

①9



Bureau voor de
Industriële Eigendom
Nederland

①1 1007616

①2 C OCTROOI²⁰

②1 Aanvraag om octrooi: 1007616

⑤1 Int.Cl.⁷
E21B43/267

②2 Ingediend: 25.11.1997

③0 Voorrang:
27.11.1996 US 756414

④1 Ingeschreven:
28.05.1998 I.E. 1998/08

④7 Dagtekening:
18.01.2000

④5 Uitgegeven:
01.03.2000 I.E. 2000/03

⑦3 Octrooihouder(s):
BJ SERVICES COMPANY te Houston, Texas,
Verenigde Staten van Amerika (US).

⑦2 Uitvinder(s):
Harold Dean Brannon te Spring, Texas (US)
Allan Ray Rickards te Pinehurst, Texas (US)
Philip James Rae te Singapore (SG)
Gino Francesco di Lullo Arias te Caracas (VE)

⑦4 Gemachtigde:
Mr. G.L. Kooy c.s. te 2514 BB Den Haag.

⑤4 Behandelingsmethode voor formaties met gebruikmaking van vervormbare deeltjes.

⑤7 Een ondergrondse formatie wordt behandeld door het injecteren van een mengsel van een breukpropmateriaal en een vervormbaar deeltjesvormig materiaal in de formatie. Het vervormbare deeltjesvormige materiaal kan worden gecombineerd met het breukpropmateriaal om de breukgeleidbaarheid te verhogen, om de vorming van fijne deeltjes te verminderen en/of om de terugvloeit van propmateriaal te verminderen. Het breukpropmateriaal kan een materiaal zoals zand zijn en het vervormbare deeltjesvormige materiaal kan een materiaal zijn zoals polystyreendivinybenzeenkorrels zijn.

NL C 1007616

De inhoud van dit octrooi wijkt af van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en). De oorspronkelijk ingediende stukken kunnen bij het Bureau voor de Industriële Eigendom worden ingezien.

5

10

BEHANDELINGSMETHODE VOOR FORMATIES MET
GEBRUIKMAKING VAN VERVORMBARE DEELTJES

1. Gebied van de uitvinding

Deze uitvinding heeft in het algemeen betrekking op behandelingen van ondergrondse formaties en meer in het
15 bijzonder op hydraulische breukbehandelingen voor onder-
grondse formaties. In het bijzonder heeft deze uitvinding
betrekking op vervormbare deeltjes gemengd met breukprop-
middelen om de vorming van gruis te verminderen, om de
breukgeleidbaarheid te verbeteren en/of om de terugvloei
20 van propmiddel te minimaliseren.

2. Beschrijving van de techniek

Hydraulische breukvorming is een algemene bekende
stimulatietechniek die wordt gebruikt om de productie van
25 vloeistoffen uit ondergrondse formaties te verbeteren. Bij
een bekende hydraulische breukbehandeling, wordt breukbe-
handelingsvloeistof dat een vast propmiddel bevat, geïnjec-
teerd in een formatie bij een druk die voldoende hoog is om
breuken in het reservoir te vormen of te vergroten. Tijdens
30 een bekende breukbehandeling, wordt propmiddel afgezet in
een breuk, waar het achter blijft nadat de behandeling is
voltooid. Na afzetting, dient het propmiddel om de breuk
open te houden, waardoor de mogelijkheid voor de vloeistof-
fen om te migreren uit de formatie naar het boorgat door de
35 breuk wordt verbeterd. Omdat de productiviteit van een
boorput die is gevormd door breuken afhangt van de moge-
lijkheid van de breuken om vloeistoffen uit de formatie

100 7616

naar het boorgat te laten vloeien, is de breukgeleidbaarheid een belangrijke parameter bij het bepalen van de mate van succes van een hydraulische breukbehandeling.

Een probleem met betrekking tot hydraulische breukbehandelingen is de vorming van de zogenoemde "reservoir fines", wat kleine deeltjes uit de formatie zijn, en de daarmee overeenkomstige vermindering van de breukgeleidbaarheid. Deze fijne deeltjes kunnen worden verkregen wanneer propmiddel wordt onderworpen aan sluitspanningen in het reservoir in de formatiebreuk waardoor propmiddel wordt samengeperst op een zodanige wijze dat de kleine deeltjes ("fines") worden gevormd uit het propmiddel en/of de reservoirmatrix. In sommige gevallen kan de vorming van fijne deeltjes worden verergerd tijdens productie/uitvoeringswerkwijzen wanneer een put wordt gesloten en vervolgens weer geopend. Dit fenomeen staat bekend als "stress cycling" ("vermoeiing") en is waarschijnlijk het resultaat van toegenomen differentiaaldruk en sluitspanning welke plaatsvinden tijdens de vloeistofproductie na een afsluitperiode. De vorming van fijne deeltjes is ongewenst, vanwege bepaalde productieproblemen, en vanwege het feit dat de permeabiliteit van het reservoir wordt verminderd door het afsluiten van porie-openingen in de reservoir- en propmiddelpakkingmatrix.

De vorming van deeltjesvormige vaste stoffen met ondergrondse-formatievloeistoffen is eveneens een bekend probleem. De bron van deze deeltjesvormige vaste stoffen kan ongeconsolideerd materiaal van een formatie, propmiddel van een breukbehandeling en/of fijne stoffen gevormd uit vermorzeld breukpropmiddel zijn, zoals hierboven genoemd. De vorming van vast propmiddel is algemeen bekend als propmiddel terugvloeien ("proppant flowback"). Behalve dat er een toegenomen slijtage plaatsvindt van ondergrondse apparatuur en productie-apparatuur op het oppervlak, kan de aanwezigheid van deeltjesvormige vaste stoffen in productievloeistoffen leiden tot aanzienlijke toename van de kosten en van stilligtijd die veroorzaakt wordt door het moeten ver-

wijderen van deze stoffen uit boorputgaten en/of productiemateriaal. Ophoping van deze materialen in een boorput kan eveneens de vloeistofproductie verminderen of zelfs helemaal voorkomen. Bovendien kan verlies aan propmiddel
5 door propmiddeltherugvloei eveneens leiden tot een verminderde geleidbaarheid van een breukstelsel.

Teneinde de vorming van formatie- of propmaterialen te regelen of te voorkomen, zijn veel methoden ontwikkeld. Bijvoorbeeld zijn voor wat betreft het propmiddeltherugvloeiprobleem werkwijzen gebruikt met gebruikmaking van
10 speciale soorten propmiddelen en/of additieven voor de propmiddelen om een breukstelsel te helpen vormen in het reservoir dat resistent is tegen propmiddeltherugvloei. Eén bekende werkwijze van deze soort maakt gebruik van met hars
15 beklede propmiddelenmaterialen die zijn ontworpen om een geconsolideerd en doorlaatbaar breukstelsel te helpen vormen wanneer zij in de formatie zijn aangebracht. Deze methode kan bijvoorbeeld worden uitgevoerd door het mengen van een deeltjesvormig propmiddelmateriaal met een epoxy-
20 harssysteem dat is ontworpen om uit te harden wanneer het materiaal in de formatie is aangebracht, of door gebruik van een van te voren behandeld propmiddelmateriaal dat in de formatie wordt gepompt samen met de breukvloeistof en vervolgens wordt geconsolideerd met een uithardingsoplossing die nadat het propmiddelmateriaal is geplaatst er in
25 wordt gepompt. Hoewel met hars beklede propmiddelmateriaaltechnieken de propmiddeltherugvloei kunnen verminderen kunnen zij eveneens leiden aan verschillende problemen, met inbegrip van onverenigbaarheid van de harsen met verkno-
30 pingsmiddel en breekadditieven in de breukvloeistof evenals lange sluittijden na de behandeling die economisch ongewenst kunnen zijn. Met hars beklede propmiddelen kunnen eveneens moeilijk uniform in een breuk worden aangebracht en kunnen de breukgeleidbaarheid negatief beïnvloeden. Bo-
35 vendien worden met hars beklede propmiddelen gewoonlijk alleen aan de uiteindelijke stappen van de breukbehandelingen toegevoegd vanwege hun hoge prijs, wat resulteert in een

breukstelsel dat slechts in een gebied dichtbij de boorput is gecondoliseerd.

Er zijn er recente techniek ontwikkeld die gebruikmaken van een mengsel van vaste propmiddelmaterialen, om propmiddeltherugvloei te kunnen verkrijgen. Volgens één techniek worden staafachtige vezelachtige materialen met propmiddel materiaal gemengd, met het doel om brugvorming tussen de deeltjes te verkrijgen binnen een breukstelsel met propmiddel om zo deeltjesbewegingen en propmiddeltherugvloeit te voorkomen. Met deze techniek kan waarschijnlijk propmiddeltherugvloeit worden geregeld doordat een mat van vezels over de openingen in het stelsel wordt gevormd waardoor het propmiddel op zijn plaats blijft en waardoor propmiddeltherugvloeit tijdens de vloeistofproductie wordt beperkt. In de praktijk blijkt deze methode echter verschillende nadelen te hebben, zoals vermindering van de breukgeleidbaarheid bij werkzame concentraties van vezelachtige materialen en een effectieve levensduur van slechts ongeveer 2 jaar vanwege de geringe oplosbaarheid van de gebruikelijk toegepaste vezelmateriaal in de pekeloplossing. Bovendien kan het vezelachtige propmiddel materiaal dat in de techniek wordt gebruikt onverenigbaar zijn met sommige bekende boorputbehandelingszuren, zoals waterstoffluoride.

Volgens een andere onlangs ontwikkelde werkwijze, wordt thermoplastisch materiaal in de vorm van linten of vlokken gemengd met propmiddel materiaal teneinde een breukpropmiddel te vormen dat bestand is tegen propmiddeltherugvloeit. Het thermoplastisch materiaal is ontworpen om met de propmiddel deeltjes ineen te vlechten en wordt zeer kleverig bij reservoirtemperaturen van hoger van ongeveer 104°C (220°F). Hierdoor hecht het materiaal waarschijnlijk aan propmiddel materiaal waardoor agglomeraten worden gevormd die brugvorming met elkaar veroorzaken en die ervoor zorgen dat propmiddel materialen op hun plaats blijven. Deze methode voor het regelen van propmiddeltherugvloeit heeft overeenkomstige nadelen als de methode met gebruikmaking van vezelachtig propmiddel zoals hiervoor genoemd, waarbij

met name de verminderde geleidbaarheid opvalt. Daarom is een methode gewenst voor het verminderen van de vorming van fijne deeltjes terwijl gelijktijdig de breukgeleidbaarheid wordt verbeterd en de propmiddelsterugvloeï wordt vermindert.

Samenvatting van de uitvinding

Volgens één aspect betreft deze uitvinding een methode voor het behandelen van een ondergronds formatie door in de formatie een breukvloeistofsamenstelling te injecteren bestaande uit een mengsel van een breukpropmiddel-
10 materiaal en een vervormbaar korrelvormig materiaal.

Volgens een ander aspect betreft deze uitvinding een methode voor het behandelen van ondergrondse formaties door het in de formatie injecteren van een mengsel van een
15 breukpropmiddel en een vervormbaar deeltjesvormig materiaal. Afzonderlijke deeltjes van het vervormbare deeltjesvormige materiaal kunnen een vorm met een maximale lengte tot breedte aspectverhouding van gelijk aan of minder dan
20 ongeveer 5 hebben.

Volgens nog een ander aspect betreft deze uitvinding een methode voor het behandelen van ondergrondse formaties door het in de formatie injecteren van een mengsel van een breukpropmiddel en een vervormbaar deeltjesvormig
25 materiaal met een vorm die wordt gekozen uit korrelvormig, kubisch, staafvormig, cilindrisch of een mengsel daarvan. Korrelvormige of cilindrisch gevormde deeltjesvormige materialen kunnen een lengte tot diameter aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 hebben en staafvormige deeltjesvormig materiaal kan een lengte tot breedte
30 aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 hebben en een lengte tot dikte aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5.

Volgens nog een ander aspect betreft deze uitvinding een werkwijze voor het behandelen van een ondergrondse
35 formatie door het in de formatie injecteren van een breukvloeistofsamenstelling die een mengsel omvat van breukprop-

middel en vervormbare deeltjesvormige materiaal. Volgens deze werkwijze wordt de breukvloeisamenstelling afgezet in de ondergrondse formatie zodat het mengsel van breukpropmiddel materiaal en vervormbare deeltjesvormige materiaal
5 een in situ geleidbaarheid heeft van groter dan de in situ geleidbaarheid van ofwel propmiddel alleen of vervormbare deeltjesvormige materiaal alleen.

Volgens nog een ander aspect betreft deze uitvinding een methode voor het behandelen van een ondergrondse
10 formatie door het in de formatie injecteren van een breukvloei-stofsamenstelling die een mengsel omvat van breukpropmiddel materiaal en vervormbare deeltjesvormige materiaal. Volgens deze methode wordt de breukvloei-stofsamenstelling afgezet in de ondergrondse formatie zodat het mengsel van
15 het breukpropmiddel materiaal en vervormbare deeltjesvormige materiaal een in situ-vorming van fijne deeltjes heeft die minder is dan een in situ-vorming van fijne deeltjes in het breukpropmiddel materiaal alleen.

Volgens nog weer een ander aspect betreft deze
20 uitvinding een samenstelling voor het breken van een ondergrondse formatie, die een mengsel omvat van een breukpropmiddel materiaal en een vervormbaar deeltjesvormig materiaal. Het vervormbare deeltjesvormige materiaal kan een deeltjesafmeting van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh
25 hebben, een specifieke dichtheid van ongeveer 0,4 tot ongeveer 3,5 en een vorm met een maximale lengte tot breedte aspectverhouding van minder dan of gelijk aan ongeveer 5.

Korte beschrijving van de tekeningen

30 Figuur 1 is een voorstelling van een één-vlakse gestructureerde mat van vezels die waarschijnlijk in situ wordt gevormd door de staaftachtige vezelige propmiddeltoevoegingen uit de techniek.

 Figuur 2 is een voorstelling van een één-vlakse
35 geagglomereerde structuur die waarschijnlijk in situ wordt gevormd door gebruikmaking van thermoplastische linten of vlokken als propmiddeltoevoegingen in de techniek.

Figuur 3 is een voorstelling van een nagenoeg bolvormig vervormbaar deeltje volgens één uitvoeringsvorm van de onderhavige methode.

5 Figuur 4 is een voorstelling van een mechanisme dat waarschijnlijk verantwoordelijk is voor de vervorming van de nagenoeg bolvormige deeltjes volgens figuur 3 ten gevolge van contact met breukpropmiddel onder omstandigheden van formatiespanningen.

10 Figuur 5 is een voorstelling van een meer-vlakse hexagonale structuur van dichte pakking die waarschijnlijk in situ wordt gevormd met gebruikmaking van één uitvoeringsvorm volgens de onderhavige methode met een 7:1 verhouding van breukpropmiddelmetaal tot polystyreendivinylnylbenzeen-korrels.

15 Figuur 6 is een vereenvoudigde voorstelling van één mogelijke vorm van een vervormbaar korrelvormig deeltje onderworpen aan hexagonaal contact met breukpropmiddelmetaal.

20 Figuur 7 is een vereenvoudigde weergave van één mogelijke vorm van een vervormbaar korrelvormig deeltje onderworpen aan pentagonaal contact met breukpropmiddelmetaal.

25 Figuur 8 is een vereenvoudigde voorstelling van één mogelijke vorm van een vervormbaar korrelvormig deeltje onderworpen aan tetragonaal contact met breukpropmiddelmetaal.

30 Figuur 9 is een vereenvoudigde voorstelling van één mogelijke vorm van een vervormbaar korrelvormig deeltje onderworpen aan contact op 2 plaatsen door breukpropmiddelmetaal.

Figuur 10 geeft de spanning versus rek aan, en toont de variatie in de Young's modulus van de elasticiteit van kunststof polystyreendivinylnylbenzeen-korrels.

35 Figuur 11 toont de volume-afname versus sluitspanning voor kunststof polystyreendivinylnylbenzeen-korrels.

Figuur 12 toont lineaire samendrukking versus sluitspanning voor kunststof polystyreendivinybenzeen-korrels.

5 Figuur 13 toont lineaire samendrukking versus sluitspanning voor Ottawa zand met een afmeting van 20/40 mesh bij een pakkingsdichtheid van 2 lb/ft².

10 Figuur 14 toont de permeabiliteit versus sluitspanning voor kunststof korrels, 20/40 mesh Ottawa zand, en 3:1 en 7:1 per volume mengsels van 20/40 kunststof korrels en 20/40 mesh Ottawa zand volgens de uitvoeringsvormen van de onderhavige methode.

15 Figuur 15 toont geleidbaarheid versus sluitspanning voor 20/40 mesh Ottawa zand, 20/40 mesh kunststof korrels, en 3:1 en 7:1 per volume mengsels van 20/40 mesh Ottawa zand en 20/40 mesh kunststof korrels volgens één uitvoeringsvorm van de onderhavige methode.

20 Figuur 16 toont de vorming van fijne deeltjes versus sluitspanning voor 20/40 mesh Ottawa zand en 3:1 en 7:1 per volume mengsels van 20/40 mesh Ottawa zand en 20/40 mesh kunststof korrels volgens uitvoeringsvormen van de onderhavige methode.

25 Figuur 17 toont driedimensionale vervorming van polystyreendivinybenzeen-korrels nadat zij zijn onderworpen aan spanning in een gesimuleerd breukpropmiddelstelsel.

25 Figuur 18 toont de terugvloEIFouten van een propmiddelstelsel van Ottawa zand onder een sluitspanning van meer dan 1000 psi.

30 Figuur 19 toont de terugvloEIFout van een propmiddelstelsel dat een 3:1 mengsel van Ottawa zand tot polystyreendivinybenzeen-korrels bevat onder een sluitspanning van meer dan 1000 psi.

35 Figuur 20 toont de terugvloEIFout van een propmiddelstelsel dat een 4:1 mengsel van Ottawa zand tot polystyreendivinybenzeen-korrels bevat onder een sluitspanning van meer dan 1000 psi.

35 Figuur 21 toont de terugvloEIFout van een propmiddelstelsel dat een 5,7:1 mengsel van Ottawa zand tot poly-

styreen divinylnbenzeen korrels bevat onder een sluitspanning van meer dan 1000 psi.

Gedetailleerde beschrijving van bepaalde
uitvoeringsvormen

5

In uitvoeringsvormen volgens de onderhavige methode, wordt vervormbare deeltjesvormige materiaal (dat wil zeggen vervormbare deeltjes) toegevoegd aan en/of gemengd met breukpropmiddel materiaal om de geleidbaarheid en permeabiliteit van een breukpropmiddelstelsel te verbeteren, om de vorming van fijne deeltjes te verminderen en/of om propmiddel terugvloei te minimaliseren. Met vervormbaar wordt bedoeld dat afzonderlijke deeltjes van een deeltjesvormig materiaal inzakken bij puntbelasting met deeltjes van breukpropmiddel materiaal. Samen met de beschreven methode, is de verrassende ontdekking gedaan dat mengsels van propmiddelen en vervormbare deeltjes volgens de uitvoeringsvormen volgens deze beschreven methode synergistisch zijn omdat combinaties van propmiddel materiaal en vervormbare deeltjes een grotere geleidbaarheid en/of permeabiliteit bezitten dan elk van deze materialen alleen. Dit synergistische effect is waarschijnlijk het resultaat van een aantal factoren, met inbegrip van de in situ vervorming van de vervormbare deeltjes waardoor een meer-vlakkige structuur of netwerk wordt verkregen, die onder andere het propmiddel materiaal kunnen omvatten.

Het is eveneens verrassenderwijs gevonden dat combinaties van de vervormbare deeltjes en breukpropmiddelen volgens uitvoeringsvormen van de beschreven methode de vorming ten gevolge van de sluitspanning die wordt aangebracht op een propmiddelstelsel van fijne deeltjes gewoonlijk verminderen. In uitvoeringsvormen van de beschreven methode, wordt verondersteld dat vervormbare deeltjes dienen als een kussen om te voorkomen dat korrels met elkaar in contact komen en absorberen de spanning tussen deeltjes van siliciumdioxide, synthetische of andere soorten propmiddelen. Het is verondersteld dat dit kusseneffect voor-

komt dat propmiddeldeeltjes uiteen slaan of breken ten gevolge van spanning (met inbegrip van spanning door vermoeiing) en dat daarom minder fijne deeltjes worden geproduceerd. Wanneer minder fijne deeltjes aanwezig zijn in de
5 lagere porieafmetingen in een propmiddelstelsel, zal de porositeit, de permeabiliteit en/of de geleidbaarheid kunnen blijven behouden. Zoals is weergegeven in voorbeeld 5 en zoals weergegeven in figuur 16 maken deze vermindering van vorming van fijne deeltjes het mogelijk dat het sluit-
10 spanningstraject waarin breukpropmiddelmaterialen, zoals zand, kunnen worden gebruikt kan worden verbreed. Dit betekent dat goedkopere propmiddelen zoals zand kunnen worden gebruikt in deze toepassingen waar duurdere en sterkere propmiddelen gewoonlijk werden gebruikt.

15 Als extra voordeel is gebleken dat combinaties van vervormbare deeltjes en propmiddelmateriaal volgens uitvoeringsvormen van deze methode eveneens propmiddeltherugvloei ten gevolge van plastische vervorming van vervormbare deeltjes tot meer-vlakkige structuren kunnen verminderen. In de
20 praktijk van de beschreven methode, vervormen de vervormbare deeltjes bij formatietemperaturen en met propmiddel contact wanneer sluitspanningen van de breuk erop worden aangebracht. Eerdere methoden die gebruik maken van breukbehandelingsadditieven met vezelachtige 2 of strookachtige
25 (of vlokvormige) 4 geometrieën, bevorderen de propmiddeltherugvloei juist waarschijnlijk door het creëren van een één-vlakse structuur met propmiddel zoals is getoond in de figuren 1 en 2. Met één-vlaks wordt bedoeld dat de in situ structuren die worden gevormd door deze additieven waarschijnlijk geometrieën hebben die de vectorspanningen in
30 één vlak van een propmiddelstelsel belasten. Deze structuren bestaan waarschijnlijk als individuele matten of agglomeraten binnenin een propmiddelstelsel. Anders dan de voorbeschreven methoden en materialen, verschaffen de uitvoeringsvormen van de onderhavige methode waarschijnlijk
35 meer-vlakse structuren (of netwerken) die in situ dienen om propmiddeltherugvloei te voorkomen of te verminderen door

toename van de deeltjescohesie en propmiddelstelselstabiliteit. Met meer-vlaks wordt bedoeld dat de in situ structuren die worden gecreëerd door de behandelingsadditieven volgens de beschreven methoden waarschijnlijk geometrieën hebben die de vectorspanning in meer dan één vlak van het propmiddelstelsel, dat wil zeggen in drie dimensies, belasten. Daarom bestaan de structuren die gevormd worden in de praktijk van de onderhavige methode waarschijnlijk als in situ-netwerken die binnen een breukpropmiddelmatrix bestaan en daar deel van uit maken.

Bepaalde uitvoeringen van de beschreven werkwijze kunnen meer voordelen verschaffen. Wanneer een hoofdzakelijk bolvormig vervormbaar korrelvormig materiaal volgens de beschreven werkwijze bijvoorbeeld wordt gemengd met een relatief onregelmatig of hoekig breukpropmiddelmateriaal, zoals zand, kunnen grotere porositeit en permeabiliteit worden verkregen vanwege de vorming van een gepakte geometrie zoals hexagonale pakking, die superieur is ten opzichte van de gepakte geometrie die wordt verkregen door gebruik van alleen het deeltjesvormig propmiddel. Bovendien kan een zelfs nog grotere breukgeleidbaarheid worden verkregen met behulp van de beschreven werkwijzen door het mengen van een deeltjesvormig propmateriaal met een vervormbaar materiaal dat de dichtheid heeft van minder dan die van het deeltjesvormig propmateriaal, wat resulteert in een grotere breukwijdte per eenheid massa.

Een voorbeeld van een hoofdzakelijk bolvormig vervormbaar korrelvormig deeltje (10) volgens één uitvoeringsvorm van de beschreven werkwijze, wordt weergegeven in figuur 3. Figuur 4 toont één mogelijk mechanisme dat waarschijnlijk verantwoordelijk is voor de vervorming van een hoofdzakelijk bolvormig deeltje (10) volgens figuur 3 als resultaat van contact met afzonderlijke deeltjes van breukpropmiddelmateriaal (20) onder omstandigheden van formatiespanningen. Zoals blijkt uit figuur 4 vormt het propmiddel-deeltje (20) gerimpelde indeukingen (30) in de zijanten

(40) van het vervormbare deeltje (10) waarin het propmiddeldeeltes (20) aanwezig kan zijn.

Hoewel een hoofdzakelijk bolvormig vervormbaar korrelvormig deeltje staat weergegeven in figuren 3 en 4 zal het aan de hand van de onderhavige beschrijving duidelijk zijn dat niet-bolvormige korrelvormige deeltjes evenals niet-korrelvormige deeltjesvormen eveneens met succes kunnen worden gebruikt bij de uitvoering van de onderhavige werkwijze. Voorbeelden van dergelijke niet-bolvormige korrelvormige deeltjes omvatten, maar zijn niet beperkt tot, korrelvormige deeltjes met een vorm die uitgestrekt is in een of meerdere hechtingen, zoals deeltjes die ovaalvormig, eivormig, druppelvormig of mengsels daarvan zijn. Voorbeelden van dergelijke niet-korrelvormige deeltjes omvatten, maar zijn niet beperkt tot, deeltjes met een vorm die kubisch is, staafvormig (zoals een hexahedron met een lengte die groter is dan de breedte en met een breedte die groter is dan de dikte), cilindrisch, veel-vlakkig, onregelmatig of mengsels daarvan. Bovendien zal het aan de hand van de onderhavige beschrijving duidelijk zijn dat korrelvormige of niet-korrelvormige vervormbare deeltjes een oppervlak kunnen hebben dat hoofdzakelijk ruw is of onregelmatig van aard of een oppervlak hebben dat hoofdzakelijk glad van aard is. Bovendien zal het duidelijk zijn dat mengsels of vermengingen van vervormbare deeltjes met verschillende, maar geschikte vormen voor gebruik in de beschreven werkwijze kunnen worden toegepast.

Wanneer vervormbare deeltjes met een cilindrische vorm of een uitgerekte korrelvormige vorm met een hoofdzakelijk uniforme diameter worden toegepast in de praktijk van de onderhavige werkwijze, worden gewoonlijk deeltjes met een lengte tot diameter aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 gewoonlijk toegepast (zoals hier gebruikt wordt de lengte gemeten langs die as van een deeltje met de langste en grootste dimensie). Meer in het bijzonder worden cilindrische of uitgerekte korrelvormige deeltjes met een lengte tot diameter aspectverhouding van

gelijk aan of minder dan ongeveer 3 toegepast. Meest gebruikelijk, worden cilindrische of uitgerekte korrelvormige deeltjes met een lengte tot diameter aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 2 toegepast. Overeen-

5 komstig, wanneer vervormbare deeltjes met een staafvormige vorm worden toegepast, zijn zowel de lengte tot breedteverhouding als lengte tot dikteverhouding van een bepaald afzonderlijk deeltje gewoonlijk gelijk aan of minder dan ongeveer 5, meer in het bijzonder gelijk aan of minder dan

10 ongeveer 3, en het liefst gelijk aan of minder dan ongeveer 2. Wanneer vervormbare deeltjes met veel-vlakkig of onregelmatige vormen of vormen met aflopende diameters worden toegepast, hebben de deeltjes gewoonlijk een maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding van gelijk aan of minder

15 dan ongeveer 5, meer in het bijzonder gelijk aan of minder dan ongeveer 3 en het liefst gelijk aan of minder dan ongeveer 2. Zoals hier gebruikt, betekent de maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding de maximale aspectverhouding die kan worden verkregen door het delen van de

20 lengte van een deeltje door de minimale (of kortste) dimensionele waarde die gevonden wordt langs een andere as (anders dan de lengte as) genomen door het centrum van de massa van het deeltje. Het zal ook duidelijk zijn aan de hand van de onderhavige beschrijving, dat deeltjes van elke vorm

25 (met inbegrip van elke vorm die in deze paragraaf zijn beschreven) kan worden toegepast in de beschreven werkwijze wanneer dergelijke deeltjes een maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding hebben die gewoonlijk minder dan of gelijk aan ongeveer 5 is, meer in het bijzonder gelijk aan

30 of minder dan ongeveer 3, en het liefst gelijk aan of minder dan ongeveer 2.

Een voorbeeld van een veel-vlakkige structuur die waarschijnlijk in situ wordt gevormd uit een mengsel van vervormbare deeltjesvormige korrelvormig materiaal (10) en

35 breukpropmiddelmetaal (20) volgens één uitvoeringsvorm van de onderhavige werkwijze met een 7:1 mengsel van een breukpropmiddelmetaal tot vervormbare deeltjesvormige

ma-teriaal wordt weergegeven in figuur 5. Een veel-vlakkige pakking kan echter worden gevormd door andere verhoudingen van vervormbaar materiaal tot breukpropmiddel-materiaal. Wanneer vervormbare deeltjes worden gemengd met hardere, 5 niet-vervormbare propmiddelen, zoals zand, kunnen propmidedelpakkingen worden gevormd met propmiddel deeltjes die zijn opgesloten in vervormde oppervlakken van de vervormbare deeltjes, waardoor een sterkere pakking wordt verkregen. Er is echter geen kleven of hechten tussen vervormbare 10 deeltjes en breukpropmiddel-materiaal nodig om de voordelen van deze werkwijze te verkrijgen. Deeltjesvormig korrelvormig materiaal vervormt waarschijnlijk in verschillende vormen afhankelijk van de pakgeometrie die elke korrel omgeeft. Er worden slechts een aantal van deze vormen weergegeven in vereenvoudigde geometrische vormen in de figuren 6 15 tot en met 9.

De pakgeometrie is waarschijnlijk afhankelijk van factoren als onregelmatigheid van het breukpropmiddel-materiaal en een verscheidenheid aan geometrieën kan in een 20 enkele breukpakking aanwezig zijn. Bijvoorbeeld illustreren de figuren 6 tot en met 8 ongeveer de kubische en pyramidische vormen van korrelvormig deeltjesvormig materiaal (10) dat waarschijnlijk resulteert uit hexagonale (de korrel staat op zes plaatsen in contact met propmiddel), pentago- 25 naal (de korrel staat op vijf plaatsen in contact met propmiddel), en tetragonale (de korrel staat op vier plaatsen in contact met propmiddel-materiaal) pakking. Zoals weergegeven in figuur 9, waar een korrel (10) op slechts twee plaatsen in contact staat met propmiddel-materiaal, kan deze 30 worden vervormd tot een vorm die overeenkomt met een hon-denbot. Het zal duidelijk zijn aan de hand van deze beschrijving dat andere pakkingsconfiguraties, mengsels van pakkingsconfiguraties evenals meerdere andere vormen en mengsels van vormen of vervormbare deeltjesvormige materi- 35 alen eveneens mogelijk zijn.

Doordat in een aantal vlakken krachten worden uitgeoefend, verschaffen spanningen op een bepaald vervormbaar

deeltje op één vlak extra stabilisatie aan andere deeltjes in andere vlakken. Dit effect wordt waarschijnlijk gekwade-
rateerd door spanningen in een tweede vlak en waarschijnlijk tot de derde macht verheven door bijdragen van span-
5 ningen in een derde vlak. Naast de bijdrage aan voorkeurs-
effecten die niet worden gevonden in de eerder genoemde methoden, zoals toegenomen breukgeleidbaarheid en vermin-
derde vorming van fijne deeltjes, resulteert dit in een
superieure stabilisatie van een breukpakking met gebruik-
10 making van minder volume aan toegevoegd materiaal dan ver-
eist is in de bekende methoden die slechts in één vlak werken. Het heeft het voordeel dat dit verminderde volume
leidt tot een verminderde kostenpost op materiaal. Boven-
dien kan het gebruik van vervormbare deeltjesvormige uit-
15 voeringsvormen van deze onderhavige werkwijze leiden tot
een put die sneller tot productie kan leiden dan de putten
die werken met met-hars-bekleed-zandwerkwijzen die een af-
sluittijd nodig hebben voor het uitharden van de hars,
waardoor met de onderhavige werkwijze sneller geld kan wor-
20 den verdiend.

De uitvoeringsvormen van de onderhavige werkwijze kunnen met voordeel worden gekozen om chemisch verenigbaar te zijn met additieven voor de breukvloei-
stof. In de praktijk van de onderhavige werkwijze, kunnen vervormbare deelt-
25 jes worden gemengd met elk hoofdzakelijk niet-vervormbaar
propmiddel dat geschikt is om een breuk open te houden in
een bron van olie, gas, geothermisch warmte, methaan, uit
een kolenlaag, water of andere ondergrondse putten. Derge-
lijke hoofdzakelijk niet-vervormbare breukpropmiddelmateri-
30 alen omvatten, bijvoorbeeld, siliciumdioxide (zoals Ottawa
zand, Brady zand of Colorado zand), synthetische organische
deeltjes, glazen microbolletjes, keramiek (met inbegrip van
aluminiumoxidesilicaten zoals Carbolite, Naplite of Econop-
rop), met hars bekleed zand (zoals Acme Borden PR 6000 of
35 Santrol Tempered HS), gesinterd bauxiet en mengsels daar-
van. Gewoonlijk wordt zand of worden synthetische breuk-

propmiddelen gebruikt. Het meest algemeen wordt zand als breukpropmiddel gebruikt.

In de praktijk van de onderhavige werkwijze, kan elk natuurlijk of synthetisch deeltjesvormig materiaal dat hoofdzakelijk vervormbaar is onder omstandigheden in de boorput in aanwezigheid van breukpropmiddelmateriaal worden gebruikt om de vorming van fijne deeltjes te verminderen, om de breukgeleidbaarheid te verbeteren en/of om de terugvloei van propmiddelmateriaal of formatiematerialen te verminderen. Voorbeelden van dergelijke grotendeels vervormbare deeltjesvormige materialen omvatten, maar zijn niet beperkt tot, die vervormbare materialen met een Young's modulus van tussen ongeveer 500 psi en ongeveer 500.000 psi bij formatieomstandigheden, meer in het bijzonder tussen ongeveer 5.000 psi en 200.000 psi bij formatieomstandigheden en het liefst tussen ongeveer 7.000 en 150.000 psi bij formatieomstandigheden. Wanneer gebruikt in de beschreven werkwijze, dienen de grotendeels vervormbare materialen eveneens een glasovergangstemperatuur te hebben die hoger ligt dan de reservoirtemperatuur.

Afhankelijk van de formatieomstandigheden, kunnen materialen die geschikt zijn in de uitvoering van de onderhavige werkwijze, de volgende stoffen omvatten, wat niet opgevat moet worden als een beperking, celluloseacetaatbutyral, polystyreen acrylonitrile, polytetrafluorethyleen, diglycolallylcarbonaten, epoxyharsen, polyester, furan, fenolformaldehyde, fenolische epoxy, ureumaldehyden, siliconen, acrylen, vinylacetaten, caseïne en natuurlijke en synthetische rubbers. Bijvoorbeeld worden bij formatietemperaturen van ongeveer 10°C (50°F) tot ongeveer 235°C (450°F) verknoopte elastomere of polymere materialen toegepast.

Polymeren die verknoopt kunnen zijn voor doeleinden van de onderhavige werkwijze kunnen omvatten, maar zijn beperkt tot, polystyreen, methylmethacrylaat, nylon, polycarbonaten, polyethyleen, polypropyleen, polyvinylchloride, polyacrylonitril butadiëenstyreen, polyurethaan of elk an-

der geschikt polymeer en mengsels daarvan. Bijvoorbeeld kunnen geschikte verknopers divinylnbenzeen omvatten. In het bijzonder geschikte materialen kunnen vervormbare deeltjes omvatten die vervaardigd zijn van hars en/of de commercieel
5 verkrijgbare materialen die niet in grote mate reageren met bestanddelen van de bronbehandelingsvloeistoffen en die stabiel zijn in een ondergrondse formatie omgeving.

In de praktijk van de onderhavige werkwijze kunnen vervormbare deeltjes van verknoopte polymeren verschillende
10 hoeveelheden verknopers omvatten om propmiddelpakkingen te vervaardigen met verschillende stabiliteiten en geleidbaarheden. In dit opzicht kan elke hoeveelheid verknoper worden gebruikt die geschikt is voor het vormen van een vervormbaar deeltje. Percentages verknoper die worden toegepast
15 kunnen worden gekozen afhankelijk van vele factoren indien het gewenst is, zoals het beoogde gebruik van het vervormbare deeltje, het specifieke verknopingsmiddel en andere bestanddelen die eventueel aanwezig kunnen zijn in de vervormbare deeltjes. Bijvoorbeeld verandert het aanpassen het
20 percentage van divinylnbenzeen-verknoper dat aanwezig is in polystyreendivinylnbenzeenkorrels van ongeveer 4% tot ongeveer 0,5% tot ongeveer 0,3% van de beoogde Young's modulus bij standaard omstandigheden van ongeveer 70.000 psi tot ongeveer 50.000 psi tot ongeveer 30.000 psi, respectie-
25 velijk.

In één uitvoeringsvorm van de onderhavige werkwijze waarbij polystyreendivinylnbenzeenkorrels worden gebruikt, hebben deze polystyreendivinylnbenzeenkorrels gewoonlijk een hoeveelheid divinylnbenzeen-verknoper van min-
30 der dan 10%, vaker minder dan ongeveer 5%, zelfs minder dan ongeveer 4%, of zelfs minder dan ongeveer 3%, waarbij zelfs ongeveer minder dan 2% wordt toegepast, en zelfs minder dan ongeveer 1%, maar ook zelfs minder dan ongeveer 0,5%, waarbij zelfs de mogelijkheid bestaat dat er minder dan onge-
35 veer 0,3%, betrokken op het gewicht, wordt toegepast. Het zal echter duidelijk zijn aan de hand van de onderhavige beschrijving dat polystyreendivinylnbenzeenkorrels met een

hoeveelheid divinylnbenzeen-verknoper van meer dan ongeveer 10 gew.% en minder dan ongeveer 0,2% of minder dan ongeveer 0,1 gew.% ook kunnen worden toegepast. In een andere uitvoeringsvorm kunnen verknoopte polymeren voor gebruik in de

5 beschreven werkwijze polystyreendivinylnbenzeenkorrels omvatten die kenmerkend ongeveer 0,1% tot ongeveer 10%, meer in het bijzonder ongeveer 0,2% tot ongeveer 4%, zelfs nog meer in het bijzonder ongeveer 0,3% tot ongeveer 4%, zelfs ongeveer 0,5% tot ongeveer 4%, en nog meer zelfs ongeveer

10 0,3% tot ongeveer 2%, zelfs nog meer zelfs ongeveer 0,3% tot ongeveer 1% zelfs, en het meest zelfs ongeveer zelfs ongeveer 0,3% tot ongeveer zelfs 0,5% divinylnbenzeen-verknoper, betrokken op het gewicht, bevatten. In een nog andere aparte uitvoeringsvorm, kunnen polystyreendivinylnben-

15 zeenkorrels worden gebruikt, die een hoeveelheid betrokken op het gewicht aan divinylnbenzeenverknoper bevatten van respectievelijk ongeveer 0,3%, ongeveer 0,4%, ongeveer 0,5% tot ongeveer 4%, of ongeveer 4%.

Aan de hand van de onderhavige beschrijving zal

20 het duidelijk zijn dat polystyreendivinylnbenzeenkorrels met een hoeveelheid divinylnbenzeen-verknoper in het hierboven genoemde traject gebruikt kan worden onder een grote verscheidenheid aan formatieomstandigheden. Het kan bijvoorbeeld de voorkeur hebben om korrels te gebruiken die minder

25 divinylnbenzeenverknoppingsmiddel bevatten bij lagere sluitspanningen in de formatie. Volgens één uitvoeringsvorm kunnen polystyreendivinylnbenzeenkorrels die ongeveer 0,3% tot ongeveer 0,5%, betrokken op het gewicht, divinylnbenzeen-verknoper bevatten, dus eventueel worden toegepast in de

30 behandeling van formaties met sluitspanningen van minder dan ongeveer 6000 psi. In een andere uitvoeringsvorm kunnen polystyreendivinylnbenzeenkorrels met meer dan of gelijk aan ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen-verknoper worden toegepast in behandelingsformaties met sluitspanningen van meer dan

35 ongeveer 6000 psi. Het zal aan de hand van deze beschrijving duidelijk zijn dat deze specifieke voorbeelden alleen dienen ter illustratie van bepaalde kenmerkende uitvoe-

ringsvormen en derhalve niet het gebruik van de verschillende polystyreendivinylnbenzeenkorrels beperken met deze of andere specifieke percentages divinylnbenzeen-verknoper bij andere sluitspanningen of trajecten van sluitspanningen dan die hier als voorbeeld werden gegeven.

Voor illustratieve doeleinden bevat tabel I een gedeeltelijke opsomming van smeltpunt, glasovergangstemperatuur en Young's modulus van de elasticiteitswaarden voor sommige polymeermaterialen die hierboven zijn genoemd. In de praktijk van de beschreven werkwijze, worden polystyreendivinylnbenzeenkorrels kenmerkend toegepast bij formatietemperaturen van ongeveer 65 tot ongeveer 150°C (150 tot ongeveer 300°F), en bij formatiespanningswaarden van ongeveer 500 tot ongeveer 1200 psi. Voor lagere formatietemperaturen, zoals lager dan 65°C (150°F), zijn materialen zoals rubber of niet verknoopte polymeren, met inbegrip van niet verknoopte soorten van de hierboven genoemde polymeren, geschikt. Bij hogere formatietemperaturen, zoals hoger dan ongeveer 150°C (300°F), kunnen materialen zoals polyvinylchloride of zachte metalen, zoals lood, koper en aluminium, worden toegepast. Voor elk bepaald materiaal, kan de waarde van de Young's modulus variëren met de in situ-formatieomstandigheden, zoals de temperatuur en de druk (of de spanning). Als voorbeeld illustreert figuur 10 de onderlinge samenhang tussen de waarden van de Young's modulus en de spanning voor polystyreendivinylnbenzeenkorrels.

30

35

1007616

TABEL I

Polymeer	Smeltpunt (°C)	Overgangstem- peratuur (°C)	Elasticiteitsmodulus (psi)	
			Lagere traject	Hogere traject
Polyacrylonitril butadiëen-styreen		90-120	---	1.300.000
Melamine-formaldehyde	240	85-105	400.000	600.000
Polystyreen	100		350.000	500.000
Methylmethacrylaat		105	290.000	325.000
Polycarbonaat	285	75-105	200.000	600.000
Polyvinylchloride	135		85.000	160.000
Hoge-dichtheid polyethyleen	115		35.000	90.000
Lage-dichtheid polyethyleen			7.000	150.000
Polystyreendivinylbenzeen	168	25	1.400	1.700
Polypropyleen		90-105		
Polyurethaan				

Figuur 5 illustreert slechts één uitvoeringsvorm van een veel-vlakkige structuur die waarschijnlijk in situ wordt gevormd tussen korrelvormige vervormbare deeltjes en breukpropmiddel materiaal in de praktijk van de beschreven werkwijzen. In de beschreven werkwijzen, kunnen vervormbare deeltjes van elke vorm en grootte geschikt voor het vormen van veel-vlakkige structuren of netwerken in situ met breukpropmiddelen worden toegepast, zoals die deeltjes met vormen zoals hiervoor zijn genoemd. Dit eveneens met inbegrip van de vervormbare deeltjes die geschikt zijn voor het vormen van veel-vlakkige structuren of netwerken die verbeterde breukgeleidbaarheid en/of verminderde vorming van fijne deeltjes leveren dan de gebruikelijke propmiddelpakkingen.

Er wordt verondersteld dat de optimale afmeting van het vervormbare deeltjesvormige materiaal, ten opzichte van het breukpropmiddel materiaal, onder andere kan afhangen van de in situ-sluitspanningen. Een vervormbaar deeltjesvormig materiaal met een afmeting groter dan het breukpropmiddel materiaal kan bijvoorbeeld gewenst zijn bij een sluitspanning van ongeveer 1000 psi of minder, terwijl een vervormbaar deeltjesvormig materiaal met een afmeting ongeveer gelijk aan het breukpropmiddel materiaal gewenst kan zijn bij sluitspanningen van ongeveer 5000 psi of groter.

Hoewel vervormbare deeltjesvormige materiaal kleiner dan het breukpropmiddel kan worden toegepast, kan dit in sommige gevallen de neiging hebben om te worden opgesloten in de tussenruimten van de breukpakking. Kenmerkend hebben de
5 vervormbare deeltjes die in de onderhavige werkwijze worden gebruikt een korrelvormige vorm en een afmeting van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh, meer in het algemeen ongeveer 16 mesh tot ongeveer 40 mesh, en het liefst ongeveer 20/40 mesh. Volgens één uitvoeringsvorm kunnen de
10 vervormbare deeltjes derhalve in afmeting variëren van ongeveer 1 of 2 mm tot ongeveer 0,1 mm; meer in het bijzonder zal hun afmeting liggen van ongeveer 0,2 mm tot ongeveer 0,8 mm, meer kenmerkend van 0,4 mm tot ongeveer 0,6 mm, en het liefst ongeveer 0,6 mm. Afmetingen groter dan ongeveer
15 2 mm en kleiner dan ongeveer 0,1 mm zijn echter eveneens mogelijk.

Niet-vervormbare breukdeeltjes met een afmeting hoofdzakelijk gelijk of slechts weinig groter dan een gekozen breukpropmiddelmateriaal worden kenmerkend toegepast.
20 Breukpropmiddelaafmetingen kunnen elke afmeting zijn die geschikt is voor gebruik in een breukbehandeling van een ondergrondse formatie. Kenmerkend varieert in de onderhavige werkwijze de afmeting van het breukpropmiddel van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh, meer in het bijzonder van ongeveer 12 mesh tot ongeveer 50 mesh, en het liefst ongeveer
25 20/40 mesh.

Vervormbare deeltjes met elke dichtheid die geschikt is voor het breken van een ondergrondse formatie kunnen worden toegepast in de praktijk van de onderhavige
30 werkwijze. Volgens één kenmerkende uitvoeringsvorm is de specifieke dichtheid van een vervormbaar deeltjesvormig materiaal echter van ongeveer 0,3 tot ongeveer 3,5, meer kenmerkend van 0,4 tot ongeveer 3,5, nog meer kenmerkend van ongeveer 0,5 tot 3,5, en nog meer kenmerkend van ongeveer
35 0,6 tot 3,5, en zelfs meer kenmerkend van ongeveer 0,8 tot ongeveer 3,5. Meer kenmerkend wordt een vervormbaar deeltjesvormig materiaal met een specifieke dichtheid van onge-

veer 1,0 tot ongeveer 1,8 toegepast, en het meest kenmerkend wordt een vervormbaar deeltje met een specifieke dichtheid van ongeveer 1,0 tot ongeveer 1,1 toegepast. In een andere specifieke uitvoeringsvorm, kan een deeltjesvormig met divinylbenzeen verknoopt polystyreendeeltje een specifieke dichtheid van ongeveer 0,4 tot 0,65, en meest kenmerkend van ongeveer 0,6, hebben. Andere specifieke dichtheden zijn echter eveneens mogelijk. Het heeft voordeel, wanneer vervormbare deeltjes met een dichtheid van minder dan die van een gekozen breukpropmiddel materiaal worden toegepast, dat verminderde behandelingsdrukken en concentratieniveau's van potentieel voor de formatie nadelige gegeleerde of visceuze vloeistoffen kunnen worden toegepast. Dit kan hogere behandelingssnelheden mogelijk maken en/of resulteren in een hogere formatieproductiviteit.

Vervormbare deeltjes kunnen worden gemengd en verpompt met breukpropmiddel materiaal gedurende de gehele of gedurende een deel van een hydraulische breukbehandeling in de praktijk van de onderhavige werkwijze. Wanneer vervormbaar deeltjesvormig materiaal echter wordt gemengd met slechts een deel van een breukpropmiddel materiaal dat in een formatie wordt gepompt wordt het kenmerkend gemengd met propmiddel tijdens de latere stadia van de behandeling ten einde het vervormbare deeltjesvormige materiaal af te zetten in de breukpakking op of nabij het punt waar de boorput een ondergrondse formatie penetreert. In de praktijk van de onderhavige werkwijze, is het eveneens mogelijk dat mengsels van vervormbare deeltjes en breukpropmiddel materiaal in elke van meerdere stappen gedurende een breukbehandelingswerkwijze kunnen worden verpompt.

In de praktijk van de beschreven werkwijze kan elke geschikte concentratie van vervormbare deeltjes worden gemengd met breukpropmiddel materiaal, waarbij grotere concentraties vervormbare deeltjes gewoonlijk resulteren in een grotere vermindering van de vorming van fijne deeltjes voor een bepaalde formatie en een bepaald propmiddel materi-

aal. Kenmerkend kan een verhouding van breukpropmiddel tot ver-vormbaar deeltjesvormig materiaal liggen van ongeveer 1:1 tot 15:1, betrokken op het volume. Meer in het bijzonder is een verhouding van breukpropmiddel tot vervormbare
5 deeltjesvormige materiaal ongeveer 3:1 tot ongeveer 7:1. Meest kenmerkend wordt een verhouding van ongeveer 3:1 toegepast.

In de praktijk van de beschreven werkwijze, kan vervormbare deeltjesvormige materiaal worden vermengd met
10 een breukpropmiddel of een mengsel van breukpropmiddelen op elke geschikte manier die geschikt is voor het afleveren van een dergelijk mengsel aan een ondergrondse formatie. Vervormbare deeltjes kunnen bijvoorbeeld worden gemengd met een breukpropmiddel voorafgaand aan het mengen met een
15 draagvloeistof, of vervormbare deeltjes kunnen worden gemengd met een draagvloeistof voor of nadat een draagvloeistof is gemengd met een propmiddel. Vervormbare deeltjesvormige materialen kunnen eveneens worden gemengd in een oplossing die later wordt toegevoegd aan een propmiddel
20 of een draagvloeistof wanneer deze wordt gepompt. Bovendien kunnen mengsels of vermengingen van vervormbare deeltjes en breukpropmiddel worden geïnjecteerd in een ondergrondse formatie gelijktijdig met andere behandelingen bij drukken die voldoende hoog zijn om de vorming of de vergroting van
25 breuken in de formatie te veroorzaken, of om anderszins het mengsel van vervormbare deeltjes en breukpropmiddelmateriaal bloot te stellen aan formatiesluitspanningen. Dergelijke andere behandelingen kunnen plaatsvinden in de buurt van boorputten in de natuur (wat dichtbijzijnde boorputgebieden beïnvloedt) en kan gericht zijn op het verbeteren van de productiviteit van de boorput en/of het regelen van de productie van breukpropmiddel of formatiezand. Kenmerkende voorbeelden omvatten grindmantels en schuurpakkingen (frac-packs).

35 In de praktijk van de beschreven werkwijze, kan elke draagvloeistof die geschikt is voor het transporteren van een mengsel van een breukpropmiddelmateriaal en ver-

vormbare deeltjes in een formatiebreuk in een ondergrondse put worden gebruikt met inbegrip van maar niet beperkt tot draagvloeistoffen omvattende zout water, vers water, vloeibare koolwaterstoffen, en/of stikstof en andere gassen. Geschikte draagvloeistoffen omvatten of kunnen worden gebruikt in combinatie met vloeistoffen met geleermiddelen, verknopingsmiddelen, gelbrekers, uithardbare harsen, uithardingsmiddelen, oplosmiddelen, oppervlakte actieve stoffen, schuimmiddelen, de-emulgatoren, buffers, kleistabilisatoren, zuren of mengsels daarvan.

De kunststof polystyreendivinylnbenzeenkorrels voor gebruik met de beschreven werkwijzen kunnen worden bereid door methoden die bekend zijn aan degenen die in de techniek ervaring hebben of die kunnen worden verkregen bij Dow Chemical.

Gewoonlijk hebben de verknoopte polystyreенkorrels een specifieke dichtheid van ongeveer 1,0 tot 1,8. In een meest bevoorkeurde uitvoeringsvorm van de beschreven werkwijze, worden 20-40 mesh polystyreendivinylnbenzeencopolymerkorrels met een specifieke dichtheid van ongeveer 1,0 gemengd met 20/40 mesh Ottwa zand bij een verhouding van ongeveer 3:1, betrokken op het gewicht. Deze korrels zijn in de handel verkrijgbaar als smeervloeistof bij Sun Drilling Products onder de handelsnaam Lubraglide of als ionuitwisselingskorrels, vervaardigd bij Dow Chemical. Deze korrels hebben een samendrukweerstand, zijn bestand tegen oplosmiddelen en zijn nagenoeg rond en glad van vorm, met lengte tot breedte en lengte tot hoogte verhoudingen van ongeveer 1:1. Aangezien de polystyreendivinylnbenzeenkorrels volgens deze uitvoeringsvorm een verminderde bulkdichtheid hebben (dat wil zeggen ongeveer $0,64 \text{ g/cm}^3$), kunnen de korrels worden gesuspendeerd in frac-vloeistoffen met een aanzienlijke vermindering van geleermiddelen. Met een vermindering van de dichtheid, hebben deze kunststofkorrels minder pakdichtheid (dat wil zeggen lb/ft^2 oftewel kg/cm^2) om dezelfde breukwijdte te verkrijgen. Testresultaten gaven aan dat deze korrels vervormbaar zijn onder omstandigheden

van spanningen en indien vergeleken met zandpropmiddelen. Testresultaten gaven aan dat deze korrels verenigbaar zijn met oplosmiddelen en zuren die gebruikt worden bij olievelden. Bevoorkeurde formatiebehandelingseigenschappen die
5 worden verschaft door polystyreendivinylnbenzeenkorrels zijn onder andere sterkte, samendrukbestendigheid, chemische bestendigheid, elasticiteit, hoge glasovergangstemperatuur. Deze korrels vertonen eveneens geen kruip (dat wil zeggen dat ze bestand zijn tegen langzame veranderingen in vorm
10 ten gevolge van constante krachten).

Wanneer de kunststofkorrels volgens deze uitvoeringsvorm worden gemengd met nagenoeg bolvormige breukpropmiddelmaterialen van hoofdzakelijk gelijke afmeting, wordt waarschijnlijk een hexagonale dichte pakking (hexagonal-close-pack, HCP) gevormd (dat wil zeggen dat er gewoonlijk
15 6 contactpunten per kunststofkorrels worden verkregen). Elk contactpunt kan een nagenoeg vlak contactoppervlak bij hogere spanningen vormen, aangezien de kunststofkorrels tot een kleiner volume worden gedwongen, zoals onder omstandigheden van sluitspanningen. Aangezien kunststofkorrels volgens deze uitvoeringsvorm van de beschreven werkwijze kunnen vervormen tot een nagenoeg en hoofdzakelijk vlak oppervlak op meerdere zijden, kan de Young's modulus voor een propmiddelpakking dat deze korrels bevat, worden verhoogd
20 wat vervolgens de cohesie van de deeltjes en de propmiddelpakkingstabiliteit verhoogt en de terugvloei van propmiddel verlaagt. Wanneer kunststofkorrels volgens deze uitvoeringsvorm worden gemengd met hardere, niet-vervormbare deeltjes, zoals zand, kunnen propmiddelpakkingen worden gevormd met propmiddeldeel-
30 tjes die in de vervormde oppervlakken van de kunststofkorrels zijn opgesloten, waardoor een sterkere pakking wordt verkregen. Hoewel hoofdzakelijk bolvormig breukpropmiddel materiaal van nagenoeg uniforme grootte in deze uitvoeringsvorm wordt beschreven, zal het
35 duidelijk zijn met betrekking tot deze beschrijving dat niet-bolvormige en/of niet-uniforme breukpropmiddelmateri-

alen eveneens voordelig kunnen worden toegepast in de praktijk van de beschreven werkwijze.

Voorbeelden

5 De volgende voorbeelden zijn illustratief en dienen niet te worden opgevat als beperkend voor het bereik van de uitvinding of de conclusies.

Voorbeelden 1 - 3: kunststofkorrels

10 Polystyreendivinylnbenzeencopolymeerkorrels met een afmeting van 20/40 mesh werden alleen beoordeeld (zonder andere propmiddelmaterialen) met gebruikmaking van gemodificeerde API standaarden. Deze korrels bevatten ongeveer 4
15 gew.% divinylnbenzeen. Deze kunststofkorrels die worden gebruikt in dit voorbeeld bleken de standaard API RP 56 test voor rondheid, bolvormigheid en zuuroplosbaarheid (in dit geval 0,5%), te doorstaan. De beoordeling werd eveneens uitgevoerd om te bepalen of er enig opzwellen in oplosmiddel plaatsvond. De korrels werden in xyleen geplaatst op
20 kamertemperatuur en gedurende 65 uur gefotografeerd. Het trad onder deze omstandigheden geen opzwellen op. De standaard API samendruk test werd eveneens uitgevoerd op de korrels bij drukken tussen 2.000 en 8.000 psi. Het bleek dat kunststofkorrels van dit soort gewoonlijk geen breuk of
25 versplintering op een brosachtige manier veroorzaken waardoor kleine deeltjes worden gevormd, maar in plaats daarvan plastisch vervormen waardoor vlakke bollen op een ronde oppervlak worden verkregen. Derhalve werden er niet-API proeven uitgevoerd om de samendrukeigenschappen van de korrels
30 te bepalen.

Voorbeeld 1: API RP 56 beoordeling

De polystyreendivinylnbenzeenkorrels volgens deze uitvoeringsvorm hadden een bolheid van 0,9 en een rondheid
35 van 0,9 wat geschikt is voor propmiddelen aangezien het overeenkomt met het vereiste minimum van 0,6 voor elk van deze eigenschappen. Een zelfanalyse van het materiaal ver-

schafte een aanvaardbare 93,8% 20/40 verdeling waarbij 6,1% achterbleef op de 50 mesh zeef en 0,1% vaste stoffen aanwezig bleken te zijn. De zuuroplosbaarheid bij 150°F was aanvaardbaar met 0,5% waarbij een 12-3 HCl-HF zuur werd gebruikt.

Voorbeeld 2: API samendruktest

Voor het bepalen van de neiging van polystyreendi-vinylbenzeenkorrels volgens deze uitvoeringsvorm om fijne deeltjes te vormen onder sluitspanning, werden de kunststofkorrels samengedrukt bij samendrukspanningen van 2.000, 4.000, 6.000 en 8.000 psi met gebruikmaking van Equation 7.1 in API RP 60. Een uitgangstartmassa van 15,71 g voor een gemeten bulkdichtheid van 0,636 g/cm³ met gebruikmaking van een 2 inch diameter samendrukcel werd berekend. De resultaten van de samendrukproef staan weergegeven in tabel II waarbij het gewichtspercentage van fijne stoffen is gegeven voor een materiaal met een oorspronkelijke verdeling van 6,2% fijne-deeltjes bij nul-spanning. De derde kolom schat het aantal fijne deeltjes van minder dan 50 mesh door de oorspronkelijke 6,1% 50 mesh deeltjes er vanaf te trekken.

25

TABEL II

Gewichts% fijne stoffen voor kunststofkorrels-samendruktest

30

Samendrukspanning (psi)	Fijne stoffen (gew.%)	Fijne stoffen (<50 mesh) (gew.%)
0	6,2	0,1
2000	6,9	0,7
4000	6,9	0,7
8000	5,0	*

35

De resultaten die staan weergegeven in tabel II geven aan de kunststofdeeltjes samendrukbestendig zijn aangezien het percentage kleine deeltjes minder is dan 14% op alle spanningsniveaus.

5

Voorbeeld 3: niet-API samendruktest

Om de vervormingseigenschappen van de polystyreen-divinylbenzeenkorrels volgens deze uitvoeringsvorm te meten, werd het kunststofkorreelmateriaal langzaam (dat wil
10 zeggen gedurende 2 minuten) op spanning gebracht in een 1-inch diametercel door computerregeling van de gemeten belading terwijl de verandering in het monstervolume nauwkeurig werd bepaald door een gevoelige lineaire variabele differentiaal overdrager (linear variable differential transducer, LVDT) die gekalibreerd was op een nauwkeurigheid van
15 0,001 inch.

In figuur 11 staat het veranderingspercentage van het volume in de kunststofkorrels uitgedrukt als functie van de sluitspanning. Bij 2.000 psi sluitspanning is 25%
20 van het bulkvolume van de korrel verloren ten gevolge van volumeveranderingen van de poriën. Bij 6.000 psi sluitspanning was nagenoeg al het porievolume verloren (dat wil zeggen ongeveer 42%) ten gevolge van het samendrukken en de korrels zijn grotendeels een vaste conglomerate stof. Deze
25 grote samendrukking van de kunststofkorrels staat weergegeven in figuur 12 waar de verandering in de breukwijdte is uitgedrukt tegen de spanning. De verandering in de breukwijdte staat gemeten in de engelse eenheid mils (dat wil zeggen 1 mil = 0,001 inch). Ter vergelijking zijn dezelfde
30 metingen weergegeven in figuur 13 voor 20/40 mesh Ottawa zand propmiddel bij een gewicht van 2 lb/ft². Bij 4.000 psi sluitspanning, zijn de kunststofkorrels samengedrukt tot 210 mils. Ottawa zand is slechts 17 mils samengedrukt. De gegevens in de figuren 12 en 13 tonen aan dat de samendrukken van de kunststofkorrels een factor 12 groter is dan het
35 samendrukken van Ottawa zand. Voor Ottawa zand begint het samendrukken van het propmiddel bij ongeveer 4.500 psi en

dit neemt aanzienlijk toe voor spanningen groter dan 6.000 psi.

Voorbeelden 4 - 6: kunststofkorrels/Ottawa zand mengsels

5 Geleidbaarheidsanalyses werden uitgevoerd op combinaties van kunststofkorrels en Ottawa zand bij 93°C (200°F). Resultaten van deze analyses staan weergegeven in tabel III en IV en zijn grafisch weergegeven in de figuren 14 en 15.

10

Voorbeeld 4: geleidbaarheidstesten

 Geleidbaarheidstesten werden uitgevoerd op een combinatie van 20/40 mesh polystyreendivinylnbenzeenkorrels en combinaties van 20/40 mesh Ottawa zand en 20/40 mesh polystyreendivinylnbenzeenkorrels volgens de onderhavige uitvoeringsvorm. Er werden testen uitgevoerd met gebruikmaking van een Dake hydraulische pers met een Rosemount differential transducer (#3051 C) en geregeld door een Camile controller. Eveneens toegepast in deze testen was een Constametric 3200 pomp met constant volume. Naast het testen van 15 alleen de 20/40 kunststofkorrels, werden een 7:1 mengsel van 1,75 lbs/ft² van 20/40 Ottawa zand tot 0,25 lbs/ft² van 20/40 mesh kunststofkorrels en een 3:1 mengsel van 1,50 lbs/ft² van 20/40 mesh Ottawa zand tot 0,50 lbs/ft² van 20 20/40 mesh kunststofkorrels eveneens getest. Gemiddelde testresultaten staan weergegeven in de tabellen III en IV evenals in de figuren 14 en 15. Voor vergelijkingsdoeleinden, zijn de geleidbaarheid en de permeabiliteitsgegevens voor 20/40 Ottawa zand, zoals gepubliceerd door Stimlab, 25 eveneens weergegeven.

30 Zoals weergegeven in de tabellen III en IV, geven de testresultaten aan dat combinaties van kunststofkorrels en Ottawa zand volgens deze uitvoeringsvorm van de beschreven werkwijze een positief synergistisch effect kunnen hebben op de permeabiliteit en de geleidbaarheid.

35

TABEL III

Permeabiliteit bij verscheidene sluitspanningen

Sluitspanning (psi)	Permeabiliteit (Darcies)			
	20/40 mesh Ottawa zand	20/40 mesh kunst- stofkorrels	3:1 combina- tie	7:1 combina- tie
1.000	277	235	356	
2.000	248	99	272	262
4.000	142		189	143
6.000	45		120	52
8.000	16		55	17
10.000	9		36	

TABEL IV

Geleidbaarheid bij verscheidene sluitspanningen

Sluitspanning (psi)	Geleidbaarheid (md-ft)			
	20/40 mesh Ottawa zand	20/40 mesh kunst- stofkorrels	3:1 combina- tie	7:1 combina- tie
1.000	5135	7110	8355	
2.000	4340	3260	5778	5424
4.000	2640		3013	2811
6.000	1178		1310	977
8.000	292		976	295
10.000	164		639	

Zoals is weergegeven in de tabel III en figuur 14, was er bij een 3:1 mengsel van 1,50 lbs/ft² van 20/40 mesh Ottawa zand ten opzichte van 0,50 lbs/ft² plastickorrels een consistente toename in de permeabiliteit ten opzichte van 20/40 mesh Ottawa zand propmiddel alleen. Bij een sluitspanning van 2.000 psi was de toename in de permeabiliteit van een mengsel ten opzichte van Ottawa zand alleen ongeveer 10% (van ongeveer 250 darcy tot ongeveer 270 darcy), bij 4.000 psi was de toename ongeveer 35% (van ongeveer 140 darcy tot ongeveer 190 darcy), en bij 8.000 psi was de toename ongeveer 240% (van ongeveer 16 darcy tot ongeveer 55 darcy). Bijzonder is dat bij een sluitspanning

van 10.000 psi de permeabiliteit van 36 darcy van de 3:1 combinatie ongeveer 300% groter is dan de permeabiliteit van Ottawa zand alleen die namelijk 9 darcy bedroeg. Onder andere toonde deze test de mogelijkheid van de korrels aan om de productie van fijne stoffen door Ottawa zand bij hoge sluitspanningen te voorkomen doordat er geen korrel op korrelcontact tussen de korrels van het propmiddel meer bestond.

Het blijkt eveneens uit tabel III en figuur 14 dat bij een temperatuur van 200°F een 7:1 mengsel van 1,75 lbs/ft² van 20/40 mesh Ottawa zand tot 0,25 lbs/ft² plastic-korrels permeabiliteitswaarden verschaft die dichter bij die van Ottawa zand liggen, dan het geval is bij een 3:1 mengsel. Tabel IV en figuur 14 tonen echter dat het 7:1 mengsel grotere geleidbaarheidwaarden gaf dan Ottawa zand behalve voor de sluitspanning van 6.000 psi. Bovendien kan voor temperaturen onder 200°F een grotere permeabiliteit en geleidbaarheidsverbetering worden verwacht bij een 7:1 mengsel. Ook aan de hand van de onderhavige zal het beschrijving duidelijk zijn dat mengsels van vervormbare deeltjesvormige materiaal en breukpropmiddel volgens de beschreven werkwijze kunnen worden gebruikt om de vorming van fijne stoffen goed te reduceren en/of vermindering van terugvloeï van propmiddel onafhankelijk van of samen met enige overeenkomstig permeabiliteits- of geleidbaarheidsverbetering ten opzichte van breukmiddel alleen te verkrijgen.

Opnieuw onder verwijzing naar figuur 11 tonen vervormigstesten aan dat een vervormbaar deeltje, in deze uitvoeringsvorm een polystyreendivinylnbenzeenkorrel met een afmeting van 20/40 US mesh en die ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen bevat, vervormt waardoor ongeveer 33% van de bestaande porieruimte bij een sluitspanning van 1.000 psi inzakt. Bij een sluitspanning van ongeveer 2.000 psi had er een vervorming van 55% plaatsgevonden en bij 8.000 psi was de porieruimte ongeveer nul. Zoals blijkt uit figuur 15, is, wanneer 20/40 mesh polystyreendivinylnbenzeenkorrels

volgens deze uitvoeringsvorm worden gecombineerd met 20/40 mesh Ottawa breukzand in een volumeverhouding van 3:1, de geleidbaarheid bij alle spanningswaarden die boven zijn genoemd groter dan wanneer het propmiddel alleen wordt gebruikt. Bij een sluitspanning van 1.000 psi had het 3:1 mengsel een geleidbaarheid van ongeveer 8355 md-ft terwijl de geleidbaarheid van 20/40 mesh Ottawa propmiddel alleen 5135 md-ft bedroeg en de geleidbaarheid van polystyreendivinylnbenzeenkorrels alleen bleek 7110 md-ft te zijn. Bij een sluitspanning van 2.000 psi zijn de geleidbaarheidswaarden 5778 md-ft voor het 3:1 mengsel, 4340 md-ft voor het 20/40 mesh Ottawa zand en 3260 md-ft voor de plastic-korrels. Bij 6.000 psi gaf het 3:1 mengsel 1310 md-ft terwijl 20/40 mesh Ottawa zand alleen een geleidbaarheid van 1178 md-ft gaf. In figuur 15 kan een overeenkomstige effect worden waargenomen voor het 7:1 mengsel.

Voorbeeld 5: samendruktest

Vermindering van de vorming van fijne deeltjes met het gebruik van de uitvoeringsvorm volgens de beschreven werkwijze blijkt duidelijk uit de vermorzelttest die zijn uitgevoerd op 3:1 en 7:1, betrokken op het volume, mengsels van 20/40 mesh Ottawa zand en de polystyreendivinylnbenzeenkorrels volgens de onderhavige uitvoering. Zoals blijkt uit figuur 16 neemt de vorming van fijne deeltjes als percentage van het propmiddel (20/40 mesh Ottawa zand) af met toenemende concentratie van vervormbaar kunststofmateriaal. Bij een sluitspanning van 6.000 psi werden 22% fijne stoffen gegenereerd door het 20/40 mesh Ottawa zand dat hierboven is genoemd. Deze hoeveelheid fijne stoffenvorming is hoger dan de hoeveelheid die door de API wordt aangeraden als maximale vorming van fijne stoffen, die namelijk 20% voor propmiddeltoepassingen bedraagt. Voor een 7:1 verhouding van 20/40 mesh Ottawa zand tot 20/40 mesh polystyreen-divinylnbenzeenkorrels, werden ongeveer 13% fijne stoffen gevormd. Voor een 3:1 verhouding van 20/40 mesh Ottawa zand tot 20/40 mesh polystyreendivinylnbenzeenkorrels (4% divi-

nylbenzeen) werd ongeveer 8% fijne stoffen gevormd. Deze hoeveelheden fijne stoffen die worden gevormd zijn veel lager dan het maximum dat door de API wordt aangeraden.

5 Zoals blijkt uit figuur 16, was de mate van vermindering in de vorming van fijne stoffen voor 20/40 mesh Ottawa zand/20/40 mesh polystyreendivinylnbenzeenkorrelmengsels zelfs nog groter bij hogere sluitspanningen. Bijvoorbeeld werd bij 8.000 psi sluitspanning ongeveer 33% fijne stoffen gegenereerd door het 20/40 mesh Ottawa zand
10 alleen, 22% fijne stoffen voor 7:1 mengsel en 13% fijne stoffen voor 3:1 mengsel. Bij een sluitspanning van 10.000 psi werden ongeveer 40% fijne stoffen geproduceerd door het 20/40 mesh Ottawa zand, 29% door een 7:1 mengsel en 15% door een 3:1 mengsel. Het is belangrijk dat de mate van
15 vorming van fijne stoffen door het 3:1 mengsel ongeveer 20% bleef, zelfs bij een sluitspanning van 10.000 psi.

Deze testresultaten geven aan dat de vermindering in de vorming van fijne stoffen door de beschreven werkwijze kan worden verkregen onder een brede variëteit aan
20 sluitspanningsomstandigheden. Deze resultaten geven eveneens aan dat het bruikbare traject van breukpropmiddelmaterialen, zoals Ottawa zand, kan worden verbeterd tot hogere spanningsniveaus met gebruikmaking van vervormbare deeltjes volgens de beschreven werkwijze.

25

Voorbeeld 6: pakkinggeometrieën

Onder verwijzing naar figuur 17 worden foto's van polystyreendivinylnbenzeenkorrels verkregen uit een stereomicroscoop, getoond. Deze korrels werden gemengd met een
30 Ottawa zand breukpropmiddelmetaal bij een verhouding van 3:1 om een gesimuleerde propmiddelpakking te vormen, en vervolgens onderworpen aan een spanning van 10.000 psi. De spanning werd er vervolgens afgehaald en de vervormde polystyreendivinylnbenzeenkorrels werden gefotografeerd. Zoals
35 blijkt uit figuur 17 werden driedimensionale structuren gevormd onder spanning tussen vervormbare polystyreendivinylnbenzeenkorrels (110) en (120) en breukpropmiddeldeeltes

(116), waarbij gerimpelde oppervlakken (114) en (124) op de zijden van de korrels (110) respectievelijk (120), zonder kleven of hechting van de korrels (110) en (120) aan de breukpropmiddeldeeltes (116), optrad. De resultaten van
5 dit voorbeeld tonen aan dat de uitvoeringsvormen van de beschreven werkwijze driedimensionale meer-vlakkige structuren opleveren wanneer zij worden onderworpen aan formatiespanningen.

10 Voorbeeld 7: terugvloeioproeven

Propmiddel terugvloei werd bepaald voor Ottawa zand en mengsels van Ottawa zand met polystyreendivinylnbenzeenkorrels met verhoudingen in het traject van 3:1 tot ongeveer 6:1. Voor vergelijkingsdoeleinden werd de propmiddel-
15 terugvloei eveneens bepaald voor alleen Ottawa zand. De polystyreendivinylnbenzeenkorrels die voor deze proeven werden gebruikt bevatten ongeveer 0,5 gew.% divinylnbenzeenverknoper, hadden een Young's modulus (alzijdig) van ongeveer 50.000 psi, en hadden een afmeting van ongeveer 40
20 mesh.

De propmiddelmonsters werden gebracht in een standaard geleidbaarheidcel bij 2 lbs/ft². De breedte van de pakking werd gemeten gedurende de gehele test met gebruikmaking van een LVDT. De differentiaal druk tussen de
25 invoer en de uitvoer van water door de pakking werd gemeten met gebruikmaking van een Rosemount PD transducer en de vloeistofstroom werd gemeten door een Micromotion D6 massastroommeter. De sluitspanning (ongeveer 1.000 psi) werd op de pakking aangebracht. Het eind van de geleidbaarheid-
30 cel werd vervolgens verwijderd om de propmiddelpakking bloot te stellen en vervangen door een lexaanbuis gevuld met water. Hierdoor was het mogelijk dat zand in de buis stroomde bij bezwijking. Vervolgens werd water door de pakking gepompt bij stroomsnelheden die steeds toenamen in
35 stappen per 10 ml/minuut intervallen totdat pakkingbezwijking optrad welke werd beoordeeld door de breedte van de pakking en het verlies aan differentiaaldruk. De tempera-

tuur van het water dat in de pakking stroomde in de cel werd gehouden tussen een waarde van 64°C tot ongeveer 68°C.

5 Zoals blijkt uit de figuren 18 tot en met 21, bezweken samenstellingen van Ottawa zand/polystyreendivinylnylbenzeenkorrelmengsel (figuren 19-21) bij stroomsnelheden van groter dan ongeveer 110 ml/min terwijl de Ottawa zand
10 samenstelling bezweek bij stroomsnelheden van ongeveer 60 tot 80 ml/min. De onderhavige uitvinding maakt het dus mogelijk om een aanzienlijke verbetering (ongeveer 150%) in
15 de stabiliteit van de pakking te verkrijgen terwijl de geleidbaarheid bij sluitspanningen van ongeveer 1.000 psi wordt verbeterd.

 Hoewel de uitvinding kan worden gebruikt met verschillende modificaties en in alternatieve uitvoerings-
15 vormen, zijn hier bepaalde uitvoeringsvormen getoond die alleen als voorbeeld zijn bedoeld. Er moet echter worden gegrepen dat de uitvinding niet bedoeld is om tot deze bijzondere uitvoeringsvormen die staan beschreven beperkt te
20 zijn. De uitvinding is eerder bedoeld om alle modificaties, equivalenten en alternatieven die binnen het bereik van de uitvinding vallen zoals is gedefinieerd door de bijgevoegde conclusies te omvatten.

5

GEWIJZIGDE CONCLUSIES

10 1. Werkwijze voor het behandelen van een onder-
grondse formatie, omvattende de stap van het injecteren van
een breukvloeiستofsamenstelling in de ondergrondse formatie
waarbij de breukvloeiستofsamenstelling een mengsel omvat
van een breukpropmiddelmetaal en een vervormbaar korrel-
vormig metaal.

15

2. Werkwijze volgens conclusie 1, waarbij het
vervormbare korrelvormige metaal een Young's modulus
tussen ongeveer 500 psi en ongeveer 500.000 psi bij in situ
formatieomstandigheden heeft.

20

3. Werkwijze volgens één der voorgaande conclu-
sies, waarbij het vervormbare korrelvormige metaal ten
minste één van een polymeer, een verknoopt polymeer, een
metaal of een mengsel daarvan omvat.

25

4. Werkwijze volgens één der voorgaande conclu-
sies, waarbij het vervormbare korrelvormige metaal
polystyreendivinylobenzeen omvat.

30

5. Werkwijze volgens één der voorgaande conclu-
sies, waarbij afzonderlijke deeltjes van het vervormbare
korrelvormige metaal een vorm hebben die hoofdzakelijk
bolvormig is.

35

6. Werkwijze volgens conclusie 4, waarbij het
polystyreendivinylobenzeen ongeveer 0,1 tot ongeveer 10
gew.% divinylobenzeen omvat.

1007616

7. Werkwijze volgens conclusie 6, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,3 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

5 8. Werkwijze volgens conclusie 7, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,5 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

10 9. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies, waarbij het breukpropmiddelmetaal ten minste één van siliciumdioxide, met hars bekleed zand, keramische deeltjes, synthetische organische deeltjes, glazen microbolletjes, gesinterd bauxiet of een mengsel daarvan omvat.

15 10. Werkwijze volgens conclusie 9, waarbij het breukpropmiddelmetaal zand omvat en waarbij het vervormbare korrelvormige metaal polystyreendivinylnbenzeen omvat.

20 11. Werkwijze voor het behandelen van een ondergrondse formatie, omvattende de stap van het injecteren van een mengsel omvattende een breukpropmiddelmetaal en een vervormbaar deeltjesvormig metaal in een ondergrondse formatie, waarbij de afzonderlijke deeltjes van het vervormbare deeltjesvormige metaal een vorm hebben met een
25 maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5.

30 12. Werkwijze volgens conclusie 11, waarbij het breukpropmiddelmetaal ten minste één van zand, met hars bekleed zand, keramische deeltjes, synthetische organische deeltjes, glazen microbolletjes, gesinterd bauxiet of een mengsel daarvan omvat.

35 13. Werkwijze volgens conclusie 12, waarbij het breukpropmiddelmetaal zand omvat en het vervormbare deeltjesvormige metaal polystyreendivinylnbenzeen omvat.

14. Werkwijze volgens conclusie 13, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,1 tot ongeveer 10 gew.% divinylnbenzeen omvat.

5 15. Werkwijze volgens conclusie 14, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,3 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

10 16. Werkwijze volgens conclusie 15, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,5 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

15 17. Werkwijze volgens één der conclusies 11-16, waarbij het breukpropmiddelmetaal een deeltjesafmeting van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh heeft en waarbij het vervormbare deeltjesvormige metaal een deeltjesafmeting van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh heeft.

20 18. Werkwijze volgens één der conclusies 11-17, waarbij een verhouding van het breukpropmiddelmetaal tot het vervormbare deeltjesvormige metaal in het mengsel ongeveer 1:1 tot ongeveer 15:1, betrokken op het volume, bedraagt.

25 19. Werkwijze volgens één der conclusies 11-18, waarbij het vervormbare deeltjesvormige metaal een specifieke dichtheid heeft van ongeveer 0,4 tot ongeveer 3,5.

30 20. Werkwijze volgens één der conclusies 11-19, waarbij het vervormbare deeltjesvormige metaal een vorm heeft die ten minste korrelvormig, kubisch, staafvormig, cilindrisch, veel-vlakkig, onregelmatig, conisch of een mengsel daarvan is.

35

21. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies, waarbij de stap van het injecteren de stap omvat van

het injecteren van het mengsel in de ondergrondse formatie bij een druk die hoger is dan een breukvormingsdruk van de ondergrondse formatie.

5 22. Werkwijze volgens één der voorgaande conclusies, waarbij de stap van het injecteren de stap omvat van het injecteren van het mengsel in de ondergrondse formatie en het afzetten van het mengsel in een gebied bij de boorput.

10

23. Werkwijze voor het behandelen van een ondergrondse formatie, omvattende de stap van:

15 het injecteren van een mengsel omvattende een breukpropmiddelmetaal en een vervormbaar deeltjesvormig metaal in een ondergrondse formatie, waarbij het vervormbare deeltjesvormige metaal een vorm heeft die ten minste één is van korrelvormig, kubisch, cilindrisch, staafvormig, veel-vlakkig, onregelmatig, conisch of een mengsel daarvan;

20 waarbij elk van de korrelvormig en cilindrisch gevormde deeltjesvormige materialen een lengte en een diameter heeft, waarbij elk van de staafvormige deeltjesvormige materialen een lengte, een breedte en een dikte heeft en waarbij elk van de veel-vlakkige, onregelmatige en
25 conische deeltjesvormige materialen een lengte heeft; en

 waarbij de korrelvormig gevormde deeltjesvormige materialen een lengte tot diameter aspectverhouding hebben van gelijk aan of minder dan ongeveer 5, waarbij de cilindrisch gevormde deeltjesvormige materialen een lengte tot
30 diameter aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 hebben, waarbij de veel-vlakkige, onregelmatige en conische deeltjesvormige materialen een maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 hebben en waarbij het staafvormige deeltjes-
35 vormige metaal een lengte tot breedte aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 heeft en een lengte

tot dikte aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5 heeft.

24. Werkwijze volgens conclusie 23, waarbij het
5 vervormbare deeltjesvormige materiaal een deeltjesafmeting heeft van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh, en een specifieke dichtheid heeft van ongeveer 0,4 tot ongeveer 3,5.

10 25. Werkwijze volgens één der conclusies 23-24, waarbij het vervormbare deeltjesvormige materiaal ten minste één van een polymeer, een verknoopt polymeer, een metaal of een mengsel daarvan omvat en waarbij het breukpropmiddelmetaal ten minste één van siliciumdioxide, met
15 hars bekleed zand, keramische deeltjes, synthetische organische deeltjes, glazen microbolletjes, gesinterd bauxiet of een mengsel daarvan omvat.

26. Werkwijze volgens één der conclusies 23-25,
20 waarbij het breukpropmiddelmetaal een deeltjesafmeting heeft van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh en waarbij de verhouding van het breukpropmiddelmetaal tot het vervormbare deeltjesvormige materiaal ongeveer 1:1 tot ongeveer 15:1, betrokken op het volume, bedraagt.

25 27. Werkwijze volgens één der conclusies 23-26, waarbij het vervormbare deeltjesvormige materiaal een deeltjesafmeting heeft van ongeveer 20/40 mesh, een specifieke dichtheid heeft van ongeveer 1,0 tot ongeveer 2,0, en
30 een korrelvormige vorm.

28. Werkwijze volgens één der conclusies 25-27, waarbij het breukpropmiddelmetaal zand omvat en waarbij het vervormbare deeltjesvormige materiaal polystyreendivi-
35 nylbenzeen omvat.

29. Werkwijze volgens conclusie 28, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,1 tot ongeveer 10 gew.% divinylnbenzeen omvat.

5 30. Werkwijze volgens conclusie 29, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,3 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

10 31. Werkwijze volgens conclusie 30, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,5 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

32. Werkwijze voor het behandelen van een ondergrondse formatie, omvattende de stappen van:

15 het injecteren van een breukvloeiستofsamenstelling in de ondergrondse formatie, waarbij de breukvloeiستofsamenstelling een mengsel omvat van breukpropmiddelmetaal en vervormbaar deeltjesvormig metaal; en

20 het afzetten van de breukvloeiستofsamenstelling in de ondergrondse formatie, waarbij een in situ-geleidbaarheid van een mengsel van breukpropmiddelmetaal en vervormbaar deeltjesvormig metaal groter is dan een in situ-geleidbaarheid van het breukpropmiddelmetaal of het vervormbare deeltjesvormige metaal alleen.

25

33. Werkwijze voor het behandelen van een ondergrondse formatie, omvattende de stappen van:

30 het injecteren van een breukvloeiستofsamenstelling in de ondergrondse formatie, waarbij de breukvloeiستofsamenstelling een mengsel omvat van breukpropmiddelmetaal en vervormbaar deeltjesvormig metaal; en

35 het afzetten van de breukvloeiستofsamenstelling in de ondergrondse formatie, waarbij een in situ-vorming van fijne stoffen in het mengsel van breukpropmiddelmetaal en vervormbare deeltjesvormige metaal minder is dan een in situ-vorming van fijne deeltjes in het breukpropmiddelmetaal alleen.

34. Samenstelling voor het breken van een ondergrondse formatie, welke samenstelling een mengsel omvat van een breukpropmiddelmetaal en een vervormbaar deeltjesvormig materiaal, waarbij het vervormbare deeltjesvormige materiaal een deeltjesafmeting van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh heeft, een specifieke dichtheid van ongeveer 0,4 tot ongeveer 3,5 heeft en waarbij afzonderlijke deeltjes van het vervormbare deeltjesvormige materiaal een vorm hebben met een maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding van gelijk aan of minder dan ongeveer 5.

35. Samenstelling volgens conclusie 34, waarbij het vervormbare deeltjesvormige materiaal ten minste één van een polymeer, een verknoopt polymeer, een metaal of een mengsel daarvan omvat, en waarbij het breukpropmiddelmetaal ten minste één van siliciumdioxide, met hars bekleed zand, keramische deeltjes, synthetische organische deeltjes, glazen microbolletjes, gesinterd bauxiet of een mengsel daarvan omvat.

20

36. Samenstelling volgens één der conclusies 34-35, waarbij het breukpropmiddelmetaal een deeltjesafmeting heeft van ongeveer 4 mesh tot ongeveer 100 mesh, en waarbij de verhouding van het breukpropmiddelmetaal tot het vervormbare deeltjesvormige materiaal ongeveer 1:1 tot ongeveer 15:1, betrokken op het volume, bedraagt.

37. Samenstelling volgens één der conclusies 35-36, waarbij het breukpropmiddelmetaal zand omvat, waarbij het vervormbare deeltjesvormige materiaal polystyreendivinylnbenzeen omvat, en waarbij afzonderlijke deeltjes van het vervormbare deeltjesvormige materiaal een korrelvormige vorm hebben.

38. Samenstelling volgens conclusie 37, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,1 tot ongeveer 10 gew.% divinylnbenzeen omvat.

39. Samenstelling volgens conclusie 38, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,3 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

5 40. Samenstelling volgens conclusie 39, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen ongeveer 0,5 tot ongeveer 4 gew.% divinylnbenzeen omvat.

10 41. Werkwijze of samenstelling volgens één der voorgaande conclusies, waarbij het vervormbare korrelvormige of deeltjesvormige materiaal elastisch is.

15 42. Werkwijze volgens één der conclusies 1-31, waarbij geen kleven of hechting optreedt tussen het vervormbare korrelvormige of deeltjesvormige materiaal en het breukpropmiddel materiaal.

20 43. Werkwijze volgens één der conclusies 1-31, waarbij het breukpropmiddel materiaal en het vervormbare korrelvormige of deeltjesvormige materiaal veel-vlakkige in situ-structuren creëren.

25 44. Werkwijze of samenstelling volgens één der conclusies 11-40, waarbij afzonderlijke deeltjes van het vervormbare deeltjesvormige materiaal een vorm hebben met een maximale op de lengte gebaseerde aspectverhouding van gelijk aan ongeveer 1.

30 45. Werkwijze volgens één der conclusies 1-31, waarbij het vervormbare korrelvormige of deeltjesvormige materiaal dient om te voorkomen dat korrels met elkaar in contact komen en om spanning tussen deeltjes van het breukpropmiddel te absorberen.

35 46. Werkwijze volgens één der conclusies 1-31, waarbij een breukpakking omvattende het vervormbare korrelvormige of deeltjesvormige materiaal en het breukpropmid-

delmateriaal gevormd wordt in de ondergrondse formatie en
waarbij het vervormbare korrelvormige of deeltjesvormige
materiaal in situ vervormt waardoor in de propmiddelpakking
veel-vlakkige structuren met het breukpropmiddelmateriaal
5 gecreëerd worden.

47. Werkwijze volgens één der conclusies 11-31,
waarbij in de formatie afzonderlijke deeltjes van het
vervormbare deeltjesvormige materiaal inzakken bij puntbe-
10 lasting met deeltjes van het breukpropmiddelmateriaal.

48. Werkwijze of samenstelling volgens conclusie
4, 13, 28 of 37, waarbij het polystyreendivinylnbenzeen meer
dan ongeveer 10 gew.% divinylnbenzeen omvat.

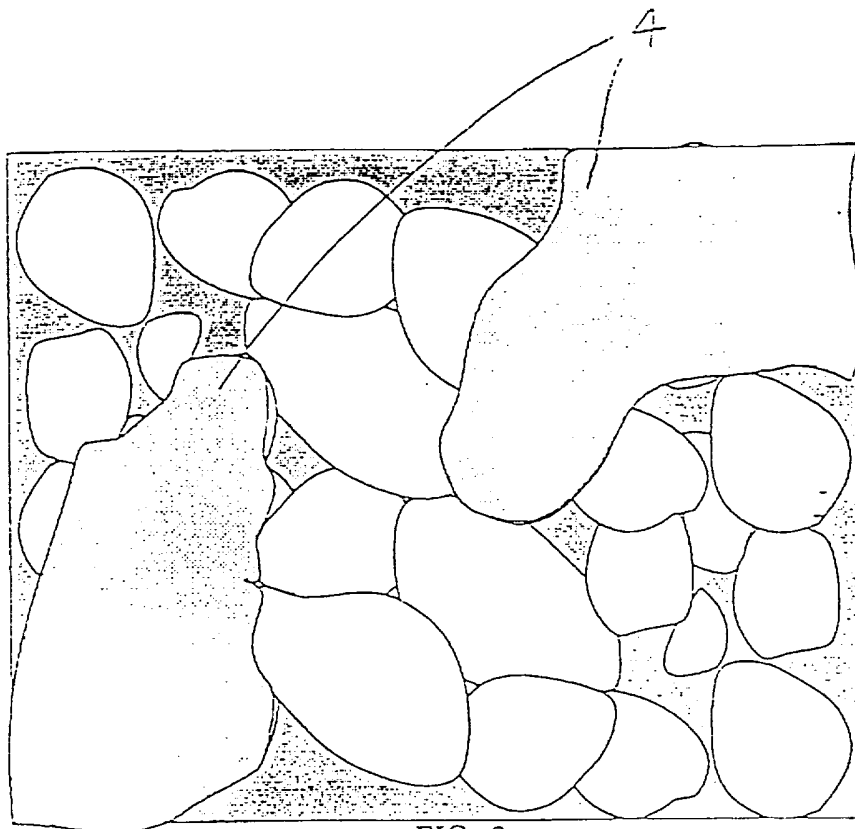


FIG. 2
STAND DER TECHNIK

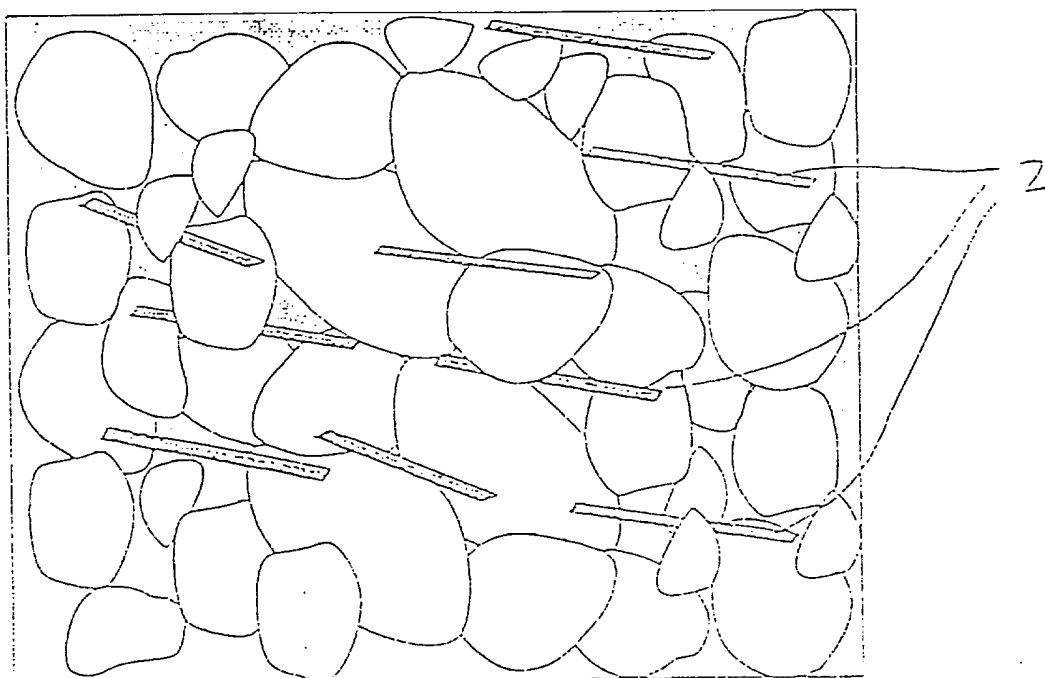


FIG. 1
STAND DER TECHNIK

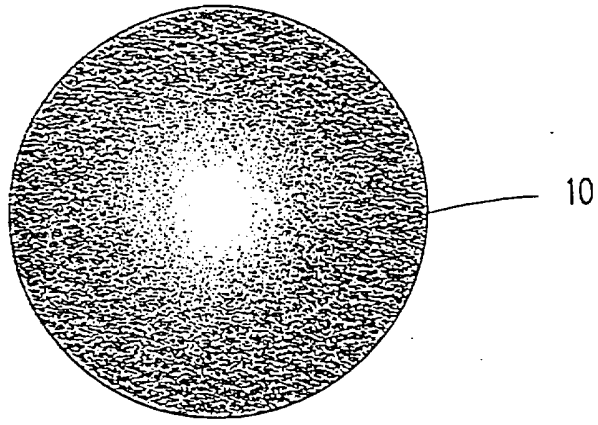


FIG. 3

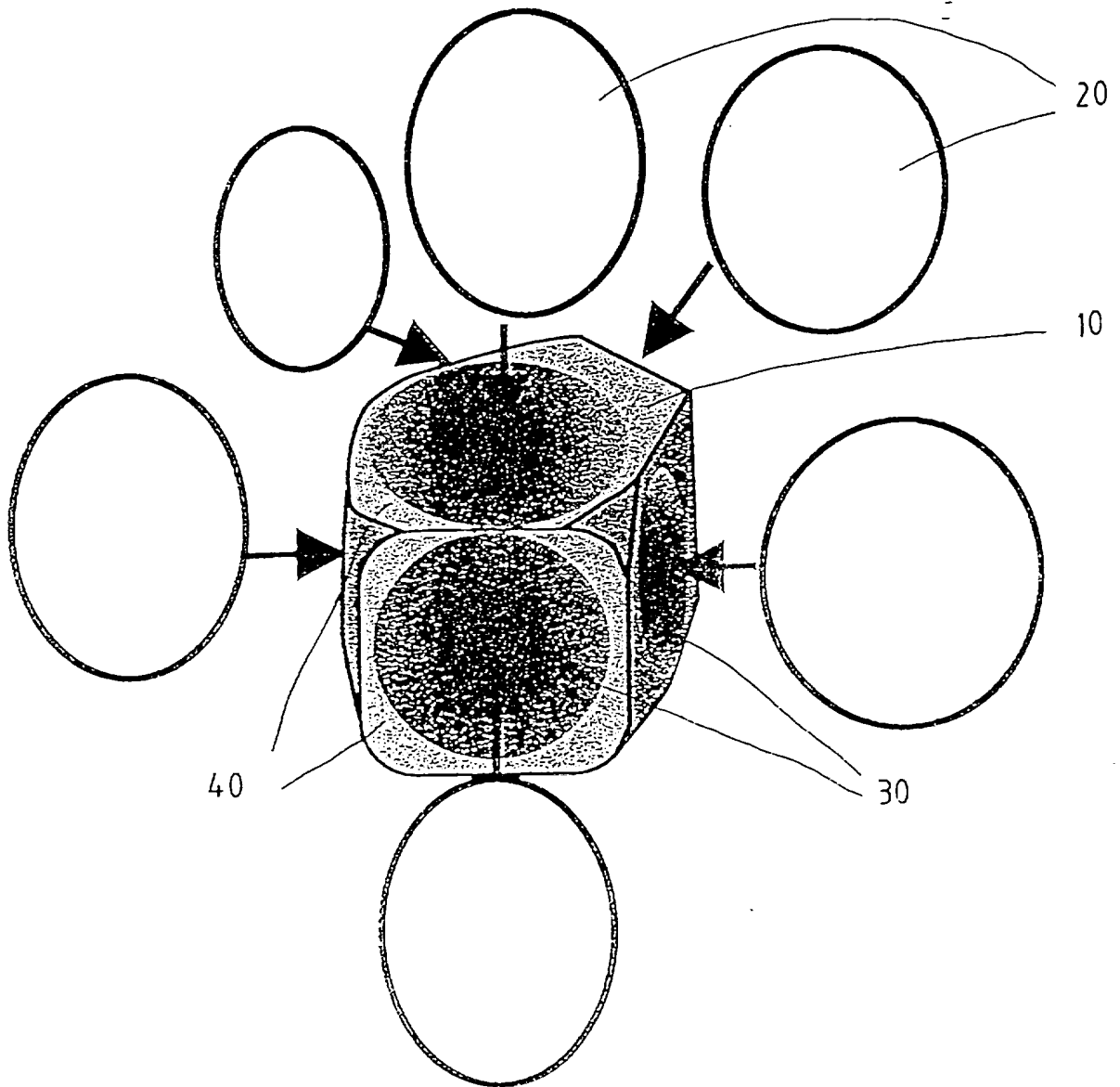


FIG. 4

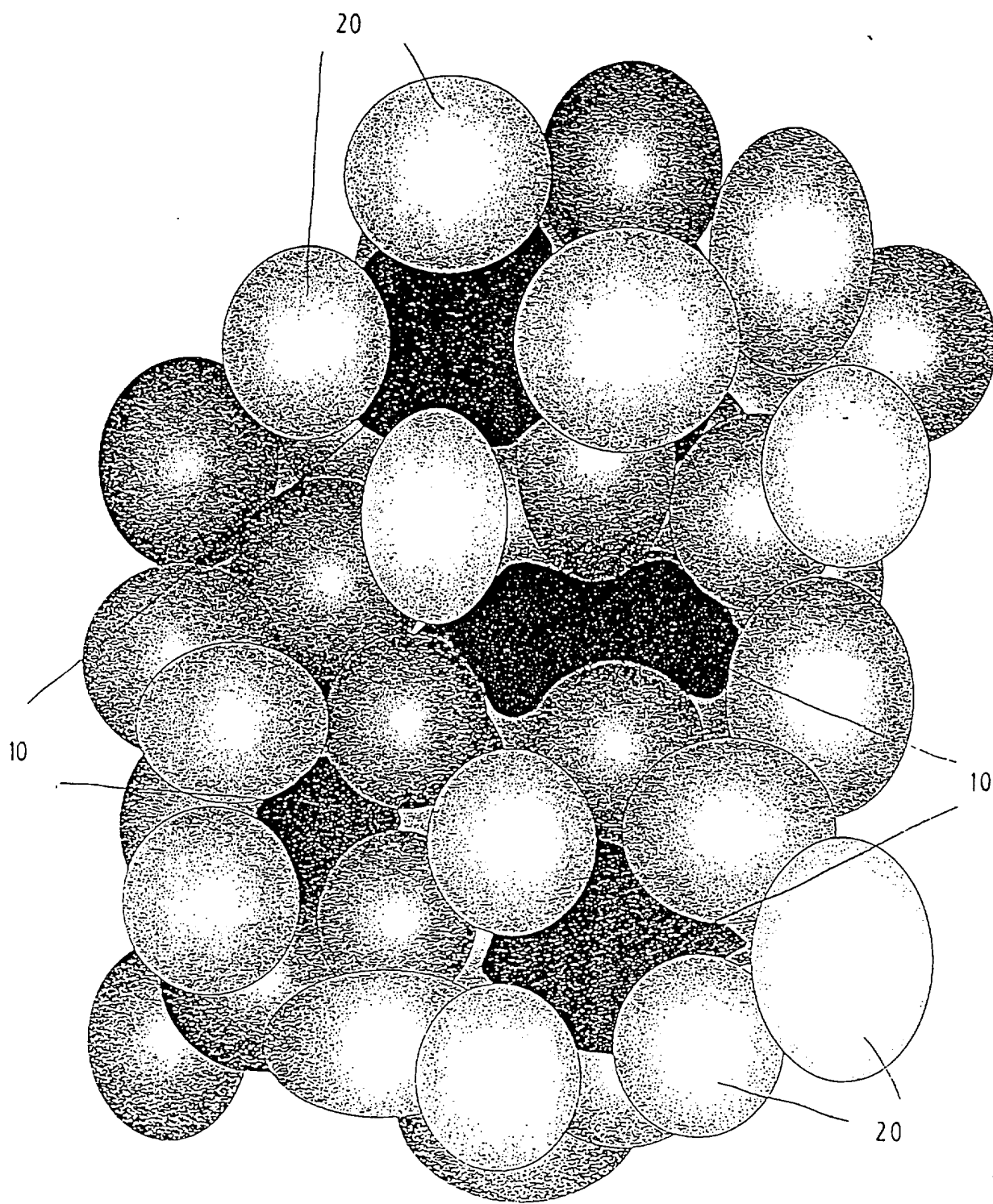


FIG. 5

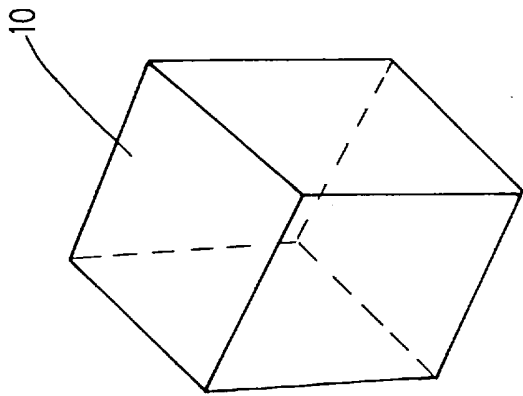


FIG. 6

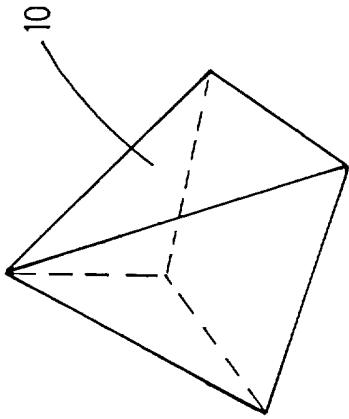


FIG. 7

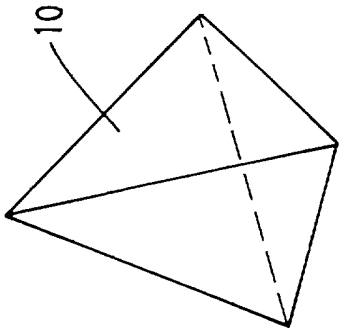


FIG. 8



FIG. 9

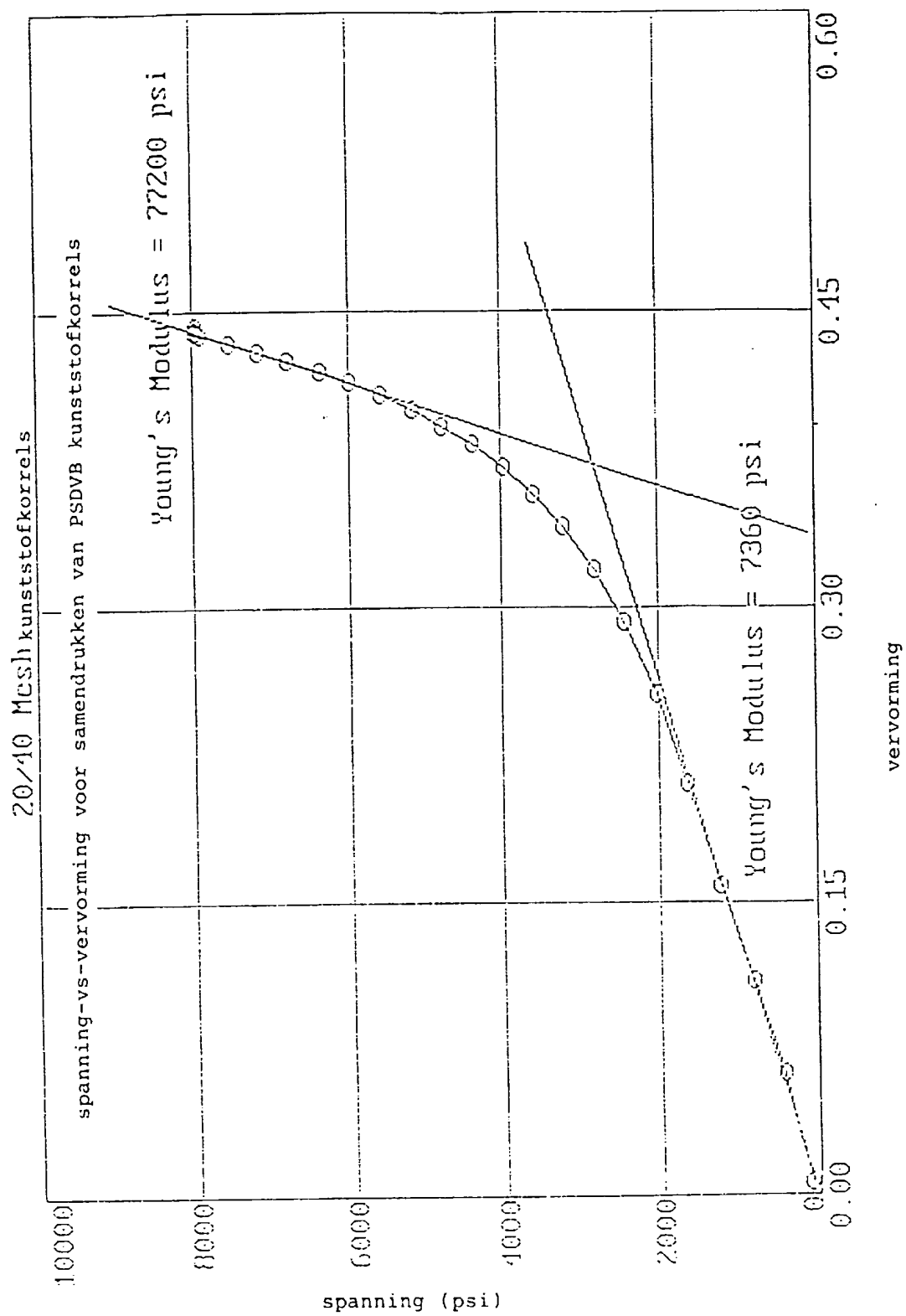


FIG. 10

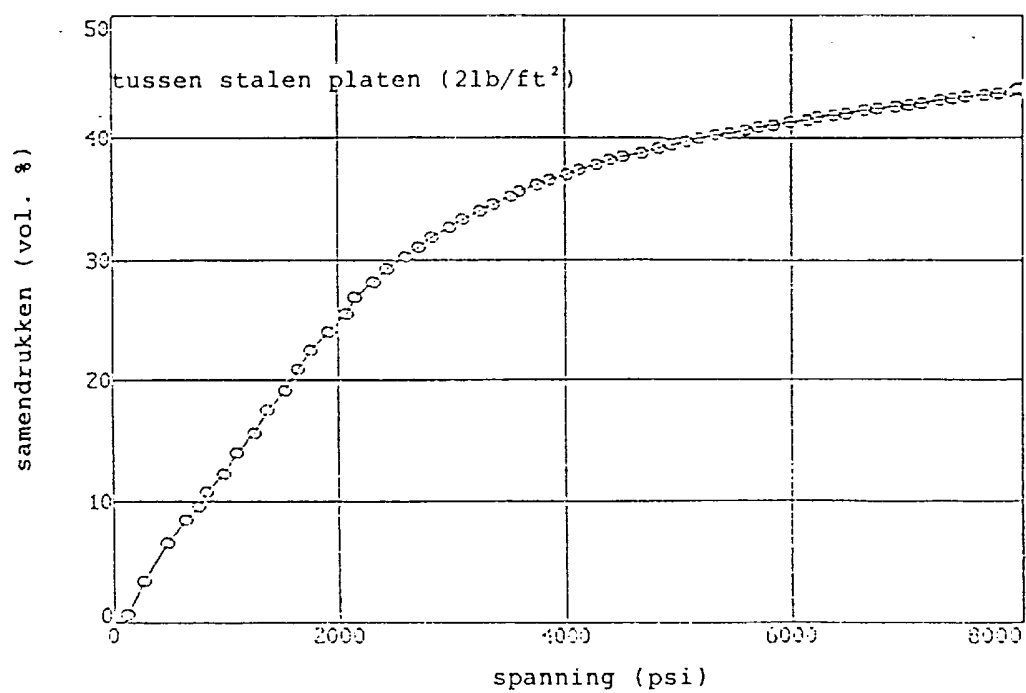


FIG. 11

1007616

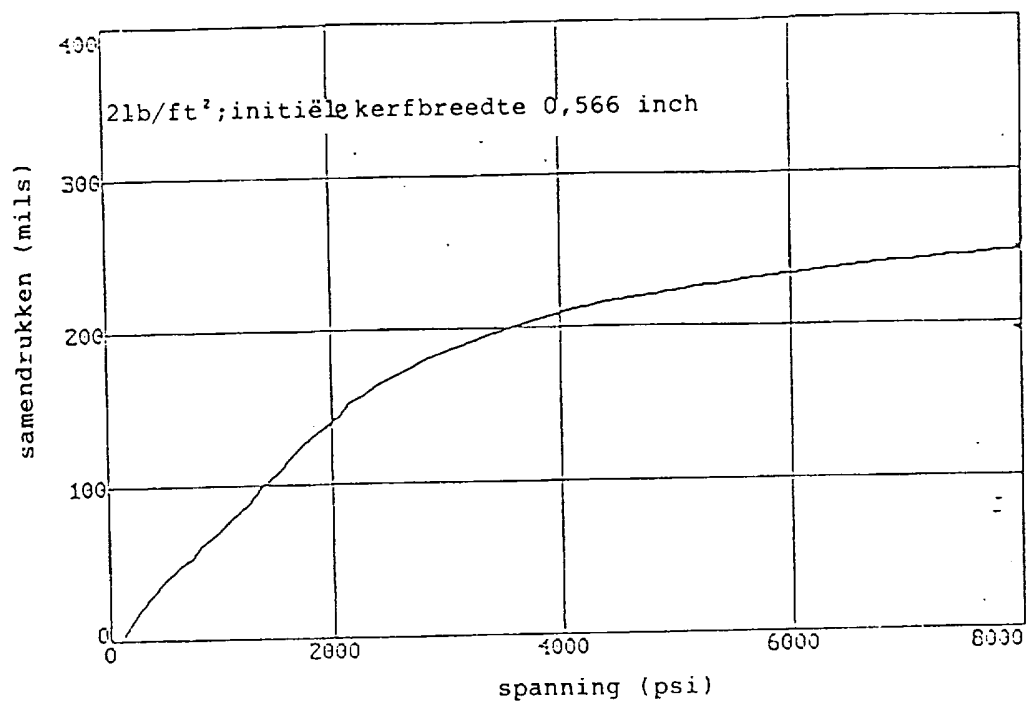


FIG. 12

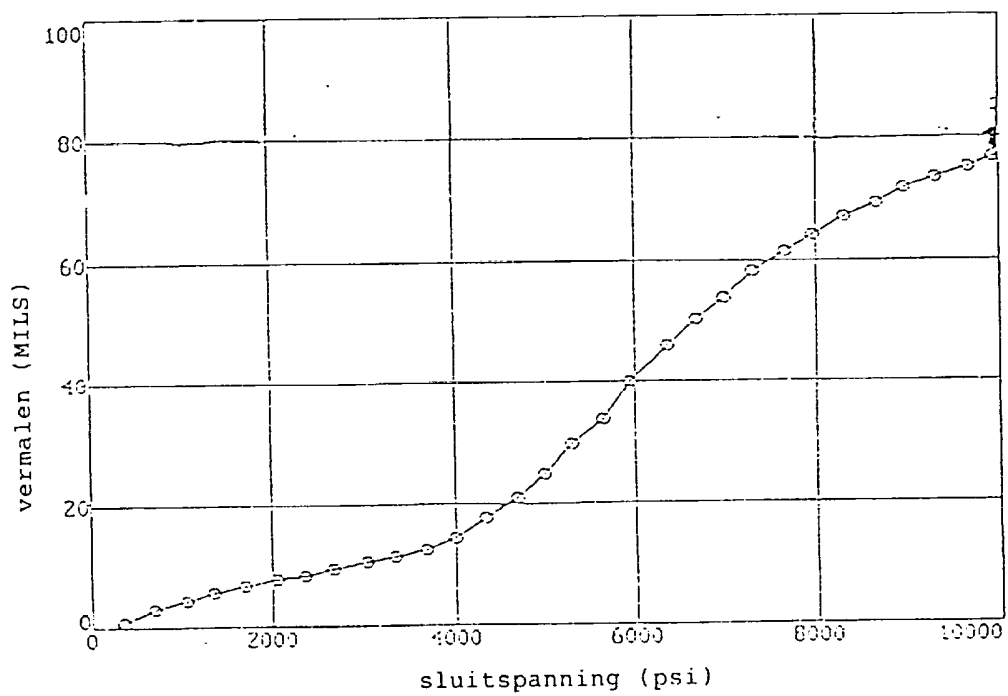


FIG. 13

100 7616

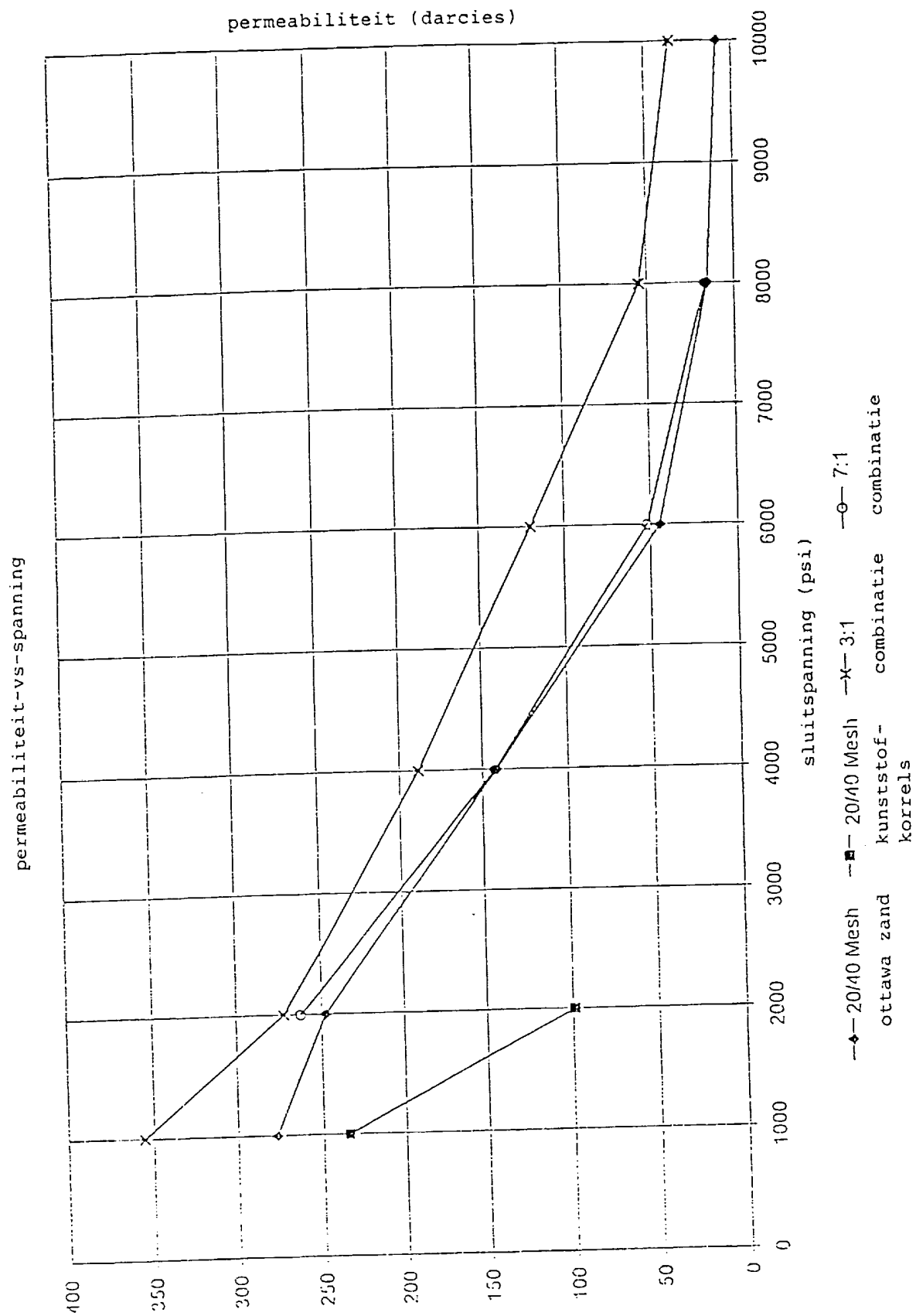


FIG. 14

1007616

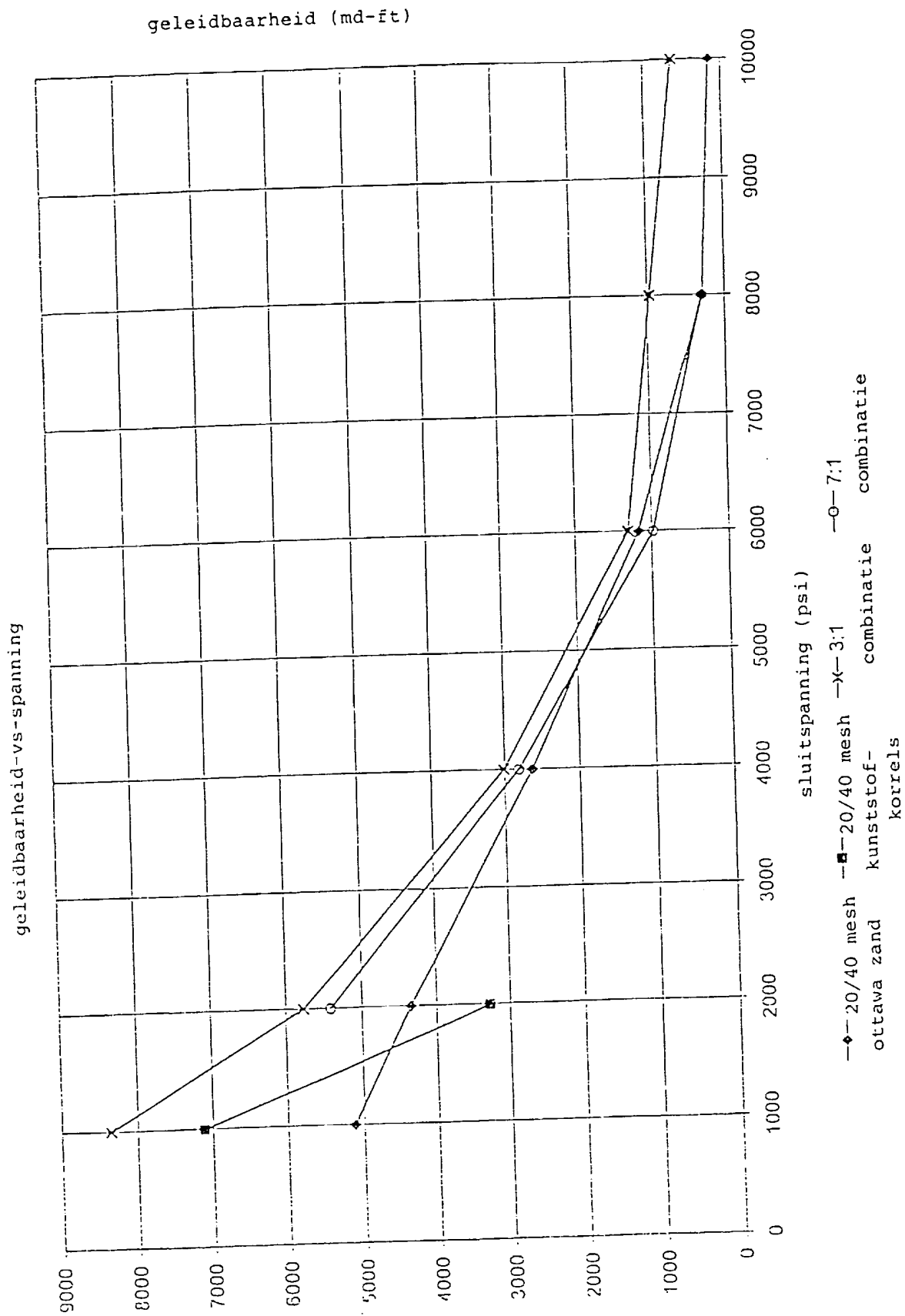
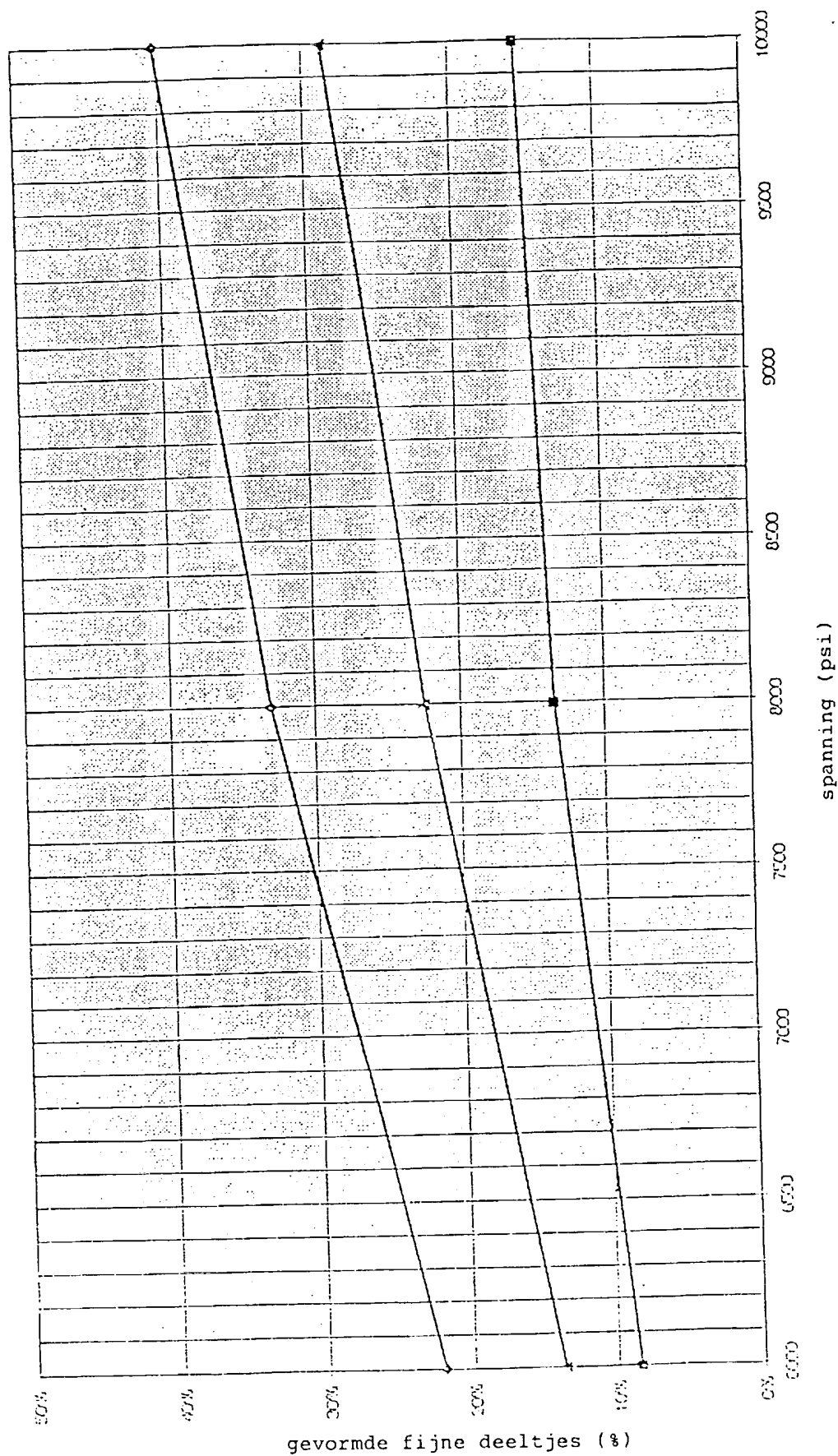


FIG. 15



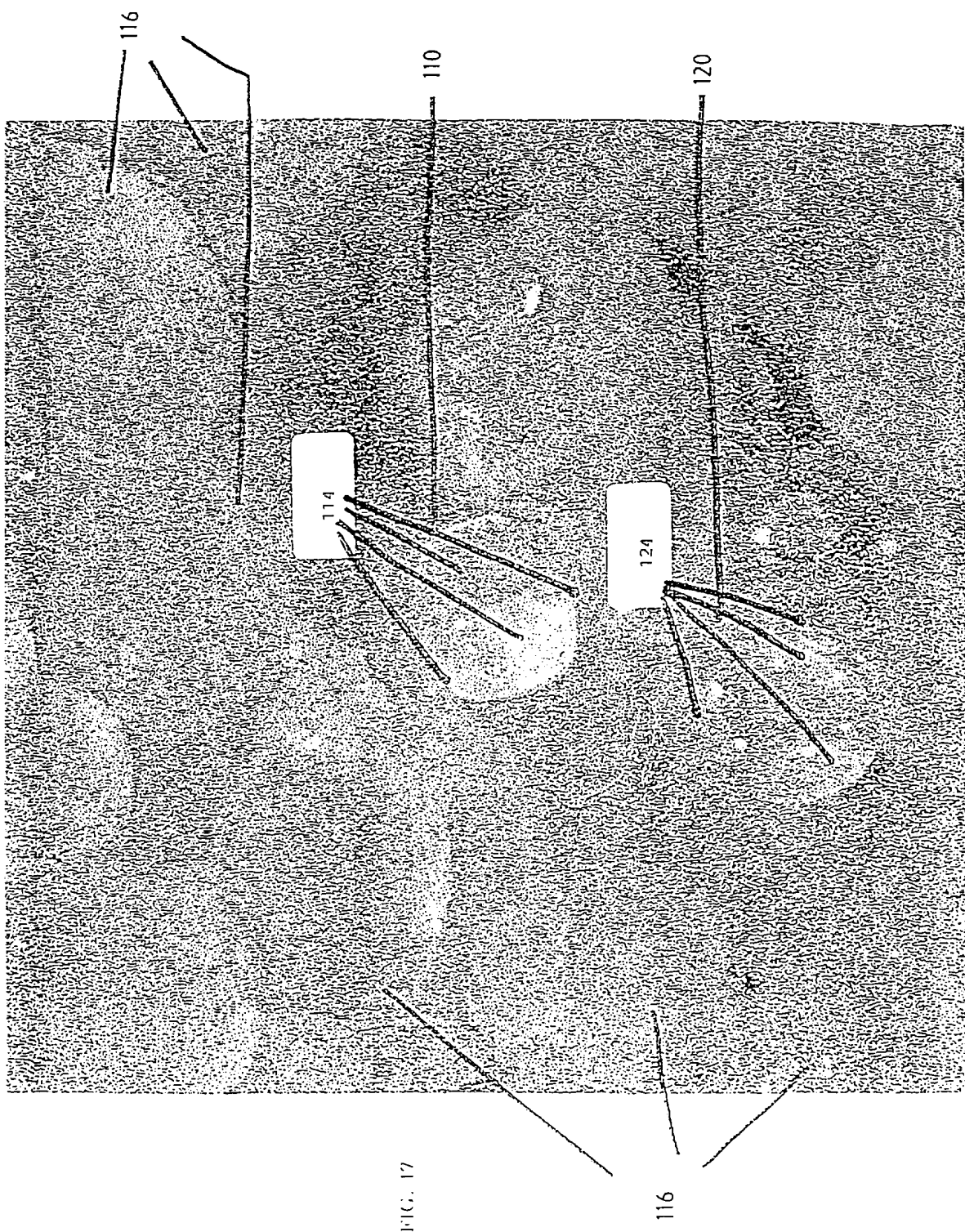
spanning (psi)

FIG. 16

—◆— Oltava —■— OIUPU (3:1) —▲— OIUPB (7:1)

gevormde fijne deeltjes (%)

1007616



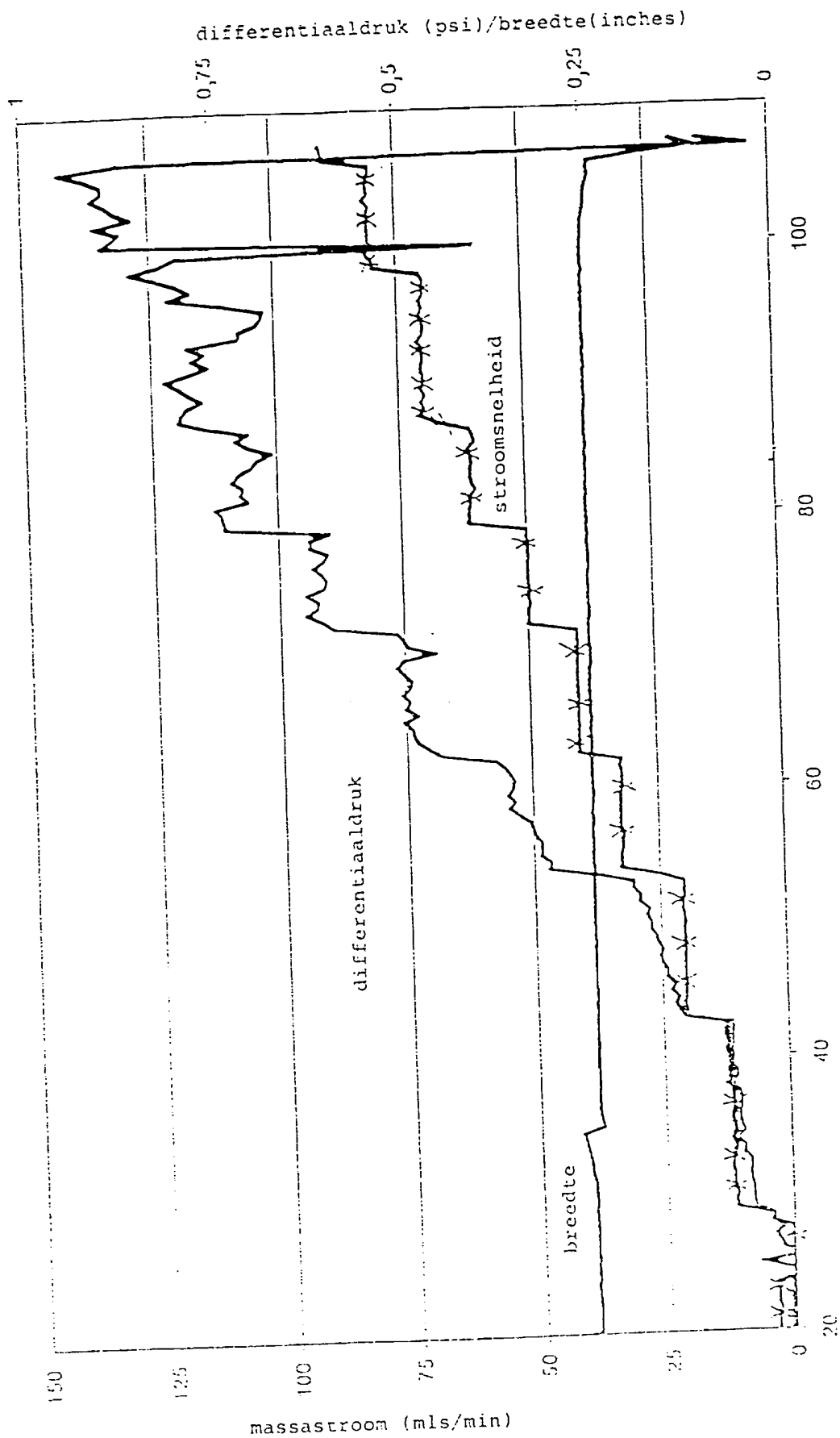


FIG. 18

1007616

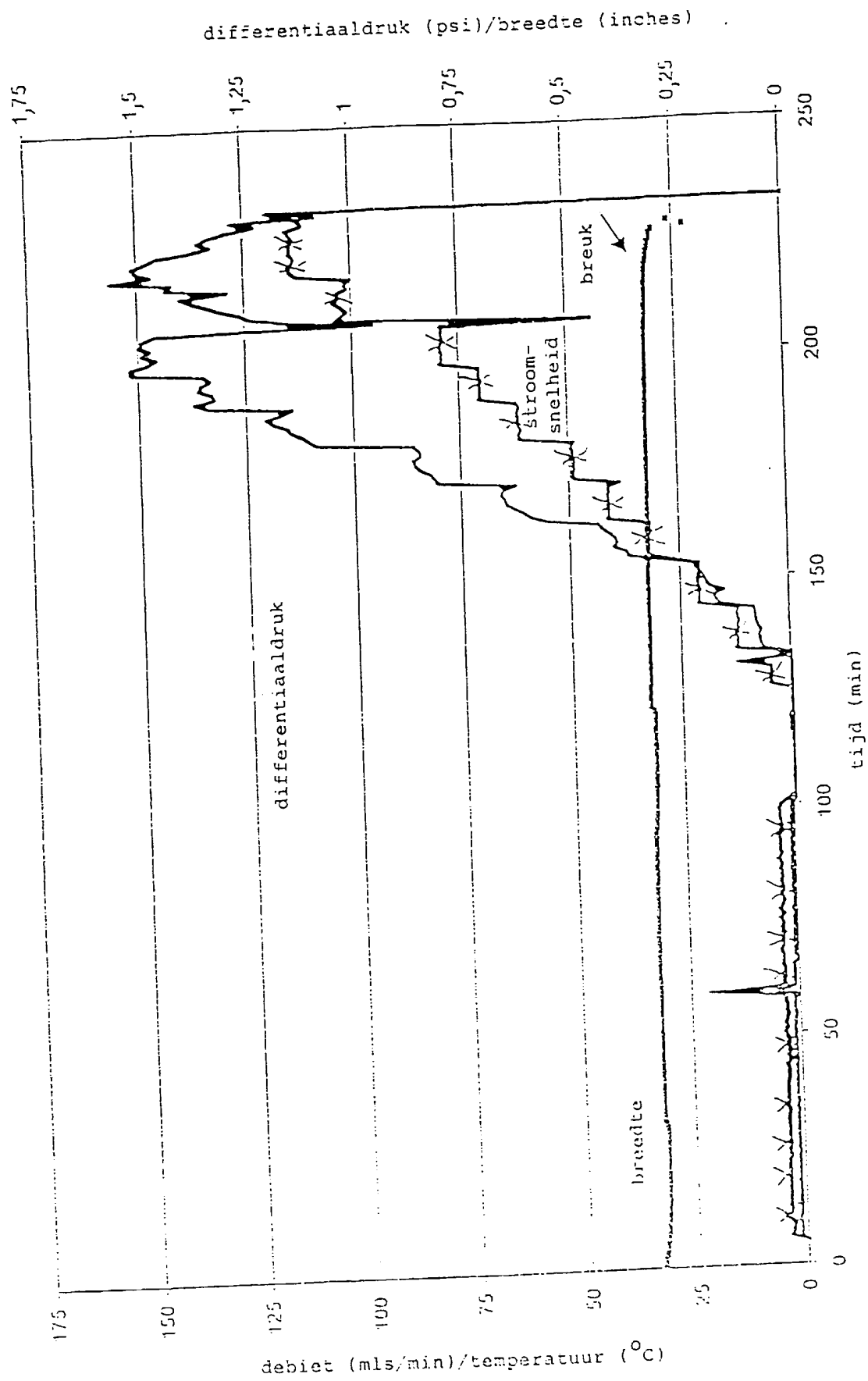


FIG. 19

1007616

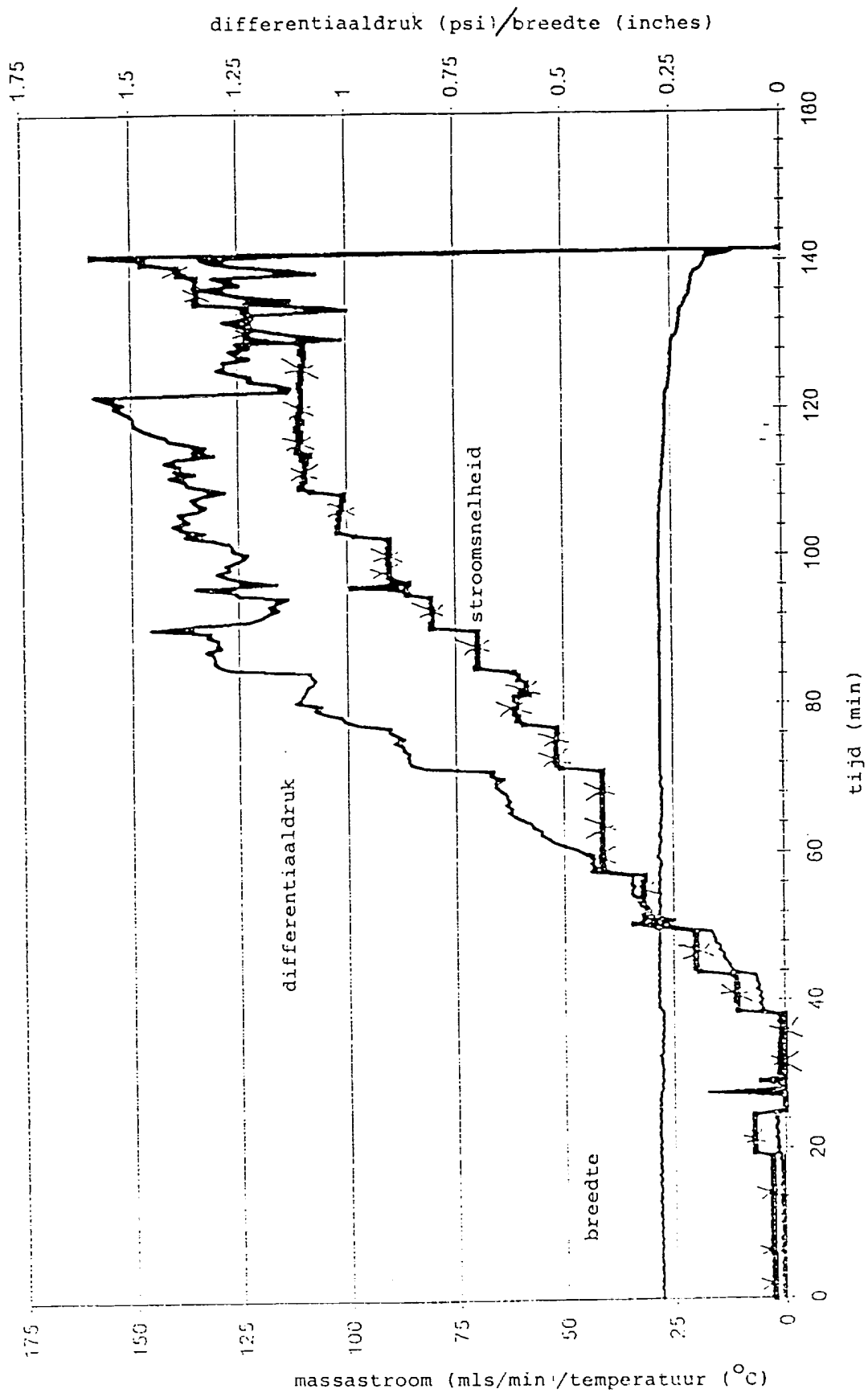


FIG. 20

1007616

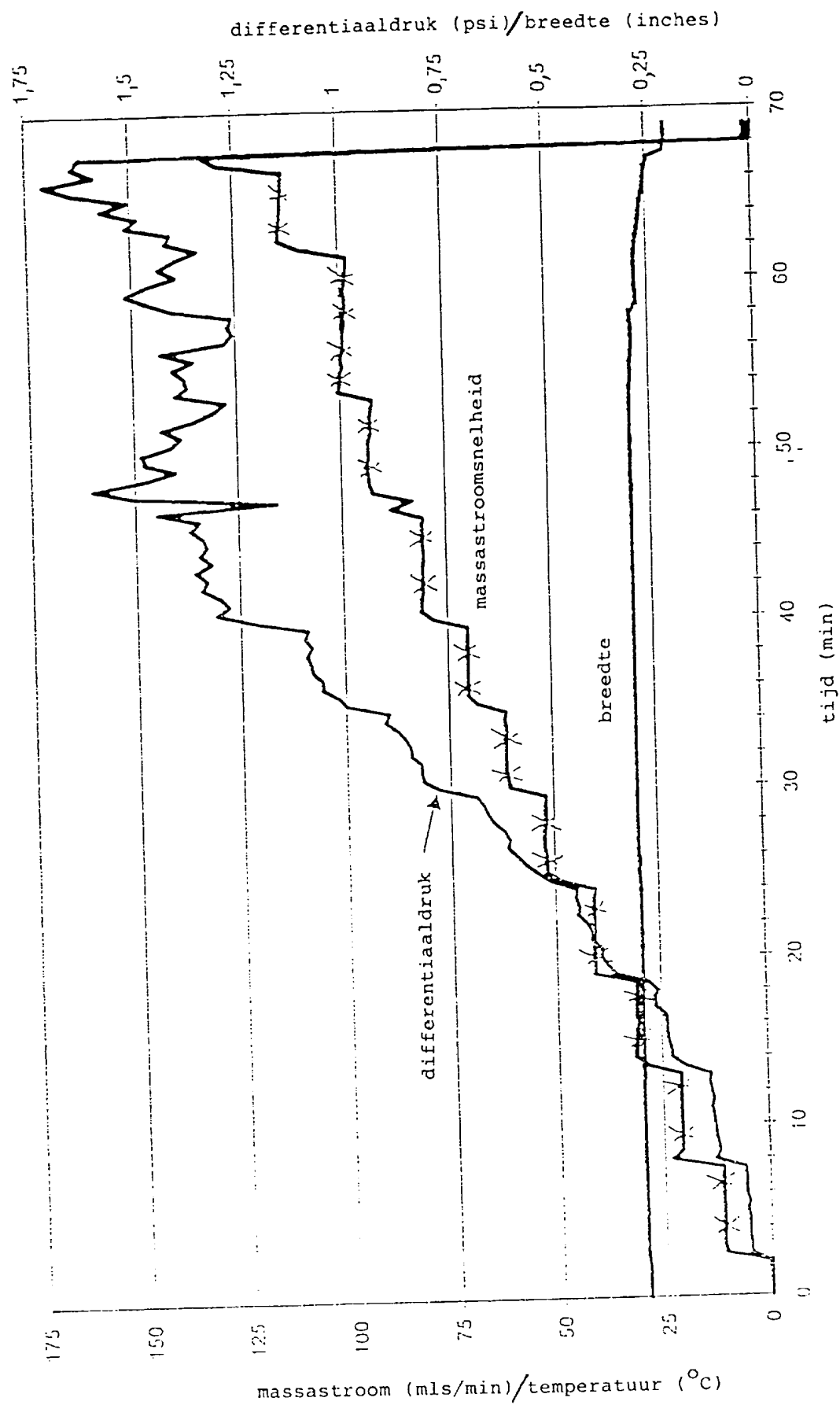


FIG. 21

1007616



RAPPORT BETREFFENDE HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK

Octroolaanvraag Nr.:

NO 134139

NL 1007616

VAN BELANG ZIJNDE LITERATUUR			
Categorie	Vermelding van literatuur met aanduiding voor zover nodig, van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie(s)Nr.:	Internationale classificatie
Y,P	EP 0 771 935 A (BORDEN CHEMICAL INC) 7 Mei 1997	1,9-12, 20,23, 25,32-35	E21B43/267 E21B43/26
A	* bladzijde 2, regel 6 - regel 11 * * bladzijde 3, regel 11 - regel 36 * * bladzijde 4, regel 2 - bladzijde 6, regel 21 * * conclusies 1-5,8,20-23,32 *	7	
Y	US 5 439 055 A (R.J.CARD) 8 Augustus 1995	1,3, 9-12,20, 23,25, 32-35	
	* kolom 3, regel 30 - kolom 5, regel 46 * * kolom 6, regel 27 - regel 50 *		
Y	WO 96 04464 A (R. BIENVENU) 15 Februari 1996	1,3, 10-12, 20,32-35	
A	* bladzijde 2, regel 21 - bladzijde 3, regel 4 * * bladzijde 5, regel 4 - regel 19 *	4-8, 13-16	Onderzochte gebieden van de techniek
	* bladzijde 6, regel 5 - bladzijde 7, regel 32; conclusies 1,5,6 *		E21B
A	US 4 664 819 A (O.H.GLAZE) 12 Mei 1987	1,9-12, 32-35	
Indien gewijzigde conclusies zijn ingediend, heeft dit rapport betrekking op de conclusies ingediend op			
Plaats van onderzoek 'S-GRAVENHAGE		Datum waarop het onderzoek werd voltooid 11 Augustus 1999	Vooronderzoeker (EOB) Boulon, A
CATEGORIE VAN DE VERMELDE LITERATUUR X : op zichzelf van bijzonder belang Y : van bijzonder belang in samenhang met andere documenten van dezelfde categorie A : achtergrond van de stand van de techniek O : verwijzend naar niet op schrift gestelde van de techniek P : literatuur gepubliceerd tussen voorrangs- en indieningsdatum T : niet tijdig gepubliceerde literatuur over theorie of principe ten grondslag liggend aan de uitvinding E : andere octrooi-publicatie maar gepubliceerd op of na indieningsdatum D : in de aanvraag genoemd L : om andere redenen vermelde literatuur & : lid van dezelfde octrooifamilie, corresponderende literatuur document			

1

EOB FORM 02 83 (P0414)

**AANHANGSEL BEHORENDE BIJ HET RAPPORT BETREFFENDE
HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK,
UITGEVOERD IN DE OCTROOIAANVRAGE NR.**

NO 134139
NL 1007616

Het aanhangsel bevat een opgave van elders gepubliceerde octrooiaanvragen of octrooien (zogenaamde leden van dezelfde octrooifamilie), die overeenkomen met octrooischriften genoemd in het rapport.

De opgave is samengesteld aan de hand van gegevens uit het computerbestand van het Europees Octrooibureau per
De juistheid en volledigheid van deze opgave wordt noch door het Europees Octrooibureau, noch door de Octrooiraad gegarandeerd ;
de gegevens worden verstrekt voor informatiedoeleinden.

11-08-1999

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
EP 771935 A	07-05-1997	GEEN	
US 5439055 A	08-08-1995	US 5330005 A AU 679711 B AU 5790894 A CA 2119316 A NO 941182 A US 5501275 A EP 0619415 A	19-07-1994 10-07-1997 06-10-1994 06-10-1994 06-10-1994 26-03-1996 12-10-1994
WO 9604464 A	15-02-1996	US 5531274 A AU 3242195 A	02-07-1996 04-03-1996
US 4664819 A	12-05-1987	US 4443347 A US 4564459 A	17-04-1984 14-01-1986