



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **304453**

(13) B1

(51) Int Cl⁶ G 01 N 17/00, 17/90

Patentstyret

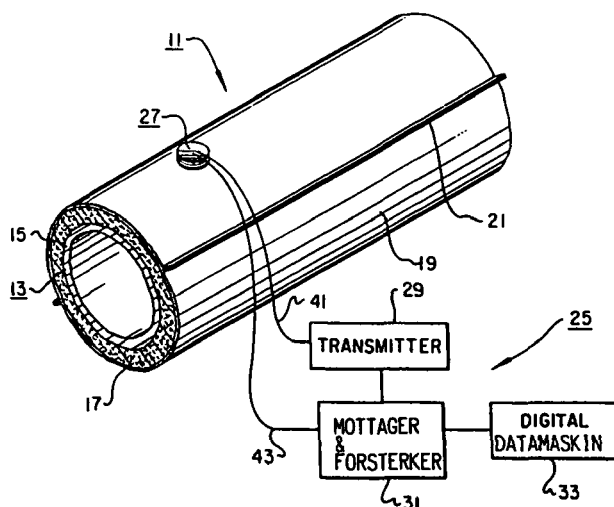
(21) Søknadsnr	19885429	(86) Int. inng. dag og	
(22) Inng. dag	07.12.1988	søknadsnummer	
(24) Løpedag	07.12.1988	(85) Videreføringsdag	
(41) Alm. tilgj.	19.06.1989	(30) Prioritet	17.12.1987, US, 133952
(45) Meddelt dato	14.12.1998		
(73) Patenthaver	Atlantic Richfield Co, 2300 West Plano Parkway, Plano, TX 75075, US		
(72) Oppfinner	Brian R. Spies, McKinney, TX, US		
(74) Fullmektig	Curo AS, 7094 Lundamo		

(54) **Benevnelse** **Framgangsmåte for direkte deteksjon av korrosjon på ledende beholdere**

(56) **Anførte publikasjoner** US 3315154
MESSTECHNIK, Vol. 79, nr. 12, desember 1971, Praha, B. Carniol, "Die Messgrößen-Trennung bei der induktiven Dickenmessung mit Dämpfungsauswertung von Eigenschwingungen", side 284-289

(57) **Sammendrag**

Der er beskrevet en framgangsmåte for deteksjon av korrosjon på veggene i ledende beholdere hvori en transmissionsantenne induserer en strøm i en del av beholderveggen og reduksjonen av den induserte strømmen registreres av en mottagerantenne, hvor det etableres en registrering av reduksjonen av den induserte strømmen. Registreringen tolkes for å bestemme nærvær eller fravær av korrosjonskomponent, hvor korrosjonskomponenten forårsakes av nærvær av korrosjonsprodukter med superparamagnetiske egenskaper.



Den foreliggende oppfinnelsen angår en ikke-destruktiv framgangsmåte for detektering av korrosjon på elektrisk ledende beholdere slik som rørledninger, lagertanker, trykktanker o.l., i samsvar med den innledende delen av de selvstendige patentkrav.

5 Bakgrunn for oppfinnelsen

Olje- og gass rørledninger lokalisert i Prudhoe Bay i Alaska er omsluttet i en kappe av isolerende materiale for å forhindre hurtig avkjøling, og gir bedre transporterbarhet av olje og gassfluoider. Den ytre overflaten av isolasjonen er dekket av en metallkappe for å holde ute fuktighet. Metallkappen er typisk bragt til veie i to halvdelar hvor hver del har flenser til
10 hjelp for å holde kapp på rørledningen. De to halvdelene av kappen er føyd sammen ved flensene som danner sømmer. Vann trenger fra tid til annen gjennom sømmene i kappen og vandrer gjennom isolasjonen til røret hvor det forårsaker korrosjon.

Framgangsmåter fra den kjente teknikk for deteksjon av rørledningskorrosjon har vist seg å være innadekvate. F.eks. kan pigger med korrosjonsdeteksjonsutstyr bare brukes på rør-
15 ledninger som har steder med tilgjenge; mange rørledninger mangler slike steder. Ultrasoniske deteksjonsframgangsmåter krever fjerning av metall-kappen og isolasjonen, en tidkrevende og kostbar prosess. Radiografiske deteksjonsframgangsmåter er potensielt farlige og utstyret er uveient, og krever upraktisk eller uegnet nærværende kjøretøystøtte. Videre er det med radiografiske framgangsmåter ofte vanskelig å skille mellom korrosjons-
20 groper fylt med korrosjonsprodukter og ikke-korroderede deler av rørveggene. Det det da er behov for er en framgangsmåte for deteksjon av korrosjon gjennom isolasjonen og den omgivende kappen, og hvis framgangsmåte kan utføres med bærbart utstyr.

Teknikker som gjør bruk av elektromagnetiske prober utgjør en slik framgangsmåte for deteksjon av korrosjon gjennom isolasjonen. I kjent teknikk brukes teknikker som gjør bruk
25 av elektromagnetiske frekvensprober for å oppdage korrosjon i drivstofftanker for luftfartøy. Teknikker som gjør bruk av elektromagnetiske frekvensprober benytter et lite antall frekvenser og måler amplitude og faseforskjeller mellom de utsendte signalene og de motatte signalene. Imidlertid, fordi frekvensteknikker, av praktiske hensyn, gjør bare bruk av et lite antall frekvenser, er mengden av den oppnådde informasjon nødvendigvis begrenset,
30 for således å gjøre teknikken tilsvarende mindre nøyaktig.

Tidligere er kjent fremgangsmåter for elektromagnetisk undersøkelse i tidsdomenet, for detektering av korrosjon ved ledende beholdere.

Fra US 3 315 154 er kjent en framgangsmåte for måling av veggtykkelse ved hjelp av magnetisk flukstetthet. En permanent magnet er kilden for et magnetisk felt som blir brukt

for avføling. Magnetisk fluks blir indusert i objektet som testes, ved bevegelse av magneten.

I tidsskriftet MESSTECHNIK, Vol. 79, nr. 12, desember 1971, Praha er gjengitt en artikkel av B. Carniol, med tittel "Die Messgrößen-Trennung bei der induktiven Dickenmessung mit Dämpfungsauswertung von Eigenschwingungen". Her er omtalt teknikker på frekvensområdet og ikke tidsområdet. Det er beskrevet bruken av en LC-målekrets som aktiveres med dempingsfri oscillasjoner. Særlig er omtalt frekvensavhengige variabler så som sjikt-dybde, tidskonstanter, reelle og imaginære komponenter ved det målte signalet og til og med selve LC målekretsen. Da denne teknikken er på frekvensområdet, anvendes bare diskrete frekvenser. Dette innebærer at "blind" tykkelse påtreffes. For å måle disse blinde tykkelsene blir et folielag lagt til for å endre tykkelsen.

Formål

Det er et formål for den foreliggende oppfinnelsen å frembringe en framgangsmåte for direkte deteksjon av korrosjon på isolerte ledende beholdere.

Oppfinnelsens formål oppnås med en framgangsmåte med trekk som angitt i den karakteriserende delen av de selvstendige krav. Ytterligere trekk framgår av de tilhørende uselvstendige krav.

Den foreliggende søknaden beskriver en framgangsmåte for direkte deteksjon av korrosjon på ledende beholdere. En slik framgangsmåte er særlig nyttig på ekstruderte rør, på hvilke det er vanskelig på detektore korrosjon indirekte ved bruk av framgangsmåter for veggtykkelsesmålinger, fordi framstillingsprosessen for ekstruderte rør resulterer i større variasjoner i rørveggtykkelse over korte distanser enn det som finnes for rullede og sveisete rør.

25

Kort beskrivelse av tegningene

I det følgende skal oppfinnelsen beskrives nærmere ved hjelp av eksempel på utførelse og med referanse til vedlagte tegninger, der

fig. 1 viser skjematisk en typisk situasjon hvor framgangsmåten for deteksjon av korrosjon i en beholder ifølge en foretrukket utførelsesform for den foreliggende oppfinnelsen kan utføres, sammen med typisk prøveapparat.

Fig. 2 viser skjematisk et tverrsnitt gjennom rørledningen på fig. 1,

fig. 3 er et skjematisk tverrsnitt som viser antenneanordningen på fig. 2 i detalj,

fig. 4 er en kurve som viser tidsdomene responskurvene til forskjellige ledere, oppnådd ved framgangsmåten som gjør bruk av elektromagnetiske transientprober (TEMP) under den foreliggende oppfinnelsen,

fig. 5 er et diagram som viser responskurven for en grop i en rørvegg, med responskurven oppnådd ved å beregne forholdet mellom "korrosjon" og "ikke korrosjon" responskurvene på fig. 4,

fig. 6 er et diagram som viser en langsgående tverrsnitts TEMP profil av gropen på fig. 5, hvor profilen oppnås ved midling av de sene tidsresponsene på hver posisjon for antenneanordningen,

10 fig. 7 er et diagram som viser effekten av flensene på kappen og variasjoner i antenneanordningens høyde på tidsdomeneresponsen til rørvegger,

fig. 8a er et kart rundt omkretsen på en del av et rør som viser både lokaliseringen av korrosjon og ultrasoniske veggtykkelsesmålinger,

fig. 8b er et diagram som viser PEMP tverrsnittprofiler av røret på fig. 8a uten kappe, tatt
15 langs linjen A-A,

fig. 8c er et diagram som viser TEMP tverrsnittprofilen av røret på fig. 8a med kappe, tatt langs linjen A-A, hvor PEMP profilene er korrigert for effekten av flensene på kappen,

fig. 8d er et diagram som viser de samme TEMP profilene som på fig. 8c, uten korreksjon for effektene av flensene på kappen,

20 fig. 9 er et diagram som viser en kurveskare tidsdomene responskurver for forskjellige rør, hvor det vises en kurveskare responskurver for hvert rør tatt på forskjellige steder på hvert rør, hvor responskurvene er korrigert for variasjoner i avstand mellom antenneanordningen og rørveggene,

fig. 10 er et diagram som viser en kurveskare responskurver for et rør tatt på forskjellige
25 steder på røret hvor responskurvene er korrigert for variasjoner i avstand mellom antenneanordningen og rørveggen, hvor det vises et nomogram over de korrigerte responskurvene,

fig. 11 er et diagram som viser tidsdomene responskurver for forskjellige ledere, frembrakt ved hjelp av fremgangsmåten for transient elektromagnetisk undersøkelse (TEMP) under den foreliggende oppfinnelsen,

30 fig. 12 er et diagram som viser prosesserte responskurver, hvor responskurvene er prosessert ved å bestemme reduksjonshastigheten for responskurvene på fig. 11,

fig. 13 er et diagram som viser tidsdomene responskurver for en del av en rørvegg, og

fig. 14 er et diagram som viser prosesserte responskurver, hvor responskurvene er prosessert ved bestemmelse av reduksjonshastigheten for responskurvene på fig. 13.

Beskrivelse av foretrukket utførelsesform.

Del A

På fig. 1-3 er der skjematisk vist en typisk situasjon i hvilke framgangsmåten for detek-
5 tering av korrosjon i elektrisk ledende beholdere 11 kan utføres, sammen med typisk
detekteringsapparat 25. Framgangsmåten under den foreliggende oppfinnelsen benytter
elektromagnetiske transientprober (TEMP) for å detektere korrosjon.

Den ledende beholderen vist på fig. 1-3 er en del av en rørledning 11, som selvfølgelig er
framstilt av mange individuelle rør 13. Rørene 13 har en diameter og rørveggene 15 har en
10 tykkelse. Rørveggene 15 er framstilt av et elektrisk ledende materiale slik som stål.

I Prudhoe Bay regionen i Alaska brukes rørledninger omslått med isolerende materiale 17
for å transportere olje og gass fluider. Isolasjonen 17 tjener til å forhindre rask avkjøling av
olje og gassfluidene i rørledningen og således bedre transporterbarhet for disse fluidene i
rørledningen. I raffinerier er vanligvis rørledninger og beholdere omslått med isolasjon som
15 en sikkerhetforanstaltning for å beskytte personell fra høye temperaturer. Isolasjonen 17 på
rørledninger er typisk et termoplastisk skum slik som polystyren, og har en radiell tykkelse.
Isolasjonen 17 er omgitt av en metallkappe 19 som er brakt til veie for å holde ute fuktighet.
Kappen 19 har en tykkelse som er mye mindre enn tykkelsen på rørveggen. Metallkappen
19 har to halvdeler som strekker seg langs rørledningen. Hver kappe-halvdel har sømanord-
20 ninger i form av flensene 21 som strekker seg radielt utover. Når kappehalvdelene er sam-
mensatt på rørledningen, ligger de respektive flensene 21 an mot hverandre for å danne
sømmer. Halvdelene bibeholdes på plass på en rørledningen ved å feste de respektive
flensene sammen med egnede midler.

På fig. 3 er rørveggen 15 vist med en korrosjonsgrop 23 nærliggende isolasjonen. Korro-
25 sjonen virker til å redusere tykkelsen på rørveggen, hvormed den danner gropen og fyller
gropen med korrosjonsprodukter. Korrosjonen som har forårsaket groptæring på rørveggen
er forårsaket av vann som har trengt inn isolasjonen mellom kappeflensene 21.

Deteksjonsapparat 25 er anordnet nær den del av rørveggen som skal testes for korro-
sjon og omfatter antenneanordning 27, en transmitter 29, en mottaker og forsterker 31, og
30 en digital datamaskin 33.

Antenneanordningen 27 omfatter en transmisjonsantennespoler 35, en mottakerantenne-
spole 37 og en kjerne 39. I den foretrukne utførelsesform er transmisjons og mottaker-
antennespolene 35, 37 viklet på samme kjerne 39, et arrangement som heretter blir referert
til som sammenfallende (se fig. 3). Kjernen 39, som er utformet som en spole, er framstilt

av et ikke-magnetisk og ikke-ledende materiale slik som plast. Antall viklinger på transmisjonsantennespolen holdes på et minimum for å minimalisere innduktansen i transmisjonsantenna og å sørge for abrukt kopling av transmisjonsantenne viklingen. I den foretrukne utførelsesformen er transmisjonsantenneviklingen 35 framstilt av 120 viklinger av 20 til 24 gauge vaier. Mottaksantenneviklingen 37 er framstilt av 400 viklinger av 34 til 40 gauge vaier. Transmisjons og mottaksantenneviklingene 35, 37 er koplet til transmitteren 29 og mottakeren 31 av respektive par av vaiere 41, 43.

Transmitteren 29 som er konvensjonell, genererer en serie hylser med amplitude på 1 til 5 amper. Som diskutert i større detalj nedenfor transmitteres mange pølser i hver posisjon for antenneanordningen 27 for dataforbedringsformål. Pulsene har avbrukte falltider i størrelsesorden 10 til 100 mikrosekunder. Pulsene i transmitterpuls kjeden alternerer polaritet for å eliminere dc bias i instrumenteringen. Varigheten til hver puls er tilstrekkelig lang til å stabilisere pulsamplituden slik at der ikke indukeres strømmer i rørveggen før enden av pulsen. Transmitteren 29 gjenntar pulsene med en gjenntagelseshyppighet som gjør det mulig å oppnå alle de nødvendige data for hver puls. For eks. krever en tykk rørvegg lengre tid for å oppnå data enn en tynnere rørvegg fordi den induserte strømmen bruker lengre tid til å spre seg i den tykke rørveggen. Således er gjenntagelseshyppigheten for pulser typisk langsommere for tykke rørvegger enn for tynnere rørvegger.

Mottakeren og forsterkeren 31 er et bredbåndsinstrument med en vid (5 eller 6 størrelsesordner amplitude) dynamisk område. Mottakeren 31 som har en stor A/D omformer, tar prøver av signalet med en konstant hastighet og integrerer signalet over et tidsvindu eller kanal. Varigheten på tidsvinduerne øker med tiden. Transmitteren 29 og mottakeren og forsterkeren 31 er konvensjonelle.

Den digitale datamaskinen 33 er en konvensjonell portabel datamaskin med tilstrekkelig minnekapasitet til å lagre data. Framgangsmåten for detektering av korrosjon på en ledende beholder ifølge den foreliggende oppfinnelsen vil så bli beskrevet. Som tidligere nevnt gjør framgangsmåten under den foreliggende oppfinnelsen bruk av elektromagnetisk transientprober (TEMP). TEMP muliggjør fjernundersøkelse av en leder ved å indusere en strøm i lederen for så å analysere henfallet av strømmen.

Først plasseres antenneanordningen 27 på kappen 19 for å være i nærheten av den nærliggende overflate 45 av den delen av rørledningen 11 som skal undersøkes. Egnede anordninger (ikke vist) brukes for å sikre antenneanordningen 27 i posisjon for å minimalisere enhver bevegelse av antenneanordningen over rørveggområdet som skal undersøkes. Transmisjonsantenneviklingen 35 energiseres så av transmitteren 29 med en puls. Som beskrevet

ovenfor energiseres transmisjonsantenneviklingen 35 i tilstrekkelig lang tid til å stabilisere pulsamplituden, for derved å forsikre seg om at ingen virvelstrømmer induseres i rørdelingen 11. Så avenergiseres transmisjonsviklingen 35 avbrukt av transmitteren ved å la pulsen falle av raskt til null amplitude. Denne avbrukte avenergiseringen av transmisjonsantenneviklingen 35 induserer virvelstrømmer i lederne nær viklingen; nemlig kappen 19 og rørveggen 15. Virvelstrømmene, virvelstrømmene som avtar og sprer seg bort fra antenneanordningen 27 inne i de respektive lederne, setter opp et magnetisk felt som detekteres som en spenning som varierer med tid i mottakerantenneviklingen 37. Med det samme transmisjonsantenneviklingen er avenergigedisert, slås mottakeren 31 på. Mottakerantenneviklingen 37 detekterer tilstedeværelsen av de induserte virvelstrømmene som dør henn i lederne. Virvelstrømmene forsvinner gradvis i lederne ved motstandsvarmetap. Forsvinningshastigheten er avhengig av ledningsevnen og tykkelsen av lederen. Mottakeren 31 tar prøver av signalet når dette detekteres av mottakerantenneviklingen 37, hvorefter det forsterkes til et passende nivå og sendes til den digitale datamskin 33 for lagring og prosessering. Mottakeren 31 måler signalet fra det tidspunkt virvelstrømmene først induseres inn i lederne og inntil signalet ikke kan skilles fra støy. Støynivået reduseres ved å minimalisere enhver bevegelse av mottakerantenneviklingen 37 i forhold til lederne. Det mottatte signalet er rådata og utgjør en registrering i datamskin 33 før hensvinningen av de induserte strømmene i lederne. Transmisjons og mottakerprosedyren gjenntas mange ganger med antenneanordningen 27 på samme sted for å øke signal/støy forholdet.

Dataene proseseres så av dataproseseringsanordninger til et egnet format for fortolkning. De første trinn i prosesseringen av dataene omfatter normalisering av mottatte signaler og summering og midling av de mottatte signaler. På grunn av at transmitteren 29 i den foretrukne utførelsesformen er batteridrevet, varierer amplituden til den transmitterte strømmen. Effekten av variasjon i amplitude i dataene fjernes ved normalisering av den mottatte spenning i forhold til den transmitterte strømmen. Summeringen og midlingen av de mottatte signalene fra en bestemt antenneanordningsplassering tjener til å øke signal/støyforholdet. I særlig støyende omgivelser kan som et alternativ til summering og midling, selektiv lagring brukes for å eliminere støyende transienter. Resultatet av denne initielle dataprosesseringen er en responskurve som varierer med tiden slik som vist på fig. 4. (Fig. 4 illustrerer responskurver for forskjellige ledere.)

Responskurvene kan fortolkes ifølge framgangsmåter som nå vil bli beskrevet, med henvisning til fig. 4-8d. For så å henvise spesielt til fig. 4, trekkes det slutninger om tilstedeværelsen eller fraværet av korrosjon på en ledningsvegg ved å granske formen på de

forskjellige responskurvene som er tatt over det interessante området. Formen på hver responskurve avhenger delvis av tykkelsen av ledningsveggen. F.eks. avtar amplityden for responskurven for en uendelig tykk ledningsvegg med en noenlunde jevn hastighet (i et log-log diagram), som resulterer i en noenlunde rett responskurve, mens responskurven for en ledning med en begrenset veggtykkelse begynner å bøye av på et punkt i en mer utpreget retning nedover enn før og avtar med en raskere hastighet. Dette avbøyningsfenomenet tilskrives de induerte strømmene som sprer seg til og når den fjerntliggende overflaten av ledningsveggen. Responskurvene for tynne ledningsvegger bryter på et tidligere tidspunkt enn responskurvene for tykkere ledningsvegger.

- 10 Fordi korrosjon reduserer tykkelsen på ledningsvegger, kan man ved å sammenligne formen på responskurven for det undersøkte rørveggdelen med formen for responskurven for en ikke korrodert del av samme type rør, kan man slutte seg til om korrosjon har funnet sted eller ikke. F.eks. er de to responskurvene på fig. 4, ved nevnt "korrosjon" og "ingen korrosjon" tatt fra samme rør. "Ingen korrosjon" responskurven er tatt fra en ikke korrodert del av røret og brukes som en referanse, mens "korrosjon" responskurven er tatt fra en annen del av samme røret, hvis annen del har en grop for å simulere korrosjon (med antenneanordningen plassert i samme avstand fra rørveggen, for begge responskurvene). Ved omtrent 17 ms (millisekunder) bøyer "korrosjon" responskurven av i en mer utpreget retning nedover og begynner å avta med en raskere hastighet enn før. "Korrosjon" brytningspunktet opptrer på et tidligere tidspunkt enn brytningspunktet for "ingen korrosjon" (ved omtrent 25 ms), som indikerer at ledningsveggen representert ved "korrosjon" responskurven er tynnere enn ledningsveggen representert ved "ingen korrosjon" responskurven.

- For så å henvise til fig. 5, hvor "korrosjon" og "ingen korrosjon" responskurvene fra fig. 4 sammenlignes ved avsetting av forholdet mellom de to kurvene som en prosent responskurve, ved å bruke "ingen korrosjon" responskurven som en referanse. Prosentresponskurven belyser forskjellen mellom "korrosjon" og "ingen korrosjon" responskurvene. Ved å studere den siste delen av prosentresponskurven (fra omtrent 17- 20 ms og videre, som er omtrent når "korrosjon" responskurven på fig. 4 begynner å bryte av skarpt nedover), kan man se at "korrosjon" responskurve avviker 20 til 30 % fra "ingen korrosjon" responskurven.
- 30 Denne 20 til 30 % forskjell indikerer klart en forskjell i veggtykkelse mellom den korroderte delen av røret og den ikke korroderte delen av røret.

I fig. 4 er responskurven angitt som "bare kappe" tatt fra metallkappen 19 uten røret 13. "Bare kappe" responskurven avtar svært raskt slik at det ved relativt sene tidspunktet på 20 ms, bidrar kappen 19 svært lite til den totale responsen. Dette er fordi veggtykkelsen for

kappen er mye mindre enn tykkelsen av rørveggen, slik at strømmene avtar mye raskere i kappen. Således kan effekten av kappen for de deler av "kappe og rør" responskurvene som er av interesse for å lokalisere korrosjon (dvs. i siste delene), ignoreres.

Responser målt nær kappeflensene påvirkes ganske sterkt av kappeflensene til alle tider, 5 som vist på fig. 7. En respons målt nær kappeflensene kan korrigeres for å fjerne effektene av kappeflensene ved normalisering av den påvirkede responskurven i forhold til en referanse responskurve tatt opp bort fra kappeflensene. Som vist på fig. 7 er en effekt av kappeflensene på responskurvene en generell parallell forskyvning i retning nedover i det midlere og sene tidsområdet (sener enn omtrent 4 ms). Dvs. at i det midlere og sene tidsområdet er 10 den påvirkede responskurven generelt parallell med referanserresponskurvene.

Den påvirkede responskurven korrigeres ved å normalisere den påvirkede responskurven i forhold til referanserresponskurven i det midlere tidsområdet.

Fig. 7 tjener også til å illustrere effekten som variasjoner i avstand mellom antenneanordningen og rørveggen på et sted på røret og mellom antenneanordningen og rørveggen 15 på et annet sted på røret kan ha på responser. Slike variasjoner i avstand resulterer fra ikke-enhetlige tykkelser på isolasjonen mellom rørveggen og kappen. En økning av avstanden mellom antenneanordningen og rørveggen forårsaker at amplituden for responsen avtar på midlere og sene tidspunkter, hvis reduksjon i amplitude fremstår som en generell parallell forflytning. Responsene kan korrigeres for å fjerne effektene av variasjoner i distanse ved 20 normalisering av responskurvene i forhold til en referanserresponskurve tatt opp med antenneanordningen i en kjent avstand, i det midlere tidsområdet.

Antenneanordningen 27 gir en avlesning av den gjennomsnittlige ledningsveggtykkelsen over et avsøkningsområde. Størrelsen på avsøkningsområdet avhenger av antennestørrelsen, antenneutformingen og varigheten på mottaker måletiden etter hver transmitterpuls. 25 Avsøkningsområdet for antenneanordningen øker med større antennestørrelse eller med lengre måletider. I den foretrukne utførelsesform har antenne anordningen 27 en diameter på omtrent 76,2 mm. For et rør på 266,7 mm er avsøkningsområdet omtrent 304,8 mm i diameter.

I det vanlig tilfellet er den delen av rørledningen som skal undersøkes for korrosjon mye 30 større enn avsøkningsområdet for antenneanordningen. Derfor krever en typisk rørledningsundersøkelse at antenneanordningen flyttes til nye steder for å fullføre undersøkelsen. På fig. 8a til 8d er der vist et korrosjons kapp av en rørdel og tilsvarende TEMP undersøkelser eller profiler langs linjen A-A på rørdelen. For å oppnå TEMP profilene på fig. 8b til 8d ble antenneanordningen plassert på forskjellige steder langs linjen A-A. På fig. 8a angir tallene

langs linjen 8a ultrasoniske punktmålinger av veggtykkelsen (i mm) og de skraverte områdene angir betydelig korrosjon, hvor tykkelsen på rørveggen er mindre enn i de ikke skraverte områdene. Kappet viser at rørveggen langs linjen A-A er tykkest rundt 180° og blir tynnere når man beveger seg mot 0° og 360° .

- 5 Fig. 8b viser TEMP profiler av røret på fig. 8a langs linjen A-A uten metallkappe. På fig. 8b er bare de verdiene for responskurvene på valgte diskrete tidspunkter for hvert plasseringssted for antenneanordningen avsatt. Responskurveverdiene på ekvivalente tidspunktet knyttes så sammen for å danne en TEMP profil. Således er for hvert plasseringssted for antenne anordningen responskurveverdiene ved tiden er lik 8,5 ms, 32,8 ms, 67ms, 79ms, 10 92ms, og 105ms avsatt for derved å danne respektive TEMP profiler for rørveggtykkelsene. Hver TEMP profil normaliseres i forhold til TEMP responsen oppnådd over den tykkeste delen av røret. Som det fremgår av fig. 8b viser TEMP profilene at ved å fjerne seg fra 180° i begge retninger (mot 0° og mot 360°) avtar rørveggtykkelsen og er tynnest rundt 0 til 60° og 320 til 360° . TEMP profilene for den lengste tiden (67ms og lengre) viser særlig klart 15 den reduserte veggtykkelsen, tilsvarende rørrkorrosjonskapper på fig. 8a.

- På fig. 8c er der vist TEMP profiler for røret på fig. 8a langs linjen A-A, men med metallkappe. TEMP profilene på fig. 8c ble oppnådd på samme måte som TEMP profilene på fig. 8b. Kappeflensene, som er plassert på omtrent 95° og 270° , har forårsaket reduksjoner i amplitudene for TEMP profildelene nær flensene. TEMP profilene på fig. 8c har 20 blitt korrigert for å redusere effektene av kappeflensene ved normalisering av responsene målt nær kappeflensene i forhold til en respons målt borte fra kappeflensene. Responsene normaliseres i det midlere tidsområdet (3-6ms) og de seneste tidene (32ms og lengre) analyseres så. (På fig. 8d vises TEMP profilene fra fig. 8c før profilene har blitt korrigert for effekter fra kappeflensene.) Der er god korrelasjon mellom TEMP profilene på fig. 8c 25 og korrosjonskastet på fig. 8a. TEMP profilene på fig. 8c viser at rørveggen har redusert tykkelse rundt 0 til 60° og 32 til 360° , og leder således til den slutning at der er korrosjon på disse stedene.

- Fig. 8a til 8d illustrerer en fordelaktig forskjell mellom TEMP metoden og ultralyd metoden. Ultralydmetoden gjør punktmålinger, som krever et stort antall målinger, mens 30 antenneanordningen for TEMP metoden har et større av søkningsområde og krever færre målinger. Mens ultralydmålingene på fig. 8a i det vesentligste er samlet rundt linjen A-A, omfatter TEMP målingene deler av røret i en utstrekning på noen cm til hver side for linjen A-A. Videre må ultralydmålingene utføres direkte på røret, mens TEMP målingene kan utføres på kappen.

For TEMP profiler slik som vist på fig. 8b-8d, kan effektene på responsene på grunn av variasjonene i avstand mellom antenneanordningen og rørveggen, hvis variasjoner forårsakes av å bevege antenneanordningen fra et sted på røret til et annet sted, korrigeres for ved å etablere referanserresponskurver med antenneanordningen plassert i et antall kjente avstander fra rørveggen. De midlere tidere for responskurvene med avstandsfeil normaliseres så i forhold til de midlere tider for de respektive referanse responskurvene.

På fig. 6 vises en TEMP profil av korrosjonsgropen på fig. 5. TEMP profilen er tatt opp ved å flytte antenneanordningen til flere steder og midling av responsene for 25 til 52 ms tidsvinduet for hver antenneanordnings plassering. Den fysiske utstrekning av korrosjonsgropen er indikert i det nedre venstre hjørnet på diagrammet, som viser at gropen har en radius på omtrent 203 mm. TEMP profilen på fig. 6 viser god korrelasjon med den fysiske profilen. Fra omtrent 432 mm av, viser TEMP profilen en svak reduksjon i amplitude på grunn av at de induserte strømmene interferer med den nære rørenden.

En annen framgangsmåte for å fortolke responskurvene på fig. 4 omfatter å studere tidspunktet ved hvilke den fjerntliggende overflaten 47 på rørveggen opprinnelig fremtrer på responskurven. Dette tidspunktet refereres til som "kritisk tid", og er det punkt hvor responskurven begynner å bøye av i en mer utpreget retning nedover enn før, slik som diskutert foran (se fig. 4). Veggtykkelsen på røret er proporsjonal med kvadratroten av den kritiske tiden. Konstanten eller proporsjonalitetsfaktoren avhenger av geometrien og ledningsevnen til røret, og kan bestemmes ved å utføre en bestemmelse av den kritiske tid for en bestemt tykkelse av røret.

Framgangsmåten under den foreliggende oppfinnelsen kan brukes til å gjøre kvantitative målinger av veggtykkelser, når instrumenter og data er kalibrert for rør med kjente tykkelser og ledningsevne. Når de aktuelle veggtykkelser for det undersøkte røret er kjent, leder sammenligning med fabrikkasjonsveggtykkelsene til en bestemmelse av tap av veggtykkelse på grunn av korrosjon på det undersøkte røret.

Del B

En annen framgangsmåte for å korrigere feil i responsene som skyldes variasjoner i avstand mellom antenneanordningen og rørveggen fra et sted langs røret til et annet sted langs røret vil heretter bli beskrevet med henvisning til fig. 9 og 10.

På fig. 9 vises en skare TEMP responskurver (avsatt som diskrete verdier istedenfor som kontinuerlige verdier) som har blitt korrigert for effekter som skyldes variasjoner i avstand mellom antenneanordningen og rørveggene. Fig. 9 illustrerer de korrigerte responskurvene

for et rør med diameter 1067 mm (med en veggtykkelse på 11,1 mm), et rør med diameter 305 mm (med en veggtykkelse på 10,3 mm) og et rør med diameter 762 mm (med en veggtykkelse på 8,7 mm). For hvert rør ble flere TEMP undersøkelser foretatt på forskjellige steder langs røret. TEMP undersøkelsene ble foretatt gjennom isolasjonen 17 og en metall-
5 kappe 19. Isolasjonstykkelsen langs hvert rør varierte så mye som 50%, for således å forårsake at avstanden mellom antenneanordningen og rørveggene å variere i samme utstrekning.

Registreringen av reduksjonen av induisert strøm i en rørvegg (som vist med de repektive benevnede reponskurvene på fig. 4) korrigeres for variasjoner i avstand ved å bestemme som
10 funksjon av tid reduksjonshastigheten for den induerte strømmen. Korreksjon for variasjoner i avstand ved bestemmelse av reduksjonshastigheten for induert strøm, erkjenner fenomenet at variasjon i avstand mellom antenneanordningen og rørveggen påvirker størrelsen av responsen, men påvirker ikke reduksjonshastigheten for responsen. De korrigerte reponskurvene vist på fig. 9 illustrerer de respektive reduksjonshastigheter for ikke korrigerte TEMP undersøkelsesresponser målt på rørene. Reduksjonshastighetene fremkom ved
15 å ta den logaritmisk deriverte ($d(\ln V)/d(\ln t)$; hvor V er den mottatte spenningen og t er tiden) av de ikke korrigerte TEMP undersøkelsesresponsene. (Sentraldifferans numeriske metoder ble brukt for å fremstille kurvene på fig. 9 og 10). Som det fremgår, til tross for variasjonene i isolasjonstykkelse, er den vertikale spredning mellom de korrigerte TEMP
20 undersøkelsene for hvert rør små, og skyldes faktiske variasjoner i rørveggtykkelse. Således, ved bestemmelse av reduksjonshastigheten for responsene, er effektene av variasjon i avstanden mellom antenneanordningen og rørveggen korrigert for. Nærvær eller fravær av korrosjon i rørveggen sluttet ved fortolkningsmetodene diskutert ovenfor.

Framgangsmåten for korreksjon av reduksjonshastigheten tillater også kvantitativ
25 bestemmelse av veggtykkelsen. Ettersom de induerte strømmer sprer seg ut gjennom ledningsveggene fra den nærliggende overflate 45 (se fig. 3), reduseres responsene med en konstant logaritmisk hastighet på omtrent -1,5. Deretter, når de induerte strømmene begynner å interferere med den fjerntliggende overflate 47 til ledningsveggen, reduseres responsene med økende hastigheter. Tidspunktet responsreduksjonshastigheten fraviker fra
30 den konstante logaritmiske hastighet på omtrent -1,5 er en funksjon av veggtykkelsen og rørdiameter. De korrigerte responsene for tynnere rørvegger bryter av nedover på et tidligere tidspunkt enn de korrigerte responsene for tykkere rørvegger. Økning av rørdiameter forårsaker responsene å bryte av nedover på senere tidspunkter. Etter at den induerte strømmen når den fjerntliggende overflate til rørveggen, nærmer reduksjonshastigheten for

responsen seg asymptotisk en konstant andre deriverte. Denne asymptotiske delen av reduksjonshastigheten for responsen er uavhengig av tykkelsen på rørveggen eller rørdiameteren og er empirisk bestemt til å være

$$d(\ln V)/d(\ln t) = A - 2.17 \ln t;$$

- 5 hvor A er en funksjon av rørveggtykkelsen, rørdiameter og rørmetallurgi. Den asymptotiske karakteristikken for reduksjonshastigheten til responsen, kombinert med utgangstiden for en responsreduksjonshastighet som er avhengig av rørveggtykkelsen muliggjør konstruksjonen av nomogrammer som kan plasseres over de korrigerte responskurvene. Nomogrammene konstrueres fra et stort antall referanseregistreringer som er fremskaffet ved induksjon av
- 10 strøm i rørveggen med kjent tykkelse og i det vesentligste liknende diametre. På fig. 10 er det vist et nomogram bestående av rette linjer overlagret korrigerte responskurver (TEMP undersøkelser A, B og C) tatt opp på forskjellige steder langs et korrodert rør med diameter 203 mm. Således fremgår det ved ekstrapolerende sammenlikninger mellom de individuelle TEMP undersøkelsene og nomogrammet at den rørveggdelen som ble undersøkt med
- 15 TEMP undersøkelse A hadde en tykkelse på omtrent 11,7 mm, den delen som ble undersøkt med TEMP undersøkelse B hadde en tykkelse på omtrent 10,9 mm, og den delen som ble undersøkt med TEMP undersøkelse C hadde en tykkelse på omtrent 10,4 mm. Fra disse kvantitative rørveggtykkelsesmålingene kan nærvær eller fravær av korrosjon på rørveggen slutes.

20

Del C

- En framgangsmåte for direkte deteksjon av korrosjon på rørvegger vil nå bli beskrevet med henvisning til fig. 11-14. En slik framgangsmåte er særlig nyttig for deteksjon av korrosjon på veggene av ekstruderte rør. Som resultat av ekstrusjonsprosessen brukt under
- 25 fremstilling, varierer rørveggtykkelsen til ekstruderte rør over relativt store toleranser, og kan ikke alltid brukes for direkte å slutte nærvær av korrosjon.

- Framgangsmåten for direkte deteksjon av korrosjon gjør bruk av oppdagelsen at korrosjonsbeleggene eller produktene på stålrør fremviser superparamagnetiske egenskaper. Superparamagnetisme, eller viskøs magnetisering som den også er kjent som, er en egen-
- 30 skap hvor den magnetiske mottakelighet for et materiale er virkelig tidsavhengig. De fleste materialer er ikke supermagnetiske; den magnetiske flukstetthet B reagerer nesten spontant på forandringer i det påtrykte magnetiske felt H. Imidlertid reagerer den magnetiske fluks-tetthet B i superparamagnetiske materialer noe tregt på forandringer i det magnetiske felt. Superparamagnetisme er observert i magnetit, maghemit og hematit. Analyser av korro-

sjonsbelegg tatt fra NGI gass rørledninger, viser at belegget i hovedsak består av magnetit og hematit, med noe maghemit og mangandioxid, og fremviser TEMP opptreden som indikerer superparamagnetisme.

- Deteksjon av korrosjonsbelegg med supermagnetiske egenskaper begynner ved bruk av
- 5 TEMP framgangsmåtene beskrevet ovenfor. På fig. 11 og 12 vises det respektive TEMP responskurver for et rør og en sekk med korrosjonsprodukter. Responskurvene for røret oppfører seg som beskrevet ovenfor. Responskurven for korrosjonsproduktene avtar med en konstant hastighet beskrevet som en $1/t$ tidsavhengighet (en helling på -1 på en log-log skala). Den konstante ($1/t$) reduksjonshastigheten for responskurven for korrosjonsprodukt-
- 10 ene er et resultat av de superparamagnetiske egenskapene til korrosjonsproduktene. Ved relativt tidlige og intermediære tider, er utslaget på responskurven for korrosjonsproduktene mye mindre enn utslagene for responskurven for røret. Ved relativt sene tider, avtar responskurven for røret med en mye større hastighet enn responskurven for korrosjonsproduktene, som først forårsaker utslagene for rørespanskurven å nærme seg respons-
- 15 kurven for korrosjonsproduktene i utslag for så å avta i utslag relativt i forhold til responskurven for korrosjonsproduktene. Således, for en korrodert del av et rør, har TEMP responsen til rørdelen en responskomponent som skyldes rørveggen og en responskomponent som skyldes korrosjon, hvor rørveggkomponenten overveldende dominerer ved relativt tidlige og intermediære tider og korrosjonskomponenten registrerbar ved relativt sene tider.
- 20 Fig. 13 og 14 illustrerer en anvendelse av fremgangsmåten under den foreliggende oppfinnelsen, ifølge en foretrukket utførelsesform. Fig. 13 og 14 viser respektive TEMP responskurver tatt opp fra et NGI rør med diameter 266,7 mm. "Korrosjon" responskurven ble tatt opp med antenneanordningen plassert over en flekk med korrosjonsbelegg på røret med en omtrentlig tykkelse på 3,2 mm (tilsvarende en veggtykkelsesreduksjon på omtrent
- 25 3%). "Ingen korrosjon" responskurve ble tatt opp med antenneanordningen plassert over en ikke korrodert del av røret. Særlig fig. 14 viser forskjellen mellom de to responskurvene. På fig. 14 ble responskurvene på fig. 13 prosessert for å fremheve korrosjonskomponenten eller mangel derav ved å bestemme de respektive reduksjonshastigheter. Ved relativt sene tider (fra omtrent 80 ms og videre) har "korrosjon" responskurven en reduksjon i størrelsen
- 30 på reduksjonshastigheten, vist som en helning oppover for "korrosjon" responskurven, hvormed "ingen korrosjon" responskurve fortsetter å reduseres med en økende hastighet. Denne forsinkelse av reduksjonshastigheten for "korrosjon" responskurven ved relativt sene tider er forårsaket av korrosjonsbelegggkomponenten av responskurven som blir målbar i den totale responsen for den korroderte delen av røret. Ved relativt sene tider nærmer først

størrelsen på rørveggkomponenten av "korrosjon" responskurven seg størrelsen på korrosjonsbeleggekompenten og avtar deretter relativt til korrosjonsbeleggekompenten fordi rørveggkomponentstørrelsen avtar med økende reduksjonshastighet. Dersom TEMP systemets signal-til-støy forhold er tilstrekkelig stor, kan TEMP responsen fra røret

5 detekteres i tilstrekkelig lang tid slik at korrosjonsbeleggekompenten dominerer over rørveggkomponenten.

Den ovenfor beskrevne fremgangsmåte kan brukes på isolerte og ikke-isolerte rør eller beholdere. Et viktig aspekt ved fremgangsmåten under den foreliggende oppfinnelsen er at korrosjonen på en beholdervegg kan detekteres direkte, uten hensyn til variasjoner i tykk-

10 elsen påbeholderveggen. Framgangsmåten gjør bruk av oppdagelsen at korrosjonsbelegg på stålrør har superparamagnetiske egenskaper.

Selv om metoden under den foreliggende oppfinnelsen er beskrevet for bruk for deteksjon av korrosjon på rørledninger, kan metoden også brukes for å detektere korrosjon på de elektrisk ledende veggene i andre typer beholdere slik som lagertanker og trykktanker. I

15 tillegg kan metoden under den foreliggende oppfinnelsen brukes på ikke-isolerte såvel som isolerte beholdere.

Antenneanordningen kan ha transmisjonsantennen og mottakerantennen anordnet i arrangementer andre enn det sammenfallende arrangementet beskrevet heri. Et slikt arrangement har transmisjonsantennen adskilt men i samme plan som mottakerantenna. Et annet arrangement

20 ment har mange mottakerantenner anordnet inne i en stor transmisjonsantenne-sløyfe.

Patentkrav

1. Framgangsmåte for deteksjon av korrosjon på vegger (15) i beholdere (11), hvor nevnte vegger (15) er elektrisk ledende og har nærliggende overflater og fjerntliggende overflater, idet ei senderantenne (35) og ei mottakerantenne (37) plasseres i nærheten av den nærliggende overflata av den delen (45) av beholderveggen som skal undersøkes for
- 5 korrosjon;
- karakterisert** ved å omfatte følgende trinn:
- a) energisere senderantenna (35) med strøm;
 - b) foreta en brå de-energisering av senderantenna (35) for å indusere strøm i beholderveggdelen (45);
 - 10 c) detektere tilstedeværelsen av og reduksjonen i den induserte strømmen i beholderveggdelen (45) med mottakerantenna (37);
 - d) etablere en registrering av reduksjonen i den induserte strømmen i beholderveggdelen (45) i en tidsperiode; og
 - e) bestemme nærvær eller fravær av en korrosjonskomponent i registreringen av reduk-
 - 15 sjonen av den induserte strømmen, hvor korrosjonskomponenten på grunn av nærvær av korrosjonsprodukter har superparamagnetiske egenskaper, idet nærværet av en korrosjonskomponent er indikert hvis, ved forholdsvis sene tidspunkt i reduksjonen, hastigheten av reduksjonen i indusert strøm er mindre enn hastigheten av reduksjonen i en referanseregistrering, hvor referanseregistreringen er hentet fra en ukorroderet beholderveggdel (45),
 - 20 hvorved nærvær av en korrosjonskomponent i nevnte registrering indikerer nærvær av korrosjon på nevnte beholderveggdel (45).

2. Framgangsmåte i samsvar med patentkrav 1,

- karakterisert** ved at den videre omfatter et trinn for bestemmelse fra registreringen av den deriverte med hensyn på tida for reduksjonen i den induserte strømmen, og sammenlikning
- 25 av den deriverte av den induserte strømmen ved forholdsvis sene tidspunkter, med den deriverte av referanseregistreringen ved forholdsvis sene tidspunkter for å bestemme om en korrosjonskomponent er tilstede i registreringen, fordi en korrosjonskomponent er tilstede hvis den deriverte av den induserte strømmen er mindre enn den deriverte av referanseregistreringen.

3. Framgangsmåte i samsvar med krav 2,

karakterisert ved at et nærvær eller fravær av korrosjonskomponenten bestemmes ved å studere registreringen ved relativt sene tidspunkt, fordi ved relativt sene tider forårsaker korrosjonskomponenten en mindre reduksjonshastighet for den induserte strømmen.

5 4. Framgangsmåte for deteksjon av korrosjon på elektrisk ledende vegger i beholdere (11), idet ei senderantenne (35) med sender (29) koplet til senderantenna, og ei mottakerantenne (37) med mottaker (31) koplet til mottakerantenna, plasseres i nærheten av den nærliggende overflata av den delen (45) av beholderveggen som skal undersøkes for korrosjon;

10 **karakterisert** ved å omfatte følgende trinn:

a) gi inn en brått endret strøm til senderantenna (35) fra senderen for å indusere strøm i beholderveggdelen (45);

b) detektere den induserte strømmen i beholderveggdelen (45) med mottakerantenna (37) og mottakeren for å produsere et mottatt signal, hvor det mottatte signalet reduseres i støy i
15 en tidsperiode, idet det mottatte signalet har et sent tidsintervall; og

c) undersøke det mottatte signalets sene tidsintervall for å bestemme om en korrosjonskomponent er tilstede i det mottatte signalet, når korrosjonskomponenten har superparamagnetiske egenskaper på grunn av nærvær av korrosjonsprodukter, og nærværet av en korrosjonskomponent er indikert hvis hastigheten av reduksjonen i det mottatte signalet er
20 mindre ved sene tidspunkt i reduksjonen, hvorved nærvær av en korrosjonskomponent i nevnte registrering indikerer nærvær av korrosjon på nevnte beholderveggdel (45).

5. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-4,

karakterisert ved at den også omfatter et trinn for bestemmelse av reduksjonshastigheten av det mottatte signalet ved å bestemme den deriverte av reduksjonen i den induserte
25 strømmen med hensyn på tida.

6. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-5,

karakterisert ved at beholderveggen er utstyrt med et lag av isolasjon (17), idet isolasjonen (17) er lokalisert i nærheten av beholderveggen for å bli anbrakt mellom beholderveggdelen (45) og senderantenna (35) og mottakerantenna (37), hvorved senderantenna (35)
30 induserer strøm inn i den undersøkte beholderveggdelen (45) gjennom isolasjonen (17) og mottakerantenna (37) detekterer den induserte strømmen gjennom isolasjonen (17).

7. Framgangsmåte i samsvar med krav 3-6,

- karakterisert** ved at beholderveggen er utstyrt med et lag (17) av isolasjon og ei ledende kappe (19), idet isolasjonen (17) og kappa (19) er lokalisert i nærheten av beholderveggen (15) slik at isolasjonen (17) er anbrakt mellom beholderveggen (15) og kappa (19), og
- 5 kappa (19) er holdt mellom isolasjonen (17) og senderantenna (35) og mottakerantenna (37), hvorved senderantenna (35) induserer strøm i beholderveggdelen (45) gjennom isolasjon (17) og kappa (19), og mottakerantenna (37) detekterer den induserte strømmen gjennom isolasjonen (17) og kappa (19).

8. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-7,

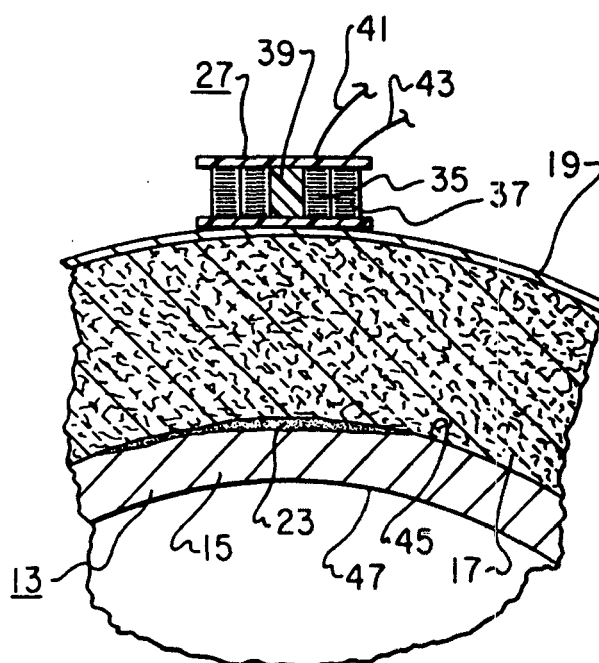
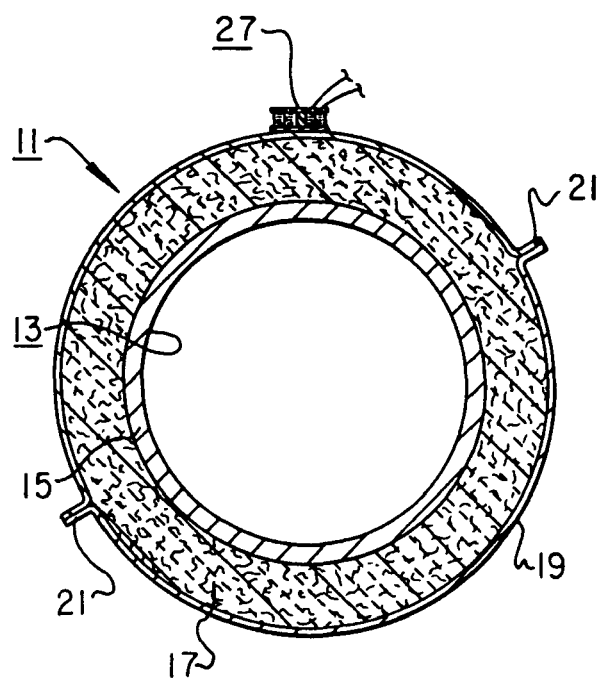
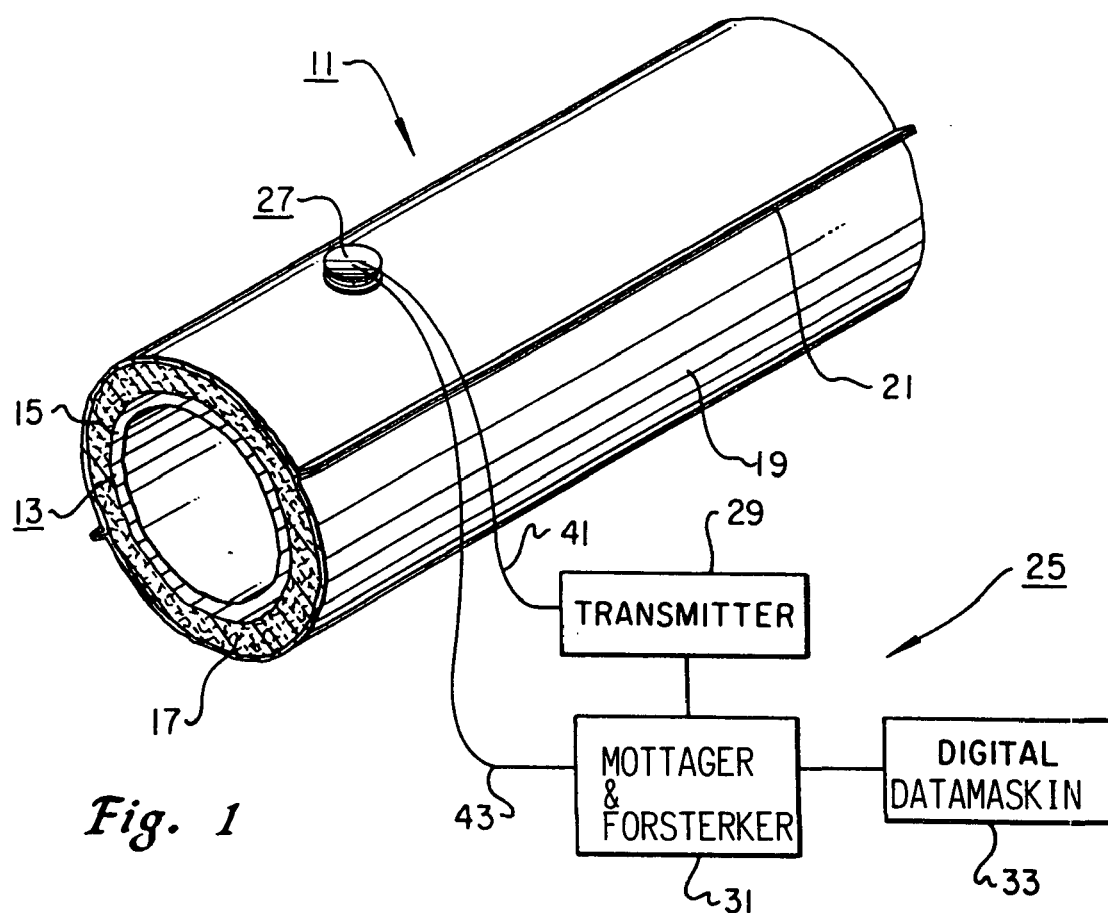
- 10 **karakterisert** ved at den videre omfatter et trinn for bestemmelse av nærværet av en korrosjonskomponent ved at hastigheten av reduksjonen i det mottatte signalet er mindre enn graden av reduksjon i et referansesignal, som er hentet fra en ukorroderet beholderveggdel.

9. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-8

- 15 **karakterisert** ved at beholderen omfatter et ekstrudert rør.

10. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-9

- karakterisert** ved at korrosjonsproduktene på beholderen omfatter magnetitt, hematitt, eller maghemitt.



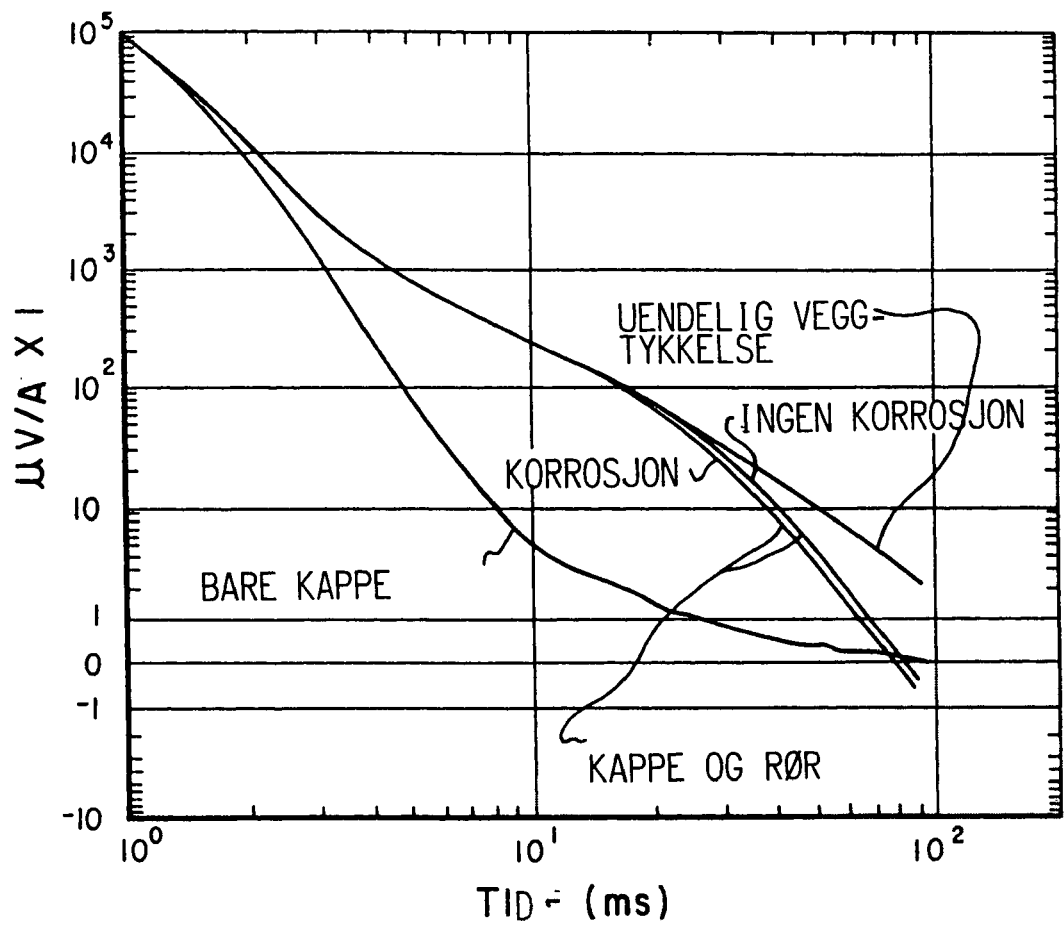


Fig. 4

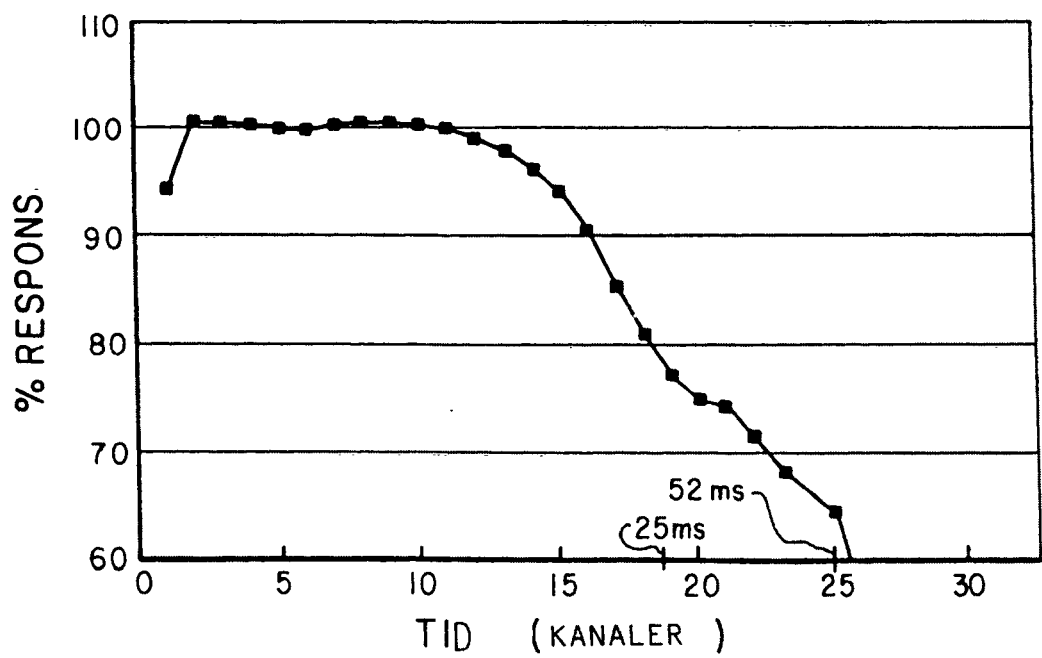


Fig. 5

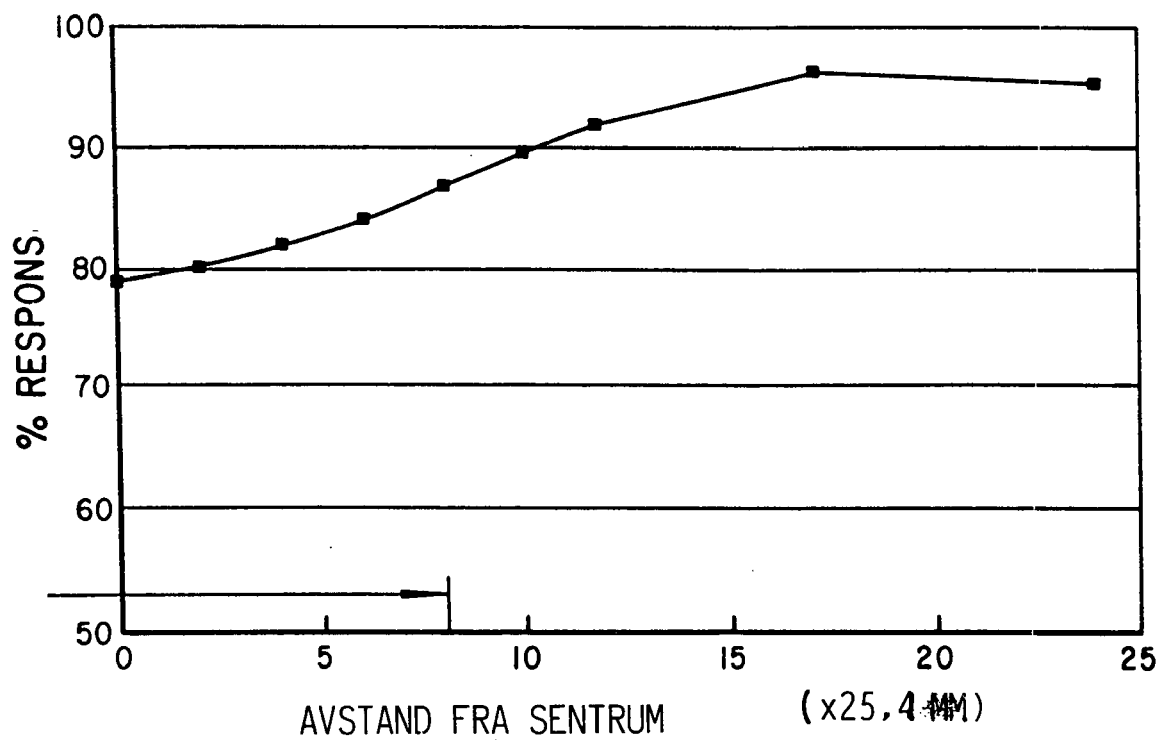


Fig. 6

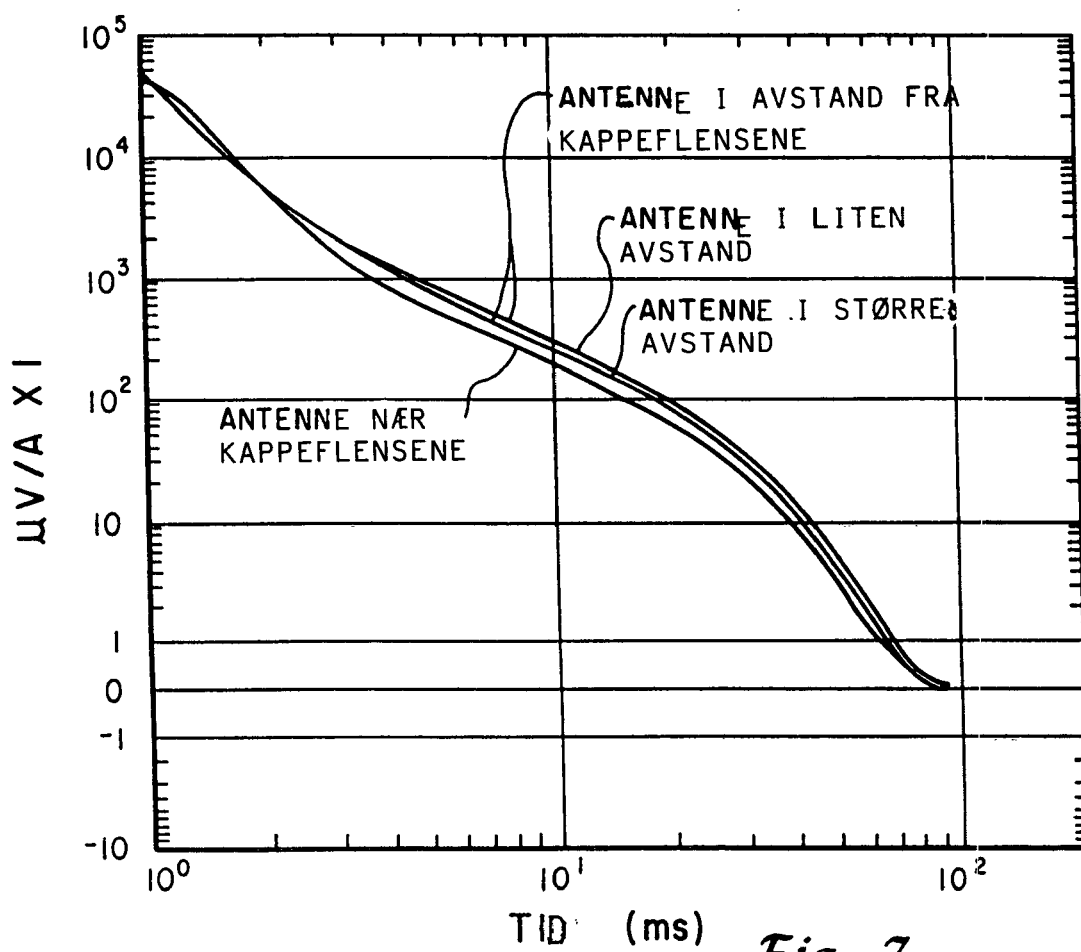


Fig. 7

KORROSJONSKART AV RØR

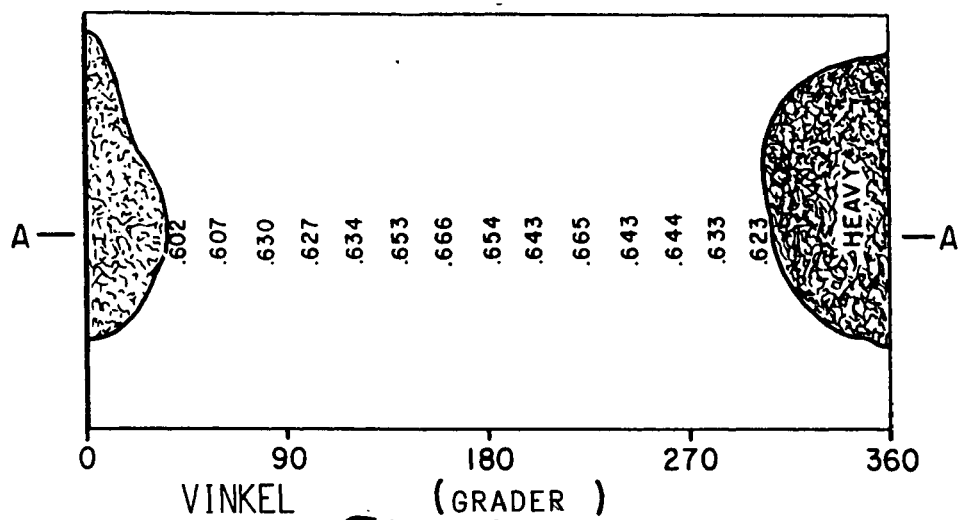


Fig. 8a

RØR UTEN KAPPE

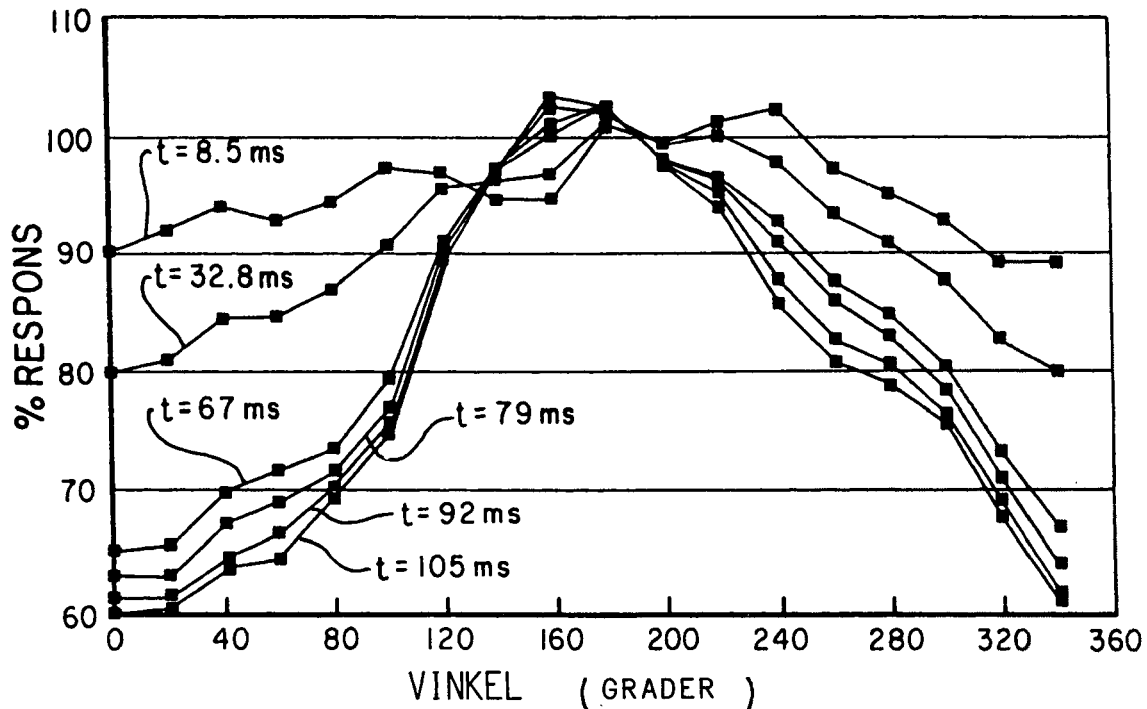


Fig. 8b

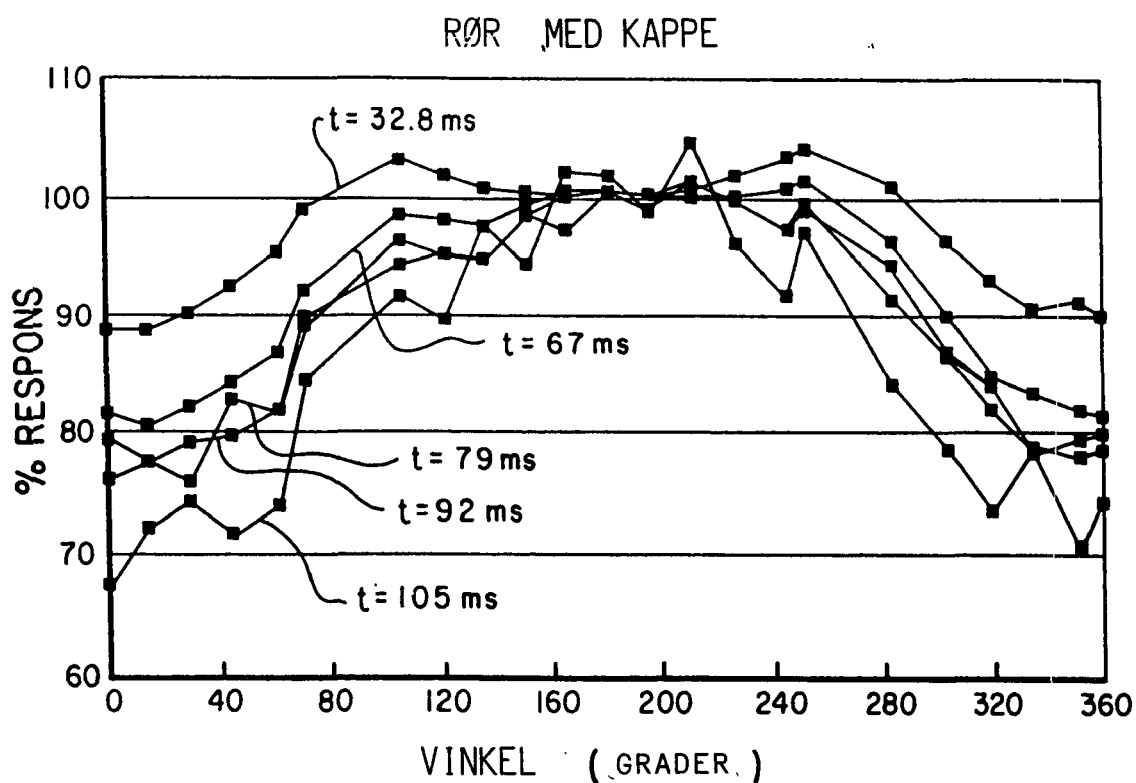


Fig. 8c

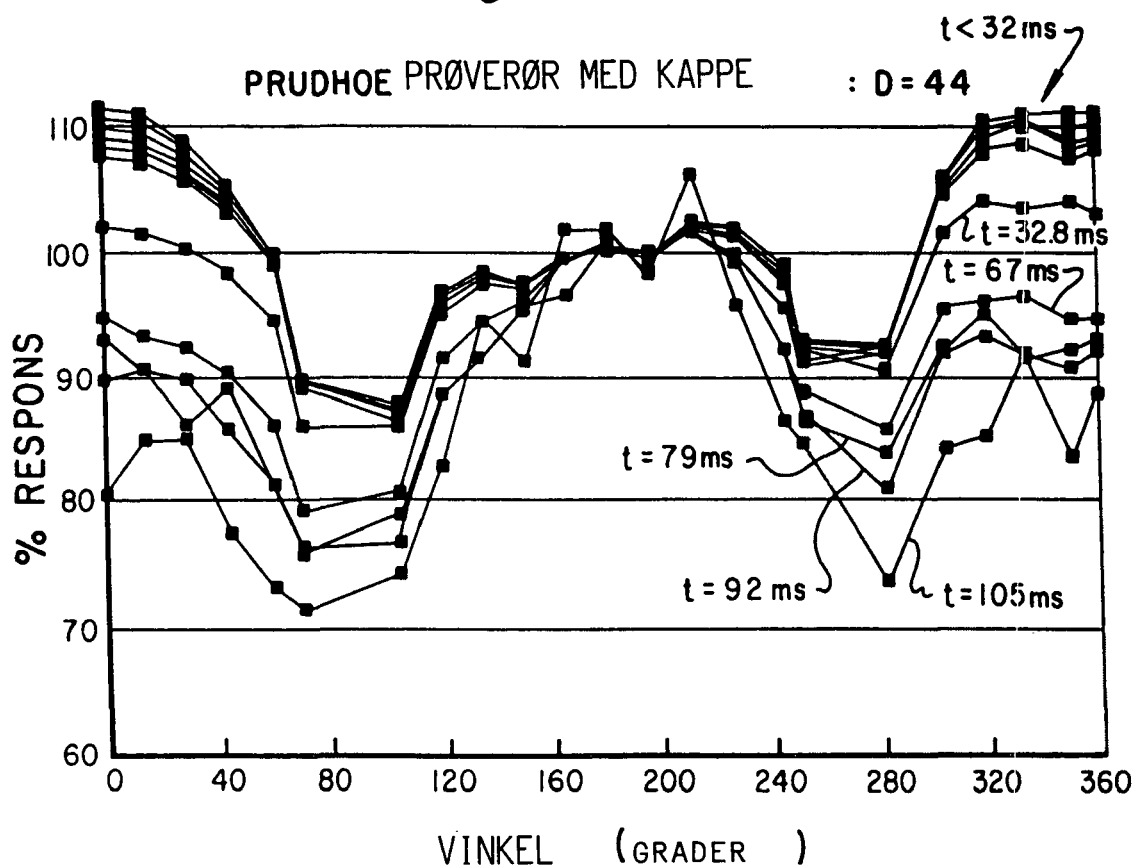


Fig. 8d

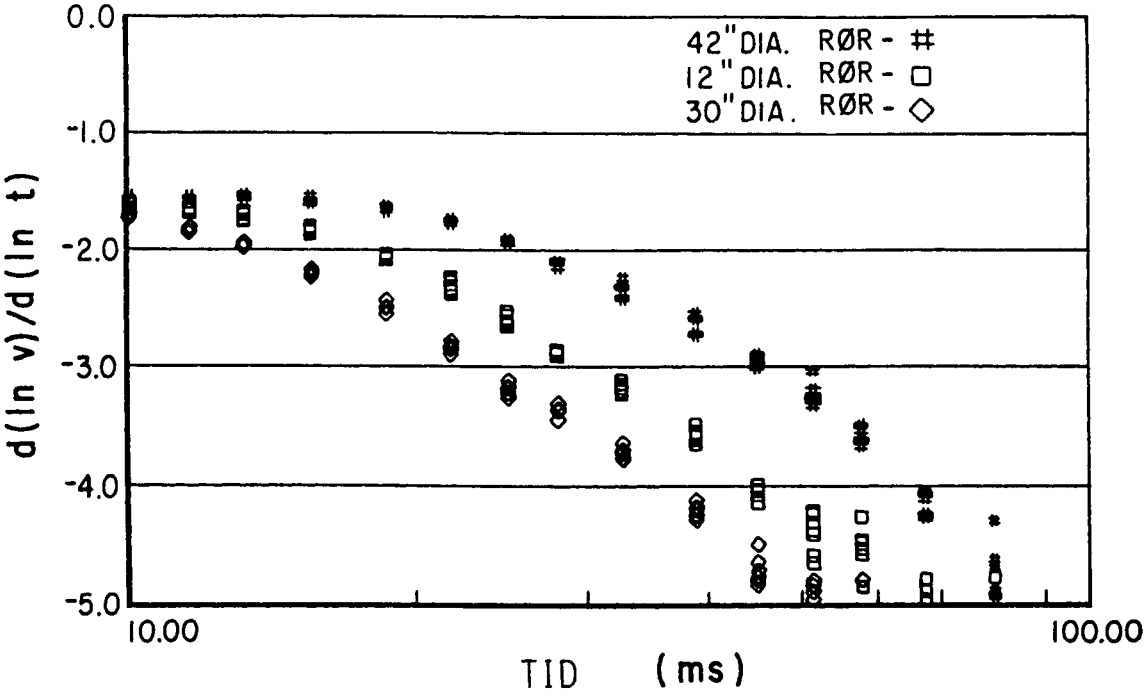


Fig. 9

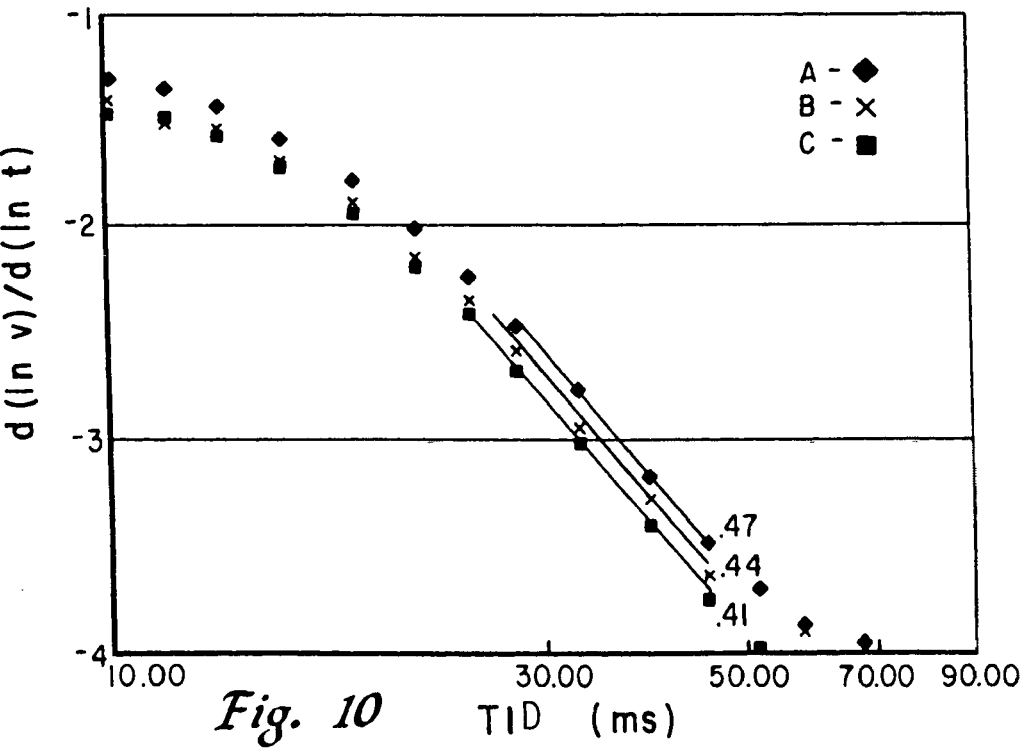
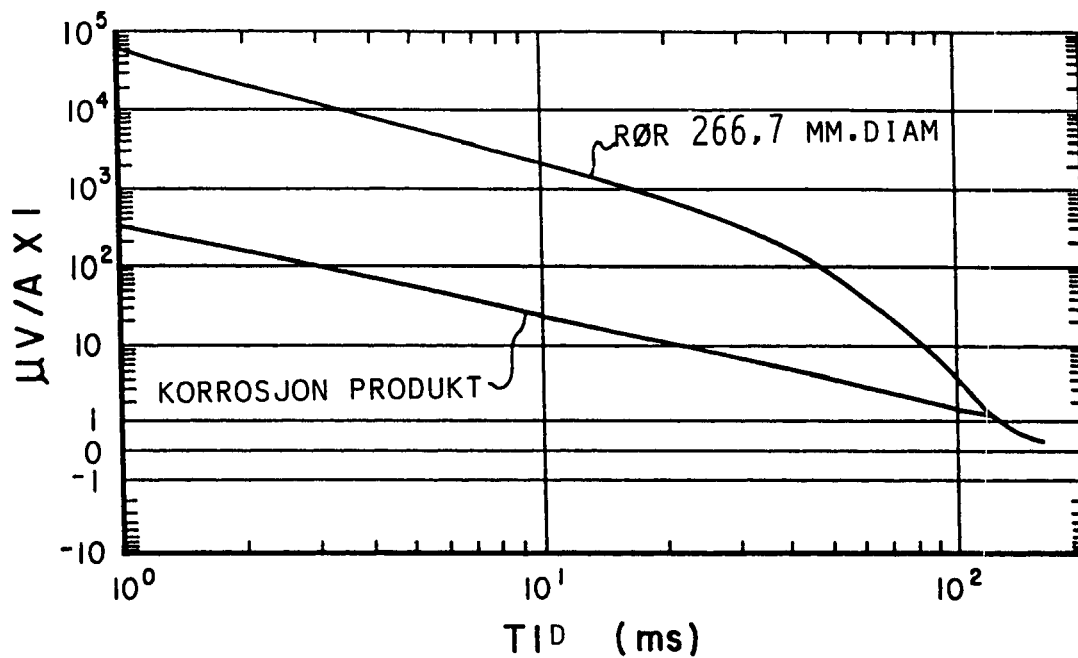
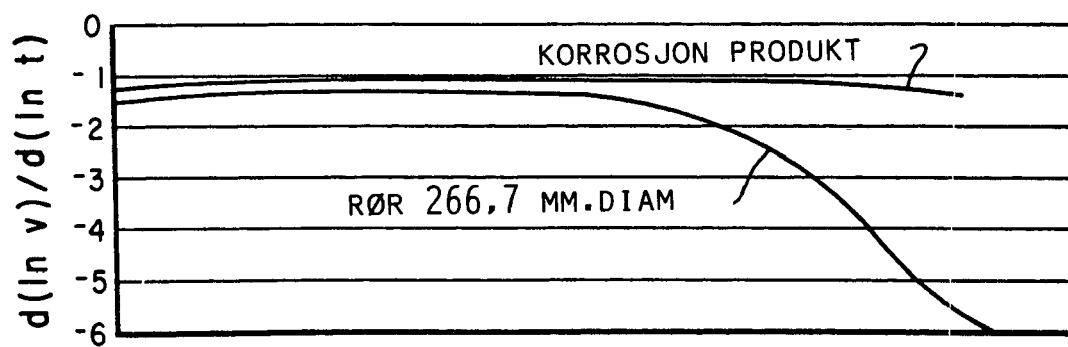


Fig. 10

*Fig. 11**Fig. 12*

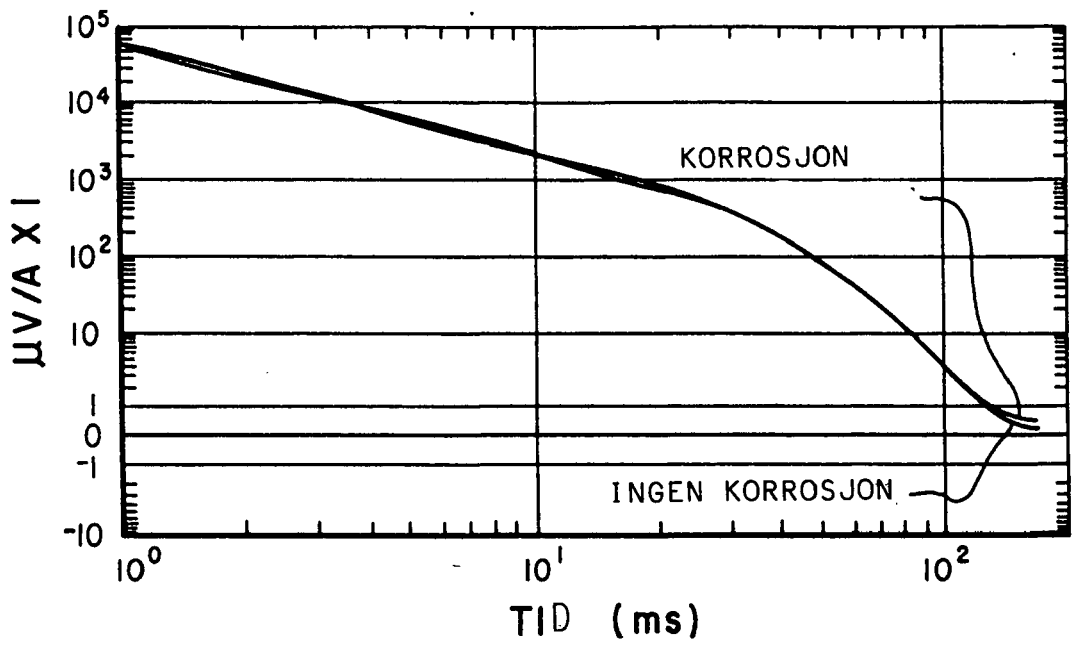


Fig. 13

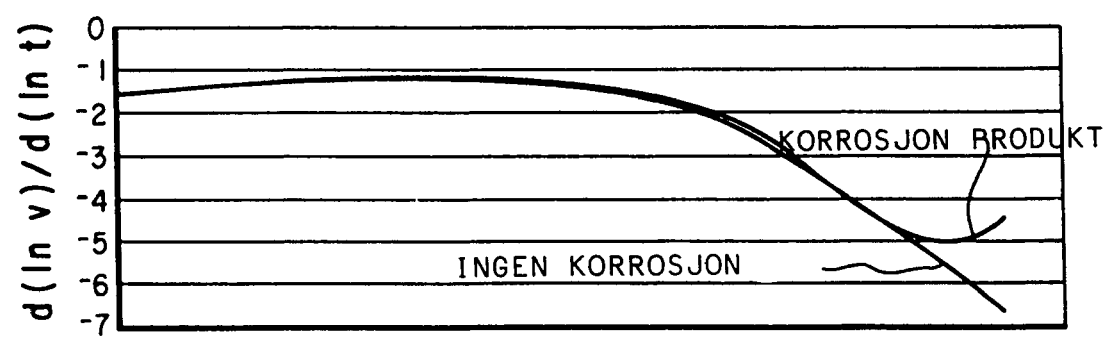


Fig. 14