



(12) PATENT

(19) NO

(11) 332475

(13) B1

NORGE

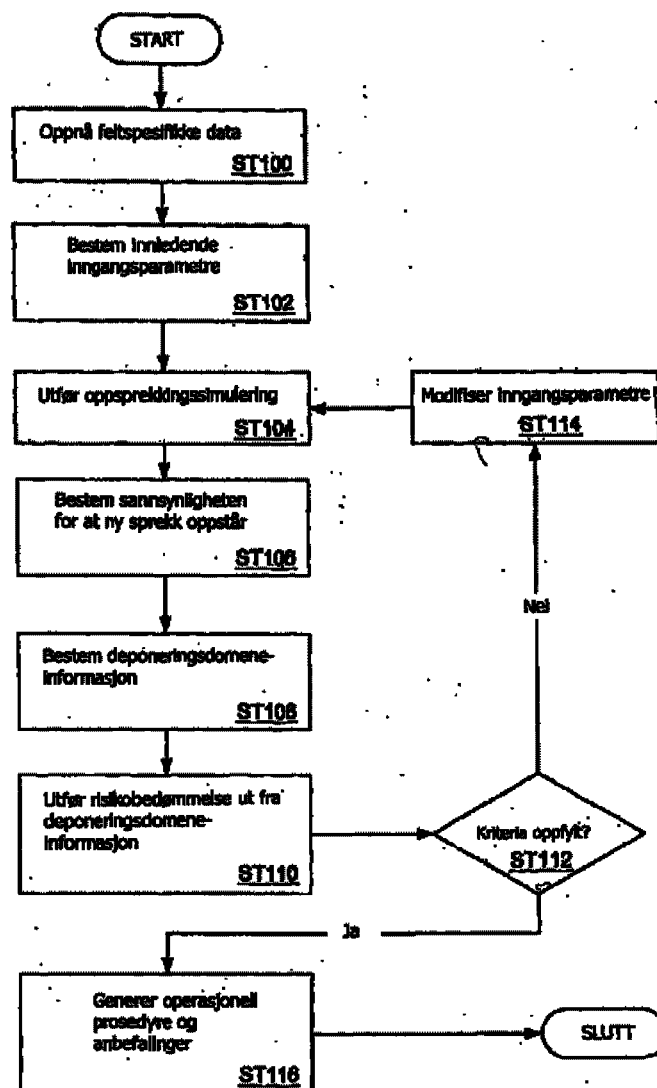
(51) Int Cl.
E21B 41/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20064019	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2005.03.10 PCT/US2005/08211
(22)	Inng.dag	2006.09.06	(85)	Videreføringsdag	2006.09.06
(24)	Løpedag	2005.03.10	(30)	Prioritet	2004.03.11, US, 10/797,961
(41)	Alm.tilgj	2006.12.11			
(45)	Meddelt	2012.09.24			
(73)	Innehaver	M-I LLC, 5950 North Course Drive, US-TX77072 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Thomas Geehan, 5509 Crooms, US-TX7707-8109 HOUSTON, USA Quanxin Guo, 5939 Union Springs, US-TX77479 SUGER LAND, USA			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte og system for bestemmelse av fordelingsdata for en deponeringsdomeneparameter i en borekaksinjeksjonsprosess
(56)	Anførte publikasjoner	Keck, R. G. "Drill Cutting Injection: A review of Major Operations and Technical Issues", Society of Petroleum Engineers, SPE 77553, 2002.10.02.
(57)	Sammendrag	

En fremgangsmåte ved bestemmelse av fordelingsdata for en deponeringsdomeneparameter for å øke sikkerheten ved en borekaksinjeksjonsprosess (106) omfatter at det utføres en oppsprekkings-simulering (102, 104, 152) ved å bruke stedsspesifikke opplysninger for å oppnå et oppsprekkingsresultat, en sannsynlighet bestemmes for at det oppstår en ny sprekk ved å bruke oppsprekkings-resultatet og en sannsynlighets-modell, en mengde oppsprekkingssimuleringer (102, 104, 152) utføres ved å bruke sannsynligheten og en fordeling (150) knyttet til sannsynligheten for å oppnå deponeringsdomene-informasjon (108), og fordelingsdata trekkes ut for deponeringsdomene-parameteren fra deponeringsdomeneinformasjonen (108).



En operasjon hvor det re-injiseres borekaks (CRI – Cuttings Re-Injection) innebærer oppsamling og transport av boreavfall (vanligvis betegnet borekaks) fra solid styringsutstyr på en rigg til en slurrifiseringsenhet. Deretter kverner slurrifiseringsenheten borekaksen (etter behov) til små partikler i nærværet av et fluid for å frembringe en slurry. Slurryen overføres så til en slurryinnholdende tank for kondisjonering. Kondisjoneringsprosessen påvirker slurryens reologi og gir en "kondisjonert slurry". Den kondisjonerte slurry pumpes under høyt trykk inn i en deponeringsbrønn gjennom et føringsringrom og inn i sprekker under overflaten i formasjonen (vanligvis betegnet deponeringsformasjonen). Den kondisjonerte slurry injiseres ofte intermitterende i porsjoner inn i deponeringsformasjonen. Denne satsvise prosess innebærer typisk injeksjon av omtrent like volumer av kondisjonert slurry og deretter avventing i en tidsperiode (f.eks. innsperningstiden) etter hver injeksjon. Hver porsjonsinjeksjon kan vare fra noen få timer til flere dager og til og med lenger, avhengig av porsjonsvolumet og injeksjonsraten.

Den satsvise prosess (dvs. injeksjon av kondisjonert slurry i deponeringsformasjonen og deretter avventing i en tidsperiode etter injeksjonen) gjør det mulig å lukke sprekke mens oppbygningen av trykk i deponeringsformasjonen til en viss grad løses opp. Trykket i deponeringsformasjonen øker imidlertid typisk på grunn av nærværet av de injiserte faste stoffer (dvs. de faste stoffer som er tilstede i borekaks-slurryen), hvilket derved øker sannsynligheten for at det skapes nye sprekker under påfølgende porsjonsvise injeksjoner. De nye sprekker er typisk ikke på linje med tidligere eksisterende sprekkes azimut.

Under CRI-operasjoner i stor skala må frigjøring av avfall til miljøet unngås og styring over avfallet må sikres for å tilfredsstille strenge offentlige bestemmelser. Viktige styringsfaktorer som betraktes under forløpet av operasjonene innbefatter de etterfølgende, nemlig lokaliseringen av det injiserte avfall og mekanismene for lagring, en injeksjonsbrønns eller et ringroms kapasitet, om injeksjon bør fortsette i den aktuelle sone eller i en annen sone, om det bør bores en annen deponeringsbrønn, og de nødvendige driftsparametre som behøves for riktig styring over avfallet.

Modellering av CRI-operasjoner og forutsigelse av omfanget av deponi-avfall er nødvendig for å ta for seg disse styringsfaktorer og for å sikre trygg og lovlig oppbevaring av deponert avfall. Modellering og forutsigelse av oppsprekking er også nødvendig for å studere CRI-operasjoners innvirkning på fremtidig boring, slik som det nødvendige brønnmellomrom, økning i formasjonstrykket, osv. En full forståelse av lagringsmekanismene under CRI-operasjoner er en nøkkel for å forutsi det mulige omfang av den injiserte kondisjonerte slurry og for å forutsi en injeksjonsbrønns deponeringskapasitet.

En måte å bestemme lagringsmekanismen på er å modellere oppsprekkingen. Simuleringer av oppsprekking bruker typisk en deterministisk tilnærming. For et gitt sett inngangsparametre er det nærmere bestemt bare ett mulig resultat ut fra oppsprekkingssimuleringen. Modellering av en formasjon kan f.eks. gi informasjon om en gitt porsjonsinjeksjon vil åpne en eksisterende sprekk skapt av tidligere injeksjoner eller starte en ny oppsprekking. Om en ny sprekk skapes av en gitt porsjonsinjeksjon og lokaliseringen/orienteringen av den nye sprekk, avhenger av forandringer i de lokale trykk, dvs. den innledningsvise trykkbetingelse på stedet, og formasjonens fasthet. En av de nødvendige betingelser for at det skapes en ny sprekk på grunn av en ny porsjonsinjeksjon er at inneslutningstiden mellom porsjoner er lang nok til at de tidligere sprekker lukkes. For CRI i f.eks. skiferbergartformasjoner med lav permeabilitet favoriseres enkeltsprekker dersom inneslutningstiden mellom porsjoner er kort.

Så snart den nødvendige inneslutningstid for sprekklukning er beregnet ut fra simuleringen av oppsprekking, kan en påfølgende porsjonsinjeksjon skape en ny sprekk dersom betingelsene favoriserer at det skapes en ny sprekk fremfor gjenåpning av en eksisterende sprekk. Denne situasjon kan fastlegges ut fra endringer i lokalt trykk og poretrykk på grunn av tidligere injeksjoner og kjennetegn ved formasjonen. Lokaliseringen og orienteringen av den nye sprekk avhenger også av trykkets anisotropi. Dersom det f.eks. foreligger en kraftig trykk-anisotropi er sprekkene nær hverandre, mens dersom det ikke eksisterer noen trykk-anisotropi er sprekkene spredt (langt) fra hverandre. Hvordan disse sprekker er spredt fra hverandre og endringene med hensyn til fasong og omfang under

injeksjonshistorien, kan være den primære faktor som avgjør en deponeringsbrønns deponeringskapasitet.

5 Keck, R.G. "Drill Cutting Injection: A review of Major Operations and Technical Issues", Society of Petroleum Engineers, SPE 77553, 2002.10.02, beskriver en generell gjennomgang av operasjonelle og tekniske problemer som er knyttet til reinjisering av borekaks (eng. CRI - Cutting Re-Injection), etter håndtering og slurrifisering, inn i deponeringsbrønn i sprekker i deponeringsformasjonen.

10 I et aspekt gjelder oppfinnelsen en fremgangsmåte ved bestemmelse av fordelingsdata for en deponeringsdomeneparameter i en borekaks-injeksjonsprosess, kjennetegnet ved at den omfatter at:

- det utføres en oppsprekkingssimulering ved å bruke stedsspesifikke data for å oppnå et oppsprekkingsresultat,
- 15 –sannsynligheten bestemmes for at det skapes en ny sprekk ved å bruke oppsprekkingsresultatet og en sannsynlighetsmodell,
- flere oppsprekkingssimuleringer utføres ved å utnytte sannsynligheten og en fordeling knyttet til sannsynligheten for å oppnå deponeringsdomeneinformasjon, og
- 20 –fordelingsdata trekkes ut for deponeringsdomeneparameteren fra deponeringsdomeneinformasjonen.

25 I et aspekt gjelder oppfinnelsen et system for bestemmelse av fordelingsdata for en deponeringsdomeneparameter i en borekaks-injeksjonsprosess, kjennetegnet ved at det omfatter:

- en sannsynlighetskomponent konfigurert for å oppnå sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk ved å bruke et oppsprekkingsresultat og en sannsynlighetsmodell,
- en integrasjonsmodul konfigurert for å generere i det minste en inngangsparameter for en oppsprekkingssimulering ved å bruke sannsynligheten og som er
- 30 konfigurert for å trekke ut fordelingsdata knyttet til i det minste en deponeringsdomeneparameter fra deponeringsdomeneinformasjonen, og

–en oppsprekkingssimuleringskomponent konfigurert for å utføre oppsprekkings-simulering for å generere deponeringsdomeneinformasjon ved å bruke i det minste en inngangsparameter.

5 Andre aspekter ved oppfinnelsen vil fremgå av den etterfølgende beskrivelse og de vedføyde patentkrav.

Det er vedføyde tegninger, på hvilke:

fig. 1 viser et system i henhold til en utførelse av oppfinnelsen,
10 fig. 2, 3 og 4 viser flytskjemaer i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen,
fig. 5 viser et frekvenshistogram i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen,
fig. 6 viser resultatet av en følsomhetsstudie i samsvar med en utførelse av opp-
finnelsen, og
fig. 7 viser et datamaskinsystem i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen.

15

Det skal nå i detalj beskrives spesifikke utførelsesformer av oppfinnelsen med henvisning til vedføyde tegninger. Like elementer i de forskjellige figurer er be-
tegnert med like henvisningstall av hensyn til entydigheten.

20 I den etterfølgende detaljerte beskrivelse av oppfinnelsen angis tallrike spesifikke detaljer i den hensikt å gi en mer fullstendig forståelse av oppfinnelsen. Det vil imidlertid være klart for en ordinær fagmann på området at oppfinnelsen kan praktiseres uten disse spesielle detaljer. I andre tilfeller er velkjente trekk ikke beskrevet i detalj, for å unngå forkludring av oppfinnelsen.

25

Før et boreprogram for en feltutvikling settes igang fordres det typisk en forvalt-
ningsplan for boreavfall. Vanligvis er imidlertid på dette stadium lite geologisk
informasjon tilgjengelig. Derfor må usikkerheter knyttet til usikre eller utilgjenge-
lige formasjonsdata bedømmes kvantitativt ved evaluering av CRI-
30 gjennomførbarheten og -ingeniørvirksomheten for å øke kvalitetssikringen ved
CRI-operasjoner. Følgelig fremskaffer utførelser av oppfinnelsen en fremgangs-
måte og anordning for å integrere resultater fra simuleringspakker med en risiko-
basert løsningsmåte.

Generelt gjelder utførelser av oppfinnelsen en fremgangsmåte og anordning for å bestemme driftsparametre ved re-injeksjon av borekaks. Nærmere bestemt gjelder oppfinnelsen fremgangsmåter og anordninger for bruk av en sannsynlighetsbasert løsningsmåte for å bestemme en eller flere geologiske eller operasjonelle parametre for re-injeksjon av borekaks. I en utførelse innebærer den sannsynlighetsbaserte løsningsmåte at Monte Carlo simuleringsmetodikk brukes i samband med en deterministisk oppsprekkingssimulator for å generere en risikobasert fordeling av driftsparametre. Den resulterende fordeling av driftsparametre utgjør en måte å bedømme de iboende usikkerheter på, med tanke på en deponeringsformasjon og driftsparametre. Denne bedømmelse kan så utnyttes som veiledning for avgjørelser, slik som hvor deponeringsbrønner bør plasseres, hvor mange deponeringsbrønner kan det bli behov for og forskjellige driftsparametre som skal brukes ved de enkelte deponeringsbrønner.

15

Fig. 1 viser et system i henhold til en utførelse av oppfinnelsen. Nærmere bestemt viser fig. 1 en utførelse med detaljer om de forskjellige komponenter i systemet. Som vist i fig. 1 har systemet en datafangst- og evaluerings-komponent (DAQ – Data AcQuisition) 100, en oppsprekkingssimulerings-komponent 102, en sannsynlighets-komponent 104, en integrasjons-komponent 106 og en kunnskapsdatabase-komponent 108. Hver av disse komponentene beskrives nedenfor.

20

I en utførelse av oppfinnelsen tilsvarer DAQ-komponenten 100 både programvare- (f.eks. dataevaluerings-programvarepakker) og maskinvare-komponenter (f.eks. nedihulls-verktøy) som brukes for å samle inn stedsspesifikke opplysninger (dvs. data om deponeringsformasjonen der brønner for re-injeksjon av borekaks skal lokaliseres). I en utførelse av oppfinnelsen kan de stedsspesifikke data innbefatte, men ikke være begrenset til, formasjonsparametre oppnådd fra loggført informasjon og brønntesting, så vel som kjerneprøver, osv. De innledningsvise stedsspesifikke data (dvs. de data som oppnås før det oppnås anbefalinger om å samle inn ytterligere stedsspesifikke data (drøftet nedenfor)) brukes for å generere en generisk stratigrafi for formasjonen. Særlig gir de innledningsvise

30

stedsspesifikke data informasjon om de relevante soner (dvs. sand, skiferbergarter, osv.) i deponeringsformasjonen. De stedsspesifikke data brukes som inngangsupplysninger for den oppsprekkingssimulerende komponent 102. I tillegg har DAQ-komponenten 100 også funksjonalitet (i form av programvarekomponenter, maskinvarekomponenter, eller begge deler) for å oppnå ytterligere stedsspesifikke opplysninger etter at re-injeksjonen av borekaks har begynt.

Som bemerket ovenfor mottar den oppsprekkingssimulerende komponent 102 de stedsspesifikke data som inngangsupplysning fra DAQ-komponenten 100. I tillegg kan den oppsprekkingssimulerende komponent 102 ha funksjonalitet som tillater en bruker å legge inn ytterligere informasjon om borekaks re-injeksjonsprosessen som planlegges å skje på stedet. Som et eksempel kan brukeren ta med som inngangsupplysning antallet fat med borekaks som skal injiseres i hver porsjon, tidsintervallet mellom injeksjoner (dvs. inneslutningstiden), formasjonens og slurryens reologiske egenskaper, osv. I en utførelse av oppfinnelsen er metodene for å bestemme realistiske inngangsverdier for de tidligere nevnte parametre definert i kunnskapsdatabasen 108 (som beskrives nedenfor). Fagfolk på området vil også forstå at definerte verdier av individuelle inngangsparametre kan ha en bestemt fordeling (f.eks. normal, trekantet, jevn, logaritmisk normal, osv.). Verdiområdet for verdiene og fordelingen kan oppnås fra kunnskapsdatabasen 108 (som beskrives nedenfor).

Den oppsprekkingssimulerende komponent 102 kan bruke den foran nevnte informasjon for å simulere CRI-prosessen for en porsjon eller sats, innbefattet inneslutningstiden. I en utførelse av oppfinnelsen brukes det en geomekanisk, hydraulisk oppsprekkingsmodell for å antyde de størst mulig sprekkdimensjoner og for å yte bistand under utviklingen av passende CRI-operasjonsparametre. I en utførelse av oppfinnelsen kan den hydrauliske oppsprekking som forårsakes av CRI simuleres ved å bruke et system, slik som TerraFRAC (som er en handelsbetegnelse for TerraTek, Inc.). Fagfolk på området vil forstå at enhver geomekanisk modell kan brukes for å modellere virkningen av CRI på deponeringsformasjonen. Den oppsprekkingssimulerende komponent 102 mottar også inngangsparametre fra integrasjons-komponenten 104 (som drøftes nedenfor).

Resultatene som skapes ut fra simulering av re-injeksjon av borekaks blir deretter benyttet som inngangsbestemmelse for sannsynlighets-komponenten 104. I en utførelse av oppfinnelsen har sannsynlighets-komponenten 104 funksjonalitet til å
5 bestemme sannsynligheten for at en ny sprekk åpner seg under en påfølgende injeksjon, ved å bruke resultatene fra oppsprekkingssimuleringen. I en utførelse av oppfinnelsen bestemmes sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk, på et pr. sone-grunnlag. Videre bestemmes i en utførelse av oppfinnelsen sannsynlighetene knyttet til en bestemt sone ved hjelp av informasjon fra
10 kunnskapsdatabase-komponenten 108 (som beskrives nedenfor). En utførelse av virkemåten for sannsynlighets-komponenten beskrives nedenfor med henvisning til fig. 3.

Sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk brukes så som inngangsopplysning til integrasjons-komponenten 106. I en utførelse av oppfinnelsen har
15 integrasjons-komponenten 106 funksjonalitet til å bestemme antallet sprekker skapt etter et gitt antall re-injeksjoner av borekaks, det største sprekkeomfang, hvor nye sprekker har oppstått, hvor mye re-injeksjon av borekaks som kan pumpes inn i formasjonen, osv. Denne informasjon betegnes her samlet som deponeringsdomeneinformasjonen. Deponeringsinformasjonen kan uttrykkes som et verdiområde.
20

I en utførelse av oppfinnelsen er deponeringsdomeneinformasjonen bestemt ved å bruke en Monte Carlo simuleringsmetode i samband med sannsynlighetene
25 oppnådd fra sannsynlighets-komponenten 104 og den oppsprekkingssimulerende komponent 102. En utførelse av Monte Carol-metodikken er beskrevet nedenfor med henvisning til fig. 4.

Så snart deponeringsdomeneinformasjonen er blitt oppnådd, gjennomføres i en
30 utførelse av oppfinnelsen forskjellige typer numerisk analyse for å bestemme fordelingen av forskjellige deponeringsdomene- og driftsparametre. Fra deponeringsdomeneinformasjonen kan det f.eks. trekkes ut informasjon om fordelingen av sprekk halvlengder, fordelingen av injeksjonstrykk, fordelingen av injeksjonstrykk-

økningen, fordelingen av brønncapaciteten, fordelingen av antallet deponeringsbrønner som behøves, osv. Et eksempel på informasjon trukket ut fra deponeringsdomeneinformasjonen er vist i fig. 5 (som beskrives nedenfor). I tillegg kan numerisk analyse av deponeringsdomeneinformasjonen benyttes for å bestemme følsomheten for en bestemt deponeringsdomene- eller driftsparameter (f.eks. sprekkklengden) ovenfor forskjellige inngangsparametre (f.eks. avrenning eller lekkasje, porsjonstørrelse, injeksjonsrate, Young's modul, osv.). Et eksempel på et følsomhetsstudium er vist i fig. 6 (som beskrives nedenfor).

Med henvisning igjen til fig. 1 kan da i en utførelse av oppfinnelsen deponeringsdomene- og driftsparametrene oppnådd via numerisk analyse av deponeringsdomeneinformasjonen sammenlignes med forskjellige kriterier (f.eks. tilfredsstillende deponeringsdomenet de offentlige bestemmelser, operasjonelle fordringer og krav til avfallsstyring, osv.) for å avgjøre om deponeringsdomenet tilfredsstillende kriteriene. Dersom deponeringsdomenet tilfredsstillende kriteriene kan da integrasjons-komponenten 106 brukes sammen med informasjon fra kunnskapsdatabasen 108 (f.eks. kunnskap som gjelder den beste praktisering, osv.), brukes for å generere en eller flere driftsparametre (dvs. porsjonsstørrelse, tiden mellom injeksjoner, fordringer med hensyn til partikkelstørrelse og slurry-reologi, volumet av borekaksen som skal injiseres i formasjonen, osv.). I tillegg kan informasjon oppnådd fra følsomhetsstudier brukes for å anbefale at ytterligere steds-spesifikk informasjon oppnås for å øke forståelsen av deponeringsformasjonen.

Dersom deponeringsdomenet ikke tilfredsstillende kriteriene kan imidlertid i en utførelse av oppfinnelsen integrasjons-komponenten 106 ha funksjonalitet til å foreslå ovenfor brukeren å oppnå ytterligere stedsspesifikke data (via DAQ-modulen 100) eller foreslå ovenfor brukeren å modifisere en eller flere inngangsopplysninger (f.eks. sonevalg, driftsparametre, osv.) for den oppsprekkings-simulerende komponent 102.

30

I en utførelse av oppfinnelsen er kunnskapsdatabasen et lagringssted for en eller flere av det etterfølgende, nemlig stedsspesifikke data, data om den beste praktisering, inngangsparameterfordelinger, informasjon om sannsynligheten for at

det skapes en ny sprekk i en bestemt sone på grunnlag av formasjonens tilstand (f.eks. skapte en tidligere CRI en sprekk som etterpå ble lukket, skapte en tidligere CRI en sprekk som etterpå ble lukket og avskjerming skjedde før lukning av sprekken, osv.). Kunnskapsdatabase-komponenten 108 kan også ha funksjonalitet til å bestemme sannsynlighetene knyttet til at det skapes nye sprekker ved påfølgende injeksjon.

Fagfolk på området vil forstå at de foran nevnte komponenter er logiske komponenter, dvs. logiske grupper av programvare- og/eller maskinvarekomponenter og verktøy som utfører den foran nevnte funksjonalitet. Fagfolk på området vil videre forstå at de enkelte programvare- og/eller maskinvareverktøy i de enkelte komponenter ikke nødvendigvis er knyttet til hverandre. Skjønt samvirket mellom de forskjellige komponenter vist i fig. 1 tilsvarer overføring av informasjon fra den ene komponent til den annen, er det i tillegg intet krav at de enkelte komponenter er fysisk forbundet med hverandre. Data kan heller overføres fra den ene komponent til den annen ved å få en bruker f.eks. til å oppnå en utskrift av data oppnådd ved hjelp av den ene komponent og så legge den relevante informasjon inn i den annen komponent via et grensesnitt knyttet til vedkommende komponent. Videre eksisterer det ingen restriksjoner med hensyn til den fysiske nærhet av de gitte komponenter i systemet.

Fig. 2 viser et flytskjema i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen. Nærmere bestemt viser fig. 2 en metode for å bestemme operasjonelle prosedyrer og anbefalinger for re-injeksjon av borekaks på et bestemt sted. Innledningsvis oppnås det spesifikke data som inneholder informasjon om formasjonsparametre (f.eks. formasjonstrykk, trykk på stedet, bergart-mekanikk, permeabilitet, osv.) (trinn 100). Som bemerket ovenfor kan de stedsspesifikke data inneholde formasjonskjenne-tegn, litologiske sekvenser, loggførte signaturer, osv. De stedsspesifikke data blir så benyttet for å generere innledningsvise inngangsparametre for oppsprekkings-simuleringen (trinn 102). I en utførelse av oppfinnelsen kan de innledningsvise inngangsparametre innbefatte, men ikke være begrenset til, valg av strategifi for oppsprekkingssimuleringen, bestemmelse av målsone for injeksjonen, bestemmelse av innvirkning på formasjonstrykket, bestemmelse av sprekkgradienter,

bestemmelse av formasjonens permeabilitet, osv. I en utførelse av oppfinnelsen angis de innledningsvise parametre ut fra de stedsspesifikke parametre. Alternativt kan de innledningsvise bestemmes i det minste delvis ut fra informasjon lagret i kunnskapsdatabasen om omkringliggende steder og/eller steder med lignende formasjonskjennetegn.

Med fortsatt henvisning til fig. 2 blir de innledningsvise inngangsparametre tilført en oppsprekkingssimulator så snart de innledningsvise inngangsparametre er blitt bestemt. En oppsprekkingssimulering utføres deretter (trinn 104). I en utførelse av oppfinnelsen modellerer oppsprekkingssimuleringen en porsjonsvis injeksjon som omfatter den påfølgende inneslutningstid. Resultatene generert ved oppsprekkingssimuleringen kan inneholde informasjon om sprekken lukkes etter injeksjonen (dvs. i løpet av inneslutningstiden), informasjon om der var avskjerming under slurryinjeksjonen, osv. Resultatene fra oppsprekkingssimuleringen blir deretter benyttet som inngangsupplysning til et sannsynlighetsbeslutningstre for å bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk under en påfølgende injeksjon (trinn 106). En utførelsesform ved bestemmelse av sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk under en påfølgende injeksjon er vist i detalj i fig. 3 (som beskrives nedenfor).

Sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk blir deretter brukt for å fastsette deponeringsdomeneinformasjonen (trinn 108). En utførelsesform ved bestemmelse av deponeringsdomeneinformasjonen er vist i detalj i fig. 4 (som beskrives nedenfor). Deponeringsdomeneinformasjonen blir deretter brukt for å utføre en risikobedømmelse på grunnlag av deponeringsdomenet (trinn 110). I en utførelse av oppfinnelsen omfatter risikobedømmelsen at deponeringsdomeneinformasjonen brukes for å bestemme hvordan CRI vil påvirke stedet. Risikobedømmelsen kan f.eks. innbefatte innvirkningen på omkringliggende brønner, beskyttede vannførende bergarter, osv. Risikobedømmelsen kan videre innbefatte at det bestemmes en verdi (som typisk kan uttrykkes som en pengeverdi) for bestemte stedsspesifikke opplysninger med hensyn til å øke den operasjonelle sikkerhet (dvs. redusere usikkerheten ved en eller flere formasjonsparametre osv. som brukes som inngangsparametere). Således bestemmer risikobedømmelsen omkostning-

ene ved å oppnå stedsspesifikke tilleggsopplysninger sammenlignet med omkostningene ved å fortsette uten ytterligere stedsspesifikke opplysninger. Så snart risikobedømmelsen er blitt utført, sammenlignes resultatene mot et sett kriterier (trinn 112). Kriteriene er typisk forhåndsdefinert og innbefatter omkostninger, boreparametre, offentlige bestemmelser, osv.

Dersom kriteriene er oppfylt, genereres da operasjonelle prosedyrer og anbefalinger for stedet (trinn 116). De operasjonelle prosedyrer kan innbefatte den foreslåtte størrelse på partiklene i slurryen, injeksjonsraten, det nødvendige utstyr, operasjonelle og overvåkende prosedyrer, osv. Anbefalingene kan innbefatte typen av stedsspesifikke data som fortsatt skal samles inn over hele CRI-prosessen for kvalitetsstyringsformål, osv. Dersom et eller flere kriterier med fortsatt henvisning til drøftelsen av fig. 2, ikke er tilfredsstillt (trinn 112), blir inngangsparametrene (f.eks. injeksjonsparametrene, osv.) modifisert (trinn 114) og oppsprekkingssimuleringen utført på ny. Denne prosess blir typisk gjentatt inntil kriteriene er oppfylt. I en utførelse av oppfinnelsen kan de modifiserte inngangsparametre tilsi at injeksjonssonen endres.

Fig. 3 viser en utførelse av et beslutningstre med hensyn til sannsynlighet i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen. Innledningsvis tas en avgjørelse om sprekken blir lukket før neste injeksjon (trinn 130). Denne avgjørelse tas, slik som bemerket ovenfor, på grunnlag av informasjon mottatt fra oppsprekkingssimuleringen og driftsparametre. Dersom sprekken ikke blir lukket, bestemmes så sannsynligheten for å starte en ny sprekk på grunnlag av sonen og tilstanden av deponeringsformasjonen (dvs. den tidligere sprekk blir ikke lukket) (trinn 132). Dersom sprekken lukkes, tas det da en ytterligere avgjørelse med hensyn til om avskjerming har oppstått forut for lukningen (trinn 134).

Dersom avskjerming ikke opptrådte forutfor lukning, bestemmes sannsynligheten for at en ny sprekk starter på grunnlag av sonen og tilstanden av deponeringsformasjonen (dvs. at den tidligere sprekk lukket seg, men avskjerming skjedde ikke) (trinn 136). Dersom avskjerming oppstod forut for lukning, bestemmes da alternativt sannsynligheten for at en ny sprekk starter på grunnlag av sonen og

tilstanden av deponeringsformasjonen (trinn 138). Fagfolk på området vil forstå at sannsynligheten knyttet til hver sone og tilstanden av deponeringsformasjoner i hver gren av beslutningstreet (dvs. trinn 130 og 134) kan være forskjellig. Som et eksempel kan sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk under en påfølgende injeksjon i en sandstensformasjon (dersom sprekken ikke blir lukket ved den tidligere injeksjon) være forskjellig fra sannsynligheten for at det oppstår en ny sprekk under en påfølgende injeksjon (dersom sprekken ble lukket og avskjerming hadde opptrådt før lukning).

I en utførelse av oppfinnelsen kan, slik som nevnt ovenfor, sannsynligheten for at det skapes en sprekk ved en påfølgende injeksjon bestemmes ved å utføre numeriske analysestudier av stedsspesifikke data lagret i kunnskapsdatabasen. I en utførelse av oppfinnelsen kan den numeriske analyse av de stedsspesifikke data føre til at det genereres en sannsynlighetsmodell. Denne sannsynlighetsmodell kan deretter brukes for å oppnå sannsynligheten for at en ny sprekk åpner seg under en påfølgende injeksjon på grunnlag av injeksjonssonen, om sprekken lukkes, osv.

I en utførelse av oppfinnelsen tilsvarer deponeringsdomeneinformasjonen de data som stammer fra utførelse av oppsprekkingssimulering i et spesifisert antall omganger. Generelt kan deponeringsdomeneinformasjonen inneholde, men ikke være begrenset til, antallet sprekker skapt etter et spesifisert antall injeksjoner, det største sprekkomfang for hver av sprekkenes inne i deponeringsformasjonen, fasongen og lokaliseringen av hver av sprekkenes i deponeringsformasjonen, osv. Legg merke til at før det utføres en risikobedømmende analyse av domeneinformasjonen, behøver den foran nevnte domeneinformasjon ikke være lett tilgjengelig ut fra rå deponeringsdomeneopplysninger.

I en utførelse av oppfinnelsen integreres resultatene fra oppsprekkingssimuleringer og usikkerheter ved geologiske og operasjonelle variable for å oppnå deponeringsdomeneinformasjon. Fig. 4 viser en prosess for å fastsette deponeringsdomeneinformasjonen i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen. Nærmere bestemt viser fig. 4 en måte som en Monte Carlo simuleringsmetode kan brukes

på i samband med en deterministisk oppsprekkingssimulator. Innledningsvis innstilles fordelingstypen for hver inngangsparameter som er definert, ved å bruke en fordeling (trinn 150). Som nevnt ovenfor kan fordelingstypen være en normalfordeling, en trekant-fordeling, en jevn fordeling, en logaritmisk normalfordeling, osv. Fagfolk på området vil forstå at hver inngangsparameter som er definert ved å bruke en fordeling kan ha en forskjellig fordeling og fordelingstype. I en utførelse av oppfinnelsen er sannsynligheten for at en ny sprekk åpner seg under en påfølgende CRI knyttet til en binomisk fordeling. Det gjøres intet tiltak med hensyn til de inngangsparametre som ikke er definert ved å bruke en fordeling. Deretter innstilles det antall oppsprekkingssimuleringer som skal utføres (trinn 152).

For hver simuleringsomgang utføres de etterfølgende trinn. Innledningsvis defineres det en verdi for hver inngangsparameter ved å bruke en fordeling bestemt ved hjelp av en slumptall-generator (trinn 154). I en utførelse av oppfinnelsen genererer slumptall-generatoren et vilkårlig tall som deretter brukes for å velge verdien av den inngangsparameter som ligger innenfor fordelingen definert for inngangsparameteren. Det tidligere nevnte middel for valg av en verdi for inngangsparameteren utføres for hver inngangsparameter som er definert ved å bruke en fordeling. Det samme vilkårlige tall kan også brukes for å velge verdien av hver av de foran nevnte inngangsparametre eller et annet vilkårlig tall kan brukes for å velge verdien av hver av de foran nevnte parametre. Fagfolk på området vil forstå at en pseudovilkårlig tallgenerator kan brukes i stedet for en ren slumptall-generator.

Med fortsatt henvisning til fig. 4 oppnås verdien av de gjenværende inngangsparametre (dvs. de inngangsparametre som ikke er definert ved bruk av en fordeling) (trinn 156). Alle verdier av inngangsparametre oppnådd i trinn 154 og 156 blir så tilført en oppsprekkingssimulator. Deretter utføres det en oppsprekkingssimulering (trinn 158). Resultatet av oppsprekkingssimuleringen blir deretter registrert (trinn 160). Deretter tas det en avgjørelse om ytterligere omganger gjenstår å bli utført (trinn 162). Dersom ytterligere omganger gjenstår, blir trinn 154 -162 gjentatt. Dersom ingen ytterligere omgang gjenstår, er alternativt innsamlingen av deponeringsdomeneinformasjonen fullstendig.

Fagfolk på området vil forstå at metoden beskrevet ovenfor for bestemmelse av deponeringsdomeneinformasjon kan innbefatte en eller flere av de etterfølgende forutsetninger: 1) når en ny porsjon injiseres kan den injiserte borekaks gjenåpne en eksisterende sprekk eller sette igang en ny sprekk, og 2) når en ny sprekk innledes, er det bare hovedsprekken som sprer seg ut.

Etter at alle simuleringsomganger er fullført, kan den resulterende deponeringsdomeneinformasjon analyseres slik som bemerket ovenfor ved å bruke numeriske analyseverktøy for å trekke ut fordelingsdata fra deponeringsdomeneinformasjonen. I en utførelse av oppfinnelsen kan spesielt deponeringsdomeneinformasjonen oppnådd fra hver simuleringsomgang analyseres med hensyn til fordelingsdata som tilsvarer en bestemt deponeringsdomeneparameter fra oppsprekkings-simuleringen. Fordelingsdata som tilsvarer en bestemt deponeringsdomeneparameter kan da representeres ved f.eks. å bruke et histogram. I en utførelse av oppfinnelsen kan deponeringsdomeneparametre innbefatte økning i injeksjonstrykk, brønncapitet, sprekk lengde, osv.

Fig. 5 viser et kumulativt frekvenshistogram i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen. Spesielt anskueliggjør histogrammet vist i fig. 5 at det er en visshet på 80,30 % på at deponeringsbrønnen kan lagre borekaks generert ved boring av 99 - 168 brønner. I tillegg angir histogrammet at det er en sannsynlighet på mindre enn 10 % at deponeringsbrønnen vil bli full etter injeksjon av borekaks på mindre enn 100, og at det er en sannsynlighet på 50 % at deponeringsbrønnen kan lagre borekaks som stammer fra boring av 128 brønner, mens det er en sannsynlighet på 90 % at deponeringsbrønnen ikke kan lagre borekaks som stammer fra boring av mer enn 168 brønner. Lignende informasjon kan trekkes ut fra deponeringsdomeneinformasjon som gjelder økning i injeksjonstrykk, sprekk lengde, osv.

I tillegg kan også følsomhetsinformasjon trekkes ut fra deponeringsdomeneinformasjonen. Fig. 6 viser resultatet av en følsomhetsstudie i samsvar med en utførelse av oppfinnelsen. I denne bestemt utførelse ble det utført en følsomhets-

studie med hensyn til sprekkelengde. Fig. 6 viser at sprekkelengden for denne spesielle deponeringsformasjon er meget følsom ovenfor avrenning/lekkasje.

5 Fagfolk på området vil forstå at for å utføre en følsomhetsstudie kan typisk bare en inngangsparameter varieres av gangen samtidig som de andre inngangsparametre holdes konstant. Således behøver trinn 154 og 156 i fig. 4 å bli modifisert slik at verdien av bare en inngangsparameter bestemmes/oppnås samtidig som de øvrige inngangsparametre forblir konstante.

10 Som bemerket ovenfor kan resultatet av følsomhetsstudien føre til en anbefaling om å oppnå ytterligere stedsspesifikke data for den særlig følsomme inngangsparameter blant deponeringsdomeneparametrene (i dette tilfelle sprekkelengden) eller driftsparametre. Alternativt kan det utføres en ytterligere numerisk analyse av deponeringsdomeneinformasjonen for å forsikre seg om sammenhengen mellom
15 inngangsparameteren og deponeringsdomene- og/eller driftsparameteren.

I en utførelse av oppfinnelsen brukes fordelingsdata trukket ut fra deponeringsdomeneinformasjonen for å utføre en risikobedømmelse for en bestemt deponeringsformasjon. Fordelingsinformasjonen kan typisk utgjøre et middel for et
20 selskap som er interessert i å bruke CRI for deponering av avfallsstoff, for å kvantifisere usikkerheten som er iboende i CRI og derved ta en begrunnet avgjørelse med hensyn til å forsette. Ved å kvantifisere usikkerheten kan særlig et selskap vurdere senarier som gir det beste og verste tilfelle med hensyn til omkostninger, offentlige bestemmelser, osv., og avgjøre om CRI er det riktige middel
25 med hensyn til deponering av avfall på stedet.

Videre kan fordelingsdata og følsomhetsdata brukes som veiledning ved oppfølging av innsamlingsoperasjoner av spesifikke data (f.eks. logging, brønnprøving, overvåking, osv.) for å oppnå mer informasjon om en bestemt formasjonsparameter som har vesentlig innvirkning på oppførselen av deponeringsformasjonen
30 med hensyn til CRI. I tillegg kan fordelingsinformasjonen gi en operatør verdifull innsikt i riktig drift av CRI-utstyret på stedet.

Oppfinnelsen kan implementeres på nær sagt enhver type datamaskin, uansett den plattform som benyttes. Som vist i fig. 7 inneholder f.eks. et nettverkskoblet datamaskinsystem 200 en prosessor 202, en tilhørende hukommelse 204, et lagringsutstyr 206 og tallrike andre elementer og funksjonaliteter som er typiske for dagens datamaskiner (ikke vist). Den nettverkstilkoblede datamaskin 200 kan også ha inngangsutstyr, slik som et tastatur 208 og en datamus 210, samt utgangsutstyr, slik som en dataskjerm 212. Det nettverkstilkoblede datamaskinsystem 200 er forbundet med et lokalnett (LAN – Local Area Network) eller et områdenett (Wide Area Network, f.eks. Internett) via en nettgrensesnittforbindelse (ikke vist). Fagfolk på området vil forstå at disse inngangs- og utgangsutstyr kan ha andre utførelser. Videre vil fagfolk på området forstå at et eller flere av elementene i den foran nevnte datamaskin 200 kan plasseres på et fjernt sted og være forbundet med de øvrige elementer over et nett eller via satellitt.

Skjønt oppfinnelsen er blitt beskrevet med hensyn til et begrenset antall utførelsesformer, vil fagfolk på området som kan nyttiggjøre seg denne beskrivelse, forstå at andre utførelsesformer kan finnes på, som ikke skiller seg fra omfanget av oppfinnelsen slik den her er beskrevet. Følgelig skal oppfinnelsens omfang bare begrenses av de etterfølgende patentkrav.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåte ved bestemmelse av fordelingsdata for en deponeringsdomeneparameter i en borekaks-injeksjonsprosess,
5 k a r a k t e r i s e r t v e d a t d e n o m f a t t e r a t:
–det utføres en oppsprekkingssimulering (trinn 102) ved å bruke stedsspesifikke data for å oppnå et oppsprekkingsresultat,
–sannsynligheten bestemmes for at det skapes en ny sprekk ved å bruke
10 oppsprekkingsresultatet og en sannsynlighetsmodell,
–flere oppsprekkingssimuleringer utføres (trinn 104) ved å utnytte sannsynligheten og en fordeling knyttet til sannsynligheten for å oppnå deponeringsdomeneinformasjon (trinn 108), og
–fordelingsdata trekkes ut for deponeringsdomeneparameteren fra deponeringsdomeneinformasjonen (trinn 108).
15

2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som videre omfatter at det utføres en risikobedømmelsesanalyse for stedet ved å bruke fordelingsdata for deponeringsdomeneparameteren for å oppnå en risikobedømmelse.
20

3. Fremgangsmåte som angitt i krav 2, og som videre omfatter at det avgjøres om deponeringsdomeneparameteren tilfredsstillende et kriterium ved å bruke risikobedømmelsen.

- 25 4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som videre omfatter at det utføres en risikobedømmelsesanalyse for å fastsette verdien av en bestemt stedsspesifikk opplysning med hensyn til å øke driftssikkerheten.

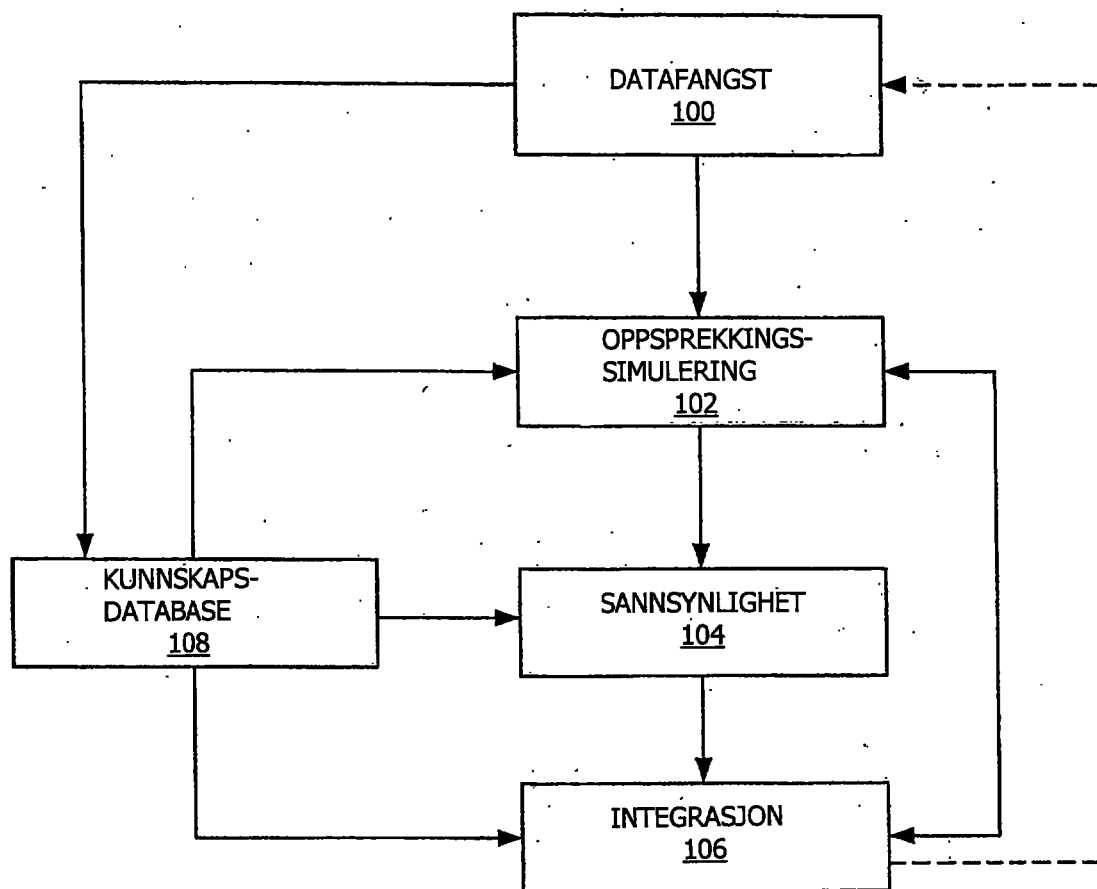
- 30 5. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som videre omfatter at det bestemmes en driftsparameter ved å bruke deponeringsdomeneinformasjonen (trinn 108).

6. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som videre omfatter at det genereres en driftsparameter ved å bruke datafordelingen for deponeringsdomeneparameteren.
- 5 7. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og som videre omfatter at det trekkes ut følsomhetsstudieinformasjon knyttet til deponeringsdomeneparameteren fra deponeringsdomeneinformasjonen (trinn 108).
8. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og hvor deponeringsdomeneparameteren omfatter i det minste en valgt fra gruppen bestående av deponerings-
10 sonevalg, sprekk lengde, antall deponeringsbrønner, økning i injeksjonstrykk og deponeringsbrønncapasitet.
9. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og hvor sannsynlighetsmodellen
15 omfatter et sannsynlighetsbasert beslutningstre som omfatter i det minste en sannsynlighetsverdi.
10. Fremgangsmåte som angitt i krav 9, og hvor bruken av det sannsynlighets-
20 baserte beslutningstre omfatter at oppsprekkingsresultatet og en formasjonsegenskap brukes for å:
- bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk dersom sprekken ikke lukkes,
 - bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk dersom sprekken lukkes og ingen avsperring skjer forut for lukning, og
 - 25 –bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk dersom sprekken lukkes og det skjer en avsperring forut for lukning.
11. Fremgangsmåte som angitt i krav 9, og hvor i det minste en sannsynlighets-
30 verdi knyttes til en injeksjonssone.
12. Fremgangsmåte som angitt i krav 9, og hvor sannsynlighetsverdien oppnås fra en database med felldata.

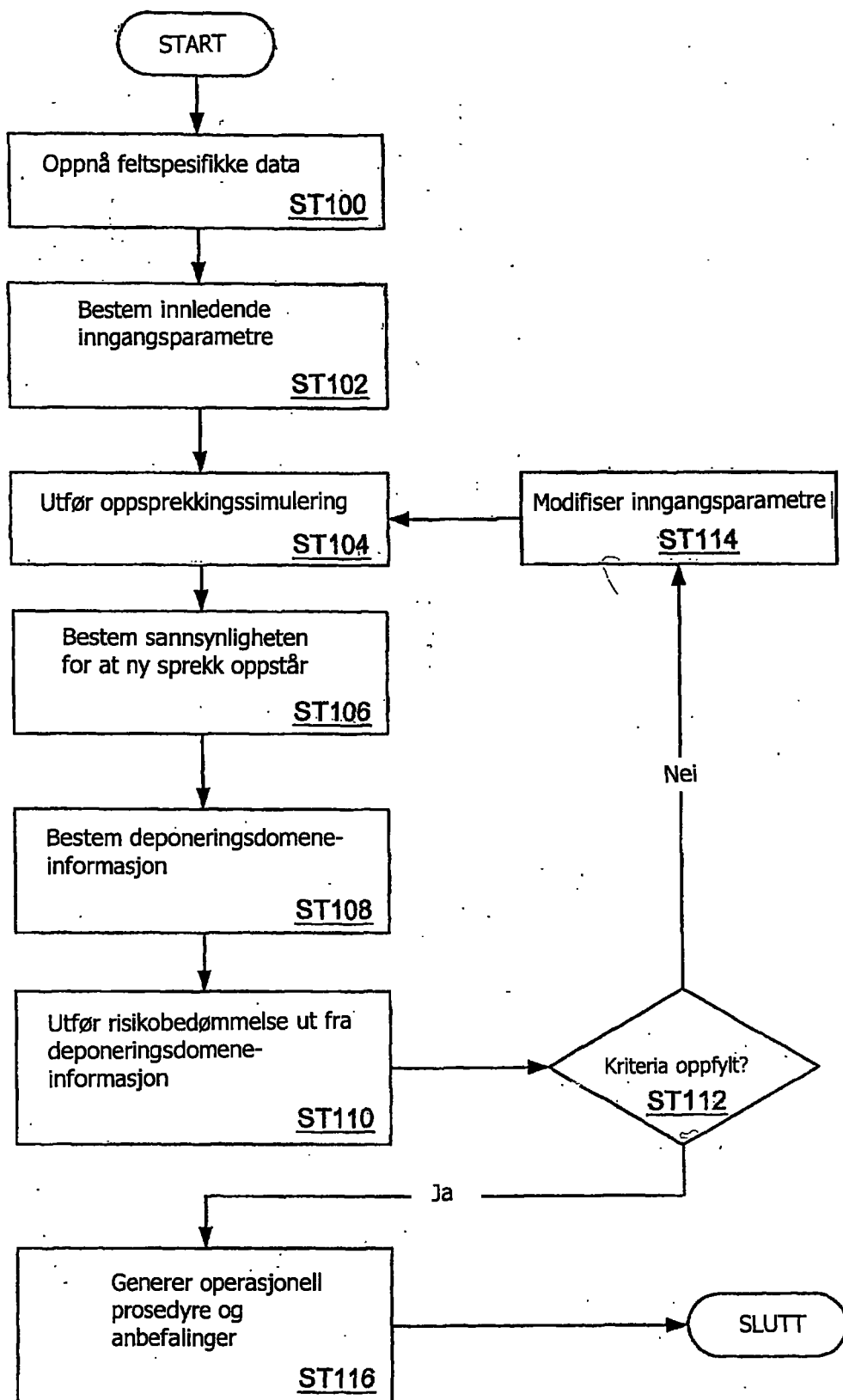
13. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og hvor uttrekningen av fordelingsdata fra deponeringsdomeneinformasjonen omfatter at det brukes numerisk analyse.
14. Fremgangsmåte som angitt i krav 13, og hvor resultatet av den numeriske analyse er en prosentvis sikkerhet.
15. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og hvor utførelsen av flere oppsprekkingssimuleringer omfatter at det brukes en Monte Carlo simuleringsmetodikk.
16. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, og hvor oppsprekkingssimuleringen og mengde av oppsprekninger utføres ved å bruke en deterministisk oppsprekkings-simulator.
17. System for bestemmelse av fordelingsdata for en deponeringsdomene-parameter i en borekaks-injeksjonsprosess, karakterisert ved at det omfatter:
–en sannsynlighetskomponent (104) konfigurert for å oppnå sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk ved å bruke et oppsprekkingsresultat og en sannsynlighetsmodell,
–en integrasjonsmodul (106) konfigurert for å generere i det minste en inngangsparameter for en oppsprekkingssimulering ved å bruke sannsynligheten og som er konfigurert for å trekke ut fordelingsdata knyttet til i det minste en deponeringsdomeneparameter fra deponeringsdomeneinformasjonen, og
–en oppsprekkingssimuleringskomponent (102) konfigurert for å utføre oppsprekkingssimulering for å generere deponeringsdomeneinformasjon ved å bruke i det minste en inngangsparameter.
18. System som angitt i krav 17, og som videre omfatter en datafangskomponent (100) konfigurert for å oppnå data knyttet til i det minste en inngangsparameter.
19. System som angitt i krav 17, og som videre omfatter en kunnskapsdatabasekomponent (108) konfigurert for å frembringe sannsynlighetsmodellen.

20. System som angitt i krav 17, og hvor den minst ene deponeringsdomene-parameter omfatter i det minste en valgt fra gruppen bestående av valg av deponeringsdomene, oppsprekkingslengde, antall deponeringsbrønner, økning i injeksjonstrykk og deponeringsbrønncapasitet.
21. System som angitt i krav 17, og hvor integrasjonskomponenten (106) videre er konfigurert for å kvantifisere innvirkningen av geologiske usikkerheter og operasjonelle CRI-usikkerheter på kvalitetssikringen av re-injeksjon av borekaks ved å bruke deponeringsdomeneinformasjonen.
22. System som angitt i krav 17, og hvor sannsynlighetsmodellen omfatter et sannsynlighetsbasert beslutningstre som omfatter sannsynlighetsverdien.
23. System som angitt i krav 22, og hvor det sannsynlighetsbaserte beslutningstre omfatter at oppsprekkingsresultatet og en formasjonsegenskap brukes for å:
- bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk dersom sprekken ikke er lukket,
 - bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk dersom sprekken er lukket og ingen avsperring skjer forut for lukning, og
 - bestemme sannsynligheten for at det skapes en ny sprekk dersom sprekken er lukket og avsperring skjer forut for lukning.
24. System som angitt i krav 17, og hvor sannsynlighetsverdien er knyttet til en injeksjonssone.
25. System som angitt i krav 17, og hvor integrasjonskomponenten (106) videre er konfigurert for å trekke ut fordelingsdata fra deponeringsdomeneinformasjonen ved å bruke numerisk analyse.
26. System som angitt i krav 25, og hvor resultatet av den numeriske analyse er en prosentvis visshet.

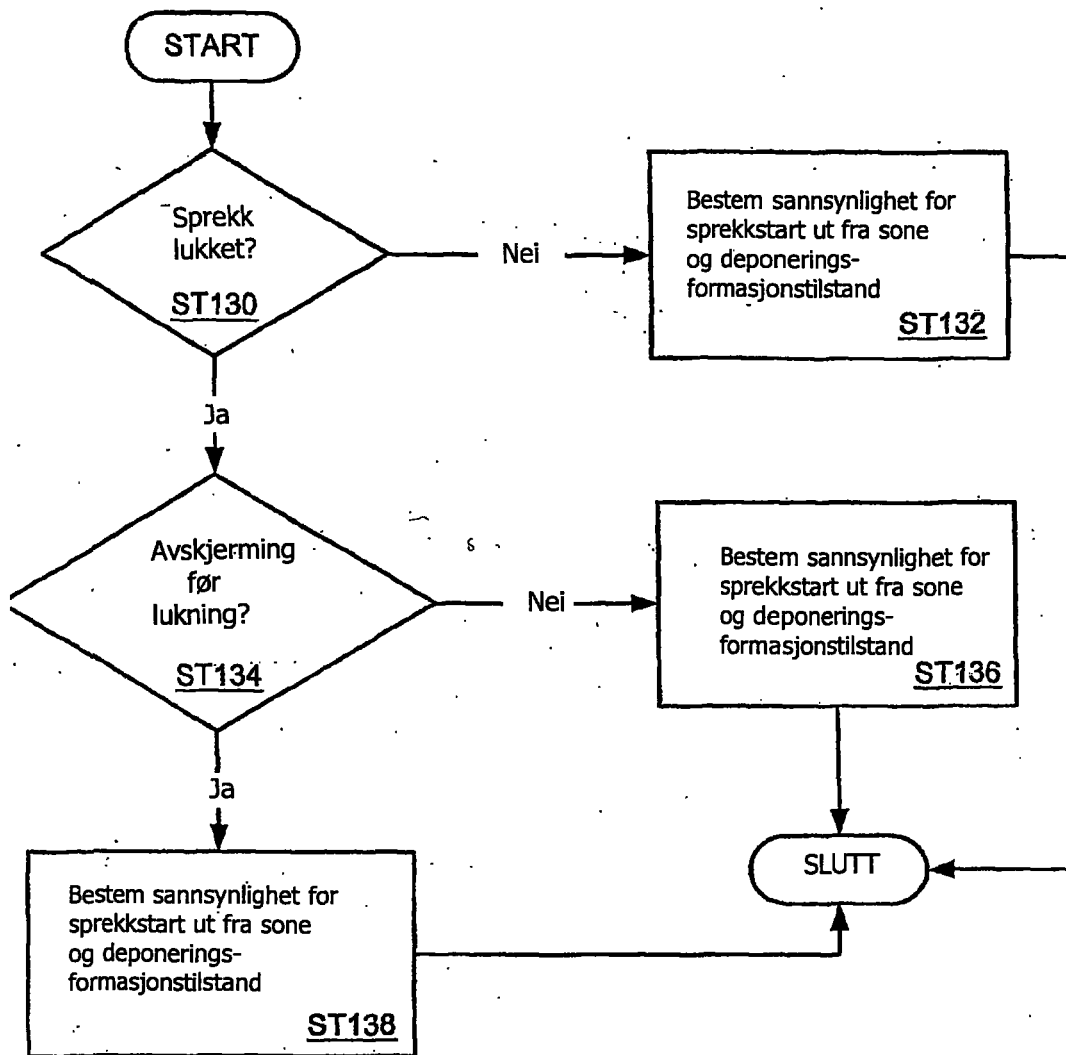
27. System som angitt i krav 25, og hvor den oppsprekkingssimulerende komponent (102) videre er konfigurert for å bruke en Monte Carlo simuleringsmetodikk for å oppnå den minst ene inngangsparameter.
- 5
28. System som angitt i krav 17, og hvor en oppsprekkingssimuleringsdatamaskin bruker en deterministisk oppsprekkingssimulator.
29. System som angitt i krav 17, og hvor integrasjonskomponenten (106) videre er konfigurert for å utføre en risikobedømmelsesanalyse for stedet ved å bruke fordelingsdata for deponeringsdomeneparameteren for å oppnå en risiko-
bedømmelse.
- 10
30. System som angitt i krav 29, og hvor integrasjonskomponenten (106) videre er konfigurert for å avgjøre om deponeringsdomeneparameteren tilfredsstillter et kriterium ved å bruke risikobedømmelsen.
- 15
31. System som angitt i krav 30, og hvor kriteriet er i det minste et valgt fra gruppen bestående av offentlige bestemmelser og omkostningskriterier.
- 20
32. System som angitt i krav 17, og hvor integrasjonskomponenten (106) videre er konfigurert for å generere en driftsparameter ved å bruke datafordelingen for deponeringsdomeneparameteren.
- 25
33. System som angitt i krav 17, og hvor integrasjonskomponenten videre er konfigurert for å trekke ut følsomhetsstudieinformasjon knyttet til deponeringsdomeneparameteren fra deponeringsdomeneinformasjonen.



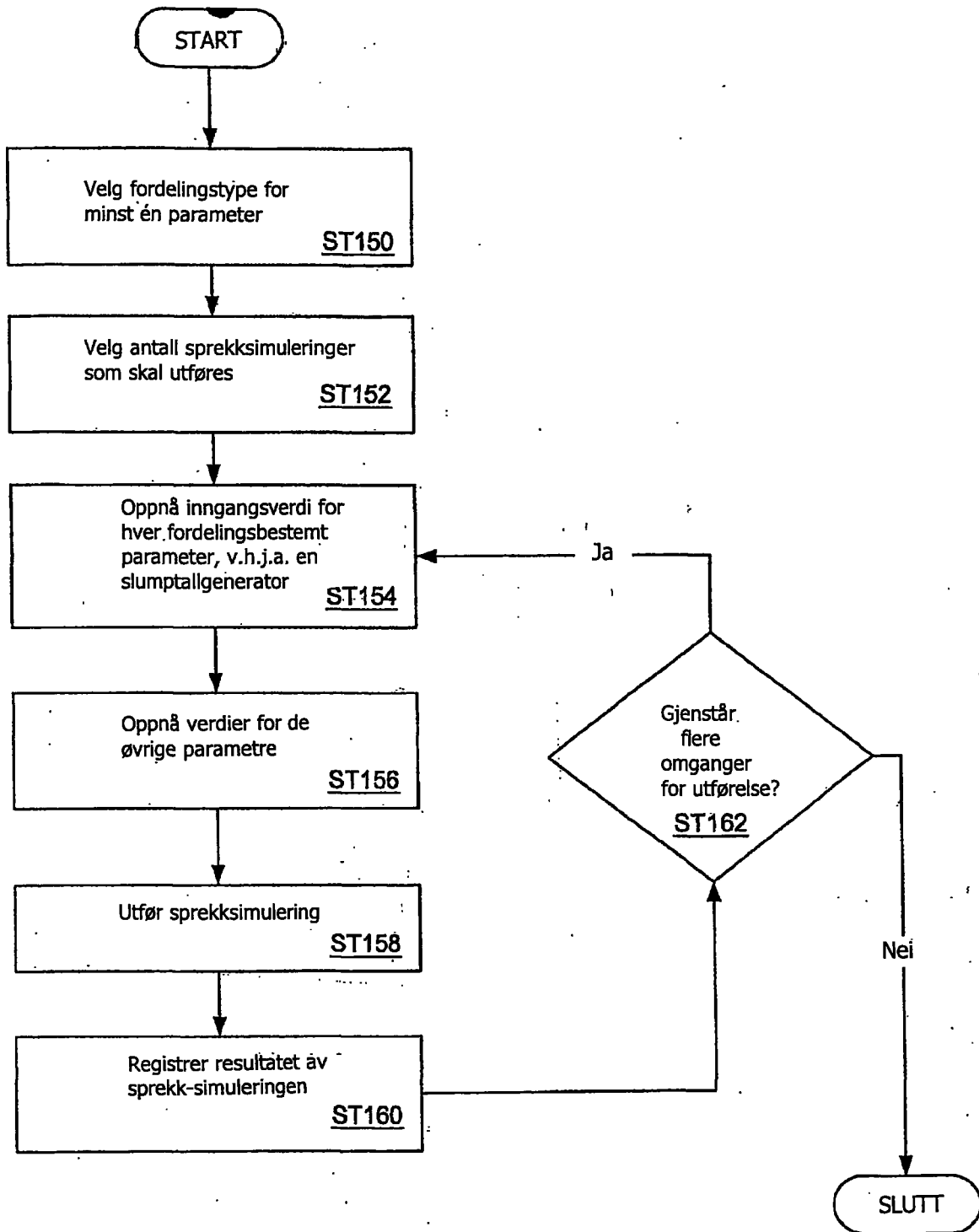
FIGUR 1



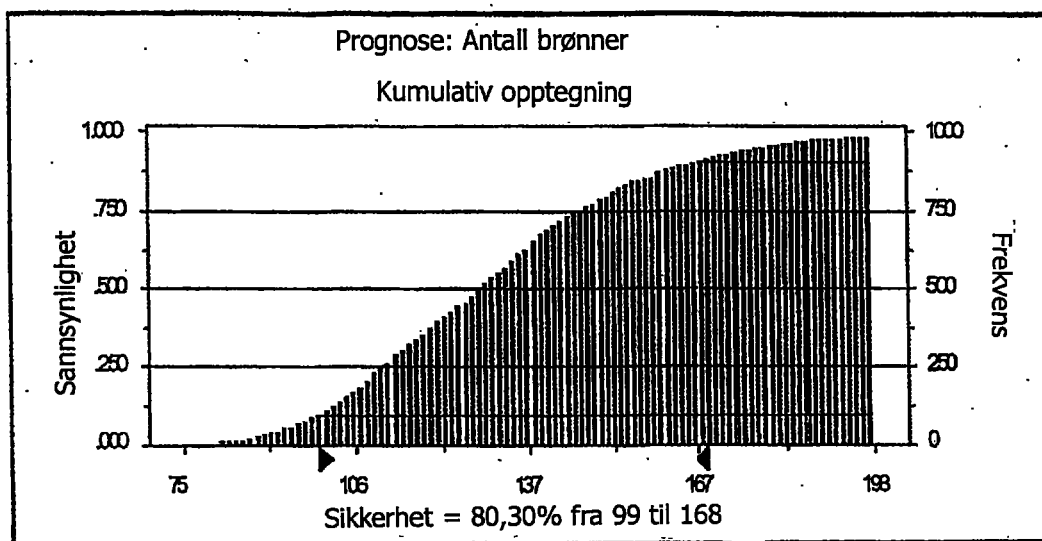
FIGUR 2



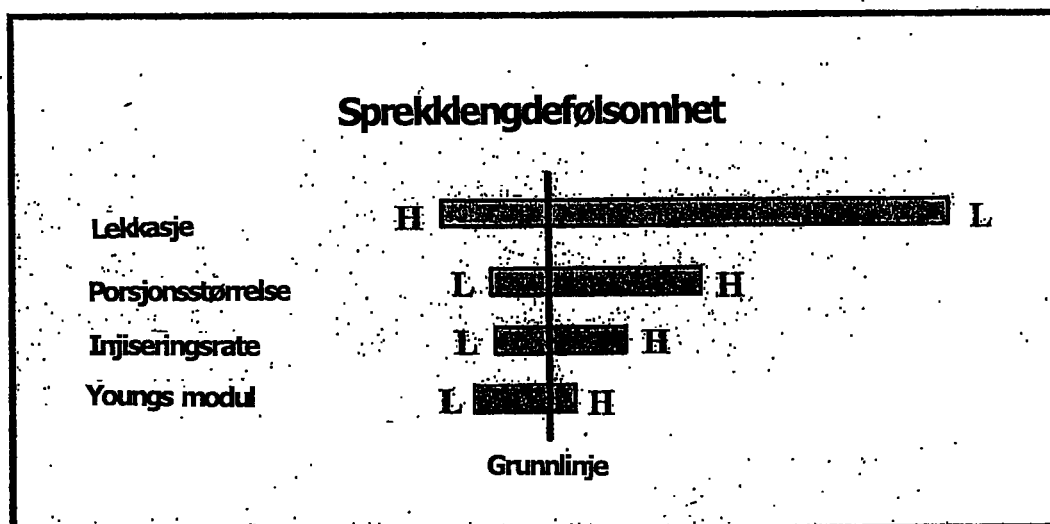
FIGUR 3



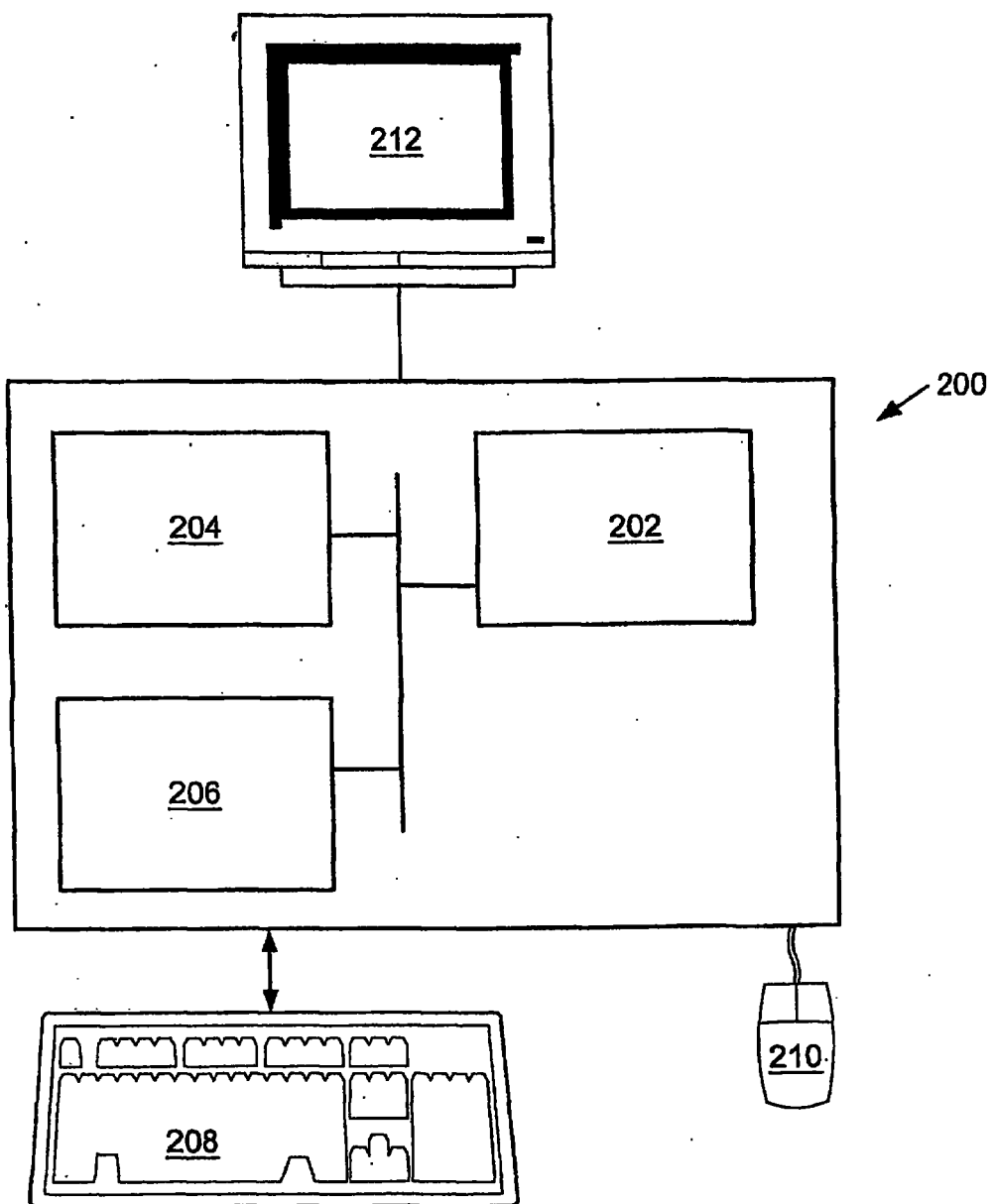
FIGUR 4



FIGUR 5



FIGUR 6



FIGUR 7