



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336234

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

E21B 41/00 (2006.01)

G06Q 10/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20042264	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2004.06.01	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2004.06.01	(30)	Prioritet	2003.06.02, FR, 0306636
(41)	Alm.tilgj	2004.12.03			
(45)	Meddelt	2015.06.22			
(73)	Innehaver	Institut Francais du Petrole, 1 & 4, avenue du Bois-Préau, 92852 RUEIL MALMAISON CEDEX, Frankrike			
(72)	Oppfinner	Zabalza-Mezghani Isabelle, 121, bis avenue Paul Doumer, FR-92500 RUEIL-MALMAISON, Frankrike Manceau Emmanuel, 14, rue d'Estienne d'Orves, FR-92500 RUEIL-MALMAISON, Frankrike Mathieu Feraille, 6 place du Maréchal Foch, FR-92000 NANTERRE, Frankrike			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for å gjennomføre utviklingen av et hydrokarbonreservoar modellert ved hjelp av en strømningssimulator.			
(56)	Anførte publikasjoner	US 5992519 A EP 0881357 A			
(57)	Sammendrag				

Fremgangsmåte for å ta hensyn til tekniske usikkerheter, under bibehold av den underliggende fysikalske realitet, og hurtig økonomisk lønnsomhetsstudium i et oljereservoar. Fremgangsmåten kan gjennomføres f.eks. på området for oljeproduksjon for å finne innvirkningen av tekniske og økonomiske usikkerheter på den økonomiske lønnsomheten for et reservoar og/eller for å optimalisere posisjonen av en ny brønn med det formål å imøtekomme en utviklingsstrategi. I trinn 1 velges usikre tekniske parametere som har innvirkning på reservoarproduksjonen. I trinn 2 bestemmes en analytisk modell som uttrykker reservoarproduksjonen i løpet av tid som en funksjon av parametrene valgt i trinn 1, fra produksjonsverdier tilveiebrakt ved hjelp av en strømningssimulator. I trinn 3 bestemmes en modell som uttrykker den økonomiske lønnsomheten for reservoaret som en funksjon av de tekniske og økonomiske parametrene, fra den analytiske modellen bestemt i trinn 2.

Foreliggende oppfinnelse angår en fremgangsmåte for å ta hensyn til tekniske usikkerheter, under bibehold av den underliggende fysikalske realitet, og hurtig økonomisk lønnsomhetsstudium i et oljereservoar.

Metoden kan anvendes f.eks. på området oljeproduksjon for å finne ut inn-
5 virkningen av usikkerhetene på den økonomiske lønnsomheten for et reservoar
og/eller for å optimalisere posisjonen av en ny brønn for å kunne møte en produksjonsstrategi (netto nåværende verdimaksimering, ...) ved å ta hensyn til de tekniske og økonomiske usikkerhetene. I generelle termer gjør metoden det mulig å gjennomføre risiko studier av den økonomiske lønnsomheten for et reservoar ved
10 å ta tekniske og økonomiske usikkerheter med i beregningen.

Bakgrunn for oppfinnelsen

Den teknologiske bakgrunn for oppfinnelsen er for eksempel beskrevet i US5992519 A, som vedrører en fremgangsmåte for sanntidsstyring av oljeutvinningsreservoarer gjennom aktiv intervensjon. Det anvendes en reservoarmodell, i
15 forbindelse med et reservoarsimuleringsverktøy, for å definere en produksjonsstrategi som vil maksimere bestemte kriterier slik som profit.

EP0881357 A beskriver en fremgangsmåte for å styre utviklingen av et reservoar ved hjelp av neuralt nettverk og genetisk algoritme. Det kreves konstruksjon av en database fra eksisterende og allerede borede brønner.

I samsvar med tidligere teknikk er i petroleumsindustrien en økonomisk reservoarlønnsomhetsstudie generelt basert på produksjonsprofiler som er bestemt på forhånd. Bestemmelse av flere oljeproduksjonsprofiler, dvs. utviklingen av reservoarets produksjon i løpet av tid, gjennomføres ved å velge flere mulige scenarier, f.eks. i høy grad sannsynlig, sannsynlig og usannsynlig, relatert til de usikre
25 tekniske parametrene for reservoaret. Produksjonen fra et reservoar i løpet av tid er definert ved utviklingen av dets fluidproduksjon over tid. Det kan f.eks. være utviklingen over tid av olje og/eller gass og/eller vannproduksjonen fra reservoaret. Oljeproduksjonsscenarioer etableres ved hjelp av software for reservoarstrømningssimulering. Det økonomiske lønnsomhetsstudiet gjennomføres så på usikre
30 økonomiske parametere for hvert scenario. Scenariometoden anvendes for å begrense antallet av strømningssimuleringer, kostbar i kalkulasjonstid som er nødvendig for den økonomiske lønnsomhetsstudie.

For hvert scenario tillater metoden i samsvar med tidligere teknikk at usikkerhetene i sammenheng med den økonomiske lønnsomhet for reservoaret (netto
35 nå-verdi, intern avkastningsgrad, etc.) oppnås ved å definere sannsynlighetsden-

siteter som står i sammenheng med de usikre økonomiske parametere, da under anvendelse av metoder av Monte Carlo type. Denne metoden tillater således bestemmelse av usikkerhet vedrørende den økonomiske lønnsomhet for et reservoar på grunnlag av økonomisk parametere for tidligere bestemte og fikserte produksjonsscenarioer som er en funksjon av de usikre tekniske parametere forbundet med reservoaret.

Metodene i samsvar med tidligere teknikk viser imidlertid mangelfullheter, hovedsakelig på grunn av det faktum at innvirkningen av hver teknisk parameter på den økonomiske lønnsomheten for reservoaret ikke direkte og eksplisitt tas hensyn til. I virkeligheten tas det globalt hensyn til de tekniske parametrene i definisjonen av produksjonsscenariene (etablert ved numerisk strømningsmodellering), og som inkluderer alle usikre tekniske parametere. Det er derfor ikke mulig f.eks. å kvantifisere innvirkningen av en gitt usikker teknisk parameter (aktivitet av vannreservoar under trykk, porøsitet, permeabilitet, etc.) på den økonomiske lønnsomheten av reservoaret eller for å optimalisere posisjonen av en brønn for å kunne maksimere denne lønnsomhet. I generelle termer er det med metodene i henhold til tidligere teknikk ikke mulig hurtig og systematisk å gjennomføre risikostudier vedrørende den økonomiske lønnsomhet for et reservoar ved å integrere direkte de økonomisk og de teknisk usikre parametere.

I generelle termer tar metoden i samsvar med oppfinnelsen sikte på å evaluere den økonomiske lønnsomheten av et reservoar ved å ta hensyn til tekniske og økonomiske parametere iboende i reservoaret. Metoden i samsvar med oppfinnelsen tillater beregning av teknisk usikre parametere under bibehold av den underliggende fysikalske realitet, og hurtig, i tillegg til de økonomisk usikre parametere i en økonomisk lønnsomhetsstudie.

Foreliggende oppfinnelsen tilveiebringer en fremgangsmåte for å gjennomføre utviklingen av et hydrokarbonreservoar modellert ved hjelp av en strømnings-simulator, ved å ta hensyn til de økonomiske implikasjoner av usikre tekniske parametere som påvirker reservoarets produksjon, idet strømningsmodellen er konstruert på grunnlag av kjente fysikalske data som en funksjon av tekniske parametere, hvor følgende trinn gjennomføres:

- a) utvelge (trinn 1) et visst antall av nevnte tekniske parametere involvert i strømningsmodellen,
- b) bestemme (trinn 2) en første analytisk modell angående reservoarets produksjon som en funksjon av tid, ved å ta hensyn til parametrene valgt i trinn

- a), og beste tilpasning av et visst endelig antall av produksjonsverdier oppnådd ved hjelp av reservoarsimulatoren; dette trinn muliggjør erstatning av strømningssimulatoren som er kostbar når det gjelder beregning av tid, med en svært hurtig analytisk modell samtidig med at sammenhengen med den fysikalske realitet forblir, under forbindelse av inngang av tekniske usikkerheter ved den numeriske simulator til utgangsdata (produksjon, ...),
- 5 c) fra den første analytiske modell bestemt i trinn b), bestemme (trinn 3) en andre analytisk modell som uttrykker den økonomiske lønnsomheten av nevnte reservoar som en funksjon av de tekniske parametrene bestemt i trinn a) og av utvalgte økonomiske parametere, fra hvilke evaluering av et avgjørelsesunderstøttelseskriterium bestemt ved å ta hensyn til produksjonsusikkerhetene forbundet med de usikre tekniske parametere avledes, og
- 10 d) modifisering av reservoarutviklingsbetingelsene på basis av evalueringen oppnådd for nevnte avgjørelsesunderstøttelseskriterium.
- 15

Fra den andre modell bestemt i trinn c) kan den relative innflytelse av nevnte parametere og av deres gjensidige påvirkninger på den økonomiske lønnsomheten av reservoaret kvantifiseres ved hjelp av for eksempel en sensitivitetsanalyse.

20 Fra den andre modell bestemt i trinn c) er det mulig å bestemme usikkerhetene på reservoarlønnsomheten som en funksjon av usikkerhetene på nevnte tekniske og økonomiske parametere. F.eks. står en sannsynlighetsdensitet i forbindelse med hver enkelt av nevnte tekniske og økonomiske parametere, og da anvendes en gjenprøvetakingsmetode (Monte Carlo eller Bootstrap metode).

25 Fra den andre modell bestemt i trinn c) kan minst én av nevnte tekniske og økonomiske parametere optimaliseres. F.eks. gjennomføres følgende trinn: i) tilfeldig opptegning av flere verdier for minst én av nevnte parametere intrinsisk til reservoaret i samsvar med dets usikkerhetslov, ii) fastsetting av verdiene av minst én av nevnte parametere forbundet med reservoarutviklingsopsjoner med det formål å optimalisere produksjonskriteriet for hver verdi opptegnet i trinn i), iii) fra verdiene bestemt i trinn ii), oppnås den optimale fordeling av nevnte parametere forbundet med reservoarutviklingsopsjonene.

30

I trinn b) kan den analytiske modellen bestemmes under anvendelse av et eksperimentelt design, idet hvert eksperiment består av en simulering av oljere-

servoaret utført ved hjelp av strømningssimulatoren. Den analytiske modellen kan også bestemmes under anvendelse av nervenettverk.

I trinn a) kan minst én parameter intrinsisk til reservoaret være av adskilt, kontinuerlig og/eller stokastisk type.

5 I trinn d) kan modifisering av utviklingsbetingelsene være relatert til boring av en ny brønn, borestedet for en ny brønn, utviklingen av produksjonsskjemaet, posisjonering av kompletteringer, fluidutvinningstype.

I trinn c) kan avgjørelsessupportkriteriet være den økonomiske lønnsomhet for reservoaret.

10 Implementering av fremgangsmåten i samsvar med oppfinnelsen gjør det mulig å oppnå økonomiske modeller som er koherent forbundet med de fysiske og hurtig med de usikre tekniske parametere. Risikostudiene gjennomført med disse modellene tilveiebringer således mer realistiske resultater som gjør det mulig å kvantifisere den virkelige innflytelse av hver kilde av teknisk usikkerhet
15 (permeabilitet, porøsitet, posisjon av en brønn, ...) på den økonomiske lønnsomheten av reservoaret.

Andre trekk og fordeler av oppfinnelsen vil tydeliggjøres ved lesing av den følgende beskrivelse, med referanse til de medfølgende tegninger hvor:

- Fig. 1 i diagramform viser fremgangsmåten i samsvar med oppfinnelsen;
- 20 - fig. 2 er i samsvar med et Pareto-diagram;
- fig. 3 viser tre søylediagrammer oppnådd ved hjelp av en optimaliseringsmetode i en mulig kontekst;
- fig. 4 viser et søylediagram oppnådd ved hjelp av Monte Carlo metoden.

Fremgangsmåten i samsvar med oppfinnelsen, beskrevet i forbindelse med
25 fig. 1, gjør det mulig å evaluere den økonomiske lønnsomheten av et reservoar ved å ta direkte hensyn til dets økonomiske og tekniske usikkerheter. I hvert trinn av metoden betrakter vi som eksempel et oljereservoar hvor noen tekniske og økonomiske parametere er usikre.

Trinn 1: Bestemmelse av de usikre parametrene

30 Det første trinn av metoden består i å velge ut de usikre tekniske parametere i forbindelse med reservoaret som betraktes og å sette dem i sammenheng med et usikkert område. Utvelgelse av de usikre parametrene kan gjøres enten i forhold til den fysiske kjennskap til reservoaret eller ved gjennomføring av en sensitivitetsundersøkelse. Disse parametere kan være av stokastisk, adskilt eller

deterministisk type, de må bare være involvert i arbeidsflyten (geologisk, geostatistisk, strukturell modellering, oppskalering, strømningsmodellering, etc.) for reservoarstrømningsmodellen som det skal tas hensyn til.

En deterministisk parameter er en kontinuerlig parameter hvis verdier ligger mellom et minimum og et maksimum, og som har en kontinuerlig effekt på reservoarsimuleringsresultater. Noen eksempler på konvensjonelle deterministiske parametere er:

- petrofysiske parametere så som porøsitet og permeabilitet,
- posisjonen, strømningsgraden, produktivitetsindeksen for en brønn eller for en gruppe av brønner.

Det karakteristiske for en stokastisk parameter er definert ved det faktum at en kontinuerlig variasjon har en tilfeldig effekt på reservoarsimuleringsresultater, så som den kumulative olje ved ett gitt tidspunkt. Eksempler på stokastiske parametere er:

- forskjellige geostatistiske termer som gjør det mulig å oppnå forskjellige ekviprobable geostatistiske realisasjoner,
- forskjellige ekviprobable reservoarmodeller kalibrert på produksjonsdataene,
- forskjellige strukturelle kart av bunnen eller toppen av reservoaret.

Innvirkningen av denne type parameter kan ikke tas hensyn til via den konvensjonelle teori for responsoverflatemetodologi og eksperimentelle design. Det anbefales da å anvende sammenføyningsmodelleringensmetoden beskrevet i følgende dokumenter:

1. Zabalza-Mezghani, I., "Analyse Statistique et Planification d'Expérience en ingénierie de réservoir", IFP Thesis, 24. mai 2000.
2. E. Manceau, M. Mezghani, I. Zabalza-Mezghani og F. Roggero, IFP, "Combination of Experimental Design and Joint Modeling Methods for Quantifying the Risk Associated with Deterministic and Stochastic Uncertainties - An Integrated Test Study", SPE 71620, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 30. september – 3. oktober 2001.
3. M. Feraille, E. Manceau, I. Zabalza-Mezghani, F. Roggero, L.-Y. Hu, IFP, L. Costa Reis, Petrobras, "Integration of dynamic data in a mature oil field reservoir model to reduce the uncertainty on production forecasting", AAPG Annual meeting, Salt Lake City, Utah, 11 – 14. mai 2003.

Adskilte parametere (discrete parameters) er parametere som kan innta et endelig antall av verdier. Eksempler på adskilte parametere er:

- komplettering av en brønn, perforering av lag 1, 2 og 3 eller bare 1 og 2,
- naturen av en forkastning, permeabel eller impermeabel.

5 For denne type av parameter er det fordelaktig å anvende spesifikke eksperimentelle design så som de definert i fransk patentsøknad FR 2 837 947.

I vårt eksempel består reservoaret av 5 porøse og permeable lag, nummerert 1 til 5 fra toppen. Lag 1, 2, 3 og 5 er av god kvalitet, mens lag 4 er av dårlig kvalitet når det gjelder porøsitet og permeabilitet. Vi betrakter som den første
10 usikre deterministiske parameter en permeabilitetsmultiplikator for lag 1, 2, 3 og 5 til hvilken et minimum og et maksimum er tilordnet: $MPH1 \in [MPH1_{min}, MPH1_{maks}]$. Den andre usikre deterministiske parameter samsvarer med kraften av det vannførende sjikt under trykk: $AQUI \in [AQUI_{min}, AQUI_{maks}]$. Den tredje usikre deterministiske parameter tilsvare restoljemetningen etter vannfeing: $SORW \in$
15 $\{SORW_{min}, SORW_{maks}\}$. Fjerde og femte usikre deterministiske parametere er posisjonene langs abscissene og ordinatene av brønn P1 i celletall av reservoarmodellen: $P1X \in [P1X_{min}, P1X_{maks}]$ og $P1Y \in [P1Y_{min}, P1Y_{maks}]$. Således er 5 deterministiske usikre parametere blitt definert. Det usikre område er definert in tabell 1.

Tabell 1: Definisjon av det usikre område forbundet med de tekniske parametrene

	Min.	Maks.
MPH1	0,8	1,2
SORW	0,15	0,25
AQUI	0,2	0,3
P1X	6	11
P1Y	21	23

20

Trinn 2: Strømningssimulatortilnærming

Oljereservoaret modelleres ved hjelp av en numerisk reservoarsimulator. Reservoarsimulatoren eller strømningssimulatoren muliggjør spesielt å beregne produksjonen f.eks. av vann, olje og/eller gass i løpet av tid som en funksjon av
25 tekniske parametere i forbindelse med reservoarmodellen, så som antall lag og av gitterceller i reservoaret, cellenes porøsitet og permeabilitet, trykket i det vann-

førende sjiktet (aquifer force), fysikalske parametere i sammenheng med de involverte fluidene (PVT-studier, etc.), posisjonen av oljebrønnene og deres produksjonsbegrensninger, etc.

En analytisk modell som uttrykker reservoarproduksjonen over tid bestemmes ut fra et endelig antall av reservoarproduksjonsverdier som er tilveiebrakt ved hjelp av strømningsmodellen. Produksjonssimuleringene gjennomføres ved å variere de forskjellige parametere valgt i trinn 1. Den analytiske modellen kan bestemmes ved hjelp av matematiske metoder så som eksperimentelle design, nervenettverk, etc.

I tilfeller hvor metoden med det eksperimentelle designet anvendes, i samsvar med typen og antallet usikre parametere som er bestemt, så finnes det egnede eksperimentelle design som definerer et antall av numeriske simuleringer som må gjennomføres for å karakterisere det usikre området på en streng og homogen måte. Det er således mulig hurtig og korrekt å analysere innvirkningen av hver usikker parameter. Det er mulig å anvende de eksperimentelle design beskrevet i de følgende dokumenter:

4. Dejean, J.P. og Blanc, G., "Managing uncertainties on production predictions using integrated statistical methods", SPE 56696, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, USA, 3. – 6. oktober 1999.
5. Box, G.E.P. og Hunter, J.S., "The 2k-p fractional factorial designs", del I, Technometrics, 2, 311 - 352, 1961a,
6. Box, G.E.P. og Hunter, J.S., "The 2k-p fractional factorial designs", del II, Technometrics, 3, 449 - 458, 1961b.
7. Box, G.E.P. og Wilson, K.B., "On the experimental attainment of optimum conditions", Journal av the Royal Statistical Society, Serie B, 13, 1 - 45.
8. Draper, N.R., "Small composite designs", Technometrics, 27, 173 - 180, 1985.
9. Atkinson, A.C. og Donev, A.N., "Optimum experimental designs", Oxford University Press, 1992.

Dersom det anvendes eksperimentelle design er det mulig, fra simuleringresultatene fra designet, under anvendelse av statistisk modellering, å relatere simuleringresultater ved hjelp av én eller flere analytiske funksjoner, angitt som responser, til de usikre parametrene. En respons tilsvarer et simuleringresultat ved en gitt tid for alle simuleringene i designet, f.eks., den kumulative olje i reservoaret ved et gitt tidspunkt for N simuleringer i det eksperimentelle designet.

Formen av den/de analytiske funksjon(ene) avhenger av det valgte eksperimentelle design og av typen av parametere. Dersom f.eks. en stokastisk parameter og deterministiske parametere er definert, så kan den forbundne modelleringsmetode beskrevet i de forannevnte dokumenter [1, 2, 3] anvendes og fører til definisjon av to analytiske funksjoner, hvor den første reproduserer gjennomsnittet og den andre fordelingen av den betraktede respons.

Anvendelsen av matematiske metoder så som eksperimentelle design, nervesystemer, og anvendelse av hensiktsmessig statistisk verktøy, har den fordel at de kan erstatte strømningssimulatoren, som er svært kostbar når det gjelder beregning av tid, med én eller flere svært hurtige analytiske funksjoner, gyldig på det usikre området, og som tillater å transkribere utviklingen av en produksjonsrespons som en funksjon av de usikre parametrene. Videre er det viktig å merke seg at de definerte analytiske funksjonene ikke avhenger av sannsynlighetsdensiteten av de usikre parametere, men bare av deres øvre og nedre grenser.

Det er således mulig å erstatte produksjonsprofilen for et reservoar med flere analytiske funksjoner, noe som bare krever bestemmelse av de analytiske funksjonene som gir reservoarproduksjonen som en funksjon av de tekniske parametrene, for hvert produksjonsår. Den kumulative oljeproduksjonen for hvert produksjonsår korresponderer for eksempel til så mange responser som år som skal relateres til én eller flere analytiske funksjoner.

I vårt eksempel vil vi bestemme polynomiale funksjoner som tillater å relatere den kumulative hydrokarbonproduksjonen for hvert enkelt av de tolv årene av produksjonsprofilen til de fem deterministisk usikre parametere definert i trinn 1. Vi velger derfor en eksperimentell design av 2. orden egnet for fem deterministiske parametere med karakteristikkene beskrevet i tabell 2 og med hensyntagen til termene beskrevet i tabell 3.

Tabell 2: Karakteristikk ved den eksperimentelle design

Designegenskaper	
Designtype	Sentralkompositt – frontsentrert
Antall parametere	5
Antall simuleringer	27

Tabell 3: Termer som er tatt hensyn til i den analytiske modell

Termer som er tatt hensyn til i den analytiske modell		
Hoved	Gjensidig påvirkning	Kvadratisk
MPH1	MPH1:SORW	MPH1 ²
SORW	MPH1:AQUI	SORW ²
AQUI	MPH1:P1X	AQUI ²
P1X	MPH1:P1Y	P1X ²
P1Y	SORW:AQUI	P1Y ²
	SORW:P1X	
	SORW:P1Y	
	AQUI:P1X	
	AQUI:P1Y	
	P1X:P1Y	

De 27 simuleringene i sammenheng med den betraktede eksperimentelle design ble gjennomført for å oppnå 27 simulerte resultater for den kumulative oljeproduksjonen for hvert år av produksjonsprofilen. Ut fra disse resultatene ble det konstruert tolv polynomiale modeller under anvendelse av den statistiske responsoverflatemetode, for å nærme seg strømningssimulatoren på det usikre område for det tolvte produksjonsår.

Trinn 3: Konstruksjon av den økonomiske lønnsomhetsmodell for et reservoar

Produksjonsprofilen av et reservoar er definert ved den analytiske modellen bestemt i trinn 2. Strømningssimulatoren, som er svært kostbar når det gjelder beregning av tid, blir således kommet nærmere (approached) ved hjelp av en analytisk modell som tillater å relatere produksjonen i løpet av tid til de usikre tekniske parametere straks, under bibehold av den underliggende fysiske realitet.

I henhold til oppfinnelsen kan produksjonsprofilen for reservoaret som således er definert anvendes i en økonomisk studie for direkte og eksplisitt å relatere usikkerhetene på hver teknisk parameter til usikkerheten ved den økonomiske lønnsomheten til reservoaret. Etter definering av de økonomisk usikre parametere er det mulig å evaluere og å kvantifisere usikkerheten vedrørende den økonomiske lønnsomheten av et reservoar og som skyldes dets usikre økonomiske og tekniske parametere.

En modell som uttrykker den økonomiske lønnsomheten for et reservoar bestemmes som en funksjon av de tekniske parametrene valgt i trinn 1 og som en funksjon av økonomiske parametere, under anvendelse av den analytiske modellen bestemt i trinn 2. Den økonomiske lønnsomheten kan f.eks. være netto nåværende verdi (Net Present Value = NPV) for reservoaret, eller andre økonomiske resultater forbundet med reservoaret. De økonomiske parametrene velges i forbindelse med den økonomiske lønnsomheten av reservoaret, f.eks. reservoarets driftskostnader, diskonteringssatsen.

I vårt eksempel er det definert to usikre økonomiske parametere. Den første usikre økonomiske parameter er i samsvar med reservoardriftskostnadene i \$/bbl med et tilhørende minimum og maksimum: $OPEX \in [OPEX_{\min}, OPEX_{\max}]$. Den andre usikre økonomisk parameteren tilsvarer diskonteringssatsen: $DISCRATE \in [DISCRATE_{\min}, DISCRATE_{\max}]$. Vi oppnår således totalt syv deterministisk usikre parametere, blant hvilke to er tekniske, kontrollerbare og kan optimaliseres (P1X og P1Y), tre er tekniske og ikke-kontrollerbare (MPH1, AQU1 og SORW) og to er økonomiske (OPEX, DISCRATE). Tabell 4 viser et sammen- drag av disse usikre parametrene.

Tabell 4: Oppsummering av de teknisk og økonomisk usikre parametere

	Min	Maks
MPH1	0,8	1,2
SORW	0,15	0,25
AQUI	0,2	0,3
P1X	6	11
P1Y	21	23
OPEX	2,5	3,5
DISCRATE	0,08	0,12

Den økonomiske modellen av reservoaret, generelt hurtig, kan oppnås ved hjelp av software av typen regneark, f.eks. Excel, under anvendelse av de polynomiale funksjoner som går mot reservoarproduksjonsprofilen bestemt i trinn 2. En modell som uttrykker Net Present Value av reservoaret bestemmes således.

Fra modellen bestemt i trinn 3, og som uttrykker den økonomiske lønnsomheten for reservoaret, kan ett eller flere av følgende trinn gjennomføres:

Trinn 4: Kvalifisering av hver teknisk og økonomisk usikker parameter og deres mulige gjensidige påvirkninger på den økonomiske lønnsomheten av et reservoar (med andre ord kvantifisering av den relative innflytelse av parametrene i forhold til hverandre) ved gjennomføring av en sensitivitetsundersøkelse, under anvendelse av f.eks. eksperimentelle designmetoder og responsoverflatemetodologier, for å konstruere et Pareto-diagram, etc.

Trinn 5: Bestemmelse av usikkerheter på den økonomiske lønnsomhet av et reservoar som en funksjon av de teknisk og økonomisk usikre parametere under anvendelse av re-prøvetakingsmetoder, f.eks. ved å sette i forbindelse med hver usikre parameter en sannsynlighetsdensitet, og så anvende Monte Carlo metoden, Bootstrap metoden, etc.

Trinn 6: Optimalisering av usikre, men kontrollerbare tekniske og økonomiske parametere (posisjon, brønnstrømningsgrad, kontraktforhandlinger, ...) i en deterministisk eller sannsynlig kontekst for å møte en utviklingsstrategi (netto nåværende verdimaksimering, ...).

I vårt eksempel anvendes først (trinn 4) den økonomiske lønnsomhetsmodell som uttrykker NPV for å kvalifisere de teknisk og økonomisk usikre parametere samt deres gjensidige innvirkninger på Net Present Value (NPV) for reservoaret. Så for det andre (trinn 6) anvendes modellen for å optimalisere posisjonen av brønn P1 (tidligere parametere P1X og P1Y) for å maksimere NPV for reservoaret under bibehold av de andre usikre tekniske og økonomiske parametere. Til sist (trinn 5), ved å holde den bestemte optimale posisjon av brønnen fiksert, kvantifiserer vi mer presist usikkerhetene som skyldes de andre usikre parametrene på NPV for reservoaret.

Sensitivitetsundersøkelse (trinn 4): For å kunne kvalifisere de syv teknisk og økonomisk usikre parametrene på NPV av reservoaret, har vi valgt det eksperimentelle designet definert i tabell 7.

Tabell 7: Karakteristikk ved den eksperimentelle design

Designegenskaper	
Designtype	Sentralkompositt – frontsentrert
Antall parametere	7
Antall simuleringer	79

De korresponderende forsøk ble gjennomført under anvendelse av modellen for økonomisk lønnsomhet. En analytisk modell konstrueres fra forsøksresultatene, under anvendelse av responsoverflatemodellering. Denne analytiske modellen ble så benyttet for å konstruere et Pareto-diagram, vist på fig. 2, anvendbart for bestemmelse av innflytelsen av hver usikre parameter på NPV.

Produksjonsskjemaoptimalisering (trinn 6): For å optimalisere P1X og P1Y for å kunne maksimere NPV, er det mulig å anvende enten den økonomiske modell ved en analytisk funksjon under anvendelse av f.eks. metoder basert på den eksperimentelle design og på responsoverflatemetodologien, eller å direkte anvende den økonomiske modell uten tilnærming av den dersom den er hurtig nok for økonomiske lønnsomhetsberegninger. I vårt eksempel er økonomisk beregning svært hurtig ved direkte anvendelse av den økonomiske lønnsomhetsmodell. Optimalisering av parametere P1X og P1Y gjøres i en usikker kontekst; for de andre fem parametere tilknyttes sannsynlighetsdensiteter. I dette eksemplet anvendes normale lover for de tre tekniske parametere og ensartede lover anvendes for de to økonomiske parametrene. Tabell 5 oppsummerer sannsynlighetsdensiteten i sammenheng med hver parameter.

Tabell 5: Oppsummering av sannsynlighetsdensitetene i sammenheng med de ikke-optimaliserte teknisk og økonomisk usikre parametrene

Densitet		Virkelig	Normalisert	Virkelig	Normalisert
Gjennomsnittlig			Forventet		
MPH1	Normal	1	0	0,04	0,2
SORW	Normal	0,2	0	0,01	0,2
AQUI	Normal	0,25	0	0,01	0,2
Minimum			Maksimum		
OPEX	Ensartet	2,5	-1	3,5	1
DISCRATE	Ensartet	0,08	-1	0,12	1

Så, under anvendelse av Monte Carlo metoden, tegnes det opp hundre punkter for hver av de fem usikre parametrene (MPH1, AQUI, SORW, OPEX og DISCRATE) med hensyn til deres sannsynlighetsdensiteter; så gjøres hundre

optimaliseringer av P1X og P1Y for hundre ganger å maksimere NPV. Resultatene tilsvarer de hundre optimaliseringsverdier av parametere P1X, P1Y og av NPV. Søylediagrammer vist på fig. 3 konstrueres fra disse hundre verdier. Tabell 6 oppsummerer verdiene av kvantilene.

5

Tabell 6: Kvantiler P1X, P1Y og av NPV oppnådd via optimalisering av P1X og P1Y i en usikker kontekst

Kvantil	Optimalisering av P1Y (celle nr.)		Optimalisering av P1X (celle nr.)		Optimalisering av NPV (106 m ³)
	Virkelig	Normalisert	Virkelig	Normalisert	
P100	22,248	0,248	9,196	0,279	38,746
P90	22,256	0,256	9,207	0,283	42,007
P80	22,264	0,264	9,212	0,285	43,494
P70	22,271	0,271	9,218	0,287	44,898
P60	22,278	0,278	9,221	0,289	46,666
P50	22,286	0,286	9,227	0,291	48,698
P40	22,294	0,294	9,231	0,292	50,722
P30	22,3	0,3	9,234	0,293	52,008
P20	22,31	0,31	9,241	0,296	53,724
P10	22,318	0,318	9,248	0,299	56,407
P0	22,337	0,337	9,263	0,305	60,237

10 Det kan sees at de optimale verdier av P1X og P1Y i dette eksempel ikke avhenger mye av de andre usikre parametrene. De endelige og optimale verdier utvalgt er P1X=9 og P1Y=22 fordi de samsvarer med cellenummere i strømningsmodellen og må derfor være hele.

Bestemmelse av sannsynlighetsdensitet for den økonomiske lønnsomhet (trinn 5):

15 Med denne optimale verdi for posisjonen av brønn P1, blir en ny Monte Carlo prøvetaking gjennomført for å oppnå et søylediagram og mer nøyaktige kvantiler (10 000 verdier) for NPV for reservoaret, vist på fig. 4.

I dette eksemplet har vi således vært i stand til å optimalisere to kontrollerbare tekniske parametere tilsvarende posisjonen X og Y av brønn P1, for å kunne 20 maksimere den valgte produksjonsstrategi, forbundet med den økonomiske lønn-

somheten av reservoaret, dvs. dets NPV; så har vi kvantifisert innvirkningen av de andre teknisk og økonomisk usikre parametrene på den økonomiske lønnsomheten av reservoaret i form av et søylediagram og av kvantiler/persentiler.

Patentkrav

1. Fremgangsmåte for å gjennomføre utviklingen av et hydrokarbonreservoar modellert ved hjelp av en strømningssimulator, ved å ta hensyn til de økonomiske implikasjoner av usikre tekniske parametere som påvirker reservoarets produksjon, idet strømningssimulatoren er konstruert på grunnlag av kjente fysiske data som en funksjon av nevnte tekniske parametere, karakterisert ved at følgende trinn gjennomføres:
- 5
- a) utvelge (trinn 1) et visst antall av nevnte tekniske parametere involvert i strømningssimulatoren;
- 10
- b) bestemme (trinn 2) en første analytisk modell angående reservoarets produksjon som en funksjon av tid, ved å ta hensyn til parametrene valgt i trinn a) og beste tilpasning av et visst endelig antall av produksjonsverdier oppnådd ved hjelp av strømningssimulatoren;
- 15
- c) fra den første analytiske modell bestemt i trinn b), bestemme (trinn 3) av en andre analytisk modell som en funksjon av de tekniske parametrene bestemt i trinn a) og av utvalgte økonomiske parametere, fra hvilke en evaluering av et avgjørelsesunderstøttelseskriterium bestemt ved å ta hensyn til produksjonsusikkerhetene forbundet med de usikre tekniske parametere avledes, og
- 20
- d) modifisere av reservoarutviklingsbetingelsene på basis av evalueringen oppnådd for nevnte avgjørelsesunderstøttelseskriterium.
2. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fra den andre modell bestemt i trinn c), kvantifiseres (trinn 4) den relative innflytelse av nevnte parametere og av deres gjensidige påvirkninger på den økonomisk lønnsomhet av reservoaret.
- 25
3. Fremgangsmåte i henhold til krav 2, karakterisert ved at det gjennomføres en sensitivitetsanalyse.
- 30
4. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fra den andre modell bestemt i trinn c), bestemmes usikkerhetene vedrørende reservoarets lønnsomhet som en funksjon av usikkerhetene på nevnte tekniske og økonomiske parametere.
- 35

5. Fremgangsmåte i henhold til krav 4, karakterisert ved at en sannsynlighetsdensitet står i sammenheng med hver av nevnte tekniske og økonomiske parametere, og da anvendes en re-prøvetakingsmetode (trinn 5).
- 5
6. Fremgangsmåte i henhold til krav 5, karakterisert ved at Monte Carlo eller Bootstrap metoden anvendes.
7. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, karakterisert ved at fra den andre modell bestemt i trinn c), optimaliseres minst én av nevnte tekniske og økonomiske parametere (trinn 6).
- 10
8. Fremgangsmåte i henhold til krav 7, karakterisert ved i) tilfeldig opptegning av flere verdier for minst én av nevnte parametere intrinsisk til reservoaret i samsvar med dets usikkerhetslov, ii) bestemmelse av verdiene for minst én av nevnte parametere forbundet med reservoarutviklingsopsjonene, med det formål å optimalisere produksjonskriteriet for hver verdi inntegnet i trinn i), iii) fra verdiene bestemt i trinn ii), oppnås den optimale fordeling av nevnte parametere forbundet med reservoarutviklingsopsjonene.
- 15
- 20
9. Fremgangsmåte i henhold til hvilke som helst av de foregående krav, karakterisert ved at i trinn b) bestemmes den første analytiske modell under anvendelse av en eksperimentell design, idet hvert eksperiment består i en simulering av oljereservoaret utført ved hjelp av strømningssimulatoren.
- 25
10. Fremgangsmåte i henhold til hvilke som helst av kravene 1 til 8, karakterisert ved at i trinn b) bestemmes den analytiske modellen under anvendelse av nervenettverk.
- 30
11. Fremgangsmåte i henhold til hvilke som helst av de foregående krav, karakterisert ved at i trinn a) er minst én av de usikre tekniske parametrene forbundet med reservoaret av særskilt, kontinuerlig eller stokastisk type.

FIG.1

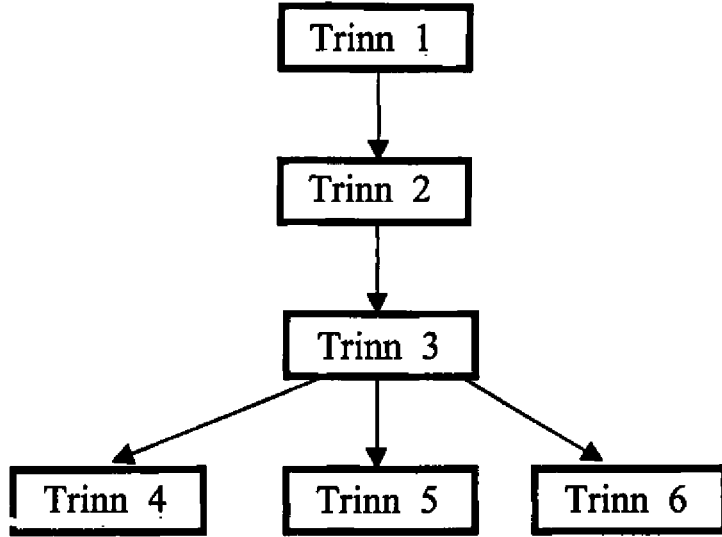
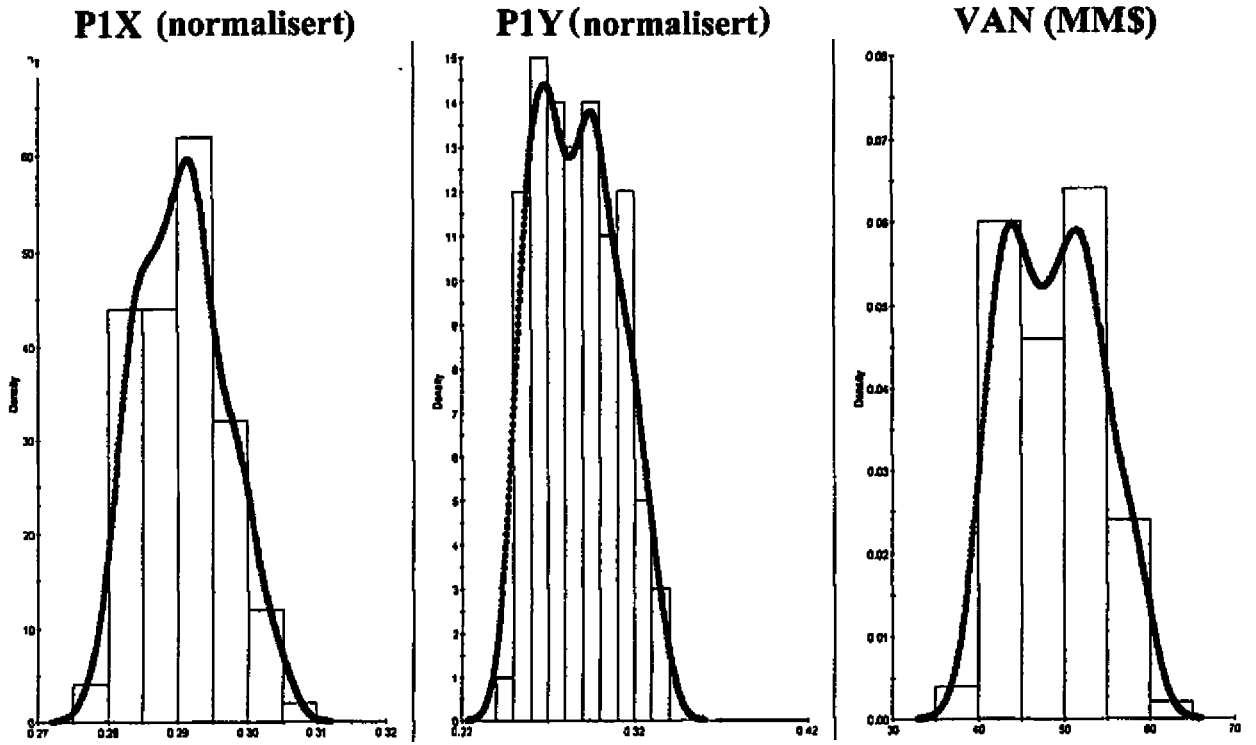


FIG.3



2/2

FIG.2

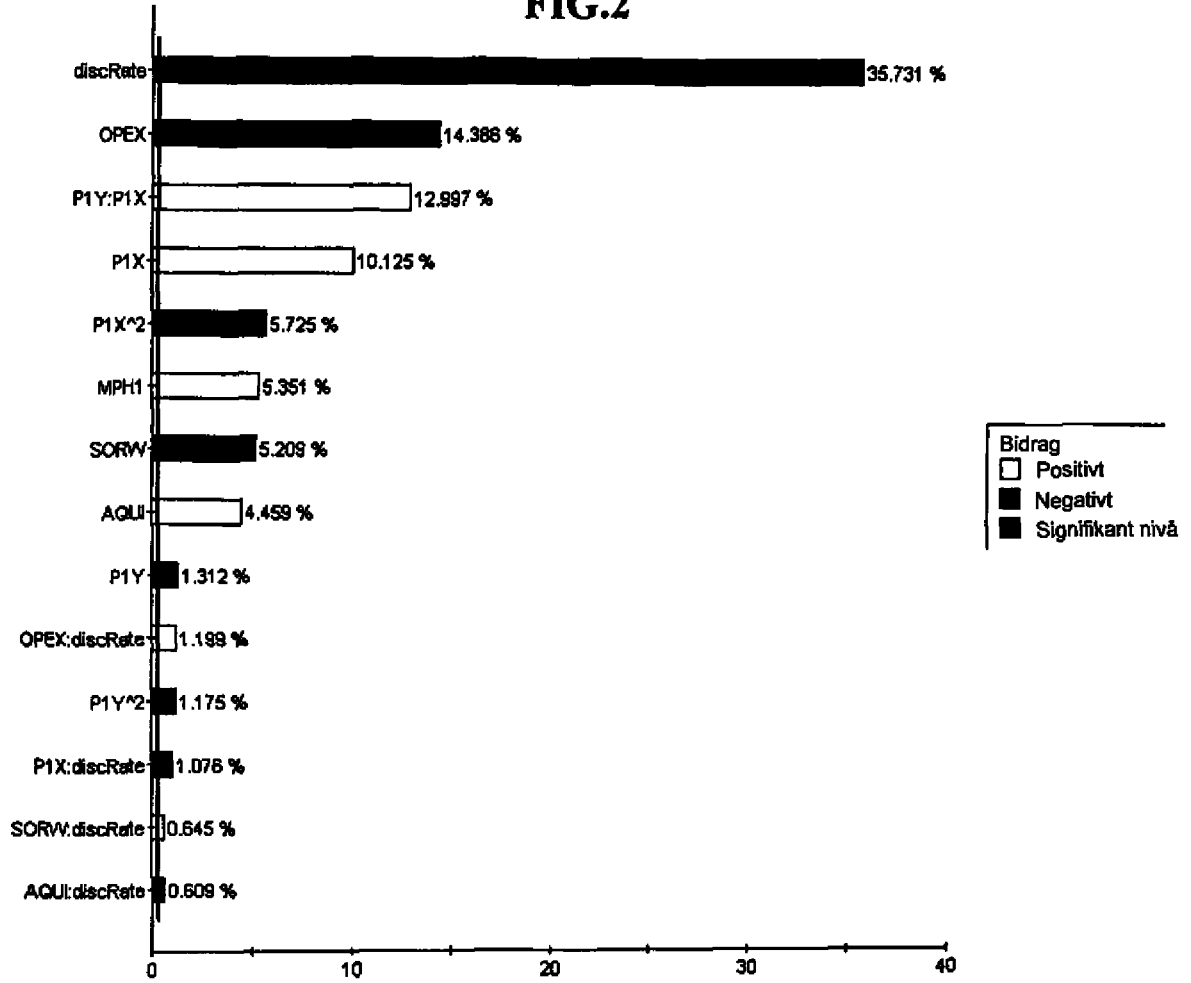


FIG.4

