



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **328811**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

G01V 3/165 (2006.01)

G01V 3/08 (2006.01)

G01V 3/15 (2006.01)

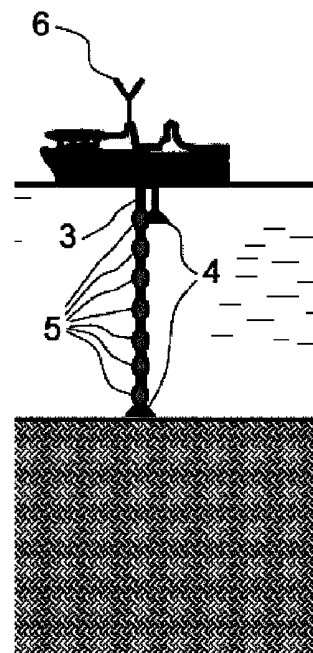
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20076602	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2007.12.21	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2007.12.21	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2009.06.22		
(45)	Meddelt	2010.05.18		
(73)	Innehaver	Advanced Hydrocarbon Mapping AS, Skogstøstraen 37 (4 etg.), 4029 STAVANGER, Norge		
(72)	Oppfinner	Pavel Barsukov, Longkruid 16, NL-3824PD AMERSFOORT, Nederland Eduard B Fainberg, Longkruid 16, NL-3824PD AMERSFOORT, Nederland Jostein Kåre Kjerstad, Magnus Vigrestadsv. 8, 4023 STAVANGER, Norge		
(74)	Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, Postboks 171, 4302 SANDNES, Norge		
(54)	Benevnelse	Framgangsmåte og apparat for hurtig kartlegging av submarine hydrokarbonreservoarer		
(56)	Anførte publikasjoner	NO 323889_BB1, WO 2007003203 A1, WO 2007105956 A1		
(57)	Sammendrag			

Framgangsmåte for elektromagnetisk undersøkelse basert på detektering av induert polarisasjonseffekt og evaluering av dens trekk for kartlegging av marine hydrokarbonmål, kjennetegnet ved at det vertikalt i en vannmasse (8) settes ut i det minste én elektrisk ledning (2, 3, 3') som tildanner en elektromagnetisk sender som sender ut elektromagnetisk energi som er innrettet til å eksitere elektromagnetisk felt i vannmassen (8) og underliggende medium (83), hvor den samme ledning (2, 3, 3') blir brukt som mottaker for målinger av den vertikale komponent i det elektriske felt; og hvor framgangsmåten omfatter:

- å tilveiebringe undersøkelsesdata som romlig fordeling av det elektriske felts vertikale komponent og medieresponsen i form av tilsynelatende resistivitet mot tid i vannmassen (8);
- å gjennomføre en rom/tid-analyse av det elektriske felts vertikale komponent og respons med det formål å detektere induert polarisasjonseffekt og bestemme dennes intensitet og relaksasjonstider; og
- å kartlegge de anomale soner beskrevet ved induert polarisasjonseffekts karakteristikkperspektiv for utforsking av et underjordisk hydrokarbonreservoar.

Det beskrives også utstyr for anvendelse ved utøvelse av framgangsmåten.



FRAMGANGSMÅTE OG APPARAT FOR HURTIG KARTLEGGING AV SUBMARINE HYDROKARBONRESERVOARER

Oppfinnelsen beskriver en framgangsmåte for hurtig, direkte kartlegging av de anomalisoner som settes i sammenheng med hydrokarbonreservoarer under havbunnen. Framgangsmåten er basert på induisert polarisasjonseffekt observert i et elektromagnetisk felt målt via vertikale, sammenfallende sender/motaker-ledninger som beveger seg over undersjøiske reservoarer.

10 Det brukes for tiden to framgangsmåter til detektering og karakterisering av hydrokarbonførende reservoarer i dypvannsområder.

Den første framgangsmåte er basert på sondering av en horisontalt lagdelt, elektrisk ledende seksjon som ligger under et lag av sjøvann. Denne seksjon representerer sedimentene. 15 Begravd på ett eller annen dyp i disse sedimentene finnes et tynt, resistivt reservoar som inneholder hydrokarboner. En kraftig sender eksiterer elektrisk vekselstrøm i sjøvannslaget og den underliggende seksjon, og én eller flere elektriske og/eller magnetiske registreringsinnretninger som er plassert på ulike steder på eller over havbunnen, registrerer 20 elektromagnetiske responser fra seksjonen. Bilder av disse responser eller inversjon og transformasjoner av disse blir sammen med seismiske data, loggedata og andre data brukt til 25 leting etter olje og gass så vel som til reservoarevaluering

og -utvikling.

Denne måte å gripe det an på er omtalt i tallrike patenter og framgangsmåter, for eksempel US-patent nr. 4617518 og 6522146 tilhørende Srnka; US 5563513 tilhørende Tasci; US 0052685, US 5 0048105, US 6628119 tilhørende Eidesmo m.fl.; US 2006132137 tilhørende MacGregor m.fl.; EP-patent nr. 1425612 tilhørende Wright m.fl.; internasjonal publikasjon nr. WO 03/048812 tilhørende MacGregor og Sinha, WO 2004049008; GB-publikasjon 2395563, AU-publikasjon 20032855 tilhørende MacGregor m.fl. 10 og tallrike andre publikasjoner angitt i etterfølgende referanseliste.

En slik måte å gripe det an på kan benyttes ved fravær av såkalt induisert polarisasjonseffekt (IP) som er i stand til å forvrengte elektromagnetisk respons fra den struktur som inneholder et reservoar. Dessuten har denne måte å gripe det an 15 på lav oppløsning sammenlignet med seismisk prospektering, og effektiviteten er dermed relativt liten.

Den andre måte å gripe det an på er basert på undersøkelse av sekundære elektriske felt som oppstår under innvirkning fra 20 elektrisk strøm som blir sendt i seksjonen av en styringskilde. Disse felt er av elektrokjemisk natur og er forårsaket av prosesser i såkalte dobbeltlag som oppstår ved kontakt mellom fast stoff i berg og porevæsker. Denne effekt kalles induisert polarisasjonseffekt (IP).

IP'ens karakter avhenger av det faste bergs elektriske resistivitet. I tilfelle nærvær av hydrokarboner ved kontakt mellom resistive, førende strata, har IP-prosessene elektrokinetisk karakter. IP-effektens intensitet avhenger av elektrolyttkonsentrasjon og av porestruktur og kan brukes til leting 30 etter hydrokarboner.

IP-effekt måles enten i tids- eller i frekvensdomenet.

I tidsdomenet eksiterer senderen serier av elektriske strømpulser av firkantform med pauser mellom pulsene, og registreringsinnretninger gjør målinger av de resulterende elektriske felt i pauser mellom pulsene. IP-effekt viser seg som spesi-
5 fikk endring i den tidsdomenerespons som er til stede ved fravær av IP-effekt.

I frekvensdomenet genererer senderen vekselstrøm med ulike frekvenser, og registreringsinnretninger gjør målinger av responser. IP-effekt viser seg som en reduksjon i spenning
10 mot økning av frekvens og negativt spenningsfaseskift i forhold til eksitasjonsstrøm.

Ifølge Kruglova m.fl. (1976) og Krichak m.fl. (1976) gjennomgår bergarter som ligger i reservoarområdet, epigenetiske modifiseringer under påvirkning av oppadgående vandring av hydrokarboner, hvilke fører til endring i bergartenes kjemisk-
15 mineralogiske struktur og fysiske egenskaper.

Den andre mekanisme som danner IP-effekt, er blitt drøftet av Pirson (1969, 1976) og Oehler (1982) som forklarte den med opphopning av pyritt i en grunn, porøs vertsbjergart, hvor pyritten fordeler seg inne i sprekker eller mellom opprinnelige
20 korn med en spredt eller sementlignende tekstur.

Andre modeller er foreslått som forklaring av IP-effekt, for eksempel av Schumacher (1996). I alle modeller omfatter imidlertid de prosesser som resulterer i IP-effekt, store bergvolumer og kan skape anomalier ikke bare i eller i nærheten av reservoarene, men på ulike seksjonsnivåer ovenfor reservoarene.
25

Eksisterende framgangsmåter for hydrokarbonleting basert på undersøkelse av IP-effekt og de ovenfor angitte amerikanske
30 (Kaufman, 1978; Oehler, 1982; Srnka, 1986; Vinegar, 1988; Stanley 1995; Wynn, 2001; Conti, 2005) og russiske patenter

(Alpin, 1968; Belash, 1983; Kashik, 1996; Nabrat, 1997; Rykh-
linsky, 2004; Lisitsin, 2006) er blitt utformet for å detek-
tere elektrokjemisk endrede sedimenter; dvs. en endringssone
som kan strekke seg langt oppover fra pyrittopphopningen.

5 Ifølge Moiseev (2002) kan en pyrittaureol som ledsager hydro-
karbonavsetninger, lokaliseres på 300-700 meters dybde uav-
hengig av selve avsetningsdybden. Moiseev bemerket også at
det ifølge feltundersøkelser er påvist tett forbindelse mel-
lom konturer med forbedret polarisasjonsevne og hydrokarbon-
10 reservoarprojeksjon, hvilke tyder på vertikal vandring av hy-
drokarboner og gir mulighet for å bruke denne omstendighet
til leting etter hydrokarboner.

Erfaringen med anvendelse av IP-effekt for marin leting etter
hydrokarboner er i dag liten; samtidig har erfaring på land
15 vist at leting etter hydrokarbonreservoarer var vellykket i
sytti av hundre borehuller boret ut fra IP-effekt (Moiseev,
2002).

IP-effektens oppførsel blir i forsøksdata vanligvis beskrevet
via ulike typer modeller som representerer elektrisk resisti-
20 vitet ρ i bergarter som frekvensavhengig parameter. At resis-
tiviteten er frekvensavhengig er av meget stor betydning for
hydrokarbonkartlegging fordi den tilveiebringer høyere opp-
løsning med hensyn til parametere som angir at det finnes hy-
drokarboner.

25 Uttømmende oversikt og analyse av eksisterende modeller som
beskriver resistivitets avhengighet av frekvens, gitt av Dias
(1968, 1972, 2000), viste at IP-effekt hensiktsmessig kan ut-
trykkes som:

$$\rho = \rho_0 \left[1 - \eta \left(1 - 1 / i \omega \tau_1 \left(1 + \frac{1}{\mu} \right) \right) \right], \quad (1)$$

hvor

$$\mu = i\omega\tau + (i\omega\tau_2)^{1/2}, \quad \tau = rC, \quad \tau_1 = (R + R_S)C, \quad \tau_2 = (aC)^2, \quad \eta = (\rho_0 - \rho_\infty) / \rho_0.$$

Her er

τ , τ_1 og τ_2 de relaksasjonstider som er knyttet til de for-

5 skjellige relaksasjonsmodi,

ρ er den komplekse resistivitet,

ρ_0 og ρ_∞ er den reelle verdi av ρ ved henholdsvis likestrøm og høyeste frekvenser,

η er ladbarheten som er betegnende for IP-effektens intensi-
10 tet.

Disse 5 parametere (ρ_0 , η , τ , τ_1 , og τ_2) beskriver kompleks resistivitets frekvensavhengighet fullstendig og kan brukes for petrofysisk tolkning (Dias, 2000, Nelson m.fl., 1982, Mahan m.fl., 1986). Parametrene r , R , R_S , C , og a som gir fenomenologisk beskrivelse av IP-effekt, er motstander, kondensator
15 og en eller annen koeffisient for ekvivalente kretsanaloger (Dias, 2000). Relaksasjonstidene τ , τ_1 og τ_2 er nært knyttet til partikkelavstanden (kilder til IP).

Den velkjente og populære Cole-Cole-modellen har 4 parametere
20 og er mindre presis enn Dias' formel.

Den komplekse karakter til ρ , hvilken er typisk for IP-effekt, øker betydelig elektromagnetiske felts følsomhet overfor hydrokarbonmål og gjør framgangsmåten med benyttelse av IP-effekt som indikator på hydrokarboner attraktiv for hydrokarbonkartlegging.
25

Kashik m.fl. (RU 2069375 C1, 1996) som her anses å være en forløper til herværende oppfinnelse, bruker tre vertikale ledninger: én til sender og to til mottakere. Alle tre ledninger er plassert i ulike huller laget i isflak. En sender genererer pulsformet elektrisk strøm, og mottakere måler vertikal komponent i et elektrisk felt. Avstanden mellom motta-
30

kerledninger i horisontal retning er i størrelsesorden 1-2 ganger prospekteringsdybden. Forskjellen mellom amplituden i elektrisk felt målt i to naboledninger blir brukt som tolkeparameter. Ulempen med denne oppfinnelse er den manglende

5 evne til styring av isflakets bevegelse, hvilket sterkt minsker dens muligheter og produktivitet; samt fravær av målinger av vertikal komponent i elektrisk felt på ulike nivåer i havet, hvilket begrenser mulighetene til støyundertrykkelse og tolking.

10 Fra NO 323889 er det kjent en framgangsmåte og et apparat for kartlegging av undersjøiske hydrokarbonreservoarer, nærmere bestemt ved at en elektromagnetfeltekildes TM-modus anvendes til registrering av en TM-respons som blir målt av én eller flere mottakere nedsenket i vann, ved at det i den i det

15 sentlige vertikalt orienterte, separate sender nedsenket i vann genereres intermitterende elektriske strømpulser med skarp avslutning, og hvor et elektromagnetisk felt generert av disse pulsene blir målt av mottakeren som befinner seg i det vesentlige vertikalt orientert, nedsenket i vann og skilt

20 fra senderen, i tidsintervallet når strømmen i elektromagnetfeltekilden er slått av. NO 323889 er i sin helhet er tatt opp i dette dokumentet som referanse.

Fra WO 2007/003203 A1 er det kjent en framgangsmåte for elektrisk logging av undersjøiske potensielle hydrokarbonreservoarer, hvor det anvendes en vertikal dipol som sender ut

25 firkantpulser, og hvor en rekke mottakere er oppstilt på havbunnen.

Fra WO 2007/105956 A1 er det kjent en feltsensor for marine omgivelser, nærmere bestemt en feltsensor som er forsynt med

30 minst to beholdere som hver omslutter minst én elektrode, er fylt med en elektrolytt og står i fluidkommuniserende forbindelse med de omkringliggende vannmassene gjennom fleksible

slanger, og elektrodene er tilkopleet en signalbehandlingsenhet.

Den foreliggende oppfinnelsen har til formål å avhjelpe eller å redusere i det minste en av ulempene ved kjent teknikk.

- 5 Formålet oppnås ved trekk som er angitt i nedenstående beskrivelse og i etterfølgende patentkrav.

Den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en hurtig framgangsmåte ved undersøkelse for enkel og hurtig fastsettelse av IP.

- 10 Den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer også en framgangsmåte for oppbygging og konturangivelse av et område ved karakterisering gjennom IP-effekt, og derved øker sannsynligheten for detektering av hydrokarbonreservoarer.

- 15 Dessuten tilveiebringer den foreliggende oppfinnelse en framgangsmåte som gir mulighet for å evaluere noen parametere som er nyttige for petrofysisk tolkning av bergarter kjenneteg- nende for hydrokarbonreservoarer som potensielt finnes i det området som undersøkes.

- 20 Oppfinnelsen tilveiebringer videre en framgangsmåte for behandling av de data som registreres under undersøkelsen, med sikte på å bestemme parametere som kjennetegner de petrofysiske egenskaper ved de bergarter som skaper IP-effekten. Disse parametere blir brukt til kartlegging ved plan projek- sjon av reservoarkanter på havbunnen og sammen med CSEM, 25 seismikk, logging og andre geologiske og geofysiske metoder til tolking.

Oppfinnelsen vedrører i et første aspekt mer spesifikt en framgangsmåte for elektromagnetisk undersøkelse basert på detektering av induert polarisasjonseffekt og evaluering av

dens trekk for kartlegging av marine hydrokarbonmål, kjennetegnet ved at framgangsmåten omfatter:

- a) å sette ut vertikalt i en vannmasse i det minste én elektrisk ledning som tildanner en elektromagnetisk sender som sender ut elektromagnetisk energi som er innrettet til å eksitere et elektromagnetisk felt i vannmassen og det underliggende mediet, hvor den samme ledning blir brukt som mottaker for målinger av den vertikale komponent i det elektriske felt;
- b) å tilveiebringe undersøkelsesdata som romlig fordeling av det elektriske felts vertikale komponent og medieresponsen i form av tilsynelatende resistivitet mot tid i vannmassen;
- c) å gjennomføre en rom/tid-analyse av det elektriske felts vertikale komponent og respons med det formål å detektere induisert polarisasjonseffekt og bestemme dennes intensitet og relaksasjonstider; og
- d) å kartlegge de anomale soner beskrevet ved induisert polarisasjonseffekts karakteristikkperspektiv for utforsking av et underjordisk hydrokarbonreservoar.

Én leder i en vertikalt utsatt flerlederkabel blir ved tilførsel av elektromagnetisk energi fortrinnsvis anvendt som en elektromagnetisk sender som eksiterer et elektromagnetisk felt i vannmassen og underliggende medium, og andre ledere i kabelen, hvilke har ulik lengde og avsluttes av elektroder, blir anvendt som mottakere for målinger av medieresponsen.

En flerhet av vertikalt utsatte flerlederkabler som hver har én leder innrettet for tilførsel av elektromagnetisk energi, blir fordelaktig brukt som elektromagnetisk sender som eksiterer et elektromagnetisk felt i vannmassen og underliggende medium, og andre ledere i kablene, hvilke har ulik lengde og avsluttes av elektroder, blir bruk som mottakere for målinger av medieresponsen.

Én eller en flerhet av mottakerne er fortrinnsvis fiksert under målingene.

Én eller en flerhet av mottakerne slepes fortrinnsvis av et fartøy.

- 5 Den i det minste ene sender sender fortrinnsvis ut elektromagnetisk energi i tidsdomenet som en intermittert serie av strømpulser med ulik polaritet og med skarp avslutning, og i det minste én mottaker gjør målinger av tidsdomeneresponser under tidsforløp mellom fortløpende strømpulser når responsen
10 ikke er maskert av senderstrømmen.

Strømpulsenes og pausenes varighet blir fortrinnsvis spesifisert på en slik måte at det tilveiebringes en inntrengningsdybde for det elektromagnetiske felt overstigende to-tre ganger eller mer den dybde som reservoaret befinner seg på,
15 fortrinnsvis innenfor et område på 0,1 sekunder til 30 sekunder.

I et andre aspekt vedrører oppfinnelsen mer spesifikt et undersøkelsesapparat for elektromagnetisk undersøkelse av marine hydrokarbonmål, kjennetegnet ved at én eller flere generatorer som er innrettet til å kunne generere strømpulser
20 med ulik polaritet med skarp avslutning, er tilknyttet et neddykkbart system omfattende:

minst én elektrisk ledning som er innrettet til å kunne sende ut elektromagnetisk energi i en vannmasse og et underliggende medium, samt er innrettet til å kunne motta den vertikale komponent i det elektriske felt, idet den minst ene elektriske ledningen er en vertikalt utsatt flerlederkabel hvor minst én leder er innrettet til ved tilførsel av elektromagnetisk energi fra en generator å kunne eksitere et
30 elektromagnetisk felt i vannmassen og det underliggende mediet, og andre ledere i kabelen, hvilke har ulik lengde og

avsluttes av elektroder, er innrettet til å kunne motta den vertikale komponent i det elektriske felt for registrering av medieresponsen.

I et tredje aspekt vedrører oppfinnelsen et overflatefartøy, 5 kjennetegnet ved at det fører et undersøkelsesapparat i overensstemmelse med det vedlagte krav 8.

I et fjerde aspekt vedrører oppfinnelsen et datamaskinapparat med innlastede maskinlesbare instruksjoner for gjennomføring av framgangsmåten for en elektromagnetisk undersøkelse i over- 10 ensstemmelse med hvilket som helst av de vedlagte kravene 1 til 7.

I det etterfølgende beskrives et ikke-begrensende eksempel på en foretrukket utførelsesform som er anskueliggjort på medfølgende tegninger, hvor:

15 Fig. 1a-1c illustrerer de mulige konfigurasjoner som er anvendelige for hurtig IP-kartlegging av potensielle hydrokarboninnholdende områder;

Fig. 2a og 2b viser resultatet av numerisk modellering med kurver over tilsynelatende resistivitet mot tid for 20 ulike seksjoner med og uten IP-effekt; og

Fig. 3 illustrerer en mulig strategi ved hydrokarbonkartlegging.

I et første utførelseseksempel består en enkelt sender som er montert på et fartøy, av en vertikalt anbrakt, langstrakt, 25 ledende enkjernet kabel avsluttet av elektroder, hvilken er nedsenket i en vannmasse. Fartøyet beveger seg sakte, og senderen sender intermitterende strømpulser som har skarp avslutning, mens den samme kabel med elektroder blir brukt til målinger av medieresponser i løpet av tidsforløp mellom fort-

løpende strømpulser. Dette er nærmere beskrevet i NO 323889 som i sin helhet er tatt opp i dette dokumentet som referanse.

Det første utførelseseksempelet er illustrert på fig. 1a, hvor et fartøy 1 som flyter på en vannoverflate 82, sleper en vertikal, langstrakt kabel 2 avsluttet av elektroder 4, hvilken kabel 2 er nedsenket i en vannmasse 8 mot en havbunn 81. En generator (ikke vist) er installert på fartøyet 1 og er innrettet til å kunne sende intermitterende strømpulser med skarp avslutning til kabelen 2. Kabelen 2 med elektrodene 4 er innrettet til å registrere responsen fra et underliggende medium 83, dvs. den undergrunnsstruktur som er gjenstand for kartlegging, i løpet av pausen mellom to pulser. Et posisjonsovervåkingssystem 6 anvendes for fastsettelse av fartøyet 1 posisjon ved undersøkelsen.

I et andre utførelseseksempel er en generator montert på fartøyet og er tilknyttet en vertikalt anbrakt, langstrakt, flerkjernet ledende kabel omfattende elektroder, hvilken er nedsenket i vannmassen. Fartøyet forflytter seg sakte i horisontal retning, og senderen sender i én av kabelens ledere intermitterende strømpulser som har skarp avslutning, mens de andre av kabelens ledere som har ulik lengde og avsluttes av elektroder, blir brukt til målinger av medieresponsene på ulike avstander fra en havbunn i løpet av tidsforløp mellom fortløpende strømpulser. Slik konfigurasjon gir mulighet for å undertrykke innvirkningen av lokale inhomogeniteter nær havbunnen og øke nøyaktigheten i responsbestemmelsen og dens tolkning.

Det andre utførelseseksempelet er illustrert på fig. 1b, hvor fartøyet 1 sleper en vertikalt langstrakt flerlederkabel 3 som er senket i vannmassene 8. En av kabelens 3 ledere (ikke vist) som avsluttes av elektroder 4, er tilknyttet en genera-

tor (ikke vist) som kilde til intermitterende strøm. Andre kablededere (ikke vist) som avsluttes av ikke-polariserte elektroder 5, danner et registreringssystem for målinger av mediets responser på ulike nivåer i vannmassen 8. Et posisjonsovervåkingssystem 6 anvendes for fastsettelse av fartøyet 1 posisjon ved undersøkelsen.

I et tredje utførelseseksempel er en flerhet av sendere montert på fartøyet og på tilknyttede flytebøyer bak fartøyet i form av vertikalt anbrakt, langstrakte, flerkjernede, ledende kabler avsluttet av elektroder, hvilke er nedsenket i en vannmasse, idet senderkabelkonfigurasjonen tilsvarende det som er beskrevet for det andre utførelseseksempel ovenfor. Fartøyet beveger seg sakte i horisontal retning, og hver av senderne sender i én kables kjerne intermitterende strømpulser som har skarp avslutning, mens hver av kablens andre kjerner som har ulik lengde og avsluttes av elektroder, blir brukt til målinger av medieresponsene på ulike avstander fra havbunnen i løpet av tidsforløpet mellom fortløpende strømpulser. En slik konfigurasjon gir mulighet for å stakke signalene, å undertrykke innvirkningen fra lokale inhomogeniteter nær havbunnen som gir IP-effektforvansket skjelning av dyptliggende IP-mål, og å øke nøyaktigheten i responsbestemmelse og tolkning.

Det tredje utførelseseksempel er illustrert på fig. 1c, hvor fartøyet 1 sleper en vertikalt anbrakt, langstrakt første flerleder kabel 3 som er nedsenket i vannmassen 8. Fartøyet 1 sleper ved hjelp av slepetau 9 dessuten flere (her vist to) vertikale, langstrakte andre flerleder kabler 3' opphengt i flytebøyer 7 og nedsenket i vannmassen 8. Én av hver av flerleder kablens 3, 3' ledere (ikke vist) som avsluttes av elektroder 4, er tilknyttet en generator (ikke vist) som kilde til intermitterende strøm. De andre av flerleder kable-

nes 3, 3' ledere (ikke vist) avsluttes av ikke-polariserte elektroder 5 for målinger av medieresponsene ved ulike avstander fra havbunnen og ulike avstander fra fartøyet 1. Et posisjonsovervåkingssystem 6 brukes for fastsettelse av skips 1 og flytebøyenes 7 posisjoner ved undersøkelsen.

Fig. 2a og 2b illustrerer muligheten for å skjelne mellom IP-effekter som stammer fra gruntliggende og fra dyptliggende mål. Parametrer for seksjonene er:

Fig. 2a:

10 $h_1 = 300 \text{ m},$
 $\rho_1 = 0,3 \text{ } \Omega\text{m (sjøvann)},$
 $h_2 = 1000 \text{ m},$
 $\rho_2 = 1 \text{ } \Omega\text{m (sedimenter)},$
 $h_3 = 50 \text{ m},$
 $\rho_3 = 40 \text{ } \Omega\text{m (hydrokarbonlag)},$
 15 $\rho_4 = 1 \text{ } \Omega\text{m}.$

Kurve 1, 2, 3 gjelder modell uten IP-effekt og kurve 4, 5, 6 gjelder modell med IP-effekt (ladbarhet $m = 0,1$).

Fig. 2b:

20 $h_1 = 300 \text{ m},$
 $\rho_1 = 0,3 \text{ } \Omega\text{m (sjøvann)},$
 $h_2 = 300 \text{ m},$
 $\rho_2 = 1 \text{ } \Omega\text{m (sedimenter)},$
 $h_3 = 50 \text{ m},$
 $\rho_3 = 40 \text{ } \Omega\text{m (hydrokarbonlag)},$
 $\rho_4 = 1 \text{ } \Omega\text{m}.$

25 Kurve 1, 2, 3 gjelder modell uten IP-effekt og kurve 4, 5, 6 gjelder modell med IP-effekt (ladbarhet $m = 0,1$).

Senderledningens 2 lengde er 300 m, og mottakerledningen er sammenfallende med senderledningen 2, 3, 3' og har lengde lik 1 m. Mottakerledningens avstand fra havbunnen er henholdsvis

0 m (kurve 1 og 4), 100 m (kurve 2 og 5) og 300 m (kurve 3 og 6).

Vertikal linje 7 angir begynnelsen av IP-effekt ($t = 0,6$ s på fig. 2a og $t = 0,11$ s på fig. 2b).

- 5 I fig. 3 angir pilene stedet for start- og sluttunkt i undersøkelsen; og henvisningstallene 1-4 er konturer av anomalier i IP-effektintensitet.

Ifølge det første utførelseseksempelet av den foreliggende oppfinnelse brukes bare én ledning som utgjør et vertikalt, sammenfallende oppsett av sender og mottaker (fig. 1a). Et slikt oppsett tilveiebringer maksimal følsomhet i et elektromagnetisk felt med hensyn til det resistive hydrokarbonmål. Den vertikale komponent i det elektriske felt har maksimal følsomhet overfor de resistive mål (reservoarer). I tillegg tilveiebringer sammenfall mellom sender- og mottakerledninger maksimal amplitude i de målte IP-felt.

I den andre konfigurasjonen av den foreliggende oppfinnelse brukes en flerhet av mottakerledninger med ulik lengde i form av ledere i flerlederledningene 3, hvilke er sammenfallende med én enkelt senderledning (fig. 1b). Dess lenger borte mottakerledningene er fra havbunnen 81, dess mindre følsomme er de for grunt beliggende responderende medier. Romlig analyse av et vertikalt elektrisk felt målt på ulike nivåer gir mulighet for å skjelne mellom IP-effekter skapt av responderende medier nær havbunnen og mer dypereliggende responderende medier og å anslå de responderende mediers dybde.

Enkelt overslag over dybden til de responderende medier som skaper IP-effekt, kan gjøres ved bruk av tidsforsinkelse t_0 (vertikal linje 7 på fig. 2a og 2b) for begynnelsen av IP-effekt: $t_s^{ip} \approx 0,6$ s - se fig. 2a, og $t_s^{ip} \approx 0,1$ s - se fig. 2b.

Inntrengningsdybden h for et elektromagnetisk felt i ensartet medium er $h = \sqrt{10^7 \rho t_0 / 2\pi}$ meter; dybden for modellen på fig. 2a og 2b er lik omtrent 1000 m, henholdsvis 400 m, dvs. nær reelle verdier. Det finnes ulike måter å bestemme tidsforsinkelsen på, for eksempel respons målt ut av området med IP-effekt, eller konstruering av respons ved bruk av uavhengige seksjonsparametere kjennetegnet ved fravær av IP-effekt.

Den tredje konfigurasjonen av den foreliggende oppfinnelse består av en flerhet av vertikale sender- og flerkjernede mottakerledninger 3, 3' med horisontal innbyrdes avstand, plassert i ulik avstand fra havbunnen (fig. 2c), hvilken gir mulighet til å undertrykke innvirkningen av gruntliggende inhomogeniteter som skaper lokale IP-anomalier. Systemet med romlig spredte målinger er i noen tilfeller i stand til å gi informasjon om en dybde til de mål som skaper IP-effekt.

Den foretrukne konfigurasjon av den foreliggende oppfinnelse som tilveiebringer høy nyttevirkning av undersøkelsen, er en flerhet av sendere og mottakere 3, 3' som slepes av fartøyet 1. Fartøyet 1 stanses fra tid til annen og/eller arbeider i et start-stopp-system.

Sammenligning av den foreliggende oppfinnelse med Kashik m.fl. (RU 2069375 C1, 1996) viser at muligheten for å bruke sammenfallende ledninger 3, 3' for sender og mottakere og rom-tid-målinger av den vertikale komponent i elektrisk felt samtidig på ulike nivåer og på ulike steder under forflytning av fartøyet 1, tilveiebringer hovedsakelig nye muligheter for kartlegging av lovende områder og søk etter hydrokarbonreservoarer.

En annen fordel med den foreliggende oppfinnelse er måten å bestemme tolkeparametrene ρ_0 , η , τ , τ_1 , og τ_2 på, og som settes inn i formelen (1). Disse parametre bestemmes ved en prose-

dyre i to trinn:

1) transformering av det målte vertikale, elektriske felt til tilsynelatende resistivitet ρ^e ;

2) evaluering av tolkeparametere fra funksjonsminimum:

$$5 \quad \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M w_{nm} |\rho_{nm}^e - \rho_{nm}^c| \quad (2)$$

Her er ρ_{nm}^e målt tilsynelatende resistivitet som er relevant for n-te tidssampling på m-te sted; N og M er det totale antall av tidssamplinger, henholdsvis steder, ρ_{nm}^c er resultat av direkte problemløsning for en eller annen elektrisk modell av medium inneholdende et mål som frembringer IP-effekt; w_{nm} er vekten av ρ_{nm}^e -sampling som tillater datanøyaktighet, a priori geologisk og geofysisk informasjon osv.

10

Referanser:

Nummer	Publise- ringsdato	Søker
<u>US-PATENTPUBLIKASJONER</u>		
4114086	12/1978	Kaufman
4360359	11/1982	Oehler
4617518	10/1986	Srnka
4743854	05/1988	Vinegar
5444374	08/1995	Stanley et al.
5563513	10/1996	Tasci
6236212	05/2001	Wynn
0052685 A1	03/2003	Ellingsrud et al.
0048105 A1	03/2003	Ellingsrud et al.
6628119 B1	10/2003	Eidesmo et al.
6842006	01/2005	Conti et al.
2006132137	06/2006	MacGregor et al.
<u>RUSSISKE PATENTPUBLIKASJONER</u>		
SU 1122998 A	06/1983	Belash
SU 266091 A1	11/1968	Alpin
RU 2069375 C1	11/1996	Kashik et al.
RU 2094829 C1	10/1997	Nabrat et al.
RU 2236028 C1	09/2004	Rykhlinisky et al.
RU 2253881 C1	09/2006	Lisitsin et al.
<u>ANDRE PATENTPUBLIKASJONER</u>		
WO 01/57555 A1	09/2001	Ellingsrud et al.
WO 02/14906 A1	02/2002	Ellingsrud et al.
WO 03/025803 A1	03/2003	Srnka et al.
WO 03/034096 A1	04/2003	Sinha et al.
WO 03/048812 A1	06/2003	MacGregor et al.
WO 2004/049008 A1	04/2004	MacGregor et al.
WO 2006/073315	01/2006	Johnstad et al.
EP 1425612 B1	02/2006	Wright et al.

ANDRE PUBLIKASJONER

Cole K.S., Cole R.H., 1941. Dispersion and absorption in the dielectrics. J. Chem. Phys. N9, s. 341-351

5 Dias, C. A., 1968. A non-grounded method for measuring electrical induced polarization and resistivity: Ph.D. thesis, Univ. California, Berkeley.

Dias, C. A., 1972, Analytical model for a polarizable medium at radio and lower frequencies: J. Geophys. Res., 77, s. 4945-4956

10 Dias C.A., 2000. Developments in a model to describe low-frequency electrical polarization of rocks. Geophysics, v.65, N2, s. 437-451

15 Davydycheva S., Rykhlin N., Legeido P., 2006. Electrical prospecting method for hydrocarbon search using the induced-polarization effect. Geophysics, v. 71, N4, s. G179-G189 (på russisk)

Eidesmo T., Ellingsrud S., MacGregor L.M., Constable S., Sinha M.C., Johansen S.E., Kong N., Westerdahl H., 2002. Sea Bed Logging (SBL), a new method for remote and direct identification of hydrocarbon filled layers in deepwater areas. First
20 Break, 20. March, s. 144-152.

25 Ellingsrud S., Sinha M.C., Constable S., MacGregor L.M., Eidesmo T., Johansen S.E., 2002. Remote sensing of hydrocarbon layers by Sea Bed Logging (SBL): Results from a cruise offshore Angola. The Leading Edge, 21, s. 972-982.

Kirichek M.A., Korolkov Yu.S., Kruglova Z.D., 1976. Electrical surveying at direct prospecting for oil and gas deposits. In: Materials of VIII All-union research conference, Tumen-Moscow, s. 5-7 (på russisk)

Kruglova Z.D., Anufriev A.A., Yakovlev A.P., 1976. On nature of induced polarization of oil deposits in PreCaspian depression. *Prospecting Geophysics*, issue 71, s. 78-82 (på russisk)

5 Legeido P.Yu., Mandelbaum M.M., Rykhlinisky N.I., 1997. Self-descriptiveness of differential electrical prospecting methods at study of polarized media. *Geophysics*, Irkutsk, N3, s. 49-56 (på russisk)

10 Legeido P.Yu., Mandelbaum M.M., Rykhlinisky N.I., 1999. Differential-normalized method of electrical prospecting. *Geophysics*, Irkutsk, Special issue, s 40-44 (på russisk)

MacGregor L., Sinha M., 2000. Use of marine controlled-source electromagnetic sounding for sub-basalt exploration. *Geophysical prospecting*, v. 48, s. 1091-1106

15 MacGregor L., Sinha M., Constable S., 2001. Electrical resistivity of the Valu Fa Ridge, Lau Basin, from marine controlled-source electromagnetic sounding. *Geoph. J. Intern.* v.146, s. 217-236

20 MacGregor L., Tompkins M., Weaver R., Barker N., 2004. Marine active source EM sounding for hydrocarbon detection. 66th EAGE Conference & Exhibition, Paris, France, 6.-10. juni 2004

Mahan M.K., Redman J.D., Strangway D.W., 1986. Complex resistivity of synthetic sulphide bearing rocks. *Geophys. Prospecting*, V. 34, s. 743-768

25 Marine MT in China with Phoenix equipment, 2004. Published by Phoenix Geophysics Ltd., issue 34, s. 1-2, desember 2004

Moiseev V.S., 2002. The method of induced polarization for oil prospective search. "Nauka", Novosibirsk, s. 136 (på russisk)

Nabighian M.N., Macnae J.C., 2005. Electrical and EM methods, 1980-2005. The Leading Edge; 2005; v. 24, s. s. 42-45

Nebrat A.G., Sochelnikov V.V., 1998. Electrical prospecting for polarized media by transient field method. Geophysics, 5 N6, s. 27-30 (på russisk)

Nelson P.H., Hansen W.H. and Sweeney M.J., 1982. Induced polarization response of zeolitic conglomerate and carbonaceous siltstone, Geophysics, v.47, s. 71-88

Pelton W.H., Ward S.H., Hallof P.G., Sill W.R., Nelson P.H., 10 1978. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multi-frequency IP. Geophysics, 43, s. 588-609

Pirson, S.J., 1969, Geological, geophysical, and geochemical modification of sediments in the environments of oil fields, in W.B. Heroy, ed., Unconventional methods in exploration for 15 petroleum and natural gas, symposium 1: Dallas, Texas, Southern Methodist University Press, s. 159-186

Pirson, S.J., 1976, Predictions of hydrocarbons in place by magneto-electrotelluric exploration: Oil and Gas Journal, 31. mai, s. 82-86

20 Thompson A.H., Sumner J.R., Hornbostel S.C., 2007. Electromagnetic-to-seismic conversion: A new direct hydrocarbon indicator. The Leading Edge, April, s. 428-435

Schumacher, D., 1996, Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments, In: D. Schumacher and M.A. Abrams, eds., Hydrocarbon migration and its near surface expression: AAPG Me- 25 moir 66, s. 71-89

Thompson A.H., Hornbostel S., Burns J., Murray T., Raschke R., Wride J., McCammon P., Sumner J., Haake G., Bixby M., Ross W., White B.S., Zhou M., Peczak P., 2007. Field tests of

electroseismic hydrocarbon detection. *Geophysics*, v. 72, N1, s. N1-N9.

Tong M., Li L., Wang W., Jiang Y., 2006. A time-domain induced-polarization method for estimating permeability in a shaly sand reservoir. *Geophysical Prospecting*, v. 54, issue 5, s. 623-631

Yakubovsky Yu.V. *Electrical Prospecting*, M. Nedra, 1980, s. 264-271 (på russisk)

Ulrich C., Slater L.D., 2004. Induced polarization measurements on unsaturated, unconsolidated sands. *Geophysics*, v. 69, N3, s. 702-771

Wynn J., Laurent K., 1998. A high resolution electrical geophysical approach to mapping marine sediments in the Atlantic coastal shelf and the Gulf of Mexico. *SEG, Expanded Abstracts*

P a t e n t k r a v

1. Framgangsmåte for elektromagnetisk undersøkelse basert på detektering av induert polarisasjonseffekt og evaluering av dens trekk for kartlegging av marine hydrokarbonmål, k a r a k t e r i s e r t v e d at framgangsmåten omfatter:
 - a) å sette ut vertikalt i en vannmasse (8) i det minste én elektrisk ledning (2, 3, 3') som tildanner en elektromagnetisk sender som sender ut elektromagnetisk energi som er innrettet til å eksitere et elektromagnetisk felt i vannmassen (8) og et underliggende medium (83), hvor den samme ledning (2, 3, 3') blir brukt som mottaker for målinger av den vertikale komponent i det elektriske felt;
 - b) å tilveiebringe undersøkelsesdata som romlig fordeling av det elektriske felts vertikale komponent og medieresponsen i form av tilsynelatende resistivitet mot tid i vannmassen (8);
 - c) å gjennomføre en rom/tid-analyse av det elektriske felts vertikale komponent og respons med det formål å detektere induert polarisasjonseffekt og bestemme dennes intensitet og relaksasjonstider; og
 - d) å kartlegge de anomale soner beskrevet ved induert polarisasjonseffekts karakteristikkperspektiv for utforskning av et underjordisk hydrokarbonreservoar.

2. Framgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at én leder i en vertikalt utsatt flerleder-kabel (3, 3') ved tilførsel av elektromagnetisk energi blir anvendt som elektromagnetisk sender som eksiterer et elektromagnetisk felt i vannmassen (8) og det underliggende mediet (83), og andre ledere i kabelen (3, 3'), hvilke har ulik lengde og avsluttes av elektroder

(5), blir anvendt som mottakere for målinger av medie-responsen.

3. Framgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e -
r i s e r t v e d at en flerhet av vertikalt utsat-
5 te flerlederkabler (3, 3') som hver har én leder inn-
rettet for tilførsel av elektromagnetisk energi, blir
brukt som elektromagnetisk sender som eksiterer et
elektromagnetisk felt i vannmassen (8) og det under-
liggende mediet (83), og andre ledere i kablene (3,
10 3'), hvilke har ulik lengde og avsluttes av elektroder
(5), blir bruk som mottakere for målinger av medie-
responsen.
4. Framgangsmåte ifølge krav 1, 2 eller 3, k a r a k -
t e r i s e r t v e d at én eller en flerhet av mot-
15 takerne er stasjonær(e) under målingene.
5. Framgangsmåte ifølge krav 1, 2 eller 3, k a r a k -
t e r i s e r t v e d at én eller en flerhet av mot-
takerne slepes av et fartøy (1).
6. Framgangsmåte ifølge hvilket som helst foregående
20 krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at den i det
minste ene sender sender ut elektromagnetisk energi i
tidsdomenet som en intermittert serie av strømpulser
med ulik polaritet og med skarp avslutning, og i det
minste én mottaker gjør målinger av tidsdomenerespon-
25 ser under tidsforløp mellom fortløpende strømpulser
når responsen ikke er maskert av senderstrømmen.
7. Framgangsmåte ifølge hvilket som helst foregående
krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at strømpulse-
nes og pausenes varighet blir spesifisert på en slik
30 måte at det tilveiebringes en inntrengningsdybde for
det elektromagnetiske felt overstigende to-tre ganger

eller mer den dybde som reservoaret befinner seg på, fortrinnsvis innenfor et område på 0,1 sekunder til 30 sekunder.

8. Undersøkellesapparat for elektromagnetisk undersøkelse av marine hydrokarbonmål, k a r a k t e r i s e r t v e d at én eller flere generatorer som er innrettet til å kunne generere strømpulser med ulik polaritet med skarp avslutning er tilknyttet et neddykkbart system omfattende:

minst én elektrisk ledning (2, 3, 3') som er innrettet til å kunne sende ut elektromagnetisk energi i en vannmasse (8) og det underliggende mediet (83), samt er innrettet til å kunne motta den vertikale komponent i det elektriske felt, idet minst én av de elektriske ledningene (3, 3') er en vertikalt utsatt flerleder kabel (3, 3') hvor minst én leder er innrettet til ved tilførsel av elektromagnetisk energi fra en generator å kunne eksitere et elektromagnetisk felt i vannmassen (8) og det underliggende mediet (83), og andre ledere i kabelen (3, 3'), hvilke har ulik lengde og avsluttes av elektroder (5), er innrettet til å kunne motta den vertikale komponent i det elektriske felt for registrering av medieresponsen.

9. Overflatefartøy, k a r a k t e r i s e r t v e d at det fører et undersøkelsesapparat i overensstemmelse med krav 8.

10. Datamaskinapparat med innlastede maskinlesbare instruksjoner for gjennomføring av framgangsmåten for en elektromagnetisk undersøkelse i overensstemmelse med hvilket som helst av kravene 1 til 7.

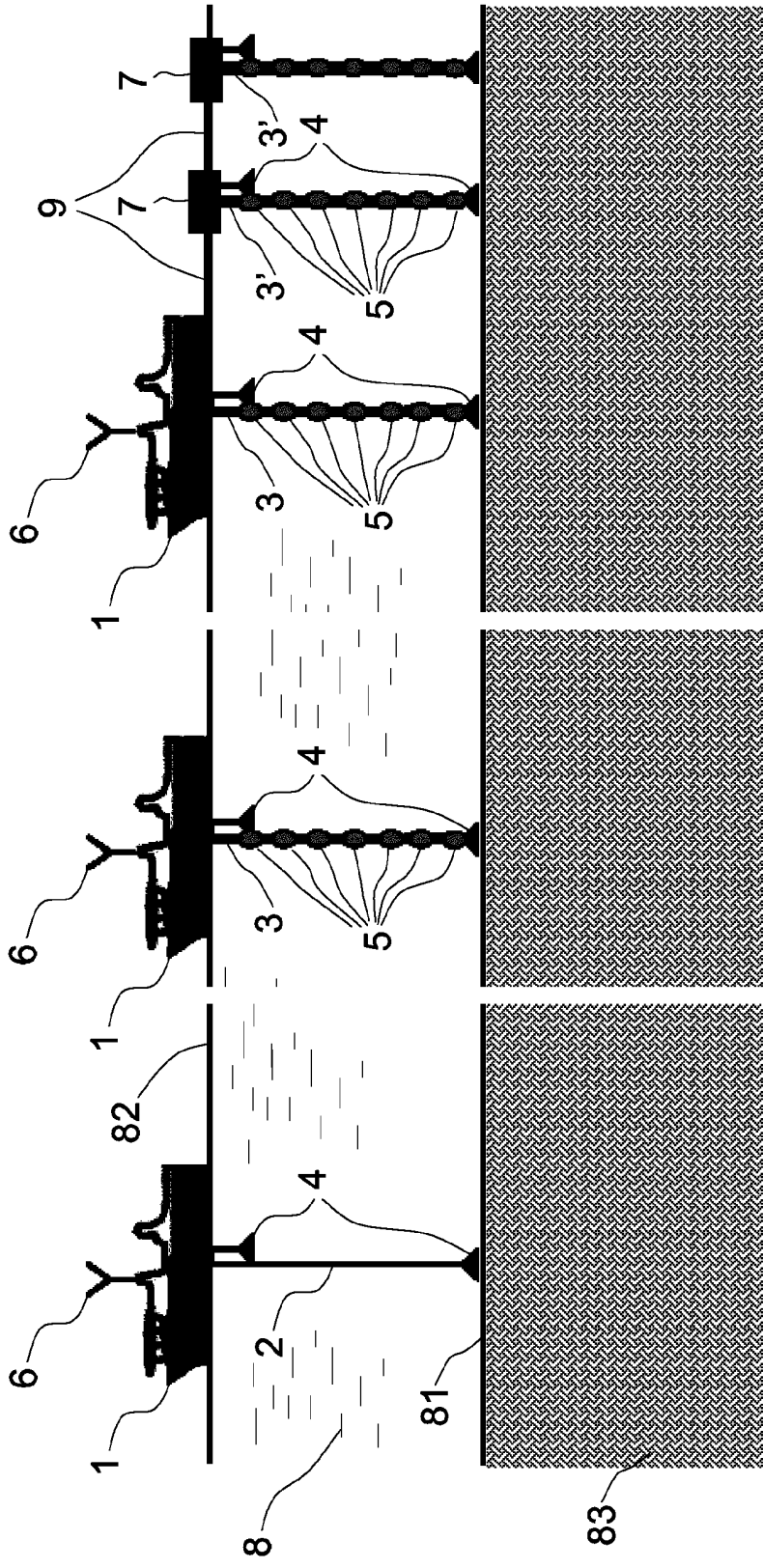


Fig. 1a

Fig. 1b

Fig. 1c

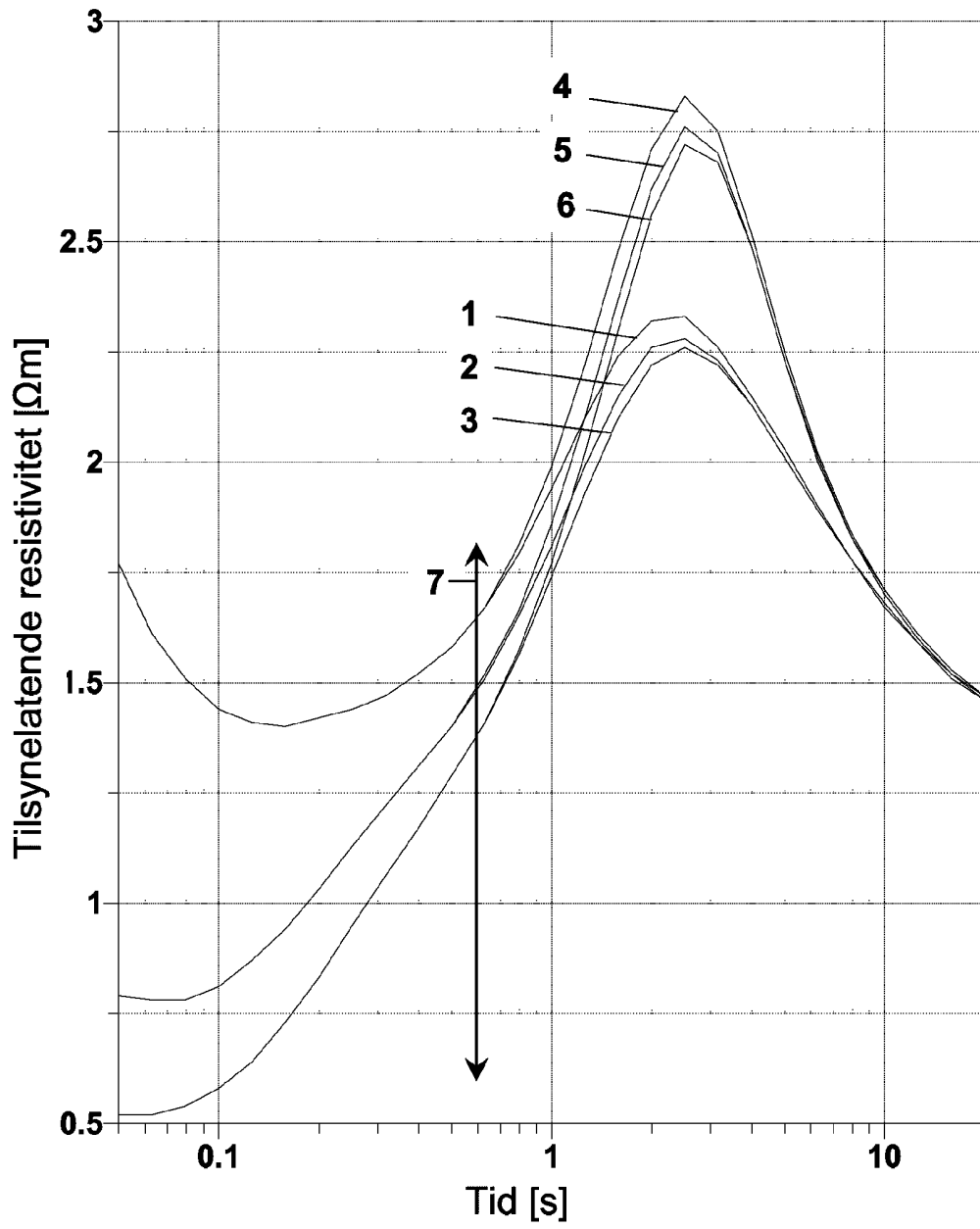


Fig. 2a

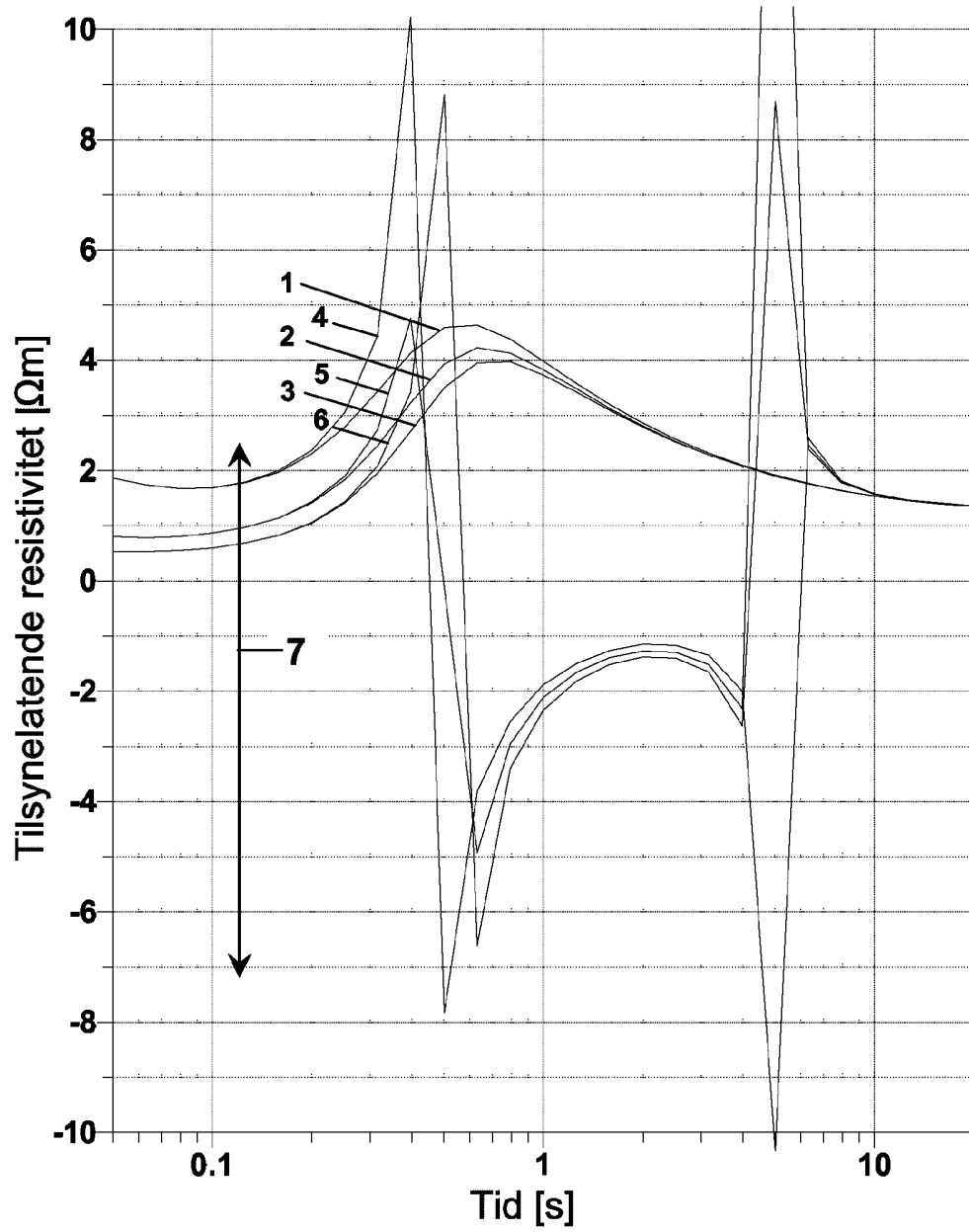


Fig. 2b

4/4

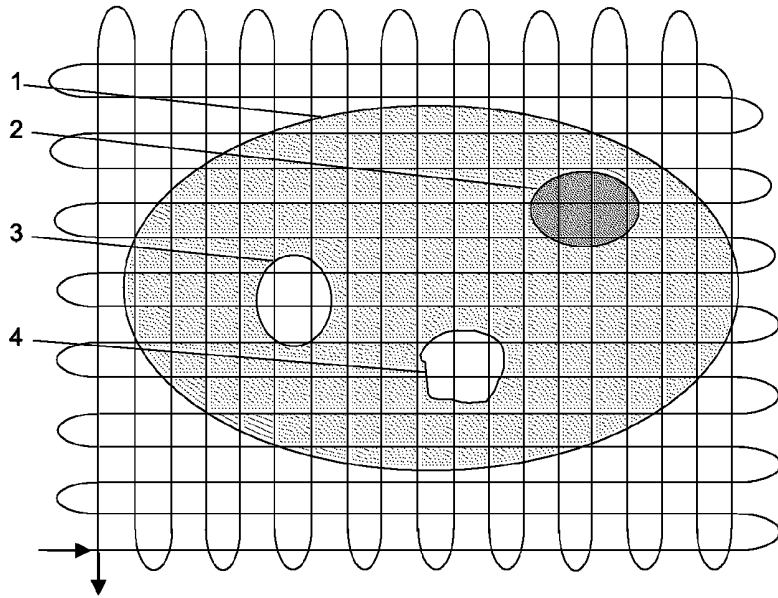


Fig. 3