

**Mantelprovning av
polymerkablar**

Elforsk rapport 97:25

November 1997

Mantelprovning av polymerkablar

Elforsk rapport 97:25

Jan Tore Benjaminsen, EFI
Horst Förster, EFI

November 1997

FÖRORD

På uppdrag av Sveriges Elleverantörer har Elforsk deltagit i ett nordiskt projekt om mantelprovning av polymerkablar, tillsammans med norska och danska elleverantörer samt kabelindustrin i Sverige, Norge och Danmark.

Projektet har genomförts av EFI (Energiforsyningens Forskningsinstitut AS), Trondheim.

Projektet har genom prov i laboratorium samt i fält vid provplats i Danmark utvärderat de mantelprovningssutrustningar som finns på den europeiska marknaden idag.

Rapporten är skriven på norska. Projektet har också resulterat i en kortare användarhandbok som översatts till svenska. Handboken har rapportnummer 97:26 i Elforsks publikationsserie.

Stockholm i november 1997

Kjell Oberger

De företag som finansierat förstudien är: Borås Energi, Forsaströms Kraftaktiebolag, Gullspångs Kraft, Göteborg Energi, Halmstads Energiverk, Helsingborg Energi, Jämtkraft, Lunds Energi, Norrköping Energi, Skandinaviska Elverk, Skellefteå Kraft, Stockholm Energi, Svenska Kraftnät, Sydkraft, Tekniska Verken i Linköping, Vattenfall och Örebro Energi.



TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

KAPPEPRØVING AV POLYMERKABLER

Energiforsynings Forskningsinstitutt AS

Adresse: 7034 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00
Telefax: 73 59 72 50

F.nr.: 939 350 675

SAKSBEARBEIDER(E)

Jan Tore Benjaminsen *Jan T. Benjaminsen* (forfatter)
Horst Förster *Horst Förster* (forfatter)

OPPDRAGSGIVER(E)

Styringskomiteén for prosjekt "Kappeprøving av polymerkabler"

| | | | |
|----------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------|
| TR NR. | DATO | OPPDRAGSGIVER(E)S REF. | OPPLAG |
| TR A4576 | 1997-11-05 | Jan A. Olsen, EnFO | 145 |
| GRADERING | PROSJEKTNR. | PROSJEKTANSVARLIG | ANTALL SIDER |
| Åpen | 300414.00 | Hallvard Faremo <i>H.F.</i> | 62 |
| ELEKTRONISK ARKIVKODE | AVDELING | | |
| n:\dok\14\jtb\97000152.tek | Materialteknikk | | |
| ISBN | RAPPORTTYPE | AVDELINGSSJEF | |
| 82-594-1114-8 | 3,6,8 | Rolf Hegerberg <i>Rolf Hegerberg</i> | |

RESULTAT (sammendrag)

Det er utført målinger på forskjellige kabeltyper for å fastlegge grenseverdier for hvilke lekkstrømmer som kan godtas under kappeprøven. Det er videre foretatt målinger for å bestemme grenseverdier for når feil i kabelkappe lar seg detektere.

Laboratorieforsøkene viser at for kabler med PE kappe lar alle feil seg detektere idet lekkstrømmen er 2 - 3 dekadere lavere enn feilstrømmen i en kappeskade. For kabler med PVC kappe kan en for kapper med høyt vanninnhold (gamle kabler som har ligget fuktig) få lekkstrømmer i samme størrelsesorden som feilstrømmen i en skade, slik at feilen kamufleres. Feltprøvene viste at kappeskader på kabler forlagt i tørr sand ikke lar seg detektere verken for kabler med PE eller PVC kappe. Som forventet er store kappeskader i fuktig jord lett å detektere. Grensen for når en feil lar seg detektere er avhengig av omfanget av feilen, lednings-
evne i jordsmonn og kappetype.

STIKKORD

| | | |
|------------|------------------|-------------------|
| EGENVALGTE | Kappeprøving | Laboratorieprøver |
| | PE og PVC kapper | Prøvefelt |

INNHOLDSFORTEGNELSE

| | Side |
|---|------|
| FORORD | 3 |
| KAPPEPRØVING AV POLYMERKABLER | 4 |
| VEDLEGGSRAPPORT 1: LABORATORIEFORSØK | 7 |
| V1.1 LEKKSTRØMSMÅLINGER AV ULIKE KAPPEMATERIALER | 8 |
| V1.1.1 Fuktmålinger av kappematerialene | 10 |
| V1.2 MÅLING AV FEILSTRØM FOR ULIKE KAPPESKADER | 11 |
| V1.2.1 Disseksjon av feilstedene | 12 |
| VEDLEGGSRAPPORT 2: FELTPRØVER PÅ FYN | 17 |
| V2.1 BESKRIVELSE AV PRØVEANLEGGET | 18 |
| V2.2 FELTMÅLINGER PÅ FYN | 20 |
| V2.3 UTSTYRSLEVERANDØRENE'S MÅLINGER PÅ PRØVEFELTET PÅ FYN .. | 23 |
| VEDLEGGSRAPPORT 3: BESKRIVELSE AV MÅLEPRINSIPPER | 25 |
| V3.1 INNLEDNING | 26 |
| V3.2 FEILINDIKASJON | 26 |
| V3.3 FORLOKALISERING | 26 |
| V3.4 ETTERLOKALISERING | 28 |
| V3.4.1 Likestrømsmetoden | 28 |
| V3.4.2 Tonefrekvensmetoden | 29 |
| V3.5 BRUKERERFARING | 30 |
| V3.5.1 Multifeil | 30 |
| V3.5.2 Jordsmonn | 30 |
| V3.5.3 Ledende gjenstander | 30 |
| V3.5.4 Kabler i ledende / isolerende rør | 31 |
| V3.5.5 Asfaltdekke | 31 |
| V3.5.6 Bar kobberleder som jordleder | 32 |
| V3.5.7 Høyspenninglinjer | 32 |
| V3.5.8 Retning / dybdeforandring på kabelen | 32 |
| V3.6 OPPSUMMERING | 32 |
| VEDLEGGSRAPPORT 4: RAPPORTENE FRA UTSTYRSFABRIKANTENE ETTER MÅLINGENE HØSTEN 1996 | 34 |
| APPENDIX 1: Motstandsverdiene for de forskjellige kabelkappene som funksjon av aldringstid | 54 |
| APPENDIX 2: Detaljerte måleresultater fra laboratoriemålingene | 58 |

FORORD

I 1995 ble det startet et nordisk prosjekt vedrørende kappeprøving av polymerkabler. Prosjektet har vært finansiert av EnFO, danske, norske og svenske everk og kabelprodusenter.

Den overordnede styring av prosjektet er utført av en styringskomité bestående av:

| | |
|-------------------------|----------------------------|
| Jan A. Olsen | EnFO (formann) |
| Bjarne Slogvik | Stavanger Energi AS |
| Birger Eriksson | Svenska Elverksföreningen |
| Svante Skeppstedt | ABB Kabel AB |
| Bo Thunwall | Alcatel IKO Kabel |
| Lars Efraimsson | Ericsson Cables AB |
| Leif Olsson | Gøteborg Energi AB |
| Kjell Oberger | Elforsk AB |
| Hans Jørgen Jørgensen | DEFU |
| Peter Løvstrøm Sørensen | NKT Engineering |
| Sven Salwin | Københavns Belysningsvæsen |
| Niels P. Mikkelsen | Energi Horsens |
| Arve Ryen | Alcatel Kabel Norge AS |
| Sven Enger | ABB Norsk Kabel AS |
| Hallvard Faremo | EFI (prosjektansvarlig) |
| Jan Tore Benjaminsen | EFI (prosjektleder) |

Prosjektet vil rette en spesiell takk til Vestfyns Elforsyning som har stilt prøveplass til disposisjon for nedgraving av kablene med feil, og til Olav Ring, Energi Horsens som har vært til uvurderlig hjelp under målingene på prøvefeltet på Fyn.

KAPPEPRØVING AV POLYMERKABLER

Det er utført målinger på forskjellige kabeltyper for å fastlegge grenseverdier for hvilke lekkstrømmer som kan godtas under kappeprøven. Det er videre foretatt målinger for å bestemme grenseverdier for når feil i kabelkappe lar seg detektere.

Laboratorieforsøkene viser at for kabler med PE kappe lar alle feil seg detektere idet lekkstrømmen er 2 - 3 dekader lavere enn feilstrømmen i en kappeskade. For kabler med PVC kappe kan en for kapper med høyt vanninnhold (gamle kabler som har ligget fuktig) få lekkstrømmer i samme størrelsesorden som feilstrømmen i en skade, slik at feilen kamoufleres. Feltprøvene viste at kappeskader på kabler forlagt i tørr sand ikke lar seg detektere verken for kabler med PE eller PVC kappe. Som forventet er store kappeskader i fuktig jord lett å detektere. Grensen for når en feil lar seg detektere er avhengig av omfanget av feilen, lednings- evne i jordsmonn og kappetype.

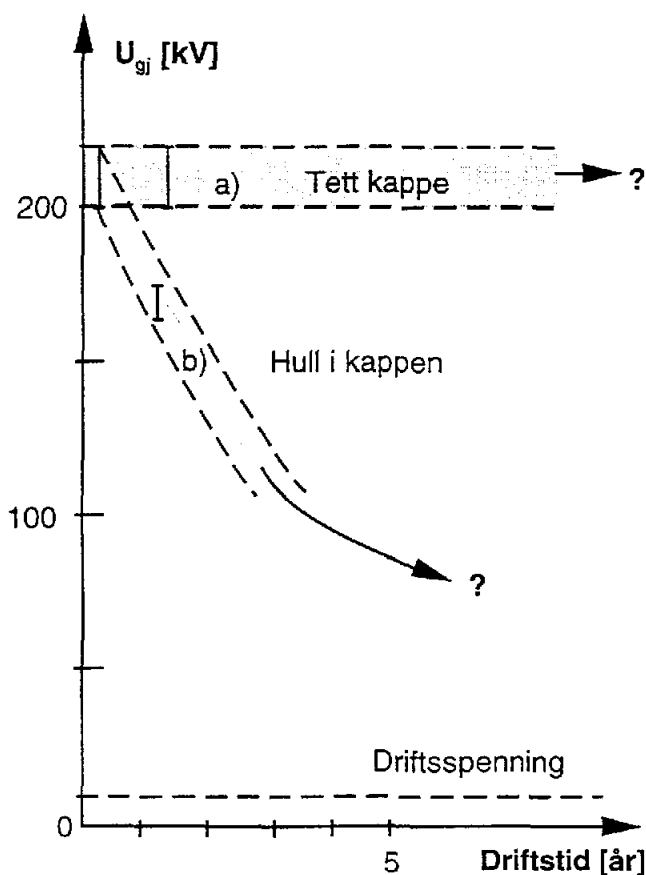
I 1995 ble det startet et nordisk prosjekt vedrørende kappeprøving av polymerkabler. Prosjektet var et samarbeidsprosjekt mellom elforsyning og kabelprodusenter i Norden, og disse stod også for finansieringen. Representanter fra både elforsyning og produsenter i Danmark, Norge og Sverige har sittet i Styringskomitéen til prosjektet.

I Norden er ventilerte vanntrær fra den ytre halvlederen den hyppigste årsaken til kabelhavarier som skyldes vannvekst. For at denne aldringen skal kunne oppstå må man ha tilstrekkelig fuktighet til stede under ytre kappe. Dersom kappen har blitt skadet ved en av håndteringsprosessene før kabelen har kommet i drift (produksjon - transport - utlegging - lukking av grøft osv), eller i drift (stein-graving osv), kan faren for at kappefeil oppstår være til stede.

Dersom kappen er skadet på et sted der kabelen ligger i våte omgivelser, vil vann komme i kontakt med ytre halvleder fra det tidspunktet kabelen installeres. I et annet igangværende norsk forskningsprosjekt (Vanntette PEX-kabler i fordelingsnett) viser foreløpige resultater at aldringen av kablene i dette tilfellet akselleres sterkt sammenlignet med kabler der kappen er hel, se figur 1. (Dette prosjektet avsluttes i 1998 og fullstendig rapportering vil bli tilgjengelig i løpet av neste år).

Kappeprøving er derfor et godt alternativ for dem som ønsker å føre en viss kontroll med kablene sine. En eventuell feil i kappen kan registreres, lokaliseres og repareres på et tidlig tidspunkt, slik at inntrengning av fuktighet unngås, og dermed reduseres risiko for vekst av vanntrær.

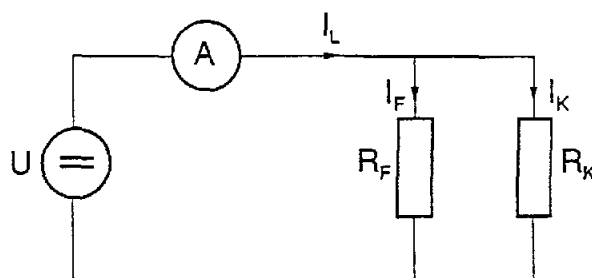
Kappeprøving kan også i mange tilfeller være et godt alternativ til likespenningsprøving (DC) av kabelens isolasjon etter ny installasjon eller etter omlegging av eksisterende kabelanlegg. På sikt kan en slik prøve bli et alternativ til andre normerte spenningsprøver etter utlegging.



Figur 1: Aldring av PEX-kabler i vann ved $3 U_0$ og 23°C . a) Ingen skade i kappen. b) Hull i kappen.

Målemetoden går i korthet ut på at man tester kabelens ytterkappe ved å påtrykke en likespenning mellom kabelskjerm og jordsmonn, for å konstatere om det er en kappefeil tilstede, for deretter å lokalisere og eventuelt reparere feilen.

Prinsippet for å konstatere feil kan illustreres ved følgende forenklete ekvivalentsskjema:



- | | | | |
|---------|--------------------------------|---------|--------------------------|
| R_F : | Motstand i skadestedet. | I_F : | Feilstrøm i skadestedet. |
| R_K : | Motstand i kabelkappen. | I_K : | Lekkstrøm i kabelkappen. |
| I_L : | Ladestrøm til spenningskilden. | | |

Figur 2: Kappefeilmåling.

Hvis $R_K \gg R_F$, $I_K \ll I_F$ kan feil detekteres.

Hvis $R_K \leq R_F$, $I_K \geq I_F$ kan feil ikke detekteres.

Det ble utført laboratoriemålinger for å bestemme overgangsmotstand ved ulike feil (størrelser) og lekkstrøm i kappen avhengig av materiale og kappetykkelse.

Resultatene fra laboratoriemålingene (vedleggsrapport VI) gir oss størrelsesorden av forventet lekkstrøm i kabelkappen, dvs. vi bestemmer (estimerer) størrelsesorden på I_K . Hvis den verdien en måler i feltet er betydelig høyere enn den forventede/beregnete verdien av lekkstrømmen, kan en gå ut fra at det foreligger en kappefeil.

Hvis kabelen har en gammel PVC kappe og en har en liten kappefeil, kan lekkstrømmen i kappen være av samme størrelsesorden som lekkstrømmen i skadestedet. Da kan en ikke utelukke feil selv om verdien på lekkstrømmen er som forventet ut fra laboratoriemålingene.

For å kunne vurdere måleresultater i felten fra spenningsprøving av kabelkappe (megging), må en ta hensyn til følgende parametre:

- * Kappemateriale (PE eller PVC) for kabel og skjot
- * Fuktighet i jordsmonn (jordresistansen)
- * Kabellengde
- * Alderen på kabelen
- * Geografisk plassering av kabelen

Ved vurdering av resultatene må det tas hensyn til eventuelle inhomogeniteter i jordsmonnet, idet en over en viss strekning vil ha forskjellige jordforhold. Det vil f.eks. være umulig å detektere små hull (pin-holes) hvis disse tilfeldigvis ligger i en tørr sone av kabelgrøften. Hvis en er i tvil om motstanden i jorden, fins det egnede instrumenter for å måle dette.

Ved et prøvefelt på Fyn i Danmark ble kabler som det på forhånd var laget feil i, gravd ned i forskjellige typer jordsmonn. Det ble her foretatt målinger av overgangsmotstand mellom skjerm og jord, samt motstandsmålinger av jordsmonnet kablene var forlagt i. Ved forsøk på å detektere og lokalisere de "plantede" feilene, viste det seg at alle typer feil lot seg lokalisere i normal jord, mens feil ikke lot seg detektere for kablene som var forlagt i tørr sand, som hadde en ledningsevne ca. 1000 ganger mindre enn normal jord.

VEDLEGGSRAPPORT 1

Laboratorieforsøk

V1 LABORATORIEFORSØK

Det er utført måling av lekkstrøm mellom skjerm og jord, og feilstrøm for ulike skadetyper for kabler med PE og PVC kappe. Målingene skal gi oss grenseverdiene for muligheten til å detektere feil.

Resultatene fra laboratorieforsøkene viser at for kabel med PE kappe uten svellebånd er feilstrømmen i et skadested 3 - 5 dekader høyere enn lekkstrømmen i kappen. For kabel med PVC kappe gjelder det samme for kabler aldret ved romtemperatur, men for kabler aldret ved høyere temperatur kan lekkstrømmen i kappen bli av samme størrelsesorden som feilstrømmen i skadestedet. I slike tilfeller vil en detektering av feil være usikker eller helt umulig. For kabler med PE kappe med svellebånd viser målingene at feilstrømmen i skadestedet med tiden kan bli lavere enn lekkstrømmen i kappen, idet svellebåndet som forventet "reparerer" skaden når det er fuktighet tilstede.

Forutsetningen for å kunne detektere feil i en kabelkappe er at størrelsesorden for lekkstrøm mellom kabelskjerm og jord for den aktuelle kabeltypen er kjent. Lekkstrømmen er avhengig av kappematerialet (PVC eller PE), kabellengde og aldringstilstand av kappematerialet. Dessuten må feilstrømmen i skadestedet være betydelig høyere enn den estimerte lekkstrømmen i kappen. Det er av interesse å finne ut hvor små feil som kan detekteres.

For å få informasjon om lekkstrømmen i kabelkapper og feilstrømmen ved skader i kappen, ble det utført to typer laboratorieforsøk:

- Lekkstrømsmålinger av kappematerialer i vannbad ved ulike temperaturer og aldringstider.
- Måling av feilstrøm for ulike feil i kabelkappen.

V1.1 LEKKSTRØMSMÅLINGER AV ULIKE KAPPEMATERIALER

Målingene ble utført på kabelkapper av PE og PVC med både 1 mm og 2 mm tykkelse. Det er mest vanlig at kabelkapper har en tykkelse på 2 mm eller mer, men under forsøkene ble det også brukt kabler med en kappetykkelse på 1 mm fordi aldringsfenomenene trolig blir raskere målbare ved tynt kappe-materiale.

En kabel av hver type ble plassert i vannbad med temperaturer på henholdsvis 10 °C, 20 °C, 50 °C og 75 °C. Under målingene var en målespenning på 500 V påsatt i 1 minutt før avlesning av måleverdiene.

En temperatur på 75 °C på kabelkappen er en urealistisk driftstemperatur, men også her forventet en at aldringen ville foregå raskere ved høyere temperaturer.

Resultatene av lekkstrømsmålingene av kappematerialer er vist i figurene V1.1 og V1.2. Resultatene er regnet om til 1 km kabellengde mens prøvelengden var 30 m for hver kabeltype. For kablene med PE kappe, ligger lekkstrømmen relativt konstant i underkant av $0,1 \mu\text{A}/\text{km}$ for alle temperaturer. Dette gjelder begge kappetykkelser, med ett unntak, nemlig kabelen med 1 mm kappetykkelse som lå i vannbad ved en temperatur på 75°C . Denne viste en dramatisk økning av lekkstrømverdien etter ca 20 uker. En kontrollmåling med økt målespenning (5 kV) førte til "gjennomslag" av kabelkappen. Det var uventet at et gjennomslag ville oppstå ved en så lav målespenning som 5000 V, og mistanken om en svakhet i kabelkappen var nærliggende.

Den videre aldringen av denne kabelen ga en stadig høyere lekkstrøm, som ved siste måling etter 1 års aldring var ca 25 mA, mens alle de andre fortsatt lå på ca $0,1 \mu\text{A}$.

Ved en sluttmåling etter at vannet var kjølt ned til romtemperatur for alle prøveobjektene, ble det målt en motstand på ca $100 \text{ G}\Omega$ ($0,17 \mu\text{A}/\text{km}$), altså samme størrelsesorden som de andre kablene med PE-kappe (se Appendiks 1). Dette tyder på at materialet ikke er mettet med vann, det må altså være en annen forklaring på den lave verdien. Grunnen ble ikke funnet.

For kablene med PVC kappe er lekkstrømmen høyere og den varierer med temperaturen. Mens strømmen ligger i området 1 - $10 \mu\text{A}/\text{km}$ ved romtemperatur, er den $10 \text{ mA}/\text{km}$ ved en temperatur på 75°C for 2 mm kappetykkelse.

Når det gjelder målingene for 1 mm kappetykkelse ved 75°C var motstanden så lav at Meggeren ikke klarte å opprettholde 500 V spenning, idet ladestrømmen til meggeren er begrenset til 1 mA ($33,3 \text{ mA}/\text{km}$ kabel). Dette betyr at når motstanden blir lavere enn $500 \text{ k}\Omega$ klarer ikke meggeren å opprettholde spenningen. Det ble derfor tatt opp en strøm/spenningskurve for denne kabelen etter endt aldring. Denne er vist i figur V1.3 og viser helt klart at motstanden er spenningsavhengig. Kurven for lekkstrøm for 1 mm 75°C er derfor stiplet på figur V1.2 idet den ikke er reell for strømmer over $33 \text{ mA}/\text{km}$. I Appendix 1 er vist de målte motstandsverdiene for alle kablene.

Her er også vist sluttmålingen etter at vannet var kjølt ned til romtemperatur. Disse målingene tyder på at 1 mm kappetykkelse aldret ved 75°C er mettet av fuktighet idet motstandsverdien er omtrent like lav ved romtemperatur som den var ved 75°C . Dette stemmer med fuktmålingene som er vist i tabell V1.1. Ser en på 2 mm kappetykkelse aldret ved 75°C , viser fuktmålingene et vanninnhold på over 13%, noe som tyder på at materialet ikke er mettet av fuktighet. Motstandsmålingene etter at vannet er kjølt ned til romtemperatur, viser også at motstanden går tilbake til utgangspunktet.

V1.1.1 Fuktmålinger av kappematerialene

Etter at aldringen var ferdig (1 år), ble det foretatt målinger av vanninnhold i kappene. For PE-kappene ble målingene gjennomført med frysetørkem metode. For PVC-kappene var vanninnholdet så stort at målingene kunne utføres med veiing før og etter tørking.

Prosedyren for målingene med frysetørkeapparatene var som følger: En bit av kappen ble kappet, hvoretter overflatefuktigheten ble tørket bort med en klut. Prøvebitenes størrelse var ca 0,05 - 0,1 g.

Målingene ble gjort med to forholdsvis like frysetørkeapparater hvor tørris ble brukt som frysemedium i kjølefellene.

For PVC-kappene ble målingene som nevnt utført med vekt før og etter tørking. Før veiing ble overflatefuktigheten tørket bort med en klut og prøvebitene lå ved romtemperatur i 60 s før veiing. Tørkingen foregikk i eksikator hvor det var satt inn en skål med fosforpentoksid (P_2O_5) som tørkemiddel. Tørkingen varte i 1 døgn ved 90°C. Veiingen ble utført med en nøyaktighet på $\pm 0,1$ mg.

For PVC-kappene ble vanninnholdet målt for alle temperaturene, mens en for PE-kappene bare målte vanninnhold for laveste og høyeste aldringstemperatur idet en ut fra motstandsmålingene ikke forventet nevneverdig fuktopptak for PE-kappene.

Tabell V1.1: Vanninnhold i PVC-kappen aldret i 1 år ved forskjellige temperaturer.

| Kappetykkelse og aldringstemperatur | Vanninnhold [%] | |
|-------------------------------------|-----------------|-----------|
| | Objekt I | Objekt II |
| 1 mm v/75°C | 20,5 | 19,6 |
| 2 mm v/75°C | 13,2 | 13,9 |
| 1 mm v/50°C | 1,0 | 1,0 |
| 2 mm v/50°C | 1,8 | 1,2 |
| 1 mm v/20°C | 0,8 | 0,7 |
| 2 mm v/20°C | 0,8 | 0,8 |
| 1 mm v/10°C | 0,5 | 0,5 |
| 2 mm v/10°C | 0,6 | 0,6 |

Når det gjelder vanninnholdet i PE-kappene, lå verdiene på ca 500 ppm (0,05%) for både 10°C og 75°C aldringstemperatur, altså svært lite fuktighet.

Resultatene av fuktmålingene viser at det kun er PVC-kappene aldret ved 75°C som har tatt opp betydelig fuktighet.

V1.2 MÅLING AV FEILSTRØM FOR ULIKE KAPPESKADER

Laboratorieforsøkene ble utført med tre ulike kabeltyper:

- Kabel med kappemateriale av PE med svellebånd.
- Kabel med kappemateriale av PE uten svellebånd.
- Kabel med kappemateriale av PVC.

Det ble påført fire ulike skader i kabelkappen, hull laget med spiralbor med 0,3 mm, 0,5 mm og 0,8 mm i diameter samt at det ble slått inn og trukket ut igjen en nål med diameter på 1,0 mm. Lager man hull med spiralbor blir kappematerialet varig fjernet, mens et hull etter en nål har muligheten til å trekke seg sammen igjen etter at nålen er fjernet.

Kabelbitene ble plassert i et kar med vann og det ble utført motstandsmålinger mellom skjerm og vannbad med ulike målespenninger: 100 V, 250 V, 500 V og 1000 V. Utviklingen ble målt over ca ett år. I Appendix 2 er vist kurver for spenningsavhengigheten for motstanden i skadestedene.

Figurene V1.4-V1.6 viser måleresultatene der motstandsverdiene er regnet om til feilstrøm. Kabelen med PE kappe og svellebånd viser tydelig avvik i utviklingen av måleverdiene i forhold til kabelen med PE kappe uten svellebånd. Mens feilstrømmen i skadestedet i kabel uten svellebånd stiger kraftig de første dagene i vannbadet for så å holde seg konstant fra 100 μ A opp til ca. 10 mA (figur V1.5), synker feilstrømmen med tiden i skadestedet i kabel med svellebånd fra en startverdi på 0,1 mA - 10 mA til under 0,1 μ A etter 1 år (figur V1.4). Dette kan tyde på at svellebåndet med tiden klarer å tette igjen hullene når det er vann til stede. Unntaket er hull med en diameter på 0,5 mm, der feilstrømmen har vært tilnærmet konstant hele tiden. Grunnen til dette er ikke funnet. Disseksjon av hullene ga ikke noe svar idet det ikke ble observert spesielle forskjeller mellom 0,5 mm hullet og de andre feilstedene for denne kabeltypen.

For kablene med PVC kappe er feilstrømmen i skadestedene konstant med tiden (se figur V1.6). Figuren viser også at skaden på 0,3 mm ikke kunne detekteres med spenninger opp til 1000V. Disseksjonen viste at det ikke var hull gjennom fyllmassen inn til skjermtrådene, noe som forklarer den høye motstanden.

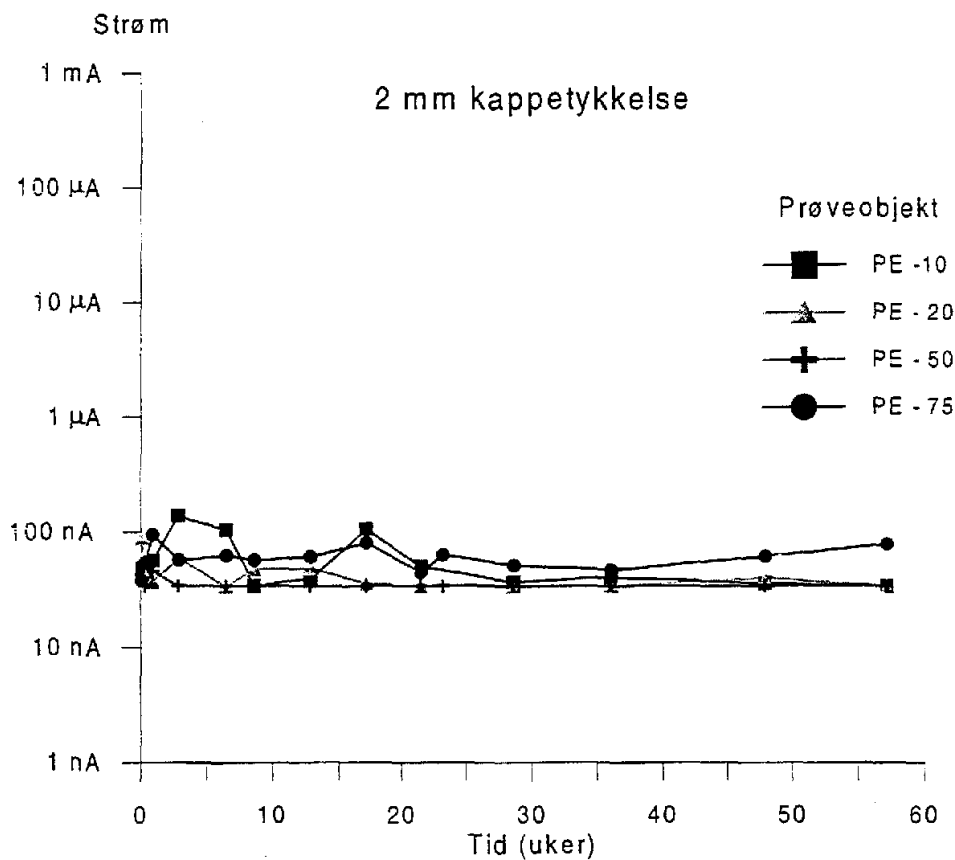
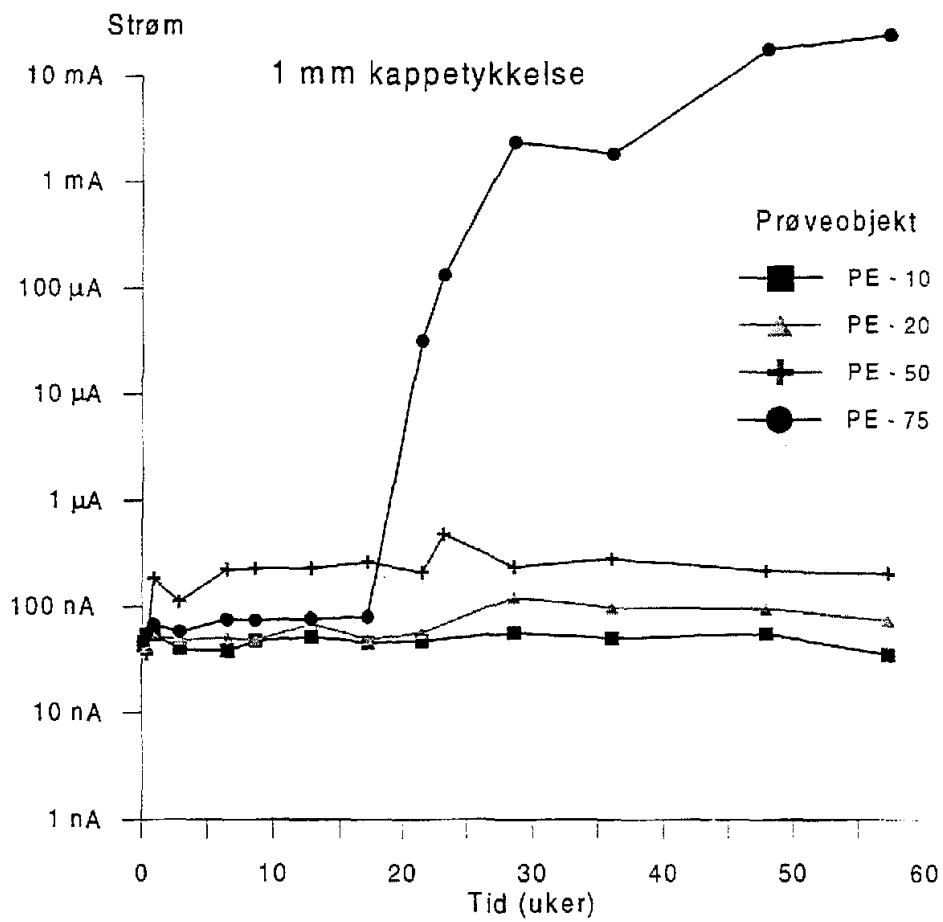
V1.2.1 Disseksjon av feilstedene

Etter at kablene med feil hadde ligget i vann i 1 år (uten strøm eller spenning), ble feilstedene for alle kablene åpnet for blant annet å undersøke vanninntrengning i feilstedene.

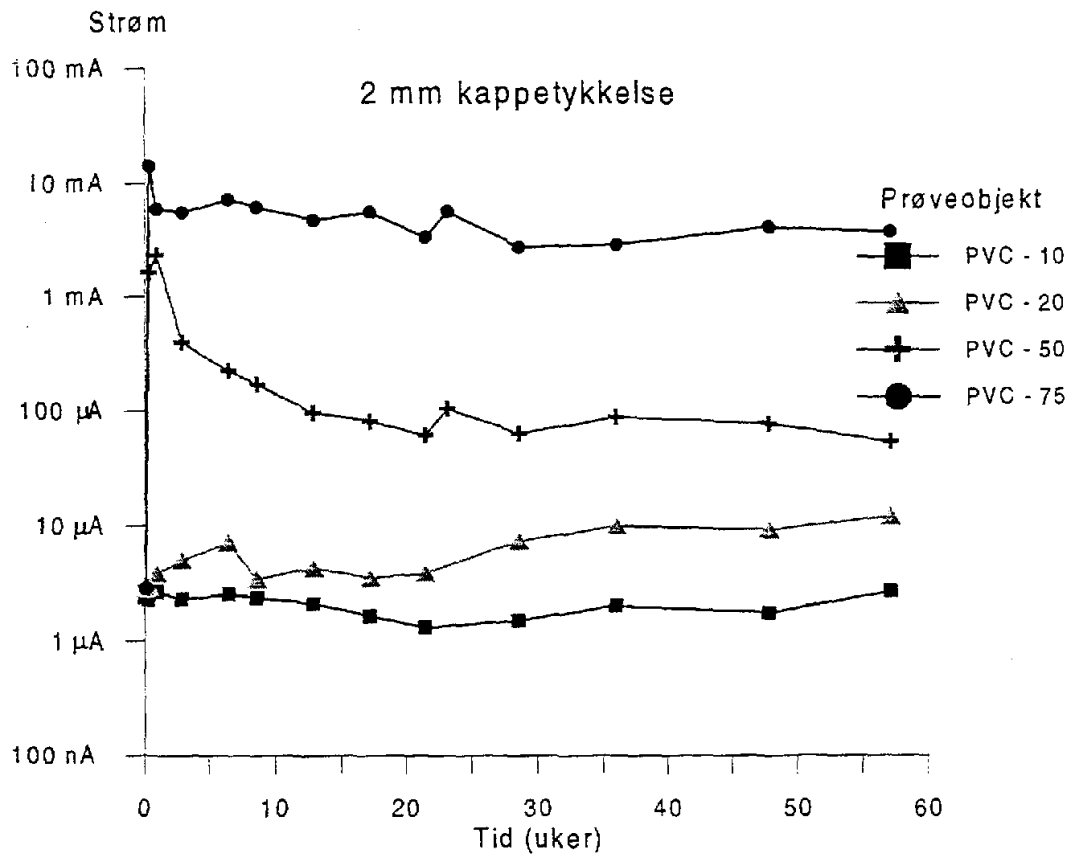
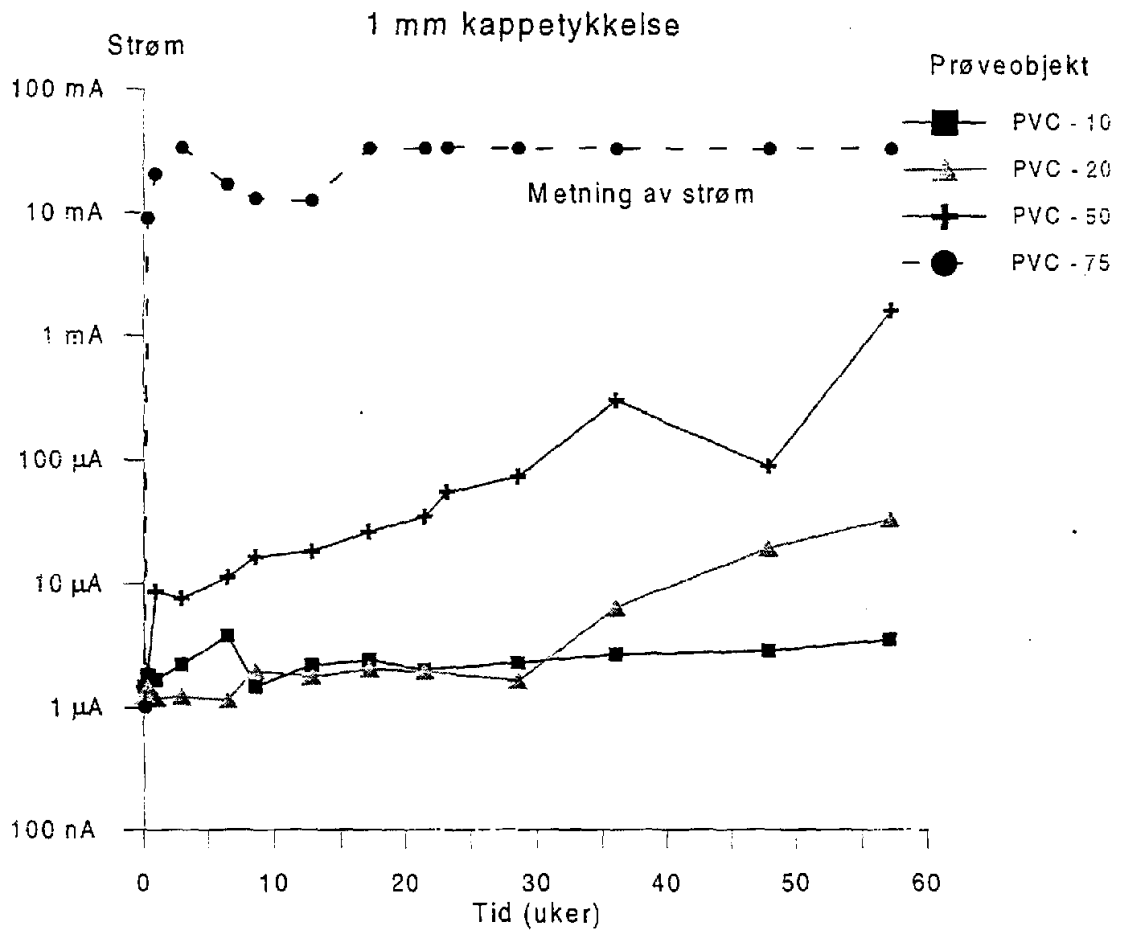
Tabell V1.2: Disseksjon av feilstedene.

| Prøveobjekt | Observasjoner |
|---------------|---|
| PE-FU 0,3 mm | Ingen fuktighet eller korrosjon ble observert |
| PE-FU 0,5 mm | Litt korrosjon av aluminiumsfolien rundt hullet |
| PE-FU 0,8 mm | Her har det vært vann tilstede. Aluminiumen er korrodert i et område på ca 8 mm x 8 mm rundt hullet. |
| PE-FU nål | Litt korrosjon av aluminiumen der nålen har gått inn |
| PE-ER 0,3 mm | Ingen fuktighet observert |
| PE-ER 0,5 mm | Ingen fuktighet observert |
| PE-ER 0,8 mm | Ingen fuktighet observert |
| PE-ER nål | Litt vanninntrengning 5-10 mm fra hullet |
| PVC-ER 0,3 mm | Vann mellom kappe og fyllmasse, ca 30 cm fra hullet begge veier. Det ser ut som hullet ikke går gjennom fyllmassen. |
| PVC-ER 0,5 mm | Hullet midt mellom to kobbertråder. Antydning til fukt inntil den ene tråden. Vannet har ikke trengt innover. |
| PVC-ER 0,8 mm | Her har vann trengt inn ca 5 cm langs kobbertrådene fra hullet |
| PVC-ER nål | Vann mellom kappe og fyllmasse, ca 10-15 cm på hver side av hullet. Også vann under fyllmassen |

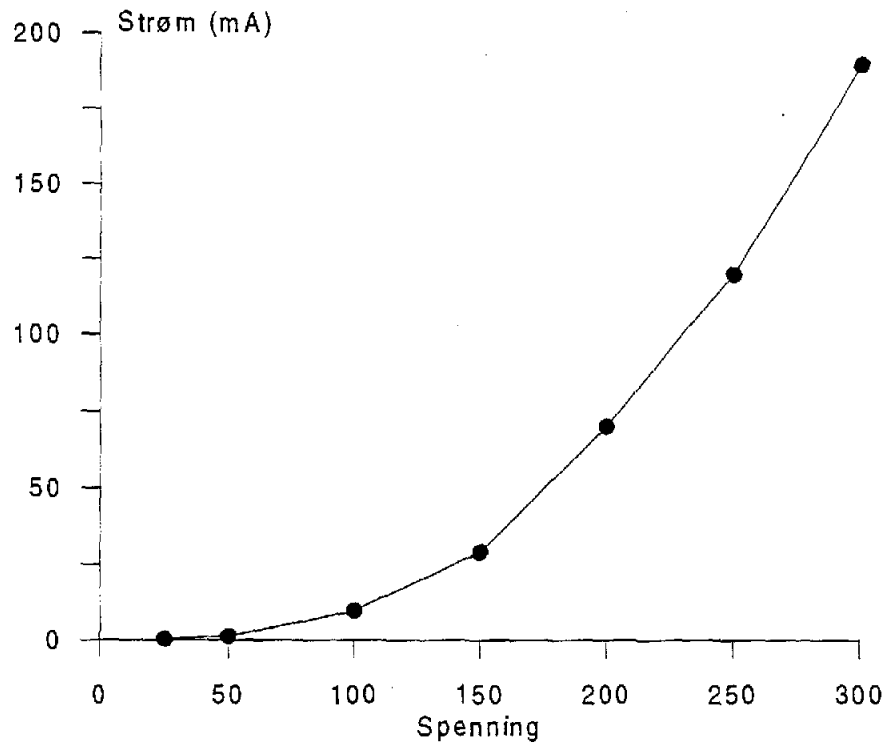
- For PE-ER kan ikke kappe og fyllmasse skilles. De er vulket sammen.
- For PVC-ER er det lett å skille kappe og fyllmasse.



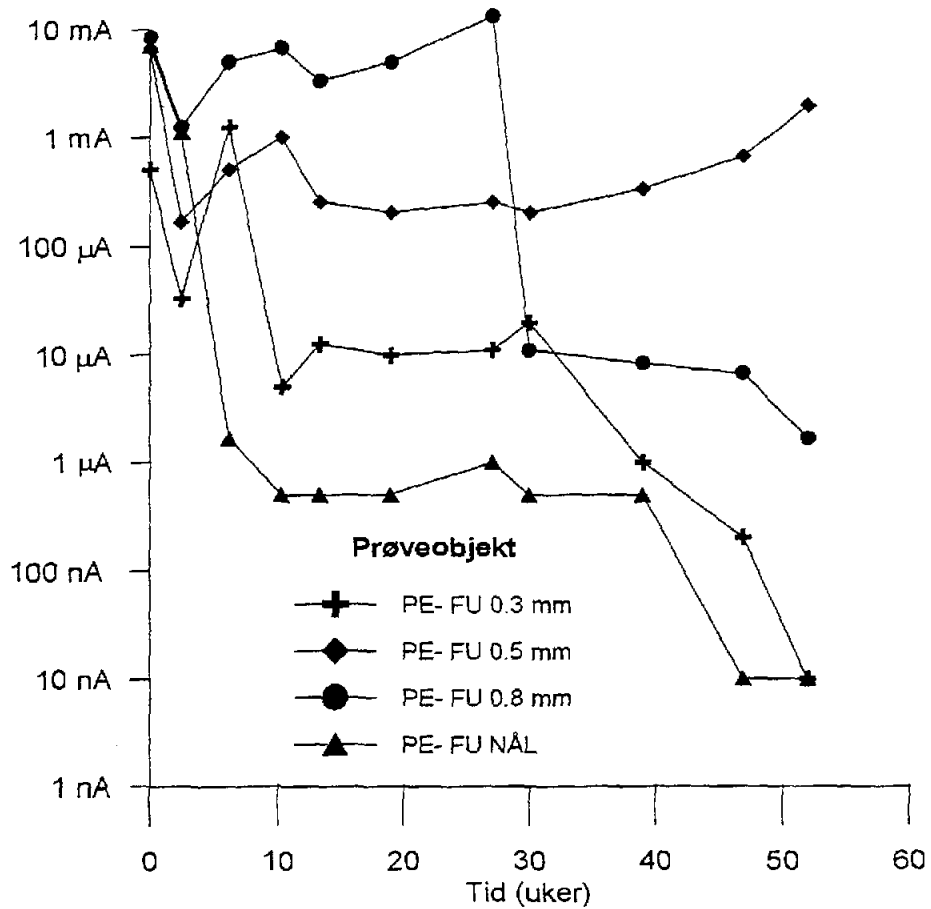
Figur V1.1: Lekkstrøm i kabelkappe pr km for 1 og 2 mm kappetykkelse av PE.
Målespenning: 500 V.



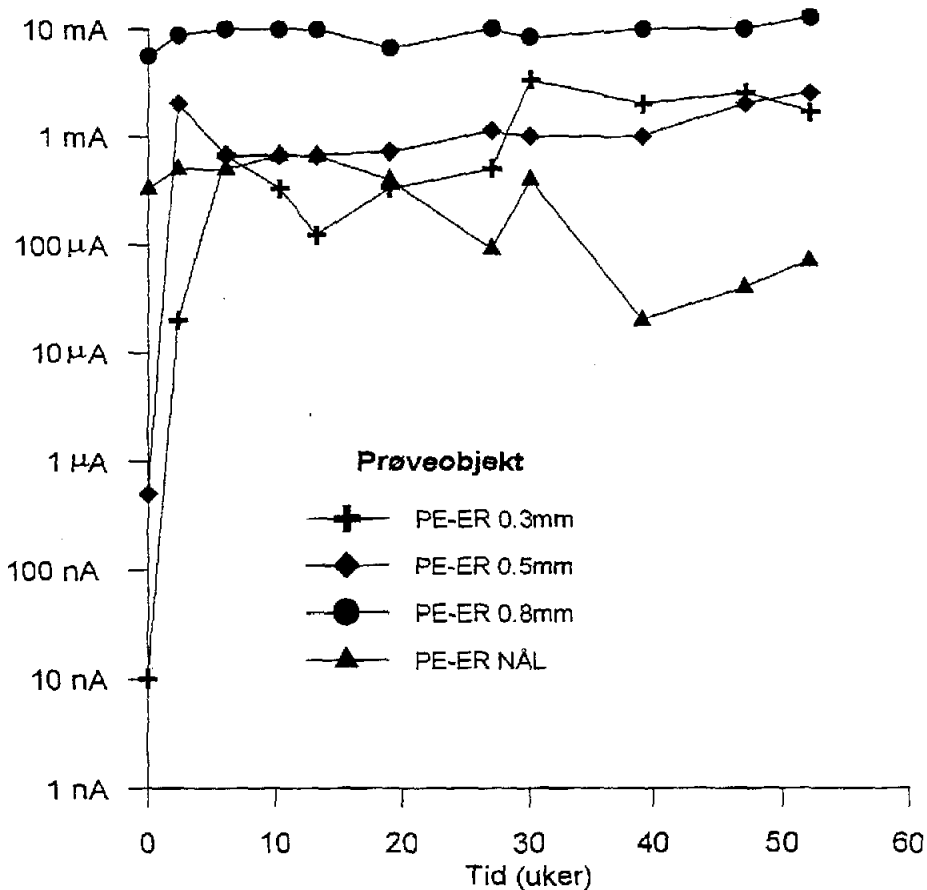
Figur V1.2: Lekkstrøm i kabelkappe pr km for 1 og 2 mm kappetykkelse av PVC. Målespenning: 500 V.



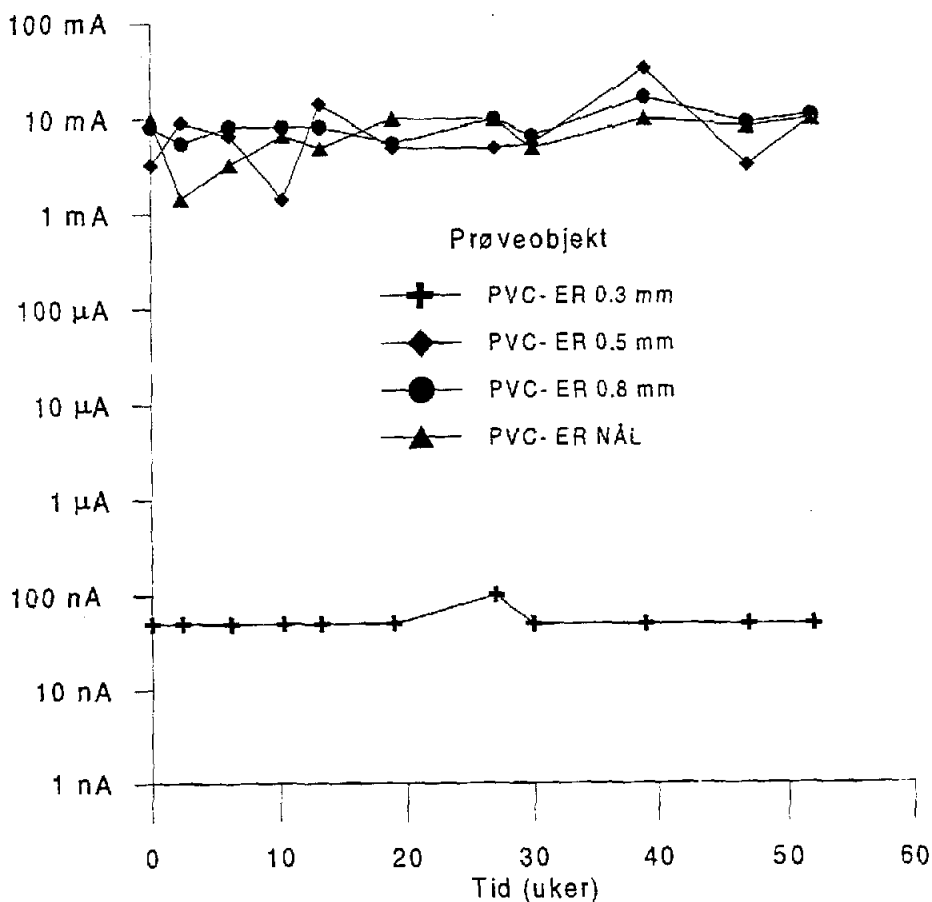
Figur V1.3: Strøm/spenningskurve for 1 mm PVC kappe aldret ved 75°.



Figur 1.4: Lekkstrøm i feilstedet ved ulike feiltyper for kabel med PE-kappe og svellebånd.



Figur V1.5: Lekkstrøm i feilstedet ved ulike feiltyper for kabel med PE-kappe uten svellebånd.



Figur 1.6: Lekkstrøm i feilstedet ved ulike feiltyper kabel med PVC-kappe uten svellebånd.

VEDLEGGSRAPPORT 2

Feltprøver på Fyn

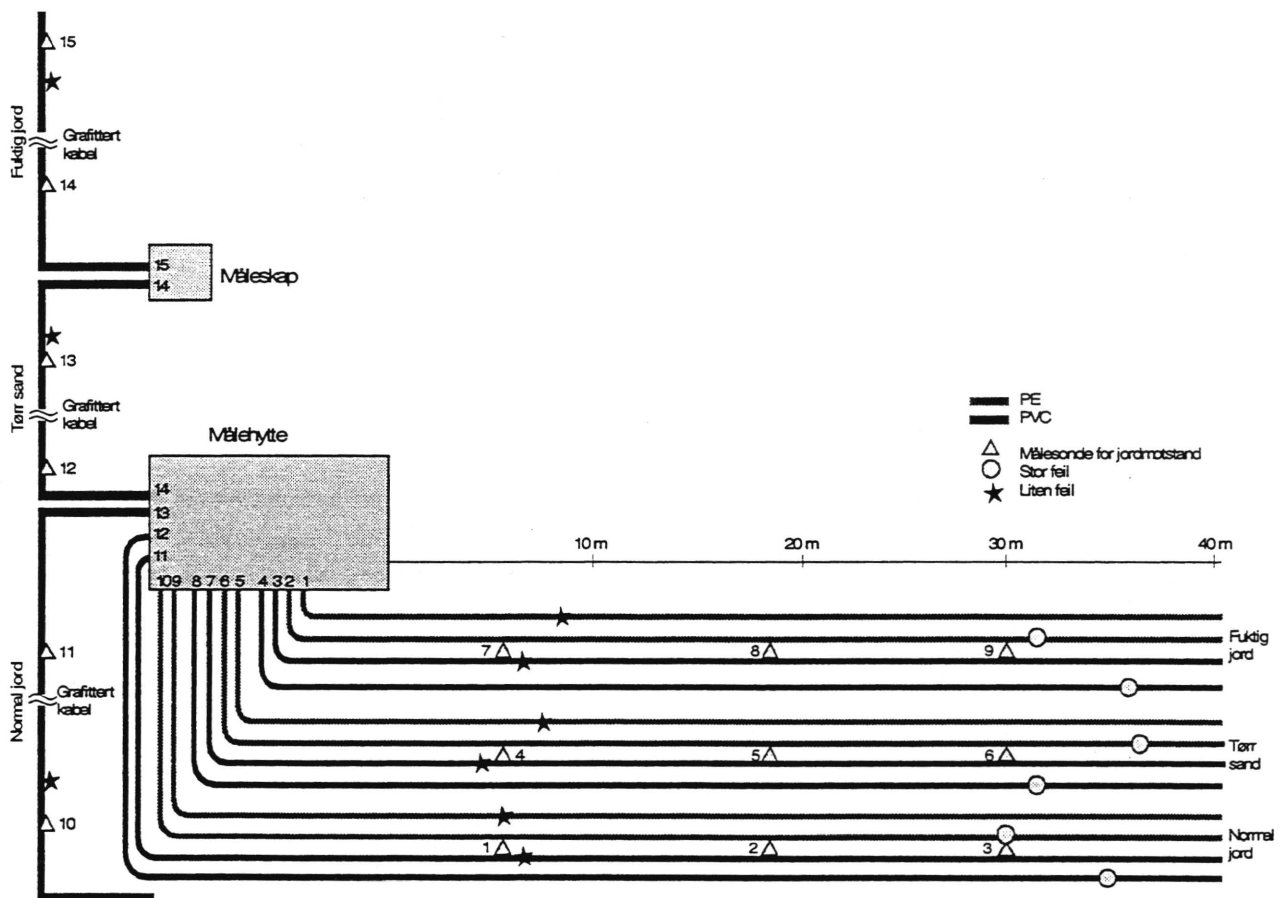
V2 FELTPRØVER PÅ FYN

Måling av overgangsmotstand mellom skjerm og jord for kabler med ulike feil forlagt i ulike jordsmonn. Hensikten med målingene er at de skal gi svar på i hvilken grad feil i kabelkappe lar seg detektere.

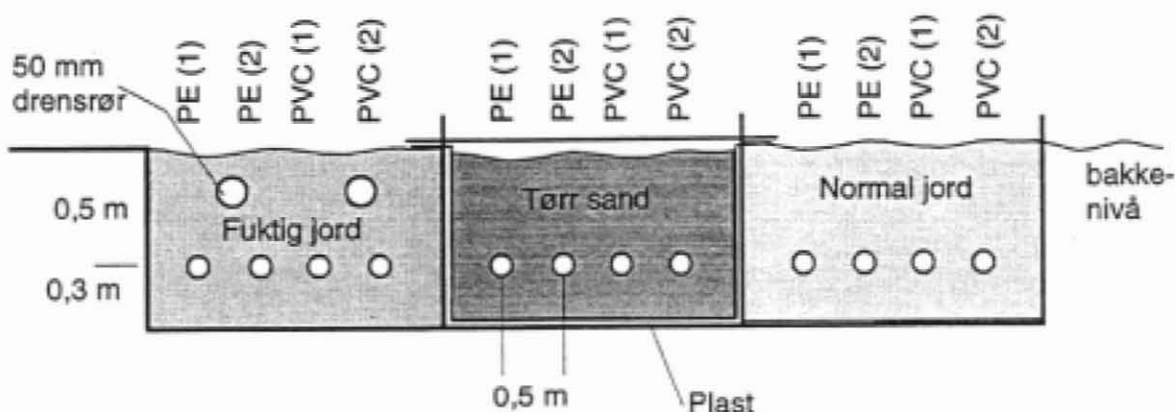
Målingene på prøvemarken viser at selv små feil lar seg greit lokalisere hvis kablene ligger i normalt jordsmonn. Hvis kablene ligger i svært tørr sand, lar selv store feil seg ikke detektere. Dette blir også bekreftet av utstyrsleverandørenes målinger.

V2.1 BESKRIVELSE AV PRØVEANLEGGET

Prosjektet fikk tilgang til et eksisterende prøvemarken på Fyn i Danmark, der 12 kabler à ca. 50 meter ble gravd ned, som vist i figur V2.1 og V2.2. En viktig del av prosjektet var å undersøke eventuelle begrensninger ved eksisterende lokaliseringssystemer.

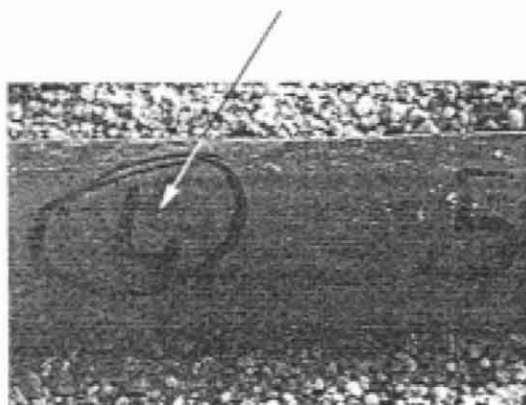


Figur V2.1: Prøvefeltet på Fyn i Danmark sett ovenfra.



Figur V2.2: Skisse over kablenes forlegning.
 PE (1): Kabel med PE-kappe med "pin-holes".
 PE (2): Kabel med PE-kappe med "synlig feil".
 PVC (1): Kabel med PVC-kappe med "pin-holes".
 PVC (2): Kabel med PVC-kappe med "synlig feil".

Kablene ble gravd ned i tre forskjellige typer jordsmonn; fuktig jord, tørr sand og normal jord. I hver type jordsmonn ble 4 kabler lagt ned, to med PE kappe og to med PVC kappe. På forhånd var det laget en feil i hver kabel, enten store feil, som var et hakk i kappen slik at skjermtrådene var synlige, eller en liten feil ("pin holes") som var 1 mm hull boret gjennom kappen (se figur V2.3). Hull på 1 mm ble valgt ut fra resultatene fra laboratorietestene, der det viste seg 0,8 mm hull var det eneste som ga stabile motstandsverdier (se figurene V1.4 og V1.5)



Figur V2.3: Liten feil ("pin holes").



Stor feil.

Det ble også lagt ned "målesonder" i kabelgrøften for å kunne ha et relativt mål for motstanden i jorden (som igjen er et mål for fuktigheten i jorden). Motstandsmålingene ble foretatt mellom sondene og et jordspyd ved målehytten.

I tillegg til de 12 nevnte kablene ble det også gravd ned en kabel i hver type jordsmonn, der kappen var belagt med et tynt skikt med ledende grafitt, hvoretter et lite hull (1 mm) ble boret gjennom kappen og inn til skjermtrådene. Disse kablene var ca. 30 m lange.

Ingen av de nedgravde kablene var belastet, altså ingen uttørking av jordsmonnet.

V2.2 FELTMÅLINGER PÅ FYN

EFI i samarbeid med Energi Horsens, har utført en del målinger på prøvefeltet på Fyn.

I tabell V2.1 er gitt en oversikt over motstandsmålingene som er utført siden kablene ble gravd ned, både på kablene og på jordsmonnet (jordsondene). Målespenningen var 500 V.

Tabell V2.1: Måleverdier fra prøvefeltet på Fyn.

| | PE | | PVC | | Jordsmonn (sonde / jordspyd) | | | Grafitert | Jordsmonn (sonde / jordspyd) | | Måle- dato |
|--------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------|
| | Liten feil | Stor feil | Liten feil | Stor feil | | | | Liten feil | | | |
| Kabel nr | 1 | 2 | 3 | 4 | 7 | 8 | 9 | 15 | 14 | 15 | |
| Sonde nr | | | | | | | | | | | |
| Fuktig | 50 k Ω | 40 k Ω | 8 k Ω | 2 M Ω | 2 k Ω | 1 k Ω | 3 k Ω | - | - | - | 24/4-96 |
| | 60 k Ω | 6 k Ω | 20 k Ω | 50 k Ω | 1 k Ω | 0,5 k Ω | 0,8 k Ω | 10 k Ω | 2 k Ω | 2 k Ω | 20/6-96 |
| | 70 k Ω | 5 k Ω | 18 k Ω | 12 k Ω | 1 k Ω | 0,4 k Ω | 0,5 k Ω | 400 k Ω | 2 k Ω | 5 k Ω | 21/8-96 |
| | 23 k Ω | 5 k Ω | 5 k Ω | 2 k Ω | 0,8 k Ω | 0,4 k Ω | 0,4 k Ω | 350 k Ω | 4 k Ω | 6 k Ω | 3/10-96 |
| | 2 M Ω | 200 k Ω | 140 k Ω | 140 k Ω | 5 k Ω | 4 k Ω | 4 k Ω | 12 k Ω | 2 k Ω | 3,5 k Ω | 27/1-97 |
| | 40 k Ω | 18 k Ω | 40 k Ω | 20 k Ω | 0,6 k Ω | 0,4 k Ω | 0,5 k Ω | 10 k Ω | 2 k Ω | 3 k Ω | 18/4-97 |
| | 25 k Ω | 15 k Ω | 19 k Ω | 15 k Ω | 1 k Ω | 0,4 k Ω | 1 k Ω | 11 k Ω | 9 k Ω | 11 k Ω | 11/9-97 |
| Kabel nr | 9 | 10 | 11 | 12 | | | | 13 | | | |
| Sonde nr | | | | | 1 | 2 | 3 | | 10 | 11 | |
| Normal | ∞ | 1 M Ω | 2 G Ω | 150 k Ω | 3 k Ω | 8 k Ω | 2 k Ω | - | - | - | 24/4-96 |
| | ∞ | 5 k Ω | ∞ | 100 k Ω | 1 k Ω | 0,5 k Ω | 0,7 k Ω | 60 k Ω | 1 k Ω | 1,5 k Ω | 20/6-96 |
| | ∞ | 12 k Ω | 800 M Ω | 11 k Ω | 1 k Ω | 0,5 k Ω | 0,5 k Ω | 60 k Ω | 3,5 k Ω | 2 k Ω | 21/8-96 |
| | (30 k Ω)* | - | (15 k Ω)* | - | - | - | - | - | - | - | (21/8-96) |
| | 3 k Ω | 4 k Ω | 3 k Ω | 3 k Ω | 1,5 k Ω | 0,3 k Ω | 0,3 k Ω | 12 k Ω | 3 k Ω | 4 k Ω | 3/10-96 |
| | 350 k Ω | 130 k Ω | 120 k Ω | 160 k Ω | 16 k Ω | 4 k Ω | 6 k Ω | 10 k Ω | 1 k Ω | 2 k Ω | 27/1-97 |
| | 180 k Ω | 12 k Ω | 10 k Ω | 15 k Ω | 1 k Ω | 0,4 k Ω | 0,8 k Ω | 15 k Ω | 0,8 k Ω | 1,5 k Ω | 18/4-97 |
| 3 M Ω | 3 k Ω | 16 k Ω | 18 k Ω | 1 k Ω | 0,6 k Ω | 1 k Ω | 19 k Ω | 6 k Ω | 6 k Ω | 11/9-97 | |
| Kabel nr | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | 14 | | | |
| Sonde nr | | | | | 4 | 5 | 6 | | 12 | 13 | |
| Tørr | 10 G Ω | 10 G Ω | 1,8 G Ω | 1,8 G Ω | 2 G Ω | 1 G Ω | 0,5 G Ω | - | - | - | 24/4-96 |
| | > 1 G Ω | > 1 G Ω | > 1 G Ω | > 1 G Ω | 10 M Ω | 75 M Ω | 75 M Ω | 15 k Ω | 15 M Ω | 25 M Ω | 20/6-96 |
| | ∞ | 8 G Ω | 6 G Ω | 5 G Ω | 5 M Ω | 30 M Ω | 25 M Ω | 220 k Ω | 30 M Ω | 30 M Ω | 21/8-96 |
| | 5 G Ω | 300 M Ω | 1,5 G Ω | 13 M Ω | 1 M Ω | 11 M Ω | 12 M Ω | 220 k Ω | 11 M Ω | 19 M Ω | 3/10-96 |
| | 4 G Ω | 100 M Ω | 2 G Ω | 2,5 M Ω | 150 k Ω | 1,5 M Ω | 2,5 M Ω | 750 k Ω | 8 M Ω | 15 M Ω | 27/1-97 |
| | 150 M Ω | 40 M Ω | >1 G Ω | 1,2 M Ω | 35 k Ω | 300 k Ω | 2,8 M Ω | 600 k Ω | 6,5 M Ω | 9 M Ω | 18/4-97 |
| | 4 G Ω | 10 M Ω | 600 M Ω | 30 M Ω | 70 M Ω | 140 M Ω | 10 M Ω | 280 k Ω | 15 M Ω | 30 M Ω | 11/9-97 |

* 3 kV påtrykt.

Når det gjelder motstanden for selve jordsmonnet, ble det ikke registrert noen forskjell mellom fuktig og normalt jordsmonn, mens det i tørr sand ble registrert 3 - 4 dekader høyere motstandsverdi.

Når det gjelder motstanden i kappeskadene, var det bare for fuktig og normal jord at feilene lot seg måle, og motstanden for stor skade er lavere enn for liten skade etter at jorden har "satt seg".

For kabel nr. 9 og 11 i normal jord (liten skade) var skaden så høyohmig at det ikke var mulig å måle motstanden. Det ble her påtrykt ca. 3 kV spenning ved målingen høsten 96, noe som førte til overslag i feilstedet. Etter dette var feilene målbare.

Når det gjelder motstandsverdiene for de grafiterte kablene, synes disse å være uavhengig av jordsmonnet, som forventet.

EFI og Energi Horsens foretok også diverse feilsøking på kablene høsten 1996 (oktober). Det ble brukt to typer målebroer: Høyohmig målebro (Biccotester) og en Wheatstone målebro (AB Unital). I tillegg ble brukt Energi Horsens utstyr for etterlokalisering ved skrittspenningsmetoden (Seba Dynatronic).

I tabell V2.2 og V2.3 er gitt en oversikt over måleresultatene. Det er her angitt avstand til målt feilsted i % av total motstand i sløyfen, målt fra ene enden. En kan så beregne avstanden i meter til feilstedet når en kjenner motstanden pr meter til Cu skjermen og Al lederen.

Tabell V2.2: Feillokalisering ved ulike koplinger av skjermene og lederne.

| Kabel nr | Forlokalisering | | Kommentarer |
|----------|------------------|------------|---|
| | Høyohmig målebro | Wheatstone | |
| 1 | 12,7% | 24,5% | Cu skjerm på kabel 1 og 5 koplet sammen med en ca 2m koplingsforbindelse |
| 1 | | 38,7% | Cu skjerm på kabel 1 koplet sammen med Al leder på kabel 1 |
| 13 | 20,2% | 48,2% | Cu skjermen koplet sammen med en av lederne |
| 14 | 4,7% | 31,2% | Cu skjermen koplet sammen med en av lederne |
| 12 | 48,2 % | 80% | Cu skjerm på kabel 12 og 7 koplet sammen med en ca 2m koplingsforbindelse |
| 1 | 31,0% | 38,6% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 2 | 49,8% | 87,9% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 3 | 24,7% | 24,1% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 4 | 53,8% | 90% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 8 | 53,2% | - | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 9 | 31,5% | 42,4% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 10 | 53,5% | 96,5% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 11 | 31,8% | 46,2% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |
| 12 | 57,3% | 98% | Cu skjerm koplet sammen med Al leder |

Tabell V2.3: Beregnede avstander i meter til feilstedet, ut fra bromålingene.

| Kabel nr | Høyohmig målebro (forlokalisert) | Beregnet feilsted | Wheatstone målebro (forlokalisert) | Beregnet feilsted | Utmålt feilsted med målbånd |
|----------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | 12,7% | 12,6 m | 24,5% | 12,4 m | 14,0 m |
| 1 | - | - | 38,7% | 13,4 m | 14,0 m |
| 13 | 20,2% | 11,7 m | 48,2% | 14,0 m | 16,5 m |
| 14 | 4,7% | 2,7 m | 31,2% | 9,0 m | 17,5 m |
| 12 | 48,2 % | 49,9 m | 80% | 43,2 m | 45,0 m |
| 1 | 31,0% | 21,5 m | 38,6% | 13,4 m | 14,0 m |
| 2 | 49,8% | 34,5 m | 87,9% | 30,5 m | 37,1 m |
| 3 | 24,7% | 17,1 m | 24,1% | 8,3 m | 11,2 m |
| 4 | 53,8% | 37,7 m | 90% | 31,5 m | 40,0 m |
| 8 | 53,2% | 38,0 m | - | - | 40,7 m |
| 9 | 31,5% | 22,8 m | 42,4% | 15,3 m | 15,2 m |
| 10 | 53,5% | 39,0 m | 96,5% | 35,2 m | 39,5 m |
| 11 | 31,8% | 23,0 m | 46,2% | 16,7 m | 17,5 m |
| 12 | 57,3% | 42,6 m | 98% | 36,4 m | 45,0 m |

Som det fremgår av tabellen blir forlokaliseringene ganske unøyaktige. Dette skyldes for en stor del de korte kabellengdene (ca. 50 m), som fører til at overgangsmotstanden i tilkoplingspunktene blir stor i forhold til skjerm og ledermotstand. I praksis vil en aldri bruke forlokalisering på så korte kabler, en vil gå rett på etterlokalisering.

For etterlokaliseringen var nøyaktigheten svært god for kablene i fuktig og normal jord. Det ble gjort forsøk på etterlokalisering for kablene i tørr sand også (kabel 5 - 8). For kabel 8, den mest lavohmige med 13 M Ω , lot feilen seg lokalisere, men ikke for de andre. Feilene for de tre graffiterte kablene lot seg greit etterlokalisere.

Ved målingen 27/1 - 97 lot feilen i både kabel 5 og kabel 8 seg etterlokalisere. For øvrig hadde det skjedd forandringer i løpet av vinteren, idet motstanden i både feilstedene og jordsmonnet i fuktig og normal jord hadde økt, mens motstandene i tørr sand hadde blitt noe lavere.

Ved siste måling (11/9-97) viste målingene at motstandene stort sett er tilbake til samme nivå som høsten 96.

V2.3 UTSTYRSLEVERANDØRENE'S MÅLINGER PÅ PRØVEFELTET PÅ FYN

Styringskomitéen valgte ut tre utstørsfabrikanter; Seba Dynatronic, Hagenuk og Baur. En gjennomgang av tekniske beskrivelser og brukermanualer viser at utstyret fra de ulike fabrikantene bygger på det samme prinsippet. I vedleggsrapport 3 er gitt en beskrivelse av måleprinsippet.

I august 1996, ca. 4 måneder etter at kablene var gravd ned, ble de tre utstørsleverandørene inviterte til å foreta målinger på noen av de nedgravde kablene med sitt utstyr.

Hver fabrikant fikk måle på 5 kabler, der noen av disse var felles. I tabell V2.4 er gitt en oppsummering av resultatene fra disse målingene. I vedleggsrapport 4 er gitt flere detaljer fra fabrikantenes egne rapporter.

Fabrikantenes målinger viste at ingen hadde problemer med etterlokaliseringen av feilene i fuktig og normalt jordsmonn. Kabelen som lå i tørr sand klarte ingen av fabrikantene å lokalisere på grunn av den høye overgangsmotstanden i sanden. Dette var i overensstemmelse med våre resultater.

Når det gjelder forlokalisering var det bare to av de tre fabrikantene som utførte dette. Den tredje fabrikanten hadde ikke med forlokaliseringsutstyr til så korte kabler som 50 m med den begrunnelse at dette aldri ville blitt brukt i et praktisk tilfelle. Med 50 m kabel ville en gå rett på etterlokalisering.

Tabell V2.4: Kappefeilsøking på prøvemarket på Fyn utført av fabrikantene.

| Kabel nr | Lengde | Forlokalisering | | | Feilsteder utmålt fra kabelende av EFI | Etterlokalisering (fra hyttevegg) | | | Avstand fra hyttevegg utmålt av EFI | Isolasjons- motstand i feilstedet | Type jordsmonn |
|----------|--------|-------------------|-----------------|------|---|-----------------------------------|---------|--------|--|---|-------------------|
| | | BAUR | HAGENUK | SEBA | | BAUR | HAGENUK | SEBA | | | |
| 1 | 48,5 m | 29,6% ⇒ 14,3 m | 25% ⇒ 12,1 m | - | 14 m | 9,8 m | 10 m | 9,6 m | 9,5 m | 55 kΩ | Normal (3 kΩ) |
| 6 | 49,5 m | - | - | - | 43 m | - | - | - | 36 m | 700 MΩ | Tørr (40 MΩ) |
| 10 | 51 m | 79,1% ⇒ 40,3 m | 70% ⇒ 35,7 m | - | 39,5 m | 29,6 m | 29,8 m | - | 30 m | 10 kΩ | Fuktig (1 kΩ) |
| 11 | 50,5 m | 35,5% ⇒ 17,9 m | - | - | 17,5 m | 7,0 m | - | 8 m | 8 m | 5 kΩ | Fuktig (1 kΩ) |
| 12 | 52 m | - | 64% ⇒ 33,3 m | - | 45,0 m | - | 34 m | 34 m | 34 m | 8 kΩ | Fuktig (1 kΩ) |
| 13 | 29 m | 42,4% ⇒ 12,3 m | 39% ⇒ 11,3 m | - | 16,5 m | 16,3 m | 16,7 m | 16,7 m | 16,5 m | 65 kΩ | Normal (6 kΩ) |

All etterlokalisering er gjort med utgangspunkt i veggen på målehytta. Dette gjelder også utmålingen ved nedgravingen av kablene.

VEDLEGGSRAPPORT 3

Beskrivelse av måleprinsipper

V3 BESKRIVELSE AV MÅLEPRINSIPPER

V3.1 INNLEDNING

I Europa finnes det i hovedsak 3 store leverandører av utstyr til kappeprøving:

- * **Seba Dynatronic** Meß- und Ortungstechnik GmbH, 8611 Baunach, Germany
- * **Hagenuk** Meßtechnik GmbH, D-24220 Flintbek/Kiel, Germany
- * **Baur Prüf- und Meßtechnik** KG, A-6832 Sulz, Austria

Kappeprøvingsutstyret fra de tre leverandørene varierer noe i design, men teknisk og brukermessig er utstyret i prinsippet likt. Forklaringen av utstyrets virkemåte blir derfor generell for alle fabrikantene.

Utstyret består ofte av tre hovedkomponenter; høyspenningsgenerator (DC) for indikasjon av eventuelle kappefeil, forlokaliseringsutstyr og etterlokaliseringsutstyr.

V3.2 FEILINDIKASJON

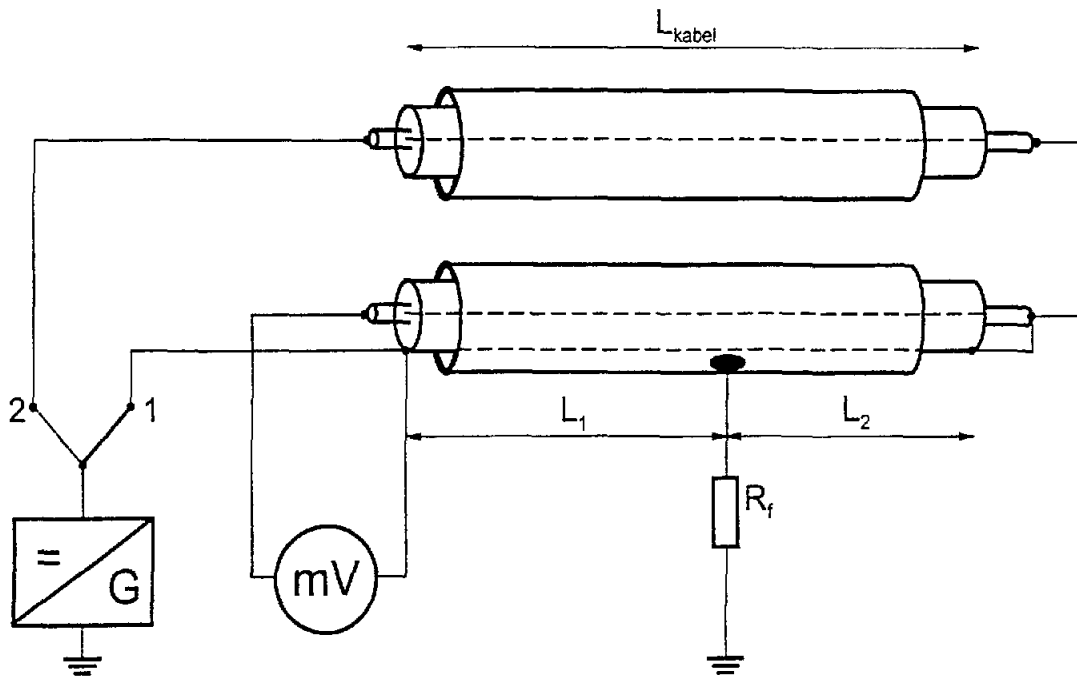
For å identifisere eventuelle kappefeil påtrykkes en DC prøvespenning over kabelens kappe (mellom kabelens jordskjerm og driftsjord etter at skjermen er frakoblet). Generatoren har en regulerbar prøvespenning opp til 5 kV DC. Effekten til generatoren er begrenset slik at et eventuelt gjennomslag i kappen ikke brenner ut feilstedet og skader kabelens isolasjonssystem. På den annen side må effekten være stor nok til at prøvespenningen opprettholdes ved oppladning av kabelen. Typisk maksimal strømytelse er noen hundre mA.

PE kapper prøves med max. 5 kV. Dersom lekkstrømmen overstiger 0,015 mA/km, er dette en indikasjon på kappefeil. PVC kapper prøves med max. 2 kV. Her er grenseverdien for lekkstrøm 0,8 mA/km.

V3.3 FORLOKALISERING

For å spare tid ved etterlokalisering av en kappefeil på lengre kabler, utføres en forlokalisering.

I måleenden av kabelen kobles en konstantstrømkilde, G, mellom skjerm og driftsjord slik at det flyter en strøm gjennom kappefeilen, R_f , og gjennom jord tilbake til strømkilden. Et mV-meter kobles mellom leder og skjerm. I den andre enden av kabelen kortsluttes leder og skjerm. Figur V3.1 viser en prinsippskisse av forlokaliseringsmetoden.



Figur V3.1: Prinsippskisse av forlokaliseringsmetoden.

Med bryteren i stilling 1 går det en konstant strøm gjennom skjerm lengden, L_1 , som forårsaker et spenningsfall, U_1 , over voltmeteret. Med bryteren i stilling 2 går strømmen via en hjelpefase (nabokabel/nabofase) til den andre enden av kabelen og gjennom skjerm lengden, L_2 , som gir et spenningsfall, U_2 , over voltmeteret. Forholdet mellom delspenningene U_1 og U_2 vil tilsvare forholdet mellom skjerm lengdene L_1 og L_2 .

Avstanden til kappefeilen, L_x (som på figuren er lik L_1), kan dermed beregnes som:

$$L_x = L_{kabel} \cdot \frac{U_1}{U_1 + U_2}$$

Med konstant strøm i de to målingene og lavohmig kortslutning i kabelenden har forlokaliseringen en målenøyaktighet på $\pm 2 - 3 \%$.

Et alternativ til denne målemetoden er bruk av en målebro basert på motstanden i skjermen, Wheatstone målebro-prinsippet:

$$L_x = 2L_{kabel} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

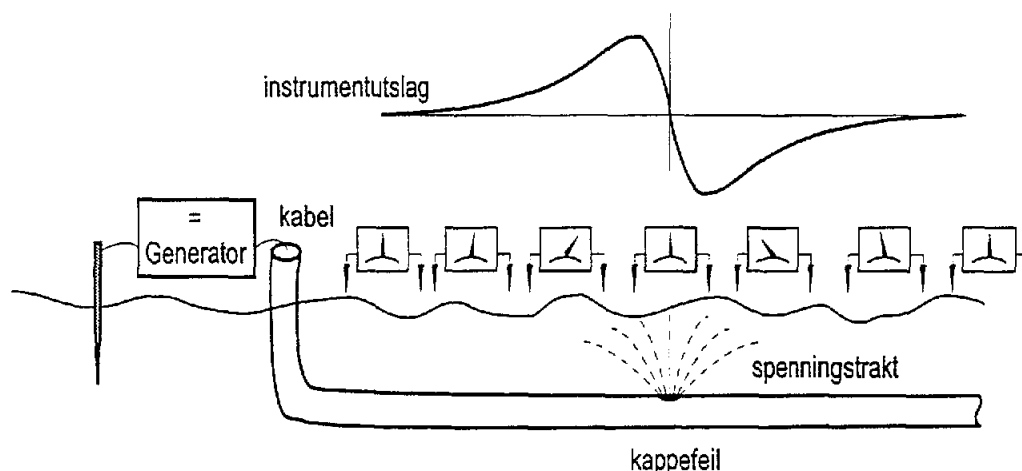
Denne metoden er mer nøyaktig, men krever svært lavohmige koblingsforbindelser i kretsen samt kjennskap til kabelens leder- og skjermmotstand.

V3.4 ETTERLOKALISERING

For etterlokalisering av kappefeil finnes to ulike metoder; likestrømsmetoden og tonefrekvensmetoden. Felles for metodene er at den påtrykte spenningen mellom skjerm og driftsjord lager en "spenningstrakt" på feilstedet som kan lokaliseres med ulike sonder (se figur V3.2 og V3.3). Målenøyaktigheten til de to metodene er like god, men de har ulike begrensninger når det gjelder feilmotstand, rekkevidde og kabelens forlegningsforhold.

V3.4.1 Likestrømsmetoden

En likespenning påtrykkes mellom kabelens skjerm og driftsjord. Spenningen justeres slik at målestrømmen er i størrelsesorden 10 - 100 mA. Ved kappefeilen oppstår det en spenningstrakt som kan måles ved hjelp av to jordspyd (skrittspenning). Både spenningsnivå og polaritet måles. Strømmen brytes periodisk i generatoren slik at målestrømmen taktet (ca. 3 sek. på og 1 sek. Dette gjøres for å se polariteten til skrittspenningen (viser utslaget). Figur V3.2 viser en prinsippskisse av likespenningsmetoden.



Figur V3.2: Prinsippskisse av etterlokalisering etter likespenningsmetoden.

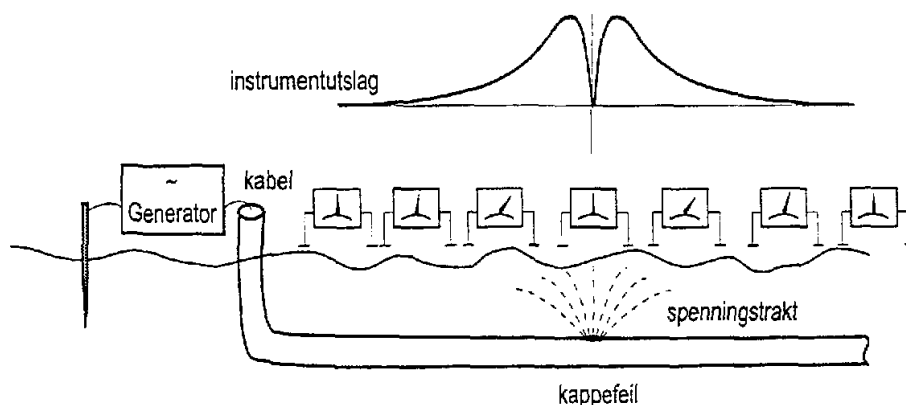
Skrittspenningen måles langs kabeltraséen innenfor det forlokaliserte området. Langt unna feilstedet vil skrittspenningen være null, men jo nærmere feilen en måler jo større blir utslaget. Polariteten vil skifte når man passerer feilen slik at det er et spenningsmaksimum rett foran og bak feilstedet, positivt på den ene siden og negativt på den andre. På denne måten får man en retningsangivelse når man nærmer seg feilstedet. Dersom jordspydene plasseres med lik avstand på hver sin side av feilen opphever spenningene hverandre og instrumentet viser null. Da er kappefeilen lokalisert i langsretningen av kabeltraséen (langskoordinaten). For å etterlokalisere feilen foretas en ny måling 90° på kabeltraséen (tverskoordinaten). Under letingen benyttes noen meters avstand mellom jordspydene. Når feilen er lokalisert kan avstanden krympes inn og feilen finnes med nøyaktighet på noen få cm.

V3.4.2 Tonefrekvensmetoden

Istedenfor en likespenningsgenerator kobles en kraftig tonefrekvensgenerator (selektive frekvenser) mellom kabelens skjerm og driftsjord. På grunn av kabelkappens store kapasitans belastes tonefrekvensgeneratoren kapasitivt. Dette gir en lav utgangsspenning når generatoren er tilpasset og begrenser hvor høyohmige feil som kan detekteres (typisk $< 10 \text{ k}\Omega$). I motsetning til likespenningsmetoden, vil demping av det høyfrekvente signalet gi en begrensning på rekkevidden langs kabelen. Typisk rekkevidde er 1-1,5 km.

Spenningsstrakten ved kappefeilen detekteres ved hjelp av en tonefrekvensmottaker tilkoblet to kapasive sonder. Sondene har plateform og plasseres over kabelen. På grunn av signalforsterkningen er sondeavstanden minsket slik at utstyret enkelt bæres og betjenes av én person.

Skrittspenningene vil ha et maksimum like før og etter feilen, med et nullnivå rett over feilstedet. I og med at det ikke skjer en polaritetsendring når man passerer feilen (vekselspenning) har man ingen retningsangivelse mot feilstedet. Når langskoordinaten er funnet utføres målingen på tvers for å etterlokalisere feilen. Figur V3.3 viser en prinsippskisse av tonefrekvensmetoden.



FigurV3.3: Prinsippskisse av etterlokalisering etter tonefrekvensmetoden.

V3.5 BRUKERERFARING

Ved kontakt med brukere og utstyrsleverandører ble det avdekket situasjoner der utstyret har begrensninger eller kan gi misvisende informasjon. Her følger en oppsummering av typiske måleproblemer og mulige løsninger.

V3.5.1 Multifeil

Under forlokaliseringen måles parallellen av alle lekkstrømmer. Dersom en feil er mer lavohmig enn andre, vil denne føre den dominerende lekkstrømmen og beregnet avstand til feilen vil bli tilnærmet riktig. Problemet oppstår når to feil er av tilnærmet samme størrelse. Da vil forlokaliseringen indikere et feilsted mellom disse. Dette vil ikke kunne oppdages før under etterlokaliseringen når man oppdager at det ikke er noen feil i det forlokaliserte området. Når man senere finner en feil i den ene retningen av kabelen, vet man at det er en tilsvarende feil i motsatt retning.

Med full spenning på generatoren kan flere kappefeil brennes ut. For å minske sannsynligheten for like multifeil bør spenningen på generatoren derfor skrues langsomt opp til den mest lavohmige feilen "tenner". Denne vil føre mesteparten av lekkstrømmen og dermed dominere feilbildet under forlokaliseringen. Når den mest lavohmige feilen er utbedret, kan eventuelle andre feil lokaliseres.

Ved å måle skrittspenningen mot jordspydet i enden av kabelen finner man amplituden på for den lokale kappestrømmen. Dersom man får feilindikasjoner med lavere amplitude under etterlokaliseringen, er dette tegn på en tilleggsfeil.

V3.5.2 Jordsmonn

Ledningsevnen i omgivelsene til kabelen kan skape vanskeligheter for kappefeilmålinger. Dersom omgivelsene til kabelen er for isolerende, f.eks. meget tørr sand, vil lekkstrømmen til jord ved påtrykk av 5 kV DC kunne bli så liten at eventuelle kappefeil blir kamuflert. Med for ledende omgivelser (f.eks. grunnvann) kan skrittspenningene bli så små at etterlokaliseringen blir svært vanskelig.

V3.5.3 Ledende gjenstander

Dersom kabelen krysser ledende gjenstander i bakken, f.eks. en rørledning, vil denne kunne fange opp puls-signalene og dermed oppleves som feilindikasjoner under etterlokaliseringen.

Med likespenningsmetoden kan man skille slike feilindikasjoner ut fra virkelige kappefeil ved å foreta målinger fra alle fire kanter (aksielt og parallelt til kabelen) med det ene jordspydet plassert i feilstedet. Dersom alle indikasjoner peker inn mot feilstedet er det en reell kappefeil. Dersom to indikasjoner peker i samme retning, er det tegn på en ledende gjenstand i bakken som fanger opp jordstrømmene.

V3.5.4 Kabler i ledende / isolerende rør

Dersom kabelen er lagt i et rør (f.eks ved kryssing av vei), vil en ved etterlokalisering kunne få en feilindikasjon ved enden av røret.

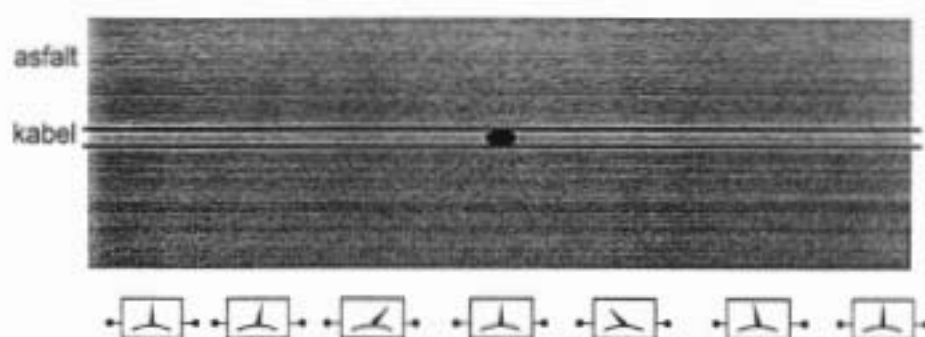
Slike feil kan lukes ut ved å vite om plasseringen til eventuelle rør på forhånd. Ved å kalibrere amplituden til kappefeilen før start, kan man dessuten skille slike feilindikasjoner ut fra hovedfeilen.

V3.5.5 Asfaltdekke

For at likespenningsmetoden skal kunne fungere må jordspydene som måler skrittspenningen ha god kontakt med jord. Dette kan være et problem på steder der bakken over kabelen er dekket av et isolerende lag, f.eks asfalt.

Det er flere måter å løse dette problemet på. Dersom det er sprekker i asfalten kan jordspydene slås gjennom disse. Ellers kan man øke ledningsevnen ved å vanne asfalten og måle direkte på denne. Hvis dette ikke fungerer, kan jordspydene plasseres utenfor asfaltdekket, parallelt med kabeltraséen (f.eks i veikanten). Mottagerforholdene blir svakere jo lenger unna kabelen det måles, men erfaringsmessig kan pulsene detekteres minst 10 m unna kabelen.

Tverskoordinaten kan finnes ved hjelp av en vanlig kabellokalisering. Se figur V3.4.



Figur V3.4: Bruk av likespenningsmetoden parallelt med kabeltraséen.
(Figuren viser kabelen sett ovenfra.)

Dersom ingen av disse metodene fungerer og man ikke vil borre hull i asfalten til jordspydene, må tonefrekvensmetoden benyttes.

V3.5.6 Bar kobberleder som jordleder

Bruk av en bar kobberleder som jordleder sammen med kabelen kan skape problemer ved etterlokalisering av kappefeil. Kobberlederen kan plukke opp pulssignalet og hindre at det oppstår en detekterbar spennings-trakt ved feilstedet.

Problemet kan løses ved å plassere jordspydet ved kabelenden et stykke til siden for kabelen. På denne måten tvinges jordstrømmene fra pulssignalet ut til siden fra kabelen og den bare kobberlederen.

V3.5.7 Høyspenninglinjer

Etterlokalisering med likespenningsmetoden er vanskelig under og i umiddelbar nærhet av høyspentlinjer på grunn av forstyrrelser av feltbildet. Ved kappefeil i slike områder må tonefrekvensmetoden benyttes. Et annet forstyrrende element kan være et elektrisk gjerde.

V3.5.8 Retning /dybdeforandring på kabelen

Alle skarpe retningsforandringer på kabelen, enten i dybde eller til siden, skaper en usymmetri i det magnetiske feltbildet rundt kabelen. Feltlinjene blir sammenstuket inn mot svingen og utstrekkt på yttersiden. Ved bruk av tonefrekvensmetoden til etterlokalisering kan slike feltkonsentrasjoner i kabelsvinger oppfattes som kappefeil. For å kunne utelukke slike uønskede feilindikasjoner bør operatøren ha god oversikt over kabeltraséen. Retningsforandringer påvirker ikke likestrømsmetoden.

V3.6 OPPSUMMERING

I Europa er det tre hovedprodusenter som leverer utstyr for kappeprøving. Teorien bak de ulike utstyrene fra de ulike fabrikantene er prinsipielt like.

Med en viss opplæring og erfaring er bruk av kappeprøvingsutstyr enkelt og effektivt. Ved de e-verkene det er innhentet brukererfaring fra, er det én operatør som har ansvar for utføring av kappeprøving.

Brukererfaringen tilsier at kappeprøving stort sett er uproblematisk. De største usikkerhetselementene ligger i eventuell manglende feilindikasjon ved for isolerende grunnforhold, vanskelig etterlokalisering ved for ledende grunnforhold og usikkerhet i skillet mellom høyohmige feil (pin-holes) og naturlig lekkstrøm.

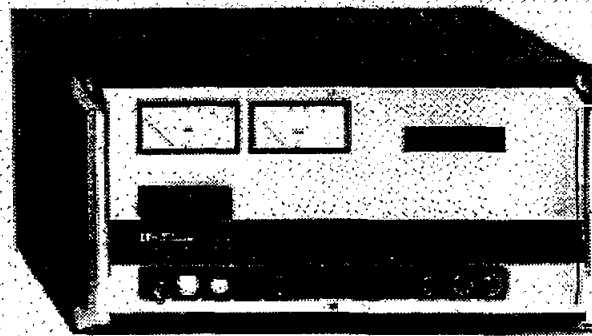
VEDLEGGSRAPPORT 4

Rapportene fra utstyrsfabrikantene etter målingene høsten 1996

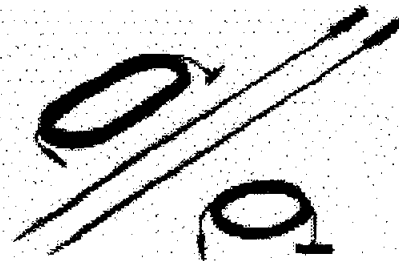
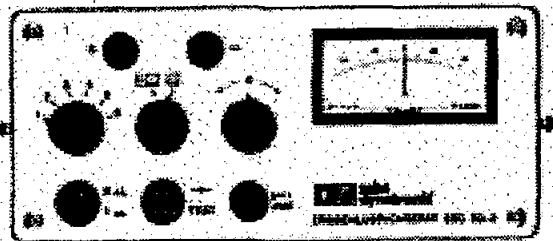
RAPPORT

KABEL / KAPPEFEILSØKING, ASSENS - DANMARK

DEN 22. AUGUST 1996



Mantelfeil måleinstrument, Seba Dynatronic MFM 5-1



Mottaker til MFM 5-1, jordslutningssøkeinstrument ESG 80-2 og jordspyd EEB med måleledninger.

Denne rapporten er skrevet etter forespørsel fra styringskomiteen, prosjekt "Kappeprøving av polymerkabel", ved EFI.

Rapporten i sin helhet er et kort sammendrag av de resultater vi i Seba kom frem til under målingene foretatt i Assens-Danmark, torsdag den 22. august 1996, og hvilke målemetoder vi benyttet.

Videre er spørsmålene nedenfor forsøkt besvart best mulig, og avslutningsvis har vi tatt med en nærmere beskrivelse av instrumentet vi benyttet samt dets forutsetninger for målinger og en kort oppsummering.

- 1) Hvilke utstyr ble brukt ?
- 2) Beskrive målemetoder og måleprinsipper.
- 3) Måleresultater.
- 4) Angi anbefalte grenseverdier / lekkstrømmer som indikerer ikke-feil på kabelkapper (både PE og PVC)

| | |
|-----------------------------|---------|
| FORORD | side 2 |
| INNHOLDSFORTEGNELSE | side 3 |
| SAMMENDRAG | side 4 |
| UTSTYR OG MÅLEMETODER BRUKT | side 5 |
| RESULTATENE | side 7 |
| ANBEFALTE GRENSEVERDIER | side 10 |

VEDLEGG

Datablader

Mantelfeilkompendie

Bruksanvisning MFM 5-1

Vi benyttet et universelt mantelprøveinstrument fra Seba Dynatronic (typebetegnelsen er MFM 5-1). Dette instrumentet kan utføre alle målinger som behøves for prøving, forlokalisering og punktnøyaktig mantelfeilstedsbestemmelse. Mer om instrumentet i kapittel "Utstyr og målemetoder brukt".

Prøvingen av kablene for å indikere om de hadde kappeskade eller ikke viste lekkstrømmer på alle kablene bortsett fra kabel nummer 6. Dette er nærmere beskrevet i kapittelet "Resultatene".

De videre målingene viste at forlokaliseringen ikke var i stand til å angi noen lengde, men istedet gav feilmeldinger som "U1 for lav", "U2 for lav". Årsaken er at instrumentet er konstruert for større kabellengder enn de aktuelle lengdene på prøvemarket. I praksis vil man jo ikke forlokalisere på kabler under 100 meter nettopp fordi dette tar lengre tid enn å punktlokalisere direkte.

Den punktnøyaktige etterlokaliseringen gikk raskt og instrumentet benytter likespenningsmetoden som gir en skrittspenningstrakt. Denne måles ved hjelp av to jordspyd tilkoblet et jordlutningssøkeinstrument av type ESG 80-2. Nøyaktigheten for denne fremgangsmåten ligger i cm.-området og oppnås ikke gjennom noen annen målemetode. Resultatene med målt lengde fra referansepunkt følger i kapittelet "Resultatene".

Når det gjelder grenseverdier, er som kjent dette svært vanskelig ikke minst på grunn av de ulike forholdene i jordsmonnet. Vi har allikevel forsøkt å angi noen verdier i kapittelet "Resultatene".

Vi benytter Seba Dynatronics mantelfeilsøkingsinstrument, MFM 5-1, under de aktuelle målingene i Assens. Dette er et kombinasjonsinstrument for kabelprøving, forlokalisering av kappefeil og punktnøyaktig etterlokalisering av kappefeil.

MFM 5-1 har regulerbar likespenning fra 0-5 kV. Prøvingen kan foregå med eller uten timerfunksjon. Det benyttes en automatisk forlokalisering hvor man kun taster inn kabelens lengde i meter. Videre benyttes det skrittspenningsmetoden til etterlokalisering med 3 ulike pulstider. Instrumentet er enkelt å tilkoble, enkelt i bruk og gir brukeren entydige resultater med hensyn til lekkstrøm og forlokalisering (i meter). Instrumentet er robust bygget, veier ca. 30 kg. og har innebygget utlading av måleobjektet.

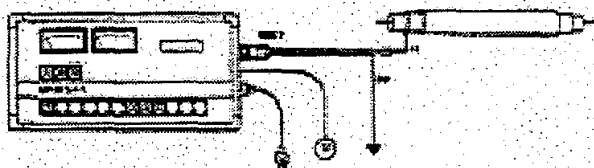
Øvrige data om utstyret finnes i medfølgende brosjyremateriell.

Mantelprøving: Prøvespenningen er i henhold til VDE 0298 og maksimalt 5 kV. Prøvelikespenningen kobles mellom skjerm og driftsjord og lekkasjestrømmen måles. Prøvetiden kan velges fritt og i praksis vanligvis 10 minutter.

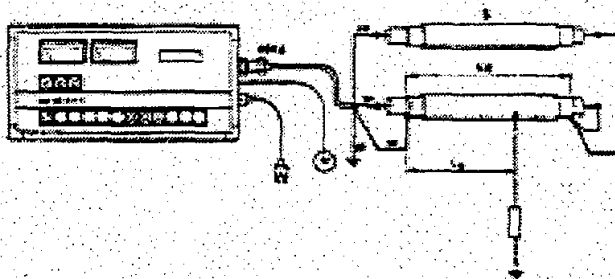
Beskrivelse av målemetoden

(se koblingsskjema):

Prøv-brenndrift uten etterlokalisering:

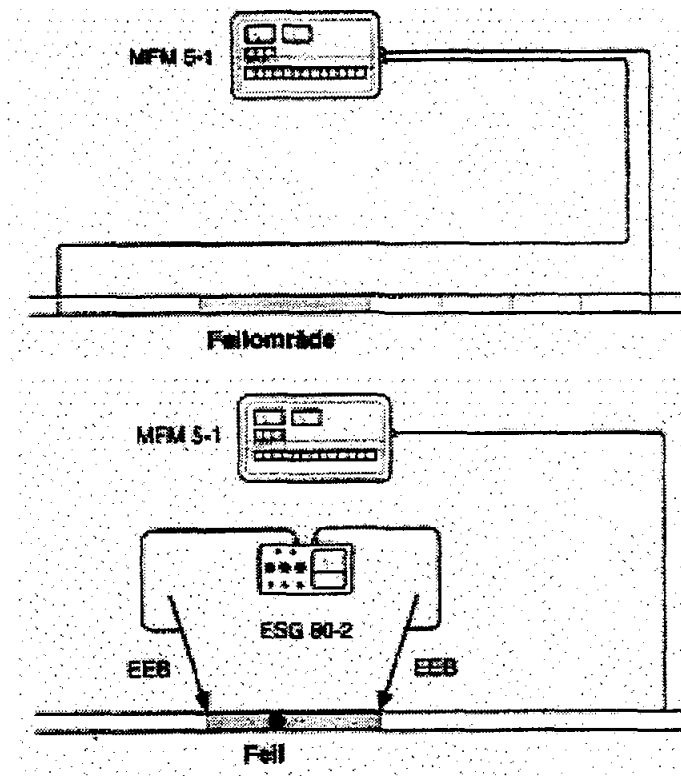


Mantelfeil-forlokalisering:



Forlokalisering: Total lengden til kabelen mates inn. Målingen skjer automatisk over 2 trinn. Først mates målestrømmen inn fra kabelbegynnelsen, i det andre tilfellet inn fra kabelenden. Både strømmene såvel som spenningsfallene måles på delstrekningene. Ut fra de to parene med strøm- og spenningsforhold regnes de to skjermmotstandene ut. Utfra dette og total lengden regner MFM 5-1 ut feilmotstanden etter følgende formel:

$$l_x = l_g \cdot R_1 / R_1 + R_2$$

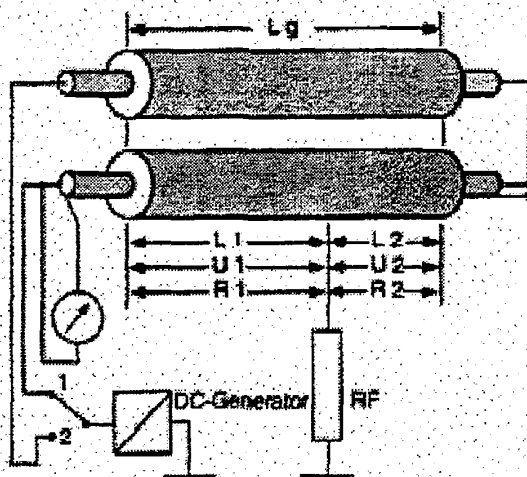


Etterlokalisering: Den ønskede, henholdsvis høyest tillatte målespenningen, stilles inn. Likespenningen pulses ved etterlokalisering. Man velger ønsket pulsintervall slik at man kun trenger ta hensyn til stigningsverdien til viserutslaget. Grunnen for å pulse likespenningen er at det letter oppgaven med å skille testsignalet fra vagabonderende eller galvaniske spenninger som finnes i jordsmonnet og som også vil opptre som følge av den metalliske kontakten mellom jordspyd og jordsmonn. Instrumentet kobles til skjermen på kabelen med feil, og til driftsjord.

Ved hjelp av mottaker ESG 80-2 og de to jordspydene EEB gjennomføres målingen av skrittspenningen langs kabeltraseen og feilstedet lokaliseres punktnøyaktig. Både spenningsnivået og polariteten måles. For å finne spenningsstrakten som oppstår ved feilmotstanden R stikkes de to jordspydene i jordsmonnet og skrittspenningen måles i det forlokaliserte området. Avstanden mellom spydene kan i begynnelsen godt være flere titalls meter. Nøyaktigheten for denne fremgangsmåten ligger i cm - området og oppnås ikke gjennom noen annen målemetode. Målingene kan godt tas parallelt med kabeltraseen, hvis kabelen ligger under asfalt/betong, da spenningsstrakten spenner seg ut noen 10-metere.

$$(1) \quad L_x = L_g \frac{U_1}{U_1 + U_2}$$

$$(2) \quad L_x = L_g \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Bilde 1: Måleoppkopling for forinduksering

Start kl.1415, slutt ca. kl. 1520.

Målinger med MFM 5-1:

| <u>Kabel nr:</u> | <u>Spenning:</u> | <u>Lekkstrøm:</u> | <u>Avlest spen.:</u> | <u>Forlok.:</u> | <u>Målt:</u> | <u>Feil:</u> |
|------------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------------|--------------|---------------|
| 11 | 5 kV | Ja | Ingen | Ingen | 8 m. | Lavohmig |
| 12 | " | " | ca. 500 V | " | 34 m. | " |
| 13 | " | " (90 mA) | " | " | 8,7 m. | " |
| 6 | " | " (meget lav) | | " | | v. liten feil |
| 1 | " | " (5,5 mA) | | " | 9,6 m. | Høyohmig |

Målinger med MPG 5:

| <u>Kabel nr:</u> | <u>Spenning:</u> | <u>Lekkstrøm:</u> | <u>Avlest spen.:</u> |
|------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| 6 | 6 kV | Liten (8 μ A) |): veldig liten feil |

I følge VDE 0298 finnes følgende verdier med hensyn til prøvespenning og lekkstrøm:

| | |
|-------------------|-------------|
| Prøvespenning PVC | 2 kV |
| “ “ PE, VPE (PEX) | opptil 5 kV |
| Lekkstrøm PVC | 0,8 mA/km |
| “ PE, VPE | 0,02 mA/km |

Vi ble bedt under målingene på Fyn om å komme med erfaringsverdier eller andre verdier for lekkstrøm ved mantelfeiltesting. Dette er svært vanskelig da disse verdiene er avhengig av en rekke faktorer som ikke er like i hvert tilfelle. Jordsmonnets beskaffenhet er i så måte av største betydning for måleverdiene. Likeledes tidspunktet på året mantelprøvingen foretas (vår og høst vanligvis best grunnet større fuktighet i bakken, også dette igjen avhengig av beliggenhet). Ved vurderingen av lekkstrøm er det også viktig å vite hvor lang kabelen er slik det vises i tabellen nedenfor og hva slags isolasjonsmateriale det er benyttet i ytterkappen.

Nedenfor følger en tabell over lekkstrømmer hentet fra Seba Dynatronic sin dokumentasjon til MFM 5-1.

Grenseverdier for lekkasjestrøm

| Kabellengde i meter | Lekkasjestrøm i mA ved PVC | Lekkasjestrøm i mA ved PE |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 50 | 0,04 | 0,001 |
| 100 | 0,08 | 0,002 |
| 250 | 0,2 | 0,005 |
| 500 | 0,4 | 0,01 |
| 750 | 0,6 | 0,015 |
| 1000 | 0,8 | 0,02 |
| 2000 | 1,6 | 0,04 |
| 5000 | 4,0 | 0,1 |

Rapport for kappefejlfinding i Assens oversat til dansk:

1. Anvendte instrumenter: Kappefejlfindingsapparat T 32.2

2. Beskrivelse af målemetode og måleprincip: Kabelkappen (koblet fri af driftsjord) forbindes med en DC-prøvegenerator, Kappeprøvegenerator T32.22, og prøves i 10 minutter mod driftsjord, med 2 kV for de gamle, røde PVC-kapper hhv. 5 kV for PE-kapperne.

For sunde PVC-kapper er der en afledestrøm på 0,8 mA/km kabellængde. Afledestrømmen hos sunde PE-kapper er betydeligt mindre - den ligger i μA -området. Som grænseværdi gælder: $I_{\max} (\mu\text{A}) = 20 \mu\text{A}/\text{km} \times \text{kabellængde}$.

Er der en fejl, så finder man med jordsonde T32.21 fejlstedets spændingskegle (se bilag).

Som en del af udstyret er der også et forlokaliseringsinstrument T32.23, med hvilket man kan forlokalisere kappefejlen, dvs. angive længden af fejlen som procent af den samlede længde.

3. Måleresultater

a. Kvalitetskontrol

J = jord

S = skærm

| Kabel Nr. | Længde | Prøvespænding | Afledestrøm |
|-----------|--------|---------------|---------------------|
| 10 | 48 m | J-S 50 V | J-S 10 mA |
| 12 | 48 m | J-S 50-60 V | J-S 10 mA |
| 13 | 48 m | J-S 200 V | J-S 10 mA |
| 6 | 48 m | J-S 5 kV | J-S 8 μA |
| 1 | 48 m | J-S 600 V | J-S 50 mA |

Kabel Nr. 6 er OK - de andre kabler har en kappefejl.

b. Fejllokalisering

| | | | Forlokalisering | Efterlokalisering |
|-----------------------|--------------------|--|-------------------------|-------------------|
| Kabel 1: Display: | 48 m 25 75 | | 25% fra huset 12 m | 10 m |
| Kabel 12: Display: | 48 m 64 36 | | 64% fra huset 30,7 m | 34 m |
| Kabel 10: Display: | 48 m 70 30 | | 70% fra huset 33,6 m | 29,9 m |
| Kabel 13: Display: | 29 m 40 60 | | 40% fra huset 11,6 m | 16,7 m |
| Kabel 6: Display: | 48 m OK OK | | OK | OK |

Resultatet af efterlokaliseringen er den punkt-nøjagtige fejllokalisering.

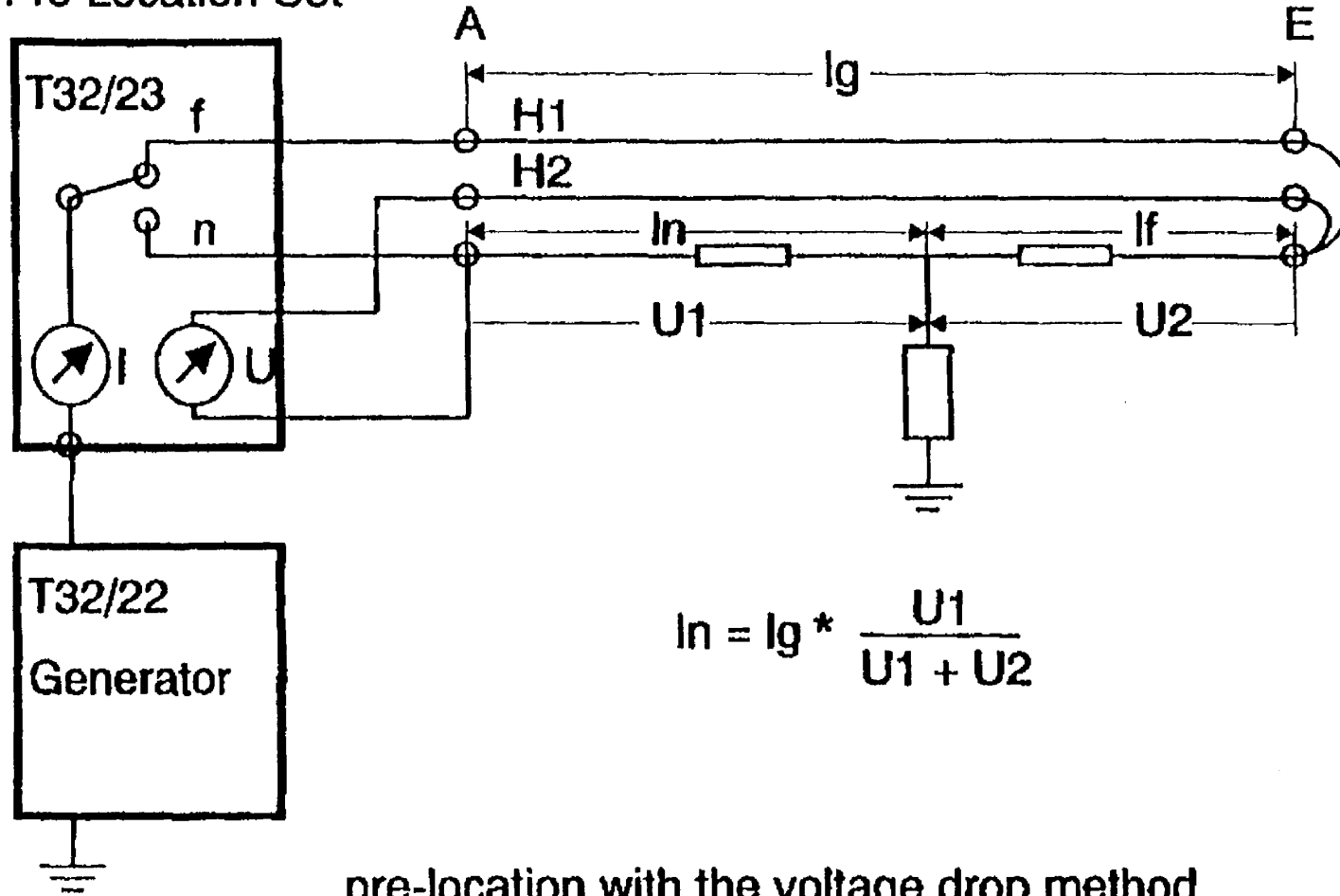
Når man bedømmer resultaterne af forlokaliseringen, må man tage i betragtning, at denne metode kun er til en grov information om fejlstedets placering, så man ikke behøver at gå hele kabellængden igennem med jordspydene. Bruger man mere tid på forlokaliseringen, bliver resultaterne mere nøjagtige. Udmålingen med "løbehjulet" af 100 eller måske 1.000 m er også unøjagtig på grund af forlægningstollerancerne.

Resultatet fra forlokaliseringen skal bringe måleteknikeren hen i området omkring spændingskeglen, så han kan udmåle fejlen nøjagtigt med jordsonde T32.21.

.... oversættelse slut!
gb 09/96

Sheath Fault Locating Set T32/2

Pre-Location Set

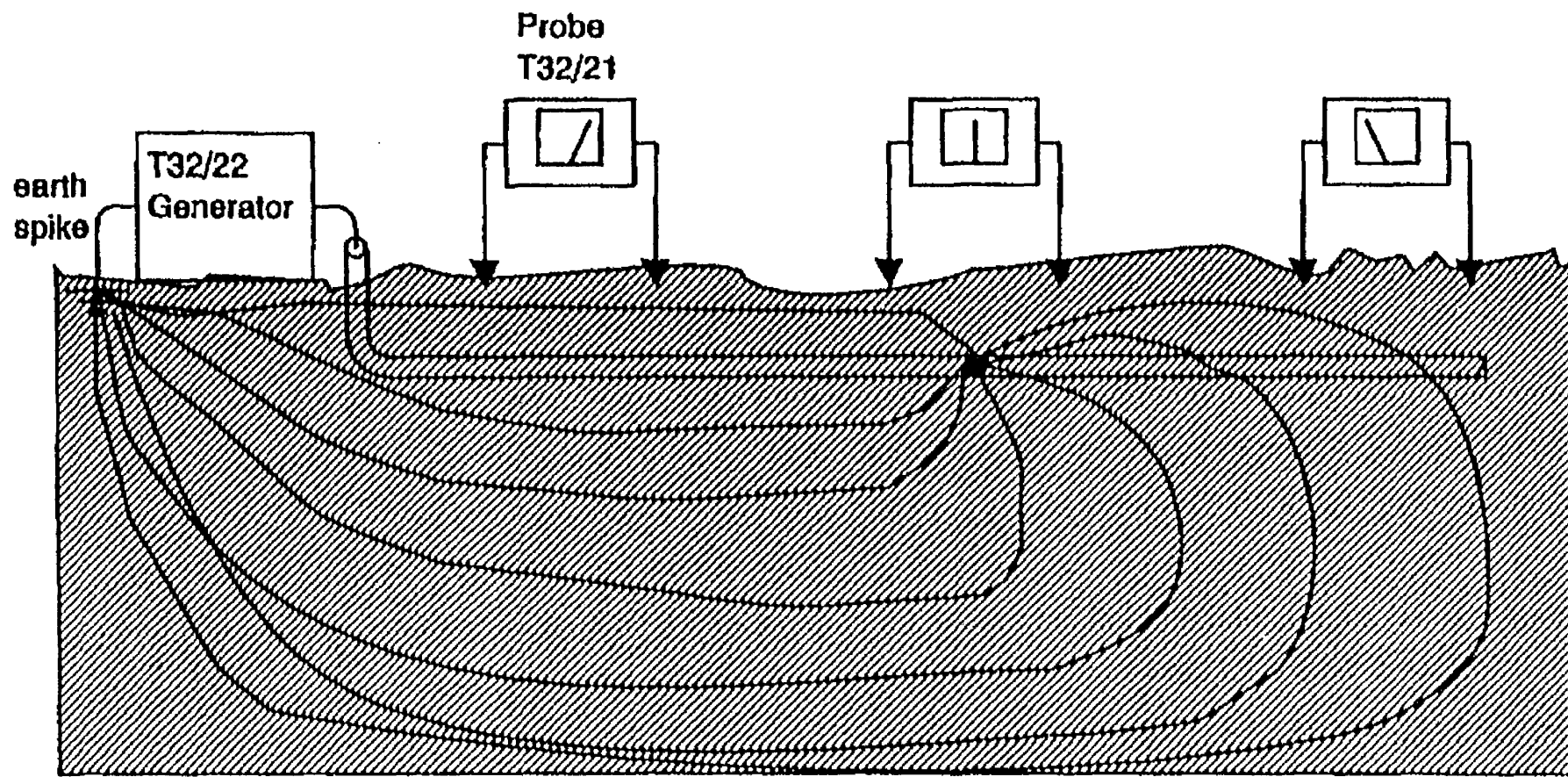


$$I_n = I_g * \frac{U_1}{U_1 + U_2}$$

pre-location with the voltage drop method

T32--01E
230692

Sheath Fault Location Set T32/2

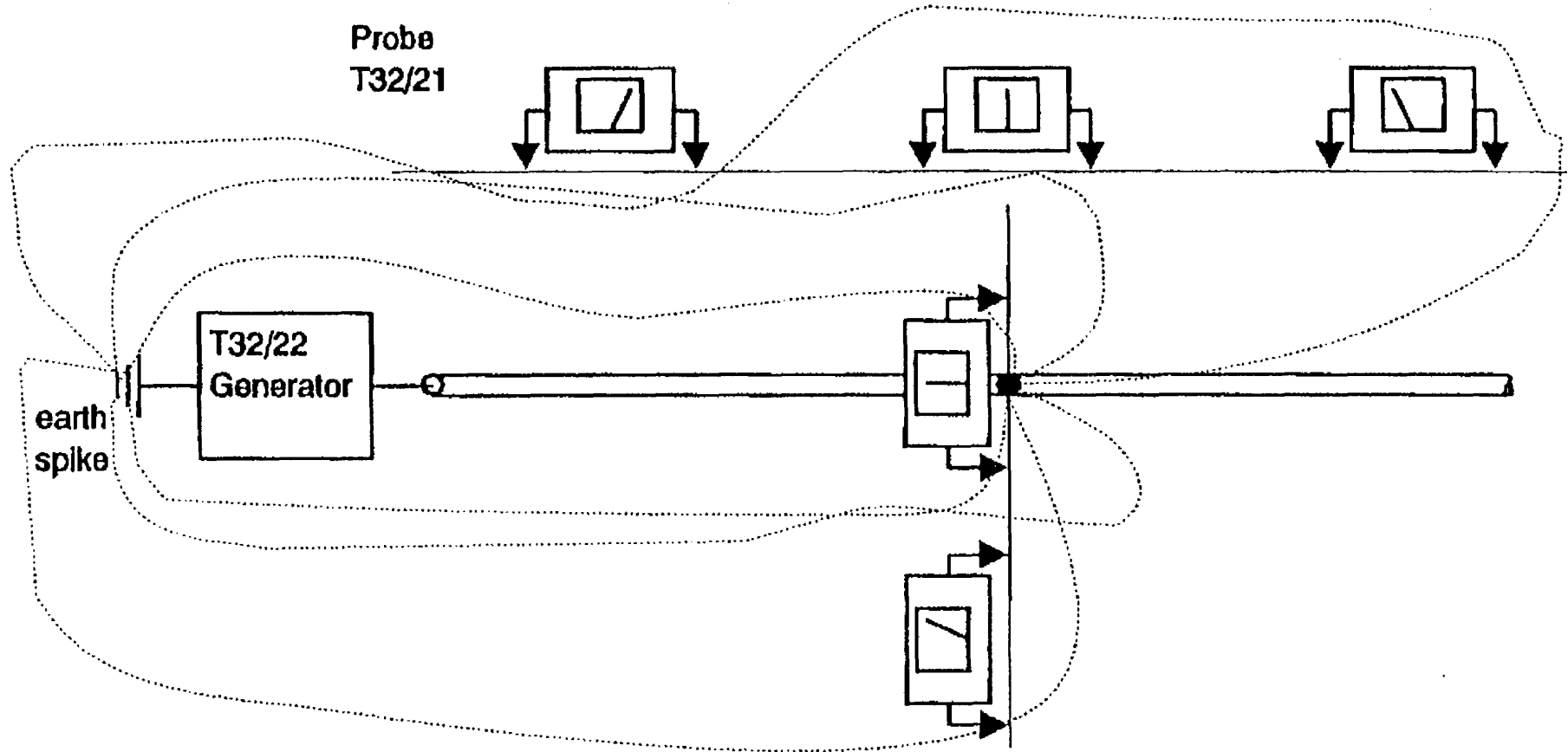


pin - point - location with the step voltage method (galvanic)

T32--02E
230692

Sheath Fault Location Set T32/2

forming a crosshair



pin - point - location with the step voltage method (galvanic)

T32--03E
140792

EFI
Energiforsyningens Forskningsinstitut AS
N-7034 Trondheim
Norge

Att.: Hr. Jan Tore Benjaminsen

Kontaktperson
Ole Nørlem

Lokalnummer
617

Dato
3. september 1996

Deres reference

Vor reference
ON/al
B523

Direkte telefax
75 83 90 30

Projekt "Kappeprøvning af polymerkabel"

Den 22. august 1996 deltog BAUR som én af tre indbudte leverandører af udstyr til kappefejllokalisering i en demonstrationstest af eksisterende udstyr på markedet.

Demonstrationen var arrangeret som et EFI samarbejdsprojekt, og foregik på kabler med provokerede kappefejl nedgravet i forskellige jordbundsforhold (normal jord, tør sand og fugtig jord) i prøveområdet hos Vestfyns Elforsyning An/S i Assens på Fyn (DK).

Fra BAUR deltog:

Arne Johnsen, Maxeta AS, Porsgrunnsvejen 225, N - 3901 Porsgrunn,
Norge (Tlf. +47 3559 7755)

Ole Nørlem, Landis & Gyr A/S, Islandsvej 1, DK - 7100 Vejle,
Danmark (Tlf. +45 7583 9000).

BAUR fik tildelt 5 kabelobjekter, og skulle indenfor 2 timer (kl. 09.00 til kl. 11.00) udføre en forlokalisering samt efterlokalisering af forekommende kappefejl på disse kabler.

Fejlernes art og placering samt jordbundsforholdene var ukendte for BAUR's deltagere. Det blev på forhånd oplyst, at der maksimalt kunne forekomme én fejl pr. kabel, og at der maksimal måtte benyttes en målespænding på 6 kV.

Til lokalisering af fejlene blev følgende BAUR-udstyr benyttet:

- Stødspændingsgenerator type **SSG1100/19**" (Fab.nr. 9572907008, 1100 Ws, 0 - 8/16/32 kV) i en **SYSCOMPACT**-konfiguration med mulighed for påtrykning af kontinuert DC højspænding og aflæsning af lækstrøm.

Anvendt til for-megning og ved efterlokalisering.

Dato
3. september 1996

Deres reference

Vor reference
ON/ai

Side
2

- Målebro (Murray / Glaser og Wheatstone-metode) type **DMB5** (Fabrk.nr. 968223003) med tilhørende højspændingskilde type **BS3000** (Fabrk.nr. 968118002, 10, 30, 100, 1000 og 2500 VDC).
- Skridtspændingssøger type **KMF1** (Fabrknr. 958824016).

For de 5 tildelte kabler blev følgende målinger udført med de viste resultater:

| Kabelnr. | Oplyst længde [m] | For-megning [kV] : [mA] | Forlokalisering Relativ afstand [% af total længde] | Forlokalisering. Spænding : Strøm [kV] : [mA] | Efterlokalisering. Afst. fra "skurgavl" [m] | Efterlokalisering. Spænding : Strøm [kV] : [mA] |
|--------------|-------------------|-------------------------|---|---|---|---|
| 10 | 48 | 3 : 150 | 79,1 % | 0,3 - 2,5 : max. 40 | 29,6 | 3 : 150 |
| 11 | 48 | 1 : 100 2 : 200 | 35,5 % | 0,1 - 2,5 : max. 40 | 7,0 | 3 : 150 - 200 |
| 13 (grafit.) | 29 | 1,5 : 150 | 42,4 % | 0,3 - 1 : ca. 40 | 15,3 fra ?? * | 3,5 : 150 |
| 6 | 48 | 6 : 0 | - | - : - | - | - : - |
| 1 | 48 | 1 : 50 3 : 150 | 29,6 % | 0,3 - 2,5 : 35 - 40 | 9,5 | 4 : 125 - 150 |

* Udgangspunktet for afstandsmålingen ved kabel nr. 13 er ikke registreret.

Til forlokaliseringen med målebro anvendtes målemetode iflg. Glaser, hvor målespændingen påtrykkes mellem hjælpeleder nr. 1 og kablets skærm, og målebroens galvanometer tilsluttes mellem hjælpeleder nr. 2 og kablets skærm. (Fig. 1)

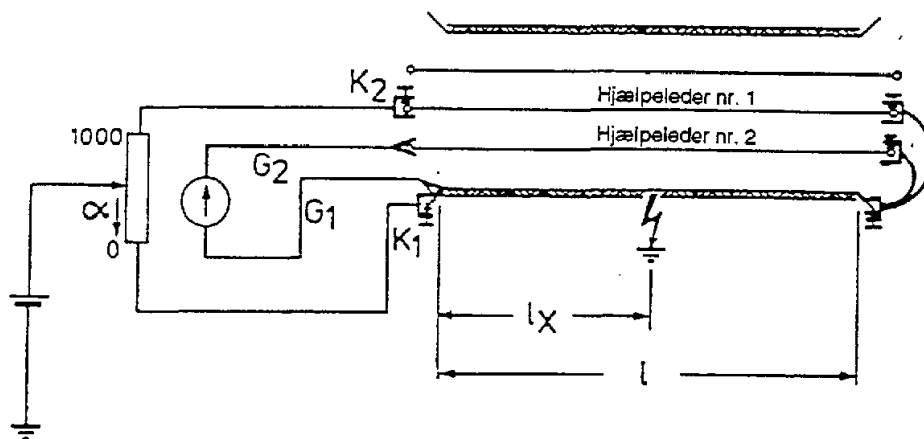


Fig. 1: Måleprincip ved forlokalisering.

| Dato | Deres reference | Vor reference | Side |
|-------------------|-----------------|---------------|------|
| 3. september 1996 | | ON/al | 3 |

Denne målemetode blev valgt ud fra følgende opfyldte forudsætninger:

- to fejlfrie hjælpeledere med stort ledertværsnit var til rådighed
- hjælpeledernes og skærmens tværsnit var konstante over hele målestrækningen

Idet de to hjælpelederes modstand er lille (anslået $< 0,5 \Omega$) i forhold til den side af målepotentiometret, der er forbundet med hjælpeleder nr. 1, kan den på målebroen aflæste værdi ($\%$ af kablets totallængde) benyttes umiddelbart.

Det kan endvidere anslås, at nøjagtigheden således er bedre end $\pm 1\%$.

Brugen af målebro DMB5 (Murray / Glaser) og skridtspændingssøger KMF1 er begrundet med ønsket om at anvende udstyr, som er enkelt at betjene, og som er nøjagtigt og pålideligt ved alle jordfejl - såvel højohmige som lavohmige.

Endvidere er udstyret prisgunstigt, idet de fleste forsyningsselskaber råder over en stødspændingsgenerator og en megger. Adskillige selskaber kan i princippet "nøjes" med en skridtspændingssøger (KMF1), idet de fleste kabelstræk er relativt korte, hvorfor en forlokalisering evt. kan "springes over".

Baggrunden for anvendelsen af højspændingsmålebroen (DMB5) som eneste forlokaliseringsværktøj er set i forhold til andre metoder:

- stor nøjagtighed
- lav forsyningseffekt
- fungerer ved små målestrømme
- egnet ved såvel lavohmige og højohmige jordfejl

Se endvidere vedlagte artikel "Vorortung von Kabelmantelfehlern", der belyser forskellene ved "Spændingsfaldsmetoden" og "Brometoden".

Ved DC-test af kabelkapper anvendes iflg. VDE 0276 (udkast)

max. 3 kV ved PVC kapper
max. 5 kV ved PE kapper

Vore (BAUR's og vore "brugeres") erfaringer viser, at ved prøvninger af PVC-kapper anvendes 2 kV til max. 3 kV og at en strøm på 0,6 til 1,0 mA/km kan accepteres som fejlfri. Jo ældre kabel, jo højere strøm.

Dato
3. september 1996

Deres reference

Vor reference
ON/al

Side
4

For PE-kabler viser erfaringerne, at der kun registreres uhyre små strømme ved intakte kapper. Dvs. kun meget små strømme (i nA-området) bør accepteres for PE-kapper.

Disse erfaringsværdier gælder mellemspændingskabler 10 - 30 kV kabler.

Med venlig hilsen
LANDIS & GYR A/S

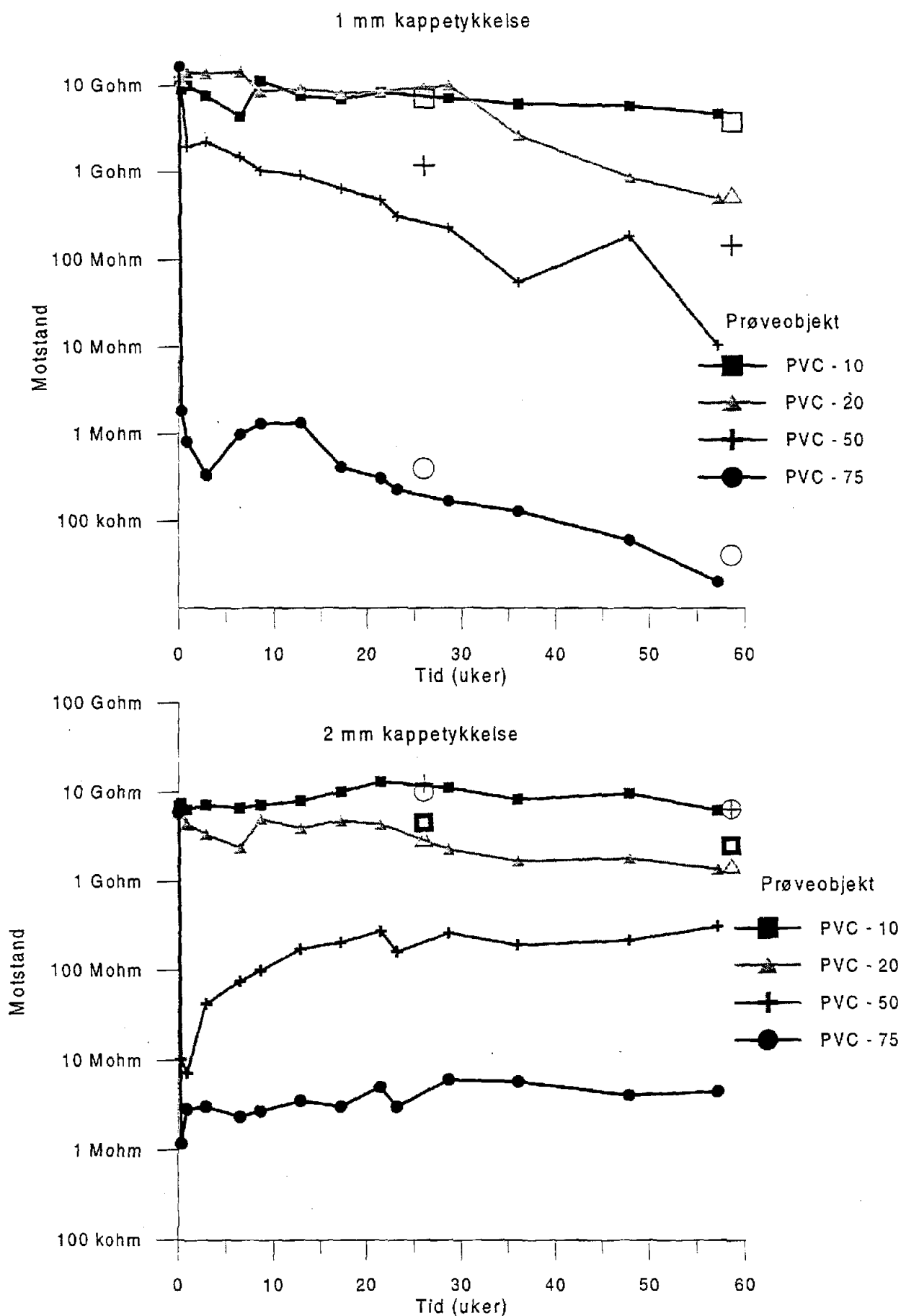
Anja Lorenzen
af. Ole Nørlem

APPENDIX 1

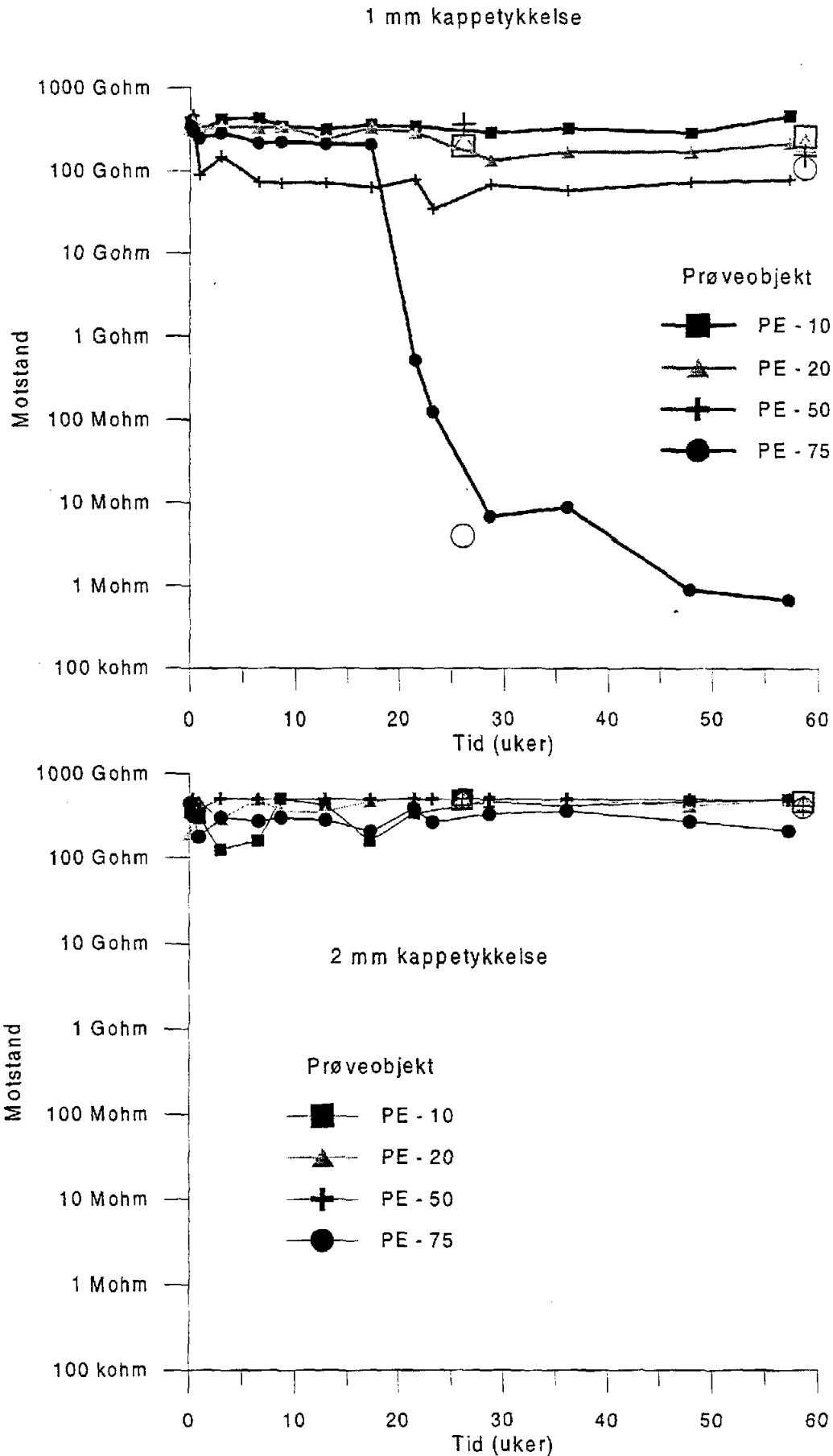
**Motstandsverdiene for de forskjellige
kabelkappene som funksjon av aldringstid**

Motstandsverdiene for de forskjellige kabelkappene som funksjon av aldringstid

I figur A1.1 og A1.2 er vist de målte motstandsverdiene for kabelkappene målt ved 500 V Megger. I de samme figurene er også plottet inn motstandene ved romtemperatur etter ca 1/2 år og 1 års aldring.



Figur A1.1: Direkte målte motstandsverdier for 1 og 2 mm kappetykkelse av PVC. Motstandsverdiene målt ved romtemperatur etter 1/2 og 1 år er angitt som "åpne" symboler.



Figur A1.2: Direkte målte motstandsverdier for 1 og 2 mm kappetykkelse av PE. Motstandsverdiene målt ved romtemperatur etter 1/2 og 1 år er angitt som "åpne" symboler.

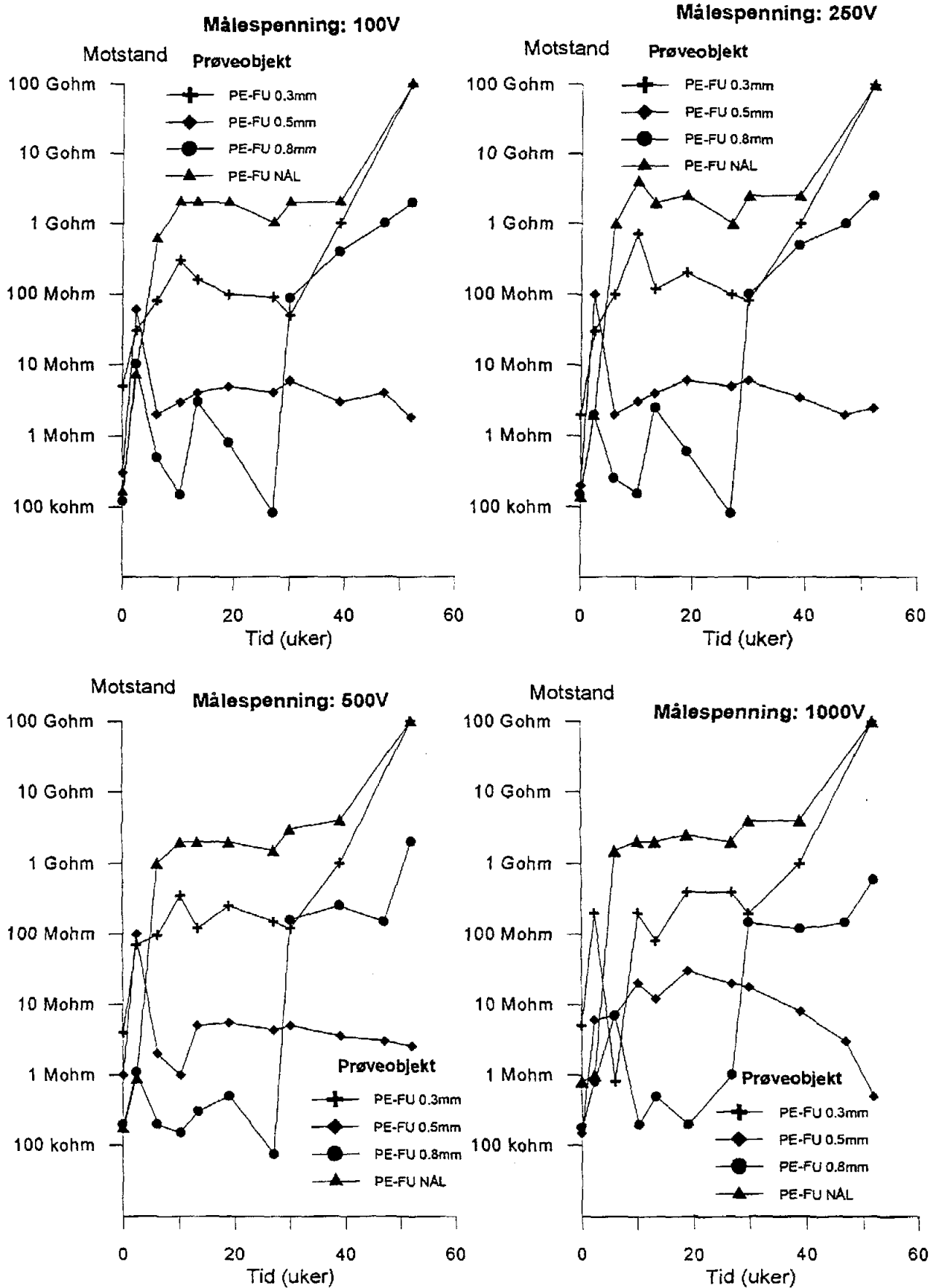
APPENDIX 2

Detaljerte måleresultater fra laboratoriemålingene

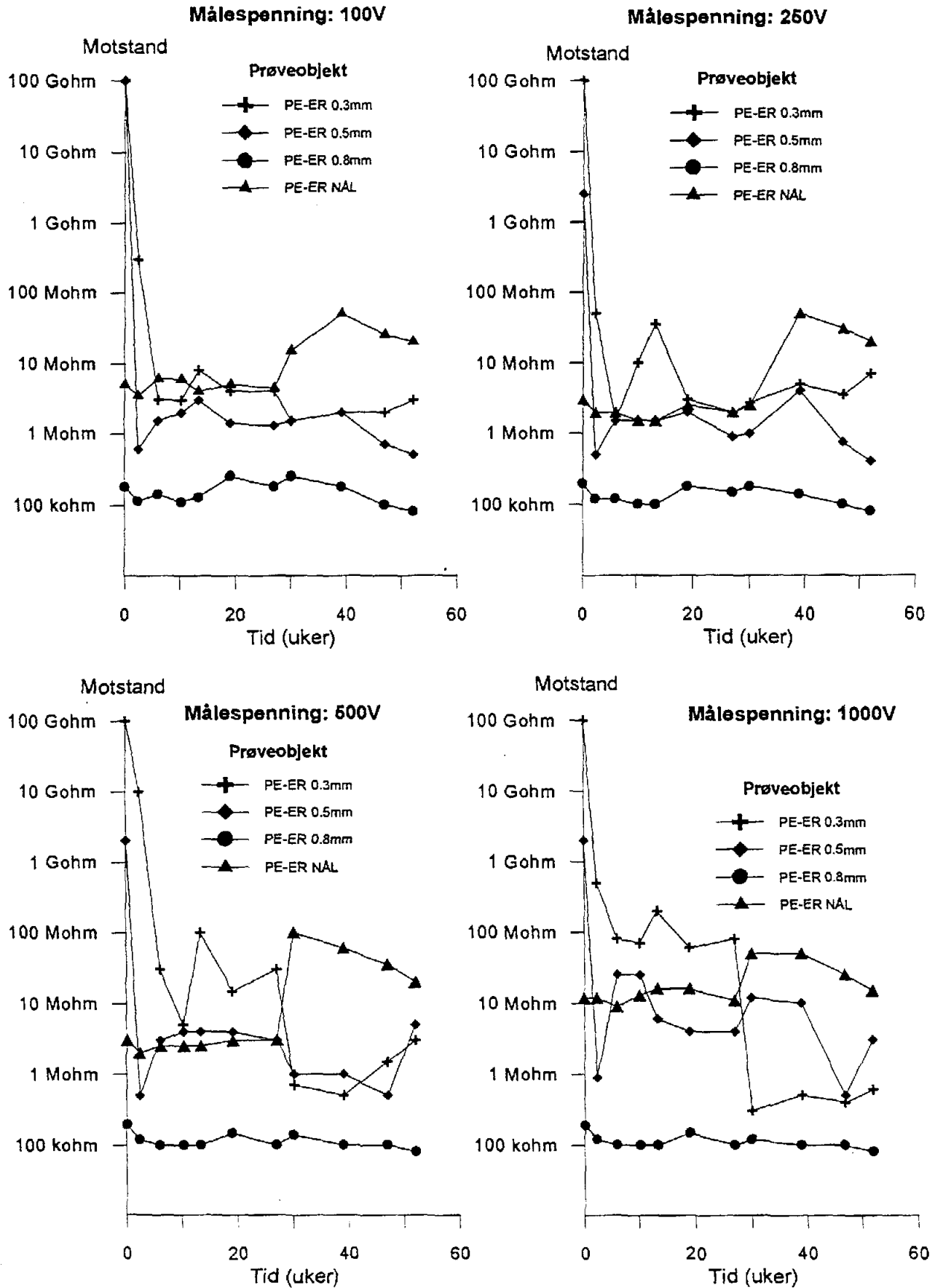
Detaljerte måleresultater fra laboratoriemålingene

I figur A2.1 - A2.3 er vist motstandsverdiene som ble målt i skadestedene ved de forskjellige spenningene.

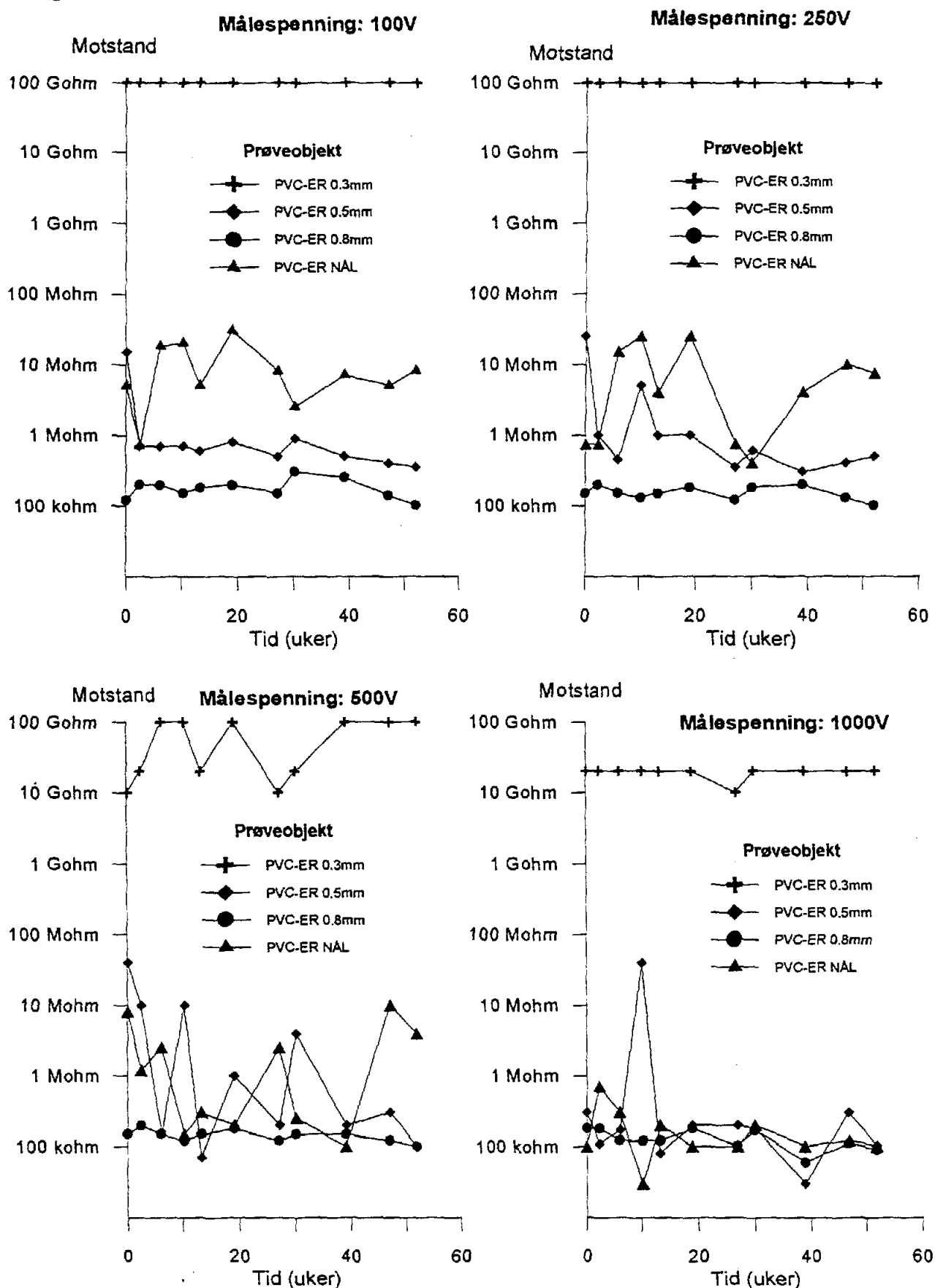
Under målingene viste de fleste skadene relativt ustabile måleverdier som kunne variere med opp til én dekode i løpet av noen sekunder. Forklaringen ligger i at gassbobler dannes i hullet på grunn av målestrømmen. Disse gassboblene fører til en midlertidig økning av isolasjonsmotstanden.



Figur A2.1: Målinger av overgangsmotstand ved ulike feiltyper for kabel med PE-kappe og svellebånd.



Figur A2.2: Målinger av overgangsmotstand ved ulike feiltyper for kabel med PE-kappe uten svellebånd.



Figur A2.3: Målinger av overgangsmotstand ved ulike feiltyper for kabel med PVC-kappe uten svellebånd

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FÖRSÄKNINGS- OCH UTVECKLINGS- ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax: 08-677 25 35. E-post: info@elforsk.se