (S_{wi}) på 20,1 % pv (porevolum). Dette ga betingelser representative for startbetingelsene i formasjonen før injeksjon av ethvert fluid.

Fine mineralpartikler ble tilsatt til oljen som skulle emulgeres for å tillate at de faste partiklene ble våtet av olje før blanding med vann. Tilsats av faststoffer til oljen før tilsats av vann foretrekkes dersom en vann-i-olje-emulsjon er ønsket. Fine mineralpartikler heri identifisert som "feltblanding" bestående hovedsakelig av kaolinittleire (>90 %), med små andeler av kloritt, sylvinitt og kvarts ble først tilsatt en tung råolje med viskositet på 0,325 kPa·s (325 cP). Et laserpartikkelstørrelsesinstrument ble brukt til å analysere partikkelstørrelsesfordelingen av faststoffet tilsatt oljen. Resultater viste at den gjennomsnittlige partikkelstørrelsen var cirka 3,2 mikrometer, medianstørrelsen var cirka 2,2 mikrometer, hvor minst 40 % av partiklene hadde en effektiv diameter på 2 mikrometer eller mindre. Dette instrumentet kunne imidlertid ikke måle partikler med effektiv partikkeldiameter mindre enn cirka 0,8 mikrometer, og således ble antallet partikler med størrelse mindre enn 1 mikrometer underestimert.

Den totale mengden "feltblanding" mineralfaststoffer tilsatt til oljen var cirka 10 g/liter olje; dette var imidlertid vesentlig mye mer enn mengden påkrevet for virksom emulgering, og oljen ble sentrifugert ved 3000 rpm ved 60°C i cirka 18 timer for å fjerne det overskytende. Cirka 90 % av de faste partiklene ble fjernet ved sentri-

fugering. Tester viste at denne sentrifugerte oljen raskt emulgerte med vann og fremdeles holdt tilstrekkelige finpartikler av mineralet for virksom emulgering. For å bevise at mineralfinpartiklene faktisk var emulgerings-
5 middelet, ble en prøve av den sentrifugerte oljen deretter filtrert i et innrettet filter med en nominell porestørrelsesklassifisering på 0,4 mikrometer. Det er imidlertid sannsynlig at dette filteret fjernet partikler på størrelse mindre enn cirka 0,4 mikrometer hvilke ble oppfanget i
10 filterkaken. En analyse av det filtrerte materiale ved elektronmikroskop viste at det bestod nesten utelukkende av mineralfinpartikler og at ingen vesentlige mengder av noe hydrokarbonkomponent var fjernet. Den filtrerte oljen lot seg ikke emulgere med vann. Tilsats av mineralfinpartikler
15 til den filtrerte oljen gjenopprettet imidlertid dens evne til raskt å emulgere.

Ytterligere tester viste at andre mineraler med en gjennomsnittlig partikkelstørrelse på cirka 2 mikrometer eller mindre (og fortrinnsvis 1 mikrometer eller mindre) raskt
20 ville emulgere den filtrerte oljen dersom faststoffene ble forbehandlet i råolje i >24 timer for å gjøre dem oleofile. En fullstendig ulik prøve av rensert kaolinittleire betegnet KGa-1, fra "the Source Clay Repository" til "Clay Mineral Society" med en gjennomsnittlig partikkelstørrelse på cirka
25 1,6 mikrometer, en medianstørrelse på cirka 1,6 mikrometer og med minst 80 % av partiklene med en størrelse på 2 mikrometer eller mindre (som målt ved laserpartikkelstørrelseanalyse), ble funnet å raskt forårsake at den filtrerte oljen inkorporerte 60 % vann i en oljeekstern
30 emulsjon ved en konsentrasjon på 0,5 g/l olje. Oleofil røkt silika (Cabot CAB-O-SIL TS-530) tilsatt til den filtrerte oljen ved en konsentrasjon på 50 g/l olje dannet oljeeksterne emulsjoner inneholdende 60 % vann. En annen test viste at bentonittleire oppdelt i fundamentale 1
35 nanometer sjikt og forbehandlet ved avsetning av polare (anvendelse av pentanavsetningsmetoden beskrevet over)

tilsatt oljen ved en konsentrasjon på 4,7 g/l raskt dannet oljeeksterne emulsjoner inneholdende 60 % vann.

For å generere emulsjonen testet i kjerneoversvømmingen, ble cirka 400 cm³ av råoljen med tilsatt feltblanding av mineralfinpartikler plassert i et begerglass med 600 cm³ av saltløsningen vist i tabell 1, og blandingen ble blandet til en uniform emulsjon hadde dannet seg der alt vannet var emulgert i en oljeekstern fase. Cirka 5-10 minutter blanding med et Silverson L4RT var tilstrekkelig. Observasjon av prøver av emulsjonen under et mikroskop viste at den inneholdt stabiliserte vanddråper som varierte i diameter fra cirka 1-30 mikrometer eller mindre. Dråper mindre enn den synlige oppløsningen til mikroskopet kan ha vært til stede, men var ikke detekterbare. Prøver av den tillagde emulsjonen ble holdt i stillestående glassrør ved 60°C i perioder som varte fra dager til måneder for å observere stabiliten; ingen vesentlig mengde overskytende vann ble observert utskilt, så emulsjonene var stabile. Disse emulsjonene frigjorde heller ikke fritt vann når de ble utsatt for sentrifugering i 20 minutter ved 1000 rpm og i 10 minutter ved 2000 rpm. Figur 2 viser viskositeten til testemulsjoner ved en skjærrate på 75 sek⁻¹ mot vanninnhold. Figur 3 viser viskositeten av den utvalgte emulsjonen inneholdende 58 volumprosent vann mot skjærrate.

For å utføre kjerneflømmingstesten, ble emulsjonen pumpet inn i kjernen ved en rate på 0,213 ml/min. ved anvendelse av en Ruskapumpe. Effluent fra kjernen ble oppsamlet i trinn på cirka 5 ml i testrør i en automatisert fraksjonsoppsamlingsenhet. Olje- og vanninnholdet i hver fraksjon ble bestemt gravimetrisk ved anvendelse av en analytisk prosedyre basert på fortynning av prøven med toluen for å bryte enhver emulsjon, etterfulgt av separasjon av hydrokarbon og vannfasene. Prøver av de separerte olje- og saltløsningsfasene ble analysert ved ione- og elektronopptakskromatografi for å bestemme emulsjonens sporstoffkonsentrasjoner for hver trinnvise

fraksjon av produksjonen. En konsentrasjon på 523 ppm diklorbenzen (DCB) i oljefasen av emulsjonen og en konsentrasjon på 1000 ppm bromidioner (fra KBr) i vannfasen av emulsjonen ble benyttet som sporstoffer. Tabell 3
5 sammenfatter relevante data for emulsjonsflømmingen.

TABELL 3

Data for emulsjonsflømmingen

Egenskap	Verdi
Fraksjon av vann i emulsjon	58 vol%
10 Flømmingsinjeksjonsrate	0,215 ml/min
Flømmingsporeromshastighet	97,5 cm/d
Oljeviskositet v/60°C	0,325 kPa·s (325 cP)
Saltløsningsviskositet v/60°C	0,485 cp
Oljetetthet v/60°C	0,93 g/ml
15 Saltløsningstetthet v/60°C	1,018 g/ml
Emulsjonsviskositet v/75 sek ⁻¹	2200 cp

Figur 4 viser vannkuttet i fluidet produsert fra kjernen som en funksjon av total fluid (det vil si faststoffstabilisert emulsjon) injisert. Figur 5 viser den
20 gjennomsnittlige vannmetningen i kjernen mot volum emulsjon injisert. Figur 6 viser forholdet mellom sporstoffkonsentrasjon i kjerneeffluenten, C , og startkonsentrasjonen av sporstoffer i emulsjonen idet den først injiseres inn i kjernen, C_0 (det vil si normalisert sporstoffkonsen-
25 trasjon), mot den totale mengden emulsjonsfluid injisert i kjernen, uttrykt i porevolumet. En grafisk fremstilling representerer sporstoffkonsentrasjonsforholdet for bromid i vannfasen av den injiserte emulsjonen, mens den andre grafiske fremstillingen representerer sporstoffkonsen-
30 trasjonsforholdet for diklorbenzen (DCB) i oljefasen av den injiserte emulsjonen. Figur 7 viser trykkfallet over kjernen mot den totale mengden emulsjonsfluid injisert i kjernen, uttrykt i porevolumer. Figur 6 indikerer at en

bromidsporstoffkonsentrasjon på 0,5 ble observert etter at kun 1,0 porevolum emulsjon var injisert, mens en sporstoffkonsentrasjon på 0,5 ble observert for DCB ved injeksjon av 1,17 porevolumer. I gjennomsnitt brøt således vannet i emulsjonen gjennom etter injeksjon av 1,0 porevolumer, og oljen i emulsjonen brøt gjennom etter injeksjon av 1,17 porevolumer. Disse sporstoffsresultatene og de korresponderende trykkfaseresultatene indikerer i figur 7 god emulsjonsstabilitet og glimrende mobilitetskontroll uten innestengning eller tap av viskositet.

Figur 8 viser tre målinger av oljeproduksjon fra kjernen. "Total mengde olje produsert" inkluderer all olje produsert. Kurven gitt "opprinnelig in-situ olje" viser produksjon av olje opprinnelig i kjernen før injeksjon som bestemt ved emulsjonsoljesporstoffet i det produserte fluid. Netto olje gjenvunnet er beregnet som forskjellen mellom den totale oljen produsert minus mengden olje injisert i emulsjonen, og dette er av stor interesse i evaluering av kosteffektiviteten av prosessen.

Netto olje gjenvunnet ved injeksjon av 1,0 porevolum er cirka 40 % av oljen opprinnelig til stede (OOIP). Vannflømmingsoljeutvinning i tilsvarende kjerner for denne oljen varierte fra 10,4 % OOIP til 18,8 % OOIP og netto oljeutvinning ved anvendelse av den faststoffstabiliserte emulsjonen var således 2,1 til 3,8 ganger mer effektiv. Fortrengning av den opprinnelige oljen in-situ var nesten fullstendig selv ved kun injeksjon av 1,0 porevolumer, hvilket illustrerer den oppnådde virksomme mobilitetskontrollen.

Denne testen ble utført for å demonstrere at de faststoffstabiliserte vann-i-olje-emulsjonene beveger seg gjennom formasjonsfjell og virksomt fortrenger den tunge oljen. Som indikert over utviste den uttestede faststoffstabiliserte emulsjonen god emulsjonsstabilitet og glimrende mobilitetskontroll ved laboratoriesimulerte formasjonsbe-

tingelser. Selv om oljeutvinning ved denne laboratorie-
utvinningen vil være økonomisk og en stor forbedring i
forhold til vannflømming, var emulsjonen anvendt i denne
flømmingen ikke optimert for oljeutvinning. Anvendelse av
5 en emulsjon med vanninnhold på 80 % ville sannsynligvis
realisere en netto oljeutvinning på 70 % av OOIP ved
injeksjon av 1,0 porevolum. Som kjent blant fagpersoner er
størrelsen av emulsjonsforrådet injisert videre en
parameter som kan anvendes for å øke netto oljeutvinning.
10 Vann kan for eksempel injiseres etter et 1,0 porevolumfor-
rådsemulsjon som videre øker netto oljeutvinning ved 2,5
porevolum total injeksjon. Den injiserte emulsjonsforråds-
størrelsen og emulsjonsvanninnholdet er parametere som skal
velges basert på økonomioptimering for én spesifikk
15 feltanvendelse.

De foretrukne utformingene ved utførelse av oppfinnelsen er
beskrevet. Det forstås at de foregående beskrivelsene er
kun illustrative, og at andre anordninger og teknikker kan
anvendes uten å avvike fra det egentlige omfanget av
20 oppfinnelsen hevdet heri.

P a t e n t k r a v

1. Faststoffstabilisert emulsjon for anvendelse ved utvinning av hydrokarboner fra en porøs, underjordisk formasjon,
5 k a r a k t e r i s e r t v e d at emulsjonen omfatter:
(a) en første væske;
(b) dråper av en andre væske suspendert i den første væsken der den gjennomsnittlige diameter til dråpene er mindre enn den gjennomsnittlige diameter til poreåpningene
10 i den porøse underjordiske formasjonen; og
(c) faststoffpartikler som er uløselig i både den første væsken og den andre væsken ved betingelsene i den underjordiske formasjonen, og der den gjennomsnittlige partikkelstørrelsen til de faste partiklene er mindre eller lik
15 den gjennomsnittlige dråpediameteren.

2. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den gjennomsnittlige partikkelstørrelse til de faste partiklene er mindre enn cirka halvparten av den gjennomsnittlige dråpediameter.

- 20 3. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at forholdet mellom den gjennomsnittlige partikkelstørrelse og gjennomsnittlige dråpediameter ligger i området fra cirka 0,001 til cirka 1.

4. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller
25 3,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den gjennomsnittlige dråpediameteren er mindre enn cirka 30 mikrometer.

5. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller
3,
30 k a r a k t e r i s e r t v e d at den gjennomsnittlige dråpediameter er mindre enn cirka 15 mikrometer.

6. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at den gjennomsnittlige partikkelstørrelse er mindre enn cirka 10 mikrometer.
- 5 7. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at den gjennomsnittlige partikkelstørrelse er mindre enn cirka 2 mikrometer.
- 10 8. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at den første væsken er olje, den andre væsken er vann og de faste partiklene er minst delvis oleofile.
- 15 9. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 8, karakterisert ved at vannet omfatter minst 60 vol% av den faststoffstabiliserte emulsjonen.
- 20 10. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at den første væsken er vann, den andre væsken er olje og de faste partiklene er minst delvis hydrofile.
- 25 11. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at de faste partiklene velges fra gruppen som består av leirer, kvarts, feltspat, gips, karbonstøv, asfaltener og polymere, elementære partikler av bentonittleirer, kaolinittleirer, silisiumdioksidskum.
- 30 12. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 1, karakterisert ved at den faststoffstabiliserte emulsjonen videre omfatter en gass.

13. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 12, k a r a k t e r i s e r t v e d at den faststoffstabiliserte emulsjonen inneholder tilstrekkelig mengde gass til å redusere viskositeten til den faststoffstabiliserte emulsjonen til mindre enn cirka 10 ganger viskositeten til hydrokarbonene.

14. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 12, k a r a k t e r i s e r t v e d at den faststoffstabiliserte emulsjonen inneholder en tilstrekkelig mengde gass til å øke mobiliteten til den faststoffstabiliserte emulsjonen til et punkt cirka likt, men ikke større enn, mobiliteten til hydrokarbonene.

15. Faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 12, 13 eller 14, k a r a k t e r i s e r t v e d at gassen velges fra gruppen bestående av karbondioksid, svoveldioksid og hydrokarbongasser.

16. Anvendelse av faststoffstabiliserte emulsjon ifølge hvilke som helst av kravene 1 til 15 for utvinning av hydrokarboner fra en underjordisk formasjon.

17. Anvendelse av en faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 16 som videre omfatter

- a) å injisere den faststoffstabiliserte emulsjonen inn i den underjordiske formasjonen; og
- b) å utvinne hydrokarbonene fra den underjordiske formasjonen.

18. Anvendelse av en faststoffstabilisert emulsjon ifølge kravene 16 eller 17 hvori k a r a k t e r i s e r t v e d at den faststoffstabiliserte emulsjonen anvendes for å danne en

strømningsbarriere for å avlede strømmen av hydrokarbonene i den underjordiske formasjonen.

19. Anvendelse av en faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 18

5 k a r a k t e r i s e r t v e d at den faststoffstabiliserte emulsjonen injiseres inn i en høypermeabilitets tyvsone i den underjordiske formasjonen for å hindre at hydrokarbonene kommer inn i tyvsonen.

20. Anvendelse av en faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 18

10 k a r a k t e r i s e r t v e d at den faststoffstabiliserte emulsjonen anvendes for å skape en horisontal barriere for vertikal strømming av vann eller gass for å redusere koning av vannet eller gassen inn i en hydrokarbonproduserende sone.

21. Anvendelse av en faststoffstabilisert emulsjon ifølge krav 18

20 k a r a k t e r i s e r t v e d at den faststoffstabiliserte emulsjonen anvendes som en fortrenningsvæske for å fortrenge hydrokarbonene fra den porøse underjordiske formasjonen.

22. Fremgangsmåte ved fremstilling av en emulsjon for anvendelse ved utvinning av hydrokarboner fra en porøs underjordisk formasjon,

25 k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten omfatter trinnene:

a) å velge en første væske og en andre væske for anvendelse i emulsjonen;

30 b) å velge en type faste partikler for anvendelse til å stabilisere emulsjonen, hvilke faste partikler er uløselig i både den første væsken og den andre væsken ved betingelsene i den porøse underjordiske formasjonen, og

der den gjennomsnittlige partikkelstørrelsen til de faste partiklene er mindre enn den gjennomsnittlige diameteren til poreåpningene i den porøse underjordiske formasjonen;

5 c) å kombinere den første væsken, den andre væsken og de faste partiklene for å danne en blanding derav; og

d) å utsette blandingen for skjærkrefter for å gi en emulsjon av dråper av den andre væsken suspendert i den første væsken og å fortsette skjæringen til den gjennomsnittlige diameteren til dråpene er mindre enn den
10 gjennomsnittlige diameteren til poreåpningene i den porøse underjordiske formasjonen;

e) hvorved de faste partiklene stabiliserer emulsjonen ved å hindre sammenføring av dråpene av den andre væsken.

15 23. Fremgangsmåte i følge krav 22,
k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten videre omfatter trinnet å tilsette en gass til blandingen.

24. Fremgangsmåte i følge krav 23,
k a r a k t e r i s e r t v e d at en tilstrekkelig
20 mengde gass tilsettes til blandingen for å redusere viskositeten til emulsjonen til mindre enn cirka 10 ganger viskositeten til hydrokarbonene.

25. Fremgangsmåte i følge krav 23,
k a r a k t e r i s e r t v e d at en tilstrekkelig
25 mengde gass tilsettes blandingen slik at mobiliteten til emulsjonen økes til et punkt cirka likt, men ikke større enn, mobiliteten til hydrokarbonene.

26. Fremgangsmåte i følge krav 23, 24 eller 25,
k a r a k t e r i s e r t v e d at gassen velges fra
30 gruppen bestående av karbondioksid, svoveldioksid og hydrokarbongasser.

27. Fremgangsmåte i følge krav 23, 24 eller 25,
k a r a k t e r i s e r t v e d at gassen tilsettes til
blandingen før trinnet der blandingen utsettes for
skjærkrefter.

5 28. Fremgangsmåte i følge krav 23, 24 eller 25,
k a r a k t e r i s e r t v e d at gassen tilsettes til
blandingen etter trinnet der blandingen utsettes for
skjærkrefter.

10 29. Fremgangsmåte i følge krav 22,
k a r a k t e r i s e r t v e d at trinnet der den
første væsken, den andre væsken og de faste partiklene
kombineres omfatter først å blande de faste partiklene inn
i den første væsken og deretter tilsette den andre væsken.

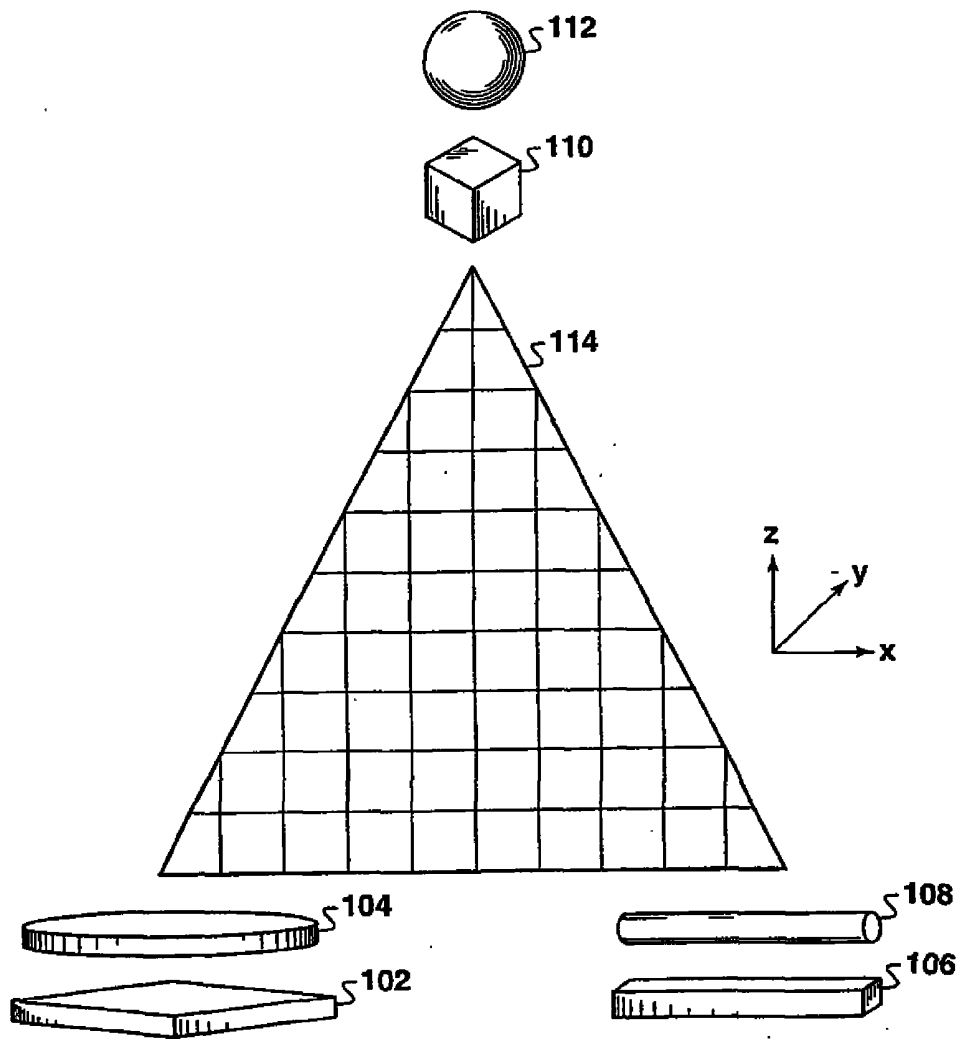
15 30. Fremgangsmåte i følge krav 22, 23, 24 eller 25,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den første væsken er
olje, den andre væsken er vann og de faste partiklene er
minst delvis oleofile.

20 31. Fremgangsmåte i følge krav 30,
k a r a k t e r i s e r t v e d at metoden videre
omfatter trinnet å forbehandle de faste partiklene før
dannelse av blandingen for å gjøre de faste partiklene
minst delvis oleofile.

25 32. Fremgangsmåte i følge krav 22, 23, 24 eller 25,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den første væsken er
vann, den andre væsken er olje og de faste partiklene er
minst delvis hydrofile.

30 33. Fremgangsmåte i følge krav 32,
k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten
videre omfatter trinnet å forbehandle de faste partiklene
før dannelsen av blandingen for å gjøre de faste partiklene
minst delvis hydrofile.

34. Fremgangsmåte i følge krav 22, 23, 24 eller 25,
k a r a k t e r i s e r t v e d at de faste partiklene
velges fra gruppen bestående av leirer, kvarts, feltspat,
gips, karbonstøv, asfaltener og polymere, elementære
5 partikler av bentonittleirer, kaolinittleirer, og sili-
siumdioksidiskum.



Figur 1

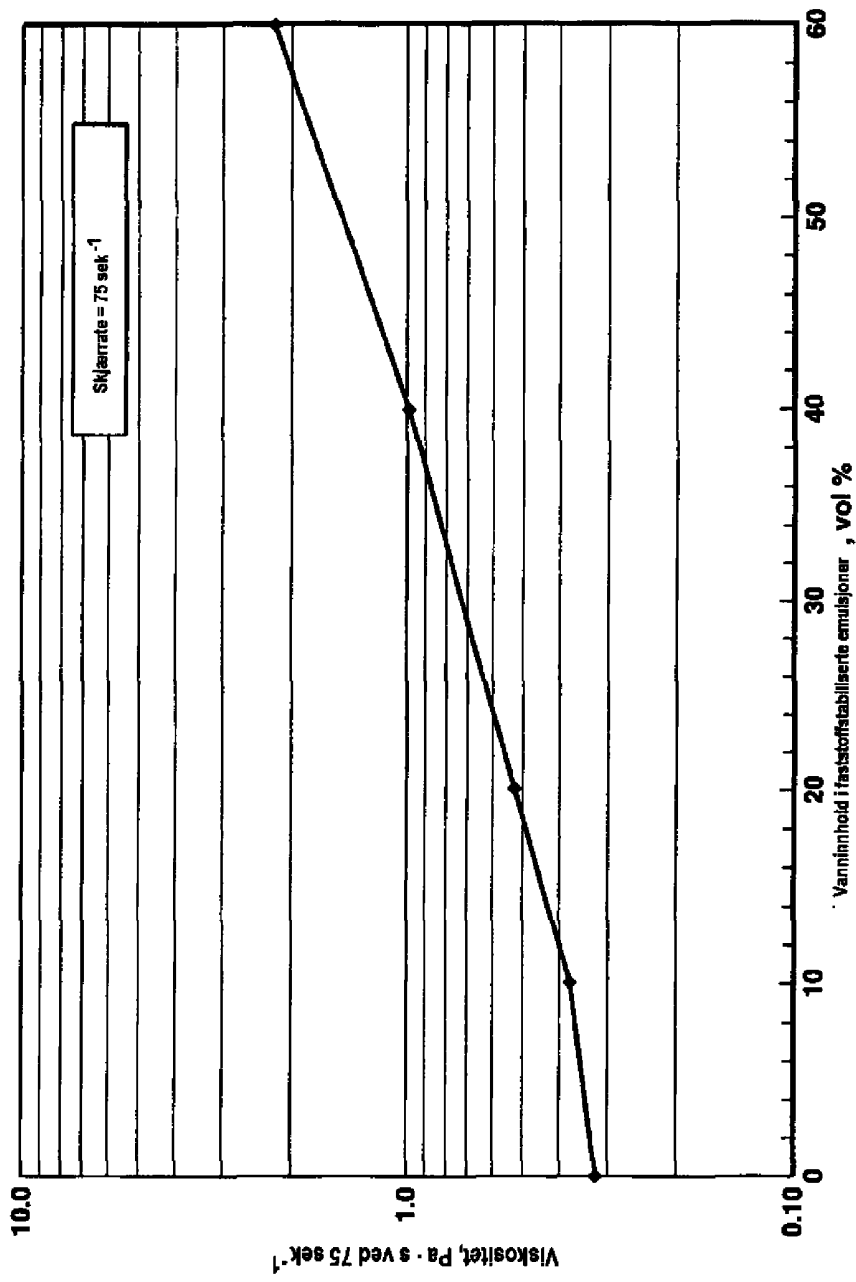


FIG. 2

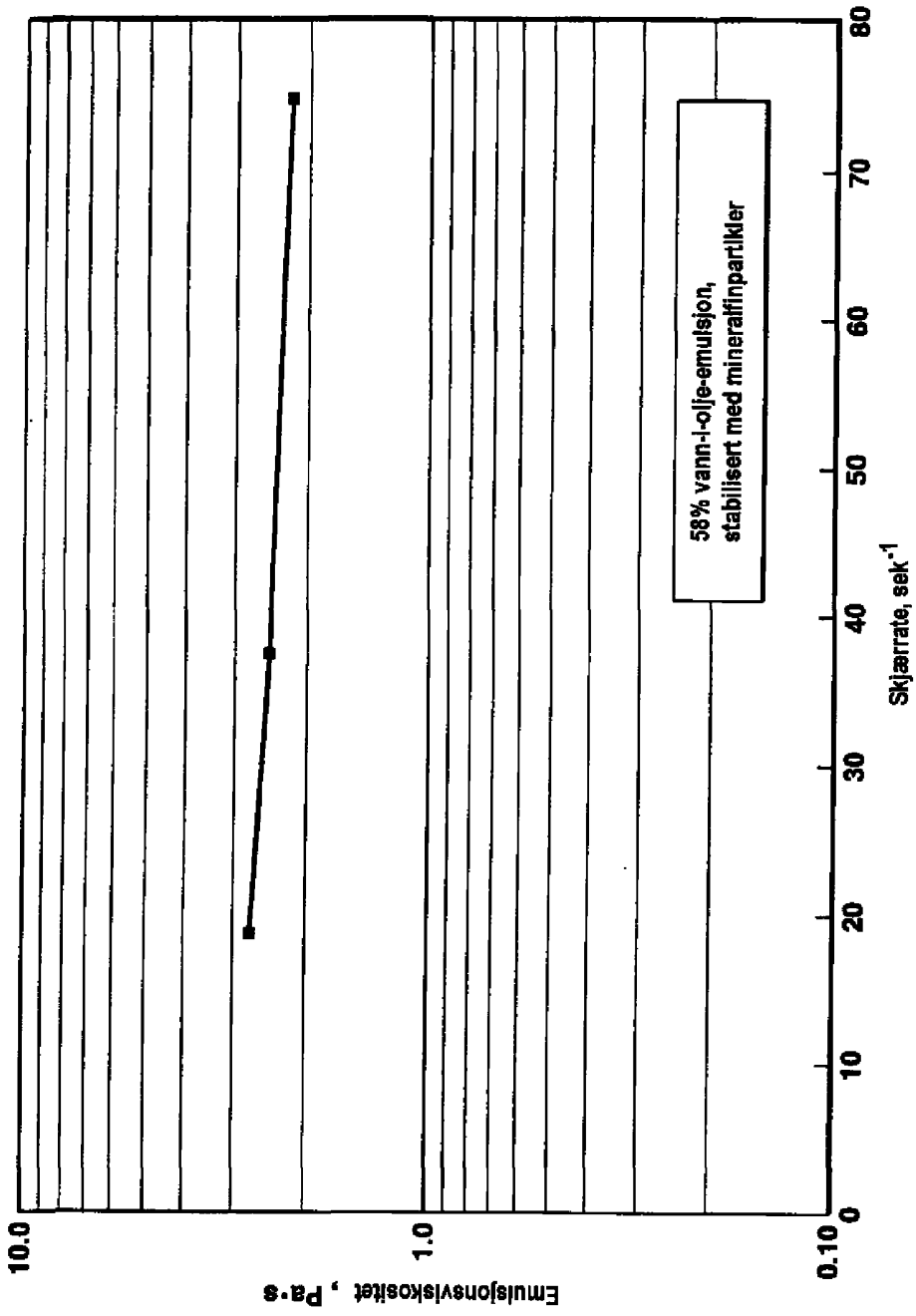
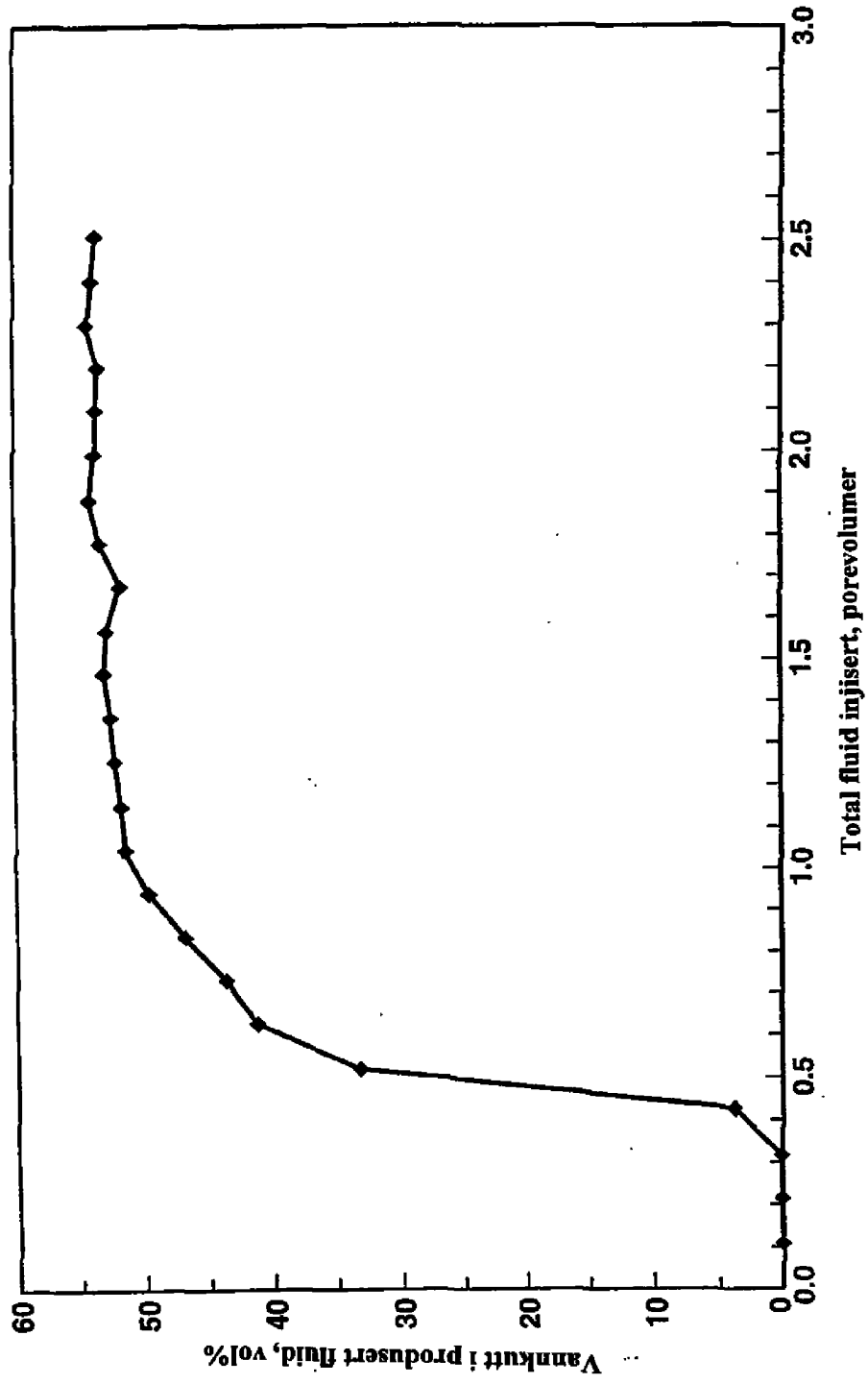
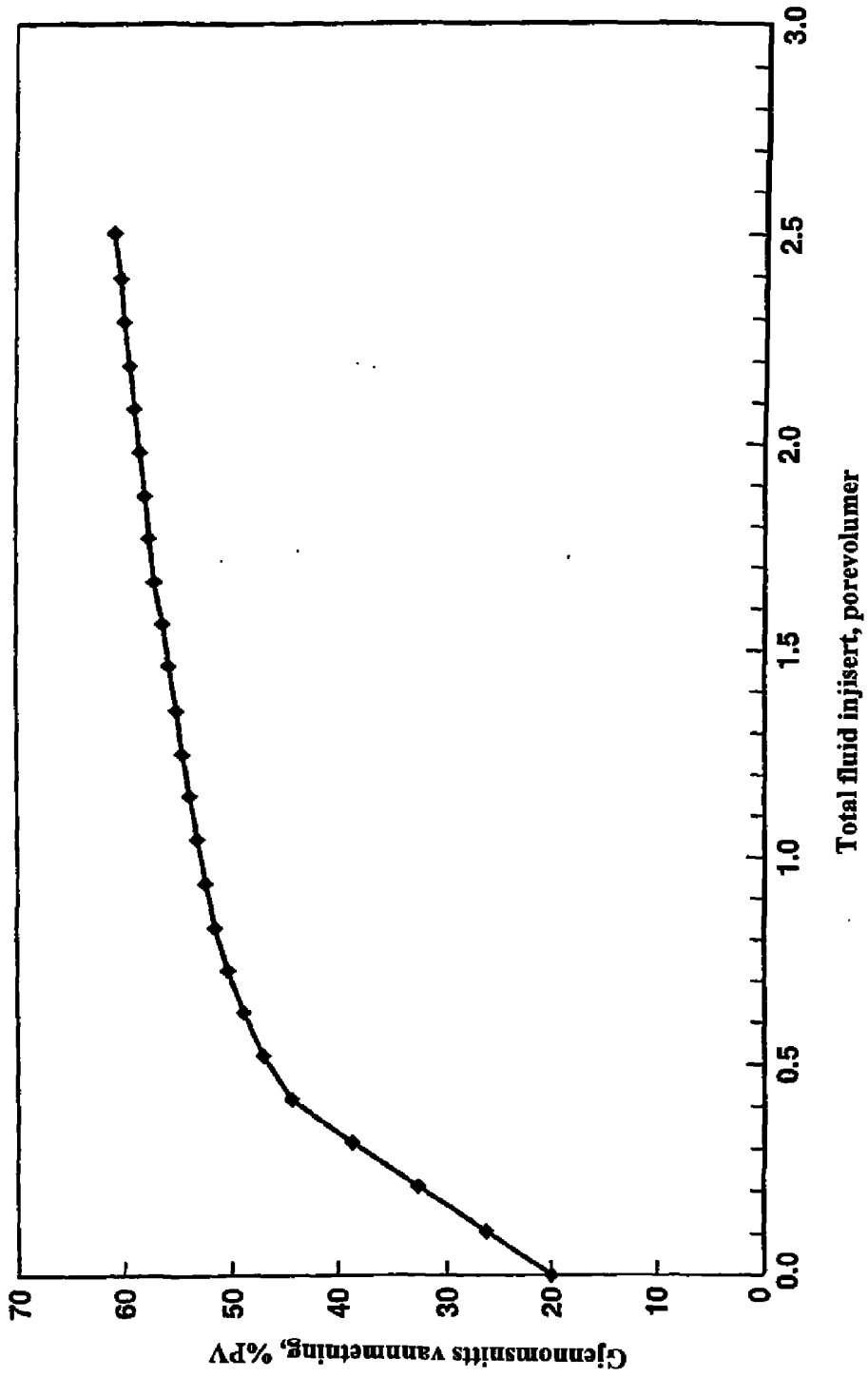


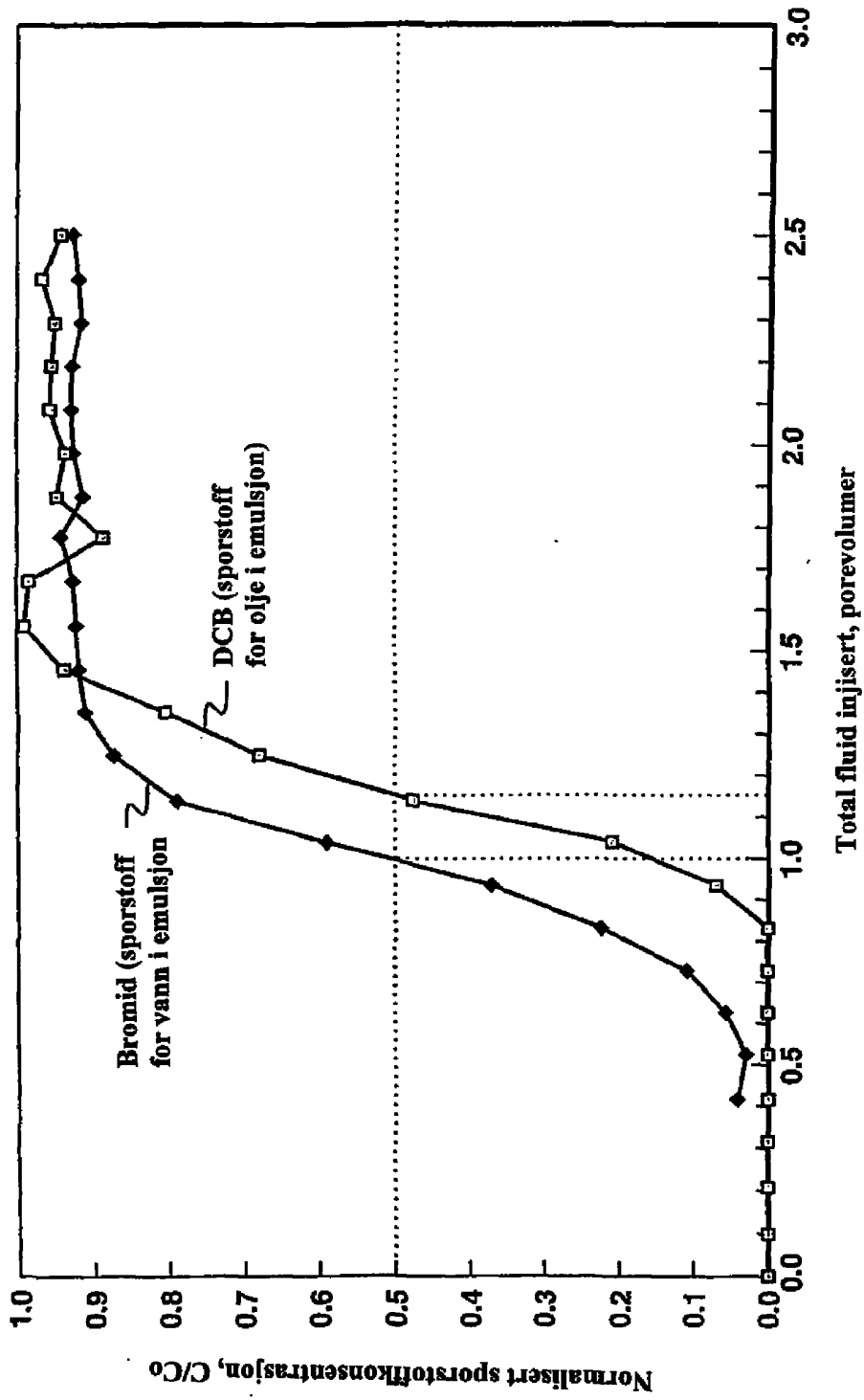
FIG. 3



Figur 4



Figur 5



Figur 6

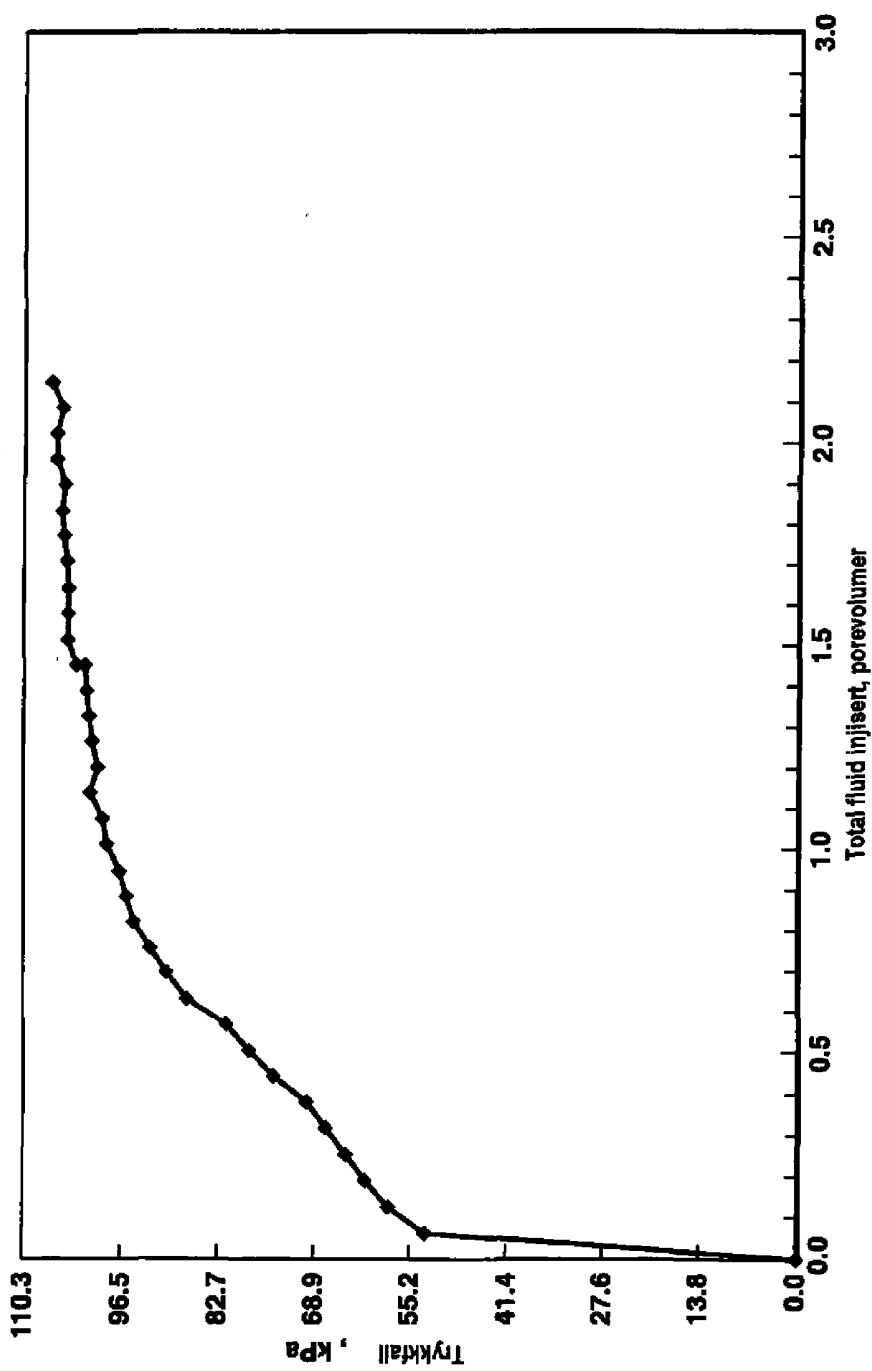
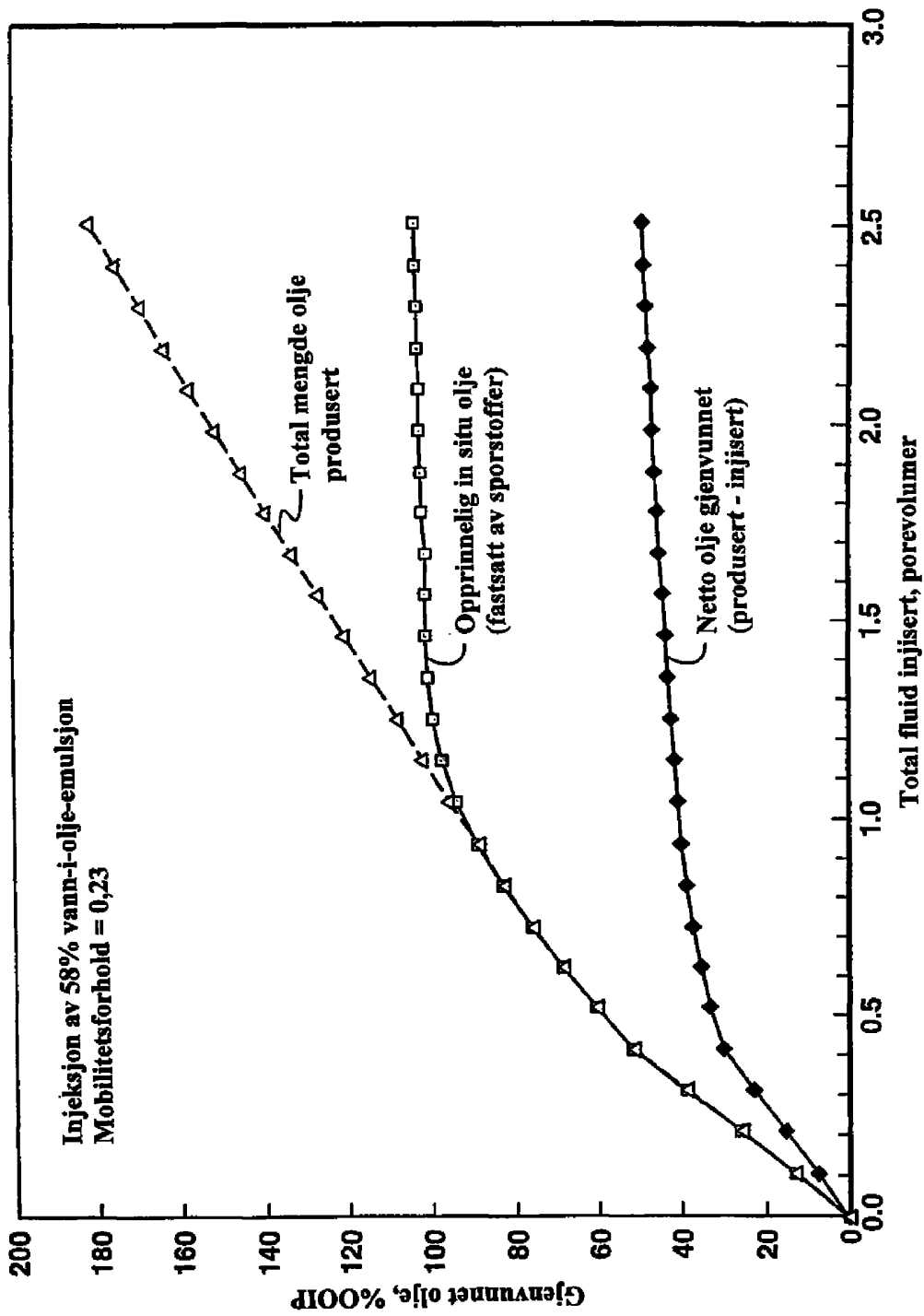


FIG. 7



Figur 8

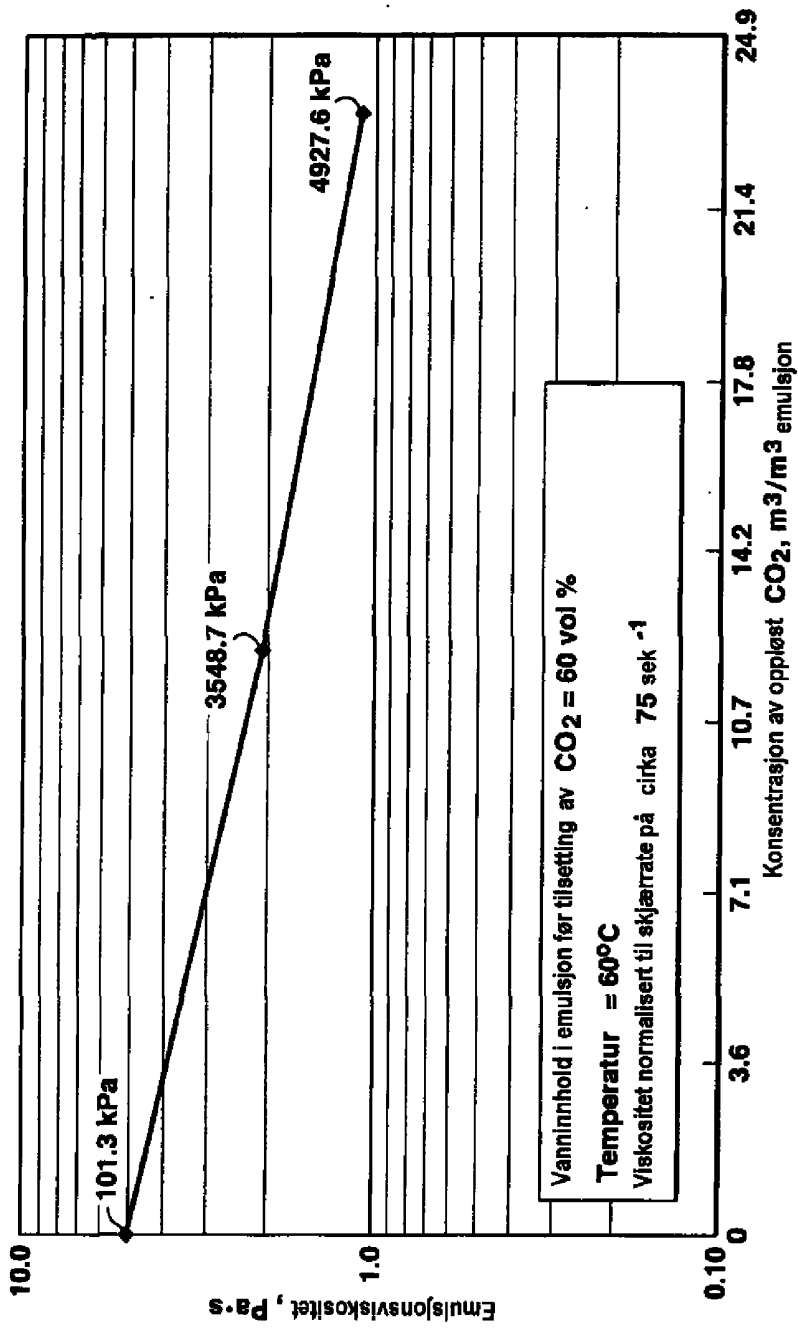


FIG. 9