



(12) **PATENT**

(19) **NO**

(11) **324647**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

G01V 1/28 (2006.01)

G01V 1/50 (2006.01)

G01V 3/38 (2006.01)

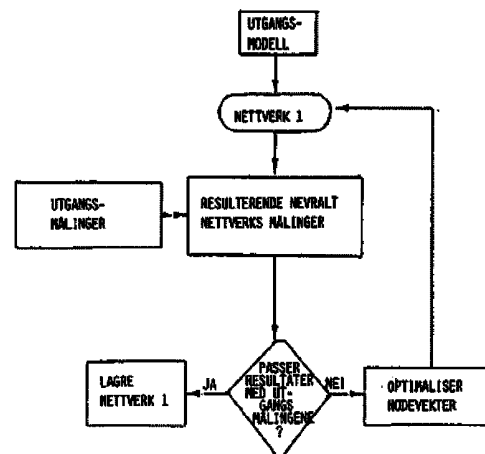
E21B 41/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19974548	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	1997.10.02	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	1997.10.02	(30)	Prioritet	1996.11.01, US, 740792
(41)	Alm.tilgj	1998.05.04			
(45)	Meddelt	2007.11.26			
(73)	Innehaver	Western Atlas International Inc, P.O. Box 1407, Houston, TX 77251-1407, US			
(72)	Oppfinner	Leonty Abraham Tabarovsky, 12126 Via Porta Rosa, TX77429 CYPRESS, US Alberto G Mezzatesta, 8526 Laurel Trace, Houston, TX 77040, US Kurt M Strack, 10811 Holy Springs, Houston, TX 77042, US David R Beard, 10627 Candlewood Drive, TX77042 HOUSTON, US Michael A. Jervis, Houston, TX, US			
(74)	Fullmektig	ABC-Patent, Siviling. Rolf Chr. B. Larsen AS, Postboks 6150 Etterstad, 0602 OSLO			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for forovermodellering av brønnloggerespons
(56)	Anførte publikasjoner	EP 561492
(57)	Sammendrag	

En fremgangsmåte for dannelsen av syntetiske verktøyresponser for et borehullsloggeverktøy for en geologisk formasjon, hvor fremgangsmåten omfatter, i ett henseende, generering av borehullsloggedata for en bestemt del av en geologisk formasjon med et borehullsloggesystem med et borehullsloggeverktøy, en geologisk formasjon med minst ett lag, dannelsen av en geologisk utgangsmodell av den bestemte del av den geologiske formasjonen basert på borehullsloggedataene, innføring av den geologiske utgangsmodell i et trent kunstig nevralt nettverk, f.eks. resident i en regnemaskin, hvor regnemaskinen med det trente kunstige nevrale nettverk prosesserer den geologiske utgangsmodell og dannelsen av syntetiske verktøyresponser for borehullsloggeverktøyet for ett punkt eller for en mengde punkter i den geologiske formasjonen.



Denne oppfinnelsen omhandler systemer for tolking av brønn-loggedata og fremgangsmåter som benytter kunstige nevralt nettverk og, i ett spesielt henseende, til et system og en fremgangsmåte som er anvendelig ved et borehullssted for å forutsi responser fra brønnloggeverktøy og derved forutsi ukjente formasjonsparametere og reservoarbeskrivelser.

Beskrivelse av den kjente teknikk

Kjente brønnloggesystemer og fremgangsmåter gir en rekke forskjellige data om formasjonene som brønnen strekker seg gjennom, omfattende for eksempel resistivitetsdata, (induksjon og galvanisk), akustiske data, vertikalseismiske profildata (VSP), magnetiske data, gravimetrisk data, temperaturdata, og nukleære data. Slike data gir informasjon om forskjellige materialegenskaper om formasjonen, for eksempel porøsitet, permeabilitet, elektrisk konduktivitet, magnetisk susceptibilitet, tetthet og bergarts-akustisk hastighet. I enkelte kjente systemer og fremgangsmåter tolkes og evalueres disse dataene for å forbedre forutsigelsen av olje og gassproduksjon fra et gitt reservoar eller felt, for å finne nye olje- og gassproduksjonszoner, for å fremskaffe et bilde eller modell av formasjonene og av reservoar for å forenkle utvinningen av hydrokarboner, og for å forbedre prosessen med brønnplassering.

Inversjon gir et estimat av materialegenskaper av en formasjon ved å oppdatere og forbedre en geologisk startmodell, som inneholder en materialegenskapsbeskrivelse av de geologiske lagene under overflaten, med en bedre modell inntil en optimal modell oppnås. En instrumentrespons som er numerisk beregnet fra en modell sammenlignes med responsen som virkelig er målt av instrumentene; hvis de passer, er modellen den riktige. Hvis de ikke passer, blir modellen forandret for å forbedre tilpasningen mellom det som er målt og det som er beregnet fra modellen. Oppdateringen kan utføres ved kjent lineær "Inverse Problem Theory", Tarantola, 1987) eller ikke-lineær optimaliseringsfremgangsmåte "Generic Algorithms and Very Fast Simulated Reannealing", Ingber and Rosen, 1992. Numerisk beregning av brønnloggeverktøyresponser

er relativt langsom, selv på kraftige regnemaskiner når man benytter bølgeutbredelse, nukleær eller elektromagnetisk teori. Kjente inversjonsteknikker anvendes for å tolke forskjellige typer av brønnloggedata. Disse teknikkene tar samtidig i betraktning forskjellige borehullsparemetere, innstrømningsparemetere, og lagskulder-effekter med hensyn til et sett av resistivitetsbrønnloggemaalinger. Imidlertid krever konvensjonelle inversjonsteknikker for slike data signifikant eller betydelig beregningstid og anvendes ikke på brønnstedet.

Et kunstig nevralt nettvert gir et kraftig verktøy for tolkning mellom et inngående og et utgående datasett gjennom et distribuert sett av vektorer. Denne interpoleringen oppnås ved et relativt lite antall multiplikasjoner og addisjoner som er mange størrelsesordener hurtigere enn numerisk beregning av verktøyresponser ved å benytte standard elektromagnetisk eller akustisk utbredelsesteori.

Tidligere har nevralt nettverk blitt anvendt hovedsakelig for mønstergjenkjenning og som interpolatorer for datainversjon for å gjendanne en modell (Legget m.fl., 1993 and Poulton m.fl., 1992). Weiner m.fl., (1995) har benyttet et kunstig nevralt nettverk for å estimere permeabiliteten av bergarter i dypet gitt forskjellige typer brønnloggedata.

Enkelte kjente kunstige nevralt nettverk (ANN) består av et nett-arrangement av nevroner, eller noder, forbundet ved synapser eller linker, mye på samme måte som nevroner i menneskehjernen. Komplekse ANN-strukturer har blitt bygget ved å bruke sofistikerte forbindelser av enkle byggeelementer eller noder. Lag av noder dannes og forbindelser etableres mellom nærliggende lag, kalt et "feedforward"-nettverk. Andre oppbygninger omfatter forbindelser mellom ikke-nærliggende lag og til ytterligere nettverk, kalt gjentatte ANNs. Noder kan også arrangeres inn i et kart og forbindelser mellom nodene dannes og modifiseres under treningen av nettverkene, som i selvorganiserende kart ("*Self-Organization and Associative Memory*," Kohonen, 1984).

I menneskehjernen prosesseres informasjon ved summering av alle elektriske impulser inn i et nevron som så forårsaker nevronet å sende ut sitt eget signal. Ved mottakelse av de innkommende elektriske signalene, modifiserer nevronene dem, forandrer deres amplitude og frekvens ved å benytte en aktiveringsfunksjon. Innkommende signal blir så summert før nevronet sender ut sitt eget signal. På en lignende måte forandres signal som kommer inn i ANN ved å multiplisere det innkommende signal med en aktiveringsfunksjon og med en skalar verdi som kalles en vekt. Vektene og aktiveringsfunksjon kan variere fra node til node i ANN. Vanligvis er $inn(x)$ og $ut(f(x))$ -verdiene fra en node gitt ved:

$$f_k(x) = Ew_{kj}R(x)$$

hvor $f_k(x)$ er utsignalet fra node k og w_{kj} er vektene som forbinder den j -te noden til den k -te noden og R er aktiveringsfunksjonen: typisk en hyperbolsk tangensfunksjon ($\tanh(x)$). Etter beregning av verdien av aktiveringsfunksjonen summeres de nye inn-verdiene for noden og ut-verdien sendes til alle nevronene som er direkte forbundet med den stimulerte noden. Signalet sendes gjennom nettverket til ut-nodene hvor responsen lagres. Som i menneskehjernen kan ANN trenes til å gjenkjenne mønstre og til å gi en passende respons til et gitt inngangssignal. Vektene i nettverket modifiseres gjennom trening inntil utgangsresponsen på alle gitte inngangssignal blir korrekt.

I kjente teknikker for å trene et ANN, dannes et treningssett av eksempler, ved å benytte standard numeriske simuleringsteknikker. Vanligvis inneholder et treningssett tusener av data, (for eksempel teoretiske data) dannet fra tusener av forskjellige modeller. Treningen består av å finstemme settet av vektorer i nodene slik at alle inngangsmodeller gir den riktige respons. Ved begynnelsen av treningen velges node-vektene tilfeldig. En modell som tilsvarer til et element i treningssettet gis som inndata til det nevralt nettverket og en eller flere resultater genereres av nettverket. Disse utgangsresultatene sammenlignes med rådataene eller et numerisk estimat basert på rådata. Hvis utgangskurvene ikke passer med dataene justeres vektene,

enten ved tilbakevirkning (se, f.eks. US-patent 5,134,685 og 5,107,442), eller en ikke-lineær optimaliseringsfremgangsmåte slik som simulert herding (Ingber og Rosen, 1992) for å forbedre tilpasningen mellom de to sett med kurver. Alle elementene i treningssettet føres inn i nettverket, ett om gangen, inntil alle elementene har blitt ført inn i nettverket. Alle utgangskurvene og dataene sammenlignes og når vektene har stabilisert seg, dvs. når de ikke forandrer seg under fortsatt trening, eller når de blir utsatt for treningssettet, og utgangssettet passer med det forventede utgangsresultat for alle elementene i treningssettet, så er ANN å anse for ferdig trent. En modell som ikke er i treningssettet introduseres så i ANN og det riktige resultat kommer ut. ANN har også en evne til å ekstrapolere responser når det står overfor en modell som inneholder verdier som lå utenfor dem som det ble trent med. ANN er beskrevet generelt i US-patent nr. 5,554,273, 10. september 1996.

Oppfinnerne har lenge oppfattet et behov for brønnlogge-datamodelleringssystemer og fremgangsmåter som på en nøyaktig måte fremskaffer nøyaktige og akseptable resultater på vesentlig kortere tid enn kjente systemer og som kan anvendes på brønnstedet med mange forskjellige slags brønnloggedata og verktøy. Det har lenge vært et behov for blant oppfinnerne for slike systemer og fremgangsmåter som anvender trente ANNER. Det har lenge vært behov for en forbedret fremgangsmåte for å trene et ANN i slike systemer og for slike fremgangsmåter.

Sammendrag av den foreliggende oppfinnelse

Denne oppfinnelsen omhandler system og fremgangsmåter som benytter et ANN, fortrinnsvis et trent ANN, for forovermodellering for å utlede prediktive data fra en geologisk modell (heller enn det vanlige formål for inversjonsprosedyrer C for å utlede en modell fra rådata). Slike systemer ifølge oppfinnelsen som benytter et ANN, fremskaffer prediktive eller forutseende verktøyresponser for alle inngangsmodeller for en bestemt type brønnloggeverktøy. Dette reduserer eller eliminerer behovet for tidkrevende numeriske beregninger på grunnlag av verktøymålinger.

Systemer ifølge denne oppfinnelsen som benytter et ANN, mottar en geologisk inngangsmodell eller modeller (basert på virkelige data innhentet av virkelige verktøy), og gir som resultat den passende verktøyrespons (for eks. men ikke
5 begrenset til nukleære, elektromagnetiske, akustiske brønn-loggeverktøy). Responser kan genereres for mange forskjellige geologiske modeller. Et separat ANN, i bestemte henseende, dannes for hver type av brønnloggeverktøy. Hvert slikt ANN kan ha sitt eget treningsdatasett av brønnloggeverktøy-
10 responser (disse treningsdatasettene inneholder målte virkelige rådata for en virkelig formasjon eller syntetiske responser basert på slike data).

Den foreliggende oppfinnelse bruker et ANN for å danne brønnloggeverktøyresponser, for eksempel akustisk, nukleær,
15 seismisk, elektrisk, gravimetrisk eller elektromagnetiske verktøyresponser, gitt et modellestimat av geologien som omgir et borehull eller en brønn. ANN løser forovermodelleringsproblemet for å estimere data (verktøymålinger) fra modellparametrene som f.eks. bergartstetthet, elektrisk
20 konduktivitet eller resistivitet, akustisk bølgeutbredelses-hastighet og porøsitet. Med verktøyresponsen fremskaffet av ANN, oppnås en mer nøyaktig modell ved hjelp av lokale eller globale optimaliseringsteknikker (se US-patent 5,377,307). Ifølge denne oppfinnelsen løses forovermodelleringsproblemet
25 iterativt ved hjelp av et ANN, fortrinnsvis et trent ANN, og forandringer gjøres inntil modellen resulterer i en bedre tilpasning mellom de beregnede verktøyresponsene og dem oppnådd ved direkte målinger.

I bestemte henseende omfatter modellen av den geologiske undergrunnen for treningene av ANN variasjoner i material-
30 egenskaper i en, to og/eller tre romlige dimensjoner, dvs. hvor egenskaper kan variere med økende avstand fra borehullet, langs forskjellige asimutretninger eller retninger fra borehullet, og hvor materialegenskaper varierer med
35 dybden i borehullet.

Denne oppfinnelsen viser i bestemte utførelser et system for innsamling og bruk av borehullsloggedata for formasjonsmodellering og en fremgangsmåte som anvender et kunstig

nevralt nettverk (ANN) som er vesentlig hurtigere enn tidligere kjente fremgangsmåter og som kan benyttes på brønnstedet.

I ett henseende, ifølge en fremgangsmåte for å trene et ANN ifølge denne oppfinnelsen, innsamler et borehulls-loggeverktøy et startsett av data for et antall punkt eller areal i en formasjon. Et sett med modeller eller et treningssett (enten virkelige og/eller syntetiske verktøyrespons) for formasjonen dannes basert på det opprinnelige borehulls-loggedatasett for en enkelt eller flerlagsformasjon. Dataene kan omfatte mange datapunkter for hvert lag. En modell eller inngangsmodell fra treningssettet føres inn i et kunstig nevralt nettverk (ANN) for å danne en utgangsrespons av prediktive syntetiske verktøyrespons for et bestemt brønn-loggeverktøy. De resulterende syntetiske utgangsresponsene sammenlignes med teoretiske responsene og/eller virkelige respons for bundet med den angjeldende initiale geologiske modellen for å bestemme mengden av mistilpasning, hvis noen, mellom inngangsmodellen og de resulterende syntetiske dataene. Hvis det ikke er noen mistilpasning eller hvis mistilpasningen er akseptert (f.eks. en 5% forskjell eller mindre og helst omkring 1,5% forskjell eller mindre) lagres ANN uten videre forandring eller trening. Hvis mistilpasningen ikke er akseptert, optimaliseres nodevektene i nettverket (for eksempel ved tilbakeforplantning ifølge den kjente teknikk) dannes en annen utgangsrespons ved hjelp av det optimaliserte nettverk, og igjen sammenlignes utgangsresponsen med de tilhørende verktøyrespons (ekte eller og/eller syntetiske) for den angjeldende inngangsmodell. Dette siste trinnet gjentas inntil en akseptabel ANN oppnås.

I ett henseende av systemer og fremgangsmåter ifølge denne oppfinnelsen, for ett bestemt verktøy trenes et første ANN med den geologiske modelltreningssett som beskrevet ovenfor, som gir et trent ANN med ett sett vekter eller koefisienter assosiert med nodene i det trente ANN. Et andre ANN benytter så både det første innførte geologiske modell-treningssett og den resulterende syntetiske verktøyrespons for det første ANN, og danner dermed et andre ANN utgangssett

av syntetiske verktøyresponser. Dette resulterende sett er et annet verktøyresponssett assosiert med verktøyresponsene for den bestemte inngangsmodell. Denne prosedyren gjentas inntil det andre ANN er tilfredsstillende trent.

- 5 Innlevert samme dato som denne oppfinnelsen, og med samme søker, er en oppfinnelse patentsøkt i USA med tittelen "Well Logging Data Interpretation Systems And Methods". Enkelte systemer og fremgangsmåter beskrevet i den søknaden kan ha forskjellige 1-D, 2-D, og 3-D fremovermodelleringstrinn og inversjonfremgangsmåter som anvender en oppslagstabell. 10 Noen eller alle slike trinn kan forbedres ved å benytte et trent ANN ifølge denne oppfinnelsen.

- Systemene og fremgangsmåtene ifølge denne oppfinnelsen kan benyttes for å gi ut resistivitet, akustisk, vertikal 15 seismisk profilering (VSP), magnetisk, gravitasjons, temperatur og nukleære logge-syntetiske (dvs. prediktive, ekstrapolerende og/eller interpolerende) data; og systemer ifølge denne oppfinnelsen kan anvende hvilket som helst loggeverktøy for å samle inn slike data.

- 20 Denne oppfinnelsen viser, i noen aspekter, en fremgangsmåte for forovermodellering for å danne syntetiske verktøyresponser for et borehullsloggeverktøy for en geologisk formasjon med ett lag eller to eller flere lag, hvor fremgangsmåten omfatter å danne borehullsloggedata for en 25 bestemt del av en geologisk formasjon med et borehulls-loggesystem som omfatter et borehullsloggeverktøy plassert i formasjonen (dette trinnet er et valgfritt trinn) dannelsen av en geologisk utgangsmodell basert på brønnloggedata, innføring av den geologiske utgangsmodell til et første trent kunstig nevralt nettverk, og prosessering av den geologiske 30 utgangsmodell med det primære kunstig trente nettverk for å danne en resulterende modell som omfatter et sett med syntetiske loggeverktøyresponser for borehullsloggeverktøyet for minst ett punkt eller for en mengde av punkter i den 35 geologiske formasjonen; en slik fremgangsmåte hvor borehullsloggedataene er data fra gruppen som består av elektriske resistivitetsdata, akustiske data, seismiske data, vertikal-seismiske profildata, magnetiske data, gravimetrisk data,

temperaturdata og nukleære data; en slik fremgangsmåte hvor det primære trente kunstige nevrale nettverk er dannet ved en fremgangsmåte som omfatter trening av et første kunstig nevralt nettverk med et utgangstreningssett, hvor utgangstreningssettet omfatter en mengde geologiske modeller basert på borehullsloggedata og videre omfatter en mengde av borehullsloggedataresponser assosiert med hver geologisk modell, dannelse av et første kunstig nevralt nettverk, videre følger dannelse av et første resulterende sett av syntetiske loggeverktøyresponser for brønnloggeverktøyet med det først trente kunstige nevrale nettverket, og innføring til et andre kunstig nevralt nettverk av både den initiale geologiske modelltreningssettet og det første resulterende settet av syntetiske verktøyresponser for brønnloggeverktøyet, dannelse av et andre trent kunstig nevralt nettverk som så tjener som det første trente kunstige nevrale nettverk; hvilket som helst slik fremgangsmåte omfattende sammenligning av borehullsloggedata med de syntetiske verktøyresponsene av den resulterende modellen for å bestemme en mengde av mistilpasning mellom dem, hvis mistilpasningen er akseptabel, lagring av den resulterende modell for påfølgende bruk, og, hvis mistilpasningen ikke er akseptabel, videre trening av det primære trente kunstige nevrale nettvert for å danne et sekundært trent kunstig nevralt nettverk dannelse av et sekundært trent kunstig nevralt kunstig nettverk og dannelse av en sekundær resulterende modell som omfatter et sett av sekundære syntetiske verktøyresponser, og sammenligning av borehullsloggedataene med settet av sekundære syntetiske loggeverktøyresponser for å bestemme graden av mistilpasning mellom dem, hvis mistilpasningen er akseptabel, lagring av den sekundære resulterende modell, og hvis mistilpasningen ikke er akseptabel, ny trening av det sekundære kunstige nevrale nettverk som danner et tertiært kunstig nevralt nettverk; en slik fremgangsmåte hvor den akseptable mistilpasning ikke er mer enn 40%; en slik fremgangsmåte hvor den akseptable mistilpasning ikke er mer enn 10%; en slik fremgangsmåte hvor det primære trente kunstige nevrale nettverk har en mengde noder og videre

trening av det primære trente kunstige nevrale nettverk omfattende optimalisering av nodene i det primære trente kunstige nevrale nettverk; en slik fremgangsmåte hvor nodene optimaliseres ved tilbakeforplantning, en slik fremgangsmåte

5 for dannelselse av et andre trent ANN omfattende sammenligning av borehullsloggedata med de syntetiske verktøyresponsene av en sekundært resulterende modell dannet ved det andre trente kunstige nevrale nettverk for å bestemme graden av mistilpasning mellom dem, hvis mistilpasningen er akseptabel, lagring

10 av den sekundære resulterende modell, og dersom mistilpasningen ikke er akseptabel (f.eks. mer enn 10%, 5% eller 1,5%), videre trening av det andre trente kunstige nettverk og dannelselse av et tertiær trent kunstig neuralt nettverk og dermed dannelselse av en tertiær resulterende modell som

15 omfatter et tertiært sett av syntetiske loggeverktøy-responser, og sammenligning av brønnloggedataene med det tertiære settet av verktøyrespons for å avgjøre graden av mistilpasning mellom dem, og hvis mistilpasningen er akseptabel, lagring av den tertiære resulterende modell for

20 påfølgende eller senere bruk, og hvis mistilpasningen ikke er akseptabel, ny trening av det tertiære kunstige nettverk og dannelselse av et fjerde kunstig nevralt nettverk; en fremgangsmåte hvor det sekundære trente kunstige nettverk har en mengde av noder og den videre trening av det sekundære trente

25 kunstige nettverk omfatter optimalisering av nodene i det sekundære trente kunstige nevrale nettverk; hvilken som helst slik fremgangsmåte hvori fremgangsmåten utføres på brønnstedet med et borehull som strekker seg inn i formasjonen, borehullsloggeverktøyet er plassert i borehullet; en slik

30 fremgangsmåte som omfatter utførelse av en påfølgende boreoperasjon på brønnstedet basert på den resulterende modell; en slik fremgangsmåte hvor den påfølgende borehullsoperasjonen er fra gruppen som omfatter perforering av brønnhullsforing for å produsere hydrokarboner fra formasjonen;

35 boring dypere i formasjonen; boring av minst en sidegren av borehullet; plugging og forlating av borehullet; og fjerning av borehullsloggeverktøyet fra borehullet og så kjøring av

minst ett ytterligere borehullsloggeverktøy i borehullet og bruk av det borehullsverktøyet i borehullet.

Det er derfor et formål med minst en foretrukket utførelse av oppfinnelsen å fremskaffe:

5 Nye, nyttige, enestående, effektive, ikke-opplagte systemer og fremgangsmåter for innsamling av borehullslogge-data og bruk av disse med et trent ANN fog å danne en formasjonsmodell; for trening av et ANN; og, i noen aspekter, for vesentlig hurtigere analyse og tolkning av data;

10 Slike systemer og fremgangsmåter som resulterer i en stabil og nøyaktig geologisk modell for å forutsi formasjonsparametere hvor ekte råloggedata ikke har blitt oppnådd;

Slike systemer som kan brukes på brønnstedet eller på en plass fjernt fra brønnstedet; og

15 Slike systemer og fremgangsmåter som bruker forskjellige varierende borehullsloggeverktøy som prosesserer forskjellige typer av borehullsloggedata, som benytter et trent ANN, og som fremskaffer et sett av syntetiske verktøyresponser.

20 Spesielle utførelser av denne oppfinnelsen er ikke begrenset til noe bestemt enkelttrekk vist her, men omfatter kombinasjoner av dem som skiller seg fra den kjente teknikk i sine strukturer og funksjoner. Trekk ved oppfinnelsen har blitt vidt beskrevet slik at den detaljerte beskrivelsen som følger, bedre kan forstås, og med den hensikt at bidragene av
25 denne oppfinnelsen til faget bedre skal bli forstått. Det finnes naturligvis tilleggsaspekter ved oppfinnelsen beskrevet nedenfor og som kan være omfattet i kravsettet til denne oppfinnelsen. Fagfolk som har fordeler av denne oppfinnelsen, dens lære og forslag vil forstå at begrepene i denne
30 beskrivelsen kan benyttes som en kreativ basis for å designe andre strukturer, fremgangsmåter og systemer for å utføre og praktisere denne oppfinnelsen. Kravsettet i denne oppfinnelsen skal leses slik at det omfatter alle juridisk tilsvarende anordninger eller fremgangsmåter som ikke avviker fra denne
35 oppfinnelsens idé og ånd.

Denne oppfinnelsen gjenkjenner og retter seg mot de tidligere nevnte problemer og lenge opplevde behov og gir en løsning på disse problemene og tilfredsstiller disse behovene

i sine forskjellige mulige utførelser og ekvivalenter av disse. For en fagmann som har fordeler av oppfinnelsens utførelser, lære, beskrivelser og forslag, vil andre hensikter og fordeler forstås fra den følgende beskrivelsen av foretrukne utførelser, gitt med henblikk for beskrivelse, når de tas i sammenheng med de medfølgende tegningene. Detaljene i disse beskrivelsene er ikke ment å utvide eller begrense dette patentets omfang uansett hvordan andre måtte tilsløre det ved variasjoner i utseende eller form, eller tillegg av videre forbedringer.

Figurbeskrivelse

En mer bestemt beskrivelse av utførelser av oppfinnelsen som ble kort oppsummert ovenfor kan fås med henvisning til utførelser som er vist i tegningene som utgjør en del av dette patentskriftet. Disse tegningene illustrerer bestemte foretrukne utførelser og må ikke forstås som begrensende for urettsmessig å begrense omfanget av oppfinnelsen som kan ha andre like effektive eller juridisk ekvivalente utførelser.

Fig. 1a og 1b er skjematisk representasjoner av et system og en fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen.

Fig. 2 er en representasjon av et trent nevralt nettverk ifølge oppfinnelsen.

Fig. 3a viser en skjematisk modell av en geologisk formasjon.

Fig. 3b viser et planriss av den skjematisk modellen i fig. 3a.

Fig. 4a viser en enkel utgangsmodell utviklet ifølge oppfinnelsen.

Fig. 4b viser en typisk elektrisk loggemåling dannet ved utgangsmodellen.

Fig. 4c viser en resulterende verktøyrespons basert på det nevrale nettverk ifølge oppfinnelsen og overlagt på utgangsmodellen fra figur 4a.

Beskrivelse av utførelser foretrukket ved patent-søknadens innleveringsdato.

Figur 1a og 1b illustrerer et system og en fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen for trening av kunstige nevrale nettverk for bruk i systemer og fremgangsmåter ifølge denne oppfinnel-

sen for forovermodellering av syntetiske verktøyresponser for et bestemt borehullsloggeverktøy. Et borehullsloggeverktøy samler inn data fra en formasjon for et utgangsdasett som benyttes for å danne en geologisk modell (som kan være en gruppe av modeller) ("UTGANGSMODELL"). Alternativt, basert på kjente rådata oppnådd ved hjelp av et bestemt verktøy i forskjellige virkelige formasjoner, en utgangsmodell dannes på grunnlag av syntetiske heller enn rådata. Alle kjente fremgangsmåter eller hvilken som helst fremgangsmåte beskrevet her kan anvendes for å danne den geologiske utgangsmodell.

Figur 1a viser en geologisk modell (f.eks. et sett av en eller flere modeller fra et treningssett) som innføres (multiple modeller innføres serielt) til et kunstig nevralt nettverk ("NETTVERK1"); dvs. den geologiske modell ("UTGANGSMODELL"), et sett av spesifikke verdier for spesifikke formasjonsparametere, føres inn i et ANN som er definert ved og omfattet av et datamaskinprogram som ligger i regnemaskinen. ANN-programmet prosesserer den geologiske modellen og gir verktøyresponser tilsvarende så nært som mulig dem som er i den geologiske utgangsmodellen. Resulterende verdier (syntetiske verktøyresponser) dannet ved ANN ("RESULTERENDE NEVRALE NETTVERKSMÅLINGER"), sammenlignes med de ekte data ("INNGANGSMÅLINGER") (ekte rådata og/eller syntetisk utviklede data for et reelt verktøy og en reell formasjon) ("PASSER RESULTATET MED INNGANGSMÅLINGER?") og en mengde av mistilpasning beregnes. Hvis den totale mistilpasning er akseptabel ("JA") (f.eks. en 40% grad av forskjell eller mindre, helst 20% eller mindre, og aller helst 10% eller mindre), er ANN akseptabel og lagres for fremtidig bruk ("LAGRE NETTVERK 1"). Hvis graden av mistilpasning ikke er akseptabel ("NEI"), så blir ANN trent på ny (nodene endres og rekalkuleres og optimaliseres som beskrevet nedenfor, for eksempel ved kjente tilbakeforplantningsteknikker) ("OPTIMALISER NODEVEKTER") og det resulterende rekalkulerte nettverk benyttes for å danne et annet sett av resulterende verdier som igjen testes (mot reelle data og/eller syntetiske data) for akseptabel mistilpasning som beskrevet nedenfor.

Figur 1b illustrerer en fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen for dannelsen av et trent kunstig nevralt nettverk ("LAGRE NETTVERK 2") som er lignende på fremgangsmåten i figur 1a, men som omfatter som utgangspunkt for nettverket som skal trenes ("NETTVERK 2") både den opprinnelige geologiske modell ("UTGANGSMODELL") og et resulterende sett av syntetiske verktøyresponser fra det tidligere trente kunstige nevrale nettverk ("NETTVERK 1") trent som beskrevet for figur 1a. Resten av prosedyren i fremgangsmåten i figur 1b er lik den i figur 1a. I bestemte foretrukne utførelser er graden av mistilpasning (mistilpasning som beskrevet og forklart ovenfor) for det resulterende trente ANN er i en foretrukket utførelse 5% eller mindre, helst 2% eller mindre, og aller helst 1,5% eller mindre.

Figur 2 illustrerer skjematisk et system ifølge oppfinnelsen med et trent ANN. Det som mates inn er den geologiske utgangsmodell, f.eks. virkelige formasjonsparameterverdier, 1, 2, inntil 25 eller flere. Hvilket som helst ønsket antall av verdier kan brukes og verdier for mange forskjellige formasjonsparametere kan brukes samtidig. En utgangsmodell eller modeller bearbeides av utgangslag i ANN, som danner resultater tilsvarende med dataene i utgangsmodellen. ANN-midtlaget ("Skjult Lag") mottar resultatene fra utgangslagets noder og prosesserer dem ifølge bestemte formler (f.eks. som beskrevet på side 3 her). Midtlaget (som alle lag) representerer et sett med vekter eller "noder" i ANN (de åpne sirklene). Hver midtlags node i ANN er forbundet matematisk med hver utgangsnoder (1, 2,...25) og med hver resulterende node (1, 2,...50) og den forbindelsen er uttrykt ved en koeffisient. Hver node i hvert lag representerer en serie av summer og multiplikasjoner (f.eks. som beskrevet ovenfor på side 3). Midtlagsresultatene er utgangspunktene for de øvre resulterende lag. ANN blir så spurt om å danne syntetiske data for de resulterende punkter. ANN danner de resulterende verdier, ("Resultater") f.eks. verdier 1, 2 opp til 50 eller flere (syntetiske verktøyresponser) for den bestemte utgangsmodell. Hver line mellom hvilke som helst to sirkler i de første to nivåer i figur 2 representerer en

bestemt lineær kombinasjon av vektete utgangsverdier. På samme måte er hver resulterende verdi er en linear kombinasjon av de veide koeffisienter for alle lagene i figur 2. Systemet kan således fremskaffe syntetiske responser som ikke er en del av utgangsmodellen.

Figurene 3a og 3b illustrerer en bestemt 2-D geologisk modell (utgangsmodell) for bruk i systemer og fremgangsmåter ifølge oppfinnelsen. Et utgangsdatasett for modellen i figur 3a omfatter resistivitetsdata innsamlet ved et resistivitets-borehullsloggeverktøy. Et typisk borehull strekker seg gjennom et geologisk lag av en geologisk formasjon i undergrunnen. Ett eller flere slike lag kan brukes for utgangsmodellen. Modellen omfatter en mengde parametere:

R_m = resistivitet av boreslam i borehullet

R_{xo} = resistivitet av den utvaskede sone

R_{an} = resistivitet av overgangssonen

R_t = resistivitet av den uberørte sonen

Di er den gjennomsnittlige diameter av den utvaskede sone. BHD er borehullets diameter. Da er den gjennomsnittlige diameter av overgangssonen. Utgangsdatasettet i utgangsmodellen omfatter verdier for de forskjellige parametrene illustrert i figur 3a omfattende den uberørte sonens parametere. Sonen invadert av borehullsfluid omfatter den utvaskede sonen og overgangssonen.

Figur 4a illustrerer en geologisk utgangsmodell som benytter resistivitetsdata (i Ohm-meter) hvis verdier tjener som utgangsverdier for ANN (se figurene 1a, 1b, og 2). Figur 4A viser forskjellige reelle resistivitetsverdier for en flerlags formasjon. For dette bestemte borehullet, er borehulldiameteren åtte tommer, og invasjonisdiameteren (L_{xo}) varierer fra null til tjue tommer. Den midterste dybdeskalaen (5, 10, 15...) er i fot. Ifølge den geologiske utgangsmodell, er den uberørte sonens resistivitet (R_t) vist ved en hel linje; den utvaskede sonens resistivitet (R_{xo}) er vist ved en stiplet linje; og boreslammets resistivitet (R_m) er vist ved en brutt linje.

Figur 4b viser verktøyresponser (enten rådata eller syntetisk generert; f.eks. den UTGANGSMÅLINGER-blokken i fig. 1a) for verktøyet brukt for å samle inn dataene i fig. 4a.

Figur 4c illustrerer et resultat av en trent ANN, i.e.
5 et sett av syntetiske verktøyresponser (f.eks. blokken
RESULTERENDE NEVRALE NETTVERK MÅLINGER i figur 1a) generert
ved et system og fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen overlagret
på den geologiske utgangsmodell fra figur 4a. I en ANN-
treningssituasjon ville mistilpasningen bli revurdert, f.eks.
10 i sammenheng med et ANN resultat som vist i figur 4c og
verktøyresponser som vist i figur 4b.

Ved å benytte en mengde geologiske utgangsmodeller som i
figur 4a (f.eks. for mange forskjellige formasjonsparametere,
og en tilsvarende mengde eller flerhet av resulterende
15 verktøyresponser som i figur 4b), et treningssett er dannet
for opptrening av et nevralt nettverk.

Vedlagt her og som en inkorporert del i denne søknaden
er et regnemaskinprogram kalt Train 1.C (sidene 1-70) som
definerer og er en utførelse av et kunstig nevralt nettverk
20 ifølge oppfinnelsen (f.eks. som vist i figurene 1a og 1b).
Dette programmet inneholder materiale som er gjenstand for
copyright beskyttelse. Faksimilereproduksjon av hvem som
helst av dette patentskrivet eller patentet, som det fremstår
i USPTOs patentarkiver, er lovlig, men ellers er alle
25 kopieringsrettigheter uansett reservert. Dette ANN kan brukes
i de fremgangsmåter beskrevet her.

I en fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen er et system
ifølge oppfinnelsen plassert på et brønnsted, og et bore-
hullsloggeverktøy i systemet i et borehull samler inn et sett
30 med borehullsloggerådata for en bestemt del av en formasjon
omkring borehullsloggeverktøyet. Systemet, i dette henseende,
omfatter en regnemaskin som er hensiktsmessig programmert for
å prosessere borehullsloggedataene for å danne en geologisk
utgangsmodell. Et trent kunstig nevralt nettverksprogram som
35 ligger resident i regnemaskinen prosesserer så den geologiske
utgangsmodell for å danne en resulterende modell av
syntetiske verktøyresponser for deler av formasjonen. Denne
informasjon (den resulterende modell) blir så brukt som deler

av en avgjørelsesprosess på brønnstedet som tar i betraktning et antall av forskjellige mulige videre trinn, omfattende men ikke begrenset til: enten for å produsere brønnen; på hvilken lokalitet skal man perforere en foret brønn; om man skal bore
5 ett eller flere horisontale eller multilaterale borehull eller ikke; om man skal bore dypere eller ikke; om man skal plugge og oppgi brønnen; og om man skal kjøre nye verktøy inn i borehullet, f.eks. for å samle inn mer data eller for å teste formasjonen. Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan
10 omfatte hvilke som helst eller en kombinasjon av hvilke som helst av disse videre trinnene.

Konklusjonen er derfor at man ser at denne oppfinnelsen og utførelsene som er vist her og det som dekkes av kravsettet er anvendbart for å utføre hensiktene og å nå målene
15 som er fremsatt. Noen endringer kan gjøres i stoffet uten å forlate oppfinnelsens mål og omfang. Man innser at forandringer er mulige innenfor denne oppfinnelsens ramme og det blir videre påtenkt at hvert element eller trinn nevnt i hvilke som helst av de følgende krav skal forstås som
20 refererende til alle ekvivalente elementer eller trinn. De følgende krav er ment å skulle dekke oppfinnelsen så bredt som lovlig mulig i samme hvilken form den skulle bli utnyttet.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for forovermodellering for å danne syntetiske verktøyresponser for et borehullsloggeverktøy for
5 en geologisk formasjon med minst ett lag, med borehullslogge-
verktøyet plassert i et borehull i den geologiske forma-
sjonen, der fremgangsmåten omfatter følgende trinn:
 dannelse av en geologisk utgangsmodell av den geologiske
 formasjonen basert på borehullsloggedataene,
10 innføring av den geologiske utgangsmodell i et primært
 trent kunstig nevralt nettverk,
 prosessering av den geologiske utgangsmodell med det
 primære trente kunstige nevrale nettverk for å danne en
 resulterende modell som omfatter et sett av syntetiske
15 verktøyresponser for borehullsloggeverktøyet for minst ett
 punkt i den geologiske formasjonen.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, der borehullsloggedataene
er data fra gruppen bestående av: elektrisk-resistivitets-
20 data, akustiske data, seismiske data, vertikalseismisk-
profileringsdata, magnetiske data, gravimetrisk data,
temperaturdata, og nukleære data.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1, der det minst ene punktet i
25 den geologiske formasjonen er et flertall av punkter.
4. Fremgangsmåte ifølge krav 1, der det minst ene laget i
den geologiske formasjonen er et flertall av lag, og at det
minst ene punktet i den geologiske formasjonen er et flertall
30 av punkter.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 1, der det primære trente kunstige nevrale nettverk blir dannet ved en fremgangsmåte omfattende følgende trekk:

- 5 opptrening av et første kunstig nevralt nettverk med et
utgangstreningssett, hvor utgangstreningssett omfatter en
mengde geologiske modeller basert på borehullsloggedata og
videre omfattende et sett av borehullsloggeverktøyresponser
assosiert med hver geologiske modell, for å danne et første
trent kunstig nevralt nettverk,
- 10 dannelse av et første resulterende sett av syntetiske
verktøyresponser for borehullsloggeverktøyet med det første
trente kunstige nevrale nettverket,
- 15 innføring til et andre kunstig nevralt nettverk av både
det geologiske utgangsmodelltreningssett og det første resul-
terende sett av syntetiske verktøyresponser for borehulls-
loggeverktøyet, og dannelse av et andre trent kunstig nevralt
nettverk som så tjener som det primære trente kunstige
nevrale nettverket.

- 20 6. Fremgangsmåte ifølge krav 1, som videre omfatter
følgende trinn:

- sammenligning av borehullsloggedataene med de syntetiske
verktøyresponser av den resulterende modellen for å bestemme
graden av mistilpasning mellom dem,
- 25 hvis mistilpasningen er akseptierbar, lagring av den
resulterende modellen for senere bruk, og
- hvis mistilpasningen ikke er akseptierbar, videre opp-
trening av det primære trente kunstige nevrale nettverk som
danner et sekundært trent kunstig nevralt nettverk og som
- 30 dermed danner en sekundært resulterende modell som omfatter
et sett av sekundære syntetiske verktøyresponser, og sammen-
ligning av borehullsloggedataene med settet av sekundære
syntetiske verktøyresponser for å bestemme graden av mistil-
pasning mellom dem,

hvis mistilpasningen er akseptert, lagring av den sekundære resulterende modell, og hvis mistilpasningen ikke er akseptert, ny opptrening av det sekundære kunstige nevralt nettverk som danner et tertiært kunstig nevralt nettverk.

7. Fremgangsmåte ifølge krav 6, der akseptert mistilpasning ikke er mer enn 40%.

8. Fremgangsmåte ifølge krav 6, der akseptert mistilpasning ikke er mer enn 10%.

9. Fremgangsmåte ifølge krav 6, der det primære trente kunstige nevralt nettverk har en mengde noder, og videre opptrening av det primære trente kunstige nevralt nettverk som omfatter optimalisering av nodene i det primære trente kunstige nevralt nettverk.

10. Fremgangsmåte ifølge krav 9, der nodene er optimalisert ved tilbakeforplantning.

11. Fremgangsmåte ifølge krav 5, som videre omfatter følgende trinn:

sammenligning av borehullsloggedataene med de syntetiske verktøyresponser i en sekundær resulterende modell dannet ved det andre trente kunstige nevralt nettverk for å bestemme graden av mistilpasning mellom dem,

hvis mistilpasningen er akseptert, lagring av den sekundære resulterende modell, og

hvis mistilpasningen ikke er akseptert, videre opptrening av det andre trente kunstige nevralt nettverk som danner et tertiært trent kunstig nevralt nettverk og som dermed danner en tertiær resulterende modell som omfatter et sett av tertiære syntetiske verktøyresponser, og sammenligning av borehullsloggedataene med det tertiære sett av

verktøyresponser for å bestemme graden av mistilpasning mellom dem,

hvis mistilpasningen er akseptert, lagring av den tertiære resulterende modellen for senere bruk, og hvis mistilpasningen ikke er akseptert, ny opptrening av det tertiære kunstige nevrale nettverk som danner et fjerde kunstig nevralt nettverk.

12. Fremgangsmåte ifølge krav 11, der akseptert mistilpasning ikke er mer enn 5%.

13. Fremgangsmåte ifølge krav 11, der akseptert mistilpasning ikke er mer enn 1,5%.

14. Fremgangsmåte ifølge krav 11, der det sekundære trente kunstige nevrale nettverk har en mengde noder, og videre opptrening av det sekundære trente kunstige nevrale nettverk som omfatter optimalisering av nodene i det sekundære trente kunstige nevrale nettverk.

15. Fremgangsmåte ifølge krav 14, der nodene er optimalisert ved tilbakeforplantning.

16. Fremgangsmåte ifølge krav 1, der fremgangsmåten blir utført på et brønnsted med et borehull som strekker seg inn i formasjonen, med borehullsloggeverktøyet plassert i borehullet.

17. Fremgangsmåte ifølge krav 16, som videre omfatter: utførelse av en påfølgende borehullsoperasjon på brønnstedet basert på den resulterende modell.

18. Fremgangsmåte ifølge krav 17, der den påfølgende borehullsoperasjon er fra gruppen bestående av: perforering av brønnforing i borehullet for å produsere hydrokarboner fra formasjonen; boring dypere i formasjonen; boring av minst én lateral bore fra borehullet; plugging og oppgivelse av borehullet; og fjerning av borehullsloggeverktøyet fra borehullet og derpå kjøring av minst ett ytterligere borehullsverktøy inn i borehullet, og bruk av det minst ene ytterligere borehullsverktøy i borehullet.
- 5

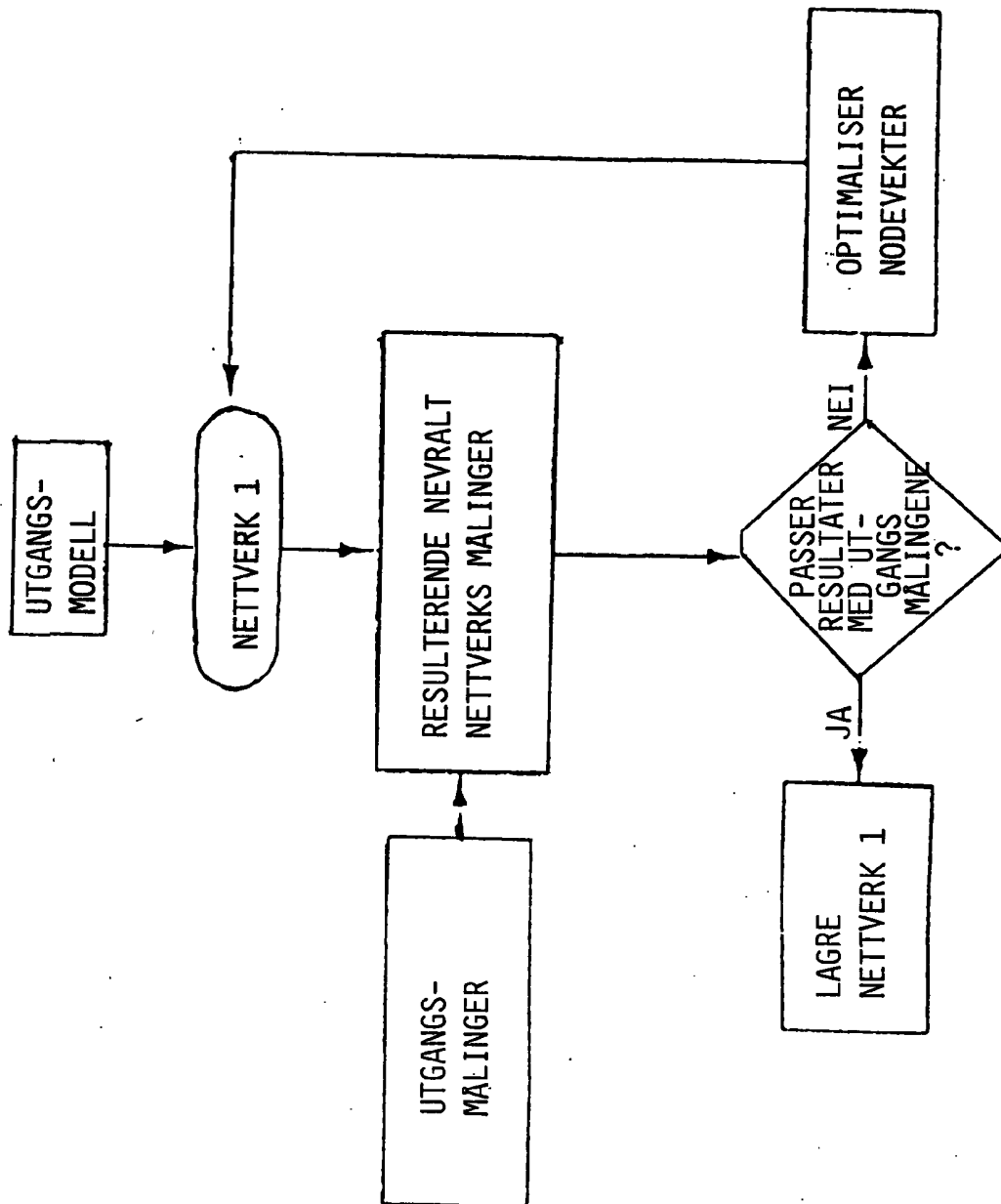


FIG. 1a

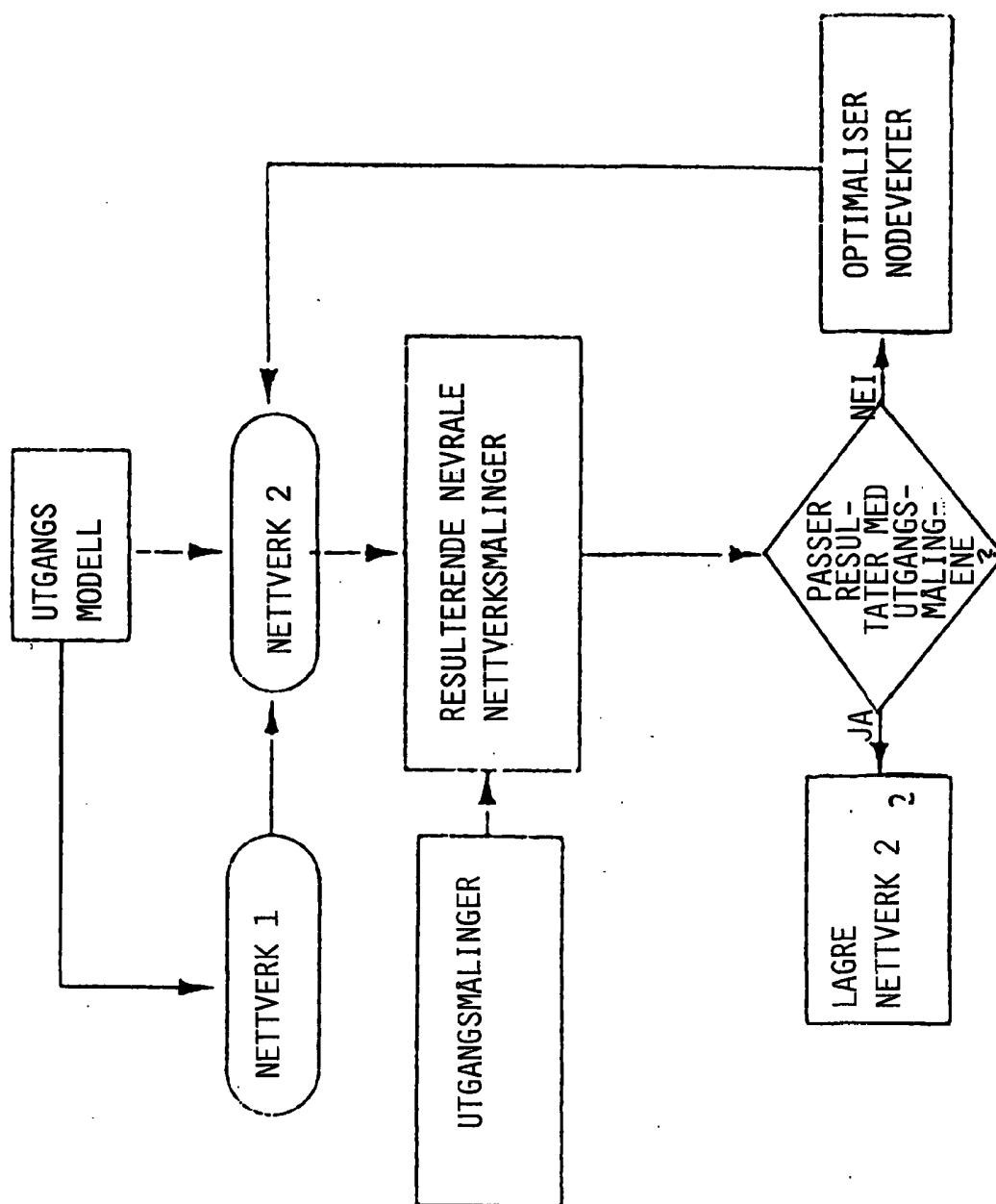
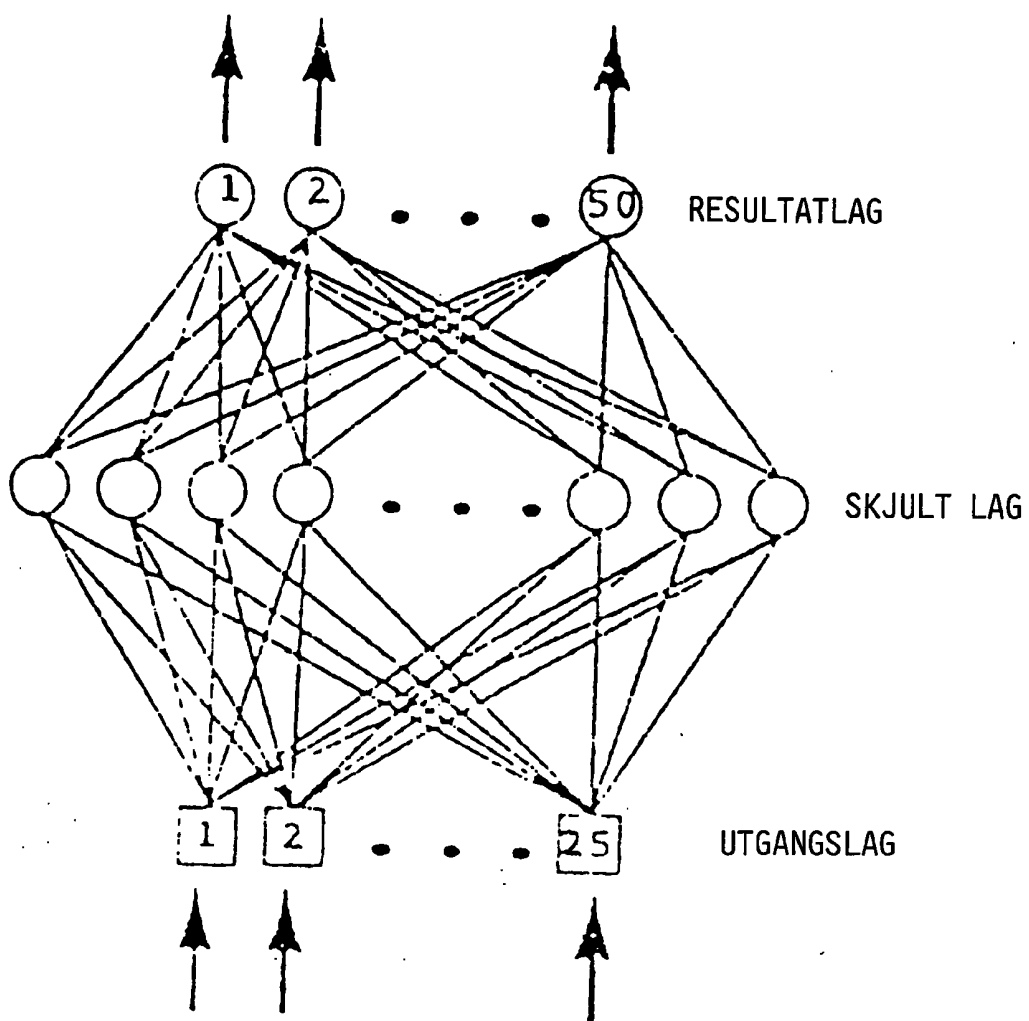


FIG. 1b



4/7

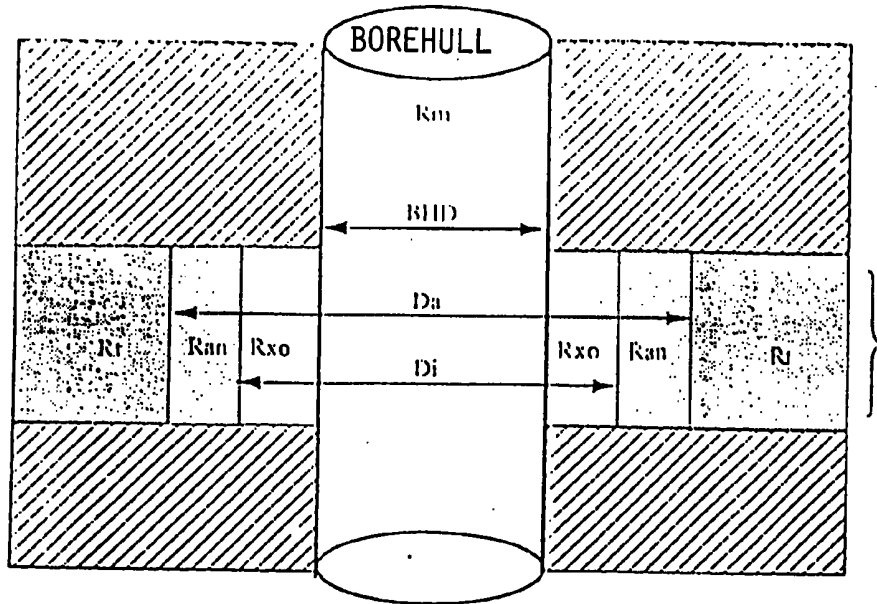


FIG. 3a

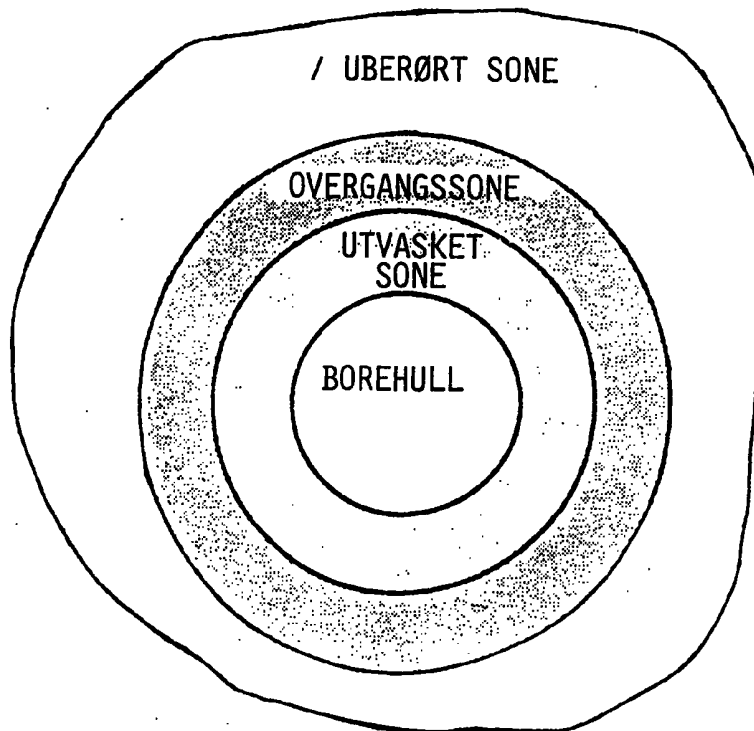


FIG. 3b

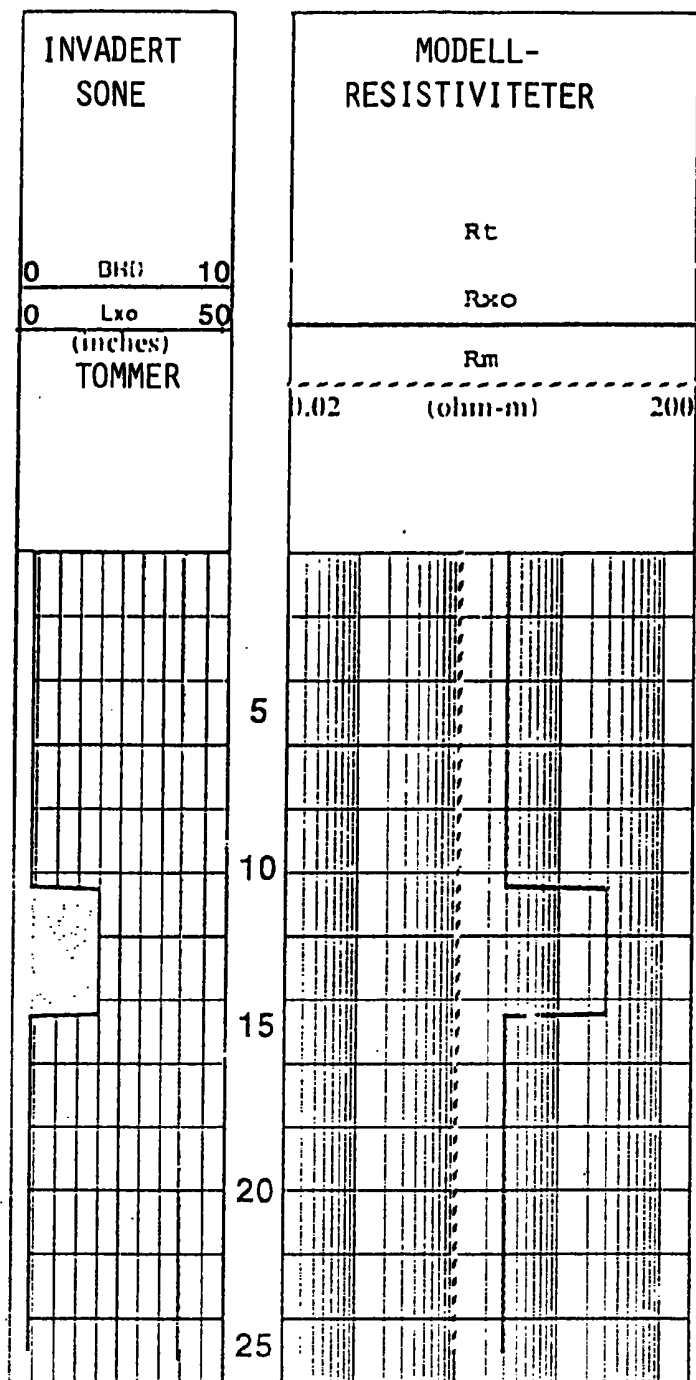


FIG. 4a

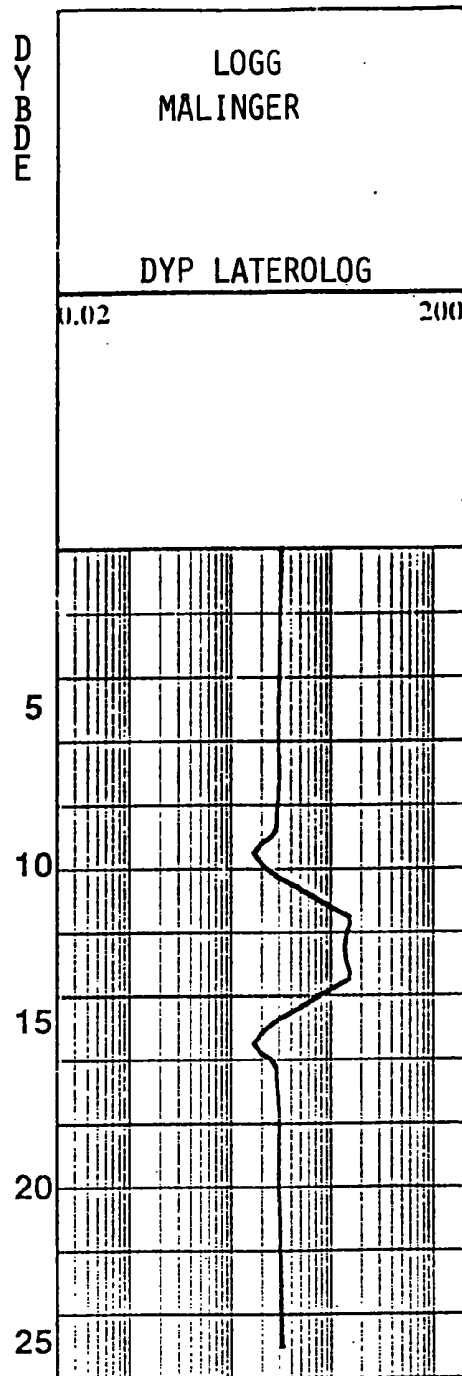


FIG. 4b

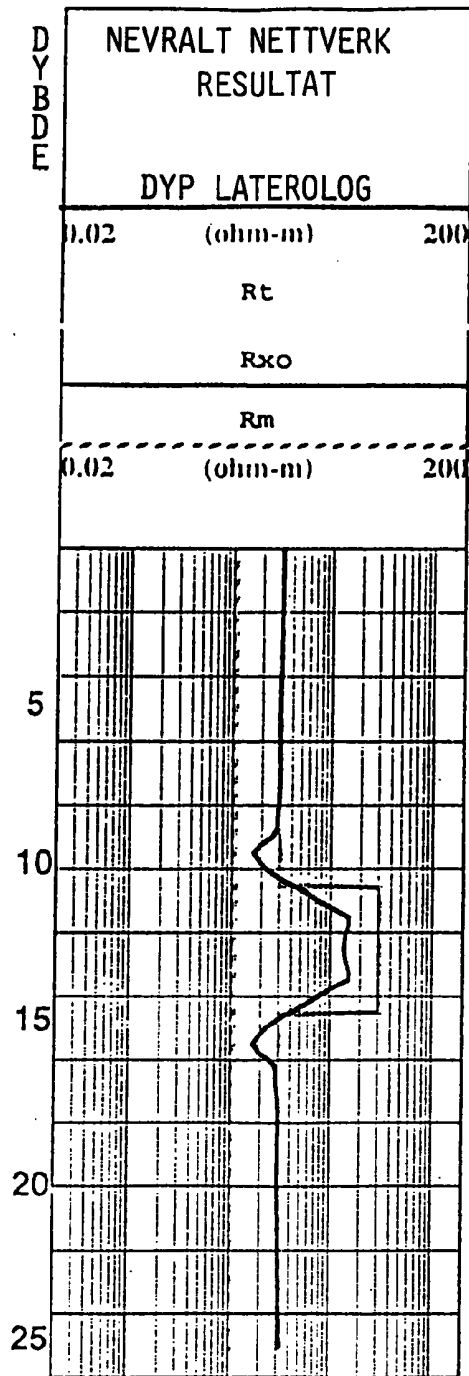


FIG. 4c