



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336549

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

E21B 43/267 (2006.01)

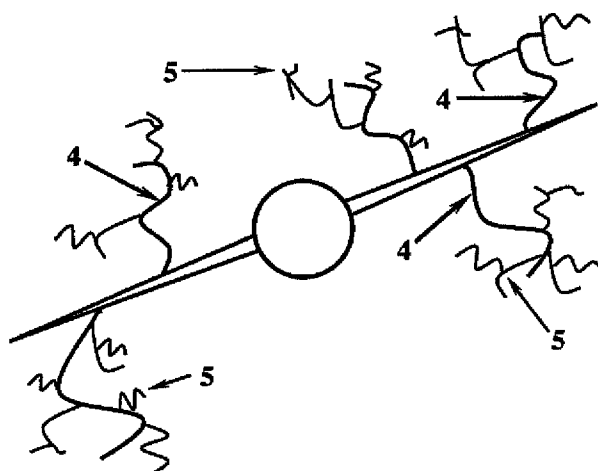
C09K 8/80 (2006.01)

C09K 8/72 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20053746	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2004.01.27 PCT/IB2004/00182
(22)	Inng.dag	2005.08.04	(85)	Videreføringsdag	2005.08.04
(24)	Løpedag	2004.01.27	(30)	Prioritet	2003.01.28, US, 248540
(41)	Alm.tilgj	2005.10.21			
(45)	Meddelt	2015.09.21			
(73)	Innehaver	Schlumberger Technology B.V., Parkstraat 83-89, NL-2514JG HAAG, Nederland			
(72)	Oppfinner	J Ernest Brown, 2015 Parco Verde Circle, US-TX77450 KATY, USA Keng Seng Chan, 5023 Rebel Ridge Drive, US-TX77478 SUGAR LAND, USA Arthur William Milne, Edificio Valle Ariba Golf, Apartamento 6B, Calle C, VE- VALLE ARIBA, CARACAS, Venezuela, Republikken Brett Rimmer, 5507 Emerald Pointe Lane, US-TX77479 SUGAR LAND, USA Mark Brady, 826 Featherbrook Court, US-TX77479 SUGAR LAND, USA			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Proppet sprekk med stort effektivt overflateareal.			
(56)	Anførte publikasjoner	US 4507440 A US 20030054962 A1 US 5224546 A			
(57)	Sammendrag				

Det beskrives proppefrakturer i formasjoner som fluider produseres fra, hvilke har ormhull som strekker seg ut i formasjonene fra overflatene av frakturene ved lokaliseringer i en avstand fra borehullene. Fremgangsmåter er gitt for dannelse av slike proppefrakturer som har ormhull hvor det enten dannes en lukket proppet fraktur og ormhullene deretter dannes, eller hele fraktur- og kanalsystemet dannes før lukkingen skjer.



Beskrivelse

Denne oppfinnelsen vedrører forbedring av produksjonen av fluider fra brønner som penetrerer underjordiske formasjoner. Mer spesifikt vedrører den en fremgangsmåte til øking av frakturers evne til å drenere formasjoner. Særlig

5 vedrører den proppede frakturer, som har ormhull som strekker seg fra overflatene av frakturene, inn i formasjonen, og fremgangsmåter til dannelse av slike fakturer.

Strømmen av fluider gjennom porøse medier, for eksempel produksjonen av fluider fra brønner, styres av tre hovedfaktorer: størrelsen av strømningsløpet, permeabiliteten i strømningsløpet og den drivende kraft.

10 Det er ofte nødvendig å stimulere produksjonen av fluider fra underjordiske formasjoner når brønner ikke produserer tilfredsstillende. Svikten i å produsere skyldes typisk et utilfredsstillende, eller et skadet, løp for fluider for strøm fra formasjonen til brønnboringen. Dette kan være fordi formasjonen iboende har utilstrekkelig porøsitet og/eller permeabilitet, eller fordi porøsiteten og/eller

15 permeabiliteten har blitt redusert (skadet) nær brønnboringen under boring og/eller komplettering og/eller produksjonen. Det er to hovedteknikker for stimulering: matriksstimulering og frakturering. Matriksstimulering utføres ved injisering av et fluid (eksempelvis syre eller løsemiddel) for å løse opp og/eller dispergere materialer som reduserer produksjonen fra brønnen i sandstein, eller for å danne

20 nye, ikke-forringede strømningskanaler mellom brønnboringen og en karbonatformasjon. Ved matriksstimulering injiseres fluider under fraktureringstrykket for formasjonen. Matriksstimulering, som typisk benevnes matriks syrebehandling når stimuleringsfluidet er en syre, brukes generelt til å behandle kun det området som er nær brønnboringen. Ved en matriks syrebehandling blir den syre som brukes

25 (typisk saltsyre for karbonater) injisert ved et trykk som er lavt nok til å hindre frakturering av formasjonen. Det er ønskelig å ta hensyn til brønnefaktorer og formasjonens faktorer (så som temperatur og formasjonens sammensetning) og justere behandlingsparametre (så som syrestyrke og injeksjonshastighet), slik at det dannes dominerende "ormhull" ("wormholes") som penetrerer gjennom

30 området nær brønnboringen.

Når syre pumpes inn i en formasjon, så som en karbonatformasjon (kalkstein eller dolomitt), ved trykk som er under frakturtrykket, strømmer syren fortrinnsvis inn i de områder med høyest oppløselighet eller høyest permeabilitet

(dvs. størst porer, hulrom eller naturlige frakturer). Syrefraksjon i området med høy oppløselighet eller høy permeabilitet forårsaker ideelt sett dannelse av store strømningskanaler med høy konduktivitet, hvilke kalles ormhull, som dannes tilnærmet normalt på frakturen. Dannelsen av ormhull er relatert til hastigheten av den kjemiske reaksjon mellom syren og bergarten. Høye reaksjonshastigheter, slik disse observeres mellom typiske konsentrasjoner av uforandrede minealsyrer, så som HCl, og karbonater, er tilbøyelige til å fremme dannelse av ormhull. Syrer som vanligvis brukes ved feltbehandlinger er svært reaktive ved reservoar-betingelser, og er tilbøyelige til å danne et begrenset antall ormhull. En lav reaksjonshastighet fremmer dannelsen av flere ormhull med liten diameter. Imidlertid, med mindre behandlingen er korrekt designet, blir det ikke dannet ormhull. Isteden, for eksempel hvis syrefluksen er for lav, reagerer syren jevnt med formasjonen, hvilket vanligvis kalles kompakt oppløsning, hvilket løser opp alt som er av bergarten nær brønnboringen, og som ikke penetrerer dypt inn i formasjonen og danner strømningsløp der. Dannelse av ormhull er ønskelig i matriks syrebehandling.

På den annen side, ved frakturering tvinges et fluid inn i formasjonen ved et trykk som er høyere enn det hvor formasjonens bergarter vil dele seg. Dette danner et sterkt utvidet strømningsløp. Imidlertid, når trykket avlastes, lukkes typisk frakturen, og det nye strømningsløpet opprettholdes ikke med mindre operatøren tilveiebringer en mekanisme som frakturen kan holdes åpen ved hjelp av. Det er to vanlige måter til å gjøre dette. Ved konvensjonell proppet hydraulisk frakturering er det fluid som brukes til å generere frakturen eller å få den til å forplante seg viskøst, og bærer et fast proppemateriale som fastholdes i frakturen når trykket avlastes, hvilket hindrer frakturen i å lukke. Ved syrefrakturering, også kjent som fraktursyrebehandling, blir frakturen generert og deretter behandlet med en syre. I dette tilfellet har behandlingsparametrene imidlertid tidligere blitt justert slik at det ikke skjedde noen dannelse av ormhull. Målet har isteden tidligere vært å etse overflatene av frakturen forskjellig. Deretter, når trykket avlastes, lukkes ikke frakturen fullstendig, fordi den forskjellige etsingen har dannet en ruhet mellom overflatene, slik at det ikke lenger passer sammen, og det er mellomrom der hvor materialet har blitt fjernet. Ideelt sett danner den forskjellige etsingen strømningskanaler, som generelt vanligvis går langs overflatene av frakturen, fra

brønnboringen til tuppen, hvilket øker produksjonen. Ved syrefrakturnering var dannelse av ormhull uønsket, fordi det i fremgangsmåter som tidligere ble brukt ikke skjer ved mange punkter langs frakturen, men isteden primært kun skjer der hvor syren oftest eller først får kontakt med formasjonen. Dette er mest typisk nær

5 brønnboringen, selv om, hvis det er naturlige årer, spalter, hulrom, osv. med høy konduktivitet, kan det være andre lokaliseringer med en høy intensitet av ormhull. Dette øker den mengde av syre som er påkrevet (sløser bort syre som ellers ville bli brukt til å etse de konduktive kanaler) og øker de pumpede strømningsmengder som er påkrevet for å få frakturen til å forplante seg og holde frakturen åpen. Når

10 det er ormhull når brønnboringen i syrefrakturnering, er det således påkrevet med store mengder av syre og høye pumpede strømningsmengder, slik at det fluid som når langt ut i frakturen, hvis en fraktur i det hele tatt kan dannes, fremdeles er tilstrekkelig acidisk til å reagere med frakturens overflater. Denne situasjonen forverres av den kjensgjerning at, selv om den pumpede strømningsmengde slik

15 den sees ved brønnehodet kan være høy, fluidets hastighet ut i frakturen (hvilket påvirker den strømningsmengde av ubrukt syre som når dette punkt) kan være svært lav, hvilket skyldes at overflatearealet av frakturenes overflater øker sterkt når frakturen forplanter seg.

Ved produksjon fra en frakturstimulert brønn er utstrekningen av det

20 tilgjengelige strømningsløp en funksjon av størrelse og form av frakturen, og særlig av det effektive overflateareal av overflatene av frakturen. Permeabiliteten til strømningsløpet er den effektive permeabilitet til frakturen etter lukking, dvs. den effektive permeabilitet av pakken av proppemateriale eller av de etsede kanaler. Den drivende kraft er trykkdifferansen mellom fluidet i formasjonen og fluidet i

25 brønnboringen. Den drivende kraft varierer langs lengden av frakturen. Den optimale fraktur ville være en med et stort effektivt overflateareal og en høy effektiv permeabilitet. Etersom dette vedrører maksimering av produksjon, ville det være ekvivalent til å ha en større effektiv radius av brønnboringen. Det ville derfor kreve kun et lite trykkfall og tilveiebringe en høy strømningsmengde av fluid

30 ut av formasjonen og inn i brønnboringen.

Tidligere var den eneste måte til å generere en fraktur med et høyt effektivt overflateareal for strøm av fluider fra formasjonen og inn i frakturen og generere en fraktur som enten var høy (under antagelse av en vertikal fraktur) eller lang

(med utstrekning langt fra borehullet) eller begge deler, og den beste måte til å generere en fraktur som har en høy effektiv permeabilitet var med proppematerialet. Proppede frakturer som har ormhull som strekker seg fra sine overflater og ut i formasjonen, og fremgangsmåter til dannelse av slike frakturer, 5 ville være svært ønskelig, fordi de ville ha høye effektive overflateareal, og brønnene ville ha store effektive brønnboringsradier.

U.S. patent nr. 3,768,564 beskriver en prosess hvor uproppede frakturer tillates å lukke før langvarig kontakt med syre. Strømningskanaler etses mens frakturen holdes åpen, deretter ekspanderes de kun etter at frakturen tillates å 10 lukke. U.S. patent nr. 3,842,911 beskriver bruk av proppemidler i denne prosessen. Det beskriver dannelsen av en fraktur og innføringen av proppemidler i frakturen, fulgt av den fullstendige lukking av frakturen på proppemidlet og deretter injeksjon av syre under betingelser hvor frakturen forblir lukket, hvilket tillater dannelse av strømningskanaler i en relativt lang avstand fra brønnboringen. 15 U.S. patent nr. 4,245,702 beskriver en prosess til frakturering og syrebehandling av en brønn med bruk av proppemidler, hvilket er særlig anvendbart i relativt harde formasjoner. U.S. patent nr. 3,642,068 beskriver dannelsen av en fraktur ved hjelp av et viskøst medium etterfulgt av å føre proppemidler inn i frakturen. Midlet forflyttes til en fjerntliggende lokalisering i frakturen ved hjelp av en syre 20 som etser de deler av frakturens vegger som er nær borehullet. Deretter lukkes frakturen. Dannelse av ormhull foreslås ikke i noen av disse fremgangsmåter til frakturering.

En utførelse av den foreliggende oppfinnelse er et strømningsløp, i en underjordisk formasjon som penetreres av en brønnboring, som har en eller flere 25 proppede frakturer som har en eller flere primære kanaler (ormhull) som strekker seg fra frakturen eller frakturene og inn i formasjonen. I en annen utførelse har disse primære kanaler sekundære kanaler (ormhull) som strekker seg fra dem. I begge disse utførelser har frakturen et økt effektivt overflateareal for innstrømming av fluider inn i frakturen fra formasjonen.

30 En annen utførelse er en fremgangsmåte til dannelse av slike strømningsløp ved utførelse av de sekvensielle trinn med injisering av et viskøst bærefluid som inneholder proppemateriale ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, og å tillate frakturen å lukke, og

deretter injisering av et formasjonsoppløsende fluid ved en strømningsmengde og et trykk som er utilstrekkelig til å frakturere formasjonen. Særlig i karbonater er det formasjonsoppløsende fluid fortrinnsvis en selvavledende syre, en aminopolykarboksylsyre, så som hydroksyetyletylendiamin tri-eddiksyre, et salt av amino-

5 polykarboksylsyre, så som trinnatrium-hydroksyetyletylendiamin-triacetat, fortrinnsvis justert til en pH på ca. 4 med saltsyre, eller en blanding av en aminopolykarboksylsyre og et salt av aminopolykarboksylsyre. I sandstein inneholder det formasjons-oppløsende fluid fortrinnsvis fluorsyre eller en forløper for fluorsyre, og inneholder valgfritt et fosfonat. I trinnet med injisering av det

10 viskøse bærefluid som inneholder proppematerialet, kan en stopping av drivmidlene ved tuppene (tip screenout) valgfritt fremkalles, og en bryter kan valgfritt inkluderes i fluidet. I en annen utførelse blir trinnet med injisering av et formasjonsoppløsende fluid ved en strømningsmengde og et trykk som er utilstrekkelig til å frakturere formasjonen utført avhjelpende, dvs. at det påføres på

15 en tidligere dannet fraktur, som produksjon av fluider kan ha blitt forsøkt eller oppnådd fra.

Enda en annen utførelse er en fremgangsmåte til dannelse av slike strømningsløp som har et økt effektivt overflateareal for strøm av fluider fra formasjonen og inn i en fraktur på grunn av tilstedeværelsen av ormehull i en

20 avstand fra en brønnboring hvor et polymerisk viskøst bærefluid som inneholder proppemateriale injiseres ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, deretter injiseres et formasjonsoppløsende viskøst bærefluid som inneholder proppemateriale ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen (og valgfritt til å få frakturen til

25 å forplante seg), og deretter tillates frakturen å lukke. En stopping av drivmidlene ved tuppene kan valgfritt fremkalles i det første trinn for bæring av proppematerialet, og hvert bærefluid kan valgfritt inneholde en bryter. I karbonater er det formasjonsoppløsende viskøse bærefluid fortrinnsvis et viskøst fluid som er basert på overflateaktive stoffer, og mest foretrukket en selvavledende syre. I

30 sandstein inneholder det formasjonsoppløsende viskøse bærefluid fortrinnsvis fluorsyre eller en forløper for fluorsyre, og inneholder valgfritt et fosfonat.

Enda en annen utførelse er en fremgangsmåte til dannelse av slike strømningsløp hvor et formasjonsoppløsende viskøst fluid først injiseres ved en

strømningmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, deretter blir et viskøst bærefluid som inneholder proppematerialet injisert ved en strømningmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen, og deretter tillates frakturen å lukke. Særlig i karbonater inneholder det formasjons-

5 oppløsende viskøse fluid fortrinnsvis en selvavledende syre, en aminopolykarboksylsyre så som hydroksyetyletylendiamin-tri-eddiksyre, et salt av aminopolykarboksylsyre, så som trinatrium-hydroksyetyletylendiamin-triacetat, fortrinnsvis justert til en pH på ca. 4 med saltsyre, eller en blanding av en aminopolykarboksylsyre og et salt av en aminopolykarboksylsyre. I sandstein

10 inneholder det formasjonsoppløsende viskøse fluid fortrinnsvis fluorsyre eller en forløper for fluorsyre, og inneholder valgfritt et fosfonat. Enten det formasjonsoppløsende viskøse fluid, det viskøse bærefluid eller begge deler kan valgfritt inneholde en bryter.

Enda en annen utførelse er en fremgangsmåte til dannelse av slike

15 strømningløp hvor et viskøst bærefluid som inneholder proppemateriale først injiseres ved en strømningmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, deretter blir et formasjonsoppløsende fluid injisert ved en strømningmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen, og deretter tillates frakturen å lukke. Særlig i karbonater er det

20 formasjonsoppløsende fluid fortrinnsvis en selvavledende syre, en aminopolykarboksylsyre så som hydroksy-etyletylendiamin-tri-eddiksyre, et salt av aminopolykarboksylsyre så som trinatrium-hydroksyetyletylendiamin-triacetat, fortrinnsvis justert til en pH på ca. 4 med saltsyre, eller en blanding av en aminopolykarboksylsyre og et salt av aminopolykarboksylsyre. I sandstein

25 inneholder det formasjonsoppløsende fluid fortrinnsvis fluorsyre eller en forløper for fluorsyre, og inneholder valgfritt et fosfonat. En stopping av drivmidlene ved tuppene kan valgfritt fremkalles i trinnet med bæring av proppematerialet, og en bryter kan valgfritt inkluderes i det viskøse bærefluid. Et trinn med injisering av et viskøst bærefluid (som valgfritt inneholder en bryter) som inneholder

30 proppematerialet, ved en strømningmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen, kan valgfritt inkluderes etter trinnet med injisering av det formasjonsoppløsende fluid og før frakturen tillates å lukke.

Enda en annen utførelse er en fremgangsmåte til dannelse av slike strømningsløp hvor et formasjonsoppløsende viskøst bærefluid som inneholder proppemateriale injiseres ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, og frakturen tillates å lukke. En stopping
 5 av drivmidlene ved tuppene kan valgfritt fremkalles, og det formasjonsoppløsende viskøse bærefluid kan valgfritt inneholde en bryter. I karbonater er det formasjonsoppløsende viskøse bærefluid fortrinnsvis et viskøst fluid som er basert på overflateaktive stoffer, og mest foretrukket en selvavledende syre. I sandstein inneholder det formasjonsoppløsende viskøse bærefluid fortrinnsvis fluorsyre eller
 10 en forløper for fluorsyre, og inneholder valgfritt et fosfonat.

Enda en annen utførelse er en fremgangsmåte til øking av det effektive overflateareal for innstrømmingen av fluider fra en eksisterende naturlig spalte som allerede er i kommunikasjon med en brønnboring eller en fraktur, hvor et formasjonsoppløsende fluid injiseres ved en strømningsmengde og et trykk som er
 15 utilstrekkelig til å frakturere formasjonen. I karbonater er det formasjonsoppløsende fluid fortrinnsvis et viskøst fluid som er basert på overflateaktive stoffer, og mest foretrukket en selvavledende syre. I sandstein inneholder det formasjonsoppløsende fluid fortrinnsvis fluorsyre eller en forløper for fluorsyre, og inneholder valgfritt et fosfonat. Det formasjonsoppløsende fluid kan valgfritt
 20 inneholde et viskositetsøkende middel, i hvilket tilfelle det valgfritt videre kan inneholde et proppemateriale og/eller en bryter.

Kort beskrivelse av tegningene.

Fig. 1 viser et skjematisk riss av en konvensjonell fraktur.

Fig. 2 viser et skjematisk riss av en fraktur som har primære og sekundære
 25 ormhull.

De prinsipper og fremgangsmåter som er beskrevet nedenfor gjelder for enhver type mineral, selv om de vil bli omtalt i forbindelse med karbonater og sandstein. Formasjoner som ansees å være karbonater kan inneholde noe sandstein og omvendt. Videre, når vi beskriver situasjoner hvor syren reagerer
 30 med det første materialet som den kommer i kontakt med, vil vi beskrive lokaliseringen av reaksjonen som "nær brønnboringen", selv om det selvsagt kan være situasjoner hvor den lokalisering hvor størstedelen av syren først kommer i kontakt med formasjonen er lenger borte, for eksempel når det er naturlige årer

eller frakturer eller hulrom med svært høy konduktivitet. I denne situasjonen bør "nær brønnboringen" tolkes som å bety primært i det lokale området som er lettest tilgjengelig for syren.

Tallrike studier av prosessen med dannelse av ormhull i matriksstimulering (for eksempel karbonat syrebehandling) har vist at det oppløsningsmønster som dannes av den strømmende syre skjer ved hjelp av en av tre mekanismer (a) kompakt oppløsning hvor mesteparten av syren forbrukes nær overflaten av brønnboringens bergart; (b) dannelse av ormhull, hvor oppløsningen går fremover raskere ved tuppene i et lite antall mikrokanaler med høy konduktivitet, dvs. ormhull, enn ved brønnboringens vegger; og (c) ensartet oppløsning, hvor mange porer forstørres, hvilket typisk skjer ved syrebehandling av sandstein. Kompakt oppløsning skjer når syre forbrukes på overflaten av formasjonen. I dette tilfellet er den virksomme syrepenetrasjon vanligvis begrenset til innenfor noen få centimeter av brønnboringen. Ensartet oppløsning skjer når syren reagerer under lovene for fluidstrøm gjennom porøse medier. I dette tilfellet vil den virksomme syrepenetrasjon maksimalt være lik den volumetriske penetrasjon av den injiserte syre. (Ensartet oppløsning er også den foretrukne primære mekanisme til etsing av konduktive kanaler i frakturens overflate ved syrefrakturering, hvilket vil bli omtalt videre nedenfor.) Hensiktene med syrebehandlingsprosessen oppfylles mest effektivt når permeabiliteten nær brønnboringen økes til den største dybde med det minste volum av syre. Dette skjer i regimet (b) ovenfor, når det utvikles et mønster for dannelse av ormhull.

Oppløsningsmønsteret som dannes avhenger av syrefluksen. Syrefluks er det volum av syre som strømmer gjennom et gitt areal under en gitt mengde tid. Kompakt oppløsning skjer ved relativt lav syrefluks, ormhull dannes ved intermedial syrefluks, og ensartet oppløsning skjer ved høy syrefluks. Det er ikke noen brå overgang fra et regimet til et annet. Etersom syrefluksen økes vil det kompakte mønster forandres til et hvor det dannes ormhull med stor diameter. Ytterligere økning i fluks gir trangere ormhull, som forplanter seg lenger for et gitt volum av syreinjeksjon. Til slutt, ettersom syrefluksen fortsetter å øke, opptrer det flere og mer forgrenede ormhull, hvilket fører til en modus som begrenser fluidtap og mindre effektiv bruk av syren. Dette fenomen har en uheldig effekt på effektiviteten ved matriksstimulering, særlig ved den strømningsmengde hvor

avgreininger utvikler sekundære avgreininger; det er mange ormhull, men de oppnår ikke stor dybde. Til slutt observeres det et praktisk talt ensartet mønster. Den mest effektive prosess, ved matriks syrebehandling, er således en som vil danne ormhull med et minimum av forgreining, og den er karakterisert ved bruken
 5 av det minste volum av syre for å få ormhull til å forplante seg en gitt avstand.

Dannelse av ormhull er den foretrukne oppløsningsprosess for matriks syrebehandling, for eksempel for karbonatformasjoner, fordi den på en effektiv måte danner kanaler med høy konduktivitet. Optimaliseringen av dannelsen av ormhull er følgelig nøkkelen til suksess ved slike behandlinger. Injisering av syre
 10 nær eller over den optimale fluks er svært avgjørende for å sikre en vellykket syrebehandling av karbonat, hvilket skyldes faren for kompakt oppløsning som kan være et resultat av en langsommere syreinjeksjon. Med andre ord, injiseringen av syre ved en høy strømningsmengde vil generelt fremme suksess ved matriks syrebehandling, og injisering av syre ved den optimale fluks-strømningsmengde vil
 15 sørge for den mest effektive matriks syrebehandling. Det optimale er imidlertid en kompleks funksjon av formasjonens egenskaper, syrens egenskaper og betingelsene for syrebehandling, så som temperatur, slik at det ikke kan være noen enkle regler når det gjelder hvilke strømningsmengder som er best. Kompleksiteten stammer direkte fra det spekter av oppløsningsmønstre som
 20 dannes av syrereaksjon med karbonater. Når syrefluksen er lav hindres forplantning av ormhull på grunn av langsom syrekonveksjon, og hastigheten for forplantning av ormhull styres ved balansering av konveksjonen og molekylær diffusjon. Når syrefluksen er høy nok, begrenses forplantningen av ormhull hovedsakelig av reaksjonshastigheten, og ormhullets vekst styres ved balansering
 25 av overflatereaksjonen og molekylær diffusjon.

På den annen side, ved syrefrakturering begrenses i mange tilfelle dybden for stimulering (frakturlengden) typisk av hurtig forbruk (kompakt oppløsning) av syre nær brønnboringen og ved tap av syre gjennom frakturens overflater (som vanligvis benevnes fluidlekkasje eller fluidtap). Fluidlekkasje er en dynamisk
 30 prosess som i betydelig grad påvirkes av dannelsen av ormhull som dannes i de porøse vegger av frakturen. Ved syrefrakturering har disse ormhullene alltid blitt ansett som skadelige, fordi de dannes nær borehullet og avleder fluid fra frakturen,

forbruker store mengder syre, og tilveiebringer ikke noen fordel til konduktiviteten i frakturen.

Vi har funnet at det er fordelaktig å danne proppede frakturer som har ormhull i frakturens overflater langt fra brønnboringen. Dette gjøres under en

5 stimuleringsbehandling, enten under eller etter proppettrinnet, med korrekt styring av og balanse mellom reaksjonshastigheten, diffusjonshastigheten og den pumpede strømningsmengde (som styrer konveksjonshastigheten) for et gitt injisert reaktivt formasjonsoppløsende fluid, og en gitt formasjonstemperatur, trykk og sammensetning. Gjennom styring av den pumpede strømningsmengde og av

10 fluidets reaktivitet, oppnås reaktiv formasjonsoppløsende fluideffektivitet ved dannelse av ønskelig lokaliserte ormhull, og stimuleringen optimaliseres. Fagpersoner innen teknikken med matriks syrebehandling og/eller syrefrakturnering har utviklet data, korrelasjoner og modeller av reaksjonene mellom reaktive fluider og formasjonens materialer. Disse data, korrelasjoner og modeller har tidligere

15 blitt brukt til å unngå dannelse av ormhull ved syrefrakturnering, og til å vaksinere dannelse av ormhull ved matriks syrebehandling. Eksempler finnes i U.S. patent søknad nr. 10/065,441, som har den samme rettsetterfølger som den foreliggende søknad, og U.S. patent nr. 6,196,318. Disse data, korrelasjoner og modeller kan isteden brukes til å velge fluider og frembringe design av stimuleringsjobber for å

20 fremme dannelse av ormhull i proppede frakturer.

Ved generering av ormhull i overflatene av proppede frakturer, vil noen av de samme problemer bli påtruffet som ved etsing av frakturens overflater under fraktursyrebehandling. Dvs. at det må utvises omhu for å sørge for at hele eller størstedelen av syrereaksjonen ikke skjer for nært brønnboringen. Det er innen

25 teknikken kjent at det for å oppnå maksimal effektivitet ved prosessen med fraktur syrebehandling, er det ofte ønskelig å maksimere den tid frakturen eksponeres for syren, samtidig som man begrenser den mengde av syre som brukes til en økonomisk fornuftig mengde. I prosedyrer for fraktur syrebehandling som hittil har blitt brukt, har det imidlertid ofte blitt oppnådd resultater som ikke er så bra som

30 ønskelig når syrens eksponeringstid maksimaliseres. For eksempel, når fraktur syrebehandling av en brønnformasjon har blitt utført ved først å danne en fraktur i formasjonen og deretter fortsette å injisere syre inn i frakturen ved en høy strømningsmengde og trykk, i et eller flere trinn, blir frakturens overflater

tilstøtende brønnen utsatt for etsing av mye syre over en relativt lang tidsperiode, og likevel kan de overflater av frakturen som er lengst fra brønnen ha mottatt utilstrekkelig syrekontakt, selv etter at en stor mengde av syre har blitt injisert. I enkelte formasjoner, jo lengere syren tillates å etse bergartens overflater ved

5 brønnen, jo mer sannsynlig er det at disse overflatene av bergarten vil bli myknet eller overretset, slik at overflatene ved lukking vil knuses mot hverandre, hvilket effektivt ødelegger eller begrenser de strømningskanaler som er dannet tilstøtende brønnen. I andre formasjoner, som reagerer mer langsomt, kan syrens kontakttid og den effektive syrepenetrasjon inn i frakturen være utilstrekkelig til å

10 tilveiebringe ytterligere strømningskanaler i en avstand som ikke er tilstøtende brønnen.

Selv om vi har brukt og vil fortsette å bruke uttrykkene syrebehandling og syrefrakTURERING, fordi de er så inngrodd i industrien, istedenfor uttrykket "syre", vil vi ofte bruke uttrykket "formasjonsoppløsende fluid", fordi syrer ikke er de eneste

15 reaktive fluider som vil oppløse formasjonens mineraler. I enkelte optimaliserte fremgangsmåter til generering av proppede frakturer som har ormhull som strekker seg ut fra frakturens overflater langt fra brønnboringen, er syrer ikke de optimale reaktive fluider. Nylige fremskritt innen formulering av formasjonsoppløsende fluid er forbundet med den teoretiske forståelse av

20 dannelse av ormhull. Vi vil utdype dette videre nedenfor, men i tillegg til kjente gelatinerte syrer, emulgerte syrer, retarderte syrer som bruker enten inorganiske eller organiske syrer, eller blandinger av disse konvensjonelle syrer, har nye ukonvensjonelle reaktive fluider som hovedsakelig bruker systemer med chelatdanner nå også blitt utviklet, og har vist å frembringe ormhull i

25 karbonatreservoarformasjoner når den samlede prosess med stimulering optimaliseres. Eksempler på ukonvensjonelle formasjons-oppløsende fluider inkluderer aminopolykarboksylsyrer og deres salter, som enkelte ganger benevnes "ikke-syrereaktive løsninger" ("non-acid reactive solutions") eller NARS når de er basiske. I tillegg er nye selvavledende ormhull-dannende syresystemer, som er

30 viskoelastiske systemer basert på overflateaktive stoffer som forandrer viskositet dramatisk som en funksjon av pH, også tilgjengelige for denne applikasjon, hvilket kunne øke dannelsen av ormhull fra frakturens overflate.

- Reaktiviteten til det formasjonsoppløsende fluid kan velges (for eksempel ved bruken av datamaskinbaserte simulatorprogrammer for frakturering og/eller syrebehandling) på basis av strømningsmengden og formasjonens og fluidets parametre. Reaktiviteten til det formasjonsoppløsende fluid kan styres ved å
- 5 variere reaksjonshastigheten, hastigheten for masseoverføring, eller begge deler. For eksempel kan reaksjonshastigheten reduseres ved å forandre typen av formasjonsoppløsende fluid, ved å forandre formen av fluidet fra en løsning til en emulsjon, ved å tilsette passende salter (som forandrer likevektskonstanten for overflatereaksjonen), eller ved å øke pH'en i det formasjonsoppløsende fluid.
- 10 Reaksjonshastigheten kan også reduseres ved å forandre de fysiske prosesseringsbetingelser (eksempelvis ved å redusere den pumpede strømningsmengde og/eller pumpetrykket, eller ved avkjøling av det formasjonsoppløsende fluid ved bruk av eksterne avkjølingsmidler eller interne avkjølingsmidler (eksempelvis pumping av et stort pad-trinn, eller ved å tilsette
- 15 nitrogen eller en annen gass som er inert i prosessen).

- Generelt, ved dannelse av proppede frakturer som har ormehull i fracturenes overflater langt fra brønnboringen, vil enkle mineralsyrer så som HCl, HF eller blandinger av HCl og HF være for reaktive, og vil forbrukes for nært
- brønnboringen. Det vil vanligvis være nødvendig å bruke et
- 20 formasjonsoppløsende fluid som er mindre reaktivt. Ikke-begrensede eksempler vil være organiske syrer (så som eddiksyrer eller maursyrer, med reaktiviteter som ytterligere kan justeres ved å inkludere varierende mengder av natriumacetat henholdsvis natriumformiat), chelatdannende midler så som aminopolykarboksylsyrer (så som etylendiamintetraeddiksyre eller
- 25 hydroksyetyletylendiamin-tri-eddiksyre (HEDTA), hvis reaktiviteter ytterligere kan justeres ved delvis eller fullstendig å omdanne dem til natriumsalter, kaliumsalter eller ammoniumsalter, eller ved justering av pH for eksempel med HCl), eller retarderte mineralsyrer (så som gelatinert eller emulgert HCl, hvis reaktivitet ytterligere kan justeres ved styring av valget av og konsentrasjonen av
- 30 overflateaktive stoffer og av forholdet olje/vann).

De chelatdannende midler som her er nyttige er en kjent klasse av materialer som har mange medlemmer. Klassen av chelatdannende midler inkluderer for eksempel aminopolykarboksylsyrer og fosfoniske syrer og

natriumsalter, kaliumsalter og ammoniumsalter av disse. HEDTA og HEIDA (hydroksyetyliminodieddiksyre) er nyttige i den foreliggende prosess; de frie syrer og deres Na-, K-, NH₄⁺-salter (og Ca-salter) er løselige i sterk syre, såvel som ved høy pH, slik at de lettere kan brukes ved enhver pH og i kombinasjon med alle

5 andre reaktive fluider (eksempelvis HCl). Andre aminopolykarboksylsyre-medlemmer, inkludert EDTA, NTA (nitrilotrieddiksyre), DTPA (dietylentriamin-pentaeddiksyre), og CDTA sykloheksylendiamintetraeddiksyre) er også egnet. Ved lav pH kan disse sistnevnte syrer og deres salter være mindre løselige. Eksempler på egnede fosfoniske syrer og deres salter inkluderer ATMP:

10 aminotri(metylenfosfonisk syre); HEDP: 1-hydroksyetyliden-1,1-fosfonisk syre; HDTMPA: heksametylendiamintetra(metylenfosfonisk syre); DTPMPA: dietylendiaminpentametylenfosfonisk syre; og 2-fosfonobutan-1,2,4-trikarboksylsyre. Alle disse fosfoniske syrer er tilgjengelige fra Solutia, Inc., St. Louis, MO, USA, som DEQUEST (registrert varemerke fra Solutia) fosfonater. Slike materialer er kjent

15 innen oljebransjen. Tidligere behandlinger injiserte imidlertid ikke slike fluider inn i formasjonen på en slik måte at dette opprettholdt en optimal ormhulldannende effektivitet, og de var ikke så effektive som fremgangsmåtene ifølge den inneværende oppfinnelse ved dannelse av ormhull i formasjonen med utstrekning fra fracturens overflater. Særlig foretrukne oppløsende midler som er basert på

20 chelatdanner er de som inneholder hydroksyetylaminokarboksylsyrer slike som hydroksyetyletyldiaminotrieddiksyre (HEDTA), hydroksyetyliminoeddiksyre (HEIDA), eller en blanding av disse, som beskrevet i U.S. patent nr. 6,436,880, som har den samme rettsetterfølger som den foreliggende søknad, og som herved inkorporeres i sin helhet. Fluider som inneholder slike chelatdannere kan ha fått

25 økt sin viskositet.

Særlig foretrukne selvavledende ormhulldannende syresystemer er de som er laget av løsninger av visse overflateaktive stoffer, særlig visse betainer, valgfritt sammen med ko-overflateaktive stoffer eller lavere alkoholer. Eksempler er beskrevet i U.S. patent nr. 6,399,546, U.S. patent søknad nr. 10/054,161, og U.S.

30 patent søknad nr. 10/065,144, som alle har den samme rettsetterfølger som den foreliggende søknad, og som alle herved inkorporeres i sin helhet. En svært foretrukket selvavledende syre er laget fra erusisk amidopropyl dimetyl betain. Disse selvavledende ormhulldannende syresystemer har den viktige egenskap at

de har vannlignende viskositeter slik de er formulert (når de er sterkt asidiske), men deres viskositeter øker dramatisk når pH økes over en verdi på ca. 2 til 2,5 når de reagerer.

Konvensjonelle fremgangsmåter til proppet hydraulisk frakturering, med
5 passende justering hvis det er nødvendig, slik disse vil være åpenbare for de som har fagkunnskap innen teknikken, brukes ved fremgangsmåtene ifølge oppfinnelsen. En foretrukket frakturstimuleringsbehandling i henhold til den foreliggende oppfinnelse begynner typisk med et konvensjonelt pad-trinn for å generere frakturen, fulgt av en sekvens av trinn hvor et viskøst bærefluid
10 transporterer proppematerialet inn i frakturen når frakturen forplanter seg. I denne sekvens av trinn blir typisk mengden av proppemiddel økt, vanligvis trinnvis. Padden og bærefluidet kan være, og er vanligvis, et gelatinert vandig fluid, så som vann eller saltløsning som er fortykket med et viskoelastisk overflateaktivt stoff eller med en vannløselig eller dispergerbar polymer, så som guar, hydroksypropyl
15 guar eller lignende. Padden og bærefluidene kan inneholde forskjellige additiver. Ikke-begrensede eksempler er fluidtaps additiver, tverrbindingmidler, leirekontrollmidler og mobilitetskontrollmidler, så som fibre, brytere og lignende, forutsatt at additivene ikke påvirker stabiliteten eller virkningen til det formasjonsoppløsende fluid.

20 De prosedyremessige teknikker for pumping av frakturstimuleringsfluider ned i en brønnboring for å frakturere en underjordisk formasjon er velkjente. Den person som designer slike fraktureringsbehandlinger er den person som har ordinær kunnskap, som denne offentliggjøring er rettet mot. Denne personen har tilgjengelig mange nyttige verktøy for å hjelpe til med design og implementering av
25 fraktureringsbehandlingene, hvorav det ene er et datamaskinprogram som vanligvis benevnes en fraktursimuleringsmodell (også kjent som frakturmodeller, fraktursimulatorer og frakturplasseringsmodeller). De fleste om ikke alle kommersielle servicefirmaer som tilveiebringer fraktureringstjenester til oljebransjen har en eller flere fraktursimuleringsmodeller som deres
30 behandlingsdesignere bruker. En kommersiell fraktursimuleringsmodell som er i vidstrakt bruk av flere servicefirmaer er kjent som FracCADE™. Dette kommersielle datamaskinprogrammet er et program for frakturdesign, forutsigelse og behandlingsovervåking som ble designet av Schlumberger, Ltd. Alle de

forskjellige fraktursimuleringsmodeller bruker informasjon som er tilgjengelig for behandlingsdesigneren vedrørende den formasjon som skal behandles og de forskjellige behandlingsfluider (og additiver) i beregningene, og programmets utmating er et pumpeprogram som brukes til å pumpe frakturstimuleringsfluidene inn i brønnboringen. Teksten "Reservoir Stimulation", tredje utgave, utgitt av Michael J. Economides og Kenneth G. Nolte, publisert av John Wiley and Sons, (2000), er en utmerket referansebok for frakturering og andre brønnbehandlinger; den drøfter fraktursimuleringsmodeller i kapittel 5 (side 5-28) og i vedlegget til kapittel 5 (side A-15), hvilke inkorporeres heri ved referanse.

I visse foretrukne utførelser, fordi det frakturareal som er tilgjengelig for innstrømming av fluider inn i brønnboringen økes ved dannelsen av ormhull, er det ikke nødvendig å generere en lang fraktur i formasjonen. I dette tilfellet, for å spare fluid, hydrauliske hestekrefter, tid og penger, kan en stopping av drivmidlene ved tuppene (tip screenout) være ønskelig. I en stopping av drivmidlene ved tuppene blir konsentrasjonen av faststoffer ved tuppen av frakturen så høy på grunn av fluidlekkasje inn i formasjonen at slurryen ikke lenger er bevegelig. Den konsentrerte slurry av proppematerialet plugges igjen frakturen, hvilket hindrer ytterligere vekst av frakturens lengde. Ytterligere pumping av slurryen av proppemateriale/fluid inn i formasjonen etter at stoppingen av drivmidlene skjer forårsaker at frakturen utvides. Frakturen vokser i bredde istedenfor i lengde, og større konsentrasjoner av proppemateriale pr. overflateareal plasseres i frakturen. Jobber kan med overlegg designes til å øke sannsynligheten for stopping av drivmidlene ved tuppene, og ytterligere trinn kan utføres for å fremkalle stopping av drivmidlene ved tuppene, for eksempel ved hjelp av de fremgangsmåter som er beskrevet i U.S. patentsøknad nr. 10/214,817 og 10/227,690, som begge har den samme rettsetterfølger som den foreliggende søknad.

Mange av de formasjonsoppløsende fluidene ifølge oppfinnelsen, så som syrer, vil ha en ekstra fordel ved at de er brytere for polymerer, eller for noen av de overflateaktive stoffer og/eller micellene i VES'er. En annen fordel ved fremgangsmåten er at den vil gjøre det mulig for operatøren å presse virksomt formasjonsoppløsende fluid lenger ut og hurtigere, fordi noe av volumet i frakturen allerede vil være tatt opp av proppematerialet. En annen fordel er at operatøren

vil være i stand til å pumpe inn i en proppet fraktur ved mye lavere trykk, hvilket ville være en økonomisk fordel. Dette vil også gjøre det mulig å utføre det formasjonsoppløsende trinn ved den optimale strømningsmengde for dannelse av ormhull i den rette lokalisering istedenfor ved en strømningsmengde som er diktert
5 av behovet for å holde frakturen åpen.

Figur 1 (ikke i målestokk) viser skjematisk et riss ovenfra (under antagelse av en tilnærmet vertikal fraktur) av en halvdel av en fraktur **1** som strekker seg fra en brønnboring **2** inn i formasjon. Den andre halvdel av frakturen som strekker seg i tilnærmet den motsatte retning fra brønnboringen er ikke vist. Hvis frakturen
10 er proppet vil størstedelen av frakturens volum være fylt med proppemateriale (ikke vist). Hvis frakturen ble laget med syrefrakturning, vil overflatene av frakturen være etset med kanaler (ikke vist). Figur 2 viser en fraktur som har ormhull (primære kanaler) **4** som strekker seg fra overflatene av frakturen, ut i formasjonen, og ytterligere ormhull **5** (sekundære kanaler) som strekker seg fra de
15 primære kanaler.

I konvensjonelle frakturer, så som den som er vist på figur 1, er det løp som er tilgjengelig for at fluider i formasjonen, i enhver avstand av betydning fra frakturen, skal strømme inn i frakturen begrenset av overflatearealet av frakturenes overflater. Fluidene må strømme gjennom formasjonen inntil de når
20 frakturen, og permeabiliteten i formasjonen er mye lavere enn den er i frakturen. Lokale økninger i overflateareal rett ved overflatene av frakturen på grunn av forskjellig etsing, kompakt oppløsning eller ensartet oppløsning, minker ikke den lengde av løpet som fluider må følge gjennom formasjonen inntil de når et strømningsløp med høy permeabilitet; dvs. de øker ikke det effektive overflate-
25 areal. Ormhull, som er kanaler med høy fluidpermeabilitet som strekker seg inn i formasjonen, bidrar imidlertid til strømmen av fluider fra formasjonen inn i frakturen, fordi de gir fluider muligheter til å gå inn i kanaler med høy permeabilitet når de fremdeles er langt fra frakturen. Når det er enkelte sekundære kanaler (sekundære ormhull) som avgrenses fra hovedkanalene (primære ormhull) kan
30 mulighetene være enda større. De proppede frakturer som har ormhull kan dannes i alle typer av formasjoner, for eksempel dype, varme karbonatformasjoner og grunne sandsteinsformasjoner med høy permeabilitet. Når sandsteinsformasjoner behandles inneholder det formasjonsoppløsende fluid fortrinnsvis

fluorsyre, og kan inneholde et fosfonat, så som, som et ikke-begrensede eksempel, en fosfonat-inneholdende polymer eller dietylen triamin penta-(metylen fosfonisk syre).

Spesifikke fremgangsmåter til dannelse av ormhull som strekker seg fra
5 overflatene av de proppede frakturer inn i en formasjon faller i to kategorier: a) en fremgangsmåte hvor det dannes en lukket, proppet fraktur, og ormhullene deretter dannes, og b) en fremgangsmåte hvor frakturen og kanalsystemet dannes før lukkingen skjer. De sistnevnte trinn i en løsningsmåte hvor det dannes en lukket proppet fraktur og ormhullene deretter dannes, kan også brukes avhjelpende, dvs.
10 for å forbedre ytelsen til en tidligere dannet proppet fraktur. En hvilken som helst av fremgangsmåtene kan også brukes der hvor det allerede er naturlig forekommende frakturer eller hulrom (den ene eller begge disse vil vi benevne "spalter") i formasjonen som er i kontakt med brønnboringen, enten direkte eller som en konsekvens av dannelsen av en hydraulisk fraktur. Det skal forstås at de
15 ormhulldannende formasjonsoppløsende fluider og fremgangsmåter ifølge oppfinnelsen er effektive ved strømningsmengder og trykk som er høyere eller lavere enn frakturenes strømningsmengder og trykk for en hvilken som helst formasjon. Det skal også forstås at når et formasjonsoppløsende fluid injiseres under optimaliserte ormhulldannende tilstander, så, jo lenger pumpingen fortsetter,
20 jo dypere vil ormhullene generelt penetrere inn i formasjonen, og jo bedre vil resultatene bli. Til slutt skal det forstås at mekaniske eller kjemiske avledere kan brukes til å sørge for at de fluider som brukes kommer inn i formasjonene av interesse.

Fremgangsmåter til dannelse av proppede frakturer med ormhull har
25 tidligere blitt forsøkt, men har generelt vært utilfredsstillende, ikke bare fordi dynamikken ved dannelsen av ormhull ikke var godt forstått og de datamaskinprogram som var tilgjengelige for bestemmelse av de optimale design av jobbene var mangelfulle, men også fordi visse formasjonsoppløsende fluider var utilgjengelige. For eksempel, selv med retarderte syrer, ville syren ikke
30 penetrere lengden av den proppede fraktur. To nye typer av fluider har nylig blitt utviklet, hvilke hjelper til med å gjøre disse fremgangsmåtene mulige, særlig for behandling av karbonater. (Når sandsteinsformasjoner behandles inneholder de formasjonsoppløsende fluider fortrinnsvis fluorsyre, og kan inneholde et fosfonat,

så som, som et ikke-begrensende eksempel, en fosfonat-inneholdende polymer eller dietylen-triamin-penta-(metylen fosfonisk syre.)

- De to nye typer av fluider det er vist til ovenfor er egnet ved forskjellige temperaturer. Ved lavere temperaturer, for eksempel under ca. 148,89°C, må det
- 5 brukes et nokså sterkt formasjonsoppløsende fluid, slik at nøkkelen til suksess er å sørge for at ikke alle ormhullene dannes for nært brønnboringen. Ved høyere temperaturer, for eksempel over ca. 148,89°C, er det nødvendig med et fluid som ikke er for reaktivt ved lavere temperaturer, men som reagerer ved høyere temperaturer. Vi har funnet at fluider som er basert på overflateaktive stoffer som
- 10 har en lav viskositet (tilnærmet sammenlignbare med vann under sammenlignbare betingelser) når de formuleres i sterk syre, men utvikler micellære strukturer som har høye viskositeter når syren forbrukes og pH stiger til ca. 2 til ca. 2,5, er særlig egnet ved de lavere temperaturer. Disse materialer, som benevnes "viskoelastiske avledende syrer" ("viscoelastic diverting acids") eller VDA'er, har
- 15 en ytterligere verdifull egenskap ved at de mister den høye viskositet når de kommer i kontakt med formasjonens fluider, enten formasjonens vann, kondensat eller olje. (Hvis det viktigste fluid i formasjonen er et hydrokarbon som vil være en gass ved overflatetrykk, for eksempel metan, er det tilgjengelig brytere som kan ødelegge enten den micellære struktur eller selve det overflateaktive stoff.)
- 20 Eksempler på VDA'er ble gitt ovenfor.

- Fremgangsmåtene vil bli beskrevet uten drøftelser av pad(en), selv om det skal forstås at pad(er) generelt brukes. For å bruke en VDA i en fremgangsmåte hvor det dannes en lukket proppet fraktur og ormhullene deretter dannes, genereres en konvensjonell hydraulisk fraktur med konvensjonelle polymeriske
- 25 viskositetsøkere i bærefluidet. Bærefluidet kan inneholde brytere, bryterhjelpemidler og opprensingsadditiver. Frakturen tillates å lukke, og gis tid til at fluidet brytes opp, hvis dette er nødvendig; frakturen kan også valgfritt bringes til å strømme tilbake. Ved dette trinn inneholder frakturen proppemateriale og enten oppbrutt frakturfluid eller formasjonsfluid. VDA'en med høy aciditet og lav
- 30 viskositet injiseres deretter ved et trykk som er under frakturtrykket og ved en strømningsmengde som er beregnet til å fremme dannelse av ormhull, særlig et nettverk av forgrenede ormhull, når temperaturen, VDA syrekonsentrasjonen og formasjonens egenskaper tas hensyn til. Man ønsker ikke å være begrenset av

teori, men det antas at VDA'ene virker i den foreliggende prosess som følger. Det første av VDA-fluidet som injiseres danner et ormhull eller et nettverk av ormhull ved eller nær brønnboringen. Imidlertid, ettersom syren forbrukes, øker viskositeten til VDA'en i det initialt genererte ormhull eller nettverk av forgrenede ormhull, og senere injisert syre kan ikke strømme inn i ormhullet, men strømmer isteden lenger inn i frakturen og igangsetter generering av et annet ormhull eller nettverk av forgrenede ormhull. Ettersom syren forbrukes, økes også viskositeten til denne VDA'en, og prosessen gjentas progressivt lengere og lengere bort fra borehullet inntil ormhull har blitt generert ved mange punkter på overflaten av den opprinnelige fraktur. Etter at den ormhullgenererende VDA-injeksjon er stoppet, reduseres viskositeten til VDA'en i ormhullene, enten på grunn av den iboende instabilitet av micellene eller det overflateaktive stoff, på grunn av tid og temperatur, eller ved hjelp av brytere som er inkludert i den opprinnelige VDA-formulering, eller ved å redusere brønnhodets trykk og reversere strømmen og tillate formasjonsfluider å få kontakt med VDA'en.

De fluidet som brukes ved høyere temperaturer er chelatdannende midler, som beskrevet ovenfor. Særlig foretrukne eksempler er oppløsende midler som er basert på chelatdannere og som inneholder hydroksyetylaminokarboksylysyre, så som hydroksyetyletylendiamintri-eddiksyre (HEDTA), hydroksyetyliminodi-eddiksyre (HEIDA), eller en blanding av disse, som nevnt ovenfor. Disse materialer har lav reaktivitet, lav viskositet, men høy oppløsende evne. Tidligere tilgjengelige formasjonsoppløsende fluidet var sterke syrer, retarderte syrer eller organiske syrer. Årsakene til at sterke syrer ikke kan brukes har blitt gjort meget klare. Retarderte syrer kan ikke brukes fordi de enten er viskøse eller emulsjoner; ingen av disse formene av fluid kan injiseres inn i en proppet fraktur uten svært skadelige resultater. Viskøse fluidet vil kreve høy hydraulisk hestekraft og/eller vil måtte pumpes ved svært lave strømningsmengder for å forhindre forplantning av frakturer og/eller vil forflytte proppematerialet fra det området av frakturen som er nær brønnboringen. I tillegg til muligens å være viskøse, vil opprettholdelse av stabiliteten til emulsjoner ved høye temperaturer og i strømming gjennom pakken av proppemateriale være vanskelig. Tilsetning av et oljefuktende overflateaktivt stoff til vandig syre for å danne en emulsjon i et forsøk på å danne en barriere for syrens forflytning til bergartens overflate krever ofte kontinuerlig injeksjon av olje

- under behandlingen. Videre er disse systemer ofte ineffektive ved høye formasjonstemperaturer og høye strømningsmengder, siden absorpsjon av det overflateaktive stoff på formasjonens bergart er redusert. Systemer med emulgert syre er også begrenset av økt friksjonsbestandighet mot strømning. Organiske
- 5 syrer er ikke egnet, fordi de er langt mer kostbare enn mineralsyrer, og, selv om de har en lavere reaksjonshastighet, har de også en mye lavere reaktivitet – faktisk reagerer de ikke fullstendig, men isteden dannes en likevekt med formasjonens bergart. Et mol av HCl gir følgelig et mol av tilgjengelig syre (dvs. H⁺), men et mol av eddiksyre gir betydelig mindre enn et mol tilgjengelig syre.
- 10 Imidlertid, fordi de beskrevne materialer som er basert på chelatdannere har lav reaktivitet ved høy temperatur, lav viskositet, men stor oppløsende kapasitet, kan de injiseres i proppede frakturer ved de strømningsmengder som er påkrevet for å generere ormhull uten at frakturer forplanter seg eller at proppematerialet forflytter seg.
- 15 Av de samme årsaker er disse to typer av fluider foretrukket (selv om andre kan brukes) i den annen kategori av fremgangsmåte til dannelse av proppede frakturer som har ormhull som strekker seg fra deres overflater og inn i formasjonen: de hvor hele fraktur- og kanalsystemet dannes før lukkingen skjer. Det er 4 varianter av denne løsningsmåte:
- 20 Som nr. 1, bærefluidet i de tidlige trinn med transport av proppemateriale er et konvensjonelt vandig fluid som har fått økt sin viskositet med polymer, og bærefluidet i de senere trinn med transport av proppemateriale er et viskøst formasjonsoppløsende fluid. Hver av disse injiseres ved trykk og strømningsmengder som er tilstrekkelige til å generere frakturer og få dem til å
- 25 forplante seg. Som et ikke-begrensende eksempel får bærefluidet i de tidlige trinn økt sin viskositet med guar eller en substituert guar som inneholder en bryter, så som et oksidasjonsmiddel og/eller enzym. Et fluid som ikke oppløser formasjonen brukes i disse trinn, slik at det genereres en fraktur av den ønskede størrelse og form uten de problemer man ville møte hvis bærefluidet skulle reagere med
- 30 formasjonen nær brønnboringen. Siden det effektive overflateareal av frakturen deretter vil bli økt ved generering av et ormhullsystem i en avstand fra brønnboringen, behøver frakturen ikke nødvendigvis være lang, og jobben er derfor valgfritt designet slik at det skjer en stopping av drivmidlene ved tuppene.

Det formasjonsoppløsende bærefluid som har fått økt sin viskositet er i de gjenværende trinn, som et ikke-begrensende eksempel, et viskoelastisk micellært system som er basert på overflateaktivt stoff, og som inneholder en syre eller et chelatdannende middel eller begge deler. Viskositeten til et slikt system avhenger

5 av slike faktorer som konsentrasjonen av det overflateaktive stoff, omgivelsene (så som pH og karakteren og konsentrasjonen av salter), tiden, temperaturen og tilstedeværelsen av andre komponenter, så som alkoholer, ko-overflateaktive stoffer og brytere. Reaktiviteten til et slikt system avhenger av noen av de samme faktorer, såvel som av karakteren og konsentrasjonen av den

10 formasjonsoppløsende komponent. Karakteren av disse avhengigheter er kjent, og de relative hastigheter ved hvilke dette bærefluid mister viskositet og reagerer med formasjonen blir således justert, og idet man tar hensyn til den strømningsmengde som er nødvendig for å opprettholde det nødvendige trykk og for å transportere proppematerialet, designes systemet slik at dette

15 formasjonsoppløsende bærefluid som har fått økt sin viskositet transporterer proppematerialet inn i frakturen og deretter reagerer med formasjonen for å danne ormhull, idet det samtidig eller deretter mister sin viskositet. I en særlig foretrukket utførelse er det formasjonsoppløsende bærefluid som har fått økt sin viskositet en VDA. Som det nesten alltid er tilfellet brukes laboratorieeksperimenter og/eller

20 datamaskinmodellering til å optimalisere denne og andre jobbdesign.

Som nr. 2 dannes frakturen med en VDA, som valgfritt inneholder en chelatdanner, hvilken har tilstrekkelig viskositet og lekkasjekontroll til å danne en fraktur med de ønskede dimensjoner. Som det ble forklart ovenfor i beskrivelsen av den løsningsmåte hvor det dannes en lukket proppet fraktur og ormhullene

25 deretter dannes, justeres betingelsene slik at VDA'en danner en suksessiv sekvens av ormhull lengere og lengere fra borehullet. Dette kan skje under fakturvekst eller etter at slutt-frakturlengden har blitt oppnådd, dvs. at den pumpede strømningsmengde ved et punkt kan reduseres, slik at tapet av fluid på grunn av dannelse av ormhull balanseres av pumping for å holde frakturen åpen.

30 Deretter injiseres proppematerial-fylte trinn som har fått økt sin viskositet med polymeriske eller VES-viskositetsøkere, for å fylle frakturen med proppemateriale. Dette gjøres ved et trykk og en strømningsmengde som i det minste er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen. Jobben er valgfritt designet slik at en stopping av

drivmidlene ved tuppene skjer så snart som, eller kort etter, starten av proppematerial-trinnene, slik at frakturen er tilbøyelig til å utvides istedenfor å forlenges. Forplantning av frakturen og/eller dannelse av ormhull kan valgfritt skje også under trinnet med plassering av proppemateriale. Denne utførelse har den

5 fordel at ormhullene kan fylles med proppemateriale.

Som nr. 3 dannes en proppet fraktur med et konvensjonelt polymerisk eller VES-basert bærefluid som har fått økt sin viskositet, og deretter, mens frakturen holdes åpen, injiseres et formasjonsoppløsende fluid, så som en VDA. Bærefluidet kan inneholde en bryter, eller en bryter kan injiseres sammen med det

10 formasjons-oppløsende fluid. VES'en, hvis den brukes, er et system som ville være en VDA hvis det var sterkt acidisk. I denne sekvens bryter VDA'en opp polymeren eller VES'en (som begge er valgt slik at den kan brytes opp av sterke syrer), slik at VDA'en kan nå dypt inn i den proppede fraktur og danne ormhull, som det har blitt beskrevet ovenfor. Hvis bærefluidet ikke fullstendig brytes opp av

15 den formasjons-oppløsende fluidfront, kan det skje en ytterligere frakturforplantning (hvilket kunne være fordelaktig), og noe proppemateriale kan beveges bort fra brønnboringen. Mobilitetsreducerende midler, så som fibre, eller bruken av harpiksbelagte proppematerialer, kan hjelpe til med å hindre videre bevegelse av proppemateriale inn i frakturen, hvis dette er ønskelig. Alternativt

20 brukes et eller flere trinn med bæring av proppemateriale som har fått økt sin viskositet til å erstatte proppematerialet i det området av frakturen som er nær brønnboringen. I en foretrukket utførelse er bærefluidet en VES og det formasjonsoppløsende fluid er en VDA. I en mest foretrukket utførelse inneholder pad(en), bærefluidet og det formasjonsoppløsende fluid alle erusisk amidopropyl

25 dimetyl betain.

Til slutt dannes en proppet fraktur med et viskøst, formasjonsoppløsende bærefluid som har tilstrekkelig viskositet og lekkasjekontroll til å danne en proppet fraktur med de ønskede dimensjoner. Betingelsene kan justeres slik at lekkasje av noe av det viskøse, formasjonsoppløsende bærefluid vil danne ormhull langs

30 frakturen under frakturvekst, og valgfritt slik at ormhullene forlenges under og etter lukking av frakturen. Jobben designes valgfritt slik at det skjer en stopping av drivmidlene ved tuppene. Denne utførelse har også den fordel at ormhullene kan fylles med proppemateriale.

Alle fluidene som injiseres ved fremgangsmåtene ifølge oppfinnelsen, så som pad(en), det viskøse fluid som bærer proppematerialet og det formasjons-oppløsende fluid, kan inneholde forskjellige additiver som er velkjente ved stimuleringsbehandlinger (så som for eksempel korrosjonsinhibitorer, jernkontroll-
5 agenter, overflateaktive stoffer, leirekontrolladditiver, buffere, avleiringsinhibitorer o.l.), forutsatt at additivene ikke forstyrrer den ønskede virkning eller stabilitet av fluidet. Det vil forventes, og er innenfor omfanget av oppfinnelsen, å utføre laboratorietester eller kjøre datamaskinsimuleringer for å sørge for at slike additiver er egnet.

10 Selv om fremgangsmåtene her har blitt beskrevet for, og mest typisk brukes for, hydrokarbonproduksjon, kan de også brukes i injeksjonsbrønner og for produksjon av andre fluider, så som vann eller saltløsning.

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte til dannelse av en fraktur i en undergrunnsformasjon penetrert av et borehull, der en forbedring innbefatter å skape en fraktur som har
5 forgrenede ormehull som gir økt effektivt overflateareal for innstrømming av fluider inn i frakturen, omfattende de separate trinn for:
 - a. injisering av et viskøst bærefluid som inneholder proppemateriale; og
 - b. injisering av et formasjonsoppløsende fluid med en rate og trykk som er
10 utilstrekkelig for frakturering av formasjonen og med en fluks ved hvilken forgrenede ormehull dannes, som derved former forgrenede ormehull som strekker seg fra frakturen.

2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor først det viskøse bærefluidet som
15 inneholder proppemateriale injiseres ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, for det andre tillates frakturen å lukke, og for det tredje injiseres formasjonsoppløsende fluid med en strømningsmengde og et trykk som er utilstrekkelig til å frakturere formasjonen.

- 20 3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor først det viskøse bærefluid som inneholder proppemateriale injiseres ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig for å frakturere formasjonen, idet bærefluidet videre inneholder polymer, for det andre injiseres det formasjonsoppløsende fluidet ved en
25 strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen, idet det formasjonsoppløsende fluid videre er viskøst og inneholder proppemateriale, og, for det tredje tillates formasjonen å lukkes.

4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor for det første injiseres det
30 formasjons-oppløsende fluid ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, idet det formasjonsoppløsende fluid videre er viskøst, for det andre injiseres det viskøse bærefluid som inneholder proppemateriale ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen, og for det tredje tillates, formasjonen å lukkes.

5. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, hvor for det første det viskøse bærefluid som inneholder proppemateriale injiseres ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen, for det andre injiseres, det
- 5 formasjons-oppløsende fluid ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å holde frakturen åpen, og for det tredje tillates, formasjonen å lukkes.
6. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 5, hvor en stopping av
- 10 drivmidlene ved tuppene fremkalles i trinnet med injisering av et fluid som inneholder proppemateriale ved en strømningsmengde og et trykk som er tilstrekkelig til å frakturere formasjonen.
7. Fremgangsmåte som angitt i et av kravene 1 til 6, hvor det
- 15 formasjonsoppløsende fluid omfatter en komponent som er valgt fra gruppen bestående av selvavledende syre, hydrofluorsyre, forløper for hydrofluorsyre, salt av aminopolykarboksylsyre, og aminopolykarboksylsyre.
8. Fremgangsmåte som angitt i krav 7, hvor saltet av aminopolykarboksylsyre
- 20 er trinatrium-hydroksyetyletylendiamin-triacetat som er jusert til en pH på ca. 4 med saltsyre, og aminopolykarboksylsyren er hydroksyetyletylendiamin-trieddiksyre.
9. Fremgangsmåte som angitt i et av de foregående krav, hvor det viskøse
- 25 bærefluid omfatter et viskoelastisk overflateaktivt stoff.
10. Fremgangsmåte som angitt i et av de foregående krav, hvor det formasjonsoppløsende fluid omfatter et viskoelastisk overflateaktivt stoff.

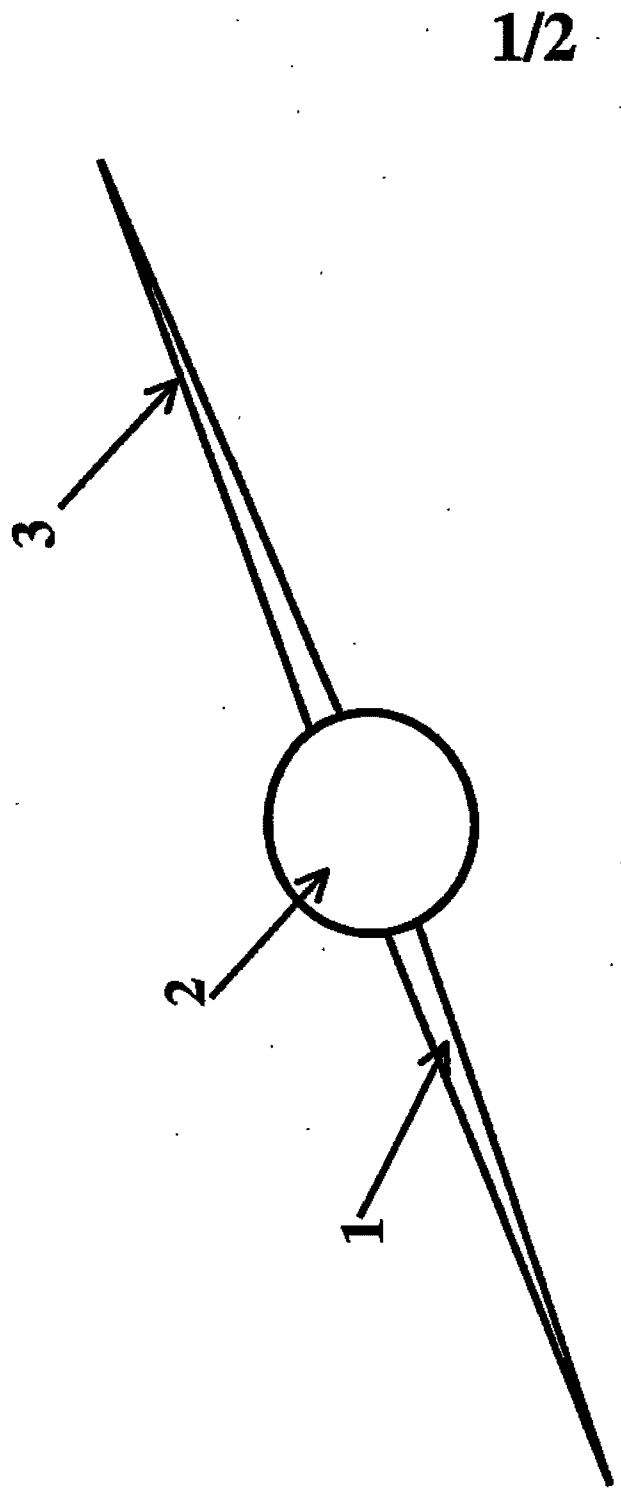


Fig. 1

2/2

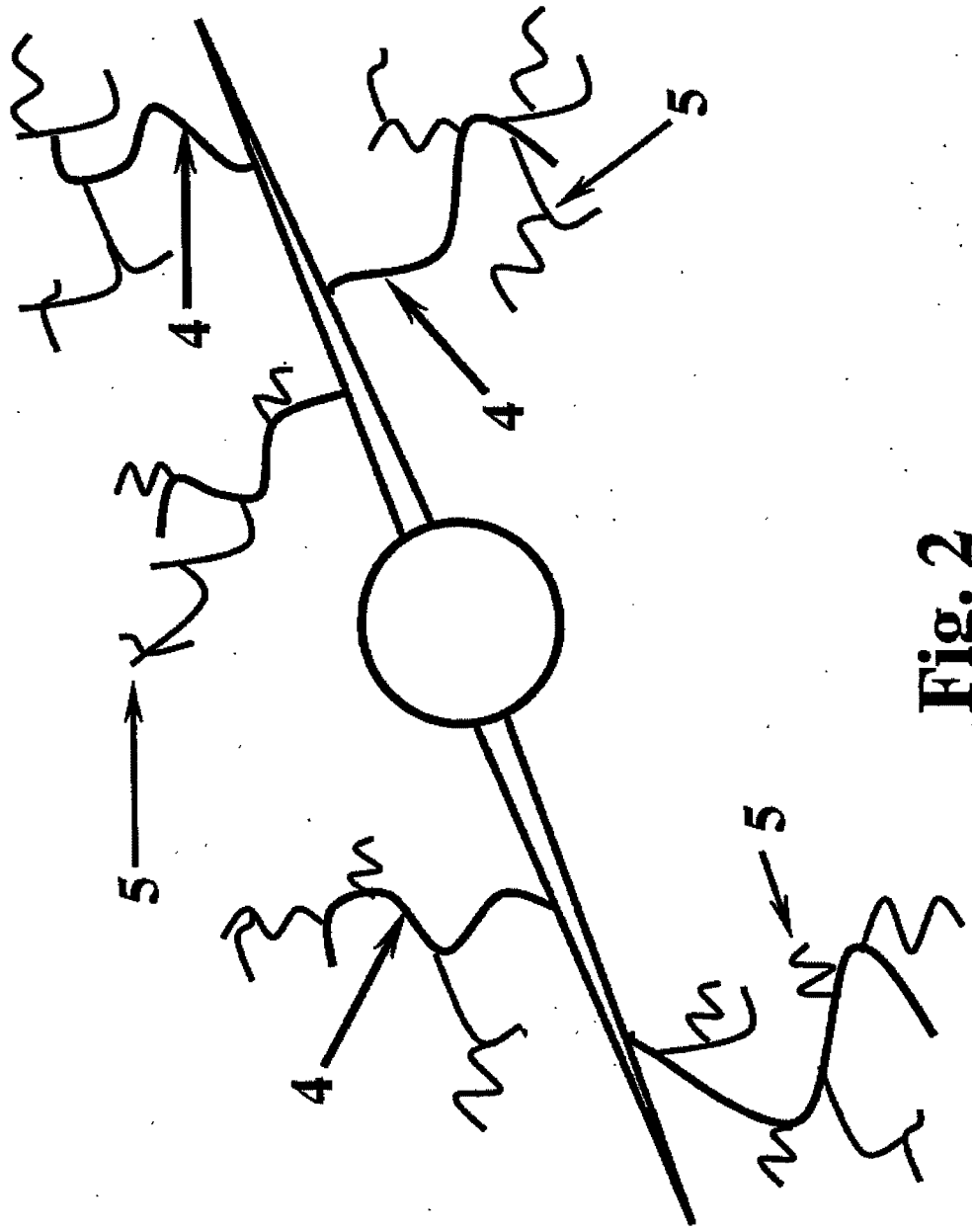


Fig. 2