



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **325829**

(13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.

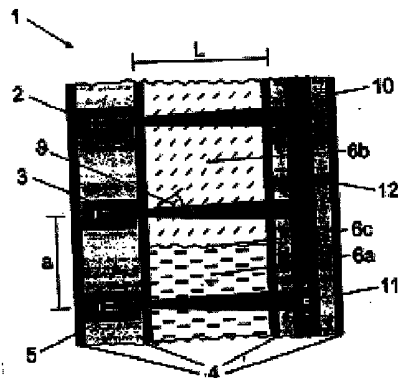
G01F 23/288 (2006.01)

B01D 21/32 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19982462	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	1998.05.29	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	1998.05.29	(30)	Prioritet	1997.05.30, DE, 19722837
(41)	Alm.tilgj	1998.12.01			
(45)	Meddelt	2008.07.28			
(73)	Innehaver	Vetco Gray Scandinavia AS, Postboks 83, 1375 BILLINGSTAD			
(72)	Oppfinner	John Anthony Byatt, Klingnau, CH Thomas Kleiner, Nussbaumen, CH Daniel Matter, Dietikon, CH Walter Rüegg, Endingen, CH			
(74)	Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, Postboks 7007 Majorstua , 0306 OSLO			
(54)	Benevnelse	Måling av fyllingsgrad			
(56)	Anførte publikasjoner	EP 0 060 630 A2, FI 86346 C			
(57)	Sammendrag				

Den foreliggende oppfinnelsen omhandler en gammastråler densitetsprofilsensor (1), som spesielt er egnet til måling av fyllingsgrad i oljeseparatortanker. En romlig oppløst densitetsmåling, spesielt en stedsbestemmelse av grensesjiktet olje/vann (6c), blir realisert ved hjelp av flere gammastrålere (2) anordnet vertikalt over hverandre og en langstruktet og lysledende scintillator (10). Derved blir densiteten på vannet (6a) og olje (6b) bestemt ut fra gamma-absorpsjonen og stedsinformasjonen fra tids-forsinkelsen på begge lysandelene på hvert scintillasjonslys som går i hver sin retning. Forskjellige utførelser av scintillatoren (10) blir omtalt med fotodetektorer på en eller begge ender, med en reflektor på enden eller inni og med mottakerkollimatorer. Videre blir det angitt metoder for kalibrering, viktige systemparametre for utlegging av sensoren 1 og metoder for begrensnng av forstyrrelser mellom gammastrålerne (2). Sistnevnte angår avskjerminger, en energetisk diskriminasjon compton spredde gamma-stråler og anordninger med flere scintillatorer (10). Densitetsprofilsensoren (1) utmerker seg gjennom god målefølsomhet, enkel og robust oppbygning og stor pålitelighet.



TEKNISK OMRÅDE

Oppfinnelsen vedrører området for nivåmåling. Den tar utgangspunkt i et sensorsystem og en fremgangsmåte for nivåmåling i henhold til den innledende del av patentkravene 1 og 10.

5

TEKNIKKENS STILLING

Innen teknikkens stilling er det kjent en flerhet av fremgangsmåter og anordninger for bestemmelse av en beholders fyllingsgrad, som beror på svært forskjellige fysikalske måleprinsipper. Disse omfatter elektriske (kapasitive eller resistive) og optiske metoder, radarrefleksjonsmetoder, ultralyd-gangtidsmetoder samt gammaabsorpsjonsmetoder.

10

I forbindelse med offshore-jordoljetransport blir såkalte separatortanker installert, hvori de forskjellige fasene (sand, vann, olje og gass) som oppstår ved boring eller transport, blir separert i adskilte lag over hverandre i henhold til sin densitetsforskjell. Det er herved meget viktig å kjenne høyden på skillelaget mellom vannet og oljen for kontrollert å kunne åpne og lukke avløpsventiler ved tanken for de to medier. Til dette trengs pålitelige nivåmåleapparater. Fungerer ikke et slikt nivåmåleapparat, eller fungerer det galt, kan for eksempel olje komme inn i vannutløpet og forårsake store miljøbelastninger og kostnader.

15

I dag blir separatortanker utviklet som er egnet til drift på havbunnen noen 100 meter under havoverflaten. Den transporterte oljen kan da aller først skilles fra forurensningene vann, sand osv. og først deretter med mye lavere energiforbruk pumpes til havoverflaten. Kravene til slike separatortanker er imidlertid meget store. De må utvendig tåle trykket på havbunnen og innvendig trykket på den transporterte jordoljen fra typisk 60 - 180 bar og temperaturer fra 50 - 120 °C. Også nivåmålesystemet er undergitt disse vanskelige driftsbetingelsene. Likeså må årelang funksjonsegnethet, vidtgående vedlikeholdsfrihet og ytterste pålitelighet være garantert, da et driftsbortfall og for tidlig erstatning ville forårsake enorme kostnader.

20

25

Målingen av fyllingsgrad må derfor i det minste gjennomføres med to redundante systemer. I en tidligere, ikke offentliggjort tysk patentsøknad (dokumentkjennetegn 197 04 975.3) blir det som løsning på dette problemet foreslått et kapasitivt målelodd som spesielt gjør seg nytte av det store spranget på dielektrisitetskonstanten ved grenseflaten mellom olje og vann. Fordelen overfor det på markedet tilgjengelige systemet består blant annet i at måleloddet er innelukket, måler omgivelsesmediet berøringsfritt over spredkapasiteten, og på denne måten bestemmer fyllingsgraden.

30

35

Som tilleggsredundant målemetode kommer særlig en dybdemåling gjennom absorpsjon av gammastråler på tale. Det finnes kommersielt tilgjengelige apparater med en gammakilde (cesium, kobolt, osv.) og en scintillator (NaJ med thallium-konsentrasjon (NaJ:TI), plastikk osv.) som gammadetektor. Gammastråleren sender ut fra sin kjerne energirike fotoner, henholdsvis gammastråler som blir absorbert i materie.

Absorpsjonen avhenger eksponensielt av den gjennomstrålte lengden, hvorved absorpsjonskoeffisienten - i hvert fall for monoenergiske gammastråler - er proporsjonal med densiteten. I scintillasjonsdetektoren frambringer gammakvanten en skur av fotoner i det synlige eller nærliggende spektralområde. Fotonene blir omsatt av en lysdetektor (fotomultiplikator, PIN-fotodiode osv.) til et elektrisk signal. Alternativet til scintillatoren kan også et Geiger-Müller tellerør brukes. Til måling av fyllingsgrad blir kilden og scintillasjons-detektoren forskjøvet synkront oppover og nedover ved de ovenforliggende veggene på separatortanken og tankinnholdets vertikale densitetsprofil blir tatt opp. Fra densitets-forskjellene blir grenseflatenes posisjoner mellom de forskjellige mediene formidlet. En ulempe ved dette systemet er at det bare er egnet til lavtrykksseparatortanker ved havoverflaten, fordi mekanikken må overvåkes og vedlikeholdes og de ekstreme kravene som her stilles til bedriftssikkerhet, er vanskelige å oppfylle.

I følge fig. 1 er først og fremst teknikkens stilling å realisere en densitetsprofilsensor uten bevegelige deler, idet par av gammastråler og detektorer er anordnet i vertikale avstander og fra deres gammatransmisjonsverdier blir fyllingsgraden på de forskjellige absorberende mediene bestemt.

Fra EP 0 060 630 A2 er det kjent å benytte en gammastråler som en densitetsprofilsensor for måling av fyllingsgraden i en tank. Publikasjonen beskriver bruk av flere gammastrålere anordnet i det vesentlige vertikalt over hverandre, samt en gammadetektor. Gammadetektoren er i form av en scintillator som er langstrakt og lysledende, og hvor den ene enden av scintillatoren står i optisk forbindelse med en fotodetektor.

Også kjent er scintillasjonsdetektorer med en- eller todimensjonal stedsoppløsning, og disse blir tilbudt på markedet. Tilgjengelige er scintillatorer i form av staver som for eksempel inneholder NaJ:TI. Lysbølgene som går ut fra scintillatorlyset, detekteres på begge stavendene og blir bestemt utifra forholdet deres mellom den med den optiske veilengde eksponensielt avtagende intensitet og pulshøyder på stedet ved gammafotonabsorpsjonen. Også med plastfiber i flate parallelle eller kryssende anordninger blir stedsoppløsende scintillatorer realisert. Slik det også er kjent fra WO

85/04959, blir stedsinformasjonen ganske enkelt vunnet derigjennom at de fibre som leder et scintillasjonslys til en fotodetektor, identifiseres.

SAMMENFATNING AV OPPFINNELSEN

- 5 Oppgaven til den foreliggende oppfinnelsen er å angi en densitetsprofilsensor for et system og en fremgangsmåte for måling av fyllingsgrad som utmerker seg gjennom en god vertikal stedsoppløsning og en forenklet, meget robust oppbygning. Denne oppgaven blir i følge oppfinnelsen løst gjennom patentkravene 1 og 10.
- 10 Det viktigste ved oppfinnelsen er nemlig å anbringe en stavformet, lysledende scintillator-detektor ovenfor en anordning av flere gammastrålere, og å detektere gammastrålene sammen fra flere kilder gjennom en fotodetektor ved en eller begge endene på scintillatoren. En densitetsprofil blir bestemt fra tellehastigheten på scintillasjonslysene ved gangtidsdifferansen på lysandelene som utbrer seg i motsatte retninger. Den vertikale
- 15 stedsoppløsning er derved vesentlig gitt gjennom avstanden mellom gammastrålerne og deres strålevinkel henholdsvis kollimasjonskvalitet.

- Et utførelseseksempel viser en første densitetsprofilsensor med to vertikalt utbredte lukkede rør for gammakildene og scintillatorstaven slik den er spesielt egnet for en
- 20 separatortank ved oljetransport.

Videre utførelseseksempler fremstiller varianter av scintillatorstaven med en- eller beggesidige fotodetektorer på enden.

- 25 Andre utførelseseksempler viser tiltak i tråd med oppfinnelsen for reduksjon av forstyrrelser mellom gammakildene.

- En fordel ved gammastråler-densitetsprofilsensoren i følge oppfinnelsen består i dens reduserte kompleksitet og feilsannsynlighet. Fordelaktig er fremfor alt enkeltheten,
- 30 mekanisk robusthet og iboende pålitelighet ved scintillatorstaven eller scintillatorfibre i forhold til tradisjonelle gammadetektorer.

- Nok en fordel sees ved at en tilstrekkelig stedsoppløsning av måling av fyllingsgrad er realiserbar, fordi forstyrrelsene mellom forskjellige gammastrålere kan trenses tilbake
- 35 gjennom forskjellige tiltak. Spesielt fordelaktig er det at det blir angitt en redundant, likeså berøringsfri og følsom fyllingsgradsmetode til elektrisk kapasitetsmåling som beror på et annet, fullstendig uavhengig prinsipp og vidtgående er vedlikeholdsfri.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGSFIGURENE

Oppfinnelsen blir i det følgende belyst ved hjelp av utførelseseksempler. De viser:

- Fig. 1 et snitt gjennom et nivåmålingssystem med en lineær anordning av
5 gammastrålere og separate detektorer (teknikkens stilling);
- Fig. 2 et snitt gjennom et nivåmålingssystem i tråd med oppfinnelsen med en lineær
anordning av gammastråler og en enkeltstående scintillatorstav;
- Fig. 3 et snitt gjennom scintillatorstaven ifølge fig. 2 med en fotodetektor ved øvre og
nedre ende;
- 10 Fig. 4 et snitt gjennom den nedre enden av scintillatorstaven med en retroreflektor i
tråd med en alternativ utførelsesform til fig. 3;
- Fig. 5 et snitt gjennom scintillatorstaven med en mottakerkollimator ifølge en
alternativ utførelsesform til fig 2;
- Fig. 6 et snitt gjennom et nivåmålingssystem i tråd med oppfinnelsen med en lineær
15 anordning av gammastrålere og to scintillatorstaver;
- Fig. 7 anordning av et nivåmålingssystem i tråd med oppfinnelsen i en separatortank.

På figurene er like deler forsynt med like betegnelser.

20 UTFØRELSESFORMER FOR OPPFINNELSEN

- Fig. 2 viser utsnittsvise et første utførelseseksempel på en gammastråler-
densitetsprofilsensor i tråd med oppfinnelsen. Gammastrålerne 5 fra flere radioaktive kilder
henholdsvis gammastrålerne 2 blir buntet sammen gjennom sendekollimatorer 3,
gjennomstråler mediet 6 som skal måles, og utløser i en scintillator 10 med en viss
25 reaksjonssannsynlighet scintillasjons-lysglimt 11. Gjennom den spesielle beskaftenhet på
scintillatoren 10 som langstrakt lysleder, blir scintillasjonslysglimt spaltet i to lysdeler som
brer seg ut til begge endene på scintillatoren. Slik det blir synlig av fig. 3, blir hver
lysbølge mottatt av en fotodetektor, henholdsvis foto-detektorarray 14, 15, omformet til et
elektrisk signal og gjennom ledninger ført til en måleelektronikk. Fra måleelektronikken 16
30 blir parenes nøyaktige tidsforskjeller bestemt i en såkalt forsinket koincidensmåling ved
tilhørende fotodetektorsignal. Fra tidsforsinkelsen, henholdsvis gangtidsforskjellen ved
begge lysdelene, blir oppkomststedet for scintillatorlyset 11 formidlet og derfra den
utløsende gammastråler 2 identifisert. For hver tidsforsinkelse, henholdsvis
gammastrålerposisjon, blir videre lypulsenes hastighet tellet, som på grunn av den sterke
35 densitetsavhengigheten ved gammaabsorpsjonen tillater bestemmelsen av det
gjennomstrålte mediet 6. Spesielt er densitetsforskjellen mellom vannet 6a (1015 kg/m^3) og
olje 6b (850 kg/m^3) detekterbar. Men også gass og sand kan ettervises slik. Dermed er
hyppighetsfordelingen av de ved parene som er ordnet etter sin tidsforsinkelse påfølgende

fotodetektor-signaler et umiddelbart mål for mediets densitetsprofil i separatortanken 17. Gjennom den dynamiske bestemmelsen av denne hyppighetsfordelingen kan en momentan densitetsprofil også måles for et relativt raskt gjennomflytende medium og sedimentasjonsprosessen kan overvåkes.

5

Fig. 4 fremstiller i et detaljbilde en annen utførelsesform av scintillatoren 10. På nedre ende av scintillatoren 10 befinner det seg i stedet for fotodetektoren 15 en retroreflektor 18 som for eksempel kan være formet som et kubisk eller rett speil. Begge lysstrålene som går ut fra scintillatorlysglimtet, blir ledet over forskjellige veier til en eneste fotodetektor, 10 henholdsvis fotodetektorarray 14 på øverste ende av scintillatoren og slik som tidligere bearbeidet av måleelektronikken 16. Gjennom refleksjonen erfarer bølgen som i utgangspunktet farer nedover, en sterkere demping, men også en større gangtidsforsinkelse. Derigjennom kan stedsoppløsningen fordobles. I tillegg blir scintillatoren 10 forenklet gjennom innsparingen av en fotodetektor 15 og den tilhørende 15 elektriske signalledningen 9 og er spesielt godt egnet for installasjonssteder som bare er tilgjengelige fra en side.

En annen utførelsesform viser seg på fig. 6 når scintillatoren 10 er sammensatt av to staver som er skilt av et ikke fremstilt, tosidig reflekterende sjikt. En scintillator 10 sammensatt 20 på denne måten oppviser derved en øvre og nedre halvdel, hvori lysutbredelsen går fullstendig uavhengig av hverandre. Fortrinnsvis befinner det reflekterende sjiktet seg midt i scintillatoren 10. Ved en scintillasjonsbegivenhet i en scintillatorhalvdel blir de optiske pulsene utnyttet som i utførelseseksemplet i følge fig. 4. Fordelen overfor fig. 4 består i at ved lik stedsoppløsning er lysveiene halvert og derved de optiske dempingene redusert. 25 Generelt er stedsbestemmelsene gjennom gangtidsmåling i stedet for sammenlikning av de optiske dempingene også fordelaktig, fordi denne metoden er meget ufølsom overfor aldringsbetingete endringer ved den optiske dempingen i scintillatoren 10.

Absorpsjonen av energirike gammafotoner beror på fotoeffekten, compton-spredning og 30 parproduksjon. Ved fotoeffekten blir gammafotonet fullstendig absorbert av elektronskallet på et atom og et fortrinnsvis sterkt bundet elektron avspaltes. Elektronet mister gjennom flere støt sin kinetiske energi slik at den samlede gammaenergien E_γ blir deponert i mediet. Ovenfor den sterkeste bindingsenergien til energiene avtar sannsynligheten for fotoeffekten med økende innstrålt gammaenergi.

35

I området mellom $E_\gamma = 100 \text{ KeV}$ og 1 MeV blir comptoneffekten dominant: Ved støt mellom gammafoton og elektron flyr gamma-fotonet videre under en spredevinkel ϑ med

restenergien $E\gamma'(\vartheta)$. Med økende avledevinkel ϑ avtar gammafotonets relative restenergi $R(\vartheta) = E\gamma'(\vartheta)/E\gamma$ i tråd med likningen

$$R(\vartheta) = [1 + \varepsilon(1 - \cos \vartheta)]^{-1} \quad (1)$$

5

hvor $\varepsilon = E\gamma / 511 \text{ keV}$ betegner gammaenergiens forhold til elektronets stillstandsenergi.

- Utover det kan gammafotonet fra 1 MeV oppløses ved en vekselvirkning med det elektriske feltet til en atomkjerne eller også et elektron i et elektron-positronpar. Med
- 10 økende kjerneladningstall stiger sannsynlighetene for fotoeffekten og pardannelsen sterkt og for comtoneffekten måtelig. Til det er absorpsjonskoeffisienten proporsjonal med atomdensiteten. Den resulterende, stoffspesifikke densitetsavhengigheten ved gammaabsorpsjonen blir brukt som måleprinsipp i gammastråler-densitetsprofilsensorer. I prinsippet kan alle tre prosessene som bruker opp gammaenergien også spille en rolle som
- 15 påvisningseffekt i scintillasjonsdetektoren og som støyeffekt, for eksempel i beholdervegger 4, 24.

- Antall og avstand på gammastrålerne 2 blir valgt slik at en densitetsprofil på den ønskede lengden og stedsoppløsningen kan bestemmes. Generelt blir gammastrålerne 2
- 20 hovedsakelig anordnet vertikalt ovenfor hverandre og fortrinnsvis ekvidistant. Så lenge posisjonen til grensesjiktet olje/vann er kjent, kan det der velges en mindre avstand mellom gammastrålerne for lokalt å forbedre stedsoppløsningen.

- Ved valg av radioaktive elementer for gammastrålerne 2 spiller spesielt halveringstiden, gammaenergien og aktiviteten en rolle. Godt egnet er for eksempel ^{137}Cs med en
- 25 halveringstid på 30 år og en monoenergetisk gammalinje ved 660 keV. Også ^{60}Co med 5,3 år og gammaemisjon ved 1,17 MeV og 1,33 MeV eller andre stråler såvel som blandinger kan brukes. Aktiviteten på kildene, det vil si antall utstrålte gammafotoner per sekund, avhenger av mengde og oppløsningssannsynligheten til den radioaktive substansen.
- 30 Aktiviteten blir valgt så stort at på den ene siden fremtrer nok scintillasjonshendelser per sekund for en nøyaktig og rask densitetsbestemmelse ved scintillasjonsdetektoren 13 og på den annen side kan parene av fotodetektor-signaler som følger etter hverandre uten problemer skilles fra hverandre. I denne sammenheng må det tas hensyn til tap gjennom kollimasjon og gammaabsorpsjon på veistrekningen fram til scintillatoren 10 og
- 35 scintillasjons-detektorens 13 mottakssannsynlighet.

Kjernestykket ved scintillasjonsdetektoren 13 er scintillatoren 10 som må påvise gammastråler fra flere gammastrålere 2. I tråd med oppfinnelsen har scintillatoren i denne

hensikt en langstrukken formasjon, er lysledende, er på endene optisk forbundet med fotodetektorer 14, 15 og leverer tidvis adskilte lypulser, henholdsvis elektriske fotodetektor-signaler for en forsinket koinsidensmåling ved måleelektronikken 16. Ved scintillasjonsforløpet setter et gammafoton gjennom vekselvirkningsforløpene beskrevet

5 ovenfor, scintillatoren i bevegelse til emisjon av korte scintillasjonslysglimt, hvis intensitet er proporsjonal med den deponerte energien. Scintillatoren 10 kan inneholde et anorganisk material, spesielt NaJ:TI i krystallisk eller polykrystallisk form eller et organisk material i krystallisk, flytende eller plastikkaktig form eller et fortrinnsvis dopet glass. Viktige designparametre for en ønsket scintillatorlengde og stedsoppløsning er holdbarheten i

10 lengder inntil over 2 m og den mekaniske stabiliteten, den optiske dempingen og hensvinningstiden til scintillasjonen, det vil si den optiske pulsbredden. Spesielt egnet er runde eller kantete plaststaver med NaJ:TI, videre optiske fibre eller optiske fiberbunter spesielt plastfibre eller plastfiberbunter eller en kombinasjon av staver og fibre. Scintillasjonsstaver av plast kan i ønsket lengde også og av flere deler i noen

15 sammenhenger klebes sammen med optiske overgangsstykker. Lyslederne har typiske optiske dempinge fra ca. 10^{-2} cm^{-1} . For begrensnig av lystapene kan stavene på sin sidevegg være forsynt med en reflekterende besiktigelse. For en stedsoppløsning på 10 cm må gangtidsdifferansen på ca. 1 ns være detekterbar, hva pulsbredden i ns-området og under nødvendiggjør. Til dette kommer spesielt plast scintillatorer og tilsvarende raske

20 fotodetektorer henholdsvis fotodetektorarrays med detektorflate tilpasset til lysledertverrsnittet på tale. Av plassgrunner blir PIN-fotodioder foretrukket.

Til slutt kan det for densitetsprofilsensoren i tråd med oppfinnelsen angis en maksimal og en minimal optisk pulsrate. For en scintillatorlengde på 2 m utgjør den maksimale

25 gangtidsdifferansen 20 ns. En tidsmessig minsteavstand mellom parene av lyssignaler på ca. 0,1 μs tilsvarer da en maksimal pulsrate på 10^7 s^{-1} . Ved scintillatorlengde på 20 cm utgjør maksimalverdien 10^8 s^{-1} . På den annen side er det for måling av densitetsprofilen med en nøyaktighet på $\pm 1 \%$ nødvendig med deteksjon på 10^4 lyssignalpar per gammastråler 2. Dette resulterer ved en densitetsprofilmåling per 10 s i en minimal

30 pulsrate på 10^3 s^{-1} multiplisert med antallet gammastrålere 2 som detekteres fra en scintillator. Også en densitetsprofilmåling per 100 s kan være tilstrekkelig, noe som gir en nedre grense for den minimale pulsraten på 10^2 s^{-1} . Fortrinnsvis blir altså den samlede gammaaktiviteten til gammastråleren 2 som er rettet mot en scintillator 10, valgt slik at en optisk pulsrate i området $10^2 \text{ s}^{-1} - 10^8 \text{ s}^{-1}$ spesielt i område $10^3 \text{ s}^{-1} - 10^7 \text{ s}^{-1}$ frembringes.

35 Kalibreringen av gammastråler-densitetsprofilsensoren omfatter to steg. Synkronisiteten på måleelektronikken 16, det vil si på begge målekanalene for bestemmelse av gangtidsforsinkelser kan ved hjelp av en kalibreringskilde 12 som i tråd med fig. 2 er

anbrakt i nærheten av scintillatoren 10, også i løpet av driften overvåkes og eventuelt korrigeres. På denne måten er det garantert at måleelektronikken 16 er avdriftsfri og langtidsstabil. Som kalibreringskilde 12 er pulserte lys- eller scintillasjonskilder med lysinnkobling i begge retninger av scintillatoren egnet. Spesielt brukbare er svake gamma- eller alfastråler, for eksempel americium med en ekvivalent gammaenergi på 60 keV.

Kalibreringen av densitetsmålingen inntreffer gjennom referansemåling med vann, olje osv. Derved kan det i prinsippet gjennom individuelle kalibreringsfaktorer for hver gamma-strålerposisjon tas hensyn til forskjellige aktiviteter ved gammastråleren 2 og forskjellige tap av gammafotoner eller inhomogeniteter ved scintillatoren 10. Fortrinnsvis omfatter altså måleelektronikken 16 middel til individuell kalibrering av de optiske pulsratene forårsaket av hver gammastråler 2.

Videre gir forstyrrelser mellom forskjellige gammastrålere 2 et betydelig problem. Som hovedsakelig forstyrrelseseffekt opptrer comptonspredning i stålveggene 4. De bestrålte partiene blir derigjennom til sekundære gammakilder med allsidig emisjon. De avledete gammafotonene kan - alt etter distansen sendekollimator 3 til scintillator 10 - treffe hvilket som helst sted i scintillatoren 10 og forvanske posisjons- og densitetsmålingen. Som mottiltak i tråd med oppfinnelsen blir det foreslått avskjerminger, mottakskollimatorer 19, en energidiskriminasjon av den optiske pulsen og anordninger med flere scintillasjonsdetektorer 13.

Fig. 5 viser en utførelsesform av en mottakerkollimator 19 med en åpning. Kollimatoren 3, 19 består typisk av bly som absorberer gammastrålingen meget effektivt. Åpningene på mottakerkollimatoren 19 ligger tvers ovenfor sende-kollimatoren 3. Fortrinnsvis er kollimatoren 3 og 19 parallelle til hverandre, spesielt horisontalt orientert og i hver høyde innrettet oppå hverandre i retning mot en felles forbindelseslinje. Kollimatorens formasjon kan etter behag være for eksempel rund, kantet, avrundet. For mottaker-kollimatoren 19 er b den indre bredden og t dybden. Ettersynkroniseringen blir akkurat ved minskende dybde t tydelig redusert, fordi scintillatoren 10 bare mottar gammafotoner ved åpningene. Med økende kollimator dybde t kan avskjermingen mot spredde gammafotoner forbedres ytterligere. Ved forsømmelse av flergangsspredninger blir avskjermingen ideal når det velges en kollimator dybde $t > b \cdot L / a$, hvor a betegner avstanden mellom to gammakilder 2 som er innrettet ved siden av hverandre på den samme scintillatoren 10 og L veilengden mellom sendekollimatoren 3 og scintillatoren 10. Et ytterligere tiltak for reduksjon av ettersynkroniseringen består i å montere horisontale avskjerminger 20, for eksempel blyplater i mediet 6 mellom to gammastrålere 2.

Deteksjonen på de spredde gammafotonene under stor avledningsvinkel ϑ kan også underbindes gjennom energidiskriminasjon av scintillatorlysene 11. Intensitets- henholdsvis energifordelingen av scintillasjonshendelsene viser seg av den oppkomne gammaenergien og sannsynlighetene for fotoeffekt, comptoneffekt og eventuelt pardannelse i scintillatoren 10. De lyseste lysglimtene er betinget av fotoeffekten til de primære på deres vei urørte gammafotoner og danner den såkalte fotopeaken. Svakere lys viser seg gjennom sekundære gammafotoner spesielt fra stålveggene 4, men også gjennom primære gammafotoner som erfarer comptonspredning i scintillatoren og deretter blir svakere. Gjennom å skjære av scintillasjonsspektrumet under fotopeaket kan så langt, på bekostning av tallraten, de detekterte compton-spredde gammafotoner innskrenkes. På grunn av den optiske dempingen må diskriminasjonsterskelen velges som en vesentlig eksponensiell fallende funksjon ved den optiske gangtiden. Stedsoppløsningen stiger ved økende diskriminasjonsterskel og gammaenergi. For å hindre en overlapping av spredning av forskjellige gammastråler 2, må tilnærmelsesvis følgende forhold gjelde

$$|\vartheta| < \arctan [a / (2 \cdot L)] \quad (2)$$

hvor på nytt a betegner kildeavstanden og L veilengden. Som eksempel er det valgt en terskel 5 % under fotopeaket og $E_\gamma = 660 \text{ keV}$. Fra likning (1) med $R(\vartheta) > 95 \%$ får man $|\vartheta| < 16^\circ$ og fra likning (2) med en veilengde $L \approx 30 \text{ cm}$ en stedsoppløsning $a \approx 17 \text{ cm}$.

Gjennom kombinasjon av energidiskriminasjonen med mottakerkollimatoren 19 også mindre dybde t kan målenøyaktigheten forbedres ytterligere. For små spredevinkler

$$|\vartheta| < \arctan [(a - b/2) / L] \quad (3)$$

blir de avledete gammafotonene blokkert av avskjermingene mellom åpningene på mottakerkollimatoren 19. I tillegg skal en diskriminasjonsterskel legges slik at restenergiene til de spredde gammafotonene i en nærliggende mottakerkollimator 19 ligger under terskelen. Som eksempel er en terskel 10 % under fotopeaken og $E_\gamma = 660 \text{ keV}$ valgt. Fra likning (1) med $R(\vartheta) > 90 \%$ får man $|\vartheta| < 24^\circ$ og fra likning (3) med $b = 2 \text{ cm}$ og $L \approx 30 \text{ cm}$ en stedsoppløsning $a \approx 14 \text{ cm}$, hvor i (3) bredden på sendekollimatoren 3 ble forsømt relativt til deres avstand a . I denne konfigurasjonen kan altså bredden b på mottaker-kollimatoren 19 og diskriminasjonsterskelen reguleres slik oppå hverandre at de supplerer seg i sin avskjermingsvirkning mot spredde gammafotoner.

Mottakerkollimatoren 19 kan altså være bygd brede og plassparende korte. På denne måten er en høy stedsoppløsning ved meget lav ettersynkronisering realiserbar med høyere

tallrate. I praksis er ettersynkronisering i rammen av målenøyaktighet tillatt, slik at betingelsene (2) og (3) bare tilnærmelsesvis må være oppfylt.

Fig. 6 åpenbarer en ytterligere utførelsesform med en fordoblet stedsoppløsning

- 5 henholdsvis med lavere ettersynkronisering i forhold til fig. 2. Densitetsprofilsensoren 1 består her av et gammastrålerør 21 med sendekollimatorer 3 som vekselvis er orientert i motsatte retninger og to scintillatorrør henholdsvis sonder 22 hver med en langstrakt scintillator 10. Hver scintillator er som før forbundet med fotodetektorer 14, 15 og en måleelektronikk 16 i tråd med et av de foregående utførelseseksemplene og kan være
- 10 utstyrt med de ovenfor angitte tiltakene for kalibrering, reduksjon av forstyrrelser eller for forbedring av stedsoppløsningen. Spesielt kan også flere sonder 22 rundt et gammastrålerør 21 brukes med gammastrålere 2 som vekselvis er rettet mot dem. For eksempel kan tre sonder 22 være anordnet under 120° .

- 15 Fig. 7 viser en mulig innbygging av en gammastråler-densitetsprofilsensor 1 i en separatortank 17. Typiske dimensjoner på en eksempelvis sylindrisk tank 17 er 2-3 m diameter og 10 m lengde. Sensoren 1 omfatter minst et gammastrålerør 21 og minst en sonde 22 i tråd med de tidligere nevnte utførelseseksemplene. På fig.7 er bare et av rørene 21, 22 synlig framstilt. Rørene 21, 22 skal i normal driftstilstand strekke seg ned i dypet
- 20 slik at spesielt posisjonen til grensesjiktet 6c mellom olje og vann er detekterbart. Fortrinnsvis blir rørene 21, 22 montert i rørstusser 24 som rager inn i separatortankens 17 innvendige rom eller går helst gjennom det innvendige rommet (ikke framstilt); eller rørene 21, 22 kan være festet på veggen på separatortanken 17 eller være nedsunket i mediet 6 i separatortanken 17, noe som heller ikke er framstilt på fig. 7. En fordel ved
- 25 rørstussene 24 er at sondene 22 eller gammastrålerørret 21 kan byttes ut også mens separatortanken 17 er i drift.

- Alt i alt åpenbarer oppfinnelsen et nivåmålingssystem med en robust og målefølsom gammastråler-densitetsprofilsensor 1. Gjennom deteksjon av flere gammastråler fra
- 30 diskrete kilder 2 med en scintillator 10 blir kompleksiteten og dermed feilsannsynligheten ved sensoren 1 betydelig redusert og en kompakt oppbygning realisert. Gjennom ytterligere tiltak for avskjerming og energidiskriminasjon er en meget høy stedsoppløsning oppnåelig.

Liste over henvisningstall

	1	gammastråler-densitetsprofilsensor (utsnitt)
	2	gammastrålekilder
5	3	sendekollimator
	4	stålvegg
	5	gammastråler
	6	medium
	6a	vann
10	6b	olje
	6c	grensesjikt olje/vann
	7	gammadetektorer
	8	gammadetektoravskjerming
	9	elektriske signalledninger
15	10	scintillator (stav, fiber, fiberbunt)
	11	scintillasjonslysglimt
	12	kalibreringskilde
	13	scintillasjonsdetektor
	14	fotodetektor 1
20	15	fotodetektor 2
	16	måleelektronikk
	17	separatortank
	18	retroreflektor
	19	mottakerkollimator
25	20	horisontale avskjerminger
	21	gammastrålerør
	22	scintillatorrør, sonde
	23	stativ
	24	rørstuss
30	b	bredden på en mottakerkollimator
	t	dybden på en mottakerkollimator
	L	veilengde
	a	avstand mellom gammastrålerne
	E_γ	gammaenergi
35	θ	spredevinkel
	$R(\theta)$	relativ restenergi for gammafotonet
	ϵ	forholdet mellom gammaenergi og elektronets hvileenergi

PATENTKRAV

1. Sensorsystem for bestemmelse av densitetsprofil, spesielt egnet til måling av fyllingsgrad i en separatortank (17), omfattende flere gammastrålekilder (2) som vesentlig er anordnet vertikalt over hverandre langs en første akse mellom et første vertikalt nivå og et andre vertikalt nivå, og minst en gammastråledetektor (7), hvor gammastråledetektoren
 - 5 (7) omfatter en scintillator (10) som er langstrakt og lysledende, og hvor scintillatoren (10) er anordnet langs en andre akse parallelt med den første aksen og med avstand fra den første aksen,
 - karakterisert ved at
 - a) scintillatoren (10) strekker seg fra nevnte første vertikale nivå til nevnte andre vertikale
 - 10 nivå,
 - b) scintillatoren (10) på en ende eller på begge ender står i optisk forbindelse med en fotodetektor (14, 15), og
 - c) sensorsystemet videre omfatter måleelektronikk (16) innrettet til å måle posisjonen av lysglimt som oppstår i scintillatoren (10) ved forsinket koincidensmåling.
- 15 2. System ifølge krav 1,
 - karakterisert ved at
 - a) gammastrålerne (2) er anordnet langs en vertikal akse i like avstander,
 - b) hver scintillator (10) omfatter en stav eller en optisk fiber eller en optisk fiberbunt og
 - 20 strekker seg langs en parallell vertikal akse, og
 - c) gammastrålene (2) oppviser sendekollimatorer (3) som er anordnet i retningen mot en scintillator (10) og fortrinnsvis horisontalt.
- 25 3. System ifølge et av kravene 1 - 2,
 - karakterisert ved at
 - a) en retroreflektor (18) står i optisk forbindelse med en ende på en scintillator (10), og
 - b) en fotodetektor (14, 15) står i optisk forbindelse med den andre enden på den nevnte scintillatoren (10).
- 30 4. System ifølge et av kravene 1 - 2,
 - karakterisert ved at
 - a) en scintillator (10) oppviser et tosidig reflekterende sjikt, fortrinnsvis i halv høyde, og
 - b) den nevnte scintillatoren (10) på hver ende står nøyaktig i optisk forbindelse med en fotodetektor (14, 15).

5. System i følge et av kravene 1 - 4,
karakterisert ved at
- a) en scintillator (10) oppviser en kalibreringskilde (12), spesielt en svak gamma- eller alfastråler for synkronisering av måleelektronikken (16),
- 5 b) måleelektronikken (16) omfatter midler til individuell kalibrering av den optiske pulsraten som er forårsaket av hver gammastråler (2), og
- c) den samlede aktiviteten til gammastråleren (2) som er rettet mot en scintillator (10) produserer en optisk pulsrate i området $10^2 \text{ s}^{-1} - 10^8 \text{ s}^{-1}$ spesielt i området $10^3 \text{ s}^{-1} - 10^7 \text{ s}^{-1}$.
- 10 6. System ifølge et av kravene 1 - 5,
karakterisert ved at
- a) hver scintillator (10) omfatter flere mottaker-kollimatorer (19), og
 - b) mottakerkollimatorene (19) er rettet mot sendekollimatorene (3).
- 15 7. System ifølge et av kravene 1 - 6,
karakterisert ved at
- a) måleelektronikken (16) omfatter midler til energi-diskriminasjon av den optiske pulsen, og
 - b) diskriminasjonsterskelen vesentlig er en eksponensiell fallende funksjon ved den optiske
- 20 løpevei.
8. System ifølge et av kravene 1 - 7,
karakterisert ved at
- a) et rør (21) inneholder gammastrålerne (2) og minst et annet rør (22) inneholder minst en
- 25 scintillator (10),
- b) rørene (21, 22) sitter i rørstusser (24) som befinner seg i separatortanken (17), eller rørene (21, 22) senkes umiddelbart ned i mediet (6) i separatortanken, og
 - c) spesielt i separatortanken (17) henger horisontale avskjerminger (20) halvveis mellom gammastrålerne (2).
- 30 9. System ifølge et av kravene 1 - 8,
karakterisert ved at
- a) gammastrålerne (2) inneholder ^{137}Cs og/eller ^{60}Co ,
 - b) minst en scintillator (10) inneholder et anorganisk material, spesielt NaJ:TI i krystallinsk eller polykrystallinsk form eller et organisk material i krystallinsk, flytende eller plastaktig form eller et fortrinnsvis konsentrert glass,
- 35 c) spesielt minst en scintillator (10) er en plaststav som består av flere sammenkoblede deler og oppviser et reflekterende belegg på sin sideflate, og

d) fotodetektorene (14, 15) er PIN-fotodioder.

10. Fremgangsmåte for nivåmåling i en separatortank (17) med et sensorsystem ifølge et av de foregående krav,

5 k a r a k t e r i s e r t v e d a t

a) scintillasjonslysglimtene i scintillatoren (10) blir spaltet i to deler som blir ført over to optiske spredningsveier til en fotodetektor (14, 15),

10 b) i måleelektronikken (16) blir nøyaktige tidsmålinger av fotodetektor-signaler som følger etter hverandre utført, fra tidsforsinkelsene på fotodetektorsignalene blir opprinnelsesstedet til scintillasjonslysglimtene formidlet og derigjennom identifiseres de utløsende gammastrålerne (2), og

c) i måleelektronikken (16) blir hyppighetsfordelingen av parene med fotodetektorsignaler som følger etter hverandre, dynamisk bestemt etter deres tidsforsinkelse, og derav blir en momentan densitetsprofil på mediet i separatortanken (17) beregnet.

15

11. Fremgangsmåte for nivåmåling i en separatortank (17) i følge krav 10, k a r a k t e r i s e r t v e d a t

a) i måleelektronikken (16) blir fotodetektorsignalene diskriminert etter deres pulshøyde, og

20 b) diskriminasjonsterskelen som eksponensiell avtagende funksjon ved tidsforsinkelsen blir valgt slik at scintillasjonslysglimtene (11) som er forårsaket av fotomaksimumet i scintillatoren (10), blir vurdert.

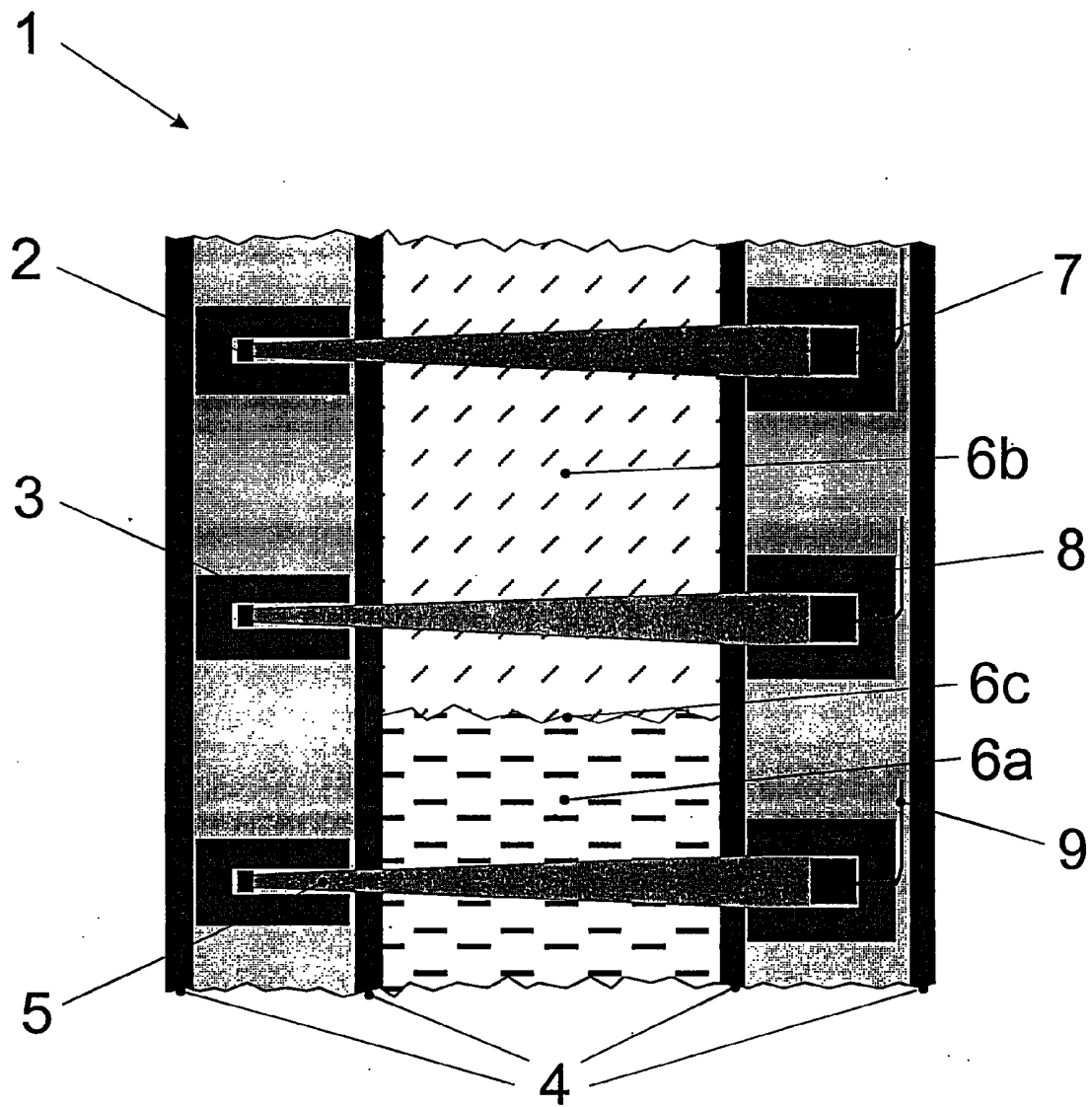
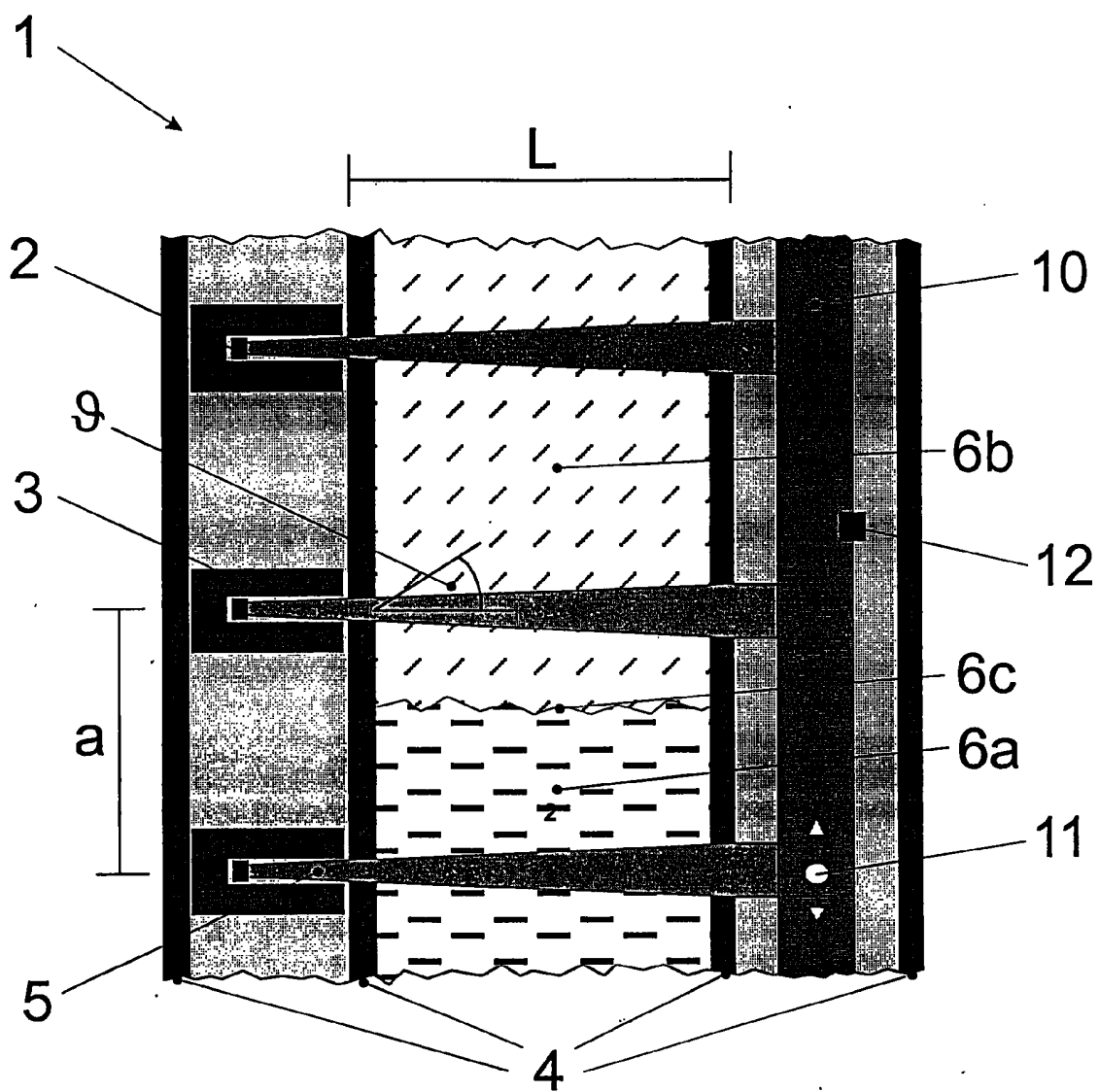


Fig. 1

**Fig. 2**

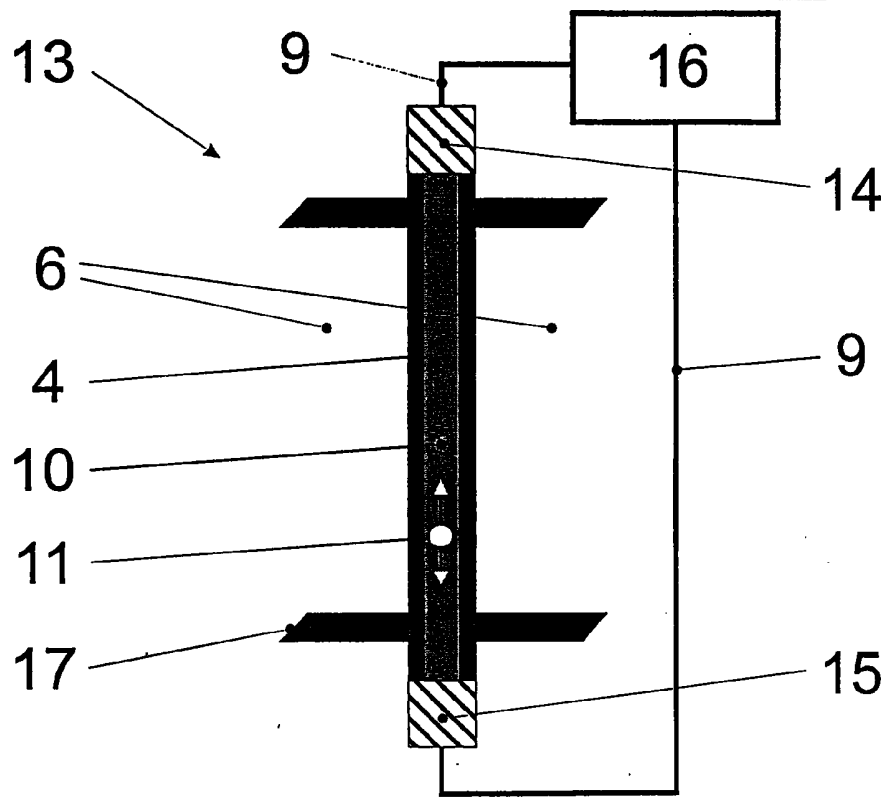


Fig. 3

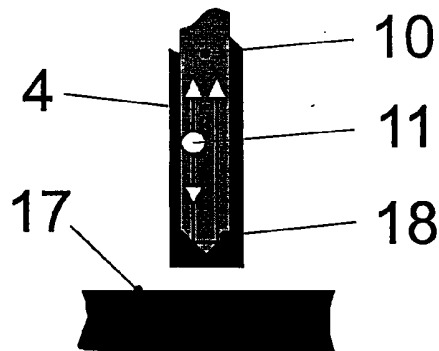
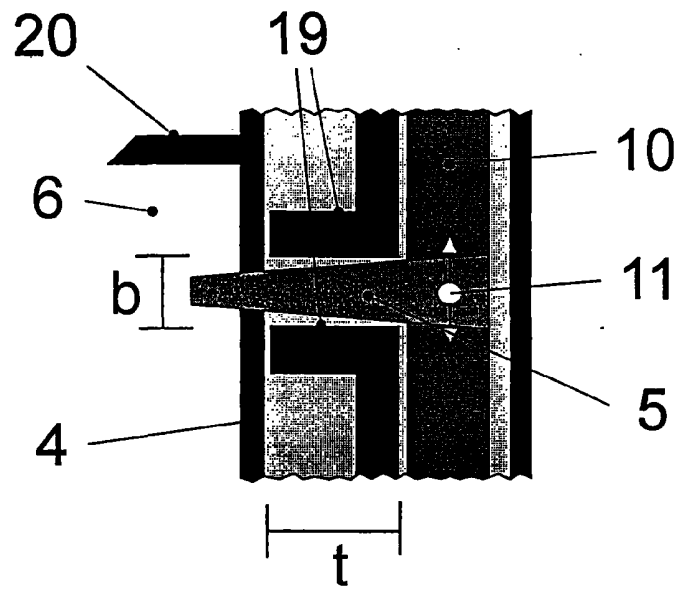
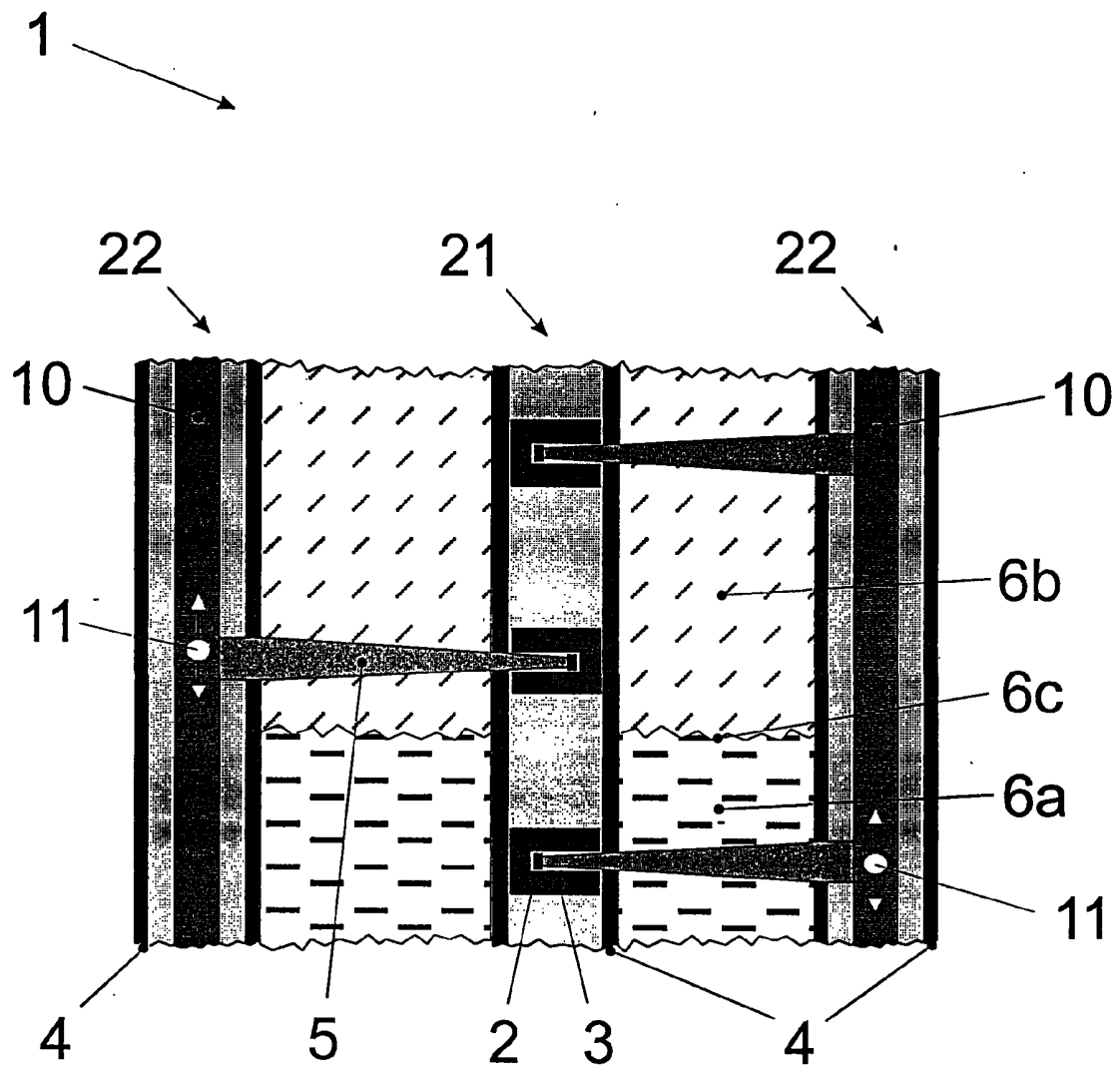
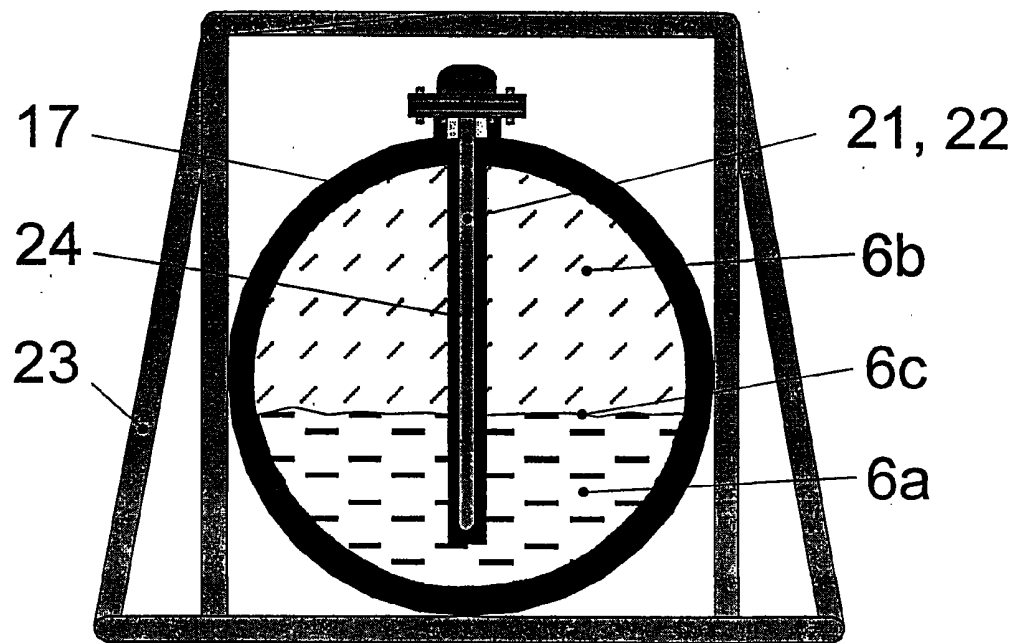


Fig. 4

**Fig. 5**

**Fig. 6**

**Fig. 7**