



(12) PATENT

(19) NO

(11) 341455

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

B65G 5/00 (2006.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

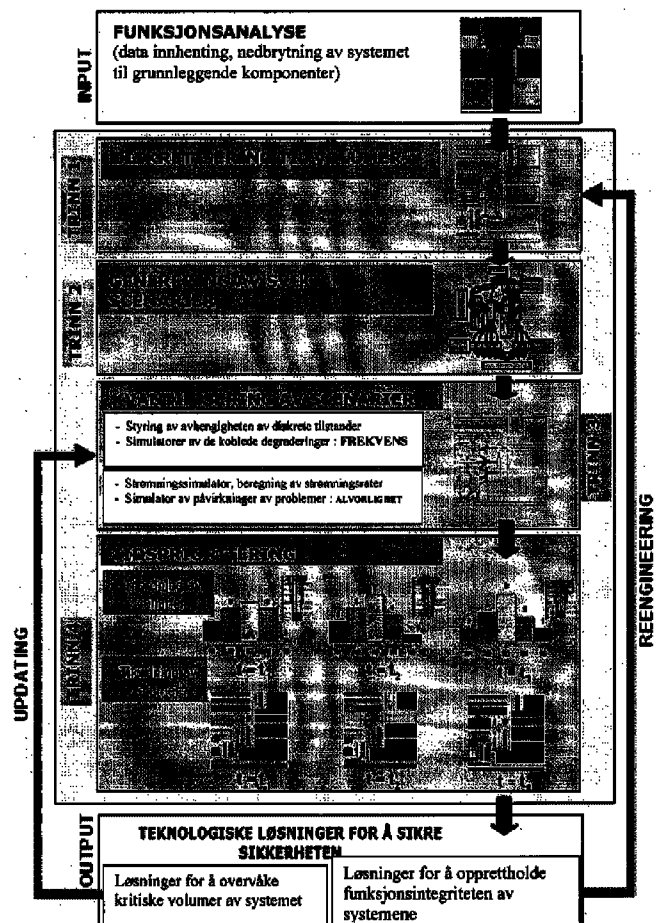
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20084011	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2007.02.22 PCT/FR2007/00317
(22)	Inng.dag	2008.09.19	(85)	Videreføringsdag	2008.09.19
(24)	Løpedag	2007.02.22	(30)	Prioritet	2006.02.22, FR, 06 01539
(41)	Alm.tilgj	2008.11.21			
(45)	Meddelt	2017.11.13			

(73)	Innehaver	Oxand, 49 avenue Frankling Roosevelt, FR-77210 AVON, Frankrike
(72)	Oppfinner	Bruno Gerard, 1 rue de la Crête, FR-77690 MONTIGNY SUR LOING, Frankrike Laurent Auge, 1 rue des Pins, FR-7730 FONTAINEBLEU, Frankrike Richard Frenette, 1515 Bissonet, CA-QCJ4M2L2 LONGUEUIL, Canada Emmanuel Houdu, 15 rue des Sablons, FR-77300 FONTAINEBLEU, Frankrike Oliver Bernard, 5 avenue des Jordils, CH-1006 LAUSANNE, Sveits Jérôme Gouvec, 6 rue des Haudriettes, Résidence D2, FR-75003 PARIS, Frankrike
(74)	Fullmektig	Tandberg Innovation AS, Postboks 1570 Vika, 0118 OSLO, Norge

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte og system for å identifisere og evaluere sviktrisikoen av et geologisk inneslutningssystem
(56)	Anførte publikasjoner	Chang-Ju Lee & Kun Jai Lee: Application of Bayesian network to the probabilistic risk assessment of nuclear waste disposal. RELIABILITY ENGINEERING AND SYSTEM SAFETY, 20060501 ELSEVIER APPLIED SCIENCE, GB - ISSN 0951-8320. Vol. 91, Nr. 5. Sider 515 - 532. Received 24. april 2004, Accepted 16. mars 2005, Available online 25. mai 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.res.2005.03.011 . XP005272331 US 2003225606 A1 GB 2300736 A
(57)	Sammendrag	

Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte for å identifisere sviktrisikoen i et geologisk inneslutningssystem (10), dvs. i undergrunnen, idet fremgangsmåten omfatter følgende trinn: innhente data om systemet (10), basert på dataene om systemet (10), bryte ned systemet i flere komponenter (11-17), modellere minst én komponent (11-17) ved minst ett volum (131-134), idet modellering utføres ved en diskretisering av komponenten (11-17) i volum, generere minst ett sviktscenario av systemet, idet genereringen omfatter minst én iterasjon av følgende trinn: analysere en tilstand av minst ett volum (131-134), modellere minst én komponent (11-17) av systemet, påvise, basert på volumtilstanden (131-134), minst én potensiell sviktmodus av volumet (131-134). Fremgangsmåten gjør det mulig å identifisere sviktrisiko av ethvert system i en geologisk inneslutning, naturlig og/eller kunstig, især oljetanker brukt for å lagre CO₂. I tilfelle sistnevnte, blir det mulig å identifisere scenarier om banene for potensiell CO₂-lekkasje, rekkefølgen av tilhørende feil, de forskjellige mulige utviklinger av systemet over angjeldende tidsperiode.



Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte og et system for å identifisere og evaluere sviktrisiko i et geologisk inneslutningssystem.

Fremgangsmåten tar især sikte på å sikre ved en risikoidentifisering og evaluering, alle typer geologiske inneslutningssystemer enten de er naturlige eller kunstige.

Området av oppfinnelsen er geologiske inneslutningssystemer. Geologiske inneslutningssystemer kan for eksempel være oljereservoarer, ferskvanns- eller saltvannaquifre osv. (aquifer = vannførende bergart/sjikt).

Oppfinnelsen angår identifikasjon av risikoen i forbindelse med et innesluttet system som er menneskeskap, for eksempel et system for å lagre CO₂ i et oljereservoar, idet oppfinnelsen i dette tilfellet tar sikte på å bestemme sviktrisikoen i lagringssystemet og foreslå sikring av systemet og gjøre det for eksempel mulig å hindre svikt som kan føre til lekkasje av lagret CO₂. Oppfinnelsen angår også evaluering av sviktrisikoen av et naturlig inneslutningssystem, f.eks. ferskvannaquifer hvor det i dette tilfellet blir mulig å bestemme forurensningsrisikoer av aquiferen, uansett opprinnelse.

Dokumentet US 2003225606 A1 omhandler en fremgangsmåte for å utføre en stokastisk analyse av en eller flere hydrokarbonreservoarutnyttelsesstrategier under hensyntagen til en eller flere usikre parametere.

For tiden finnes det sikringsanordninger for enkelte typer geologiske inneslutningssystemer, f.eks. undergrunnsformasjoner som tjener som lagringshulrom. Sistnevnte blir generelt sikret ved å bruke isolerende innretninger som for eksempel omfatter minst én plugg og svært ofte sementslam av enhver sammensetning eller også basert på leire med bentonitt. Disse sikringsanordningene er basert på tilbakemelding ut fra erfaring om holdbarhet over flere tiår uten å ta med langsiktige problemer eller miljøpåvirkning. I tillegg er disse sikringsanordninger svært ofte ufullstendig ettersom de ikke tar tilstrekkelig hensyn til nok parametere.

Videre angår de for tiden benyttede sikringsanordninger til sikringselementer som tas isolert og som ikke tar brukes sikringselementene for tiden isolert å ta hensyn til samvirkningen mellom disse sikringselementene eller adferden av dem på bakken (jorden).

For tiden finnes det ingen pålitelig eller tilstrekkelig anordning som gjør det mulig å kjenne til risikoen representert ved geologiske inneslutningssystemer som brukes for å lagre et stoff, uansett type. Videre er det ikke lenger mulig med nåværende anordninger å kjenne til farene som kan oppstå i disse geologiske inneslutningssystemer som blir brukt som lagringssteder i tilfelle svikt. Endelig er gjeldende sikringsmetoder av en standard og generell natur som ikke gjør det mulig å

behandle de geologiske inneslutningssystemer i hvert enkelt tilfelle. Dette er en stor ulempe i betraktning av de geologiske inneslutningssystemers diversitet.

I den resterende del av denne søknad skal "biosfære" innebære alle komponenter omfattet mellom atmosfæren og en undergrunnsdybde på omtrent 300 m. Følgelig omfatter uttrykket især atmosfæren, hydrosfæren, jordbunnen, formasjoner på grunn dybde og fauna og flora i disse sonene. Med "geosfære" menes alle komponenter som befinner seg i en dybde på større enn omtrent 300 m og omfatter geologiske data, hydrologiske data, data om reservoarer samt menneskeinnførte elementer som utvinningsbrønner, prøvebrønner, injeksjonsbrønner osv.

Et formål med oppfinnelsen er å løse ovennevnte ulemper.

Oppfinnelsen tar sikte på å foreslå en fremgangsmåte og et system, som angitt i kravene 1 og 33, som gjør det mulig å identifisere og evaluere sviktrisikoen i et geologisk inneslutningssystem som er raskere og sikrere ved lavere kostnader enn eksisterende identifikasjonsmåter og systemer.

Et annet formål med oppfinnelsen er å foreslå en fremgangsmåte for identifisering og levering av sviktrisikoen i et geologisk inneslutningssystem som er mer fullstendig enn gjeldende fremgangsmåter ved å kombinere teoretiske undersøkelser som utføres på området, med terrengets beskaffenhet.

Et formål med oppfinnelsen er også å foreslå en fremgangsmåte for identifisering og evaluering av sviktrisikoen i et geologisk inneslutningssystem som gjør det mulig å behandle hvert geologisk inneslutningssystem spesifikt for å kunne foreslå en sikringsanordning som egner seg for hvert geologisk inneslutningssystem.

Endelig er det et formål med oppfinnelsen å ta hensyn til flere parametere for å kunne sikre det geologiske inneslutningssystem på en mer uttømmende måte enn ved gjeldende fremgangsmåter.

Oppfinnelsen foreslår å løse nevnte ulemper med en fremgangsmåte, som angitt i krav 1, for identifisering av sviktrisikoen i et geologisk inneslutningssystem som omfatter følgende trinn:

- innhente data relatert til systemet,
- som funksjon av dataene om systemet, bryte ned systemet til flere komponenter,
- modellere minst én komponent med minst ett volum, idet modelleringen utføres ved en diskretisering til volumer av komponenten,
- generere minst ett feiltilfelle i nevnte system, idet genereringen omfatter minst én iterasjon av de følgende trinn:
 - analyse av en tilstand i minst ett volum som modellerer minst én komponent i systemet,
 - påvise som en funksjon av volumets tilstand, minst én potensiell feilmodus av volumet.

Ved innhenting av data relatert til det geologiske inneslutningssystem, gjør fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det mulig å ta hensyn til terrengets beskaffenhet. Videre, ved å utføre en nedbrytning av inneslutningssystemet til komponenter og modellere disse komponentene etter volum og analysere disse volumene én av gangen, gjør fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det fortrinnsvis mulig å foreslå en omfattende identifikasjon av sviktrisikoen i systemet med minst ett scenario tilknyttet hver risiko. Ved å kjenne til sviktscenarioet tilknyttet en risiko, blir det mulig for operatøren å foreta tiltak for å hindre dette sviktscenarioet og følgelig minimere risikoen for svikt ved passende sikring.

Ved å utføre en modellering av inneslutningssystemet i form av volum, gjør fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det mulig å produsere en identifikasjon av sviktrisikoen på en mer bestemt måte som er raskere og mindre kostbar. Videre gjør denne nedbrytning det mulig å utføre en teoretisk og en empirisk undersøkelse av undergrunnsinneslutningssystemet hvor det tas hensyn til terrengets beskaffenhet.

Nedbrytningen ved hjelp av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen av det geologiske inneslutningssystem til flere komponenter som selv blir modellert etter volumer, gjør det mulig å behandle hvert inneslutningssystem på en spesifikk måte. Ved å bryte ned inneslutningssystemet i flere komponenter, vil modellering av disse komponentene etter volum faktisk gi en undersøkelse på mer grunnleggende nivå.

Ved å arbeide med en ikke bare total oversikt, men også på en nedbrutt oversikt av de undersøkte inneslutningssystem, blir det mulig å utføre undersøkelser som på den ene side er spesifikk for hvert system på grunn av at en spesifikk sammensetning blir undersøkt og på den annen side universell siden undersøkelsen egner seg for alle inneslutningssystemer. Videre blir undersøkelsen ganske inngående ettersom undersøkelsesmetoden gjør det mulig å behandle hvert volum som representerer en komponent i systemet isolert eller en kombinasjon med minst ett annet volum, slik at den tar hensyn til samvirkningen mellom flere volumer og flere komponenter som modelleres av disse volumer.

Fortrinnsvis gjør fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det mulig å behandle alle inneslutningssystemer enten de er forsynt med den tekniske installasjon som omfatter elementer som er ”foringsrør” som utgjør flere teleskopformete rør eller ikke. For eksempel blir det mulig å utføre en identifikasjon av sviktrisikoen i en undergrunnsformasjon brukt for å lagre et fluid, en gass eller et annet emne.

Et bestemt eksempel for å bruke fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen er identifikasjon av sviktrisikoen i undergrunnsformasjonen som blir brukt for å lagre CO₂. En slik formasjon kan være et oljereservoar. Faktisk krever lagring av CO₂ i oljereservoarer en teknisk installasjon som kan sikre formasjonens eller reservoarets ugjennomtrengelighet for å hindre CO₂ lekkasje over en lengre tidsperiode.

Det er følgelig viktig å kjenne til sviktrisikoen i reservoaret. Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen gjør det fortrinnsvis mulig å identifisere sviktrisikoen i et oljereservoar som brukes for lagring av CO₂ over en bestemt tidsperiode. Videre blir det mulig å identifisere scenarier tilknyttet en sviktrisiko og gjøre det mulig å identifisere tekniske løsninger for å hindre slike scenarier.

”Diskretisering i volumer” av en komponent innebærer en modellering av denne komponent ved diskrete volumer. Denne diskretisering tar hensyn til selve komponenten og materialet som omslutter den og især alle lagene i biosfæren og geosfæren. Denne diskretisering gjør det mulig å modellere det totale volum som formes av minst én komponent og dennes miljø med minst én diskret enhet som kalles volum. I denne modellering ved diskretisering i volum, representerer egenskapene av volumene egenskapene av det totale volum som modelleres. Diskretiseringens finhet sikrer opprettholdelse av kontinuitet av hele det totale volum som modelleres.

Faktisk må diskretiseringen av systemet som brukes gjøre det mulig å analysere på en nøyaktig og relevant måte, som virker mellom komponentene og samvirkningene av en komponent med dens miljø og deretter sviktmodusene av sistnevnte.

For eksempel avhenger arkitekturen av at en båtbrønn ofte har geologien som finnes, idet endringen i brønnsøylen oftest sammenfaller med en betydelig endring i egenskapene i det geologiske sjikt som gjennomkjøres og nærværet av sementerte hylser blir oftest diktert av følsomheten eller også en uforenlig egenskap av formasjonen.

Videre defineres en ”overdekning” som alle formasjoner som befinner seg mellom et reservoar og overflaten og som alle vises oppdelt i geologiske sjikt som kan ha svært forskjellige egenskaper som permeabilitet, vanninnhold, osv.

Det kan for eksempel også velges å modellere et generelt geologisk volum som omfatter et sett av feil, ved hjelp av en eller flere atskilte volumer som hvert især karakteriseres av en tilsvarende vertikal permeabilitet.

Fremgangsmåten gjør det mulig å utføre identifisering av sviktrisikoen i et geologisk innslutningssystem ifølge oppfinnelsen. Et slikt system er svært komplekst og identifiseringen av sviktrisikoen av et slikt system innebærer en mengde parametere.

Videre gjør fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det mulig å utføre en identifisering av sviktrisikoen i et inneslutningssystem på lengre sikt og gjør det mulig å evaluere miljøpåvirkningen av en svikt i et slikt system.

Fremgangsmåten omfatter ifølge oppfinnelsen fortrinnsvis et trinn for å foreslå minst én løsning for å sikre sikkerheten og gjøre det mulig å hindre et sviktscenario. Faktisk gjør fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det mulig å foreslå for en bruker passende tiltak som finnes for å hindre at scenarier av svikten i et geologisk inneslutningssystem og sikre dets pålitelighet. Tiltakene som kan foreslås kan omfatte:

- implementere overvåkningsanordninger for å sjekke fraværet av betydelige lekkasjer på kritiske punkter i et inneslutningssystem, og
- utføre flere lydundersøkelser/målinger for å redusere usikkerheter om de mest kritiske egenskapene av komponentene og/eller volumene.

5 En løsning for å sikre sikkerheten kan kreve oppdatering av identifikasjonen av sviktrisikoen i det geologiske inneslutningssystem. For eksempel kan implementeringen av en løsning for å opprettholde operasjonsintegriteten av systemet som krever en ny diskretisering til volumer av systemet og av alle følgende trinn for identifisering og evaluering av sviktrisikoen i systemet. Likeledes kan implementering
10 av overvåkningsløsninger for minst ett kritisk volum av systemet kreve en ny generasjon av sviktscenarier og en kvantisering av disse sviktscenarier.

Før trinnet med å foreslå minst én løsning for å sikre sikkerheten, kan videre fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte et identifiseringstrinn av minst én kilde til sviktrisikoen. Som en foreløpig definering av løsningen for å behandle de mest kritiske
15 scenarier, er det mulig å identifisere makrorisikoer ved opprinnelsen av disse scenarier, er det usikkerhet om degraderingskinetikk? Usikkerhet om denne innledende tilstand av systemet ?, geometri? Er det en bestemt komponent i systemet ?, en bestemt fremgangsmåte som for eksempel er knyttet til inneslutningsstrategien?, en svekkelse i konstruksjonen av inneslutningssystemet?

20 Akselereringsaldringsprøver i laboratoriet eller komplitterende studier kan utføres for å besvare disse spørsmålene. I dette bestemte tilfellet med et oljereservoar som brukes for å romme CO₂, kan det tenkes en kampanje for mer nøyaktig karakterisering av oljefeltet eller om enn konstruksjonen av reservoaret, for eksempel en modifikasjon eller teknisk forbedring i utformingen av reservoaret.

25 Fortrinnsvis omfatter dataene om inneslutningssystemet som innhentes for implementeringen av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, data om en teknisk isolasjon for inneslutningssystemet. Denne tekniske installasjon kan være en installasjon som gjør det mulig å sikre inneslutningsfunksjonen for å hindre lekkasje fra en lagringskonstruksjon på den ene side og en dreining av uønsket element fra utsiden i
30 systemet, på en annen side. Denne installasjon kan for eksempel utgjøres av minst én plugg som er konstruert av et materiale av enhver type især av sement, minst én sementert hylse, minst ett fluid, minst ett ”foringsrør” og komponenter av stål av enhver verdi.

Dataene og den tekniske installasjon kan omfatte minst én egenskap av minst
35 én komponent i installasjonen. Disse egenskapene kan omfatte sammensetningen av komponenten, en tilstand av komponenter, en posisjon av komponenten, en dimensjon av komponenten, en adferd av komponenten osv.

Ifølge en fordelaktig versjon av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, omfatter dataene om inneslutningssystemets data biosfæren og/eller geosfæren i og/eller rundt

systemet. For at inneslutningssystemet skal omfatte flere geologiske formasjoner, finnes det sviktrisikoen som er knyttet til biosfæren og geosfæren rundt og nær systemet. Dette er årsaken til hvorfor det er nødvendig å ta hensyn til geosfæren og biosfæren. Som et eksempel for et oljereservoar som blir brukt for å lagre CO₂, er det viktig å vurdere geosfære- og biosfærelagene som omslutter reservoaret for å kunne 5 påvise risiko for CO₂ lekkasje gjennom disse lagene.

Ifølge et fordelaktig trekk ved oppfinnelsen, omfatter data om inneslutningssystemet data om innholdet i systemet. På denne måte blir det mulig å utføre en identifikasjon av risikoen for mulige feil samt identifikasjon av farene som er knyttet til innholdet av omslutningen. Faktisk kan typene og egenskapene av innholdet i omslutningssystemet gi opphav til risikosituasjoner under bestemte forhold som for eksempel eksplosjonen ved høyt trykk, korrosjon av en teknisk installasjon, uforenlighet mellom en teknisk integrasjon og innholdet i omslutningssystemet osv. Det er viktig å kunne ta hensyn til type og egenskapene av innholdet ved identifikasjon 15 av sviktrisikoen i omslutningssystemet.

Fortrinnsvis omfatter dataene om inneslutningssystemet en todimensjonal eller tredimensjonal fremstilling av systemet i sitt miljø. Dette gjør det mulig å ta hensyn til komponentene i det geologiske omslutningssystem å konstruere en modellering til volumer med funksjonaliteter og samvirkninger med hverandre for å oppnå en 20 uttømmende og minimere representativ modellering av det geologiske inneslutningssystem. Den todimensjonale eller tredimensjonale fremstilling kan være en symmetrisk del av minst én komponent og/eller et volum av det geologiske inneslutningssystemet i samsvar med en funksjonsvinkel.

Ifølge et fordelaktig trekk ved oppfinnelsen, omfatter data og inneslutningssystemet overvåkningsdata av systemet. Disse overvåkningsdata kan være 25 sanntidsdata som hentes av følere plassert nær eller innenfor det geologiske inneslutningssystem.

Fortrinnsvis tar identifikasjonen av et sviktscenario hensyn til data og minst én miljøtilstand. Disse miljøtilstandene kan tas hensyn til ved innhenting av data om disse forhold. Miljøforholdene kan omfatte seismografiske, atmosfæriske, klimatiske 30 forhold, menneskelige forhold ved bruk av omslutningssystemer osv.

Ifølge en fordelaktig versjon av oppfinnelsen, modellerer minst ett volum minst én komponent i omslutningssystemet. For eksempel kan et lagringssystem i et oljereservoar fremstilles ved volummodellering som for eksempel et foringsrør, en 35 plugg, ringformet sement, et reservoar, et fluid osv.

Likeledes modellerer minst ett volum minst én komponent som danner del av geosfæren og/eller biosfæren innenfor eller nær omslutningssystemet. For eksempel kan en komponent i geosfæren eller biosfæren, for eksempel en geologisk eller biologisk formasjon, en innsjø, et hulrom osv. fremstilles av et volum.

Hvert volum representerer en komponent som tilhører det geologiske inneslutningssystem eller en teknisk installasjon i systemet eller geosfæren og/eller biosfæren kan omfatte minst én egenskap om komponenten som den modellerer. Disse egenskapene kan omfatte data om en tilstand, en adferd, en utvikling, en type osv. av komponenten som modelleres. Således kan et volum i realiteten bli en makroenhet som omfatter flere data som representerer flere egenskaper ved en komponent. Disse egenskapene kan uttrykkes av funksjoner eller likninger.

Fortrinnsvis kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen også omfatte et utvalg fra en bunn eller minst ett forhåndsdefinert volum som gjør det mulig å modellere minst én komponent i omslutningssystemet. Faktisk kan oppfinnelsen omfatte en forhåndsdefinert "volum"-database som gjør det mulig å fremstille en komponent i det geologiske omslutningssystemet, en komponent i en teknisk installasjon i systemet eller en komponent av biosfæren og/eller geosfæren i eller rundt systemet. Således kan modelleringen av inneslutningssystemet utføres svært raskt. Videre kan de predefinerte volumer kompletteres eller modifiseres med hensyn til et trekk av en eller flere komponenter.

I en fordelaktig utførelse av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, omfatter analysen av en volumtilstand en evaluering av minst én fysisk-kjemisk egenskap av volumet under bestemte forhold. Analysen av en komponent som utføres av minst ett volum som representerer en komponent, kan omfatte teoretiske beregninger om komponentens adferd over tid etter at den er isolert eller sammen med andre elementer. Disse beregningene kan utføres for en bestemt situasjon når komponenten brukes sammen med flere scenarier av utviklingen over tid. Hensikten med denne analyse er å identifisere minst én sviktmodus av komponenten over tid i situasjoner med bestemt bruk, etterfulgt av flere utviklingsscenarier.

Slik analyse av et volums tilstand ved å bestemme minst én psyko-kjemisk egenskap av problemet ved tidspunktet t , kan kalles en statusanalyse av volumets tilstand. Videre kan modelleringen av minst ett volum som funksjon av dets tilstand bestemt ved statistisk analyse kalles en statistisk modellering av et volum. Hvis alle elementene av inneslutningssystemet blir modellert på en statistisk måte, blir således inneslutningssystemet modellert på en statistisk måte.

Analysen over et volums tilstand kan omfatte og ta hensyn til en utviklingskinetikk av dette volumet over tid eventuelt ved å begynne med volumets tilstand på et tidligere tidspunkt t . I enkelte tilfelle er det ikke mulig å definere en tilstand for dette volum på forhånd og det kan være lettere å definere en degraderingskinetikk som omfatter for eksempel en degraderings"regel" som funksjon av miljøet og strømmen CO_2 . Videre kan degraderingskinetikkbareometeret således også befinne seg ved opprinnelsen av defineringen av scenarier, idet scenarioet s defineres av volumet v som er i en tilstand x på et riktig tidspunkt og utvikles i samsvar med

kinetikken c som blir innført på dette tidspunkt. Således kan en fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen omfatte å bestemme en sviktmodus av et volum som funksjon av utviklingskinetikk knyttet til volumet og minst ett sviktscenario kan bestemmes som funksjon av denne sviktmodus.

5 En slik analyse om en tilstand av volumet som funksjon av utviklingskinetikk av volumet, kan kalles en dynamisk analyse av volumet. Modellering av minst ett volum ved å bruke en dynamisk analyse av volumets tilstand, kan kalles en dynamisk modellering av dette volumet. Hvis alle elementene i omslutningssystemet blir modellert på en dynamisk måte, blir likeledes omslutningssystemet modellert på en
10 dynamisk måte.

Naturligvis kan et omslutningssystem modelleres ved å bruke enten dynamisk modellering eller statisk modellering eller en kombinasjon av disse. For eksempel kan et volum av inneslutningssystemet modelleres på en dynamisk måte og et annet på en statisk måte.

15 Ifølge en fordelaktig versjon av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, omfatter et slikt scenario en kombinasjon av flere sviktmoduser av flere volumer. I eksempelet med et oljereservoar brukt for å lagre CO_2 , kan faktisk CO_2 -lekkasje forårsakes av svikt i flere komponenter i reservoaret, av den tekniske installasjon som er ment å sikre ugjennomtrengeligheten i reservoaret, og omsluttende formasjoner.

20 For et scenario med lekkasje med innhold fra et hulrom, gjør for eksempel fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen det mulig å definere minst én lekkasjerute som tilsvarende lekkasjebanen av innholdet til overflaten.

Fortrinnsvis omfatter analysen av et volums tilstand å ta hensyn til minst ett annet volum blant flere volumer. Det er faktisk adferden av en komponent som
25 modelleres av minst ett volum beregnet under forhåndsdefinerte forhold. Hvis disse forholdene blir endret, må disse endringene tas hensyn til for mer nøyaktig å definere en komponents adferd. I tilfelle med lagring av CO_2 i et oljereservoar med en brønn tilveiebrakt med to overgitte pluggen, blir for eksempel oppgaven å sikre ugjennomtrengeligheten av reservoaret, idet trykket som overgivelsespluggen 2 utsettes
30 for ikke er den samme hvis pluggen 1 er skadet. Pluggens adferd over tid vil kunne endres og dette må tas hensyn til. Det må videre tas hensyn til tilstanden av pluggen 1 for å modellere pluggen 2.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen tar hensyn til samvirkingen mellom komponentene i et geologisk omslutningssystem for å gjøre det mulig å utføre en mest
35 mulig nøyaktig og fullstendig identifikasjon av systemets sviktrisiko.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan også omfatte et trinn med å velge minst ett sviktscenario fra flere slike scenarier. Faktisk kan en analyse av en komponents tilstand i et geologisk omslutningssystem føre til flere sviktmodi av denne

komponent som i sin tur fører til flere sviktscenarier i systemet. I dette tilfellet kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte valg av et sviktscenario ut fra flere slike scenarier i samsvar med tre definerte kriterier.

Ifølge et fordelaktig trekk ved oppfinnelsen, blir minst ett volum tilknyttet en såkalt frekvensfaktor, idet frekvenshyppighetsfaktoren blir evaluert minst som funksjon av sannsynlighetssvikten av volumet.

For hver sviktmodus og optimalt for hvert tilfelle av svikt i hvert volum, kan disse forekomstfrekvenser innhentes på flere måter:

- ekspertuttalelser
- kvantitative simuleringer
- statistiske data og tilbakemelding ut fra erfaring.

Ifølge et fordelaktig trekk ved oppfinnelsen, blir minst ett sviktscenario tilknyttet en såkalt frekvensfaktor som evalueres som funksjon av en forekomst-sannsynlighet av scenarioet.

Disse forekomstfrekvenser kan evalueres som funksjon av dataene om volumene som scenarioet er tilknyttet. De kan innhentes på flere måter:

- ekspertuttalelser
- kvantitative simuleringer
- statistiske data og tilbakemelding ut fra erfaring,
- beregning ved å kombinere frekvensfaktorene med de aktuelle volumer.

Fortrinnsvis blir en såkalt alvorlighetsfaktor tilknyttet minst ett feilszenario, idet alvorlighetsfaktoren blir evaluert som funksjon av følgende av hvert scenario. For hvert sviktscenario kan for eksempel oppfinnelsen faktisk omfatte en beregning av skaden som omfattes av en svikt som kan beregnes.

Følgende av en svikt i omslutningssystemet kan være tofoldig:

- tap av forventet ytelse av omslutningsfunksjonen, f.eks. tap av lagret stoff forårsaket av stor lekkasje eller forurensning ved inntrengning av elementer fra utsiden og følgelig redusering eller eliminering av lagringens fordel,
- skade knyttet til skadelig virkning eller fare forårsaket av lagret stoff.

Skade som tas hensyn til kan være skade knyttet til det geologiske omslutningssystem og en teknisk installasjon i systemet og skade forårsaket av miljø av en slik svikt. Blant disse typer skade kan det for eksempel nevnes slike som forårsakes av lekkasje av innholdet i et hulrom.

Evalueringen av alvorlighetsfaktoren kan omfatte å ta hensyn til en strømningsrate av lekkasjen av innhold fra inneslutningssystemet og/eller nivået av inntrengning i inneslutningssystemet. I tilfellet med et oljereservoar som inneholder CO₂, blir det for eksempel mulig å beregne skaden forårsaket av et sviktscenario med

CO₂-lekkasje. Beregningen av alvorligheten av CO₂- lekkasje kan især omfatte skade forårsaket av miljøet og operatøren.

Fortrinnsvis kan minst én alvorlighetsfaktor knyttet til minst ett bestemt problem. Faktisk kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte å bestemme følgende av et sviktscenario ved å evaluere påvirkningen av forskjellige problemer som defineres på skallet av et geologisk inneslutningsprosjekt i tilfelle svikt, problemet for operatøren og for miljøet. Den gjør det mulig å knytte ytelsen av inneslutningssystemet og nivået av betydningen på de forskjellige problemer ved å bruke ytelsesindikatorer, lekkasjestrømningsrater eller et inntrengningsnivå. En CO₂-lekkasjestrømningsrate x forårsaker utvinningstap i x dager for operatøren og kan sette livet til andre i fare innenfor en bestemt overflateperimeter. Fremgangsmåten gjelder når:

- konsekvensene blir kvantisert: idet kostnadene, og
- konsekvensene ikke er kvantisert og en beslutning om å utelate denne type inneslutning fra en industriell anvendelse hvis mer enn x % av lagret gass tapes over en gitt periode.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan også omfatte en simulering som gjør det mulig å estimere et sviktscenario, for eksempel en lekkasjestrømningsrate.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan også omfatte en simulering som gjør det mulig kvantitativt å estimere utviklingen av et volums tilstand over tid som funksjon av utviklingskinetikk og en tilstand av dette volum vil ved et tidspunkt t. For eksempel hvis en plugg i en brønn som blir brukt for lagring av CO₂, kan for eksempel fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte en evaluering, for eksempel ved å bruke loven om utvanning av utviklingen av permeabiliteten av pluggen som begynner med en tilstand ved tidspunktet t, for eksempel en sprukket plugg, og gitt utviklingskinetikk.

Ifølge fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan videre omfatte kritisk evaluering av et sviktscenario som funksjon av en frekvensfaktor og/eller en alvorlighetsfaktor. Det kritiske nivå kan beregnes som funksjon av skaden og frekvensen av forekomsten av svikt. Således blir det mulig å tenke seg flere nivåer av kritikalitet. Dette gjør det mulig å skille flere scenarier som er mer kritiske enn andre og således behandle disse scenarioene som en prioritert.

Fortrinnsvis kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte identifikasjon og/eller prioritering av minst ett sviktscenario som funksjon av kritikaliteten av minst ett sviktscenario. Dette kan gjøre det mulig, især ved CO₂- lagring i et oljereservoar, og identifisere en kritisk CO₂-rute og følgelig tilråde CO₂-overvåkning på et bestemt sted eller anbefale plassering av en ny isolasjonsplugg på et slikt nivå.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan også omfatte kritikalitetslevering av en sviktmodus av et volum som funksjon av en frekvensfaktor og et bidrag av volumet til minst ett mest kritisk scenario. Denne kritikalitet kan bestemmes ved å omfordele

kritikaliteten av et scenario blant volumene som befinner seg i dette scenario og av tilsvarende svikt.

Fortrinnsvis kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte identifikasjon og/eller prioritering av minst én sviktmodus av minst ett volum som funksjon av en kritikalitet av minst én sviktmodus av minst ett annet volum. Det blir således mulig å kunne tilordne risikoene på et nivå av minst ett volum i det geologiske inneslutningssystem og således fremheve den følsomme karakter av volumet på nivået av det generelle system. Dette kan gjøre det mulig, især ved CO₂-lagring i et oljereservoar, og avsløre de kritiske volumene og følgelig for eksempel få frem behovet for mer spesifikke degraderingsundersøkelser av dette volum under dets direkte miljømessige forhold. Etter at sviktscenariene har blitt identifisert og kvantisert i samsvar med en kritikalitetsindeks, kan fortrinnsvis fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen omfatte en robusthetsprøve med validering av uttømningsvarigheten av de signifikante, kritiske scenarier, dvs. tilordning som dekker scenarioenes risiko. Dette trinn gjør det mulig å sikre at ikke noen mulig kilde for risiko blir glemt. Det innebærer måling av påvirkningen fra et bestemt antall usikkerheter med hensyn til definisjonen av arbeidende hypotese. Dette trinn går foran trinnet med å identifisere risikokilden. I tilfellet med et CO₂-inneslutningssystem, kan denne prøve utføres som følger:

- variasjon av minst én modelleringsparameter som ikke dannet grunnlag for definisjonen av minst ett sviktscenario, der arbeidshypotesen omfatter forhold knyttet til gasstrykkgrenser og fysiske egenskaper,
- verifisering av innhentet lekkasje: hvis lekkasjen varierer lite med disse parametrene eller holder seg minst under en akseptabel øvre verdi, er robusthetsprøven tilfredsstillende; hvis ikke, blir et tilleggssviktscenario lagt til.

Videre kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen også omfatte, for minst ett scenario, evaluering av usikkerhet om dette scenario. Som funksjon av funksjonens nøyaktighet, dens viktighet, mengde og kvalitet, vil oppfinnelsen faktisk gjøre det mulig å definere usikkerheten tilknyttet sviktscenarier som identifiseres samt risiko tilknyttet disse scenarier.

Flere løsninger er mulig for å evaluere usikkerheten av et scenario:

- i tilfelle hvor sviktfenomener eller modi kan parametriseres eller modelleres kan en kvantitativ beregning utføres. Denne beregning kan utføres på to forskjellige måter:
- bestemme probabiliteten av overskridende kriterier (f.eks. begrense strømningsraten) over tid ved begynnelse med fordelinger av inngangsparametere (vurdert som vilkårlige variabler) av forskjellige komponenter og/eller volumer,

- eller bestemme usikkerhetsintervallet på indikatoren (f.eks. strømningsrater) av scenarioet med begynnelse av usikkerhetsintervaller av forskjellige sviktmodi (behandle manglende kunnskap av systemdataene),
- 5 • i det motsatte tilfellet, evaluere usikkerheten som utføres ved kvalitativ resonering.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan med fordel omfatte identifikasjon og/eller prioritering av minst ett sviktscenario av det geologiske inneslutningssystem prosjektert til en bestemt fremtidig dato og især til forskjellige kort, middels og langtidslister. Især blir det mulig å fremme utviklingene av risikoer som kan oppstå fra det geologiske inneslutningssystem etter dets etablering og på langs sikt. I eksempelet med CO₂-lagring i oljereservoaret, kan evalueringen av risikoen således konsentrere seg om injeksjonsfasene (kort tid), om ballansering av trykket (kort til middels tid) og faktisk lagring (middels og lang tid).

15 Fortrinnsvis kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen implementeres for identifikasjon av sviktrisikoen i et oljereservoar brukt for å lagre CO₂.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan med fordel implementeres i alle fasene av et inneslutningsprosjekt. Et slikt prosjekt kan omfatte en foreløpig undersøkelse av inneslutningssystemet, langstidsåpning, føring gjennom injeksjonsfasen og overgivelsesfasen. I det bestemte tilfellet med borete brønner, kan for eksempel den foreløpige undersøkelse av inneslutningssystemet omfatte konstruksjonen av de tekniske installasjoner for borete brønner og den geologiske konfigurasjon.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan implementeres for analyse og sviktrisiko i et inneslutningssystem som er tenkt å overgis eller som allerede er det. I en bestemt anvendelse, kan for eksempel fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen implementeres for å analysere overgivelse av et oljefelt.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan også implementeres for å analysere sviktrisikoen og evaluere ytelsene av et inneslutningssystem for sesonglagring, for eksempel av naturgass.

Ifølge et annet aspekt ved oppfinnelsen kan et system for å identifisere sviktrisikoer i et geologisk inneslutningssystem omfatte:

- anordning for innhenting av data om systemet;
- anordning for å nedbryte systemet til flere komponenter som funksjon av dataene om systemet,
- 35 • anordning for å modellere minst én komponent med minst ett volum, idet modelleringen utføres ved en diskretisering til volumer av komponenten,

- anordning for å generere minst ett sviktscenario av systemet, idet genereringen omfatter minst én iterasjon av følgende trinn:
- analysere tilstanden av minst ett volum som modellerer minst én komponent av systemet,
- 5 • påvise som funksjon av tilstanden av volumet, minst én potensiell sviktmodus av volumet.

Oppfinnelsen skal beskrives nærmere i det følgende under henvisning til tegningene, der:

fig. 1 er et skjematisk riss av en boret brønn og omsluttende materiale,

10 fig. 2 er et skjematisk riss av et eksempel på modellering ifølge oppfinnelsen av en komponent i en boret brønn etter volum,

fig. 3 er et riss av en nedbrytning av en brønn til komponenter og en modellering av en komponent etter volum i samsvar med fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen,

15 fig. 4 er et riss av et nett av lekkasje av en brønn av innholdet i et oljereservoar,

fig. 5 er et skjematisk riss av flere lekkasjeruter som utgjør en mulig svikt i en brønn som undersøkes ifølge oppfinnelsens fremgangsmåte,

fig. 6 er et eksempel på klassifisering av sviktscenarier for en brønn ved hjelp av oppfinnelsens fremgangsmåte,

20 fig. 7 er et eksempel på klassifisering av svikt i forskjellige komponenter i et geologisk inneslutningssystem i samsvar med oppfinnelsens fremgangsmåte,

fig. 8 er et eksempel for identifisering og evaluering av sviktrisikoen ifølge oppfinnelsen.

Især, men på ingen måte begrensende er eksemplene beskrevet i detalj 25 nedenfor angår evaluering av sviktrisikoen i en plugget brønn (10), i et CO₂-lagringsmiljø som utgjør en teknisk installasjon som tar sikte på karanteneoppbevaring av lagerets ugjennomtrengelighet. Risikoevalueringen vil ta hensyn til et biosfære/geosfære-system og en tidsreferanseperiode T. Beskrivelsen av eksempelet kan gis i form av flere trinn.

30 **Foreløpig trinn: funksjonsanalyse**

Etter innhenting av data om brønnen (10) og dens miljø, omfatter fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen også et foreløpig trinn med identifisering og analyse av brønnens forskjellige komponenter. Brønnen kan da anses som et ”brønn”-system som omfatter grunnleggende komponenter som samvirker med hverandre og 35 med utsiden, som for eksempel jordskjelv, eksterne trykk osv. Dette trinn gjør det mulig, i en første fase, å fremheve funksjonene som må utføres av hver komponent i ”brønn”-systemet. Skjemaet 1 nedenfor gjør det mulig å vise komponentene innenfor eller utenfor systemet om det kan tas hensyn til videre risikoanalyse og lagring i samsvar med brønnens sikringsprosess:

5

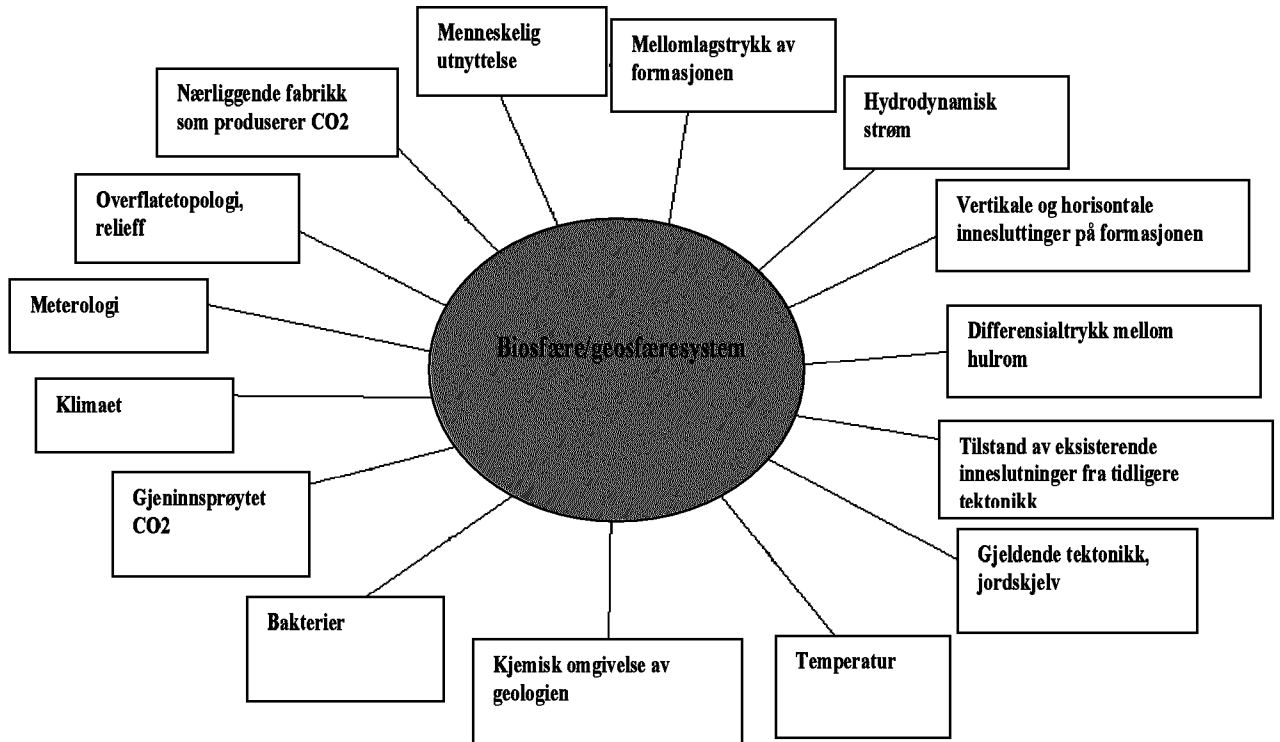


Diagram 1

10 Hvert av disse elementene blir så skannet en etter en og for hvert av dem blir inneslutningene som sannsynligvis påvirkes komponentene i systemet, tatt i betraktning.

Analyse av disse elementene gjør det mulig å vise dataene oppgitt i tabellen. Tabell 1 illustrerer dette.

15

Element	Påvirket komponent	Funksjoner av inneslutninger på den påvirkede komponent
gjeninnsprøytet CO ₂	brønn sementerte elementer	<ul style="list-style-type: none"> - For å motstå inntrengning i sementerte elementer (under påvirkning av en trykkstigning) - For å motstå diffusjon til de sementerte elementer (under påvirkning av en konsentrasjonsstigning) - For å motstå progresjon av CO₂-gassbobler i de sementerte elementer
	foringsrør	<ul style="list-style-type: none"> - For å motstå forflytning av fyllefluider gjennom de gjennomtrengte foringsrør - For å motstå korrosjon av foringsrørene under påvirkning av vann lastet med CO₂

Kjemisk miljø av geologien	reservoar	
	reservoardekke	- Motstå gjennomtrengning i reservoardekket osv.
Jordskjelv	feil	- Motstå strøm av fluider lastet med CO ₂ osv. langs feilene
	brønn	
Temperatur	brønn	
	overdekke	
Tilstand av eksisterende innestutninger på formasjonene	reservoardekke	
	Brønn	
Overtrykk i formasjonene	Reservoardekke	
	...	
Menneskelig utvinning	...	
	reservoardekke	
	feil	

Tabell 1

Trinn 1: Diskretisering til volumer

Fig. 1 viser skjematisk den undersøkte lagringsbrønn. Sistnevnte omfatter et
 5 reservoar R1, sementpluggen 11 og 12, sementhylser 13, "foringsrør" 14 og 15, minst
 ett fluid 161, 162, 163 og formasjoner 17 som danner del av geosfæren og omsluttende
 biosfærer. Dybden i forhold til overflaten av stedet for alle disse komponenter oppgis
 av en vertikal akse 18. Brønnen på fig. 1 blir diskretisert i volumer som gjør det mulig
 å modellere komponentene i brønnen. Diskretisering blir utført under hensyntagen til
 10 grensene 19 mellom de forskjellige formasjoner. Fig. 3 viser den oppnådde
 diskretisering. Diskretiseringen blir utført i en første fase etterfulgt av grunnleggende
 komponenter som ble møtt og som ble delt i så mange volumer som de geologiske,
 horisontale strater som ble passert gjennom som vist på fig. 2 for
 sementhylsekomponenten 13. Således ble sementhylsekomponenten 13 diskretisert i
 15 fire volumer, nemlig volumene 131, 132, 133 og 134 som funksjon av formasjonene 17
 som danner del av den omsluttende geosfære.

Fig. 3 viser volumer som modellerer et reservoar R1, overgivelsespluggen 12,
 den sementerte hylse 13, produksjonsforingsrørene 14 og 15, fluider 161 og 162,
 nærliggende formasjoner 17, overgivelsespluggen 11 og overflaten 21.

20

Trinn 2: Generering av feilscenarier

2.1: Konstruksjon av hendelsestre

Som funksjon av resultatene av trinn 1, blir et CO₂-lekkasjenett (eller hendelsestre) etablert på fig. 4. Nettverket utgjøres av flere lekkasjeruter. Disse lekkasjerutene blir fastlagt som en funksjon av feilmodusen av brønnvolumene. Som det fremgår av fig. 4 fins det faktisk for hvert brønnvolum minst én selvstendig tilstand som oppgitt fra 1 til 5. For den sementerte hylse 13 på hvert av volumene 134, 133, 132, 131, er f.eks. fem degraderingstilstander oppgitt.

2.2: Analyse etter volum

For hvert av de diskretiserte volumer blir en analyse utført ved å produsere en liste over feilmoduser som kan påvirke komponenten modellert av volumet. Feilene kan ses som svekkelse over tid av egenskapene av volumet eller en plutselig skade på volumet etterfulgt av selvstendige hendelser i samsvar med tilfellet.

Feilene blir uttømmende registrert ved å undersøke:

- påvirkningen av utvendig aggresjoner,
- samvirkninger mellom minst ett volum og det undersøkte volum,
- utviklingskinetikk av volumet eller av et nærliggende volum.

Feilene av volumene er oppgitt og deretter klassifisert som en funksjon av en frekvensfaktor. I dette eksempel som vist av tabell 2 og i tilfellet sementhylsen 13 og volumet 134, blir sviktmodusene (linjer i tabellen) karakterisert ved å tildele en frekvensindeks til hver mulig grad av feilstørrelse (kolonnene i tabellen). Frekvensindeksen blir definert i tabell 3 som funksjon av en kvalitativ eller kvantitativ probabilitet av forekomst. Denne fremgangsmåte gjør det mulig å integrere usikkerheter om data i forbindelse med systemet eller de brukte modellene som er uunngåelige når fremtiden av en komponent blir evaluert langtids (100 til 10.000 år).

Volum (f.eks. 131 eller 132 eller 133 eller 134)	Sviktmodus (FM)	Årsak	Grad av sviktstørrelse						
			K0*	α K0	etc...				
Volum 134	Utvasking	av vann i formasjonene		2	1	1	1	1	
		avkalkning av H ₂ S		1	1	1	1	1	
	Karbonisering	Av CO ₂		1	1	1	1	1	
	Sprekkdannelse	belastninger på formasjonene		1	1	1	1	1	
	etc...			1	1	1	1	1	
					1	1	1	1	1
Generell tilstand, herunder alle FM			U%	V%	W%	X%	Y%	Z%	
Generell frekvensindeks for volumet			3	5	2	1	1	1	

*K0 representerer parameteren av permeabilitet av komponenten i sin sikre referansetilstand

Tabell 2

Tabell 2 viser alle sviktmoduser og deres rangering på grunnlag av en frekvensindeks for volumet 134.

Mulige grader av sviktstørrelse (kolonnene i tabellen) blir klassifisert her på grunnlag av den resulterende permeabilitet av volumet.

Hver sviktmodus blir rangert i samsvar med tabellstrukturen som funksjon av dataene knyttet til volumene og under bestemte forhold.

Beskrivelse	Klasse nivå	Tilhørende probabilitet
Umulig eller tillatt som sådan	1	P1
Svært usannsynlig	2	P2
Usannsynlig	3	P3
Sannsynlig	4	P4
Svært sannsynlig	5	P5
Sikker	6	P6

Tabell 3

Til slutt ble alle modusene og årsakene til volumsvikt og deres forskjellige frekvensindekser integrert for å fastlegge probabilitetsfordeling av mulige tilstander for volumet. Resultatene er vist for tilfellet med den sementerte hylse 13 og volumet 134 av de siste to linjer i tabell 2. Standardreglene for å beregne probabiliteter blir brukt. Etter at probabiliteten har blitt beregnet (nest siste linje i tabell 2), blir frekvensen rangert med henvisning til gitteret i tabell 3 (siste linje i tabell 2).

Dette er et eksempel på kvalitativ resonering tilknyttet bestemmelse av probabilitet av mulige forskjellige tilstander av volumet (siste to linjer i tabell 2):

- begynne med høyre kolonne (den mest skadelige tilstand), idet probabiliteten av volumet i denne tilstand blir skrevet lik summen av probabilitetene for hver av denne tilstand *i samsvar med hver av årsakene* (årsaker tillatt å være uavhengige av hverandre). Hvis det bare finnes en enkelt årsak, blir tilsvarende probabilitet rapportert direkte.
- denne årsak fortsettes for de andre tilstander av volumet for minskende skadelig karakter (kolonner fra høyre til venstre), og under hensyntagen til at summen av probabilitetene av de forskjellige mulige tilstander av volumet naturligvis er lik en (mulige forskjellige tilstander er skilt fra hverandre: hvis en tilstand er *mulig*, blir de andre nødvendigvis generelt *umulige*).

2.3: Generering av sviktscenarier

Sviktscenarier, definert her som en kombinasjon av tilstander av volumer som møtes på en gitt lekkasjerute, blir konstruert ved å analysere samvirkning av strømmer mellom volumer og koblede degraderinger eller svekkelser.

I vårt eksempel av lagringsbrønnen kan flere lekkasjeruter og flere
5 lekkasjescenarier identifiseres. Under vurdering av en svikt i den sementerte hylse 13 og mer nøyaktig av volumet 134, blir to lekkasjeruter 120 og 130 identifisert og vist på fig. 5.

Fig. 5 viser en annen presentasjon av lekkasjerutene. Denne fremstilling viser de forskjellige brønnvolumer og flere mulige CO₂-lekkasjeruter. F.eks. er det en brutt
10 brønnsøyle 43, et reservoardekke 41, feil 42, et gjennomtrengt, innvendig søyleforingsrør 15. Det finnes også elementer av brønnen oppgitt ovenfor.

For lekkasjeruten 120, oppstår CO₂-lekkasje som følger: fra CO₂ reservoaret R1 passerer CO₂- gjennom den sementerte hylse 13 og de forskjellige volumer 134, 133, 132 og 131 og deretter gjennom fluidet 162 for å ankomme ved overflaten 21.

15 Under vurdering av ruten 130 vist på fig. 5 oppstår CO₂-lekkasje fra reservoaret mot overflaten først gjennom den sementerte hylse 13 og forskjellige volumer 134, 133, 132 og 131 og deretter fluidet 161 og foringsrøret 15 og deretter fluidet 163 for å ankomme ved overflaten 21.

20 Trinn 3: Kvantifisering av scenarier

Analyse av sviktscenarier når det gjelder risiko utføres under vurdering av en frekvensfaktor og en alvorlighetsfaktor av scenariet.

Frekvensfaktoren blir kvantifisert ved å beregne en frekvens for scenariet utført ved å begynne med frekvensene av de forskjellige tilstander av volumene som fastlagt i
25 trinn 2. Denne frekvens eller probabilitet blir deretter vist kvalitativt av en frekvensindeks, som allerede definert tidligere (se tabell 3).

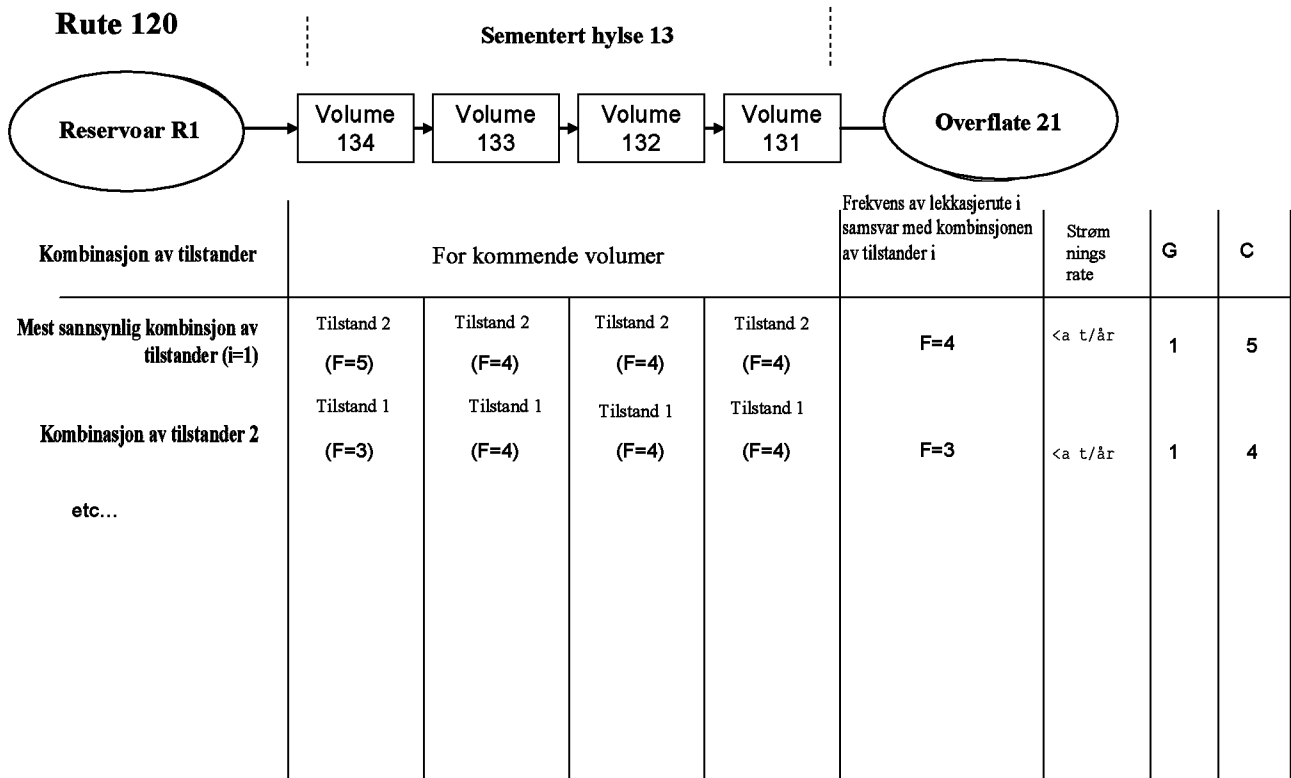
Alvorlighetsfaktoren er her basert på verdien av overflatestrømningsrater av CO₂-lekkasjen fra brønnen. Den tilhørende alvorlighetsindeks er vist i tabell 4.

Anvendt alvorlighetsgitter	
Nivå	Overflatestrømningsrate fra brønnen
1: Ubetydelig	Mindre enn a [t/år]
2: Svak	a til b [t/år]
3: Alvorlig	b til c [t/år]
4: Større	c til d [t/år]
5: Kritisk	d til e [t/år]
6: Katastrofal	Mer enn e [t/år]

30 Tabell 4

Scenariets alvorlighetsrangering tildeles etter beregning av strømningsraten av CO₂-lekkasjen gjennom brønnen i samsvar med det vurderte scenariet, dvs. i samsvar med svikten av volumene tatt med i dette scenariet.

I forbindelse med lekkasjeruten 120 generert i trinn 2 er det oppgitt en undersøkelse av komponentene i ruten 120 og deres vurderte tilstander, sviktscenarier og deres rangeringer. Denne undersøkelse er vist i tabell 5.



Tabell 5

10

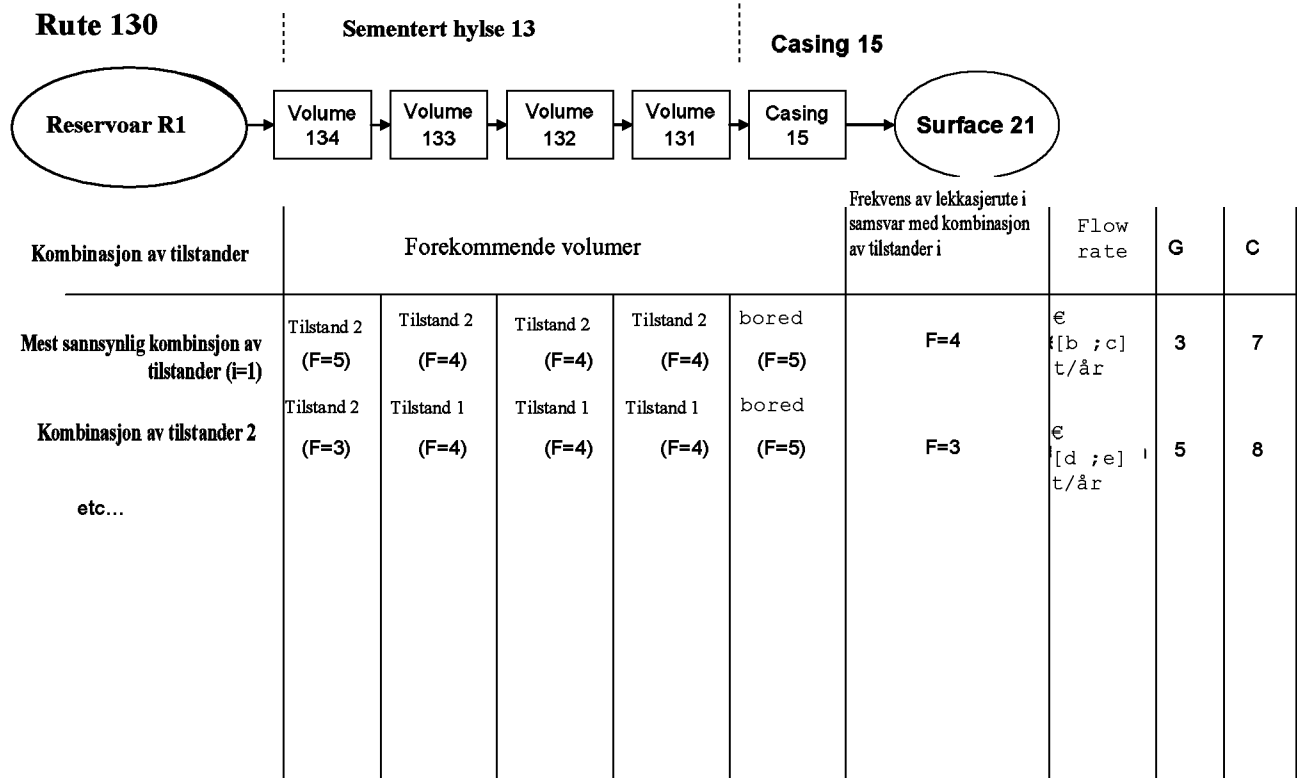
I dette eksempel er det mest sannsynlige scenariet (linje 1) vist først, dvs. scenariet som innebærer de mest sannsynlige tilstander av forekommende volumer etterfulgt av mindre sannsynlige tilstander. Frekvensen av lekkasjeruten i samsvar med hver av kombinasjonene av tilstander som vurderes, blir beregnet ved begynnelse av frekvensen tildelt de aktuelle volumer, eventuelt ved å innføre kondisjonale sannsynligheter. Tilhørende strømningsrater blir beregnet.

15

I dette eksempelet hentes kritikaliteten av scenariet ved å finne summen av frekvensrangeringen og alvorlighetsrangeringen. I vårt eksempel skal det bemerkes at det mest kritiske scenariet identifiseres med det mest sannsynlige scenariet.

20

På samme måte som for rute 120, er det oppgitt en undersøkelse av de aktuelle volumer i rute 130, deres vedtatte tilstander, sviktscenarier og deres rangeringer. Denne undersøkelse er vist i tabell 6.



Tabell 6

For denne lekkasjerute skal det bemerkes at det mest kritiske scenariet ikke er
5 identifisert med det mest sannsynlige scenariet.

Rangeringen av lekkasjescenarier utføres for de andre lekkasjeruter identifisert
for volumet 134 og deretter for de andre volumer.

Trinn 4: Tidsprioritering

10 4.1: Tilordning av sviktscenarier

Trinn 3 har gjort det mulig å identifisere scenarier og tildele en kritisk
rangering til disse som representerer deres risikoindeks. Disse scenarier kan følgelig fra
nå av prioriteres på grunnlag av deres kritikalitet for å tilveiebringe en generell
tilordning av sviktscenarier av lagringsfunksjonen. Fig. 6 viser tilordningen oppnådd i
15 dette eksempel ved en gitt dato. Her er det vist at en av de mest kritiske scenarier, dvs.
produsering av høyest lekkasjestrømsrisiko er scenariet som innebærer CO₂-lufting til
overflaten gjennom den første plugg 12 og deretter det gjennomtrengte foringsrør 14
(lekkasjerute 150, fig. 5).

20 4.2: Tilordning av volumer

Her er det forsøkt å vise risikovolumer i lagringssystemet. Oppfinnelsen gjør det mulig å utføre denne demonstrasjon retrospektivt etter at de generelle effektscenarier har blitt identifisert og prioritert. Kvalitativt vil det fremgå tydelig at det mest kritiske volum av systemet er det mest bestemmende volum av volumene som finnes i det mest kritiske scenariet.

I denne undersøkelse kan resultatene presenteres som på fig. 7. Fig. 7 viser en prioritering ved en gitt dato av de forskjellige sviktmoduser av de forskjellige volumer som funksjon av deres kritikalitet: ubetydelig, svak, gjennomsnittlig, høy, kritisk.

10 Endelig trinn: teknologiske løsninger for å sikre sikkerheten (risikoreduksjon)

I dette eksempel vil resultatene av identifiseringen av sviktrisikoen av CO₂-lagringsfunksjonen i et reservoar forsynt med en plugget brønn, og fastlagt av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, fremheve de mest kritiske risikoer:

- risikoen tilknyttet korrosjon av foringsrørene rundt overgivelsespluggen 12 og med en etterfølgende mulig frembringelse av mikroringformet sjikt (plugg/foringsrørgrensesnitt),
- risikoen knyttet til gjennomtrengning ved korrosjon av foringsrørene av forskjellige søyler og utilstrekkelig overgivelsesanordninger (utilstrekkelig antall plugger).

20 Disse resultatene kan f.eks. rettferdiggjøre følgende sikkerhetsanbefalinger:

- omkonstruere brønnen for reparasjon og utnytte flere sementplugger som dekker alle brønnsøylene,
- fordypning av spesifikke undersøkelser og laboratorieprøver for å få kunnskap om fenomenet med korrosjonsnivå med den dype plugg 12 (degraderingskinetikk, produksjon av oksider, virkning på resulterende permeabilitet ved sementen/foringsrørgrensesnittet osv.).

30 Fig. 8 er en oppsummering av de forskjellige operasjoner som utføres og deres sekvenser under et eksempel på utvikling av en sviktrisiko i en plugget brønn, i et CO₂-lagringsmiljø som utgjør en teknisk installasjon ment å garantere lagringens ugjennomtrengelighet.

Oppfinnelsen er ikke begrenset til eksempelet som har blitt beskrevet og kan brukes i forbindelse med ethvert geologisk inneslutningsystem.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å identifisere sviktrisiko i et geologisk inneslutningssystem (10) **karakterisert ved** at den omfatter følgende trinn:
 - 5 innhenting av data om systemet (10),
som funksjon av dataene om systemet (10), bryte ned systemet i flere komponenter (11-17),
modellere minst én komponent (11-17) med minst ett volum (131-134), idet
10 modellering blir utført ved en diskretisering til volumer av komponenten (11-17),
generere minst ett sviktscenario av systemet, idet genereringen omfatter minst én gjentakelse av følgende trinn:
 - analyse av en tilstand av minst ett volum (131-134), modellere minst én komponent (11-17) av systemet,
15 påvise, som funksjon av volumtilstanden (11-17) minst én potensiell sviktmodus av volumet (11-17).
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, **karakterisert ved** at den også omfatter et trinn med å foreslå minst én løsning for å sikre sikkerheten og gjøre det mulig å hindre et sviktscenario.
- 20 3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, **karakterisert ved** at den også omfatter et trinn med å velge minst ett sviktscenario fra flere sviktscenarioer.
4. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den også omfatter et trinn med å identifisere minst én kilde for sviktrisiko for minst ett sviktscenario.
- 25 5. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den også omfatter et utvalg fra en base av minst ett forhåndsdefinert volum (131-134) og gjøre det mulig å modellere minst én komponent (11-17) av inneslutningssystemet (10).
6. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at en såkalt frekvensfaktor blir tilknyttet minst ett volum (131-134), idet frekvensfaktoren
30 blir evaluert minst som funksjon av en probabilitet av svikt i volumet (131-134).
7. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at en såkalt frekvensfaktor er tilknyttet minst ett sviktscenario, idet frekvensfaktoren blir evaluert som funksjon av en probabilitet av forekomsten av scenarioet.
8. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at en
35 såkalt alvorlighetsfaktor blir tilknyttet minst ett sviktscenario, idet alvorlighetsfaktoren blir evaluert som funksjon av konsekvensene av scenarioet.
9. Fremgangsmåte ifølge krav 8, **karakterisert ved** at evalueringen av alvorlighetsfaktoren omfatter å ta hensyn til en strømningsrate av lekkasje av innhold

fra inneslutningssystemet (10) og/eller nivået av inntrengning i inneslutningssystemet (10).

10. Fremgangsmåte ifølge krav 8 eller 9, **karakterisert ved** at minst én alvorlighetsfaktor er tilknyttet minst ett fasebestemt problem.

5 11. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den også omfatter kritikalitetsevaluering av et sviktscenario som funksjon av en frekvensfaktor og/eller en alvorlighetsfaktor.

12. Fremgangsmåte ifølge krav 11, **karakterisert ved** at den også omfatter identifisering og/eller prioritering av minst ett sviktscenario som funksjon av
10 kritikalitet av minst en annen scenariosvikt.

13. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den også omfatter kritikalitetsevaluering av en sviktmodus av et volum som funksjon av en frekvensfaktor og et bidrag av volumet til minst ett kritisk scenario.

14. Fremgangsmåte ifølge krav 13, **karakterisert ved** at den også omfatter
15 identifisering og/eller prioritering av minst én sviktmodus av minst ett volum (131-134) som funksjon av en kritikalitet av minst én sviktmodus av minst ett annet volum (131-134).

15. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at analysen av en volumtilstand (131-134) omfatter evaluering av minst én psyko-kjemisk
20 egenskap av volumet (131-134) under forhåndsbestemte forhold.

16. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at analysen av en volumtilstand (131-134) omfatter å ta hensyn til minst ett annet volum (131-134) blant flere volumer (131-134).

17. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den
25 også omfatter en simulering som gjør det mulig kvantitativt å estimere et sviktscenario.

18. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den også omfatter en simulering som gjør det mulig kvantitativt å estimere utviklingen av en volumtilstand over tid.

19. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at
30 analysen av en volumtilstand (131-134) omfatter å ta hensyn til utviklingskinetikk av volumet (131-134).

20. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at dataene om inneslutningssystemet (10) omfatter data om en teknisk installasjon i inneslutningssystemet (10).

35 21. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at dataene om inneslutningssystemet (10) omfatter data om biosfæren og/eller geosfæren i og/eller rundt systemet (10).

22. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at dataene om inneslutningssystemet (10) omfatter data om innholdet i systemet (10).

23. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at dataene om inneslutningssystemet (10) omfatter en todimensjonal eller tredimensjonal fremstilling av systemet (10) i sitt miljø.

24. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at dataene om inneslutningssystemet (10) omfatter data om overvåkning av systemet (10).

25. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at minst ett volum (131-134) modellerer minst én komponent (11-17) av inneslutningssystemet.

26. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at et volum (131-134) modellerer minst én komponent (11-17) som danner del av geosfæren og/eller biosfæren i eller nær inneslutningssystemet (10).

27. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at et sviktscenario omfatter en kombinasjon av flere sviktmoduser av flere volumer (131-134).

28. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den også omfatter, for minst ett scenario, evaluering av en usikkerhet for scenarioet.

29. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at identifiseringen av et sviktscenario tar hensyn til data om minst ett miljøforhold.

30. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den omfatter identifisering og/eller prioritering av minst ett sviktscenario av det geologiske inneslutningssystem prosjektet til en forhåndsbestemt fremtidig dato.

31. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den blir implementert for evaluering av sviktrisiko av et inneslutningssystem brukt for å lagre CO₂.

32. Fremgangsmåte ifølge ett av de foregående krav, **karakterisert ved** at den blir implementert for analyse av et oljefelts overgivelse.

33. System for identifisering av sviktrisiko i et geologisk inneslutningssystem (10), idet systemet **karakteriseres ved**:

anordning for innhenting av data om systemet (10),

anordning for nedbrytning av systemet til flere komponenter (11-17) som funksjon av dataene om systemet (10),

anordning for å modellere minst én komponent (11-17) med minst ett volum (131-134), idet modelleringen utføres ved en diskretisering til volumet av komponenten (11-17),

anordning for å generere minst ett sviktscenario av systemet (10), idet genereringen omfatter minst én gjentakelse av følgende trinn:

analyse av en tilstand av minst ett volum (131-134) og modellere minst én komponent (11-17) av systemet (10),

påvise, som funksjon av volumtilstanden, minst én potensiell sviktmodus av volumet (131-134).

1/7

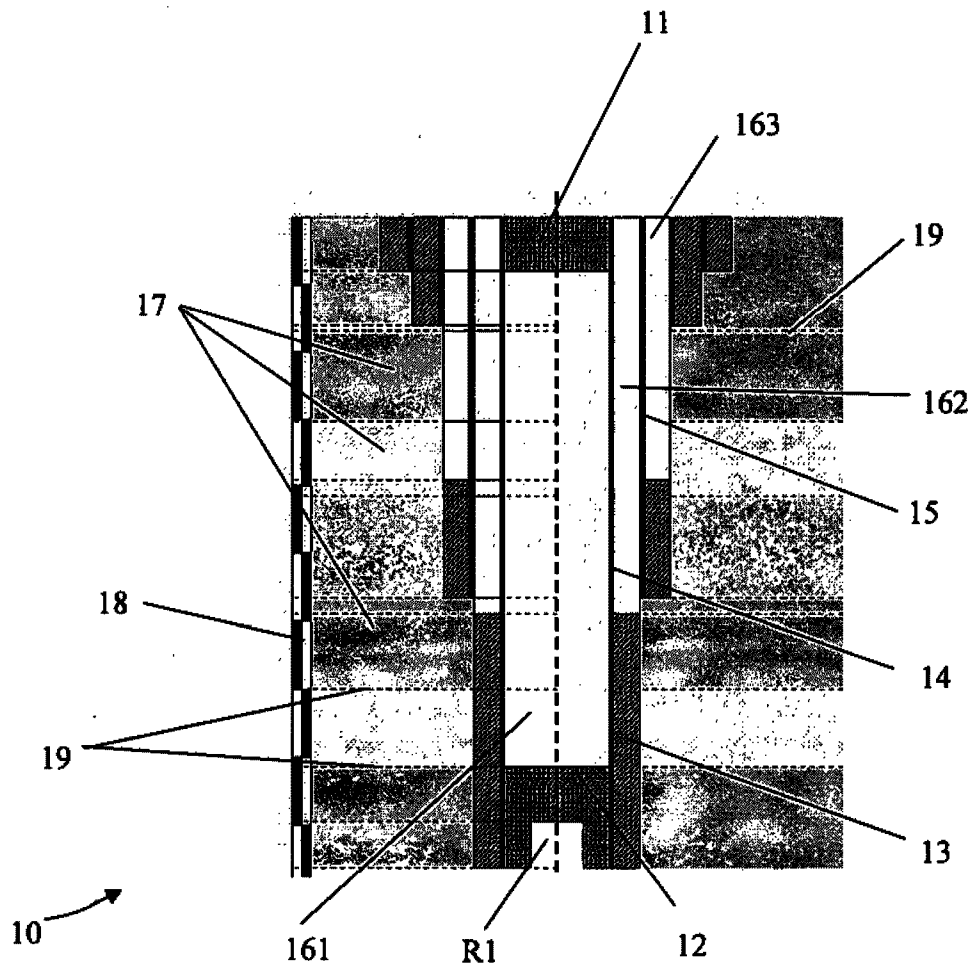


Fig. 1

2/7

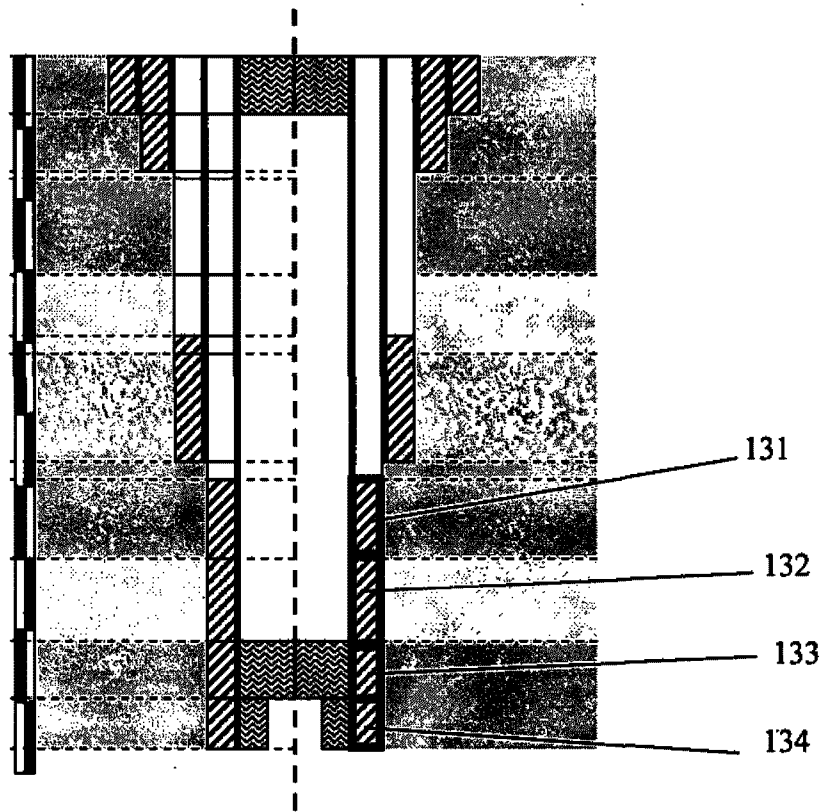


Fig. 2

3/7

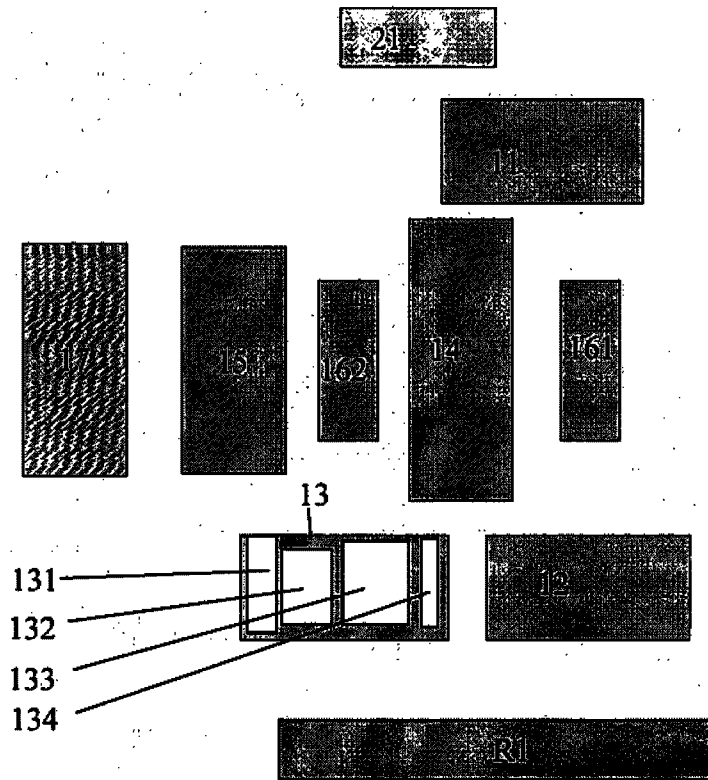


Fig. 3

4/7

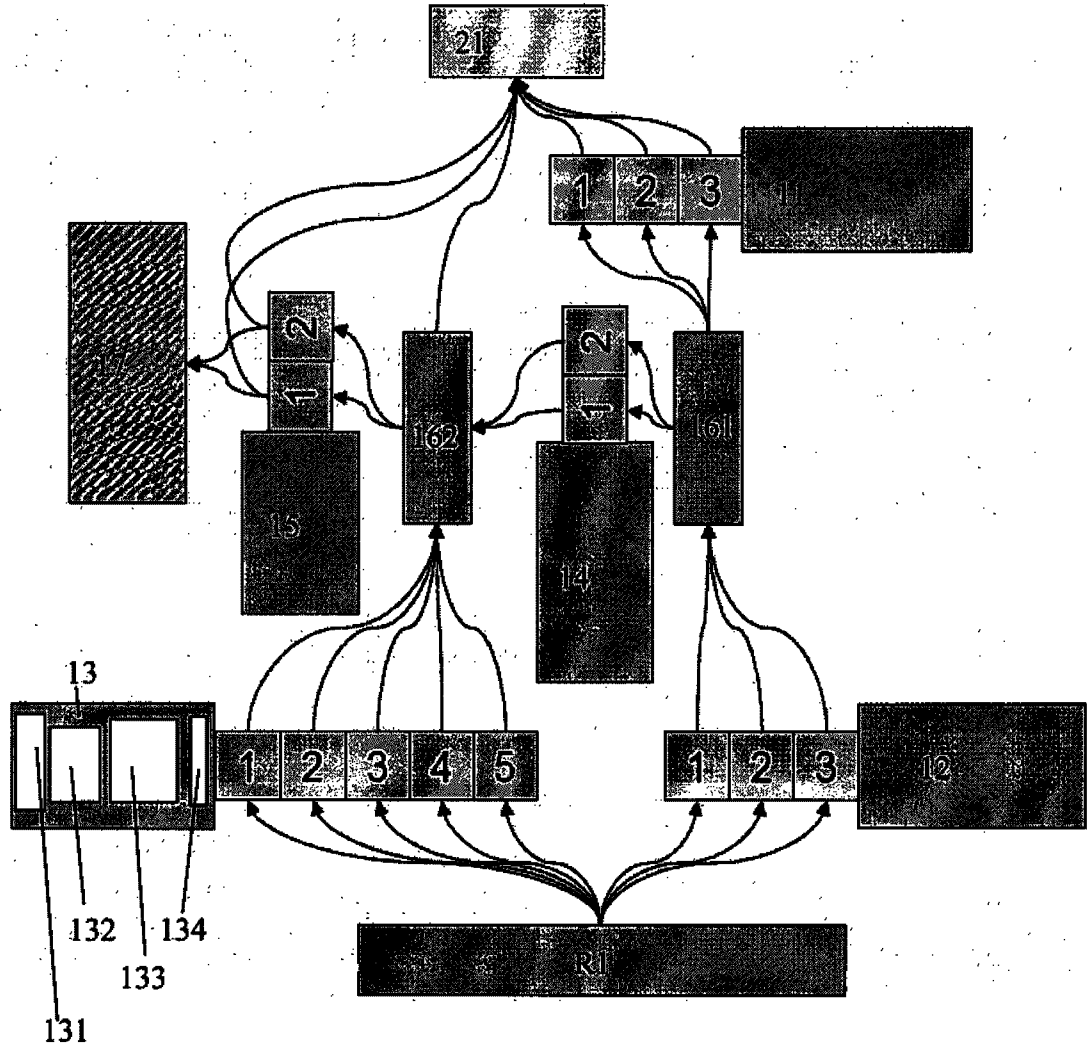


Fig. 4

5/7

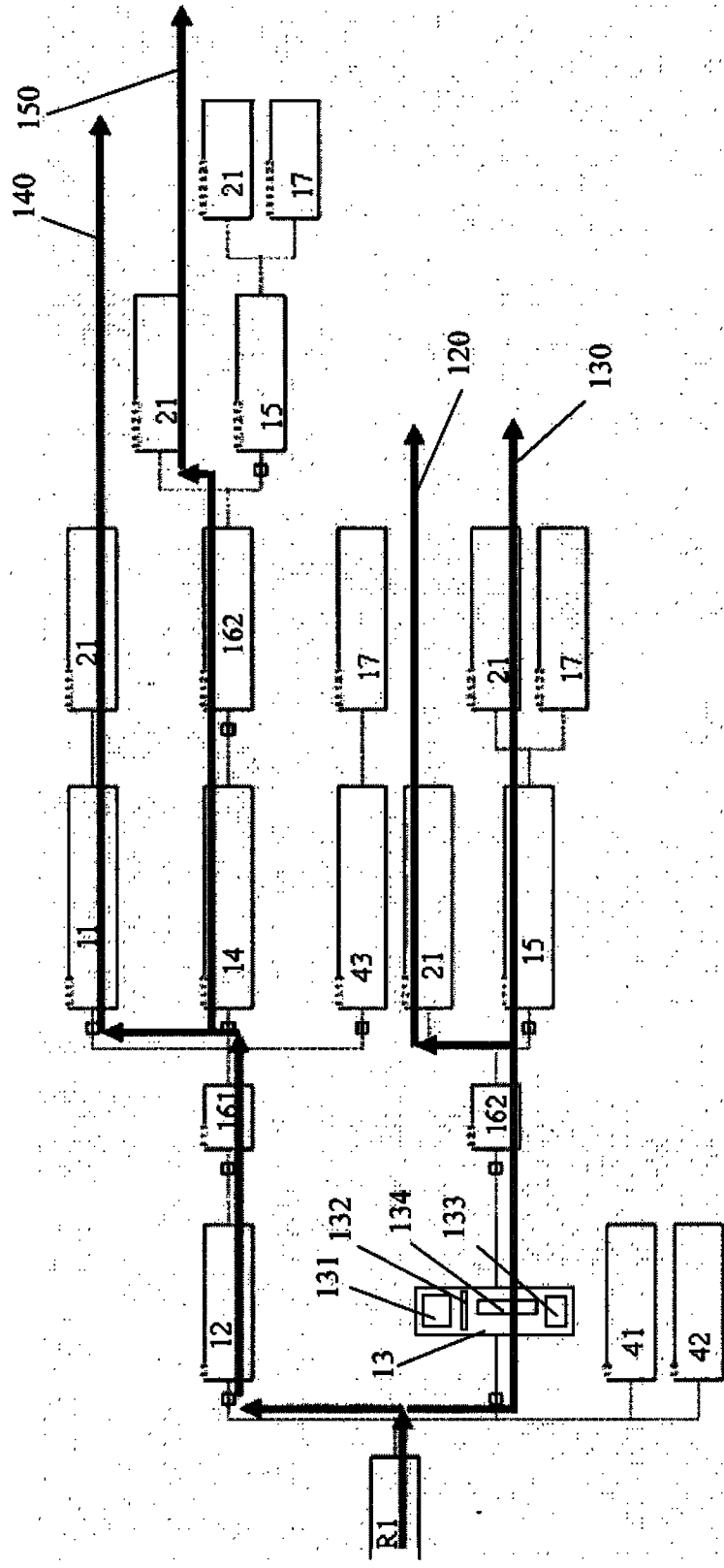


Fig. 5

6/7

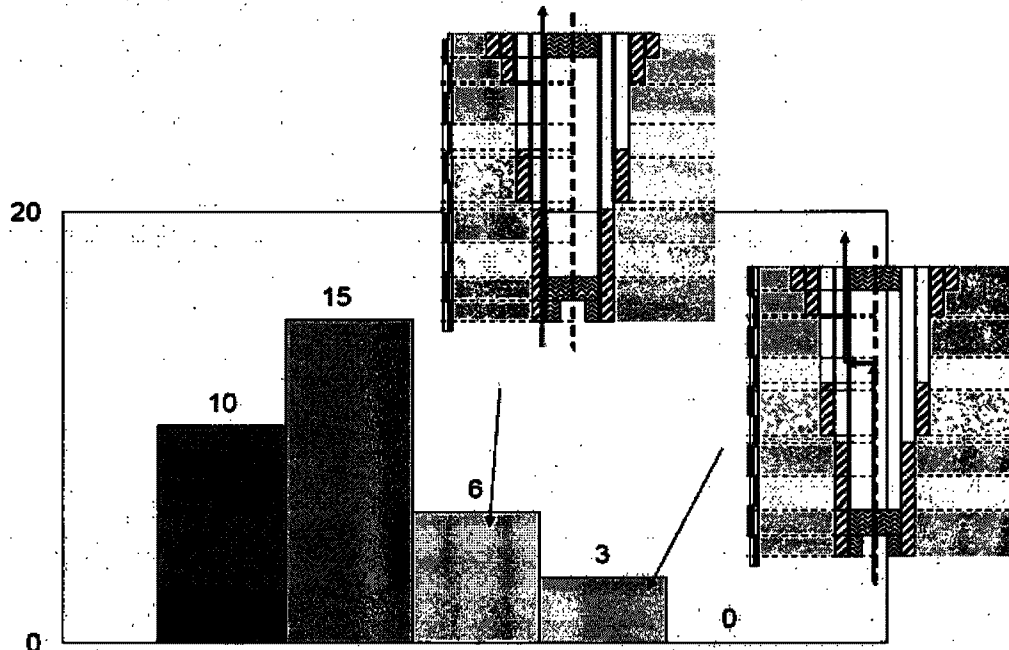


Fig. 6

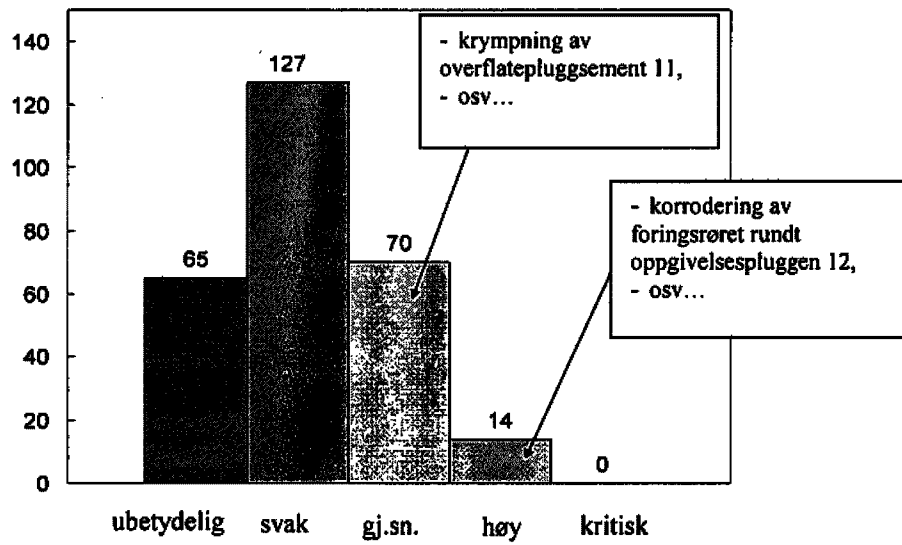


Fig. 7

7/7

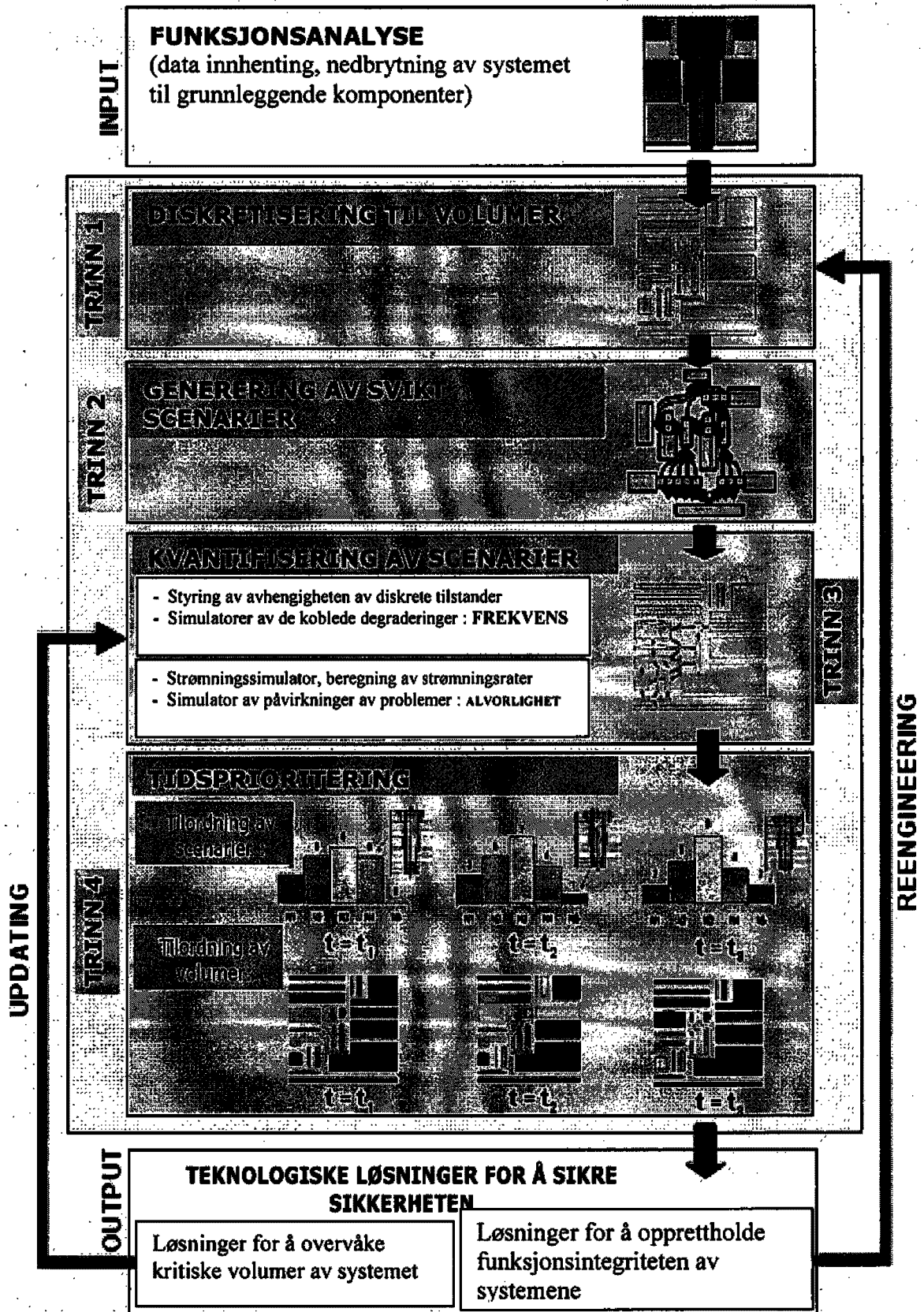


Fig. 8