



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **334226**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

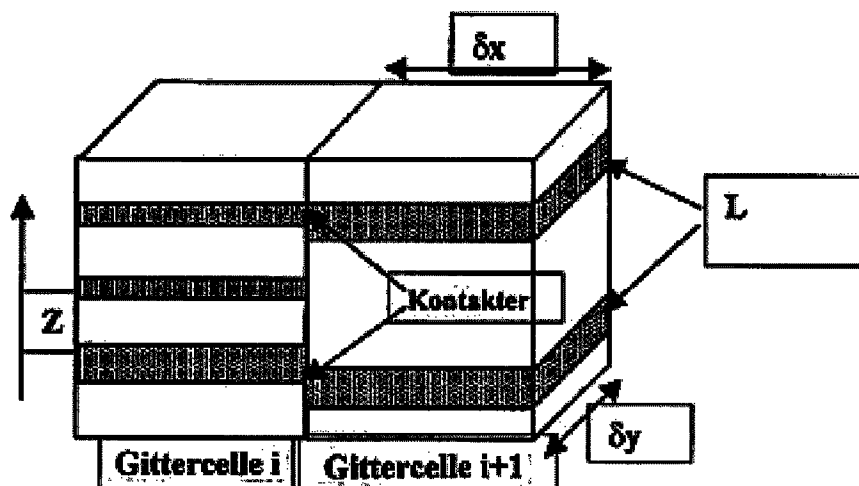
G01V 11/00 (2006.01)

E21B 49/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20012572	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2001.05.25	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2001.05.25	(30)	Prioritet	2000.05.26, FR, 0006874
(41)	Alm.tilgj	2001.11.27			
(45)	Meddelt	2014.01.13			
(73)	Innehaver	Institut Francais du Petrole, 1 & 4, avenue de Bois-Préau, FR-92852 RUEIL MALMAISON CEDEX, Frankrike			
(72)	Oppfinner	Emmanuel Manceau, 14, rue d'Estienne d'Orves, F-92500 Rueil-Malmaison, Frankrike Luca Cosentino, La-Celle-Saint-Cloud, Frankrike Marie-Christine Cacas, 9, rue des Trianons, FR-92500 RUEIL-MALMAISON, Frankrike Sylvain Sarda, 26, cours Ferdinand de Lesseps, F-92500 Rueil-Malmaison, Frankrike Bernard Bourbiaux, 23, avenue des Chateaupieds, FR-92500 RUEIL-MALMAISON, Frankrike			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for modellering av strømninger i et frakturert medium krysset av store frakturer			
(56)	Anførte publikasjoner	FR 2757947 A FR 2757957 A			
(57)	Sammendrag				

Oppfinnelsen gjelder en fremgangsmåte for modellering av strømninger i et frakturert medium som gjennomskjæres av et nettverk av fluidledende gjenstander med fastlagt geometri, men som ikke er homogeniserbare innenfor den gjeldende målestokk for hver gittercelle i modellen (f.eks. store frakturer, sub-seismiske feil og meget gjennomstrømbare sedimentære lag, etc.). Denne fremgangsmåte gjør det mulig å simulere fluidstrømninger i et frakturert porøst geologisk medium med kjent struktur, som diskretiseres ved hjelp av et gitter og modelleres ved å anta at hvert elementærvolum av det frakturerte geologiske medium består av et ekvivalent frakturmedium og matrisemedium innenfor målestokken av hver av de celler hvorimellom fluidutvekslinger skal bestemmes. Fremgangsmåten omfatter bestemmelse av utvekslinger mellom matrisemediet og frakturmediet, samt modellering av gjennomstrømbarheten for de forskjellige celler som gjennomskjæres av hver strømningsledende gjenstand, på en slik måte at den resulterende gjennomstrømbarhet tilsvarer den direkte strømningskapasitet langs vedkommende ledende objekt. Eksplisitt modellering av disse gjenstander, som det ikke er mulig å utføre i feltmålestokk på grunn av det meget store antall celler som er involvert og de numeriske begrensninger, vil derfor være unødvendig. Anvendelser: evaluering av hydrokarbon-reservoarer.



Foreliggende oppfinnelse gjelder en fremgangsmåte for å danne modeller av fluidstrømninger i et frakturert medium som krysses av forholdsvis store sprekkdannelser, slik det vil bli spesifisert i det følgende.

Denne fremgangsmåte kan f.eks. iverksettes av reservoaringeniører innenfor oljeproduksjonsområdet for å kunne utlede pålitelige strømningsforutsigelser for oljereservoarer med strukturelle eller sedimentære diskontinuiteter hvis strømningssegenskaper er meget forskjellige fra de tilsvarende forhold i det omgivende medium.

Opprettelse av modeller gjør det således mulig å simulere strømninger i et gjennomtrengelig porøst medium (reservoar) som gjennomskjæres av et nettverk av sprekker og/eller tynne lag som er meget mer strømningsledende enn den porøse matrise. Frakturerte reservoarer utgjør en ekstrem type av heterogene reservoarer som omfatter to meget ulike medier, nemlig et matrisemedium som inneholder størstedelen av oljen på stedet og som har en lav gjennomtrengelighet, og et frakturert medium som representerer mindre enn 1% av oljen på stedet, men er meget strømningsledende. Det frakturerte medium kan i seg selv være sammensatt av flere frakturer som er karakterisert ved deres respektive densitet, lengde, orientering, helning og åpning.

I et reservoar under produksjon vil trykk- og mengdestrøm-forholdene som foreligger ved produksjons- og injeksjonsbrønner frembringe strømninger av fluider på stedet i reservoaret (olje, gass og vann). Simulering av disse strømninger består i å bestemme trykkutviklinger og metninger i reservoaret under tidens løp. På grunn av at de frakturerte reservoarer er meget heterogene, vil fluider bevege seg forholdsvis raskt gjennom frakturnettverket og meget langsomt i matrisen. Simulering av strømningene innenfor et frakturert reservoar krever derfor en meget god erkjennelse av de hovedsakelige heterogeniteter som dannes av frakturene. Nøyaktigheten av denne erkjennelse avhenger av den type simulering som anvendes og størrelsen av de frakturer som skal modelleres. Meget nøyaktig simulering av en utprøvet brønn krever således kjennskap til frakturnettverkets nøyaktige geometri. Hvis det omvendt skal tas med i beregningen et tett nettverk av små frakturer innenfor et felt vil dette omfatte en tilsvarende forenklet fremstilling.

Foreliggende oppfinnelse gjør det mulig å nøyaktig simulere strømninger i feltskala i nærvær av mange store frakturer.

For tiden bruker petroleumsindustrien særlig dobbelt-porøsitets-modeller (dobbelt medium) for å simulere strømninger i frakturerte medier, som ikke benyttes på det virkelige geologiske medium i all dets kompleksitet, men på en homogenisert gjengivelse, i henhold til den reservoarmodell som er blitt betegnet som

5 dobbeltmedium-modell og er beskrevet f.eks. av Warren and Root i "The Behavior of Naturally Fractured Reservoirs", SPE Journal 1963. Ethvert elementærvolum av det frakturerte reservoar anses da å bestå av to ekvivalente homogene medier i en målestokk tilsvarende simulator-gittercellen, nemlig et frakturmedium og et matrisemedium. I reservoarmålestokken strømmer fluidene hovedsakelig gjennom

10 frakturmediet og fluidutvekslingen finner sted lokalt mellom frakturene og matriseblokkene. Denne fremstilling som på ingen måte gjengir kompleksiteten av frakturnettverket i et reservoar, er imidlertid effektiv i sammenheng med en reservoar-gittercelle hvis dimensjoner typisk kan være 100 m x 100 m. Dobbeltmedium-modellering muliggjør gjengivelse av strømningsadferden i forbindelse med to medier og deres innbyrdes vekselvirkning uten å kreve eksplisitt modellering av de to medier.

15

Patentet FR-A-2,757,947 (US-6,023,656) som er inngitt av samme søkere som i denne søknad, beskriver en teknikk for å bestemme den ekvivalente frakturpermeabilitet for et nettverk av frakturer i et underjordisk flerlags-medium ut i fra en kjent gjengivelse av dette nettverk. Den gjør det mulig systematisk å forbinde

20 modeller som karakteriserer frakturerte reservoar med dobbeltporøsitets-simulatorer for det formål å oppnå en mer realistisk modellering av en frakturert underjordisk geologisk struktur.

Patentet FR-A-2,757,957 som er inngitt av samme søkere som foreliggende søknad, beskriver en teknikk som gjør det mulig å oppnå en forenklet modellering av et porøst heterogent geologisk medium (slik som f.eks. et nettverk som

25 gjennomskjæres av et uregelmessig nettverk av sprekker) i form av et transponert eller ekvivalent medium, på en slik måte at det transponerte medium vil være ekvivalent med originalmediet når det gjelder en bestemt type fysisk overføringsfunksjon (kjent for det transponerte medium).

30 Patentsøknad FR-98/15,727 som er inngitt av søkerne beskriver også en metode for modellering av fluidstrømninger i et frakturert porøst flerlagsmedium ved å ta med i beregningen den faktiske geometri for nettverket av frakturer og de lokale utvekslinger mellom den porøse matrise og vedkommende sprekker i hvert

knutepunkt av nettverket. Det frakturerte medium er diskret gjengitt ved hjelp av et gitter, hvor frakturcellene er sentrert på knutepunktene hvor de forskjellige frakturer skjærer hverandre, idet hvert knutepunkt er tilordnet et visst matrisevolum, og strømmingene mellom hver frakturcelle og det tilordnede matrisevolum bestemmes i en halvstabil tilstand.

Det finnes også tilfeller hvor de tidligere angitte teknikker er vanskelig å iverksette, nemlig når det foreligger et medium som gjennomskjæres av store sprekkdannelser eller under-seismiske feil og hvis hydrauliske atferd ikke kan homogeniseres i cellens målestokk. En klar modellering av disse gjenstander er derfor nødvendigvis en forutsetning, men deres store antall vil hindre et slikt opplegg i feltmålestokk (for stort antall celler og numeriske begrensninger). Det samme problem oppstår for reservoarer som inneholder tynne og meget gjennomtrengelige lag hvis atferd vil ligne den som foreligger ved store horisontale sprekkdannelser.

SAMMENFATNING AV OPPFINNELSEN

Fremgangsmåten for modellering i henhold til oppfinnelsen gjør det mulig å simulere fluidstrømninger i et frakturert porøst geologisk medium av kjent struktur og som er diskret gjengitt ved hjelp av et gitter og modellert ved å anta at hvert elementærvolum av det frakturerte geologiske medium består av et tilsvarende frakturmedium og matrisemedium i den målestokk som gjelder for hver celle, og hvorimellom fluidutvekslinger kan fastlegges, idet dette geologiske medium gjennomskjæres av et nettverk av fluidledende gjenstander med en bestemt geometri, men som ikke kan homogeniseres i målestokken for hver celle i modellen (f.eks. store sprekkdannelser, underseismiske feil, meget gjennomtrengelige sedimentærsjikt, etc.). Denne fremgangsmåte omfatter bestemmelse av utvekslinger mellom matrisemediet og frakturmediet, samt modellering av gjennomstrømbarheten for de forskjellige celler som gjennomskjæres av hver ledende gjenstand, slik at den resulterende gjennomstrømbarhet tilsvarer den direkte strømmingsevne langs denne ledende gjenstand.

I tilfeller hvor de ledende gjenstander utgjøres av meget gjennomtrengelige sedimentærlag, blir gjennomstrømningen mellom de celler som gjennomskjæres av hvert meget gjennomtrengbare lag tildelt en verdi som avhenger av cellens di-

mensjoner og det felles kontaktområde mellom lagene ved overgangen mellom tilstøtende celler.

I tilfeller hvor de ledende gjenstander utgjøres av frakturer, vil strømnings-overføringen mellom forskjellige celler som gjennomskjæres av hver fraktur bli til-
 5 delt en gjennomstrømbarhet som avhenger av cellenes dimensjoner og det felles fraktur-flateområde ved overgangen mellom tilstøtende celler.

I alle celler som krysses av geometrisk definerte ledende gjenstander (matriseblokker av forskjellig størrelse og omfang, bestemmes et transponert (transposed) medium som omfatter et sett av jevnt anordnede blokker som er inn-
 10 byrdes atskilt av et regelmessig frakturgitter som gir hovedsakelig samme fluid-gjenvinningsfunksjon under en kapillar-innsugningsprosess som det faktiske medium. Blokkenes vertikaldimensjon i det transponerte medium beregnes ut i fra posisjonene av de meget gjennomtrengelige sedimentærslag i cellen, og blokkenes horisontale dimensjoner i dette transponerte medium utledes fra en todimensjonal
 15 (2D) avbildning av det geologiske medium i form av en rekke bildeelementer, nemlig ved:

- for hvert bildeelement å bestemme den minste avstand til den nærmeste fraktur,
- dannelsen av en fordeling av antallet bildeelementer i samsvar med minste-
 20 avstand til det frakturerte medium, og ut i fra denne fordeling, bestemme gjenvinningsfunksjonen (R) for nevnte sett av blokker, og
- å bestemme dimensjonene av de ekvivalente uregelmessige blokker av det transponerte medium ut i fra gjenvinningen (R) og ut i fra de ekvivalente blokkers gjenvinning.

25

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

Andre særtrekk og fordeler ved foreliggende fremgangsmåte i henhold til oppfinnelsen vil kunne klart forstås ut i fra gjennomlesning av følgende beskrivelse av et ikke begrensende utførelseseksempel under henvisning til de vedføyde teg-
 30 ninger, hvorpå:

fig. 1 skjematisk viser to inntilliggende celler i samme lag av reservoargittet, og hvor nærvær av tynne og meget gjennomtrengelige sedimentære nivåer frembringer en horisontal spesifikk gjennomstrømbarhet i "fraktur"-mediet,

- fig. 2 viser et reservoargitter som krysses av et nettverk av frakturer,
 fig. 3 viser celler O, A, B, C av et reservoar som gjennomskjæres av en fraktur som er modellert ut i fra strømningsovergangene mellom frakturene,
 fig. 4 viser en fremgangsmåte for å beregne strømningsovergangen mellom
 5 to celler A og B som gjennomskjæres av en fraktur,
 fig. 5 viser, for sammenligning, en strømningsbane av trinntype gjennom de celler som gjennomskjæres av en skrånende sprekkdannelse, som da tas med i betraktningen for simuleringsformål og hvis gjennomstrømbarhet, i henhold til den valgte beregningsmetode, imidlertid er lik den virkelige strømningssevne direkte
 10 langs sprekkdannelsen,
 fig. 6 viser en fremgangsmåte som går ut på å beregne størrelsen av en ekvivalentblokk i samsvar med antallet meget gjennomstrømbare sedimentærnivåer som krysser en celle,
 fig. 7 viser et eksempel på inntilliggende bildeelementer som anvendes for
 15 å beregne den verdi som tilordnes et bildeelement, og
 fig. 8 viser en mulig variasjon av en invadert normalisert sone i samsvar med avstanden til frakturene.

DETALJERT BESKRIVELSE

- 20 I det følgende vil det bli betraktet et eksempel på et porøst reservoar som gjennomskjæres av et nettverk av frakturer F (fig. 2) som av forenklingsgrunner antas å være vertikale, og av tynne sedimentærsjikt (sub-horisontale) L (fig. 1) hvis petrofysiske egenskaper (særlig permeabilitet) står i stor motsetning til det omgivende matrisemedium. Dette reservoar er modellert i form av to "overlagrede"
 25 gitre (dobbeltgittermodell), hvorav det ene, som betegnes som "matrise", representerer det omgivende matrisemedium, mens det andre, som betegnes som "fraktur", representerer samtlige diskontinuiteter som tas med i betraktningen (frakturer og gjennomtrengelige tynne lag). Strømningene beregnes innenfor henholdsvis matrisegitteret og frakturgitteret, og videre danner utvekslingsledd ved
 30 forbindelse mellom de ukjente i hvert par av matrise- og frakturcelle i modellen

ved hjelp av egnede formler. Den fremgangsmåte som vil bli beskrevet i det følgende gjør det mulig å beregne strømningsmulighetene mellom "fraktur"-cellene og "matrise/faktur"-utvekslingene. Utvekslinger mellom matriseceller blir beregnet på en vanlig måte som vil være velkjent for en fagkyndig på området.

5

I Gjennomstrømninger mellom "fraktur"-celler

I-1 Gjennomstrømninger i sammenheng med de tynne og gjennomstrømbare sedimentærslag

De tynne og gjennomstrømbare sedimentærslag inngår i "fraktur"-mediet i dobbeltmediummodellen. I en celle som gjennomskjæres av slike sedimentærslag er de petrofysiske egenskaper av disse lag (porøsitet, permeabilitet, vannmetning) tilordnet cellens frakturmedium og egenskapene for resten av den berggrunn som innholdes i cellen er tilordnet matrisemediet i denne celle.

Forekomsten av tynne og meget gjennomstrømbare lag i to inntilliggende celler frembringer en horisontal gjennomstrømbarehet i "fraktur"-mediet mellom de to cellene ("fraktur/fraktur"-gjennomstrømbarehet). Skjemaet i fig. 1 viser to inntilliggende celler (i samme sjikt av reservoargitteret) som inneholder slike lag. Det kan bemerkes at det ikke inngår noen vertikal "fraktur/fraktur"-gjennomstrømbarehet da disse lag er horisontale.

I dette eksempel er da den horisontale "fraktur/fraktur"-gjennomstrømbarehet mellom cellene i og i+1 beregnet på følgende måte:

$$Ts_{i,i+1} = \frac{Ks \cdot Es_{i,i+1} \Delta Y}{\Delta X}$$

25 hvor:

Ks er gjennomstrømbareheten for de meget gjennomstrømbare sedimentærslag,

- Y er størrelsen av cellene ved Y,
- X er størrelsen ved X, og

Es_{i,i+1} er tykkelsen av kontakten mellom de tynne og meget gjennomstrømbare sedimentærslag i de to tilstøtende celler i og i+1.

30

Denne tykkelse er lik null hvis lagene i de to celler ikke står i forbindelse med hverandre. Hvis de er totalt forbundet, kan tykkelsen omvendt være lik den minste av de kumulerte tykkelser for de to celler.

5 I-2 Gjennomstrømbarheter tilordnet frakturene

Nettverket av vertikale frakturer tas også med i beregningen i "fraktur"-mediet i dobbeltmedium-opplegget. I hvert lag av reservoarmodellen (fig. 2), kan dette nettverk gjengis som rekke fraktursegmenter som krysser reservoargitteret, slik det vil bli vist i det følgende:

10 De data som har sammenheng med disse fraktur-segmenter er da:

- fraktur-gjennomstrømbarheten K_f ,
- frakturtykkelsen E_f , og
- frakturlengden L_f .

Fraktur-porøsiteten Φ_f kan beregnes ved hjelp av følgende formel:

15

$$\Phi_f = \frac{L_f \cdot E_f}{\Delta X \cdot \Delta Y}$$

Kommunikasjonen mellom cellene i reservoaret gjennom nettverket av frakturer er modellert ved hjelp av fraktur/fraktur-gjennomstrømbarheter. I det eksempel som er angitt i fig. 3 er fraktur/fraktur-gjennomstrømbarhetene beregnet mellom de celler som gjennomskjæres av vedkommende fraktur, hvilket vil si for par-
20 ene O og A, A og B, B og C: T_{FOA} , T_{FAB} og T_{FBC} .

Dette eksempel viser at den faktiske strømningsbane gjennom en fraktur kan ligge langt fra den bane som påføres ved modellering, og som passerer gjennom midtpunktene av cellene O, A, B og C. Den løsning som ville bestå i å er-
25 statte fraktursegmentet med en brutt linje som passerer gjennom midtpunktene av cellene ville føre til en dårlig simulering av strømningene gjennom disse celler.

Den horisontale "fraktur/fraktur"-gjennomstrømbarhet mellom to celler som gjennomskjæres av samme fraktur (se fig. 4) blir derfor bestemt på følgende måte:

30

$$T_{fAB} = K_f \cdot E_f \cdot \frac{\Delta Z}{L_{ab}}$$

hvor:

K_f er den iboende gjennomstrømbarehet for frakturen,

E_f er frakturens tykkelse,

5 • Z er lagets tykkelse,

L_{ab} er lengden av segmentet ab ,

a er midtpunktet av det fraktursegment som krysser cellen A, og

b er midtpunktet for det fraktursegment som krysser cellen B.

10 Det kan bemerkes at jo mindre lengden L_{ab} er, jo høyere vil "fraktur/fraktur"-gjennomstrømbareheten mellom cellene A og B være. Den gittervirkning som påfører en strømningsbane av trappetrinnstype blir da numerisk korrigert.

Strømningen mellom to celler i innbyrdes avstand og som er forbundet med en fraktur kan således simuleres korrekt på tross av den bane av trappetrinnstype (fig. 5) som er påført gitteret. I det eksempel som er angitt i fig. 5 kan det f.eks.

15 kontrolleres at:

$$\sum \frac{1}{T_{fi}} = \frac{1}{T_{fMN}}$$

20 hvor T_{fi} er "fraktur/fraktur"-strømningsovergange mellom kartesiske reservoarceller langs den trappetrinnsbane som forbinder M og N, mens T_{fMN} er den virkelige strømningsevne av frakturen mellom M og N.

Når det gjelder den vertikale "fraktur/fraktur"-strømningsovergang som frembringes ved en foreliggende fraktur som krysser flere lag av reservoaret, har man:

25

$$T_{IV} = K_f \cdot E_f \cdot \frac{L_f}{\Delta Z}$$

hvor:

K_f er frakturens iboende strømningsevne,

30 E_f er frakturens tykkelse,

- Z er lagets tykkelse,

L_f er lengden av fraktursegmentet i den celle som betraktes.

Når flere frakturer krysser en celle blir endelig de beregnede strømningskapasiteter for disse frakturer tatt hver for seg og lagt sammen.

5

I-3 Resulterende strømningskapasitet

Strømningskapasitetene med hensyn til de meget gjennomstrømbare sedimentærslag (T_s) og strømningskapasiteten med hensyn til frakturene (T_f) beregnes hver for seg ved hjelp av de ovennevnte metoder. "Fraktur/fraktur"-strømningsevne for den endelige dobbelte mediummodell blir ganske enkelt beregnet ved å legge sammen T_s og T_f .

10

På lignende måte er den endelige porøsitet for "fraktur"-mediet i hver celle summen av porøsitetene som skriver seg fra de meget gjennomstrømbare sedimentærslag på den ene side og frakturene på den annen side.

15

II Den ekvivalente matriseblokks dimensjoner

II-1 Horisontale dimensjoner

De horisontale dimensjoner av den ekvivalente blokk (a, b) bestemmes av de vertikale frakturer som foreligger i reservoaret. De foreliggende "matrise/fraktur"-utvekslinger som skriver seg fra de vertikale frakturer er faktisk bare horisontale.

20

I hver celle som gjennomskjæres av minst én fraktur, blir disse horisontale dimensjoner beregnet ved hjelp av den metode som er beskrevet i det ovenfor nevnte patent FR-2,757,957. For celler som ikke inneholder noen frakturer, vil de horisontale dimensjoner av den ekvivalente blokk være uendelige. I praksis blir en meget stor verdi tilordnet en slik blokk (f.eks. 10 km). I henhold til denne metode, blir de ekvivalente blokkdimensjoner bestemt ved å identifisere atferd ved det faktiske frakturerte medium med det ekvivalente medium for en tofasert vann/oljeoppsugningsmekanisme. Dette går ut på å tilpasse oljeggjennvinnings-funksjonen

25

30

$R(t)$ (for det faktiske frakturerte medium) og som er utledet ved hjelp av en avbildningsbehandlingsmetode (beskrevet nedenfor) til gjenvinningsfunksjonen $Req(t)$ for det ekvivalente medium hvis analytiske uttrykk er kjent og avhenger av dimensjonene av den ekvivalente blokk.

5

II-1-a) Geometrisk formulering

Idet fracturene er definert ved koordinatene for deres endepunkter på et to-dimensjonalt avsnitt XY av et sjikt, må den oppsugningsprosess hvorved vann foreligger i fracturene og olje foreligger i matriseblokkene fastlegges. Det antas at innstrømningen av vann i matrisen er av stempeltype. Det antas at funksjonen $x=f(t)$ som forbinder fremdriften av vannfronten med tiden er den samme for alle matriseblokker, uavhengig av deres form, samt for alle elementærblokker. Tilpasningsfunksjonene $R(t)$ og $Req(t)$ er følgelig ekvivalente med tilpasningsfunksjonene $R(x)$ og $Req(x)$. Disse funksjoner definerer fysisk normaliserte soner som er invadert av vann i samsvar med fremdriften av oppsugningsfronten i det frakturerte medium.

15

I 2D er det analytiske uttrykk for $Req(x)$ som følger:

$$\begin{cases} Req(x) = 1 - \frac{1}{a \times b} (a - 2x)(b - 2x) = 2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) x - \frac{4}{a \times b} x^2 & x \in \left[0, \min \left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2} \right) \right] \\ Req(x) = 1, & x > \min \left(\frac{a}{2}, \frac{b}{2} \right) \end{cases}$$

20

hvor a og b er dimensjonene av den rektangulære blokk eller det ekvivalente kvadrat (a og $b > 0$).

25

Funksjonen $R(x)$ har intet analytisk uttrykk. Den beregnes ut i fra en diskretisering av avsnittet XY av det sjikt som studeres og i samsvar med den algoritme som vil bli definert i det følgende.

II-1-b) Algoritmen for beregning av funksjonen $R(x)$

30

Avsnittet XY av det sjikt som studeres antas å være en avbildning hvor hvert bildeelement representerer et overflateelement. Disse bildeelementer er regelmessig fordelt med et intervall på dX i X-retningen og dY i Y-retningen (fig. 7).

Den algoritme som anvendes gjør det mulig å bestemme for hvert bildeelement i denne avbildning den minste avstand som skiller vedkommende bildeelement fra den nærmeste fraktur.

Avbildningen er uttrykt ved en todimensjonal tabell over reelle tall:

5 $\text{Pict}[0 : nx+1, 0 : ny+1]$ hvor nx og ny er antallet bildeelementer innenfor avbildningen i henholdsvis X-retningen og Y-retningen. I praksis kan det totale antall bildeelementer ($nx.ny$) f.eks. være av størrelsesorden én million. Verdiene av elementene i tabellen Pict er de avstander som søkes.

10 **Innledning:** Samtlige bildeelementer som en fraktur passerer gjennom befinner seg i en null-avstand fra den nærmeste fraktur. For disse bildeelementer angir således tabellen Pict innledningsvis en verdi lik null. Dette gjøres ved hjelp av en algoritme som er kjent innenfor fagområdet (f.eks. Bresline-algoritmen) som da gis koordinatene for de bildeelementer som tilsvarer de to ytterender av en fraktur som betraktes som et segment av en linje, og som angir de nærmeste bildeelementer (ved 0 i det foreliggende tilfelle). De øvrige elementer Pict gis innledningsvis en verdi større enn den største avstand som foreligger mellom to bildeelementer i avbildningen. Denne verdi kan f.eks. være $nx.dX + ny.dY$.

20 **Beregning:** For et gitt bildeelement blir avstanden til det nærmeste fraktur beregnet ut i fra de avstandsverdier som allerede er blitt beregnet for nabo-bildeelementene. Den tildeles en verdi som, i det tilfelle den er mindre enn den verdi som innledningsvis er blitt tilordnet vedkommende element, utgjør den minste av verdiene for de inntilliggende bildeelementer med tillegg av avstanden fra disse bildeelementer til det betrakte bildeelement.

25 Denne beregning utføres i to påfølgende trinn. Under føring nedover blir avbildningen avsøkt linje for linje, fra topp til bunn og fra venstre til høyre (fra $\text{Pict}[1, 1]$ til $\text{Pict}[nx, ny]$). De bildeelementer som tas med i beregningen er forskjellige alt ettersom avsøkningen er fallende eller stigende. Som vist i fig. 7, er de sorte og de grå bildeelementer de som tas med i beregningen henholdsvis under fallende avsøkingsforløp og under stigende avsøkingsforløp, for bildeelement P_x .

30

Hvis skråavstanden dxy defineres som $dxy = \sqrt{dx^2 + dy^2}$, så kan algoritmen skrives på følgende måte:

```

    for j=1 til ny
|   for i=1 til nx
5 |   |   Pict[i,j] = min  Pict[i-1,,j] + dx,      :fallende sveip
|   |   |   Pict[i-1,,j-1] + dxy,
|   |   |   Pict[i,,j-1] + dy,
|   |   |   Pict[i+1,j-1] + dxy,
|   |   |   Pict[i,j]
10 |   slutten av sløyfe på i
    slutten av sløyfe på j
        for j=ny til 1,
|   for i=nx=1 til 1,
|   |   Pict[i,j] = min  Pict[i+1,j] + dx,      :fallende sveip
15 |   |   |   Pict[i+1,j+1] + dxy,
|   |   |   Pict[i,,j+1] + dy,
|   |   |   Pict[i-1,,j+1] + dxy,
|   |   |   Pict[i,j]
|   slutten av sløyfe på i
20 slutten av sløyfe på j

```

Strekkurve: Fra den således beregnede tabell Pict, vil det være mulig å bygge opp en strek-kurve ved å klassifisere ikke-nullverdiene (de som er tilordnet bildeelementer utenfor frakturene) i tiltagende rekkefølge.

25 Det kumulerte resultat av strekkurven gir da, for enhver avstand som avgrenser to intervaller av strekkurven, antallet ikkenull-bildeelementer hvis verdi er mindre enn denne avstand. I den beskrevne anvendelse på et frakturert porøst medium hvor denne avstand tilsvarer fremdriften av vannfronten, vil således strekkurvens kumulerte resultat vise det overflateområde som er invadert av vann. Kurven $R(x)$ oppnås ved å dividere dette kumulerte resultat med det totale antall ikke-null-bildeelementer (for derved å normalisere dette). Antallet intervaller som an-

30

vendes på abscissen for strekkurven tilsvarer antallet diskretiseringspunkter på kurven $R(x)$. Det er f.eks. valgt til 500.

II-1-c) Søk etter den ekvivalente blokks dimensjoner

- 5 I dette prosesstrinn er funksjonen $R(x)$ kjent og parameterne $(\bar{a}, \bar{b})$ etter-søkes (dimensjonene av den ekvivalente blokk som nedsetter antallet funksjons-punkter til et minimum):

$$J(a,b) = \sum_{i=1}^N (R(x_i) - R_{eq} - a, b, x_i)^2$$

10

hvor N er antallet diskretiseringspunkter for $R(x)$ og (x_i) er abscissene for disse diskretiseringspunktene.

Diskretisering av ordinatene for $R(x)$

- 15 For å gi samme verdivekt til alle oljevolumer som utvinnes under oppsug-ing, blir kurven $R(x)$ om-diskretisert med et konstant intervall langs ordinataksen (fig. 8). Den rekke (x_i) som anvendes av funksjonen utledes da fra denne diskreti-sering.

20 Minimalisering av funksjonen

Da a og b spiller symmetriske roller i uttrykket $R_{eq}(a,b,x)$ kan følgende funksjonelle uttrykk faktisk anvendes:

$$\tilde{J}(u,v) = \sum_{i=1}^N (R(x_i) - \tilde{R}_{eq}(u,v,x_i))^2$$

25 med $\begin{cases} \tilde{R}_{eq}(u,v,x) = u_x x + v_x x^2 \\ \tilde{R}_{eq}(u,v,x) \leq 1 \end{cases}$ dvs. $\begin{cases} u = 2x \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \\ v = \frac{-4}{axb} \end{cases}$

Minimalisering av disse funksjonsverdier for å finne det par $(\bar{u}, \bar{v})$ for hvilket $\tilde{J}'(\bar{u}, \bar{v}) = 0$. Dette utføres ved hjelp av en Newton-algoritme.

Det par $(\bar{a}, \bar{b})$ som søkes utledes da fra $(\bar{u}, \bar{v})$. Tre tilfeller vil da fremgå av seg selv:

- 5 1) $\bar{v} > 0$ innebærer at én av verdiene i verdiparet $(\bar{a}, \bar{b})$ er negativ, hvilket da ikke har noen fysisk mening. Man setter da $v=0$ i uttrykket for $R\tilde{e}q(u, v, x)$, hvilket innebærer at frakturene er parallelle. Denne regneoperasjon gjentas og verdiparet $(\bar{a}, \bar{b})$ beregnes til å være:

$$\begin{cases} \bar{a} = \frac{2}{u} \\ \bar{b} = \inf \text{ini} \end{cases}$$

- 10 2) Tilfellet $\bar{u}^2 + 4\bar{v} < 0$ er også fysisk meningsløst, da det innebærer at $(\bar{a}, \bar{b})$ ikke er reelt. Man setter da $\bar{u}^2 + 4\bar{v} = 0$, hvilket innebærer at den søkte elementære blokk har form av et kvadrat ($a=b$). Etter minimaliseringen blir verdiparet $(\bar{a}, \bar{b})$ beregnet til å være som følger:

15
$$\begin{cases} \bar{a} = \frac{4}{u} \\ \bar{b} = \bar{a} \end{cases}$$

- 3) For andre verdier av verdiparet $(\bar{u}, \bar{v})$ har man:

$$\begin{cases} \bar{a} = \frac{-\bar{u} + \sqrt{\bar{u}^2 + 4\bar{v}}}{\bar{v}} \\ \bar{b} = \frac{-\bar{u} - \sqrt{\bar{u}^2 + 4\bar{v}}}{\bar{v}} \end{cases}$$

20

II-2 Vertikal dimensjon

Den vertikale dimensjon (c) for den ekvivalente blokk reguleres av de tynne og meget tynne horisontale sedimentærslag (fig. 6). De "matrise/fraktur"-utvekslinger som finner sted fra disse lag er da faktisk bare vertikale.

I hver celle som gjennomskjæres av minst ett gjennomtrengelig lag, blir ekvivalentblokkens vertikaldimensjon beregnet ved hjelp av følgende formel:

$$c = \frac{\Delta Z}{N_s}$$

5

hvor ΔZ er cellens tykkelse og N_s angir antallet meget gjennomstrømbare distinkte sedimentærlag i cellen. I det følgende mønster er f.eks. N_s lik 2.

For celler hvori det ikke finnes noen meget gjennomstrømbare tynne lag, vil ekvivalentblokkens høyde være uendelig. I praksis blir en meget stor verdi også til-

10

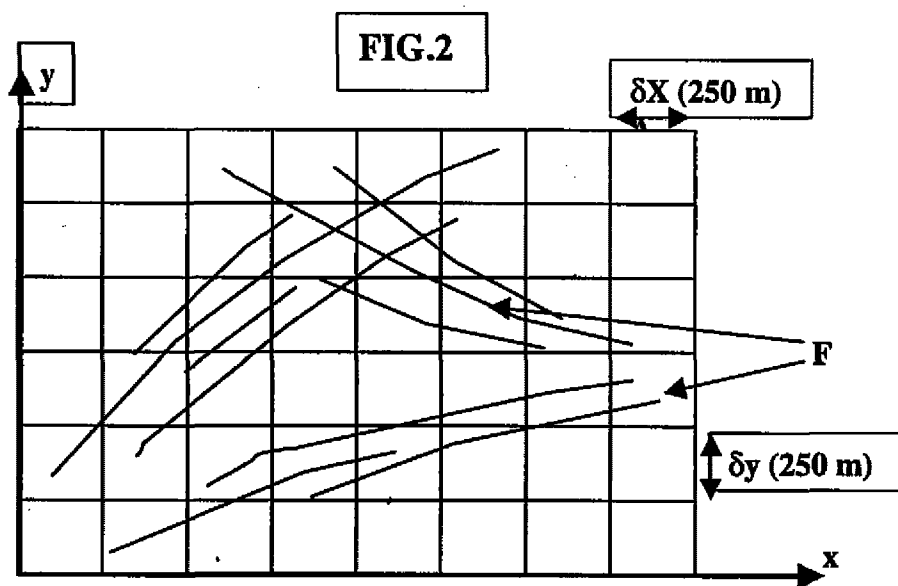
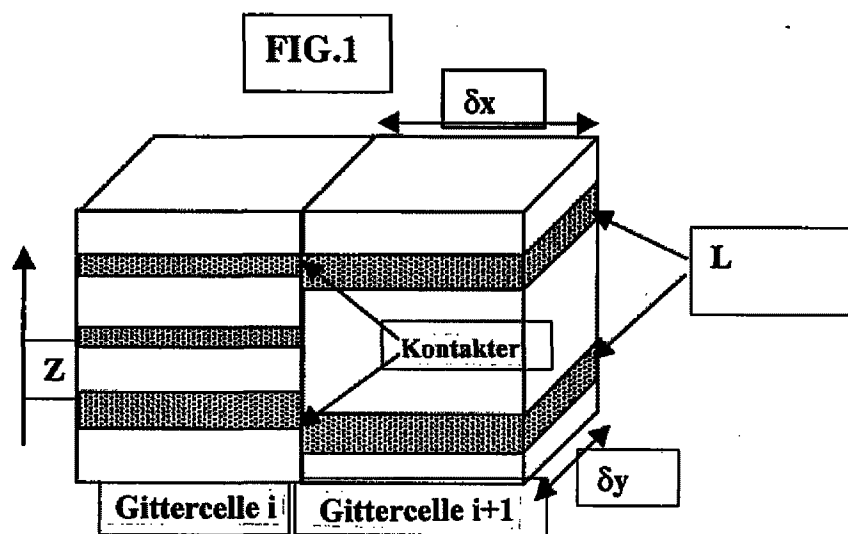
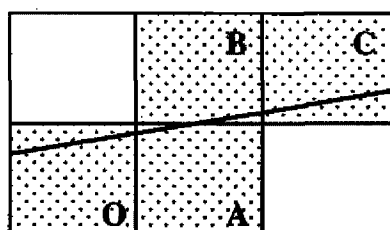
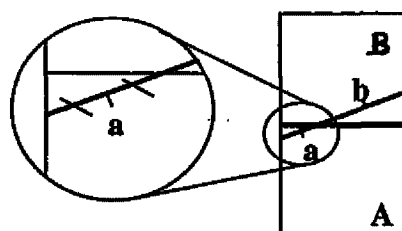
delt her (f.eks. 10 kilometer).

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for modellering og som gjør det mulig å simulere fluidstrømninger i et frakturert porøst geologisk medium av kjent struktur, og som da
5 diskretiseres i form av et gitter og modelleres ved å anta at hvert elementærvolum av det frakturerte geologiske medium består av et ekvivalent frakturmedium og matrisemedium innenfor målestokken for hver av de celler som det er fastlagt fluidveksling mellom, hvor dette geologiske medium gjennomskjæres av et nettverk av fluidledende gjenstander med fastlagt geometri, men som ikke kan homogeniseres i målestokken for hver celle i modellen, og fremgangsmåten går ut på å
10 bestemme utvekslinger mellom matrisemediet og frakturmediet, k a r a k t e r i s e r t v e d at gjennomstrømbarheten for de forskjellige celler som gjennomskjæres av hver ledende gjenstand blir modellert slik at den resulterende gjennomstrømbarhet tilsvarer den direkte gjennomstrømning langs vedkom-
15 mende ledende gjenstand.
2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at det i tilfeller hvor de ledende gjenstander er meget gjennomstrømbare sedimentære lag, blir gjennomstrømbarheten mellom tilstøt-
20 ende celler som gjennomskjæres av hvert meget gjennomstrømbare lag tildelt en verdi som avhenger av cellens dimensjoner, av det felles kontaktområde mellom slike lag ved overgangen mellom de tilstøtende celler, samt av de meget gjennomstrømbare lags gjennomstrømbarhet.
- 25 3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at det i tilfeller hvor de ledende gjenstander er frakturer, blir overgangsstrømbarheten mellom tilstøtende celler som gjennomskjæres av hver fraktur tildelt en strømbarhetsverdi som avhenger av cellens dimensjoner, av frakturens tykkelse, samt av dens iboende gjennomstrømbarhet.
- 30 4. Fremgangsmåte som angitt i et hvilket som helst av de forutgående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at det i de celler som gjennomskjæres av geometrisk fastlagte ledende gjenstander fastlegges et transponert medium som består av et

- sett jevnt anordnede blokker som er innbyrdes atskilt ved hjelp av et regelmessig frakturgitter, hvor nevnte transponerte medium gir hovedsakelig samme fluidgjenvinning (R_{eq}) under en kapillar-oppsugningsprosess som det faktiske medium, blokkenes vertikale dimensjoner i det transponerte medium bestemmes ut i fra
- 5 posisjonene av de meget gjennomstrømbare sedimentære lag i cellen, og blokkenes horisontaldimensjoner i dette transponerte medium utledes fra en todimensjonal (2D) avbildning av det geologiske medium i form av en rekke bildeelementer, ved:
- å bestemme for hvert bildeelement den minste avstand til den nærmeste
 - 10 fraktur,
 - å danne en fordeling av antallet bildeelementer i sammenheng med minsteavstanden til det frakturerte medium, samt ut i fra denne fordeling å bestemme gjenvinningsfunksjonen (R) for nevnte sett av blokker, og
 - å bestemme avstandene (a, b) for de ekvivalente regulære blokker i det
 - 15 transponerte medium ut i fra gjenvinningsfunksjonen (R) samt ut i fra gjenvinningsfunksjonen (R_{eq}) for vedkommende ekvivalente blokk.

1/2

**FIG.3****FIG.4**

2/2

FIG.5

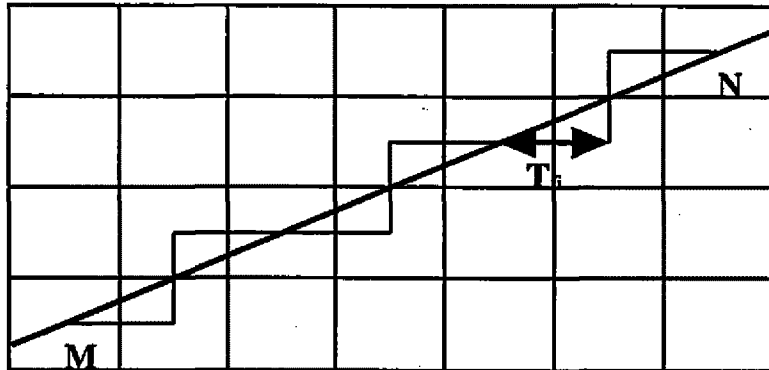


FIG.6

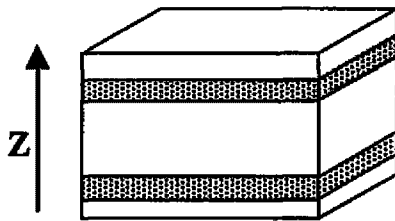


FIG.7

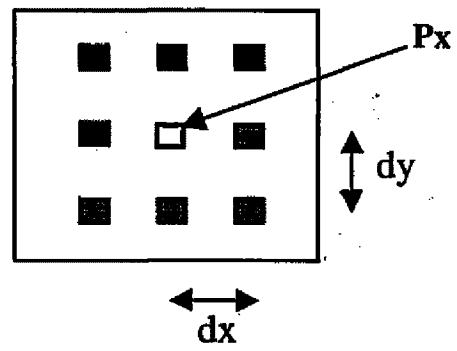


FIG.8

