



NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **304452**

(13) B1

(51) Int Cl⁶ G 01 N 17/00, G 01 B 7/06, G 01 N 27/90

Patentstyret

(21) Søknadsnr
(22) Inng. dag
(24) Løpedag
(41) Alm. tilgj.
(45) Meddelt dato

19885428
07.12.1988
07.12.1988
19.06.1989
14.12.1998

(86) Int. inng. dag og
søknadsnummer
(85) Videreføringsdag
(30) Prioritet

17.12.1987, US, 134368

(73) Patenthaver
(72) Oppfinner
(74) Fullmektig

Atlantic Richfield Co, 2300 West Plano Parkway, Plano, TX 75075, US
Brian R. Spies, McKinney, TX, US
Curo AS, 7094 Lundamo

(54) Benevnelse

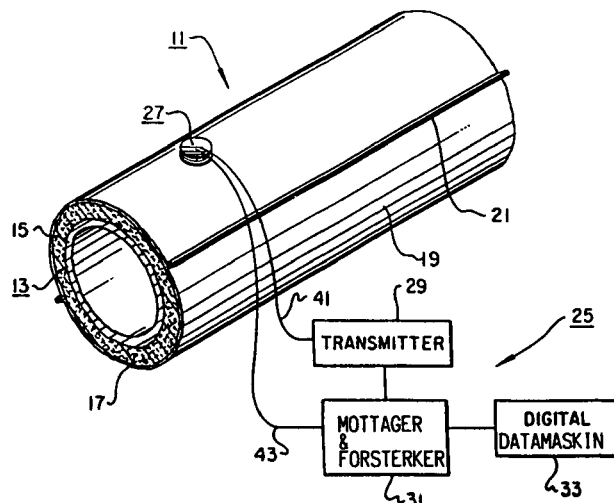
Framgangsmåte for deteksjon av korrosjon på ledende beholdere

(56) Anførte publikasjoner

MESSTECHNIK, Vol. 79, nr. 12, desember 1971, Praha, B. Carniol, "Die Messgrößen-Trennung bei der induktiven Dickenmessung mit Dämpfungsauswertung von Eigenschwingungen", side 284-289
PROCEEDINGS IECON'84, INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, CONTROL AND INSTRUMENTATION, Vol. 2, 22.-26. oktober 1984, Tokyo, M. Nemoto, T. Yamade, T. Kadowaki, T. Yoshioka, "Automatic Floor Plate Thickness Measuring Equipment", side 759-763
AUTOMATISME, Vol. XV, nr. 3, mars 1970, Paris, W.K. Roots, "Capteurs de dimensions linéaires", side 114-121

(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 tykkelsen på beholderveggdelen og tilstedeværelse eller mangel på korrosjon sluttet. En framgangsmåte for tolkning bruker referanseregistreringer fra beholderveggen med kjente parametere for sammenligning. En annen framgangsmåte for tolkning innebærer granskning av tidspunktene hvor den induserte strømmen når overflaten på beholderveggdelen som er lengst unna antennene.



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 patentkrav 1, hhv. patentkrav 9.

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 gassfluider. 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 utilstrekkelige. F.eks. kan pigger med korrosjonsdeteksjonsutstyr bare brukes på
15 rørledninger som har tilgangssteder; 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 tungvindt, og krever upraktisk eller ubekvem kjøretøystøtte. Videre er det med radiografiske framgangsmåter ofte vanskelig å skille mellom korrosjons-groper fylt med
20 korrosjonsprodukter og ikke-korroderte 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 bærbar 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, bare gjør bruk av et lite antall frekvenser, er mengden av den oppnådde informasjon nødvendigvis begrenset,
30 slik at teknikken blir tilsvarende mindre nøyaktig.

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
5 tykkelsene blir et folielag lagt til for å endre tykkelsen.

Formål

Det er et formål med foreliggende oppfinnelsen å frembringe en framgangsmåte for deteksjon av korrosjon på isolerte ledende beholdere, hvor nevnte framgangsmåte har forbedret
10 nøyaktighet ved deteksjon og kan detektere korrosjon gjennom isolasjon.

Oppfinnelsens formål oppnås med en framgangsmåte med trekk som angitt i den karakteriserende delen av patentkrav 1, hhv. patentkrav 9. Ytterligere trekk framgår av de tilhørende uselvstendige krav.

15 Kort beskrivelse av tegningene

Oppfinnelsen vil i det følgende beskrives nærmere ved hjelp av eksempel på utførelse og med referanse til vedlagte krav, 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
20 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 antenne-anordningen 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
25 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,
30 hvor profilen oppnås ved midling av de sene tidsresponsene på hver posisjon for antenne-anordningen,

fig. 7 er et diagram som viser effekten av flensene på kappen og variasjoner i antenne-anordningens 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 TEMP tverrsnittprofiler av røret på fig. 8a uten kappe, tatt langs linjen A-A,

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

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

10 Beskrivelse av foretrukket utførelsesform

På fig. 1-3 er der skjematisk vist en typisk situasjon der framgangsmåten for detektering 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.

- 15 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 tykkelse. Rørveggene 15 er framstilt av et elektrisk ledende materiale, så som stål.

I Prudhoe Bay regionen i Alaska brukes rørledninger omslått med isolerende materiale 17 for å transportere olje- og gassfluider. 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 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.

- 25 Kappen 19 har en tykkelse som er mye mindre enn tykkelsen på rørveggen. Metallkappen 19 har to halvdeler som strekker seg langs rørledningen. Hver kappehalvdel har sømanordninger i form av flenser 21 som strekker seg radielt utover. Når kappehalvdelene er sammensatt 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
30 flensene sammen med egnede midler.

På fig. 3 er rørveggen 15 vist med en korrosjonsgrop 23 nærliggende isolasjonen. Korrosjonen 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 korrosjon og omfatter antenneanordning 27, en transmitter 29, en mottaker og forsterker 31, og en digital datamaskin 33.

Antenneanordningen 27 omfatter en transmisjonsantennespole 35, en mottakerantennespole 37 og en kjerne 39. I den foretrukne utførelsesform er transmisjons og mottakerantennespolene 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 så 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 vaier 41, 43.

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

Mottakeren og forsterkeren 31 er et bredbåndsinstrument med et vidt (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 tidsvindue 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 nå 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 tilbakegangen til strømmen.

Først plasseres antenneanordningen 27 på kappen 19 for å være i nærheten av den nærliggende overflata 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 rørledningen 11. Deretter blir transmisjonsviklingen 35 brått deenergisert av transmitteren ved å la pulsen falle av raskt til null amplitude. Denne brå deenergiseringsen av transmisjonsantenneviklingen 35 inducerer virvelstrømmer i lederne nær viklingen; nemlig kappen 19 og rørveggen 15. 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 deenergisert, slås mottakeren 31 på. Mottakerantenneviklingen 37 detekterer tilstedeværelsen av de induserte virvelstrømmene som dør hen 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 datamaskinen 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 datamaskinen 33 før de induserte strømmene i lederne faller bort. Transmisjons- og mottakerprosedyren gjentas mange ganger med antenneanordningen 27 på samme sted for å øke signal/støy forholdet.

Dataene prosesseres 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 nærværet 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.

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, 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 nå 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), man kan se at "korrosjon" responskurve avviker 20 til 30 % fra "ikke korrosjon" responskurven. Denne 20 til 30 % forskjell indikerer klart en forskjell i veggtykkelse mellom den korro-

5 derte delen av røret og den ikke-korroderede 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

10 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, 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 refer-

15 anse 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 den påvirkede responskurven generelt parallell med referanseresponskurvene. Den påvirkede responskurven korrigeres ved å normalisere den påvirkede responskurven i forhold til

20 referanseresponskurven 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 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

25 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 normalisering av responskurvene i forhold til en referanseresponskurve tatt opp med antenneanordningen i en kjent avstand, i det midlere tidsområdet.

30 Antenneanordningen 27 gir en avlesning av den gjennomsnittlige ledningsveggtykkelsen over et avsøkingsområde. Størrelsen på avsøkingsområdet avhenger av antennestørrelsen, antenneutformingen og varigheten på mottaker måletiden etter hver transmitterpuls. Avsøkingsområdet 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 avsøkingsområdet omtrent 304,8 mm i diameter.

I det vanlig tilfellet er den delen av rørledningen som skal undersøkes for korrosjon mye større enn avsøkings-området 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°.

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. Responskurververdiene på ekvivalente tidspunktet knyttes så sammen for å danne en TEMP profil. Således er for hvert plasseringssted for antenne anordningen responskurververdiene ved tiden er lik 8,5 ms, 32,8 ms, 67ms, 79ms, 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 den reduserte veggtykkelsen, tilsvarende rørkorrosjonskapper 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 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 og korrosjonskasset 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 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.

- 10 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 normal-
- 15 iseres 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

20 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

25 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

30 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 fabrikasjonsveggtykkelsene til en bestemmelse av tap av veggtykkelse på grunn av korrosjon på det undersøkte røret.

Et viktig aspekt for den foreliggende oppfinnelsen er den økede nøyaktighet for deteksjon av korrosjon på ledende vegger i forhold til tidligere kjente framgangsmåter. Den fore-
5 liggende oppfinnelsen opererer i tidsområdet heller enn i frekvensområdet. I tidsområdet oppnås all informasjonen som er nødvendig for å undersøke en ledningsvegg for nøyaktig deteksjon med en transmitter puls. Hver puls inneholder et uendelig antall frekvenser. Med frekvensområdet metoder brukes imidlertid bare noen få frekvenser for å undersøke en ledningsvegg, som resulterer i en begrenset mengde informasjon fra hvilke veggtykkelser
10 skal bestemmes.

Et annet viktig aspekt ved den foreliggende oppfinnelsen er evnen til å detektere korrosjon gjennom isolasjon. Til forskjell fra ultralyd metoder krever ikke den foreliggende oppfinnelsen kostbar og tidkrevende arbeid med å fjerne ikke-ledende og endatil ledende sjikt som er plassert mellom den interessante veggen og proben (antenne-anordningen). Videre
15 har den foreliggende oppfinnelsen et betydelig utvidet avsøkningsområde forbundet med antenneanordningen, mens ultralydmetoder frembringer i det vesentligste punkt målinger. Denne forskjellen i probeavsøkningsområde er av særlig viktighet ved deteksjon av korrosjon i rørledningsvegger. Korrosjon på rørledningsvegger blir farlig når der er tap av veggtykkelse over relativt store områder. Små korrosjonsflekker, som generelt er en kilde for
20 potensielle lekkasjer, representerer ikke eksplosjonsfaren som et større korrodert område representerer. TEMP metoden er mer effektiv i å detektere farlig rørledningsvegg-tykkelsestap ved å gi en gjennomsnittsmåling over antenneanordningsavsøkningsområdet.

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
25 elektrisk ledende veggene i andre typer beholdere slik som lagertanker og trykktanker. I 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
30 har transmisjonsantennen adskilt men i samme plan som mottakerantenna. Et annet arrangement har mange mottakerantenner anordnet inne i en stor transmisjonsantennesløyfe.

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) registrere reduksjonen i den induserte strømmen i beholderveggdelen (45) i en tidsperiode; og
 - e) undersøke registreringen for å bestemme reduksjonen i den induserte strømmen og
 - 15 sammenlikne reduksjonen i den induserte strømmen med reduksjonen i den induserte strømmen i en referanseregistrering, hvor referanseregistreringen er hentet fra en referanse-beholder med kjent veggtykkelse, hvorved tilstedeværelse eller fravær av korrosjon på den undersøkte beholderveggdelen (45) kan sluttet på grunnlag av den indikerte veggtykkelsen.
2. Framgangsmåte i samsvar med krav 1,
- 20 **karakterisert** ved at senderantenna (35) og mottakerantenna (37) plasseres inntil et lag av isolasjon (17) som er inntil beholderveggen slik at isolasjonen er plassert mellom beholderveggen og senderantenna og mottakerantenna, hvor framgangsmåten for deteksjon av korrosjon kan utføres mens isolasjonen er inntakt på beholderen.
3. Framgangsmåte i samsvar med krav 2,
- 25 **karakterisert** ved at senderantenna (35) og mottakerantenna (37) plasseres inntil ei ledende kappe (19) som er inntil beholderveggen slik at isolasjonen (17) er plassert mellom beholderveggen og senderantenna og mottakerantenna, hvor kappet har en veggtykkelse vesentlig mindre enn veggtykkelsen på beholderen, hvor framgangsmåten for deteksjon av korrosjon kan utføres mens kappet er inntakt på beholderen.

4. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-3,

karakterisert ved at registreringen fra den undersøkte beholderveggdelen og referanse-registreringen har respektive deler der reduksjonshastigheten endres fra en forholdsvis konstant reduksjonshastighet til en akselererende reduksjonshastighet, videre omfatter fram-

5 gangsmåten trinnet med fortolkning av registreringen for en indikasjon av tykkelsen til den undersøkte beholderveggdelen, slik at nærvær eller fravær av korrosjon på beholder-veggdelen kan sluttet, ved å sammenlikne delen med akselererende reduksjonshastighet med delen med akselererende reduksjonshastighet ved referanseregistreringen, hvorved hvis delen med akselererende reduksjonshastighet ved registreringen er raskere enn delen med
10 akselererende reduksjonshastighet ved referanseregistreringen, er veggtykkelsen ved den undersøkte beholderen tynnere enn veggtykkelsen ved referanseregistreringen.

5. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-4, hvor kappas er frembrakt i deler, der kappedelene har sømanordninger (21) for å føye sammen nevnte kappedeler, hvor sømanordningene (21) har en effekt på reduksjonen av den induserte strømmen i beholderveggdelen,

15 **karakterisert** ved at den videre omfatter trinnet å korrigere registreringen av reduksjonen av den induserte strømmen i beholderveggdelen for effektene av sømanordningene (21) ved å normalisere registreringen i forhold til referanseregistreringen over de deler av registreringene hvor disse generelt er parallelle, hvor referanseregistreringen etableres som en registrering av reduksjonen av en tilsvarende induisert strøm i en del av en i det vesentligste
20 tilsvarende beholdervegg som er plassert i noe avstand fra sømanordningene (21), slik at referanseregistreringen er upåvirket av sømanordningen.

6. Framgangsmåte i samsvar med krav 1-5 hvor nevnte isolasjon har en ikke-enhetlig tykkelse som forårsaker variasjoner i avstanden mellom senderantenna (35) og mottakerantenna (37) og beholderveggen ved den undersøkte del og mellom senderantenna (35) og
25 mottakerantenna (37) og beholderveggen på en andre undersøkt del hvor nevnte variasjoner i avstand har en effekt på reduksjonen av den induserte strømmen i beholderveggdelen,

karakterisert ved at den videre omfatter trinnet å korrigere registreringen av reduksjonen av den induserte strømmen i beholderveggdelen for effekten av variasjonene i avstand ved å normalisere registreringen i forhold til referanseregistreringen over de deler av registrering-
30 ene hvor disse generelt er parallelle, hvor referanseregistreringen etableres med senderantenna (35) og mottakerantenna (37) plassert i kjente avstander fra ledningsveggdelen.

7. Framgangsmåte i samsvar med krav 1,

karakterisert ved videre å omfatte trinnet med bestemmelse av tiden i registreringen når den induerte strømmen når den fjerntliggende overflate av den undersøkte beholderveggdelen, hvorved tykkelsen av den undersøkte beholderen blir indikert.

5 8. Framgangsmåte i samsvar med krav 1,

karakterisert ved videre å omfatte følgende trinn:

a) holde sender- og mottakerantennene (35, hhv. 37) på samme sted og å etablere mange registreringer av reduksjonen av tilsvarende induerte strømmer for denne plasseringen av sender- og mottakerantennene (35, hhv. 37); og

10 b) behandle nevnte antall registreringer for å øke signal/støyforholdet for plasseringen av sender- og mottakerantennene (35, hhv. 37).

9. Framgangsmåte for måling av veggtykkelse for å detektere uregelmessigheter slik som korrosjon på elektrisk ledende vegger i beholdere, idet ei senderantenne (35) med sender koplet til senderantenna (35), og ei mottakerantenne (37) med mottaker koplet til mottaker-
15 antenna (37), plasseres i nærheten av den delen av beholderveggen som skal undersøkes for uregelmessigheter;

karakterisert ved å omfatte følgende trinn:

a) foreta en brå endring i strømmen til senderantenna (35) fra senderen for å induere strøm i den undersøkte beholderveggdelen;

20 b) detektere den induerte strømmen i den undersøkte beholderveggdelen med mottakerantenna (37) og mottakeren for å produsere et første mottakersignal, hvilket reduseres i støy over en tidsperiode, idet det første mottakersignalet har mellomliggende og sene tidsintervall, og

c) sammenlikne de mellomliggende og sene tidsdelene av det første mottatte signalet for
25 å bestemme reduksjonen i det første mottatte signalet, og sammenlikne reduksjonen i det første mottatte signalet med reduksjonen i det andre mottatte signalet hentet fra en annen beholderveggdel som er fri for uregelmessigheter, hvorved redusjonen i første mottatte signal fra den undersøkte beholderveggdelen gir en indikasjon på tykkelsen av den undersøkte beholderveggdelen, og nærvær eller fravær av uregelmessigheter på den undersøkte
30 beholderveggdelen kan bestemmes.

10. Framgangsmåte i samsvar med krav 9, der hvert av de første og andre mottatte signal har en del i mellomliggende og sene tidsintervall, og der reduksjonshastigheten endres fra en forholdsvis konstant reduksjonshastighet til en akselererende reduksjonshastighet,

karakterisert ved videre å omfatte trinnet med sammenlikning av delen med akselererende reduksjonshastighet av første mottatte signal med delen med akselererende reduksjonshastighet ved andre mottatte signal, hvorved hvis delen med akselererende reduksjonshastighet ved første mottatte signal er raskere enn delen med akselererende reduksjonshastighet ved andre mottatte signal, er veggtykkelsen ved den undersøkte beholderen tynnere enn veggtykkelsen ved referanseregistreringen.

11. Framgangsmåte i samsvar med krav 9-10,

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

12. Framgangsmåte i samsvar med krav 9-10,

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

13. Framgangsmåte i samsvar med krav 9,

karakterisert ved at trinnene med innhentning og bestemmelse av reduksjon av det første mottatt signalet repeteres for å hente andre mottatte signaler fra andre deler av beholderveggen.

14. Framgangsmåte i samsvar med krav 13,

karakterisert ved at de mottatte signalene har deler der reduksjonshastigheten endres fra en forholdsvis konstant reduksjonshastighet til en akselererende reduksjonshastighet, videre omfatter framgangsmåten trinnet med å sammenlikne delen med akselererende reduksjonshastighet for første mottatte signal med delen med akselererende reduksjonshastighet for de andre signalene, hvorved hvis delen med akselererende reduksjonshastighet ved første mottatte signal er raskere enn delen med akselererende reduksjonshastighet ved de andre mottatte signalene, er veggtykkelsen ved den undersøkte beholderen tynnere enn veggtykkelsen ved de andre beholderveggdelene.

15. Framgangsmåte i samsvar med krav 14,
karakterisert ved at senderantenna (35) og mottakerantenna (37) omfatter et tilfeldig antennearrangement.
16. Framgangsmåte i samsvar med hvilket som helst av de foregående krav, hvor nevnte
5 isolasjon (17) har en ikke-enhetlig tykkelse som forårsaker variasjoner i avstanden mellom senderantenna (35) og mottakerantenna (37) og beholderveggen ved den undersøkte delen og mellom senderantenna (35) og mottakerantenna (37) og beholderveggen ved en andre undersøkt del hvor nevnte variasjoner i avstand har en effekt på reduksjonen av den induserte strømmen i beholderveggdelen,
- 10 **karakterisert** ved videre å omfatte trinnet med å korrigere det første mottatte signalet for effekten av variasjonene i avstand ved å normalisere det første mottatte signalet i forhold til referansesignalet over de mellomliggende tidsintervall av signalene, hvor referansesignalet etableres med senderantenna (35) og mottakerantenna (37) plassert i kjente avstander fra beholderveggdelen.
- 15 17. Framgangsmåte i samsvar med hvilket som helst av de foregående krav,
karakterisert ved at det mottatte signalet har et kritisk tidspunkt når reduksjonshastigheten til det mottatte signalet endres fra en forholdsvis konstant reduksjon til en akselererende reduksjon; og hvor framgangsmåten videre omfatter følgende trinn:
- 20 a) bestemme proporsjonalitetsfaktoren mellom veggtykkelsen av den undersøkte beholderveggdelen og det kritiske tidspunktet ved undersøkelse av de kritiske tidspunkter for mottatte referansesignal, som er hentet fra en referansebeholder med kjent veggtykkelse; og
- b) bestemme tykkelsen av den undersøkte beholderveggdelen ved å anvende proporsjonalitetsfaktoren mot kvadratrota av den kritiske tida.

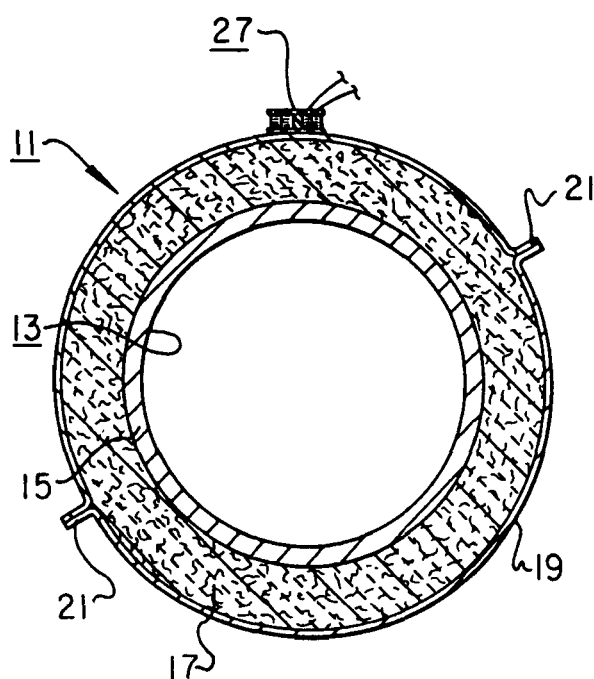
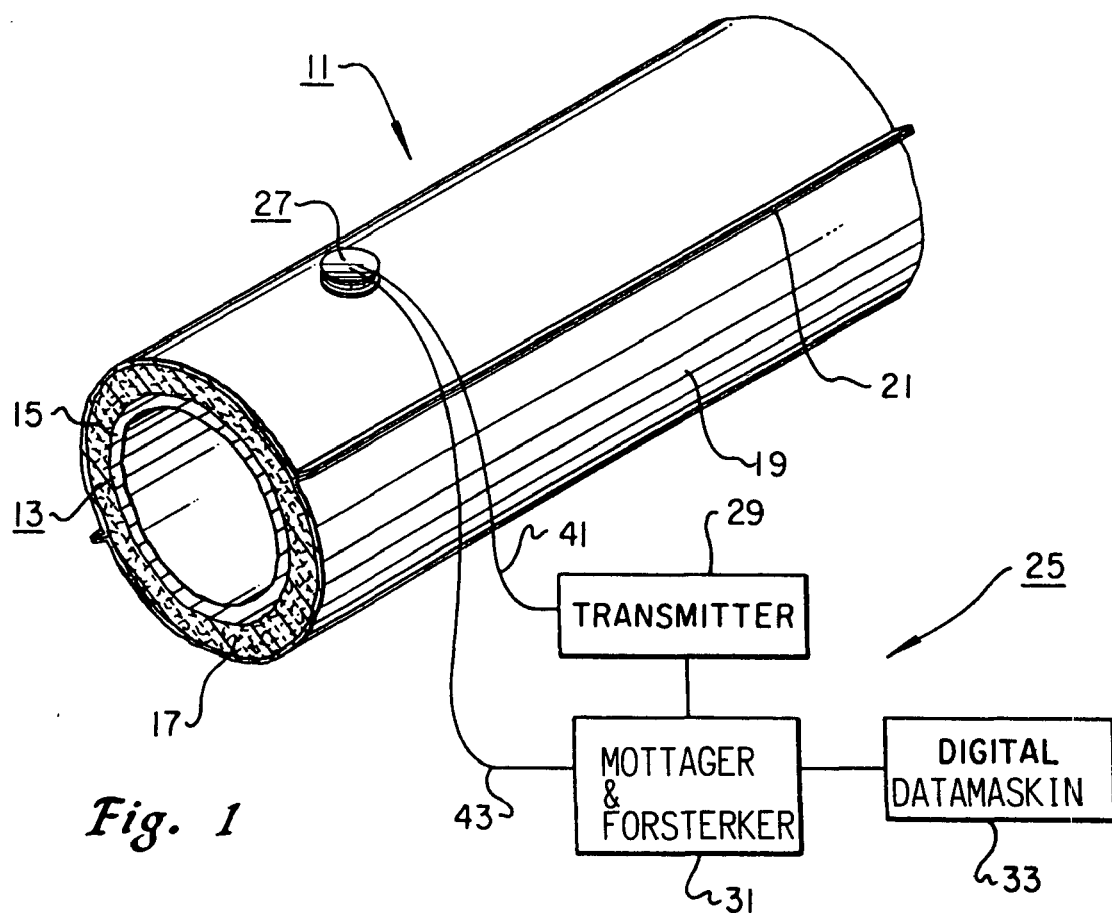


Fig. 2

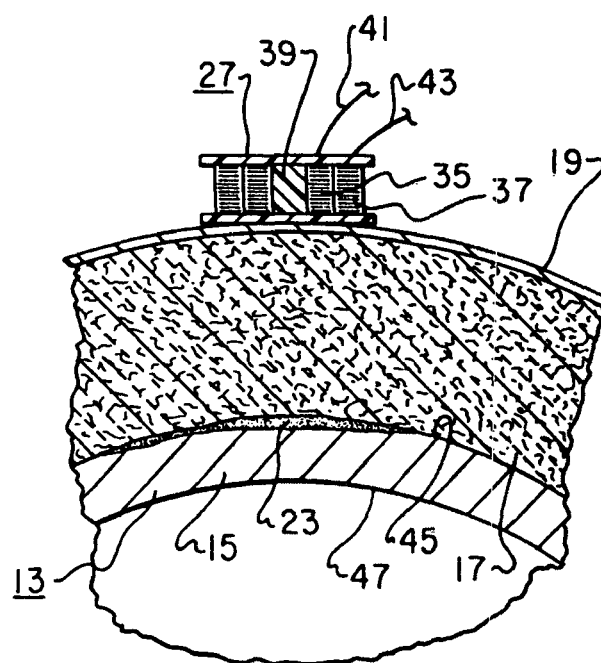


Fig. 3

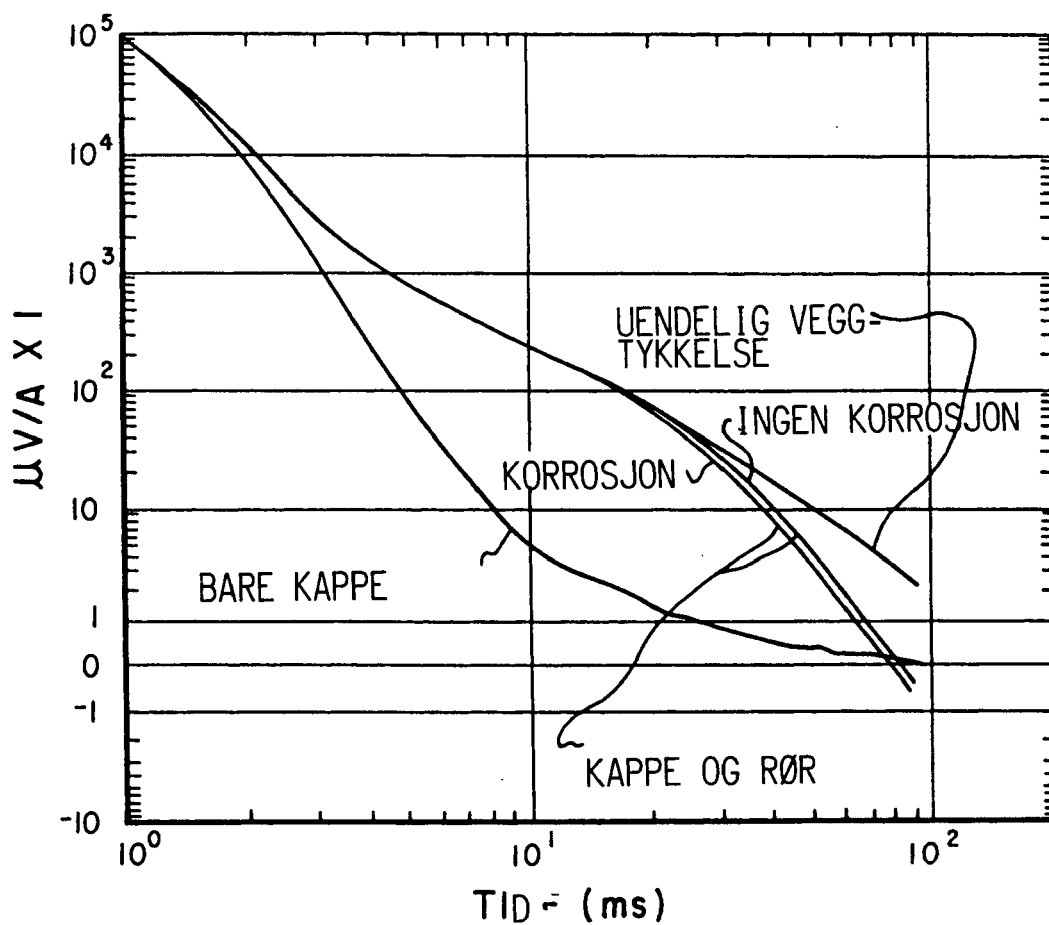


Fig. 4

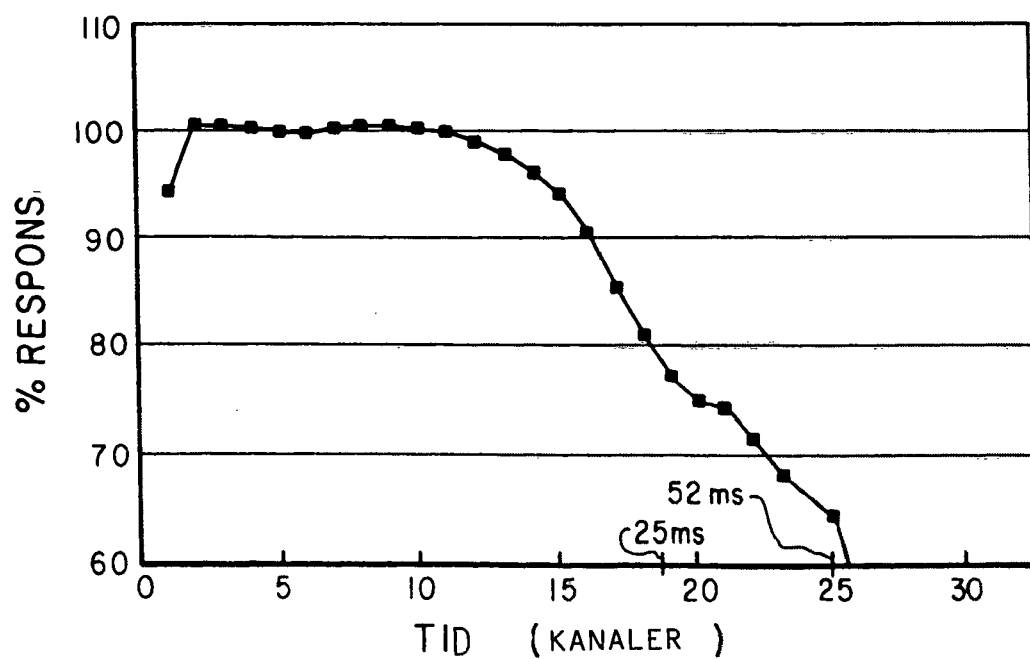


Fig. 5

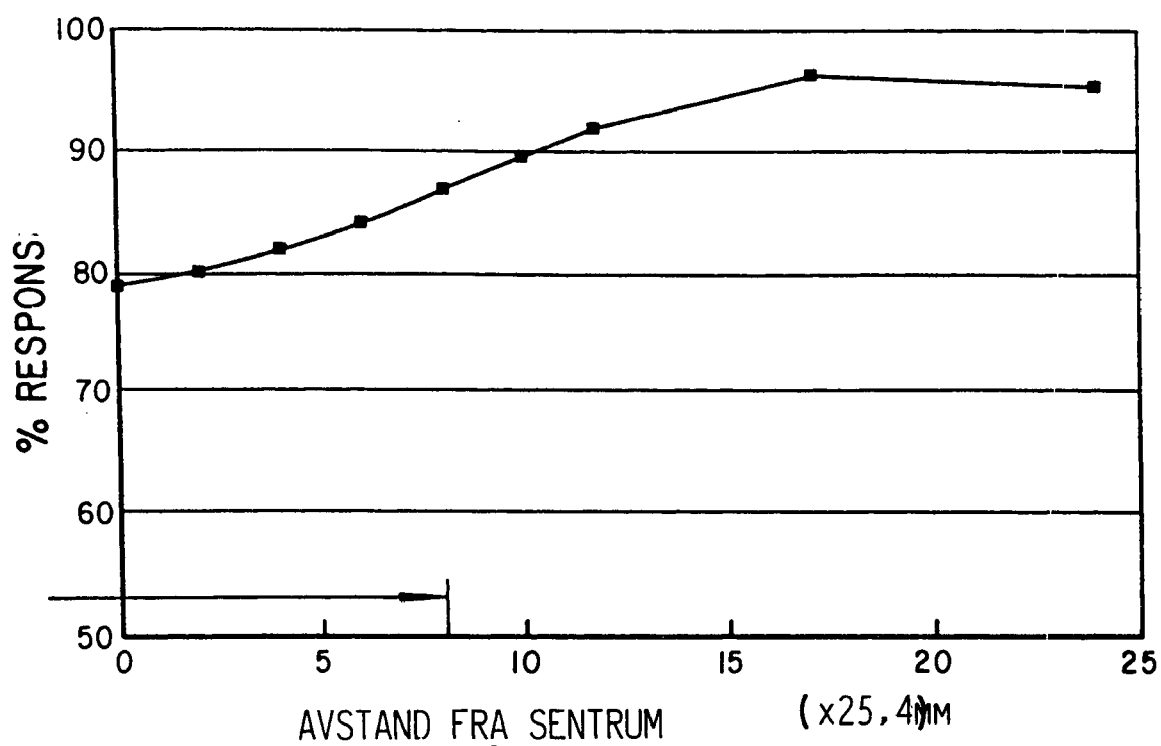


Fig. 6

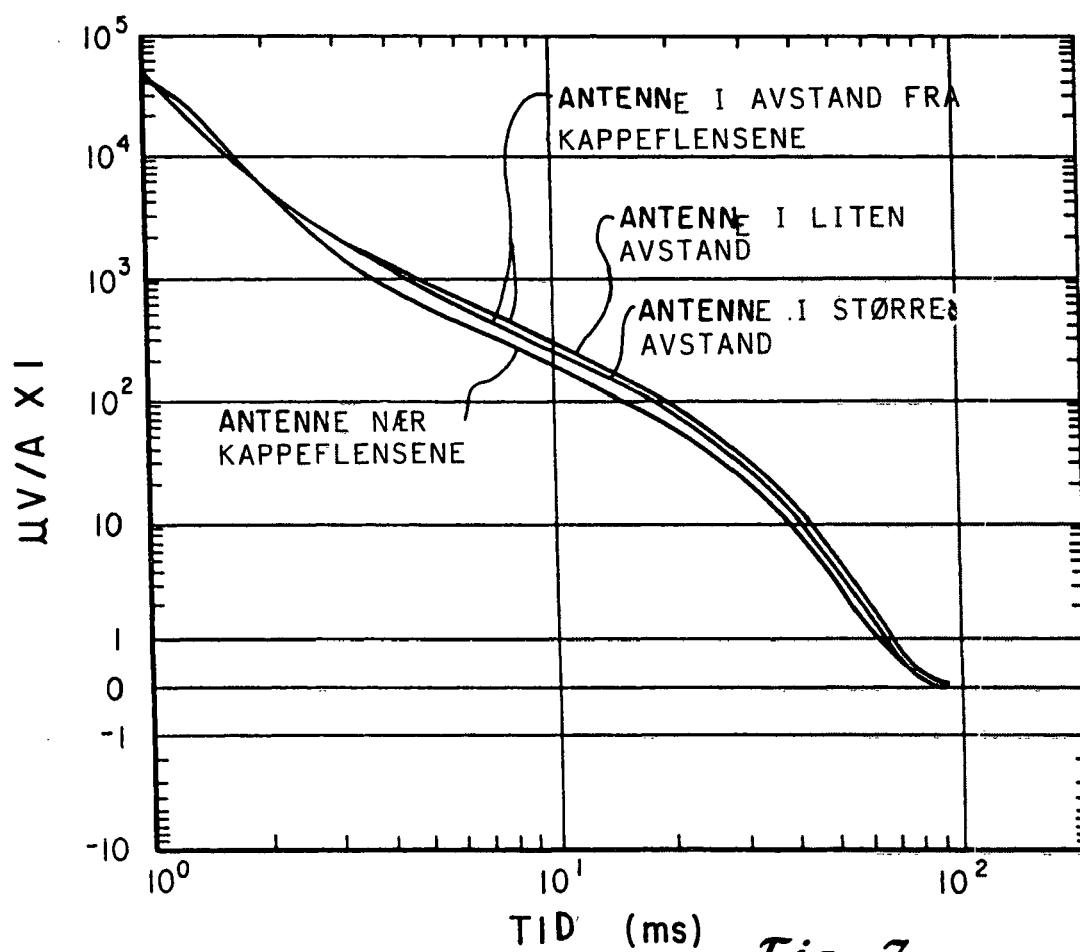


Fig. 7

KORROSJONSKART AV RØR

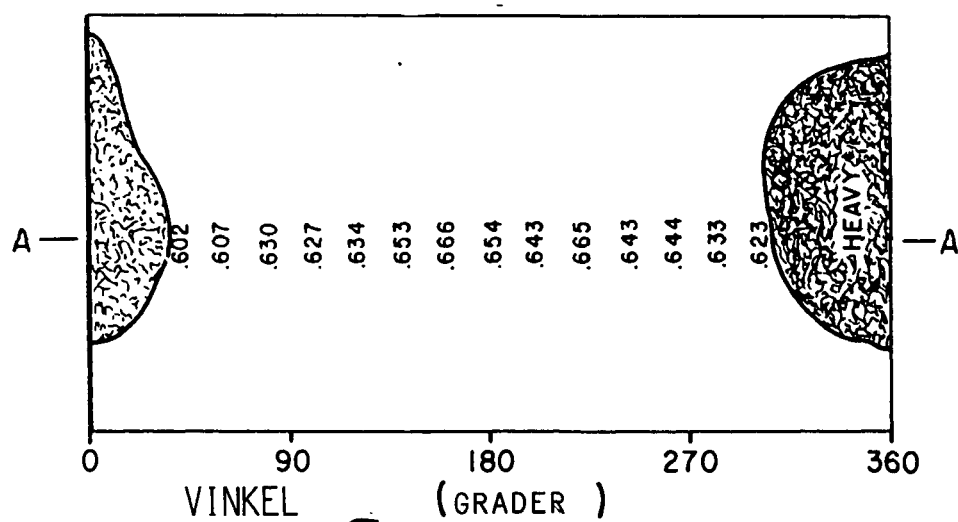


Fig. 8a

RØR UTEN KAPPE

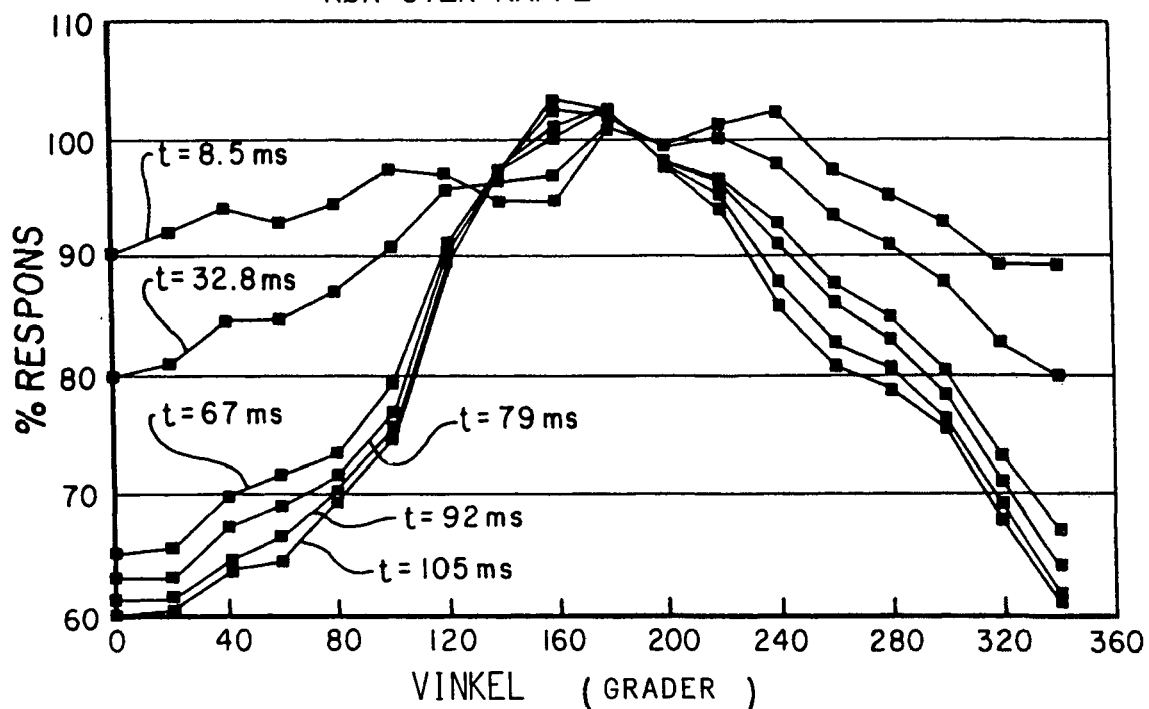


Fig. 8b

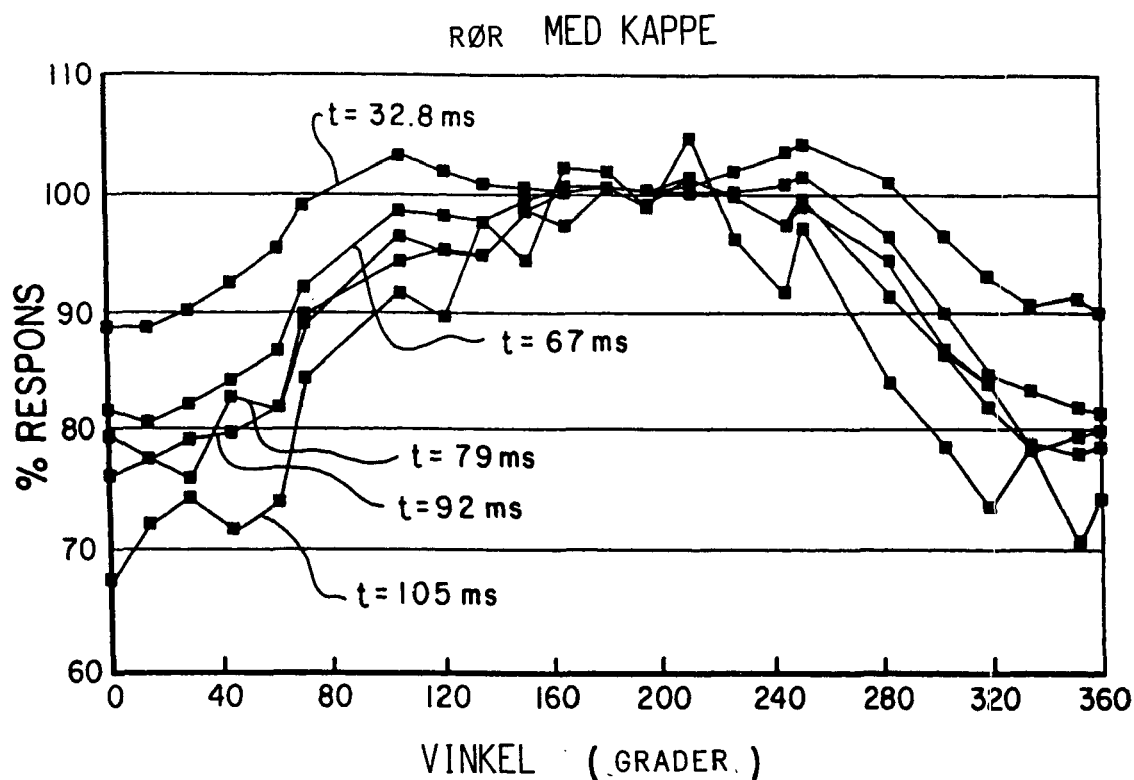


Fig. 8c

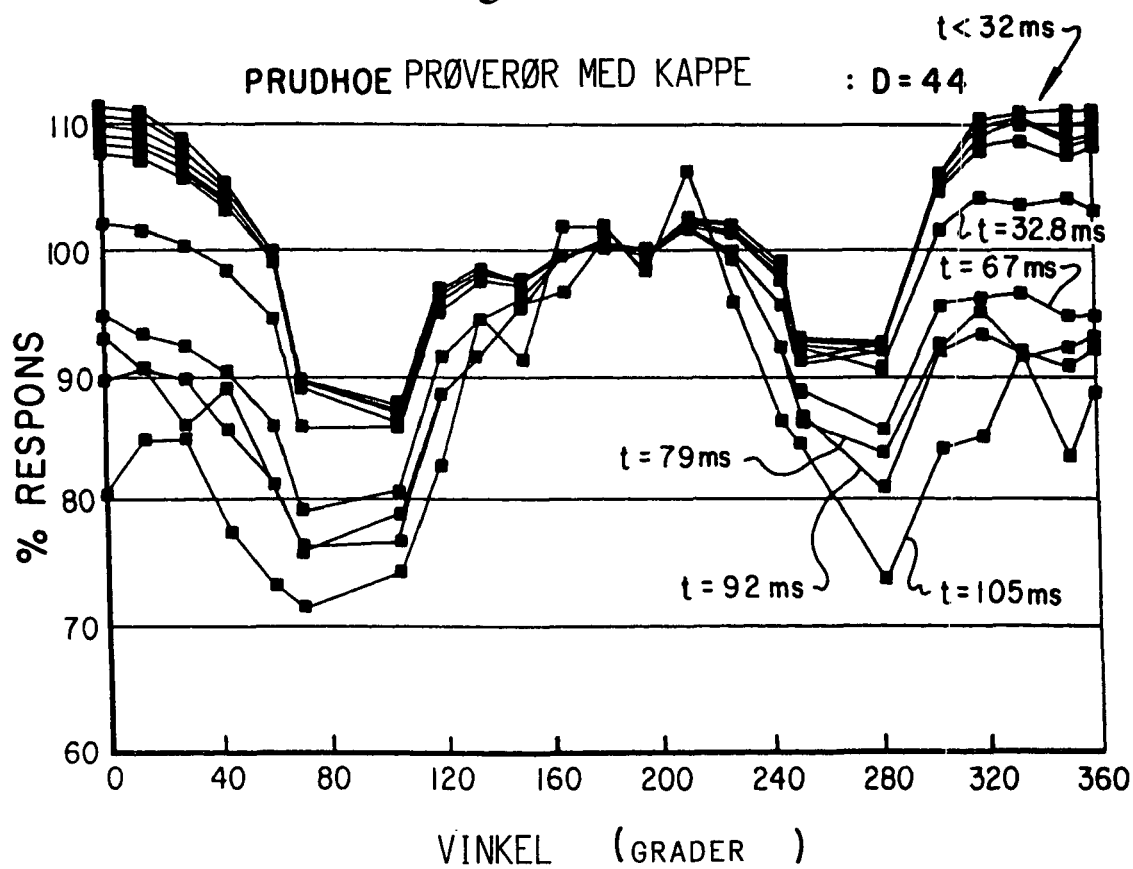


Fig. 8d