



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336964

(13) B1

NORGE

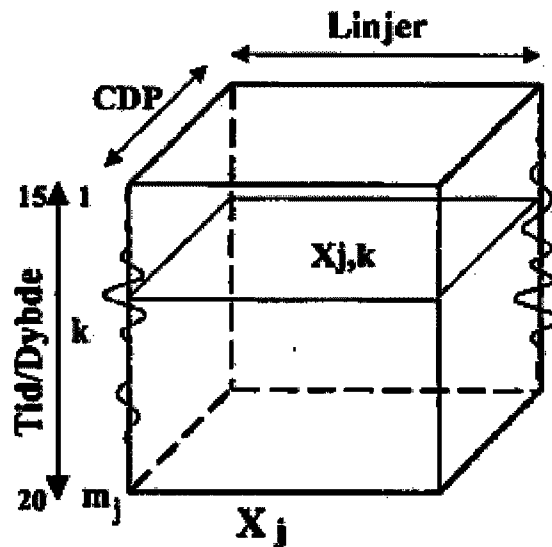
(51) Int Cl.

G01V 1/28 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20051007	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2003.08.18 PCT/FR2003/02543
(22)	Inng.dag	2005.02.24	(85)	Videreføringsdag	2005.02.24
(24)	Løpedag	2003.08.18	(30)	Prioritet	2002.09.10, FR, 02 11200 2003.02.17, FR, 03 01900
(41)	Alm.tilgj	2005.06.09			
(45)	Meddelt	2015.12.07			
(73)	Innehaver	Institut Francais du Petrole, 1 & 4, avenue de Bois-Préau, FR-92852 RUEIL MALMAISON CEDEX, Frankrike			
(72)	Oppfinner	Frédérique Fournier, 12, bis rue Carnot, FR-95240 CORMEILLES-EN-PARISIS, Frankrike Jean-Jacques Royer, 19, rue Beauregard, FR-54000 NANCY, Frankrike Olivier Voutay, 1 rue de la Convention, FR-75015 PARIS, Frankrike			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Komprimering og filtrering av geofysiske hendelser for å hente ut data om undergrunnen			
(56)	Anførte publikasjoner	US 4937747 A US 6052651 A			
(57)	Sammendrag				

Oppfinnelsen gjelder en fremgangsmåte for komprimering og filtrering av geofysiske hendelser avlest på flerdomene-registreringer, med fordeling av vedkommende hendelse og familie som hver har en bestemt geofysisk signifikans, nemlig datakuber med lik forskyvning eller med samme innfallsvinkler, elastiske parameterkuber utledet fra en felles stratigrafisk inversjon og lignende, for det formål å trekke ut fra denne data angående bergart i undergrunnen, under bruk av en flervarierte statistisk teknikk. Fremgangsmåten omfatter hovedsakelig utforming ved hjelp av kombinasjon av geofysiske variable, syntetisk variable i meget mindre antall, og som da er oppnådd ved å konstruere en ortogonal vektorbasis i hver av de analysesett som utgjøres av data fra hver av familiene, hvorfra det da utledes formasjon av en ortonormal vektorbasis (nye attributter) for filtrering og beskrivelse av de angitte geofysiske hendelser. Oppfinnelsen blir anvendt for geologisk tolkning eller tolkning av et reservoar i undergrunnen ut i fra f.eks. seismiske målinger eller diagrafiske måleresultater.



OPPFINNELSENS OMRÅDE

Foreliggende oppfinnelse gjelder en fremgangsmåte for komprimering og filtrering av geofysiske data for det formål å trekke ut informasjon fra disse når det
5 gjelder arten av undergrunnsforhold.

Denne metodologi anvendes på komprimering og filtrering av sett av fler-
domene-geofysiske data, hvilket vil si enten forstakkede seismiske data fra en tre-
dimensjonal seismisk undersøkelse gruppert inn i et visst antall datakuber som hver
f.eks. tilsvarer den samme forskyvning (seismiske sporkuber som betegnes som iso-
10 forskjøvede kuber) eller til samme innfallsvinkel (betegnet som kuber med iso-innfalls-
vinkel), eller seismiske attributtkuber som oppnås ved seismisk amplitudebehandling,
slik som f.eks. kuber med elastiske egenskaper fra en felles stratigrafisk inversjon av
forstakkede seismiske data, hvor disse kuber utledes ved iverksetting av den
fremgangsmåte som f.eks. er beskrevet i patent FR-2,800,473 (EP-1,096,270) som
15 er inngitt av søkerne i foreliggende søknad. Den består da i utforming av den
forstakkede seismiske informasjon som inneholdes i seismiske sporpartier utformet
ved undersøkelse av en undergrunnssone ved hjelp av nye representative attributter
som deretter brukes for geologisk tolkning eller tolkning av et undergrunnsreservoar.
Den kan også utøves på komprimering og filtrering av forstakkede- eller feste-
20 stakkede tredimensjonale seismiske data fra gjentatte undersøkelser (firedimensjonal
seismisk metode) for det formål å tolke fluidinnholdsvariasjoner i et petroleums-
reservoar under produksjon. Denne metode kan også benyttes på komprimering av
logg-data for flere fysiske arter ved utforming, ut i fra innledende målinger, nye logg-
attributter for det formål å forbedre tolkning av vedkommende loggdata i uttrykk som
25 gjelder litologiske og petrofysiske egenskaper ved reservoaret.

OPPFINNELSENS BAKGRUNN

Geofysiske målinger brukes vanligvis for å frembringe komplementær
informasjon i sammenheng med direkte observasjoner i brønner, og da angående
30 geologiske egenskapsvariasjoner i undergrunnsformasjoner. Seismisk tolkning er
f.eks. basert på analyse av attributter for det formål å utlede disse geologiske egen-
skaper ut i fra den seismiske informasjon, nemlig for en sone av interesse i en
undergrunnsformasjon (f.eks. reservoarsone). Et annet eksempel er logge-tolkning

hvor de forskjellige måleresultater blir samtidig analysert for å utlede fra disse petrofysiske egenskaper ved undergrunnsformasjonen som studeres.

En standard fremgangsmåte for analyse av seismiske attributter eller loggeattributter omfatter bruk av statistisk mønstergjenkjenning og estimeringsmetoder for
5 det formål å kalibrere vedkommende attributter med den tilgjengelige informasjon som utledes fra forskjellige borebrønner.

Patentskriftet FR-A-2,768,818 (US-6,051,651) inngitt av søkerne i foreliggende søknad og som beskriver en fremgangsmåte som gjør det mulig å detektere de potensielle klasser i en befolkning av hendelser som har sammenheng med de
10 fysiske egenskaper for et sammensatt medium, slik som undergrunnsområdet, og da lokalbestemt ut i fra data utledet ved undergrunnseksplorering eller ved målinger på stedet (hendelser av geologisk, geofysisk natur, hendelser i forbindelse med fluidproduksjonsdata, etc.), disse hendelser blir lokalbestemt ved punkter i et flervariabelt romområde og definert ved en attributtvektor.

15 Et annet eksempel er gitt i patentskrift FR-01/05,675 inngitt av søkerne i foreliggende søknad, og som beskriver en fremgangsmåte for å lette overvåkning som funksjon av tiden, utviklingen av en undergrunnsone ved sammenlignende analyse av et visst antall n seismiske registreringer som i rekkefølge er tatt ut etter n påfølgende tredimensjonale seismiske undersøkelser (fire-dimensjonal seismisk
20 metode), hvor et mønster av gjenkjenningsteknikk anvendt på helheten av seismiske hendelser fra flere undersøkelsesprosesser, betraktet og analysert samtidig, blir brukt.

Patentet EP-A-671,017 (US-5,638,269) inngitt av søkerne i foreliggende søknad kan også nevnes, og dette beskriver da en fremgangsmåte for å gjøre det
25 mulig å opprette en forbindelse mellom geologiske data som utledes ved kjerneboring eller logging i brønner samt seismiske data utledet ved hjelp av en seismisk undersøkelsesprosess, som er basert på statistisk kalibreringsteknikk med statistisk kalibrering oppnådd ved å bringe sammen de lokale geologiske data (målt i brønner) og seismiske attributter avlest på seismiske gjennomløp foretatt i umiddelbar nærhet
30 av hver brønn.

De seismiske attributter som gjøres til stand for en slik tolkning blir beregnet i poststakk- eller prestakk-domenet.

I poststakk-domenet blir de vanlige attributter beregnet ut i fra amplitudene i reservoarnivået eller ut i fra den impedans P som estimeres ved hjelp av en stratigrafisk inversjon.

I prestakk-domenet kan antallet gyldige attributter økes betraktelig. I dette 5 tilfelle er attributtene enten amplituder ved forskjellige forskyvninger eller innfallsvinkler, eller parametere utledet fra en felles prestakk-stratigrafisk inversjon (impedanser P og S , densitet, produkt av Lamé-parametere med densitet, etc.).

Når det gjelder tolkning av logger er situasjonen likeartet, idet et meget stort antall målinger er tilgjengelig, og således også et stort antall attributter som gjør det 10 mulig å kjennetegne loggene, hvor disse attributter ofte er organisert i familier av likeartet fysisk særegenhet (f.eks. familie av resistivitetsattributter, familie av attributter som har sammenheng med den naturlige eller induserte radioaktivitet i formasjonene, etc.).

En fremgangsmåte betegnet som en prinsipiell komponentanalysemetode 15 (PCA), som vil være velkjent for en fagkyndig person, kan anvendes på disse attributter for det formål å analysere de relasjoner som foreligger mellom dem og for å redusere antallet signifikante attributter. De prinsipielle komponenter som trekkes ut fra PCA er da nye attributter: de definerer en ortogonal eller ikke-ortogonal (rotasjon) -vektorbasis og utgjør lineære kombinasjoner av begynnelsesvariable. De 20 kan brukes i statistiske mønstergjenkjennelsesalgoritmer og tilsvarer en multi-varierende filtrering av innledende seismiske- eller logge-informasjoner. Forskjellige anvendelser av PCA-metoden er f.eks. beskrevet i:

- Dumay, J., Fournier, F., 1988, "Multivariate statistical analyses applied to seismic facies recognition", *Geophysics*, 53, 1151-1159,
- 25 - Hagen, D., C., 1982, "The application of principal components analysis to seismic data sets", *Geoexpl.*, 20, 93-111, eller
- patentskrift FR-A-2,772,138 (US-6,345,108) inngitt av søkerne i foreliggende søknad.

PCA tar imidlertid ikke i betraktning forestillingen om attributtgruppe, og det vil 30 følgelig ofte være vanskelig å gi en fysisk tolkning av de prinsipielle komponenter, eller sette dem klart i sammenheng med de innledende attributter, spesielt hvis disse er organisert i grupper ved likeartet fysisk signifikans.

Den analyse som betegnes som kanonisk analyse er også en statistisk metode som vil være velkjent for fagkyndige på området, og som gjør det mulig å

opprette relasjoner som kan foreligge mellom to sett av variable for det formål å få kjennskap til om disse to sett beskriver samme egenskaper. Denne metode er f.eks. beskrevet av:

- Hotelling, H., 1936, "Relations between two sets of variables", *Biometrika*, 5 28, 321-377.

Et eksempel på anvendelse av kanonisk analyse er f.eks. beskrevet av:

- Fournier, F., og Derain, J. F., 1995, "A statistical methodology for deriving reservoir properties from seismic data", *Geophysics*, 60, 1437-1450.

Denne metode er begrenset til studium av to sett av variable og kan derfor vanligvis ikke benyttes på den seismiske flerkubeinformasjon eller på loggeinformasjonen i flere domener. Videre definerer den syntetisk variable i hvert underområde som er tilordnet de to sett, og ikke en enkelt vektorbasis som gjør det mulig å komprimere helheten av de innledningsvariable og å beskrive relasjonen mellom de to sett.

15 Det foreligger flere metoder som gjør det mulig å generalisere den analyse som betegnes som kanonisk, nemlig ved å utvide analysen til mer enn de to sett av variable. Forskjellige aspekter av den teknikk innenfor det felt som betraktes, er f.eks. beskrevet i følgende publikasjoner:

- Horst, P., 1961, "Relations among m sets of measures", *Psychometrika*, 26, 20 nr. 2, 129-149,
- Carroll, J. D., 1968, "A generalisation of canonical correlations analysis to three or more sets of variables", *Proc. 76th Conv. Amer. Psych. Ass.*,
- Kettenring, J. R., 1971, "Canonical analysis of several sets of variables", 58, 3, 433-450, eller
- 25 - Saporta, G., 1990, "Probabilités, analyse des données et statistiques", Technip, Paris.

Disse metoder har imidlertid visse begrensninger. Spesielt gjør de det ikke mulig å beskrive hvert sett separat, de syntetisk variable kan ikke umiddelbart relateres til de forskjellige sett og ut i fra dette tolkes fysisk. Videre kan bare den samlede treghetsverdi de representerer være kjent, og ikke de forskjellige treghetsdeler de representerer på hvert sett. Det vil derfor ikke være mulig å filtrere hvert sett uavhengig.

En annen kjent analyseteknikk som betegnes som generell analyse av de prinsipielle komponenter (GPCA) gjør det mulig å sammenligne forskjellige sett av

variable mens hvert sett beskrives. Denne blir iverksatt på data av økonomisk art, f.eks. i:

- Casin, Ph., 2001, " A generalization of principal component analysis to K sets of variables", Computational Statistics & Data Analysis, 35, 417-428.

5

SAMMENFATNING AV OPPFINNELSEN

Fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen gir en innfallsvinkel hvor implementering av flervariable statistiske teknikker anvendt på flere sett av seismiske registreringer eller tilgjengelige logger, som er oppnådd ved eksplorering av en
10 undergrunnssone, hvor de geofysiske hendelser som kan utleses fra disse sett av målinger blir komprimert og filtrert. Denne fremgangsmåte omfatter da:

- fordeling av disse geofysiske hendelser på et visst antall p av familier av geofysiske attributter og som da hver har en spesiell fysisk signifikans,

- utforming, ved kombinasjon av de angitte geofysiske attributter, syntetiske
15 variable i et meget lavere antall enn antallet av angitte attributter, hvilket da oppnås ved å konstruere en ortogonal vektorbasis i hvert av de p analysesett bestående av data fra hver og én av de angitte familier, hvorfra det da utledes informasjon om en ortonormal vektorbasis som beskriver de p analysesett,

- bruk av denne ortonormale vektorbasis for filtrering og beskrivelse av de
20 angitte geofysiske hendelser.

Formasjonen av de syntetiske variable oppnås f.eks. ved å kombinere en prinsipiell komponentanalyseteknikk eller teknikker utledet fra denne og basert på diagonalisering av en norm (søking av egenvektorer) og en enkel regresjonsteknikk.

I henhold til en implementeringsmodus kan de syntetisk variable gjøres til
25 gjenstand for en dreining for derved å forbedre korrelasjonene mellom de innledningsvariable, hvilket vil si de geofysiske attributter og syntetiske variable.

De syntetisk variable kan utformes fra familier som omfatter f.eks. én eller flere seismiske gjennomløpskuber frembrakt etter en tredimensjonal seismisk undersøkelse, og som hver tilsvarer samme forskyvning.

30 Syntetisk variable kan også utformes fra familier bestående av seismiske gjennomløpskuber utledet etter en tredimensjonal seismisk undersøkelse, og som hver tilsvarer samme innfallsvinkel.

Syntetisk variable kan også utformes fra familier bestående av seismiske attributtkuber, utformet ved behandling av de seismiske gjennomløpsamplituder utledet ved slutten av en tredimensjonal seismisk undersøkelse.

5 Syntetisk variable kan også utformes fra familier bestående av seismiske gjennomløpskuber som er frembrakt etter påfølgende seismiske undersøkelser innenfor sonen.

Det vil også være mulig å danne syntetiske variable ut i fra familier bestående av seismiske attributtkuber som er utformet ved å behandle de seismiske gjennomløpsamplituder som oppnås etter påfølgende seismiske undersøkelser i ved-

10 kommende sone.

Syntetisk variable kan også utformes fra familier som består av målinger av logge-attributter av forskjellig fysisk natur, slik som familien av resistive målinger, familien av målinger som har sammenheng med formasjonens radiaktivitet, den familie av målinger som har sammenheng med formasjonsporøsitet, etc.

15 Denne fremgangsmåte er særlig fordelaktig ved at den muliggjør, når den anvendes på seismiske data eller loggedata:

Å definere nye geofysiske attributter, lineære kombinasjoner av de innledende geofysiske attributter, summering av de innledende seismiske data eller loggedata og muligheter for å filtrere disse data samtidig som vedkommende datas flerdomene-

20 struktur respekteres,

- for å vise om samtlige familier av innledende geofysiske attributter, eller bare noen av disse, frembringer redundant informasjon, samt for å måle andelen av denne redundante informasjon,

- for å kunne gi en fysisk tolkning av de nye geofysiske attributter.

25 Disse nye geofysiske attributter som således er dannet, kan da analyseres for det formål å gjenvinne de geologiske egenskaper av vedkommende seismiske data eller loggedata. To klasser av fremgangsmåter kan hensiktsmessig anvendes, nemlig en første av disse som utnytter statistiske estimeringsteknikker og frembringer kvantitative tolkninger uttrykt ved geologiske egenskaper, og en andre av disse

30 bruker mønstergjenkjennelsesteknikker for å analysere de seismiske anvisninger eller loggeanvisninger (elektroanvisninger) og frembringe kvalitativ informasjon.

Eksempler på disse to fremgangsmåtetypene er henholdsvis implementert i de ovenfor nevnte patenter EP-A-671,017 (US-5,638,269) og FR-A-2,768,818 (US-6,051,651) som er inngitt av søkeren i foreliggende søknad.

KORT BESKRIVELSE AV FIGURENE

- 5 ett og samme fysiske kriterium.
- Figurene 1A og 1C viser organisasjonen av de seismiske registreringer i p sett, hvor hvert sett grupperer i en kube alle de gjennomløpsposisjoner som tilsvarer
 - Figurene 2A til 2C viser henholdsvis kart over de første tre seismiske attributter $Z^{(1)}$, $Z^{(2)}$ og $Z^{(3)}$,
 - Figurene 3A til 3D viser henholdsvis den første sanne tidsplan (3A) analysevinduet og samme plan gjenopprettet/filtrert med 1 (3B), 3 (3C) eller 8 (3D) av de nye
 - 10 seismiske attributter for impedanskurven P.
 - Figurene 4A til 4D viser henholdsvis hvorledes den første sanne tidsplan (4A) for analysevinduet og det samme plan gjenopprettet/filtrert med 1 (4B), 3 (4C) eller 8 (4D) av de nye seismiske attributter for kubene med impedans S,
 - Figurene 5A til 5D viser henholdsvis første sanne tidsplan (5A) og det
 - 15 samme plan gjenopprettet/filtrert med 1 (5B), 3 (5C) eller 8 (5D) av de nye seismiske attributter for kubene med densitet ρ ,
 - Figur 6 viser henholdsvis det vertikale snitt som passerer gjennom brønnen W2, det sanne tidsplan (6A), det rekonstruerte/filtrerte tidsplan med de første 8 nye attributter (6B), og differansene (gjenværende partier) (6C) mellom disse to seksjoner
 - 20 for kubene med impedans P,
 - Figur 7 viser henholdsvis hvorledes de vertikale snitt, som er ført gjennom brønnen W2, det sanne tidsplan (A), det gjenopprettede/filtrerte plan med de første 8 nye attributter (7B), samt differansene (restene) (7C) mellom disse to seksjoner for kubene med impedans S,
 - 25 - Figur 8 viser plasseringen av de innlæringsgjennomløp som brukes for å kalibrere klassifiseringsfunksjonen innenfor sammenhengen med den overvåkede mønstergjenkjennelse for de første 8 nye seismiske attributter,
 - Fig. 9A, 9B viser henholdsvis tildelingen av de seismiske hendelser og de mest pålitelige tildelingen av disse hendelser innenfor sammenhengen med den
 - 30 overvåkede mønstergjenkjennelse for de første 8 nye seismiske attributter, og
 - Fig. 10A, 10B viser henholdsvis tildelingen av de seismiske hendelser samt tildeling av disse seismiske hendelser innenfor sammenhengen med den ikke-overvåkede mønstergjenkjennelse for de første 8 nye seismiske attributter.

DETALJERT BESKRIVELSE

Flere sett av geofysiske registreringer som er oppnådd ved seismisk undersøkelse eller logging i en studert undergrunnsone er tilgjengelig. De geofysiske hendelser som skal komprimeres/filtreres er da kjennetegnet ved at de geofysiske attributter ofte er organisert i sett eller familier med en spesiell fysisk signifikans (fig. 1A til 1C). Disse attributter kan da utgjøres av en rekkefølge av amplitudeverdier fra de seismiske gjennomløpspartier eller elastiske parametere fra en forstakket felles elastisk inversjon, f.eks. oppnådd ved hjelp av den fremgangsmåte som er beskrevet i det ovenfor nevnte patentskrift FR-2,800,473 (EP-1,096,270) langs det tidsvindu som studeres. Disse attributter kan for en gitt dybde være måleresultater fra et enkelt sett av logger utført langs brønnen, slik som f.eks. verdiene fra de forskjellige resistivitetsverktøyer, verdiene fra de forskjellige verktøyer som måler porøsitet, etc.

1 – Fremstillinger

La X være en matrise bestående av p sidestilte tabeller $X_1, \dots, X_j \dots X_p$:

$$X = \{X_1, \dots, X_j \dots X_p\}, \quad X_j = [X_{j,1} \dots X_{j,k} \dots X_{j,m_j}],$$

hvor X_j utgjør en tabell bestående av m_j variable $X_{j,k}$ for n individer (i den statistiske betydning av uttrykket). Matrisen X grupperer sammen alle de tilgjengelige geofysiske hendelser. Disse hendelser blir først organsiert i p sett eller familier X_j (fig. 1A). Hver familie X_j tilsvarer da en bestemt fysisk egenskap. For analyse av den tredimensjonale seismiske undersøkelse, har denne familie formen av kube verdier som tilsvarer denne egenskap, lokalisert ved sin romlige posisjon (linje, cdp, tid/dybde) (fig. 1B og 1C). Disse kuber kan f.eks. bestå av et sett av amplitudeverdier for n gjennomløp eller sporposisjoner som har sammenheng med en felles forskyvningsverdi eller en felles innfallsvinkel eller den romlige fordeling av verdiene av en felles attributt utledet fra disse amplituder, slik som f.eks. den akustiske impedans i P- eller S-bølger, densiteten eller Lamé-parametere innenfor et valgt tidsvindu av størrelse m_j . I dette eksempel grupperer hver variabel $X_{j,k}$ sammen verdien av den seismiske attributt som betraktes (seismisk amplitude eller elastisitetsegenskap) for tidspunktprøve innenfor analysevinduet. I dette eksempel omfatter en kube så mange individuelle enheter som det foreligger tilgjengelige gjennomløp. For analyse av loggene, har denne familie form av en sekvens av m_j rekker av verdier, som er

lokalisert ved sine posisjoner langs brønnen (tidsmessig dybdemessig). Denne sekvens kan f.eks. bestå av samtlige loggerverdier for verktøyene av samme fysiske art, slik at de forskjellige verktøyer måler formasjonens porøsitet, eller verktøyene måler forskjellige resistivitetstyper innenfor et sett av n tids- eller dybde-punkter langs
 5 én eller flere brønner i nivå med undergrunnsformasjonen som studeres. I dette eksempel vil hver variabel $X_{j,k}$ gruppere sammen verdiene av den loggeattributt som betraktes (resistivitet, porøsitet, radioaktivitet, ...) for et tidspunkt eller et dybdepunkt innenfor analysevinduet. I dette eksempel omfatter en sekvens så mange individ- enheter som det er tilgjengelige tids- eller dybdepunkter langs den eller de brønner
 10 som analyseres.

De m_j -variabler $X_{j,k}$ for en tabell X_j definerer da et romområde angitt ved S_j og som antas å være sentrert. La D_n være diagonalmatrisen for vektleggingene av individenhetene.

La Π_j være en ortogonal projeksjonsoperator på romområdet S_j og som er
 15 definert ved:

$$\Pi_j = X_j(X_j^t D_n X_j)^{-1} X_j^t D_n$$

2 – Beregning av de nye attributter

20 Formålet med den generaliserte prinsipielle komponentanalyse (GPCA) er både å beskrive nærhetene mellom de foreliggende p familier av variable og å beskrive separat hvert sett ved hjelp av syntetiske variable som utgjør lineære kombinasjoner av de innledende variable. Hva som da er felles for alle sett av familier eller for bare noen av disse, samt det som følgelig er forskjellig kan da vises.
 25 GPCA gjør det mulig å redusere antallet variable som brukes for å beskrive et datasett og gjør det mulig å utføre multivariert filtrering samtidig som multidomene- strukturen av de innledende data bibeholdes. For å oppnå dette formål, må den første syntetiske beregnede variable, og som da kalles $Z^{(1)}$ være slik at:

1. De p ortogonale projeksjoner $Z_j^{(1)}$ for $Z^{(1)}$ på romområdene S_j må ligge
 30 så nær inntil hverandre som mulig,
2. I hver gruppe j må ledningen av n enkeltenheter som er projisert på $Z_j^{(1)}$ være maksimal. Dette kan da matematisk oversettes ved følgende tilstander.

$$1. \max_{Z^{(1)}} \sum_{j=1}^p R^2(Z^{(1)}, Z_j^{(1)})$$

$$2. \max_{\bar{Z}_j^{(1)}} \sum_{v=1}^{m_j} \text{Cov}^2(\bar{Z}_j^{(1)}, X_{j,v})$$

5 hvor R_2 er den multiple korrelasjonskoeffisient og $Z_j^{(1)}$ er projeksjonen av $Z^{(1)}$ på rom-området S_j normalisert til 1.

$$Z_j^{(1)} = \Pi_j^{(1)} Z^{(1)}$$

En ny syntetisk variabel $Z^{(2)}$ blir så søkt i samsvar med samme kriterier. En ortogonal tilstand legges til mellom projeksjonene av variablene $Z^{(k)}$ i samme sett. Denne prosedyre stopper når en ortogonal basis er funnet i hvert romområde S_j . Antallet variable $Z^{(k)}$ overskrider ikke den største dimensjon for områdene S_j .

Dreiningemetodene vil være velkjent for fagkyndige på området og kan implementeres i hvert romområde som således er funnet for det formål å optimalisere korrelasjonskoeffisientene mellom de nye variable og de opprinnelige variable.

Den første variable $Z^{(1)}$ er den normaliserte egenvektor for kovarians-matrisen $XX^t D_n$ som tilsvare den største egenverdi. $Z^{(1)}$ blir så projisert på de p romområder S_j og regresjonen av de m_j variable ved $Z_j^{(1)}$ blir beregnet for hvert slikt område. Matrisen av de p sidestilte restverdier $X_j^{(2)}$ definerer det nye område som studeres. Dette nye område tilsvare det innledende romområde hvorfra påvirkningen fra $Z_j^{(1)}$ er blitt fjernet i hvert sett S_j . De m_j variable i tabellen $X_j^{(2)}$ definerer et underområde $S_j^{(2)}$ for S_j . Den andre komponent $Z^{(2)}$ er den normaliserte egenvektor for kovarians-matrisen $X^{(2)}X^{(2)t} D_n$ for de restverdier som tilsvare den største egenverdi. $Z^{(2)}$ blir projisert på de p romområder $S_j^{(2)}$. Regresjonen av de m_j variable ved $Z_j^{(2)}$ blir beregnet for hvert romområde $S_j^{(2)}$. Den regresjon som utføres i hvert område S_j sikrer at projeksjonen av $Z^{(2)}$ på romområdet $S_j^{(2)}$ er ortogonal på projeksjonen av $Z^{(1)}$ på romområdet S_j .

Beregningen av egenvektorene blir utført ved hjelp av en hvilken som helst metode som vil være kjent for fagkyndige innenfor området.

I praksis vil matrisen $XX^t D_n$ være av størrelsesorden n , men n kan være meget stor, og den normaliserte egenvektor $V^{(k)}$ for matrisen $X^{(k)t} D_n X^{(k)}$ som med

sammenheng med den største egenverdi blir beregnet i trinn k. Vektoren $Z^{(k)}$ blir da ganske enkelt beregnet ved den lineære transformering $Z^{(k)}=X^{(k)}V^{(k)}$ og normalisert.

Hvert sett kan gjenopprettes med et lite antall attributter. Innledende variable for sett j kan uttrykkes som en sum av en lineær kombinasjon av variable $Z_j^{(k)}$ og av en restverdi. Hvis alle variable $Z_j^{(k)}$ i et sett blir brukt, så vil restverdien være lik null. Koeffisientene i den lineære kombinasjon er de koeffisienter som er blitt beregnet etter hver regresjon i romområdene S_j .

Én av egenskapene ved fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen er at de variable $Z^{(k)}$ er parvis ortogonale.

10 For å tolke de syntetiske variable som beregnes, så kan man for hvert sett j beregne:

1. Kvadratet av korrelasjonen mellom den variable $Z^{(k)}$ og den variable $Z_j^{(k)}$ for settet j, som da angir graden av nærhet mellom disse to variable.

2. Treghets-prosentandelen for sett j forklart ved hjelp av den variable $Z_j^{(k)}$.

15 Korrelasjonene mellom de variable $Z^{(k)}$ og de innledende variable $X_{j,k}$ blir også beregnet for å vise mulige relasjoner mellom de forskjellige verdier av $X_{j,k}$. Korrelasjonene mellom variablene $Z_j^{(k)}$ og $X_{j,k}$ i de samme sett j, eller korrelasjonene mellom variabler $Z_j^{(k)}$ for samme k-verdi kan også beregnes.

20 De nye syntetisk variable som da opprettes utgjør det nye geofysiske attributter som søkes.

3 – Anvendelseseksempel

Fremgangsmåten i henhold til oppfinnelsen ble påtrykket tre kuber av elastiske egenskaper (impedans P angitt ved I_p , impedans S angitt ved I_s og densitet angitt ved ρ) som oppnås etter prestakks felles elastisk inversjon, nemlig ved hjelp av den fremgangsmåte som er beskrevet i det tidligere nevnte patentskrift FR-2,800,473, for seismiske registreringer gruppert i kuber med felles innfallsvinkler. Hver elastisk egenskap genererer et sett av seismiske attributter eller variable. Analysetidsvinduet består av 19 signal-punktprøver tatt fra seismiske registreringer. Man betrakter verdiene av den elastiske egenskap for hver tidspunktprøve innenfor analysevinduet å være variabel. Hvert sett består således av 19 variable som utgjøres av så mange individverdier som det er tilgjengelige gjennomganger. Da det foreligger tre sett av variable, vil det totalt være 57 variable. De tre parameterkuber er blitt avflatet i sammenheng med en referanseflate.

De syntetiske variable $Z^{(k)}$ som oppnås summerer den respektive informasjon angående de tre elastiske egenskaper, samtidig som sammenhengene mellom disse tas i betraktning.

5 **3.1 – Analyse av sammenhengene mellom impedansene P , S og densiteten ρ**

Tabell 1 nedenfor gir variansandelen i prosent forklart ut i fra projeksjonene av de første 8 syntetiske variable $Z^{(1)}$ til $Z^{(8)}$ i de tre sett. Den viser at 8 variable er tilstrekkelig for å sammenfatte 87,4% av variansen av impedansen P , 94,4% av variansen av impedans S samt 88,4% av densitetsvariansen.

10

	$Z^{(1)}$	$Z^{(2)}$	$Z^{(3)}$	$Z^{(4)}$	$Z^{(5)}$	$Z^{(6)}$	$Z^{(7)}$	$Z^{(8)}$.
lp	23,4	24,5	6,3	13,1	9,8	3,1	3,8	3,4	87,4
ls	26,6	14,2	15,2	12,6	5,7	7,2	5,8	7,1	94,4
.	16,9	14,1	13,6	10,2	8,0	9,4	10,1	6,1	88,4

Tabell 2 gir i det følgende kvadratet av korrelasjonen mellom syntetiske variable $Z^{(k)}$ og deres projeksjoner på de tre angitte sett. Denne verdi angir graden av proksimitet eller nærhet mellom de variable og settet. Jo nærmere denne verdi ligger

15 1, jo nærmere ligger de variable inntil projeksjonen og derfor til settet.

	$Z^{(1)}$	$Z^{(2)}$	$Z^{(3)}$	$Z^{(4)}$	$Z^{(5)}$	$Z^{(6)}$	$Z^{(7)}$	$Z^{(8)}$
lp	0,48	0,79	0,38	0,72	0,71	0,24	0,02	0,30
ls	0,91	0,43	0,86	0,53	0,36	0,59	0,09	0,73
.	0,78	0,49	0,77	0,46	0,65	0,79	0,96	0,46

For eksempel, $Z^{(1)}$ ligger meget nær ls og nokså nær ρ , men langt fra lp , mens $Z^{(2)}$ ligger nær lp , men meget langt fra ls og ρ . Av de første 8 variabler $Z^{(k)}$, ligger tre nær lp alene, to ligger nær både ls og ρ , mens én ligger nær inntil ls alene, mens to befinner seg nær inntil ρ alene. Det synes derfor som om lp og ls ikke inneholder samme informasjon, mens den informasjonsdel som inneholdes i ls og ρ synes å være felles.

20

3.2 – Filtrering av impedanser P , S og av densiteten

De elastiske egenskaper kan gjenopprettes med et begrenset antall nye seismiske attributter. Antallet syntetiske variable som brukes for gjenoprettelsen kan
 5 avvike fra ett sett til det neste, idet et antall vil være avhengig av den treghetsandel som må gjenopprettes/filtreres.

3.3 – Overvåket og ikke-overvåket mønstergjenkjennelse av nye attributter

Det vil være mulig å tolke geologisk de nye seismiske attributter ved hjelp av
 10 en anvisningsanalyse med en overvåket eller ikke-overvåket mønstergjenkjennelses-algoritme.

I den overvåkede mønstergjenkjennelse vil det være nødvendig å velge innlæringsklasser som grupperer sammen seismiske hendelser som befinner seg i nærheten av brønner hvis geologiske tolkning er blitt utført. Denne metodologi gjør
 15 det mulig å klassifisere alle de seismiske hendelser i samsvar med de geologiske egenskaper som observeres i brønnene.

I det foreliggende tilfelle vil den geologiske kjennskap til de tre tilgjengelige brønner W1, W2 og W3, samt den generelle geologiske kjennskap til den sone som studeres føre til betraktning av tre klasser, nemlig en første klasse som tilsvarer
 20 brønnene W1 og W2 og representerer turbiditt-sandtyper, samt en andre klasse som tilsvarer brønn W3 og som representerer turbiditt-slamtyper, samt en tredje klasse som representerer hemipelagitter. Brønnene W1 og W2 oppviser nære geologiske egenskaper, hvis bare de seismiske hendelser som befinner seg rundt brønn 2 blir brukt, brønn W1 tjener da som en blindtest. Beliggenheten av brønn W3 er usikker,
 25 og de seismiske hendelser som brukes for å karakterisere klasse 2 befinner seg da lokalisert omkring en virtuell brønn definert i nærheten av W3. Da det ikke foreligger noen brønn for klasse 3, blir endelig en virtuell brønn definert ut fra den foreliggende generelle geologiske kunnskap. Hver klasse består av 121 seismiske hendelser (11 x 11). Disse hendelser går ut på å kalibrere en klassifiseringsfunksjon som da påføres
 30 helheten av seismiske hendelser.

Fig. 8A, 8B viser henholdsvis de tildelinger som er gjort og de mest sannsynlige tilordninger, hvilket vil si med en tildelingssannsynlighet som er større enn eller lik 80%. Brønn W1, som brukes i blindtest, er korrekt tilordnet sammen klasse som brønn W2. Brønn W3 befinner seg på grensen mellom klasse 1 og klasse 2. Klasse 2

er fordelt langs en kanaliseringsutforming. Kartleggingen av fig. 8B viser at resultatene er stabile, idet få hendelser oppviser en dårlig tildelingssannsynlighet.

Ved ikke-overvåket mønstergjenkjennelse blir innlæringsklassene utformet under bruk av modi for en flervarierende sannsynlighetsdensitetsfunksjon beregnet ut i fra helheten av seismiske hendelser, nemlig i et romområde generert av de første åtte nye attributter. De seismiske hendelser med høyere sannsynlighetsdensitet og som utgjør toppene av denne densitetsfunksjon blir valgt til å utføre læringen av klassifiseringsfunksjonen. Denne funksjon blir så påtrykket helheten av de betraktede seismiske hendelser for å tildele disse til én av klassene. Fig. 9A, 9B viser de tilordninger som er utført, så vel som de mest sannsynlige tilordninger, hvilket vil si de som har en tildelingssannsynlighet større enn eller lik 80%. De avbildninger som oppnås ligger meget nær avbildningene i figurene 8A og 8B. Klasse 3 av den overvåkede analyse tilsvarer klassene 3, 4 og 5 av den ikke-overvåkede analyse. Brønnene W1 og W2 er tildelt samme klasse og brønn W3 befinner seg fremdeles lokalisert på grensen mellom klasse 3 og spesielt 1 og 2. Denne konvergens av resultater gjør tolkningen av den overvåkede fremgangsmåte gyldig.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåte for komprimering og filtrering av geofysiske hendelser som kan leses ut fra flere sett av tilgjengelige geofysiske registreringer, som da er opp-
5 nådd ved eksplorering av en undergrunnssone,
k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten omfatter:
- fordeling av disse geofysiske hendelser på et visst antall p av familier av geofysiske variable som hver har en bestemt fysisk signifikans,
- utforming ved kombinasjon av de angitte seismiske variable av syntetisk
10 variable av et meget mindre antall enn antallet av de angitte variable, hvilket oppnås ved konstruksjon av en ortogonal vektorbasis i hvert av de p analysesett samt består av data fra enhver av de angitte familier, hvorifra det utledes informasjon om en ortonormal vektorbasis som beskriver de p analysesett, og
- bruk av denne ortonormale vektorbasis for å filtrere og beskrive de angitte
15 geofysiske hendelser.
2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at formasjonen av de syntetiske variable oppnås ved å
kombinere en grunnleggende komponentanalyseteknikk eller utledede norm-
20 diagonaliseringsmetoder og en enkel regresjonsteknikk.
3. Fremgangsmåte som angitt i krav 1 og 2,
k a r a k t e r i s e r t v e d at de syntetiske variable gjøres til gjenstand for en
dreining for derved å forbedre korrelasjoner mellom innledende variable og
25 syntetiske variable.
4. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2 eller 3,
k a r a k t e r i s e r t v e d at de syntetiske variable er dannet fra familier
bestående av seismiske gjennomløpskuber utledet etter en tredimensjonal seismisk
30 undersøkelse, og som hver og en tilsvarer samme forskyvning.

5. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at de syntetisk variable dannes fra familier som består av seismiske gjennomløpskuber utledet etter en tredimensjonal seismisk undersøkelse, hvor hver og en av disse kuber tilsvarer samme innfallsvinkel.

5

6. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at de syntetisk variable utformes fra familier bestående av seismiske attributtkurver utledet ved behandling av seismiske gjennomløpsamplituder som er utledet etter en tredimensjonal seismisk undersøkelse.

10

7. Fremgangsmåte som angitt i et av de forutgående krav, karakterisert ved at de syntetisk variable utformet fra familier bestående av seismiske gjennomløpskuber utledet ved påfølgende seismiske eksploreringer i vedkommende sone.

15

8. Fremgangsmåte som angitt i et hvilket som helst av de forutgående krav, karakterisert ved at de syntetisk variable utformes fra familier bestående av seismiske attributtkuber utformet ved behandlings av seismiske gjennomløpsamplituder som er utledet ved påfølgende seismiske eksploreringer i vedkommende

20 sone.

9. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, 2 eller 3, karakterisert ved at de syntetisk variable er utformet fra familier bestående av logge-attributtmålinger av forskjellig fysisk art.

25

10. Fremgangsmåte som angitt i krav 9, karakterisert ved at de syntetiske variable er utformet fra resistivitetsmålingsfamilier.

30 11. Fremgangsmåte som angitt i krav 9,

karakterisert ved at syntetiske variable er utformet fra målingsfamilier som er forbundet med formasjonsradioaktivitet.

12. Fremgangsmåte som angitt krav 9,
karakterisert ved at de syntetisk variable er utformet fra familier av
målinger som har sammenheng med formasjonsprositet.

FIG.1A

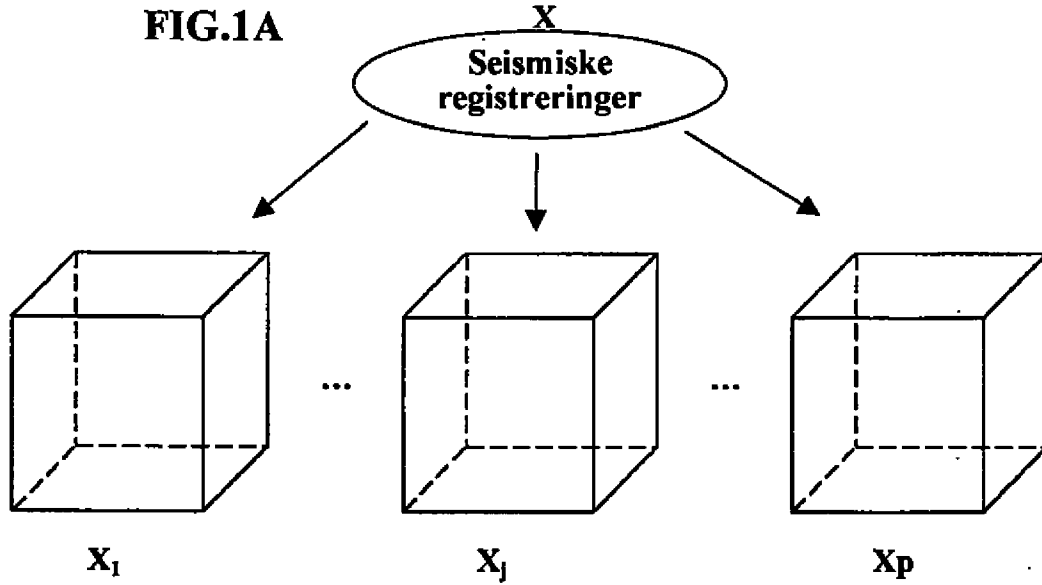


FIG.1B

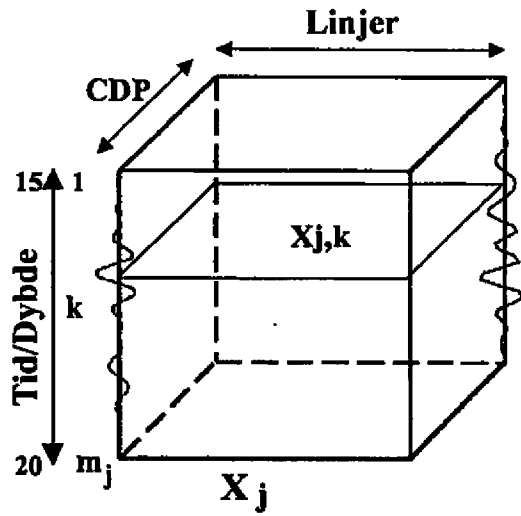


FIG.1C

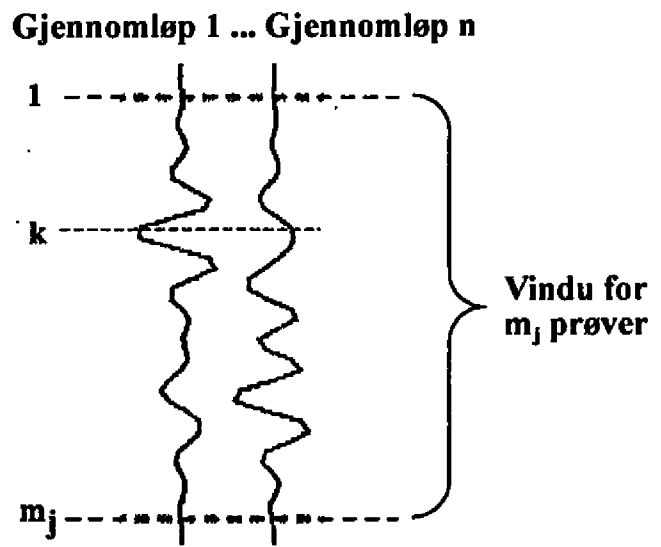
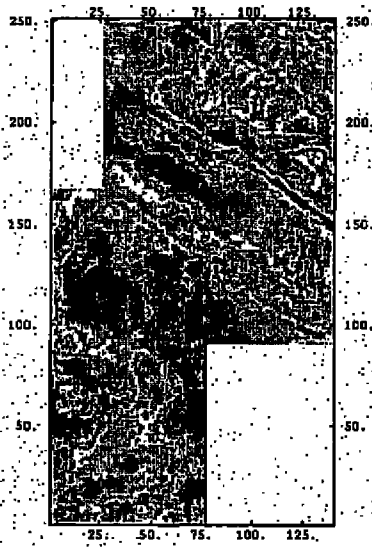


FIG.2A



2/5
FIG.2B

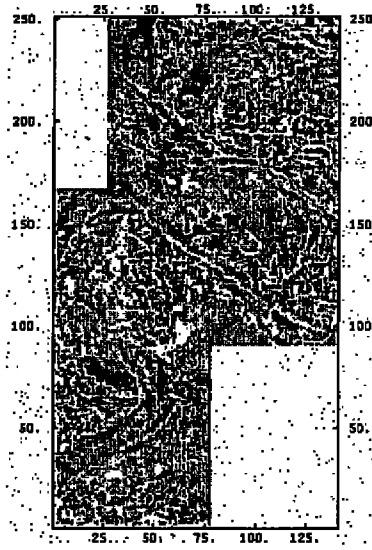


FIG.2C

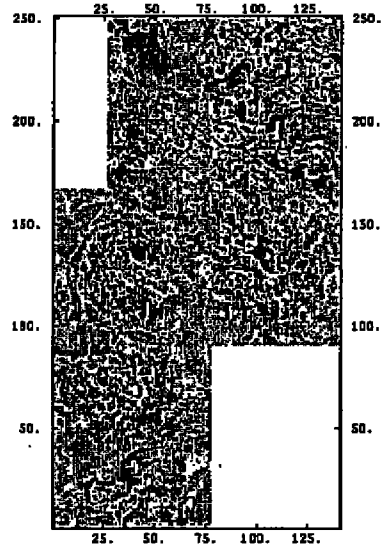


FIG.3A

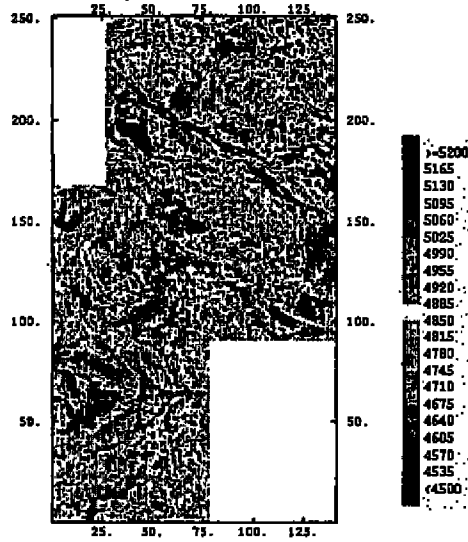


FIG.3B

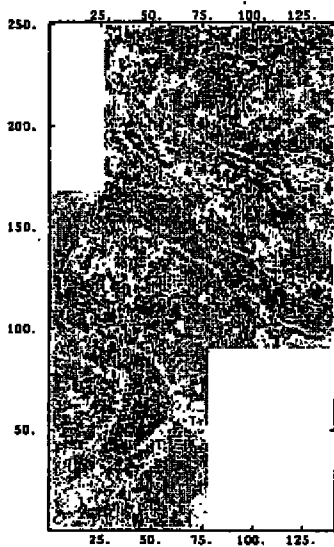


FIG.3C

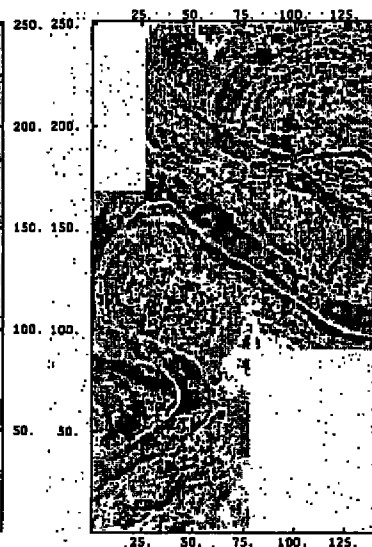
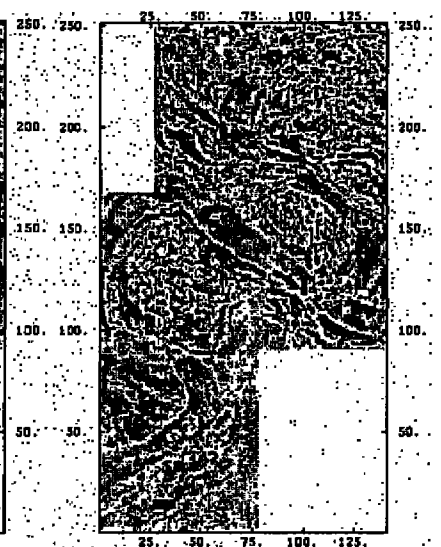


FIG.3D



3/5

FIG.4A

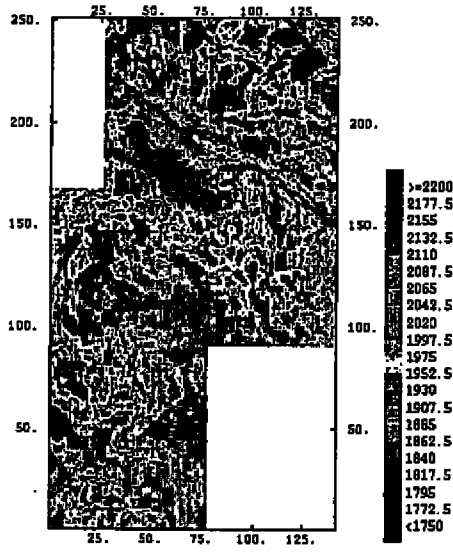


FIG.4B

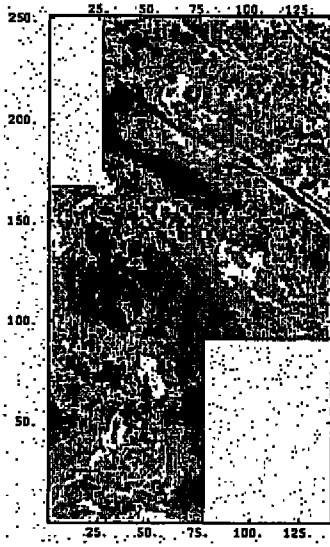


FIG.4C

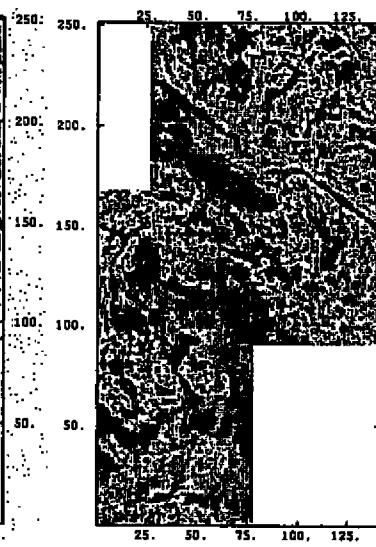
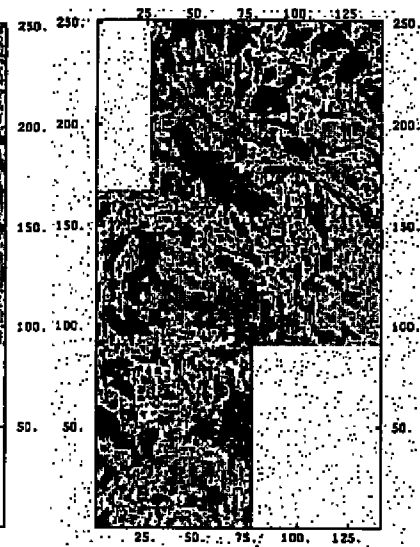


FIG.4D



4/5
FIG.5A

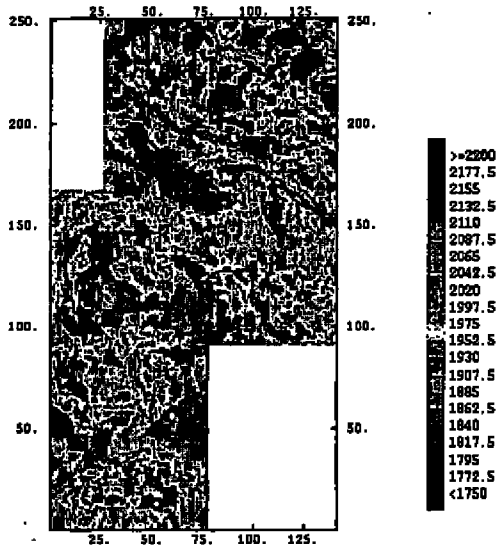


FIG.5B

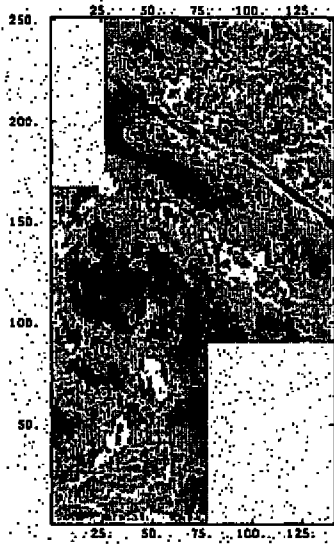


FIG.5C

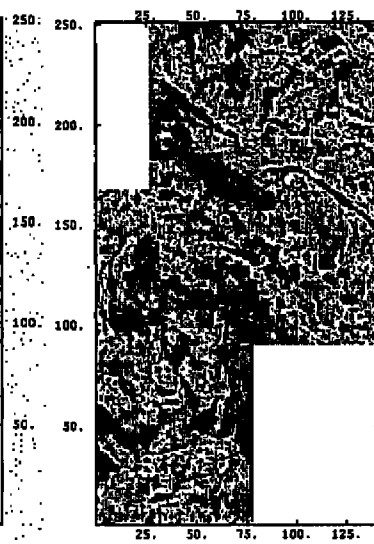


FIG.5D

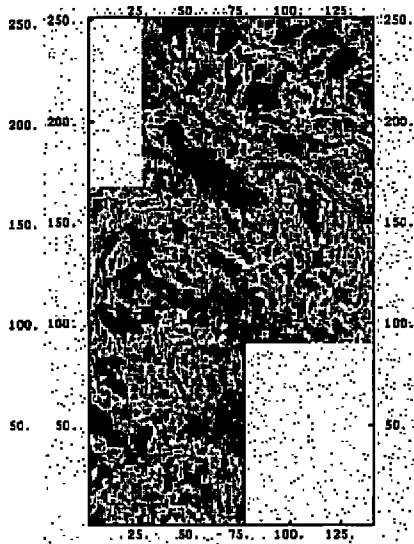


FIG.6

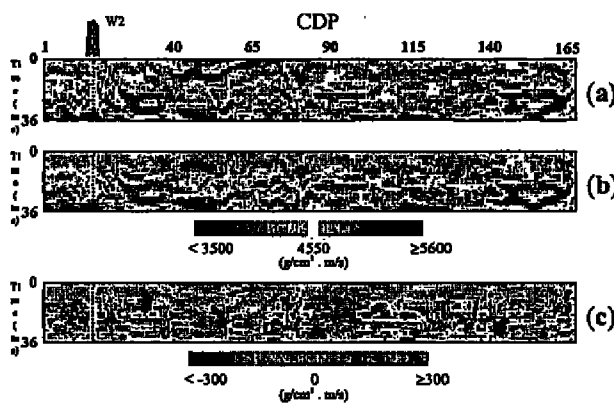
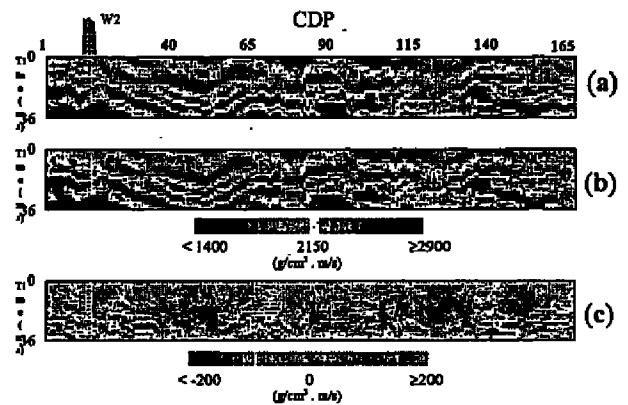


FIG.7



5/5

FIG.8

- Klasse 1 : Sand-turbiditeter
- Klasse 2 : Slam-turbiditeter
- Klasse 3 : Hemipelagitt

500 meter

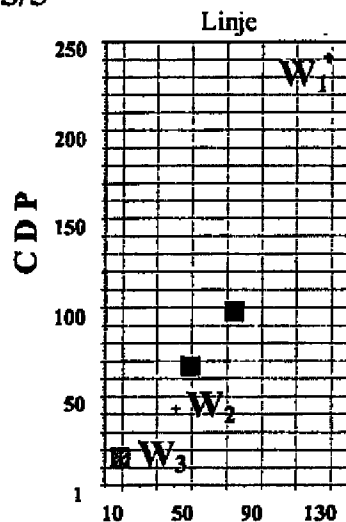


FIG.9A

FIG.9B

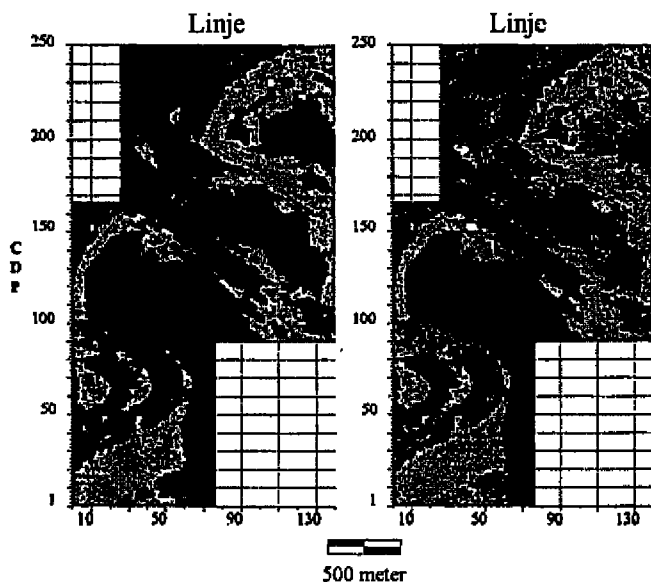
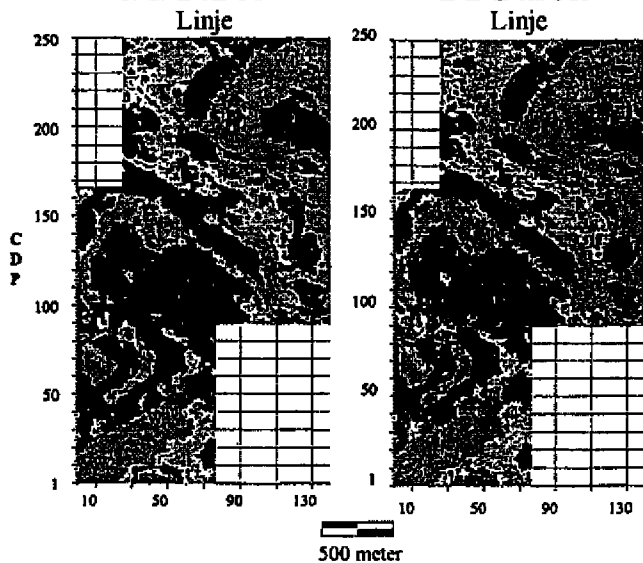


FIG.10A

FIG.10B



- Klasse 1
- Klasse 2
- Klasse 3
- ▨ Klasse 4
- ▩ Klasse 5