



NORGE

[NO]

**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 142795

(51) Int. Cl.³ G 01 B 7/10, G 01 N 27/83

(21) Patentsøknad nr. 751558

(22) Inngitt 30.04.75

(23) Løpedag 30.04.75

(41) Alment tilgjengelig fra 17.11.75
(44) Søknaden utlagt, utlegningskrift utgitt 07.07.80
(30) Prioritet begjært 14.05.74, USA, nr. 469935

(54) Oppfinnelsens benevnelse Apparat for undersøkelse av borehullsrør.

(71)(73) Søker/Patenthaver SCHLUMBERGER INLAND SERVICES, INC.,
Aldwych House, Aldwych,
London WC2B 4EL,
England.

(72) Oppfinner WADE M. JOHNSON, JR.,
Houston, TX,
USA.

(74) Fullmektig Siv.ing. Rolf Larsen,
Bryn & Aarflot A/S, Oslo.

(56) Anførte publikasjoner USA (US) patent nr. 3271664, 3543144, 3597678

Det er tidligere kommet mange forslag til på stedet å kunne foreta indre inspeksjon av rørledninger på oljefelt, slik som de foringer som vanligvis brukes inne i borehull, for på pålitelig måte å lokalisere uregelmessigheter eller defekter som med tiden kan forårsake uventede feil i røret. Fagfolk på området vil vite at hvis defekter slik som sprekker, indre tårer, tykkelsesreduksjoner, uønskede hull og lignende på pålitelig måte kan lokaliseres i tide, så kan det foretas handlinger for å korrigere disse potensielle problemene før de utvikler seg til alvorlige tilstander eller farlige situasjoner.

Erfaringen har hittil vist at de mest vellykkede feil-lokaliserende apparater utnytter en eller flere elektromagnetiske teknikker slik som måling av magnetiske flukslekkasjer, hvirvelstrømmer, eller forandringer i et lokalt indusert elektromagnetisk felt som skyldes uregelmessigheter i den tilstøtende vegg til et rør eller en foring. Hver av disse anerkjente teknikkene er spesielt effektive til å bestemme lokaliseringen eller beskaffenheten av visse typer feil, men er på det beste mindre enn tilfredsstillende for bestemmelse av andre typer vanlige feil. En innretning for undersøkelse av flukslekkasje i en rørvegg vil for eksempel vanligvis detektere uregelmessigheter som er lokalisert ved enhver sidegående posisjon langs tykkelsen av en rørvegg. Siden derimot en hvirvelstrømning vanligvis er begrenset til å lokalisere feil ved eller nær den umiddelbart tilstøtende flaten, er denne teknikken nyttig når det gjelder å undersøke bare den indre veggoverflaten i en brønnforing. Imidlertid vil ingen av disse teknikkene klart avdekke en vidtgående reduksjon av veggtykkelsen. Derimot vil vanlige tykkelsesmåleinnretninger av induksjonstypen frembringe målinger som bare indikerer

den totale eller gjennomsnittlige veggtykkelse for hele omkretsen til en inkremental foringslengde uten referanse hverken til den spesielle vinkelmessige posisjon av et gitt tynt område eller til om en reduksjon i den vanlige tykkelse er på innsiden eller på utsiden av røret.

Siden de forannevnte flukslekkasjeundersøkelser er særlig nyttige ved lokalisering av feil ved enhver dybde i en rørvegg, foretrekker man vanligvis at en grundig undersøkelse av en foring omfatter en undersøkelse av flukslekkasjen. Et vanlig problem som man likevel ofte støter på med de tidligere kjente apparater for undersøkelse av flukslekkasjer, er at betydelige avsetninger av slagg og rust på de indre veggene i en rørstreng som brukes som brønnforing, vanligvis vil påvirke apparatets respons alvorlig i ugunstig retning. Disse tidligere kjente flukslekkasjeapparatene har likeledes vist seg å bli for meget påvirket av forandringer i den radielle avstand eller den ringformede klaring mellom brønnforingens indre vegg og det legemet som apparatet befinner seg i. Slike forandringer vil vanligvis se ut som om undersøkelsesapparatet beveger seg fra en foringslengde med en gitt "vekt" eller nominell veggtykkelse til en annen foringslengde med en tykkere eller tynnere nominell "vekt" eller veggtykkelse. Siden foringslengder av en gitt rørdimensjon vanligvis vil ha en uniform ytre diameter, vil selvsagt den indre diameter nødvendigvis måtte tilta eller avta for å frembringe en veggtykkelse med en ønsket dimensjon. Dessuten er det erfaringsmessig tilstede mindre dimensjonsvariasjoner selv i foringslengder som nominelt har samme vekt, siden det er tillatt med et moderat variasjonsområde av veggtykkelser og eksentrisitet i fremsbilingsspesifikasjonene for foringen. Virkemåten til ethvert undersøkelsesapparat av flukslekkasjetypen vil i alle fall være direkte avhengig av apparatets evne til å indusere en magnetisk fluks med en forutsigbar og uniform karakter i en foringsvegg. Dette vil dessuten være spesielt ønskelig i et kombinert apparat som omfatter en hvirvelstrømdetekterende enhet og kanskje også en tykkelsesmålingsenhet av induksjonstyper.

Ved hjelp av de tidligere kjente magnetiseringsanordninger brukt til å fremkalle en tilstrekkelig magnetisk fluks for i det minste hovedsakelig å mette de tilstøtende deler av en

brønnforing som undersøkes (vanligvis ved å anvende massive magnetiseringsanordninger med kjerner med minimal reluktans som om nødvendig er så korte som mulig og har polstykker og kjerner med størst mulig diameter), har man funnet at flukslekkasjemålinger blir påvirket i ugunstig retning av nettopp slag- og rustavsetninger på de indre veggene av en foringsstreng og også av selv små variasjoner i de indre diametere av forskjellige foringslengder i en gitt streng, mens den høyintensive magnetiske fluks som fremkalles av magnetiseringsanordningen, også vil virke ugunstig på eller fullstendig maskere målingene som tilveiebringes av hvirvelstrømmåleapparatet og mulige andre undersøkelsesenheter.

Det er følgelig er formål med den foreliggende oppfinnelse å frembringe et nytt og forbedret apparat for undersøkelse av rør som er spesielt anordnet for på pålitelig måte å lokalisere metalldefekter som kan være tilstede i veggen i en rørlengde slik som en streng med borehullsforing.

Nærmere bestemt tar således denne oppfinnelse utgangspunkt i et apparat for undersøkelse av borehullsrør som omfatter to polstykker og en rekke sko i kontakt med rørveggen mellom polstykkene og i avstand fra hverandre langs en langsgående paramagnetisk eller ferromagnetisk kjerne for samtidig bevegelse gjennom borehullsrør som har typiske ferromagnetiske egenskaper, og en anordning for frembringelse av en magnetisk kraft langs kjernen for å indusere fluks i en bane mellom polstykkene langs en tilsvarende lengde av røret, hvilke sko er koplet til energiserings- og detekteringsanordninger for å utlede indikasjoner på rørdefekter på grunnlag av målinger av både flukslekkasje og hvirvelstrømsinduksjon. Den kjente teknikk vedrørende slike apparater kan ansees representert ved US-patentene 3.271.664, 3.543.144 og 3.597.678.

Det nye og særegne ved apparatet ifølge oppfinnelsen består i første rekke i at kjernen har en magnetisk reluktans som er høy i forhold til reluktansen av kombinasjonen av reluktansene av rørlengdene og et gap mellom den nevnte bane og rørlengdene for å holde den magnetisk induserte fluks langs lengdene på et hovedsakelig konstant nivå som er kompatibelt med nøyaktig deteksjon av hvirvelstrømmer ved hjelp av energiserings- og detekteringsanordningene.

Den her angitte nye løsning reduserer virkninger på flukslekkasjemålingene, forårsaket av rust og andre avsetninger på innsiden av røret, og av endringer i luftgapet mellom magnetiseringsinnretningen og rørveggen som følge av variasjoner i rørtykkelsen. Videre reduseres også uheldige innvirkninger på eller total forstyrrelse av samtidig hvirvelstrømmåling.

Ytterligere trekk ved det nye apparat ifølge oppfinnelsen fremgår av patentkravene. I den følgende beskrivelse skal oppfinnelsen forklares nærmere sammen med ytterligere formål og fordeler ved denne, under henvisning til et utførelses-eksempel illustrert på tegningene og som er basert på oppfinnelsens prinsipper. På tegningene viser:

- Figur 1 en noe skjematisk representasjon av en foretrukket utførelsesform av et nytt og forbedret apparat for undersøkelse av rør anordnet i samsvar med prinsippene i den foreliggende oppfinnelse idet apparatet er vist brukt i et typisk foret borehull,
- figur 2 forskjellige konstruktive detaljer ved apparatet på figur 1, og
- figur 3 et blokkskjema av de elektroniske kretsene for det nye og forbedrede apparat som er vist på figur 1.

Det vises nå til figur 1 hvor det er vist et apparat 10 for undersøkelse av rør som innbefatter prinsippene i henhold til oppfinnelsen som man vil se i løpet av en typisk undersøkelsesoperasjon av en lengde med brønnrør, slik som en streng med borehullsforing 11, som vanligvis benyttes for å støtte opp veggen i et borehull 12. Som vist er det nye og forbedrede undersøkelsesapparat 10 opphengt i en lengde med flerleder loggekabel 13 som på vanlig måte er spolet opp på en vinsj (ikke vist) som er anbrakt på overflaten og anordnet for å vikle kabelen av og på etter som det er nødvendig for selektivt å bevege undersøkelsesapparatet 10 gjennom foringen 11. De mange lederne 14-19 i kabelen 13 er operativt koplet ved hjelp av typiske overflatekretser 20 for registrering av de mange utgangssignaler fra undersøkelsesapparatet 10 på en skriver 21 av galvanometertypen

eller katodestrålerørtypen, og også for å tilføre kraft fra en kraftforsyning 22 til elektroniske kretser, som ved 23 og 24, i apparatet.

Som vanlig er et målehjul 25 som er anordnet for å bli drevet av kabelen 13 på og av kabelvinsjen, samvirkende koplet som for eksempel ved hjelp av en pulsgenerator eller en passende mekanisk kopling 26, til skriveren 21 for å frembringe registreringer på denne som er en funksjon av dybden til apparatet 10 i borehullet 12. Siden det vanligvis blir foretrukket at de mange loggeregistreringer som frembringes av skriveren 21, alle blir presentert med en felles dybdeskala, er kretsen 20 også anordnet for å omfatte et såkalt "dybdeminne" 27 som blir drevet av målehjulet 25 for midlertidig lagring av et sett datasignaler fra apparatet 10 for samtidig presentasjon på fremvisningsanordningen med et eller flere andre sett med datasignaler fra apparatet. Passende minnekretser er vist i US-patent nr. 3.166.709 og 3.405.349.

Som vist omfatter det nye og forbedrede undersøkelsesapparatet 10 et langstrakt legeme 28 med en eller flere vanlige sentreringsorganer, som ved 29 og 30, som er samvirkende montert på øvre og nedre deler av legemet for å holde legemet hovedsakelig koaksialt inne i brønnforingen 11. Den viste og foretrukne utførelsesform av apparatet 10 er generelt sammensatt av en feildeteksjonsenhet 31 med en rekke undersøkelsessko i kontakt med foringen, som ved 32 og 33, som er samvirkende anordnet rundt en foringsmagnetiserende anordning 34 og operativt koplet til den elektroniske kretsen 23 som er innelukket i den øvre delen av apparatlegemet 28. Den foretrukne utførelsesform av apparatet 10 omfatter også en tykkelsesmåle-enhet 35 av induksjonstypen som henger ned under legemet 28 og er operativt koplet til de elektriske kretser 24 som er innelukket i den nedre del av apparatlegemet.

Når apparatet 10 blir beveget gjennom foringen 11, vil følgelig, som nærmere forklart senere, de mange signaler som vedrører foringens tilstand og som frembringes av henholdsvis feildeteksjonsenheten 31 og tykkelsesmåle-enheten 35, suksessivt bli fremvist eller presentert på overflaten ved hjelp av registreringsanordningen 21 som en funksjon av de suksessive dybdene til

apparatet. Som før nevnt blir det foretrukket at overflatekretsen 20 omfatter et minne 27 slik at de tilstandssignaler som tilveiebringes av feildeteksjonsenheten 31 og tykkelsesmåle-enheten 35, vil bli fremvist eller presentert på registrerings-anordningen 21 på en felles dybdeskala for å lette den etterfølgende tolkning av den resulterende loggregistrering.

Det er selvsagt velkjent at når en inkremental lengde av ferromagnetisk eller paramagnetisk rør, slik som borehullsforingen 11, blir utsatt for et langsgående orientert magnetisk felt med konstant retning, vil det etableres generelt langsgående magnetiske flukslinjer i foringens vegg. Så lenge den magnetiserte delen av foringens vegg er magnetisk homogen, vil disse longitudinelt orienterte flukslinjene forbli inne i veggen til foringen 11 og vil være forholdsvis uniforme med hensyn til tetthet. Skulle det derimot være en magnetisk responsiv feil eller defekt slik som en sprekk, en grop, en åpning eller liknende i den magnetiserte del av foringen 11, vil flukslinjene bli tilsvarende forstyrret rundt denne defekten, slik at det frembringes et detekterbart såkalt flukslekkasjemønster eller en uregelmessighet på foringens vegg umiddelbart ut for defekten. Som kjent vil bevegelsen av en passende deteksjonsspole langs veggen av en magnetisert del av foringen 11 bevirke at det induseres representative spennings signaler i spolen når den passerer gjennom et av disse flukslekkasjemønstrene. Det er selvsagt kjent at for en gitt situasjon vil størrelsen av disse utgangssignalene være direkte avhengig av størrelsen på den magnetiske uregelmessigheten i røret.

De mange undersøkelsesskoene 32 og 33 som er i kontakt med veggen, er følgelig anordnet i avstand fra hverandre rundt apparatlegemet 28 for deteksjon av feil eller defekter rundt hele omkretsen til foringen 11. Som vist på figur 1 blir denne fullstendige omkretsmessige dekingen best oppnådd ved å dele de mange undersøkelsesskoene og å anordne halvparten av disse symmetrisk, som ved 32, og med like mellomrom rundt en del av legemet 28 og ved å anordne resten av skoene, som ved 33, med like mellomrom rundt en nedre del av legemet. Ved å forskyve de nedre skoene 33 vinkelmessig i forhold til de øvre skoene 32, vil hver av de nedre skoene undersøke en smal

langsgående stripe av foringen 11 som ligger mellom og svakt overlapper to tilstøtende striper på foringen som blir undersøkt av to ovenforliggende sko. Når undersøkelsesapparatet 10 blir beveget gjennom foringen 11, vil med andre ord de øvre undersøkelsesskoene som ved 32, kontinuerlig undersøke et antall omkretsmessig adskilte bånd eller langsgående striper langs foringsveggen, og de nedre skoene, som ved 33, vil kontinuerlig undersøke gapene mellom stripene for å sikre en fullstendig undersøkelse av foringsveggen.

Fagfolk på området vil selvsagt innse at det er mange tilfredsstillende mekaniske arrangementer som kan anvendes for å holde undersøkelsesskoene 32 og 33 i operativ kontakt med den indre veggen i foringen 11. For eksempel kan undersøkelsesskoene 32 og 33 monteres på apparatlegemet 28 i samsvar med prinsippene i US-patent 2 736 967. Som vist på figur 2 er imidlertid de øvre og nedre ender av inspeksjonsskoene på den foretrukne utførelse av oppfinnelsen dreibart koplet til de ytre endene av stive armer 36 og 37 som igjen har sine indre ender dreibart koplet til logitudinelt adskilte kraver 38 og 39 glidene montert rundt apparatlegemet 28. Fjærer som ved 40, er samvirkende anordnet for normalt å presse de ytre flatene av skoene, som ved 32, i glidende kontakt med veggen i foringen 11. Då de spesielle detaljene som vedrører hvordan undersøkelsesskoene er montert på apparatet 10, ikke er viktig for forståelsen av den foreliggende oppfinnelse, antas at disse mekaniske detaljene er tilstrekkelig belyst på figur 2.

Som nevnt er magnetiseringsanordningen 34 i det nye apparatet 10 samvirkende anordnet for å etablere et likerett magnetisk felt som strekker seg longitudinelt i det avsnitt av foringen 11 som undersøkelsesskoene 32 og 33 er i kontakt med. For å oppnå formålet med oppfinnelsen omfatter følgelig magnetiseringsanordningen 34 en langstrakt ferromagnetisk eller paramagnetisk kjerne 41, som er anordnet for å tjene som en mellomliggende del av apparatlegemet 28. I den foretrukne utførelsesformen av undersøkelsesapparatet 10 er en magnetiseringsspole 42 anbrakt skrueformet rundt magnetiseringskjernen 41 og samvirkende anordnet for å bli koplet til kabellederen 19 som leder til kraftforsyningen 22 på overflaten. For å isolere spolen 42

fra enhver elektrisk ledende væske i borehullet 12, er spolen fortrinnsvis omsluttet av eller innstøpt i et passende elastomerisk eller plastisk elektrisk isolerende materiale, som ved 43. Hele magnetiseringsspolen 42 er fortrinnsvis også dekket av en tynn hylse som ved 44, av et ikke-magnetisk metall som er passende dimensjonert for glidende å bære glidekravene, som ved 38 og 39, til hvilke undersøkelsesskoene 32 og 33 er montert. For å sikre maksimal effektivitet av feildeteksjonsenheten 31, er de øvre og nedre undersøkelsessko 32 og 33 montert omkring den mellomliggende del av magnetiseringsspolen 42 og mellom øvre og nedre polstykker 45 og 46 med utvidet diameter og av et paramagnetisk eller ferromagnetisk materiale, og operativt koplet til motsatte ender av magnetiseringskjernen 41.

Man vil derfor forstå at magnetiseringsanordningen 34 vil etablere et langstrakt og langsgående, toroideformet magnetisk felt som er generelt rettet i en bane som strekker seg langs aksene til den sentrale magnetiseringskjernen 41, passerer mellom de omkretsmessige flatene til de øvre og nedre polene 45 og 46 og de respektive tilstøtende flatene til foringsveggen, og som strekker seg gjennom hele omkretsen til den inkrementale lengden av foringen 11 som ligger mellom de adskilte veggflatene. Undersøkelsesskoene som ved 32 og 33, vil selvsagt alltid være i kontakt med midtpartiet av den inkrementale lengden av foringen 11 som blir magnetisert. For et gitt antall vindinger i magnetiseringsspolen 42 og en gitt tilført likestrøm, vil man følgelig innse at den resulterende fluksintensitet vil være en funksjon av den totale sum av de mange magnetiske reluktanser som er tilstede i den ovennevnte bane for det toroidale magnetfeltet. Intensiteten eller flukstettheten til det magnetiske feltet som etableres av magnetiseringsanordningen 34, vil derfor styres av den totale reluktans til den inkrementale lengde av foringen 11 som blir undersøkt, den magnetiske reluktansen til de ringformede gapene mellom foringsveggen og det øvre og det nedre polstykket, og den totale magnetiske reluktansen til kjernen 41 og polstykkene 45 og 46.

I tidligere kjente undersøkelsesapparater av flukslekkasjetypen har man antatt at det var mest effektivt å nærme seg magnetisk metning i den tilstøtende foringsveggen, og for å

oppnå dette, har det følgelig vært nødvendig å minimalisere den magnetiske reluktansen til kjernen så meget som mulig. I henhold til den foreliggende oppfinnelse har man derimot funnet at det oppnås bedre resultater ved å anordne magnetiseringsanordningen 34 slik at den magnetiske reluktansen til kjernen 41 og polstykkene 45 og 46 er betydelig større enn den summerte kombinasjon av de magnetiske reluktansene til de ringformede gapene mellom de ytre overflatene til de to polstykkene og det inkrementale avsnitt av foringen 11 som blir magnetisert. Dette vil derfor resultere i at den midlere flukstetthet som frembringes av magnetiseringsanordningen 34 er relativt konstant i suksessive lengder av foringen selv når der er mindre variasjoner enten i den magnetiske reluktansen til den inkrementale lengden av foringen 11 som blir undersøkt, eller i bredden av de ringformede gapene mellom foringsveggen og det øvre og det nedre polstykket 45 og 46. Resultatet blir i skarp kontrast til arbeidskarakteristikkene for tidligere kjente apparater av denne typen, at den nye og forbedrede feildeteksjonsenheten 31 vil være istand til å frembringe en mer pålitelig flukslekkasjeundersøkelse av borehullsrør slik som foringen 11, uten å bli særlig påvirket av hverken mindre variasjoner i den indre diameteren til røret eller av variasjoner i veggoverflatens tilstand.

Man vil selvsagt forstå at den overlagte og betydelige økning av den magnetiske reluktansen til kjerneanordningen 41 i magnetiseringsanordningen 34, kan oppnås på forskjellige måter. Først og fremst har man funnet, og det er kanskje det viktigste, at en betydelig økning av den indre magnetiske reluktansen til magnetiseringsanordningen 34 kan oppnås ved å anordne kjernen 41 slik at den har minimal diameter og metallens tverrsnitt høyst vil være lik og helst betydelig mindre enn metallens tverrsnittsareal i foringen 11. Dessuten kan den totale reluktansen til kjernen 41 også være betydelig øket i forhold til den kombinerte magnetiske reluktansen til den fullstendige toroidbanen til det etablerte magnetfelt ved å gjøre kjernen betydelig lengre enn kjerner som vanligvis brukes i tidligere kjente apparater av denne type. En ytterligere økning i reluktansen til kjernen 41 kan oppnås ved å lage denne av et metall med en relativt lav magnetisk permeabilitet istedet

for de høypermeable metaller som man tidligere har funnet fordelaktige eller helt essensielle.

Det er også funnet at det er nyttig å gjøre den vertikale høyden av det øvre og det nedre polstykket 45 og 46 noe større enn det som har vært vanlig i slike apparater. Denne økede høyden har den dobbelte fordel at den ytterligere øker den magnetiske reluktansen til den totale kjerneanordningen 41 i magnetiseringsanordningen 34 samtidig som den minsker den magnetiske reluktansen over de ringformede gapene mellom overflatene til polstykkene 45 og 46 og den indre veggflaten til foringen 11.

Ved å anvende en eller flere av disse teknikkene ved konstruksjon av kjernen 41 i magnetiseringsanordningen 34 har man oppnådd bedre og uventede resultater sammenlignet med tidligere kjente flukslekkasjeapparater. Siden de spesielle dimensjonene for et gitt undersøkelsesapparat i henhold til oppfinnelsen er helt avhengig av de rørdimensjoner som apparatet konstrueres for, antas det mer hensiktsmessig å beskrive konstruksjonsparameterne for apparatet 10 uttrykt ved foretrukne forhold mellom den magnetiske reluktansen til kjerneanordningen 41 og reluktansen til de korte ringformede gapene rundt polstykkene 45 og 46 og den kjente reluktansen til typiske oljerør slik som foringen 11.

Som nevnt er den magnetiske banen eller toroidsløyfen i forbindelse med magnetiseringsanordningen 34 i en magnetisk seriekrets som består av kjernen 41, de to ringformede rommene eller gapene omkring det øvre og det nedre polstykket 45 og 46, og den inkrementale lengden av foringen 11 som blir magnetisert. Denne sløyfen kan uttrykkes matematisk ved hjelp av følgende likning:

$$\frac{NI}{\emptyset} = \frac{L_c}{A_c \mu_c} + \frac{2t_g}{A_g \mu_g} + \frac{L_p}{A_p \mu_p} \quad (\text{likn.1.})$$

der

- N = antall vindinger i magnetiseringsspolen 42,
- I = strømmen gjennom magnetiseringsspolen 42,
- \emptyset = den magnetiske fluks i den magnetiske kretsen,
- L_c = totallengden av kjernen 41 og polstykkene 45 og 46,

- A_c = det transversale tverrsnittsareal for metallet i kjernen 41,
 μ_c = den relative magnetiske permeabilitet i kjernen 41,
 t_g = bredden eller tykkelsen på det ringformede gapet eller rommet mellom hvert av polstykkene 45 og 46 og den indre veggen i foringen 11,
 A_g = flatearealet for hvert av polstykkene 45 og 46 (dvs. høyden ganger omkretsen),
 μ_g = den relative magnetiske permeabiliteten til borehullsfluidene i de ringformede gapene (vanligvis = 1,0),
 L_p = lengden av det inkrementale avsnitt av foringen 11 som blir undersøkt ($L_c = L_p$),
 A_p = det transversale tverrsnittsarealet av metallet i foringen 11, og
 μ_p = den relative magnetiske permeabiliteten til foringen 11.

I motsetning til hva som tidligere har vært praksis (slik som diskutert i US-patentskrift nr. 3 543 144), nemlig at man nærmer seg magnetisk metning i foringen og det første leddet i likningen ovenfor følgelig gjøres så lite som mulig, er det i henhold til den foreliggende oppfinnelse om å gjøre å få dette første leddet så stort som praktisk mulig i forhold til de to andre leddene i likningen. Som nevnt er det viktig å gjøre L_c forholdsvis stor, men enda viktigere er det å gjøre A_c og μ_c små i forhold til henholdsvis A_p og μ_p .

Som et typisk eksempel på betydningen av disse forhold, vil man innse at for å gjøre det første uttrykket i likning 1 større enn det tredje uttrykket, må diameteren av kjernen 41 være relativt liten og tverrsnittsarealet av metallet i kjernen må ikke være større, og om mulig meget mindre enn tverrsnittsarealet for metallet i det borehullsrøret som blir undersøkt. Likeledes bør den relative magnetiske permeabiliteten til kjernen 41 være så lav som praktisk mulig i forhold til den forutbestemte verdien for røret og, fra en praktisk synsvinkel, bør den ikke være større.

Antar man for eksempel at det brukes en typisk 5

tommers foring med en gjennomsnittlig veggtykkelse på $1/4$ tomme og en relativ magnetisk permeabilitet på 100, vil det tredje uttrykket i likning 1 være tilnærmet $0,00255 L_p$. Det kan så vises at hvis det i kjernen 41 brukes et metall med en relativ permeabilitet på 100, kan kjernen hvis den er massiv, ikke ha en diameter større enn litt mer enn 2 tommer hvis det første og det tredje uttrykket i likning 1 skal være like. I henhold til den foreliggende oppfinnelse blir det følgelig foretrukket å lage kjernen av metaller som forskjellige harde stål typer som har relative magnetiske permeabiliteter i størrelsesorden på ikke mer enn 40 eller 50, og å begrense den ytre diameteren til noe i nærheten av halvparten, eller fortrinnsvis meget mindre, av den indre diameteren til røret som blir undersøkt (dette er ekvivalent med et kjernetverrsnitt som er mindre enn $1/4$ av polstykkenes tverrsnitt), slik at størrelsen av det første uttrykket i likning 1 i det minste er noe større, om ikke betydelig større, enn størrelsen av det tredje uttrykket i likningen. Siden det må føres ledninger gjennom legemet 28 til tykkelsesmåle-enheten 35, vil det selvsagt være fordelaktig å anordne en aksial kanal gjennom kjernen 41 som ytterligere vil redusere tverrsnittsarealet av metallet i kjernen. Når apparatet 10 for eksempel anordnes for undersøkelse av den tidligere nevnte 5 tommer foringen, kan magnetiseringskjernen lett konstrueres slik at det første uttrykket i likningen vil være i størrelsesorden $0,0085 L_c$ eller noe mer enn tre ganger størrelsen av det tredje uttrykket.

Man vil selvsagt se at ved å gjøre det første uttrykket i likning 1 betydelig større enn det tredje uttrykket, så vil det andre uttrykket bli nesten ubetydelig i sammenlikning med det første uttrykket. I det ovenfor beskrevne eksemplet er det for eksempel lett ved hjelp av de nå tilgjengelige metaller å gjøre det første uttrykket i likning 1 minst førti eller femti ganger større enn det andre uttrykket. Med så store relative forskjeller kan det lett vises at større forandringer, slik som $1/8$ tomme eller mer, i bredden av de ringformede gapene mellom veggen i foringen 11 og polstykkene 45 og 46, ikke vil påvirke den totale magnetiske reluktansen i den magnetiske kretsen til magnetiseringsanordningen 34 med mer enn fra 1 % til 2 %. Fagfolk vil selvsagt forstå at tidligere kjente

flukslekkasje-apparater av metningstypen vil oppvise meget større forandringer i den totale magnetiske reluktansen i sine magnetiske kretser når der er en forandring i gapene rundt polstykkene selv så liten som 1/16 tomme.

Betydningen av disse små forandringene i den totale reluktansen til magnetiseringsanordningens 34 som forårsakes av betydelige forandringer i bredden av de ringformede gapene mellom foringen 11 og polstykkene 45 og 46, blir enda tydeligere når det blir nødvendig å skjelne et signal forårsaket av en defekt ved foringen fra enten et harmløst belegg på foringsveggen eller en normal diametervariasjon fra en seksjon av foringen til en annen. Når det nye apparat 10 i henhold til oppfinnelsen for eksempel føres gjennom en lengde med borehullsrør, som foringen 11, vil det alltid være mindre rippler eller variasjoner i utgangssignalet som kan karakteriseres som "magnetisk støy". Slike støysignaler vil selvsagt oppstå på grunn av slingring eller "skjelvinger" i undersøkelsesskoene 32 og 33 og av mindre forandringer i de ringformede gapene rundt polstykkene 45 og 46 som skyldes ruhet i røret og rustavleiringer langs rørboringen. Som diskutert ovenfor vil imidlertid disse støysignalene være små på grunn av den spesielle konstruksjonen av feildeteksjonsenheten 31. Når en uregelmessighet i fluksen som forårsakes av en feil i røret, blir krysset av undersøkelsesskoene slik som 32 og 33, vil følgelig det resulterende utgangssignalet ha betydelig større amplitude enn bakgrunnsnivået til de kontinuerlige magnetiske støysignalene, og de vil derfor være lette å oppdage på loggregistreringen som frembringes av registreringsanordningen 21. Det forbedrede signal/støy-forholdet til den nye og forbedrede feildeteksjonsenheten 31 har med andre ord blitt funnet usedvanlig gunstig ved undersøkelser i felten.

Med apparater av den tidligere kjente type (slik som vist i US-patent 3 543 144) hvor selv en mindre forandring i de ringformede gapene mellom polstykkene og rørveggen vil forandre betydelig den totale magnetiske reluktansen til magnetiseringskretsen, har man derimot lagt merke til at utgangssignalene fra apparatene inneholder usedvanlig meget støy. Ved bruk av disse apparatene har det derfor mange ganger blitt demonstrert at det ofte er vanskelig om ikke umulig, å skjelne flukslekkasje-

signaler fra den vanlige og høye støyen eller bakgrunnssignalene. I sammenlikning har det enestående arrangementet av magnetiseringsanordningen 34 i apparatet 10 i henhold til oppfinnelsen for alle praktiske formål eliminert alle betydelige virkninger på operasjonen av apparatet som ellers kunne opptre når apparatet føres gjennom tilstøtende avsnitt av røret med litt forskjellige indre diametere eller gjennom spesielt rue eller rustbelagte partier.

Den forangående diskusjon har vært rettet mot konstruksjonen av magnetiseringsanordningen 34 som muliggjør den flukslekkasjeundersøkelse som skal utføres av flukslekkasje-enheten 31. Som antydnet foran er imidlertid en undersøkelsesenhet av hvirvelstrømstypen kombinert med feildeteksjonsenheten 31 for å skjelne mellom rørdefekter på eller nær den indre overflaten til borehullsrøret og defekter som kan være enten på utsiden av røret eller noe inne i rørveggen, som man best ser av figur 3.

Som skjematisk vist på figur 3 er feildeteksjonsenheten 31 i apparatet 10 fortrinnsvis anordnet slik at de mange undersøkesskoene som ved 32 hver vil bære en hvirvelstrømoscillatorspole 47 og to differensielt forbundne deteksjonsspoler 48 og 49. For å indusere hvirvelstrømmer i den tilstøtende veggflaten til borehullsrøret som blir undersøkt, er oscillatorspolene, som ved 47, i hver av undersøkesskoene, som ved 32, henholdsvis koplet til en felles høyfrekvensoscillator 50 i kretsen 23 som befinner seg nede i hullet. Derimot er hver av deteksjonsspole 48 og 49 i hver av undersøkesskoene, som ved 32, hver koplet til en individuell signalseparerende krets, som ved 51, som er samvirkende anordnet for å frembringe separate utgangssignaler som henholdsvis representerer hvirvelstrømsmålingene og flukslekkasjemålingene som er oppnådd fra hver enkelt undersøkessko. Siden de signalseparerende kretsene, som ved 32, fortrinnsvis er identiske med hverandre, er bare en av disse kretsene som er innbefattet i kretsen 23 nede i hullet, vist på figur 3.

Som vist blir de kombinerte signalene som henholdsvis representerer hvirvelstrømsmålingene og flukslekkasjemålingene ført til inngangsklemmene på en typisk bredbåndsforsterker 52 som er inkludert i den signalseparerende kretsen 51. Utgangs-

signalene fra forsterkeren 52 blir så delt i to kanaler, som ved 53 og 54, og henholdsvis koplet til et typisk lavpassfilter 55 og et typisk høypassfilter 56 som er samvirkende konstruert slik at de henholdsvis slipper gjennom signaler som er representative for lavfrekvente flukslekkasjesignaler og typiske høyfrekvente hvirvelstrømssignaler. Den lavfrekvente kanalen eller flukslekkasjekanalene 53 i den signalseparerende kretsen 51, omfatter en vanlig forsterker 57 og en likeretter 58 for å frembringe et ufiltrert signal med pulser eller toppe med valgt polaritet hver gang undersøkelsesskoen 32 føler en rørdefekt. Amplityden til utgangspulsene fra flukslekkasjekanalene 53 i den signalseparerende kretsen 51 vil selvsagt være proporsjonal med alvorlighetsgraden eller utstrekningen av den feteuerte defekten. På liknende måte blir hvirvelstrømskanalen 54 i den signalseparerende kretsen 51 forsynt med en forsterker 59, en detektor 60 og en likeretter 61 for omdannelse av de høyfrekvente feilsignalene til pulser eller toppe med valgt polaritet hver gang undersøkelsesskoen 32 avføler en feil i røret som er enten på eller nær den indre rørveggen. Også her vil amplityden av disse pulsene være proporsjonal med alvorlighetsgraden av feilen som detekteres ved hvirvelstrømsundersøkelsen.

Man vil selvsagt forstå at hensikten med den nye og forbedrede feildeteksjonsenheten 31 er å lokalisere rørdefekter av en potensielt alvorlig karakter. Det er derfor bare et akademisk spørsmål om der er mer enn en feil i et gitt omkretsmessig avsnitt av et borehullsrør, og det praktiske spørsmålet er ganske enkelt om der er eller ikke er en feil i en gitt inkremental lengde av røret, og hvis det er, hvor alvorlig feilen er. I den nye og forbedrede feildeteksjonsenheten 31 er det derfor anordnet en kretsarrangering 62 i kretsarrangementet 21 nede i hullet for å skjelle mellom de mange utgangssignaler som samtidig kan bli tilført fra en eller flere av undersøkelsesskoene, som ved 32, og for å frembringe bare et enkelt utgangssignal som er representativt for den mest alvorlige feilen som da blir avfølt av undersøkelsesskoene. I den foretrukne utførelsesformen av kretsen 23 omfatter som vist på figur 3 den signaldifferenserende kretsarrangeringen 62 et antall diodesammenstillinger 63-66 som er anordnet som ELLER-porter og som er anordnet for henholds-

vis å differensiere flukslekkasjesignalene og også hvirvelstrømssignalene fra de øvre og de nedre undersøkelsesskoene, som ved 32 og 33. Som vist blir hvirvelstrømsutgangssignalene fra hver av de signalseparerende kretsene, som ved 51, hver tilknyttet hver av de øvre undersøkelsesskoene, som ved 32, henholdsvis koplet til de mange inngangene fra maksimumssignalvelgeren 66.

Et hvirvelstrømsutgangssignal fra en av de øvre undersøkelsesskoene, som ved 32, vil følgelig bli ført til kabellederen 17 over den signalseparerende kretsen 51 og maksimumssignalvelgeren 66. Skulle det derfor være to eller flere hvirvelstrømssignaler som samtidig blir tilført den signalvelgende kretsen 66, så vil bare det største av disse signalene fra de øvre skoene i et gitt øyeblikk bli ført til kabellederen 17. De andre signalvelgende kretsene er anordnet på liknende måte, med kretsen 63 fortrinnsvis koplet til leder 14 for å videreføre bare det største flukslekkasjesignalet fra de nedre skoene, og med kretsen 64 anordnet for å skjelne det største hvirvelstrømssignalet fra de nedre skoene. Den signalvelgende kretsen 65 velger likeledes ut det største flukslekkasjesignalet fra de øvre undersøkelsesskoene, som ved 32.

Det vises igjen til figur 1 hvor der er vist tykkelsesmåle-enheten 35 som omfatter et par induksjonsspoler 67 og 68 som er koaksialt viklet rundt en langstrakt ikke magnetisk stang 69 som henger ned fra apparatlegemet 28 og som er adskilt i langsgående retning med en avstand som er større enn foringens 1) diameter. Selv om det naturligvis kan anvendes andre typer induktive tykkelsesmåleinnetninger sammen med apparatet 10, har man funnet at et arrangement slik som beskrevet i US-patent 2 573 799, er fullstendig tilfredsstillende for oppmåelse av den tilsiktede virkning i henhold til oppfinnelsen.

Som vist på figur 3 omfatter den elektroniske kretsen 24 som står i forbindelse med tykkelsesmåle-enheten 35, en oscillator 70 som er koplet til en ende av induksjonsspolen 68 for opprettelse av et magnetisk vekselfelt i den tilstøtende foringsvegg som blir detektert av den andre spolen 67. Som beskrevet i det ovennevnte patent er, på grunn av den langsgående avstand mellom spolene, fasen til utgangssignalet fra detektor-

spolen 67 i forhold til oscillatorsignalet som tilføres eksiteringsspolen 68, representativt for det metallvolum som finnes i den inkrementale lengde av foringen 11 som ligger mellom de to spolene. Siden den langsgående avstand mellom spolene er fast, betyr dette at faseforholdet mellom inngangs- og utgangssignalene er en funksjon av den totale gjennomsnittlige veggtykkelse over denne inkrementale lengden av foringen 11. For å bestemme dette faseforholdet blir utgangssignalet fra detektorspolen 67 over en forsterker 71 koplet til den ene inngangen på en vanlig fasekomparator 72. For å frembringe et referansesignal til komparatoren 72 blir fasen til strømmen i eksiteringsspolen 68 avfølt, som ved 73, ved å kople den andre inngangen til komparatoren til den ujordede enden av en motstand 74 som er koplet til den motsatte enden av eksiteringsspolen. Utgangen fra fasekomparatoren blir så koplet til kabellederen 18 ved hjelp av en forsterker 75 som er innbefattet i kretsen 24.

Med det nye og forbedrede undersøkelsesapparat 10 anordnet som vist på tegningene, blir en undersøkelse utført mens apparatet føres gjennom en rørstreng i et borehull, slik som foringen 11. Selv om undersøkelsen kan utføres mens apparatet blir senket ned gjennom foringen 11, er det å foretrekke at undersøkelsen foretas mens apparatet blir hevet inne i borehullet 12, slik at kablen 13 vil være under jevnt strekk for å tilveiebringe mer pålitelige dybdemålinger for registreringsanordningen 21.

Når det nye og forbedrede apparatet blir brukt til å undersøke minst ett eller flere intervaller av foringsstrengen 11, vil man selvsagt innse at registreringsanordningen 21 samtidig vil frembringe fem separate logger som hver for seg og samlet representerer den aktuelle tilstanden til foringen. Disse loggene eller kurvene blir selvsagt presentert på en felles dybdeskala ved hjelp av minnet 27. Fire av disse loggene er hvirvelstrøms- og flukslekkasjemålingene som måles henholdsvis ved hjelp av de øvre og de nedre skoene, som ved 32 og 33, i feildeteksjonsenheten 31, mens den femte loggen eller kurven er den gjennomsnittlige veggtykkelsen som måles ved hjelp av veggtykkelsesmåle-enheten 35.

Fagfolk på området vil selvsagt innse at selv om det

tidligere har vært mange forslag om å kombinere forskjellige feilmålinger, har det hittil ikke vært noe kommersielt akseptabelt feilundersøkelsesapparat som på tilfredsstillende måte kombinerer hvirvelstrøms- og flukslekkasjemålinger for undersøkelse av borehullsrør slik som rørforingen 11. Som forklart i det etterfølgende har man imidlertid funnet at det nye apparatet i henhold til oppfinnelsen er spesielt gunstig for å oppnå flere feilmålinger slik som flukslekkasjesignalene, hvirvelstrøms-signalene og de tykkelsessignalene som tilveiebringes av apparatet.

For å forstå den betydelige rolle som konstruksjonen av magnetiseringsanordningen 34 spiller for oppnåelse av pålitelige tykkelsesmålinger med apparatet 10, vil man minne om at magnetiseringsanordningen er anordnet for å frembringe et magnetisk felt av en forholdsvis liten størrelse og med en hovedsakelig konstant flukstetthet. Betydningen av den lave intensiteten og den konstante flukstettheten til dette magnetfeltet forstås best når man innser at for en gitt frekvens av oscillatoren 70, blir målingene av faseforholdet som frembringes av tykkelsesmåle-enheten 35, bestemt av tykkelsen, den elektriske motstanden og den magnetiske permeabiliteten til den inkrementale lengde av foringen 11 som blir undersøkt i et gitt øyeblikk. Det er imidlertid velkjent at permeabiliteten til et ferromagnetisk eller paramagnetisk metall er avhengig av intensiteten til ethvert magnetfelt som er tilstede i metallet og av den tidligere magnetiske historien til metallet. Forandringer i den foreliggende magnetiske tilstand eller i gjennomsnittstykkelsen til en inkremental lengde av borehullsrøret, vil derfor frembringe tilsvarende forandringer i faseforholdene som måles av tykkelsesmåle-enheten 35.

Man vil følgelig forstå at siden den enestående konstruksjonen av magnetiseringsanordningen 34 induserer et relativt konstant magnetisk flukstetthet i foringen 11 når det nye og forbedrede apparatet 10 føres gjennom denne, vil tykkelsesmåle-enheten 35 for alle praktiske formål bare reagere på forandringer i den gjennomsnittlige veggtykkelse over de inkrementale lengder av foringen som blir suksessivt undersøkt. Det skal også nevnes at på grunn av den relativt lave flukstettheten

som frembringes av magnetiseringsanordningen 34, vil det være liten eller ingen restmagnetisme tilbake i foringen 11 etter at magnetiseringsanordningen er ført forbi. Når derfor den etterfølgende tykkelsesmåle-enheten 35 føres gjennom en gitt inkremental lengde av foringsstrengen 11, vil faseforskjellsmålingene fra komparatoren 72 være i det vesentlige om ikke fullstendig upåvirket av permeabilitetsforandringer i foringen, som ellers ville ha blitt frembrakt av restmagnetisme, som ville vært skapt av magnetiseringsanordningene av metningstypen som har vært brukt i tidligere apparater.

Fagfolk på området vil vite at den etterfølgende magnetiske tilstanden til et magnetisk materiale som har vært sterkt magnetisert tidligere, er helt umulig å forutsi. Når det derfor gjøres en serie tykkelsesmålinger med et apparat slik som tykkelsesmåle-enheten 35 i en foring, som ved 11, som har en betydelig grad av restmagnetisme, vil de resulterende målinger bli påvirket både av metalltykkelsen og den aktuelle magnetiske permeabiliteten til foringsstrengen. Hvis det med rimelighet kan antas at den magnetiske tilstanden til foringsstrengen 11 under en gitt runde med tykkelsesmålinger, er forholdvis konstant, vil tykkelsesmålingene med rimelig grad av sannsynlighet antas å indikere tykkelsesvariasjonene langs strengen. Derimot kan en senere opptatt tykkelsesmåling av den samme rørstrengen ikke sikkert korreleres med tidligere målinger, da det er helt umulig å forutsi hvilken virkning den foreliggende magnetiske tilstanden til foringsstrengen har på nøyaktigheten av de nye tykkelsesmålingene. Dette er tilfelle uansett om foringsstrengen 11 igjen blir magnetisert med et sterkt magnetfelt eller ikke. Man vil følgelig se at i tillegg til fordelene med en konstant magnetisk flukstetthet, vil magnetiseringsanordningen 34 indusere et så svakt magnetisk felt i foringen 11 at det vil være lite eller ingen magnetisme tilbake i foringen som kan påvirke hverken den aktuelle tykkelsesmåling eller senere opptatte tykkelsesmålinger i den samme strengen.

Likeledes har den uniforme flukstettheten og den relativt svake intensiteten til de magnetiske felter som induseres i borehullsstrengen 11 av magnetiseringsanordningen 34, vist seg å være av stor betydning for oppnåelse av pålitelige hvirvel-

strømsmålinger i vanlige foringsstrenger. Det er selvsagt kjent at påliteligheten og dermed effektiviteten av en hvirvelstrømsmåling er direkte avhengig av den relative magnetiske permeabiliteten til det ferromagnetiske eller paramagnetiske metallet som blir undersøkt. Videre kan det vises at når den relative magnetiske permeabiliteten til et gitt magnetisk materiale blir øket, vil undersøkelsesdybden eller inntrengningsdybden avta proporsjonalt. Eksperimenter har følgelig vist at effektiviteten av en hvirvelstrømsmåling av en gitt foringsvegg vil bli gunstig påvirket, om ikke helt ødelagt, av tilstedeværelsen av et ytre magnetisk felt som enten varierer betydelig i styrke eller nærmer seg magnetisk metning for den tilstøtende foringsveggen.

Som før nevnt vil man imidlertid forstå at den spesielle konstruksjonen av magnetiseringsanordningen 34 opprettholder et hovedsakelig konstant og forholdsvis svakt magnetisk felt i foringsstrengen 11 mens apparatet 10 utfører en undersøkelse. Da de mange undersøkelsessko som ved 32 og 33, hver blir ført langs den indre veggen i foringen 11, kan de foran beskrevne målinger av flukslekkasje og hvirvelstrømmer oppnås samtidig uten ugunstig påvirkning av de sistnevnte målinger fra det lave og konstante magnetiske felt som opprettes av magnetiseringsanordningen 34. Selv om magnetiseringsanordningen 34 likeledes etter hvert vil undusere et magnetisk felt i de inkrementale lengder av foringsstrengen 11 som etter hvert blir undersøkt av feildeteksjonsenheten 31, vil målingene som frembringes av den etterfølgende tykkelsesmåle-enheten 35 bli påvirket lite eller ingenting av restmagnetisme med lavt nivå som fremdeles kan være tilstede i foringsveggen når tykkelsesmåle-enheten beveger seg gjennom de deler av strengen.

Den kombinerte logg som tilveiebringes av registreringsapparatet 21 vil følgelig representere tre hovedregistreringer som indikerer den foreliggende fysiske tilstanden til foringsstrengen 11 ved hvert dybdenivå som undersøkes av apparatet 10. En av disse hovedregistreringene vil selvsagt være flukslekkasjemålingene som henholdsvis er representative for tilstedeværelsen og alvorlighetsgraden av den verste feilen rundt omkretsen til en gitt inkremental lengde av foringsstrengen 11.

Disse flukslekkasjemålingene vil selvsagt være ubestemte med hensyn til om en eventuell feil er på utsiden eller på innsiden eller inne i foringen. Siden imidlertid hvirvelstrømsmålingen for alle praktiske formål bare er effektiv til å lokalisere feil som er enten på den indre overflaten av foringen ll eller meget nær denne overflaten, vil man forstå at samtidig opptreden av feilsignaler på både flukslekkasjeloggen og hvirvelstrømsloggen vanligvis vil indikere at den detekterte feil er på eller meget nær den indre overflaten til foringen. Derimot vil et feilsignal ved en gitt dybde som opptrer bare på flukslekkasjeloggen, indikere at den detekterte feil er enten på den ytre flaten av foringen ll eller ganske dypt inne i foringsveggen. Det skal bemerkes at på grunn av maksimumsvelgerkretsene 63-66 vil selvsagt samtidige feilindikasjoner på registreringene for flukslekkasje og hvirvelstrømsmålingene vanligvis være forårsaket av den samme feil.

Selv om de relative amplitydene til feilsignalene som frembringes på flukslekkasje- og hvirvelstrøms-loggen til en viss grad vil være representativ for alvorlighetsgraden av en detektert feil, vil man selvsagt forstå at disse feilsignalene hovedsakelig er av kvalitativ beskaffenhet. For å oppnå en mer kvantitativ måling av alvorlighetsgraden av en gitt feil, må man følgelig se på registreringen av tykkelsesmålingene. Siden denne målingen representerer den gjennomsnittlige totale veggtykkelsen av en gitt inkremental lengde av foringen ll, frembringer tykkelsesmålingen en generell indikasjon på alvorlighetsgraden av enhver detektert defekt ved foringen. Det skal bemerkes at tilstedeværelsen av et feilsignal bare på registreringene fra for eksempel de øvre skoene som ved 32, vanligvis vil indikere at den detekterte defekt ikke strekker seg særlig langt i sideretningen eller langs omkretsen siden de nedre skoene, som ved 33, ikke detekterer feilen. En betydelig reduksjon av den gjennomsnittlige veggtykkelsen ved dette dybdenivået vil derfor vanligvis indikere en alvorlig defekt. Hvis derimot samtidig opptreden av feilsignaler med forskjellige amplityder på registreringene fra de øvre og de nedre skoene 32 og 33 er tilstede, vil dette antyde en viss utstrekning av feilen langs omkretsen. Uniforme feilsignaler på registreringene fra de øvre

og de nedre skoene 32 og 33 vil sannsynligvis indikere en betydelig feil langs omkretsen. Alvorlighetsgraden eller dybden av disse typene feil, kan selvsagt anslås ut fra registreringen av tykkelsesmålingene.

Man vil følgelig forstå at den foreliggende oppfinnelse har tilveiebrakt et nytt og forbedret apparat for undersøkelse av rør som er spesielt anvendelig for lokalisering av feil i borehullsrør slik som foringsrør, ved hjelp av flukslekkasjemålinger. Ved å anordne en magnetiseringsanordning for røret som omfatter en kjerne med høy reluktans, vil det magnetiske felt som opprettes i den tilstøtende rørvegg, ha en slik lav intensitet at man ikke engang nærmer seg magnetisk metning av metallet i veggen. På grunn av denne kjernen med høy reluktans vil dessuten betydelige forandringer i enten den indre diameter av røret eller tilstanden til den ytre overflaten ha liten eller ingen virkning på flukstettheten til det hovedsakelig konstante magnetfelt. Siden det derfor er etablert et hovedsakelig konstant magnetfelt i rørstrengen, vil den magnetiske permeabiliteten til røret forbli i det vesentlige konstant, og hvirvelstrøms- og tykkelsesmålinger som oppnås sammen med flukslekkasjemålingene, vil være betydelig mer nøyaktige.

P a t e n t k r a v:

1. Apparat for undersøkelse av borehullsrør, omfattende to polstykker og en rekke sko i kontakt med rørveggen mellom polstykkene og i avstand fra hverandre langs en langsgående paramagnetisk eller ferromagnetisk kjerne for samtidig bevegelse gjennom borehullsrør som har typiske ferromagnetiske egenskaper, og en anordning for frembringelse av en magnetisk kraft langs kjernen for å indusere fluks i en bane mellom polstykkene langs en tilsvarende lengde av røret, hvilke sko er koplet til energiserings- og detekteringsanordninger for å utlede indikasjoner på rørdefekter på grunnlag av målinger av både flukslekkasje og hvirvelstrømsinduksjon, k a r a k t e r i s e r t v e d at kjernen har en magnetisk reluktans som er høy i forhold til reluktansen av kombinasjonen av reluktansene av rørlengdene og et gap mellom den nevnte bane og rørlengdene for å holde den magnetisk induserte fluks langs lengdene på et hovedsakelig konstant nivå som er kompatibelt med nøyaktig deteksjon av hvirvelstrømmer ved hjelp av energiserings- og detekteringsanordningene.
2. Apparat i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at kjernen har en forholdsvis lav magnetisk permeabilitet og et tverrsnittsareal som er mindre enn fjerdedelen av tverrsnittsarealet til polstykkene.
3. Apparat i henhold til krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at kjernen er sammensatt av et materiale som hardt stål med en relativ magnetisk permeabilitet i størrelsesorden høyst 50.
4. Apparat i henhold til et av kravene 1-3, k a r a k t e r i s e r t v e d to induksjonsspoler som ligger i avstand fra hverandre langs en ikke magnetisk stang som er koplet til enden av kjernen, og ved anordninger som er tilkoplet spolene for å utlede indikasjoner på rørtykkelsen til rørlengdene, idet magnetiseringsanordningen induserer en relativt lav fluksintensitet i rørlengdene for å unngå restmagnetisme som i særlig grad påvirker tykkelsesindikasjonene.
5. Apparat i henhold til krav 1 - 4, k a r a k t e r i s e r t v e d en minneanordning for fortløpende å presentere alle indikasjonene på en felles dybdeskala.

142795

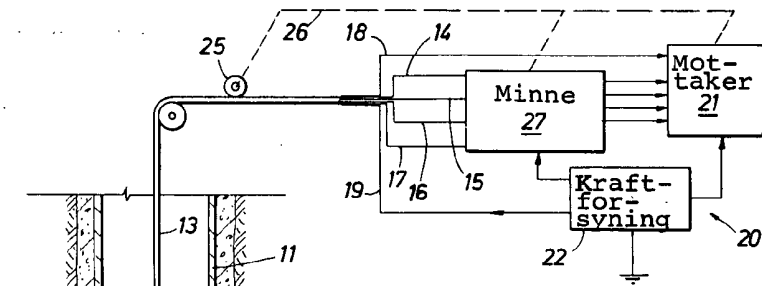


FIG. 1

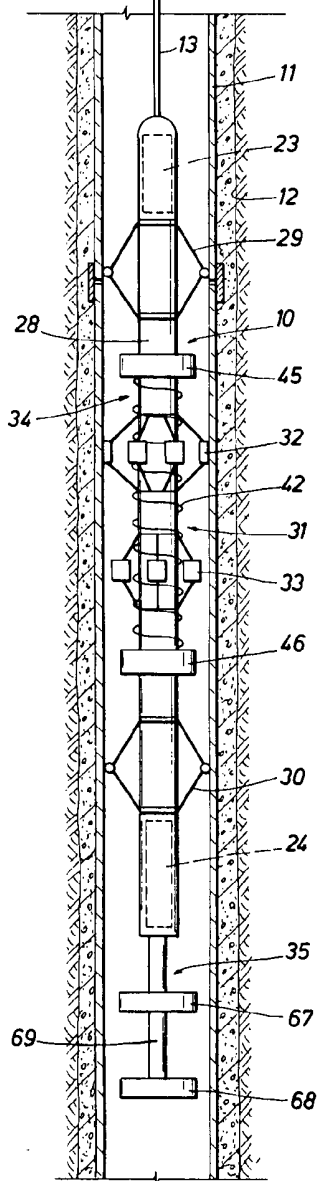


FIG. 2

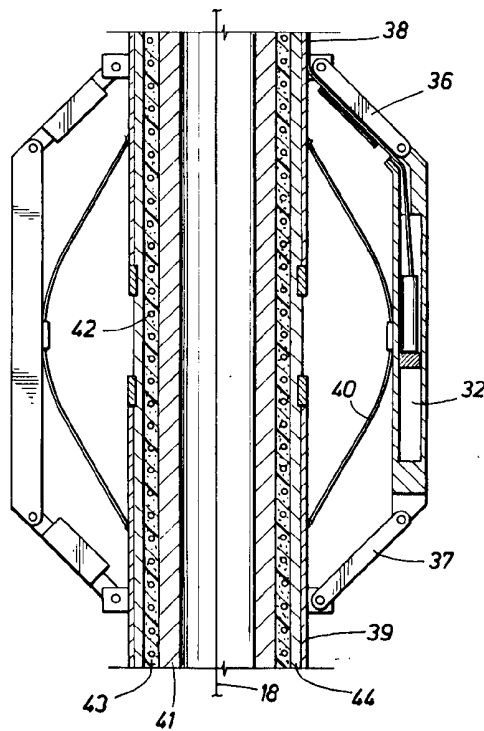


FIG. 3

