

## NSBs LANGLINJEKABEL - TYPE METF

Jernbaneverket  
Biblioteket

JANUAR 92

## NSBs LANGLINJEKABEL - TYPE METF

### INNHOLDSFORTEGNELSE:

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | SAMMENDRAG / KONKLUSJON  | 1  |
| 2.     | INNLEDNING   | 4  |
| 2.1.   | Mandat   | 4  |
| 2.2    | Organisering og gjennomføring av prosjektet  | 4  |
| 3.     | BAKGRUNN / ÅRSAKSFORHOLD   | 6  |
| 3.1.   | Langlinje telekabel i NSB  | 6  |
| 3.1.1. | Bakgrunnen for prosjektet  | 6  |
| 3.1.2. | Årsaker  | 6  |
| 3.2.   | METF - kabelaen  | 7  |
| 3.2.1. | Historikk  | 7  |
| 3.2.2. | Konstruksjon   | 8  |
| 3.2.3. | Virkemåte  | 8  |
| 4.     | TEORETISK VURDERING AV TILTAK  | 10 |
| 4.1.   | Generelt   | 10 |
| 4.2.   | Langlinjekabelens elektromagnetiske miljø  | 10 |
| 4.2.1. | NSBs kontaktledningsanlegg   | 10 |
| 4.2.2. | Kontaktledningsanleggets påvirkning på langlinjekabler   | 11 |
| 4.3.   | Vurdering av kabelkonstruksjon   | 18 |
| 4.4.   | Punktjording av kabelmantel - hyppighet  | 19 |
| 4.4.1. | NSB og andre administrasjoners jordingsforskrifter   | 19 |
| 4.4.2. | Samlet jordingsmotstand ved punktjording av kabelmantel i forhold til kabel med halvledende kappe forlagt i god jord | 20 |
| 4.4.3. | Jordingshyppighet på grunnlag av støybegrensing  | 21 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.4.4. | Punktjording av kabelmantel - diskusjon / konklusjon | 22 |
| 4.4.5. | Grenseverdier for induktiv kopling                   | 22 |
| 4.4.6. | Reell reduksjonsfaktor                               | 23 |
| 4.4.7. | Krav til jordingsmotstand per punkt                  | 25 |
| 4.5.   | Jording av kabler i tunneler og bruer/overganger     | 29 |
| 4.6.   | Konkrete forslag til tiltak                          | 30 |
| 4.6.1. | Kortsiktige tiltak - eksisterende anlegg             | 30 |
| 4.6.2. | Langsiktige tiltak - nye anlegg                      | 31 |
| 5.     | KOSTNADER  | 32 |
| 5.1.   | Tiltak   | 32 |
| 5.1.1  | Jordinger  | 32 |
| 5.1.2. | Returledning   | 32 |
| 5.1.3. | Skilletransformator                                  | 33 |
| 5.1.4. | METF - METE  | 33 |
| 6.     | MÅLING AV PRØVEKABEL                                 | 34 |
| 6.1.   | Bakgrunn og formål med måling                        | 34 |
| 6.2.   | Måleoppsett og måleprosedyre                         | 34 |
| 6.3.   | Måleresultater                                       | 36 |
| 6.4.   | Sammenligning av forventede og målte verdier         | 37 |
| 7.     | BAKGRUNNSLITTERATUR                                  | 43 |

## BILAGSLISTE:

- Bilag 1: Kontaktledningssystemer
- Bilag 2: Ledningsevnen i berggrunnen
- Bilag 3: Kurve for reduksjonsfaktor ved ulike påtrykt spenning
- Bilag 4: Kurve over kabelarmeringens impedansvariasjoner ved ulike påtrykt spenning
- Bilag 5: Kurve over indusert spenning vs. lengde ved normal drift (Jording hver 700 m, 100  $\Omega$  pr.pkt.)
- Bilag 6: Kurve over indusert spenning vs. lengde ved normal drift (Jording hver 700 m, 200  $\Omega$  pr.pkt.)
- Bilag 7: Kurve over indusert spenning vs. lengde ved normal drift (Jording hver 700 m, 300  $\Omega$  pr.pkt.)
- Bilag 8: Kurve over indusert spenning vs. lengde ved kortslutning (Jording hver 700 m, 100  $\Omega$  pr.pkt.)
- Bilag 9: Kurve over indusert spenning vs. lengde ved kortslutning (Jording hver 700 m, 200  $\Omega$  pr.pkt.)
- Bilag 10: Kurve over indusert spenning vs. lengde ved kortslutning (Jording hver 700 m, 300  $\Omega$  pr.pkt.)
- Bilag 11: Variasjon i jordingsmotstand med årstiden

## 1. SAMMENDRAG/KONKLUSJON

Den langlinjekabel NSB idag bruker er av typen METF. Dette er en kabel med gode egenskaper ved forlegning i god jord. Det kan nevnes kabelens halvledende ytterkappe som gir kabelen kontinuerlig avledning hvis den forlegges i jord. Dette er med på å gi kabelens gode reduksjonsfaktor, noe som gjør at den er et riktig valg av kabel til det elektromagnetiske miljøet den skal fungere i. Det har imidlertid vært endring i METF-kabelens forlegningsteknikk. Idag blir mye av denne type kabel lagt i kabelkanal istedet for i jord. Dette har ført til brannskader på kabelen, driftsproblemer og misnøye blant de som jobber med kabelen.

METF-kabelen eller andre typer kabel med halvledende eller ledende ytterkappe må ikke forlegges i kabelkanaler eller på tilsvarende steder der det ikke er god avledning til jord. På slike steder har ikke den halvledende kappen noen funksjon, i og med at kabelen ligger så og si isolert. METF-kabelens halvledende kappe har ført til flere problemer enn den har vært til gagn, når kabelen har ligget i kanal eller på tilsvarende måte.

Problemene som har oppstått med METF-kabelen er i første rekke avbrenning av kabelen. Kabelen har over lengre strekninger ligget isolert og ikke hatt noen avledning til jord. Dette har tillatt kraftige induserte spenninger å bygge seg opp. Når da kabelens halvledende kappe i et enkelt punkt har kommet i berøring med ledende materiale som har vært koblet til jord, har det oppstått brannskader på kabelen. METF-kabelen har halvledende kappe og den er ikke beregnet til at store strømmer skal kunne gå gjennom et lite punkt på kapp. Dette fører til varmeutvikling, og over tid avbrenning av kabelen.

Det sier seg selv at med så store induserte spenninger som det her dreier seg om, vil personsikkerheten til de som arbeider med kabelen ikke være godt nok ivaretatt.

Det har i denne forbindelse vært et økende behov for retningslinjer for jording av kabelanlegg og en vurdering om METF-kabelen er den rette for NSB. Følgende tiltak foreslås for å bedre personsikkerheten og hindre skader på kabelen:

### Kortsiktige tiltak - eksisterende anlegg.

METF-kabel forlagt i kabelkanal, eller på sted med dårlig avledning til jord skal punktjordes i mantel for hver 700 m. Jordingspunktet skal ligge minst 7 m fra spor eller nærmeste jordede utstyr. Jordledning fra kabelmantel til jordingspunktet skal være isolert. Det kreves en overgangsmotstand til jord på 100  $\Omega$ . Hvis overgangsmotstanden til jord overstiger 300  $\Omega$  må dette bedres i.h.t. trykk 506.3. Det betyr at de fleste jordingsmotstandene på en strekning bør ligge rundt 100  $\Omega$ , men det godtas at enkelte punkter ligger på 300  $\Omega$ . I relehus, der kabelen termineres, skal det jordes til det respektive jordnettet i.h.t. trykk 506.3. Dvs. krav til 10  $\Omega$  jordingsmotstand. Hvis det overstiger 30  $\Omega$  må jordingsanlegget bedres.

Alle jordledninger som forbinder gjenstander i nærheten av sporet til skinnejord, må isoleres.

I tunneler skal det jordes i hver ende av tunnelen. I tunneler på lengder over 5 km bør det også legges ved en solid isolert jordledning som kobles til kabelmantel for hver skjøt. (hver 700 m) Det bør monteres returledning i tunneler.

METF-kabelen må isoleres alle steder der den kan få fysisk kontakt med skinnejord gjennom den halvledende kapp.

Ved bruer/overganger må METF-kabelen isoleres fra brukonstruksjonen.

Det bør monteres returledning 5 km ut fra alle omformerstasjoner og skilletransformator for hver 10 km på alle par der det elektriske grensesnittet tillater det. Tjenester som i dag blir overført på

langlinjekabelen med likestrømsimpulserte systemer kan ikke ha skilletransformator. Her bør linjen seksjoneres for hver 10 km med overdrag. Disse tjenestene bør skifte transmisjonsteknikk. Returledningen må henges opp i kontaktledningsmastene for i størst mulig grad kompensere for feltet fra kontaktledningen. Returledning som forlegges i kabelkanalen eller i nærheten av denne forverrer situasjonen betydelig. I et slikt tilfelle kan det ikke benyttes kobberkabler.

### **Langsiktige tiltak - nye anlegg.**

Generelt er det et ønske å kunne benytte metallfrie kabler langs jernbanetraseen. De strekninger det er mulig bør det derfor brukes metallfri fiberkabel for all langlinjetransmisjon.

Ved forlegning i kabelkanal eller ved tilsvarende forlegning der avledning til jord er utilstrekkelig, skal det ved alle nye anlegg benyttes kabel med isolerende ytterkappe av type METE. METE-kabelen merkes med rød skrift.

For å oppnå tilfredstillende reduksjonsfaktor ved denne forlegning og denne type kabel, bør mantelen punktjordes for hver 700m. Jordingspunktet skal ligge minst 7 m fra spor eller nærmeste jordede utstyr. Jordledning fra kabelmantel til jordingspunktet skal være isolert. Det kreves en overgangsmotstand til jord på 100  $\Omega$ . Hvis overgangsmotstanden til jord overstiger 300  $\Omega$  må dette bedres i.h.t. trykk 506.3. Det betyr at de fleste jordingsmotstandene på en strekning bør ligge rundt 100  $\Omega$ , men det godtas at enkelte punkter ligger på 300  $\Omega$ . I relehus, der kabelen termineres, skal det jordes til det respektive jordnettet i.h.t. trykk 506.3. Dvs. krav til 10  $\Omega$  jordingsmotstand. Hvis det overstiger 30  $\Omega$  må jordingsanlegget bedres.

I tunneler skal det jordes i hver ende av tunnelen. I tunneler på lengder over 5 km bør det også legges ved en isolert jordledning som kobles til kabelmantel for hver skjøt. (hver 700 m) Det er viktig at jordledningen ligger så tett sammen med kabelen som mulig. Det bør også monteres returledning i tunneler.

Det er meget viktig at kabelmantel og kabelens jordingsystem holdes fullstendig isolert fra omgivelsene.

Det bør monteres returledning 5 km ut fra alle omformerstasjoner og skilletransformator for hver 10 km på alle par der det elektriske grensesnittet tillater det. Tjenester som i dag blir overført på langlinjekabelen med likestrømsimpulserte systemer kan ikke ha skilletransformator. Her bør linjen seksjoneres for hver 10 km med overdrag. Disse tjenestene bør skifte transmisjonsteknikk. Returledningen må henges opp i kontaktledningsmastene for i størst mulig grad kompensere for feltet fra kontaktledningen. Returledning som forlegges i kabelkanalen eller i nærheten av denne forverrer situasjonen betydelig. I et slikt tilfelle kan det ikke benyttes kobberkabler.

Ved forlegning i godt ledende jord skal det som tidligere benyttes METF-kabel. På overganger/bruer eller tilsvarende steder der kabelen kan komme i fysisk kontakt med annet jordet utstyr, må kabelen trekkes i isolerende rør. Hvis METF-kabelen på enkelte strekninger blir liggende i kanal i mer enn 1-2 km bør det benyttes METE-kabel.

En total vurdering av de faktorer som spiller inn er meget omfattende, og på grunn av prosjektgruppens tid og ressurser, har det ikke vært mulig å ta hensyn til alle detaljer. De beregninger som er gjort viser hovedtrekkene, og ut ifra disse har gruppa trukket sine konklusjoner. Det påpekes likevel at dette er et viktig tema, og at oppfølging og vurderinger videre er påkrevet for å bedre personsikkerheten. Det er ikke tatt hensyn til parallellføring med trefasede høyspentlinjer. Gruppa foreslår at det foretas nærmere vurdering av følgende forhold:

- \* Vurdering av tiltak i tunneler, bruer og stasjonsområder.
- \* Vurdering av innvirkningen tiltakene har på støyforholdene på kabelen, og om ytterlige tiltak bør iverksettes.
- \* Vurdering av hvilke tiltak som kan sikre personvern og i nærheten av omformerstasjoner

Videre bør diskusjonen tas opp med signalavdelingen om hvordan det skal jordes langs jernbanen for å opprettholde sikkerheten i togframføringen.

## 2. INNLEDNING

### 2.1. MANDAT

Prosjektgruppens oppdrag er som følger:

"Engineeringavdelingen gis i oppdrag å vurdere årsak til skader på METF-kabel under drift, og hvilke tiltak som må iverksettes for å hindre større skader i framtiden. METF-kabelens konstruksjon må vurderes, og evt. utarbeidelse av ny spesifikasjon og testing av denne nye konstruksjonen."

Oppdraget omfattet følgende aktiviteter:

1. Årsak til driftsuhell i forbindelse med METF-kabelanlegg.  
Her inngår vurdering av mulige årsaker til de problemene NSB har hatt i den senere tid, samt kartlegging av eksisterende jordingsforskrifter.
2. Kortsiktige tiltak.  
Her inngår beregninger av jordingsbehov for METF-kabel forlagt i kabelkanal, og utarbeidelse av retningslinjer for jording av slike anlegg.
3. Langsiktige tiltak.  
Her inngår beregning av jordingsbehov for kabel med isolert ytterkappe (METE), og utarbeidelse av retningslinjer for jording av anlegg med denne type kabel.

Utover dette skal det også foretas målinger som underlag for de beregninger og konklusjoner som skal fattes.

### 2.2. ORGANISERING OG GJENNOMFØRING AV PROSJEKTET.

Prosjektgruppen har bestått av følgende personer:

Knut Bergem (PL)  
Eivind Skorstad  
Gunalf Bækkeli  
Egil Kjellbrott  
Geir Eriksen  
Oddvin Birkeland  
Jørn Skogø  
Torgny Madssveen (konsulent)

Representantene i prosjektgruppen består av personer fra Engineering , Eltilsynet i Banedivisjonen, Baneregion Sør og Baneregion Nord. I løpet av prosjektets gang har Per Prestmo erstattet Jørn Skogø. Torgny Madssveen fungerte som konsulent i prosjektet. Han er tidligere NSB-ansatt (pensjonist).

Utover dette har kabelfabrikkene, EB Norsk Kabel og Alcatel Kabel Norge, deltatt med sin kompetanse på området. Representanter fra disse har i hovedsak vært:



EB Norsk Kabel:

Erik Steen  
Endre Espeseth

Alcatel Kabel Norge:

Simon Fougner  
Kjell Sylthe  
Anton Knutsen

Mye av det arbeid som er gjort ble uformelt påbegynt før gruppen offisielt ble nedsatt. I denne tidlige fasen var Engineering (v/ Gunalf Bækkeli), Banerregion Øst (v/ Leif Flingtorp), Banerregion Sør (v/Petter Mæhlum og Hans-Arne Jørgensen) og EB Norsk Kabel (v/ Erik Steen) mest aktive. Årsaksforholdet til problemene ble i stor utstrekning klarlagt i denne fasen.

### 3. BAKGRUNN/ÅRSAKSFORHOLD.

#### 3.1. LANGLINJE TELEKABEL I NSB

##### 3.1.1 Bakgrunnen for prosjektet

METF-kabelen ble tatt i bruk i midten av syttiårene som erstatning for jute/asfalt kabler. Den har vært dominerende på de elektrifiserte strekningene i NSB helt frem til i dag. De senere årene har det imidlertid skjedd en del ting som har ført til at denne kabelen må ses på i et litt annet lys. Dette prosjektet har bl.a. kommet i gang for å vurdere en del tiltak i forbindelse med de problemer vi har hatt.

Bakgrunn for at dette prosjektet ble startet:

- brannskader av forskjellig type på kabelen
- generell missnøye med bruk av kabel med halvledende kappe
- store innkjøp av kabel til NSB's pågående og framtidige kabelanlegg
- uklarheter om hvilke forskrifter som gjelder for jording av telekabel
- generelt ønske og krav om stor driftsikkerhet og gode støyegenskaper på telekabel
- nye krav til telekabelen pga. økende banestrøm
- økning i antall alvorlige driftsforstyrrelser de senere år

Problemene med brannskader på METF er ikke av nyere dato, men ser ut til å ha økt de senere år. Det er ikke riktig å si at det er et hyppig problem, men både sikkerhetsmessig og økonomisk er det helt uakseptabelt.

Problemer med brannskader på METF har ikke vært allment kjent blant fabrikantene før i den senere tid. Det er flere enn NSB som har tatt kontakt med fabrikkene nå i det siste for å gi tilbakemelding om problemer.

##### 3.1.2. Årsaker

Årsaken til at problemene med METF-kabelen har økt den siste tiden i NSB, er endret forlegningsteknikk. Tidligere ble kablene gravd ned i bakken 12 m fra skinnegangen. I dag legges METF kabelen ca 2,5 m fra spormidt. I 1956 ble det gjort målinger ved Brusand på Jæren på en 100 m lang ubeskyttet målelinje som var utspent parallelt med banen. Disse målingene viste at induksjonen faller raskt ut til en avstand av ca. 12 m fra sporet. Derfor ble det den gang besluttet å legge kabelen i en avstand på 12 m fra sporet. At dette en del år senere ble endret til 2,5 m, ble begrunnet med lavere

anleggskostnader, samt utvikling av aluminiumsmantlede kabler. Disse har bedre reduksjonsfaktor enn de gamle blymantlede kablene.

I tillegg til å legge kabelen 2,5 m fra sporet, har man også begynt å legge kabelen i kabelkanaler. På enkelte strekninger legges opp til 80 - 90% av all ny kabel i kanal. I tunneler og på bruer har METF til og med blitt hengt opp med metallfester.

Kabelkanalen får ta mye av skylda for de økende problemene med METF. Det som skjer når METF blir lagt i kanal er at den blir liggende så godt som helt isolert. Den vil få liten avledning til jord. Dette fører til at kabelens reduksjonsfaktor forverres og blir veldig avhengig av den separate jordingsmotstanden i hver ende av kabelen. Hvis kabelen blir liggende isolert i kanalen, vil det kunne oppstå store induserte spenninger på kabelen. Missnøyen med METF har derfor økt blant montører og andre som arbeider med kabelen når den blir forlagt i kanaler.

METF kabelen er ikke konstruert for en slik isolert forlegningsmetode som kabelkanalen representerer. Med sin halvledende kappe, er den konstruert for å skulle ligge i god kontakt med jord. Hvis den halvledende kappe kommer i kontakt med metallgjenstander, er det stor fare for at den vil brenne av. Forlagt på riktig måte i god jord, er sannsynligheten for avbrenning mye mindre enn ved isolert forlegning. Når kabelen ligger isolert, blir det induserte spenninger i armering/mantel som kan gi store nok strømmer til å smelte/antenne kappe dersom den kommer i begrenset, lav ohmig kontakt med metalliske gjenstander forbundet til jord. Kontakt med skinnejord er meget ugunstig for kabelen og må unngås.

METF forlagt i isolert forlegning er en uhensiktsmessig bruk av kabelen fordi den halvledende kappe ikke har noen kontinuerlig avledning til jord og dermed ikke bidrar positivt til kabelens reduksjonsfaktor. Tvert imot kan man si at halvledende kappe er uønsket i en isolert forlegning fordi selve kappe vil bli spenningsførende med dertil brann og berøringsfare.

Det er de meget vanskelige feltforhold langs den elektrifiserte jernbanen som gjør at NSB kanskje har større problemer enn en del andre brukere av kabel med reduksjonsfaktor. Kabler med reduksjonsfaktor er avhengig bl.a. frekvensen. Dette er med på å forverre kabelens egenskaper ved bruk på elektrifiserte strekninger, da beregninger har vist at reduksjonsfaktoren på METF er en god del dårligere for 16 2/3 Hz enn for f.eks. 50 Hz.

## **3.2. METF-KABELEN**

### **3.2.1. Historikk**

Kabler med reduksjonsfaktor har lange tradisjoner. Allerede tidlig i tyveårene presenterte A. Zastrow fra Simens modeller for beregninger av reduksjonsfaktor på kabler med blymantel. Etter hvert begynte man å vikle stålbånd utenpå blymantelen og senere erstattet man blymantelen med en lukket, massiv aluminiums mantel.

På midten av syttitallet ble METF kabelen "utviklet" i et samarbeide mellom norske forbrukere og produsenter. Det var egentlig ingen ny kabel man kom fram til. Kabelen og virkemåten var den samme som for de tradisjonelle kablene med reduksjonsfaktor. Det var egentlig snakk om en modernisering. Man ønsket å forbedre korrosjonsbeskyttelsen av mantel og armering. Datidens nye, halvledende plaster ville gi en slik beskyttelse, samtidig med at man ville oppnå god avledning til jord.

### 3.2.2. Konstruksjon

METF kabler bygger på den forutsetning at en i utgangspunktet ønsker å redusere den spenning som kunne bli indusert i parene, slik at potensialet i termineringspunktene ikke overstiger de grenser som er fastsatt i forskriftene og at tverrspenninger holdes så lavt som mulig. Denne typen kabler blir betegnet "kabler med reduksjonsfaktor".

METF består av isolerte kobberledere, polyetylenkappe, aluminiumstråder (mantel), stålbånd (armering) og ytterst en halvledende kappe. Mellom mantel og armering ligger det vasilin og et halvledende bånd som gjør at de i praksis er koblet sammen. De er dessuten koblet til jord via den ytre halvledende kappe. (se figur)

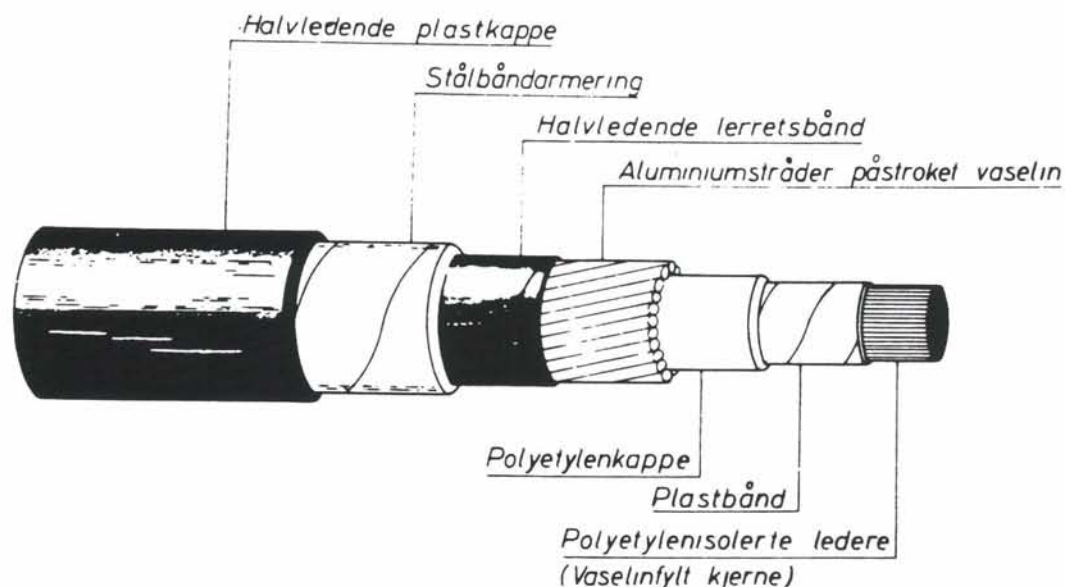


Fig. 1: METF-kabelens oppbygning.

### 3.2.3. Virkemåte

Når denne kabelen som ligger i direkte kontakt med jorda blir utsatt for et primært magnetfelt fra jordstrømmer, blir det indusert en spenning på kobberlederne. Det vil også bli indusert en spenning på armering/mantel. Fordi armering/mantel er kontinuerlig koblet til jord gjennom den halvledende kappe, vil det begynne å gå en strøm i den strømsløyfen som disse utgjør. Dette stemmer med Lenz lov om induksjon. Den sier : I en strømkrets som befinner seg i et varierende magnetisk felt, vil det oppstå en indusert spenning med tilhørende strøm, som har en slik retning at den søker å motvirke en endring av det magnetiske feltet den blir utsatt for. Denne motsatt rettede spenningens størrelse er avhengig av strømstyrke, frekvens og kretsens selvinduksjon.

Den strømmen som går i armering/mantel vil danne et sekundært magnetfelt. Dette sekundære magnetfeltet vil også indukere en spenning i kobberlederne. Denne spenningen vil alltid være motsatt rettet av den spenningen som er indukert av det utvendige feltet. Forholdet mellom disse feltene vil alltid være at spenningen indukert av det ytre primærfeltet vil være større enn spenningen indukert av det indre sekundærfeltet. Produktet av størrelsesforholdet mellom disse to motsatt rettede spenninger vil gi en restspenning, såkalt redusert spenning. Grunnen til at sekundærfeltet, indukert av strøm i armering/mantel får så stor innflytelse som den gjør, er at armering/mantel ligger så nære lederne i forhold til primærfeltet.

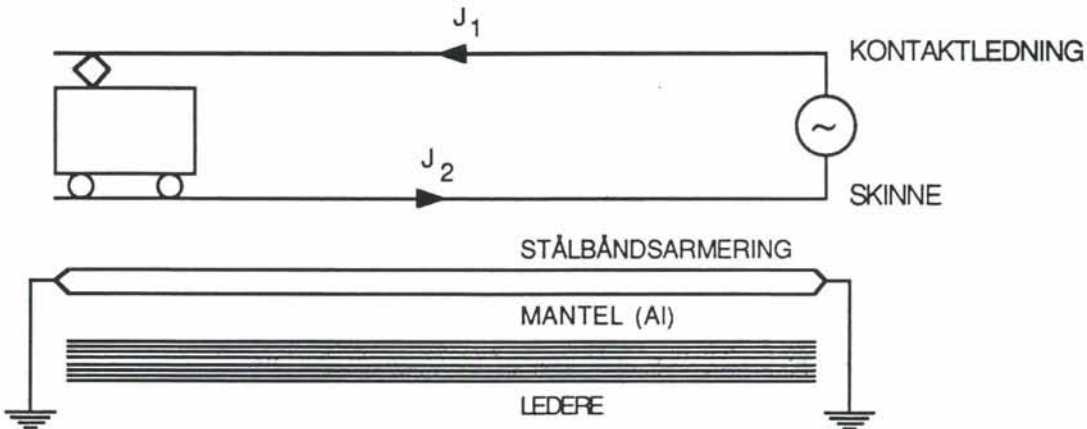


Fig. 2: Virkemåte for kabel med reduksjonsfaktor.

Kabelen virker på samme måte som en transformator. Både mantel og ledere er omsluttet av stålmviklingen og er således også omsluttet av et felles magnetfelt. Mantel og ledere har derfor samme selvinduksjonskoeffisient. Stålbåndet spiller her samme rolle som jernkjerne i en transformator. Man ønsker seg derfor mantelmateriale med lav ohmsk motstand, og armeringsmateriale med høy permeabilitet.

METF kabelens reduksjonsfaktor er avhengig av jordstrømmens styrke. Dette kommer av at stålbåndet har en relativt lav "virkningsgrad" ved lav induksjon (strømstyrke). Maksimal induksjon har vi like før stålet går i metning. Deretter vil induksjonen avta selv om strømstyrken øker. Vi kan si at kabelens impedans endrer seg med induksjonens styrke.

METF er konstruert for å ligge i kontinuerlig kontakt med jord. Avhengig av hvor stor jordmotstanden er, vil overgangsmotstanden til jord for kabelen være invers av kabelens lengde. Jo lavere overgangsmotstand til jord vi kan oppnå, jo bedre er det. Dette er grunnen til at METF får bedre reduksjonsfaktor jo lengre kabelen er. Hvis METF skal brukes i isolert forlegning, må man gjennom beregninger forvise seg om at de separate jordmotstander har en tilstrekkelig lav verdi til at ønsket reduksjonsfaktor kan oppnås.

## **4. TEORETISK VURDERING AV TILTAK**

### **4.1. GENERELT**

Med bakgrunn i de problemstillinger som har kommet fram i foregående kapittel, skal det i dette kapittelet gis forslag til hvilke tiltak som bør igangsettes for å bøte på de problemene NSB har. Arbeidet kan deles i to hoveddeler, kortsiktige og langsiktige tiltak.

Kortsiktige tiltak vil omfatte de tiltak som er nødvendige for å sikre person- og materialsikkerheten på de anlegg som idag er i drift. Dette vil gjelde alle anlegg der kabel med halvledende ytterkappe er forlagt i kabelkanaler eller i tilsvarende forlegning der avledningen til jordsmonnet er minimal. Kabler med halvledende ytterkappe omfatter både METF-kabelen og alle eldre typer kabel med jute/asfaltkappe. Blant de tiltak som er blitt vurdert er hyppig punktjording av kabelmantelen for å øke kabelens avledning til jord. Problemer som oppstår i tunneler og ved bruer er vurdert spesielt.

Langsiktige tiltak vil omfatte en vurdering av en ny kabelkonstruksjon for forlegning i kabelkanaler. Dette gjelder i hovedsak ved nye anlegg. Også for denne nye kabeltypen er det påkrevet med punktjording av kabelmantelen, og forslag til retningslinjer vil bli gitt.

Før de endelige tiltakene blir foreslått, er det behov for å gå gjennom hvilke teoretiske vurderinger som ligger til grunn for de ulike forslagene.

### **4.2. LANGLINJEKABELENS ELEKTROMAGNETISKE MILJØ**

#### **4.2.1. NSBs kontaktledningsanlegg**

NSBs kontaktledningssystem er i prinsippet en 1-faset kraftlinje med driftspenning 16,2 kV og frekvens 16 2/3 Hz. Kjørestrommen benytter kontaktledningen som framleder og skinnegangen og delvis jordsmonnet som returleder.

Hovedstrømmen i kontaktledningsanlegget (framleder) legger seg i snitt ca. 6 m over skinnegangen. Returstrømmen skal fortrinnsvis gå i skinnegangen, men vil p.g.a skinnenes avledning til jord delvis gå i jordsmonnet. Vanligvis er det for hver 3 km montert en sugetransformator med viklingsforhold 1:1, der primærviklingen er i serie med kontaktledningen og sekundærviklingen er i serie med sporet. Dette "tvinger" returstrømmen i skinnegangen (ved sugetransformatoren) å være lik strømmen i kontaktledningen. Dette sikrer at en langt større andel av den totale returstrømmen går i skinnegangen. Mellom sugetransformatorene har man en lekkasjestrøm som i middel antas å være ca. 5%, avhengig av skinnestørrelse, ballast og fuktighetsinnhold. Uten sugetransformatorer ville denne lekkasjestrømmen kunne bli 30 - 50 %. En bør merke seg at ved fjellovergangene her i landet er det ikke montert sugetransformatorer.

Figur b i bilag 1 viser det svenske kontaktledningssystemet, hvor det i tillegg til sugtransformatorer for hver 4 km, benyttes en egen returledning opphengt på kontaktledningmastene. Sugetransformatorene er her koblet mellom kontaktledning og returledning. Erfaringer fra Sverige viser at de induserte spenningene på telekablene reduseres med 90% ved bruk av returledning. I Norge er det montert returledning i Oslo-området, dvs. i de områdene der vi idag har størst togtrafikk.

Togene blir matet tosidig med 80 km avtand mellom hver omformerstasjon. I Oslo-området er det tettere mating. I fremtiden forventes det kortere avstand mellom omformerstasjonene for å holde strømstyrken nede. Imidlertid ser det også ut til at tettere trafikk vil øke kontaktledningsstrømmen.

#### 4.2.2. Kontaktledningsanleggets påvirkning på langlinjekabler

Alle metalliske ledere som er parallellført med sporet vil ligge i det magnetiske nærfeltet til kontaktledningsstrømmen. Dette magnetiske feltet oppstår på grunn av strømmen i kontaktledningen, og øker med økt strømstyrke. Slike varierende magnetiske felt som gjennomfører ledningssløyfer i nærliggende kretser, vil indukere spenninger i disse kretsene. Den induserende effekten øker med lengden av parallellføringen.

Vi vil nå undersøke hvilke induksjoner vi kan regne med i kabler som er forlagt i kabelkanaler. For å forenkle beregningene forutsetter vi at kanalen ligger 2,50 m fra spormidtd og i samme plan som sporet. Som tidligere nevnt regner vi at hovedstrømmen i kontaktledningen ligger 6 m over sporplanet. (se figur 3)

For beregning av induserte spenninger benyttes følgende formel for gjensidig induksjon:

$$U_i = 2\pi * f * J * m \quad (1)$$

hvor  $U_i$  = indusert spenning  
 $J$  = induserende strøm  
 $f$  = frekvensen  
 $m$  = gjensidig induksjonskoeffisient (også kalt induktiviteten)

Videre kan den gjensidige induksjonskoeffisienten beregnes etter følgende formel:

$$m = [12,98 - \ln(f * a^2 / p) - j \pi/2] 10^{-1} \text{ mH/km} \quad (2a)$$

Absoluttverdien blir:

$$|m| = \sqrt{[12,98 - \ln(f * a^2 / p) + \pi^2/4]} * 10^{-1} \text{ mH/km} \quad (2b)$$

hvor  $m$  = gjensidig induksjonskoeffisient.  
 $p$  = spesifikk jordmotstand i  $\Omega\text{m}$ .  
 $f$  = frekvens.  
 $a$  = ledningsavstand i meter.

Induktiviteten er avhengig blant annet av jordmotstanden, som igjen er avhengig av geologiske forhold. I Norge er det generelt sett dårlig ledningsevne i jorda. Jordmotstanden kan variere fra ca. 500  $\Omega\text{m}$  enkelte steder på Østlandet til 10 - 20 000  $\Omega\text{m}$  i høyfjellet. En brukbar middelvei synes å være 2500  $\Omega\text{m}$ . Denne middelveien vil bli brukt ved videre beregninger. Resultater av jordmotstandsmålinger er tilgjengelige fra EFI/SINTEF. (Se bilag 2)

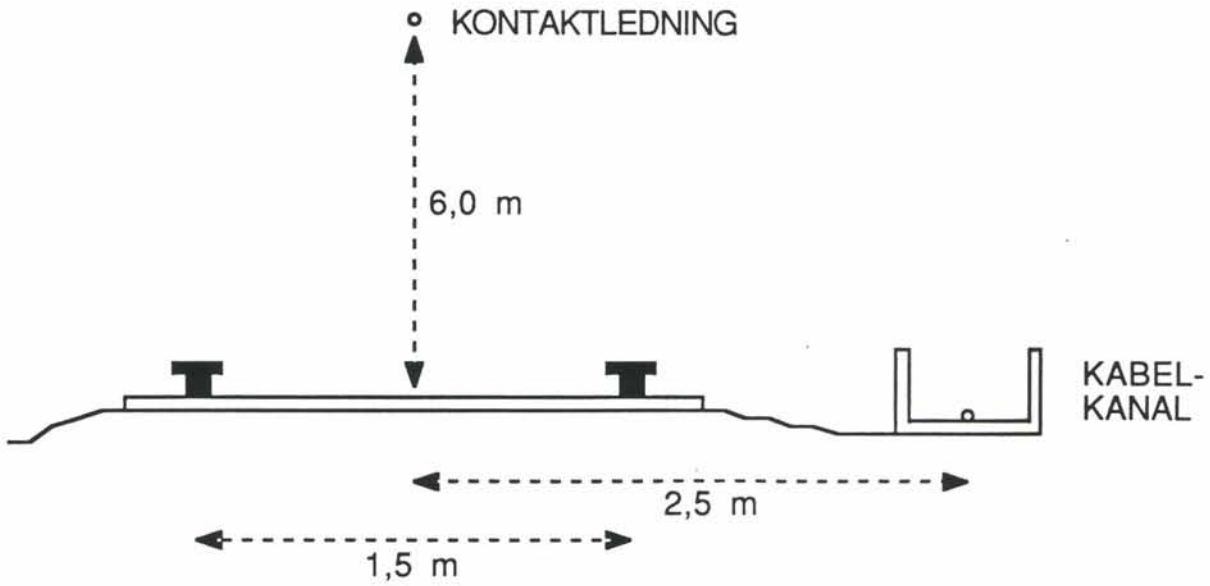


Fig. 3: Kabelkanalens plassering.

Vi har av figur 3:

Avstand kabel - kontaktledning:

$$a_{13} = \sqrt{(6,0^2 + 2,5^2)} = 6,5 \text{ m}$$

Avstand kabel - høyre skinne:  $a_{23h} = 1,75 \text{ m}$

Avstand kabel - venstre skinne:  $a_{23v} = 3,25 \text{ m}$

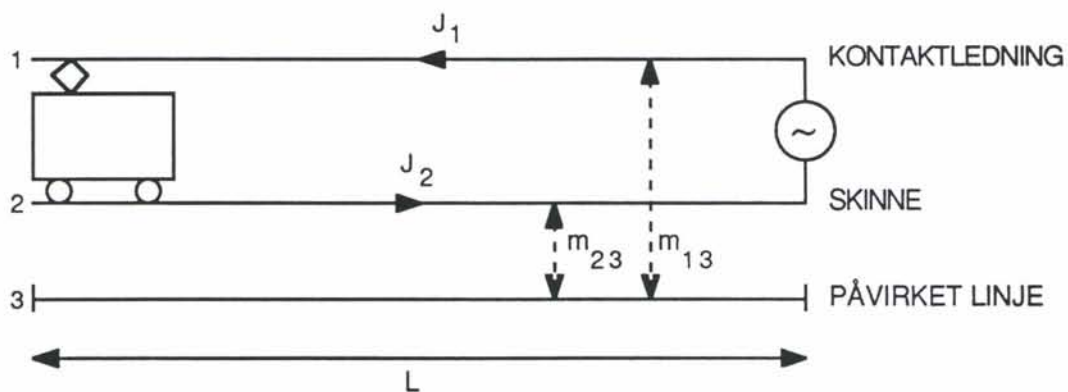


Fig. 4: Elektromagnetisk kobling mellom togdrift og telefonlinje.



Dette gir ifølge (2b) følgende verdier for induktivitet :

$$\begin{aligned} m_{13} &= 1,43 \text{ mH/km} \\ m_{23h} &= 1,69 \text{ mH/km} \\ m_{23v} &= 1,56 \text{ mH/km} \end{aligned}$$

$$(f = 16^2/3 \text{ Hz, } p = 2500 \text{ } \Omega\text{m, } a \text{ er angitt over})$$

Indusert spenning benevnes vanligvis som volt pr. amp kontaktledningsstrøm og pr. km banelengde. (= volt/Akm) Det forutsettes ved disse beregningene en kontaktledningsstrøm på 100 amp. ( $J_1 = 100 \text{ A}$ ) Videre antas 2% lekkasjestrøm som ugunstigste tilfelle. Større lekkasjestrøm vil ved denne kabelposisjonen gi lavere induksjon. (Returstrøm kan da sies å være 49 A i hver skinne) Strøm i kontaktledning og skinne har ulik strømrøtning og feltene fra disse vil i en viss utstrekning kompensere for hverandre.

Fra (1) får vi da følgende:

$$\begin{aligned} \text{Induksjon fra sporet: } U_2 &= 2\pi f J_2 (m_{23h} + m_{23v})/2 \\ &= 2\pi * 16^2/3 * 49 * (1,69 + 1,56) * 10^{-3} = 16,7 \text{ V/km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Induksjon fra kontaktledn.: } U_1 &= 2\pi f J_1 m_{13} \\ &= 2\pi * 16^2/3 * 100 * 1,43 * 10^{-3} = 15,0 \text{ V/km} \end{aligned}$$

$$\text{Resulterende induksjon: } U = U_2 - U_1 = \underline{\underline{1,7 \text{ V/km}}} \quad (3)$$

Spesifikk induksjon (dvs. induksjon pr kontaktledningsstrøm og pr. banelengde) blir da:

$$u_s = U/J_1 = (1,7 \text{ V/km}) / 100 \text{ A} = \underline{\underline{0,017 \text{ V/Akm}}} \quad (4)$$

Total indusert spenning på en uredusert kabel :

$$U_{\text{tot}} = u_s J_1 L \quad (5)$$

der  $L = \text{induserende lengde}$

Induksjon ved normal drift

Under normal drift begrenses kontaktledningsstrømmen av ledningssystemets impedans som er ca. 0,32 Ω/km, og en nedre grense for lokomotivets driftspenning som er ca. 11 000 volt. Maksimalt induserende strømvolum under drift blir da:

$$\frac{16\,200\text{ V} - 11\,000\text{ V}}{0,32\Omega/\text{km}} = \underline{16\,250\text{ Akm}}$$

Dette gir igjen total indusert spenning på kabel (dvs. den spenning som vil bli indusert på en blankledning parallellført med sporet i den gitte posisjon):

$$16\,250\text{ Akm} * 0,017\text{ V/Akm} = \underline{275\text{ volt}} \quad (6)$$

Induksjon ved kortslutning av kontaktledningen

Ved kortslutning av kontaktledningen midt mellom to omformerstasjoner, har vi følgende kontaktledningsstrøm:

$$16,2\text{ kV} / (40\text{ km} * 0,32\Omega/\text{km}) = \underline{1265\text{ A}}$$

Dette gir følgende strømvolum ved kortslutning midt mellom omformerstasjonene:

$$1265\text{ A} * 40\text{ km} = \underline{50\,600\text{ Akm}}$$

Dette gir igjen total indusert spenning på kabel(dvs. den spenning som vil bli indusert på en blankledning parallellført med sporet i den gitte posisjon):

$$50\,600\text{ Akm} * 0,017\text{ V/Akm} = \underline{860\text{ volt}} \quad (7)$$

Av de overstående beregningene kan en se at det induserende strømvolumet er uavhengig av avstanden mellom omformerstasjon og tog, og avstanden mellom omformerstasjon og kortslutning. Dette gir igjen at den totale induserte spenningen på en kabel er konstant, men i og med at lengden (avstanden mellom omformerstasjon og tog eller mellom omformerstasjon og en eventuell kortslutning) varierer, vil den induserte spenning per km variere sterkt. Jo nærmere en omformerstasjon et tog befinner seg eller en kortslutningen oppstår, jo større induserte spenninger pr. km på kabelen. (se grafer i bilag 5 - 10)

Dempning

Dette gir imidlertid ikke det reelle bilde av den resulterende induksjonen på en parallellført leder. De spenningene som blir induisert på lederen vil dempes som en funksjon av lengden.

Fra grunnleggende transmisjonsteori har vi at dempningen av et signal som blir sendt fra A til B blir som følger:

$$E_B = E_A * e^{-\gamma s} \quad (8)$$

der:

$$\begin{aligned} E_B &= \text{mottatt signal i B} \\ E_A &= \text{utsendt signal fra A} \\ s &= B - A \\ \gamma &= a + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \\ &\text{der } a = \text{dempning, og } \beta = \text{fasevinkel} \end{aligned}$$

Hvis dette skal overføres til de induserte spenningene som kobler seg inn på en kabellengde, må vi forestille oss en rekke små sendere langs linjen som sender avgårde de induserte spenningene som har koblet seg inn på et uendelig lite linjestykke. Dette forklares enklere ved figurer og formler:

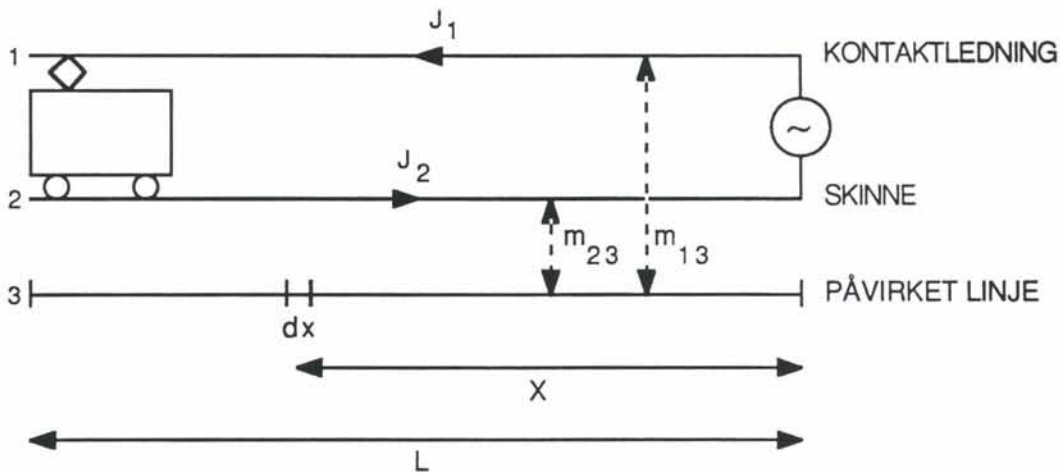


Fig. 5: Induksjon fra jernbanedrift.

Indusert spenning over linjestykket dx blir:

$$\begin{aligned} du &= (w m_{23} J_2 - w m_{13} J_1) dx \\ &= u_s J_1 dx \end{aligned} \quad (9)$$

der  $du$  = indusert spenning over linjestykket dx  
 $w m_{23} J_2$  = induksjon fra skinne  
 $w m_{13} J_1$  = induksjon fra kontaktledning  
 $dx$  = et uendelig lite linjestykket der en kan anta linjære forhold

Videre vil denne spenningen fra linjestykket dx bli dempet over strekningen x :

$$du_L = du e^{-\gamma x} = u_s J_1 e^{-\gamma x} dx \quad (10)$$

der  $x$  = avstand fra linjestykket dx til enden av kabelen

Ved integrasjon av (10) får vi:

$$U_L = \int_0^L u_s J_1 e^{-\gamma x} dx = u_s J_1 \int_0^L e^{-\gamma x} dx \quad (11)$$

der  $U_L$  = total indusert spenning over kabellengden L.  
 $L$  = total induserende lengde

$$\int_0^L e^{-\gamma x} dx = \left[ - (1/\gamma) e^{-\gamma x} \right]_0^L = \left[ - (1/\gamma) e^{-\gamma L} + (1/\gamma) \right]$$

$$= 1/\gamma \left[ 1 - e^{-(a + j\beta)L} \right] = 1/\gamma \left[ 1 - e^{-aL} (\cos \beta L + j \sin \beta L) \right]$$

$$\begin{aligned}
 \left| \int_0^L e^{-\gamma x} dx \right| &= 1/\gamma \sqrt{[ (1 - e^{-\alpha L} \cos \beta L)^2 + (e^{-\alpha L} \sin \beta L)^2 ]} \\
 &= 1/\gamma \sqrt{[ 1 - (2e^{-\alpha L} \cos \beta L) + (e^{-2\alpha L} \cos^2 \beta L) + (e^{-2\alpha L} \sin^2 \beta L) ]} \\
 &= 1/\gamma \sqrt{[ 1 - (2e^{-\alpha L} \cos \beta L) + e^{-2\alpha L} ]}
 \end{aligned}$$

Videre vet vi fra transmisjonsteorien :

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (12)$$

Det kan her gjøres noen tilnærminger og sies at  $R \gg \omega L$  og  $\omega C \gg G$  til godt ovenfor de frekvenser det her er snakk om. Uttrykket (12) kan derfor forenklet skrives:

$$\alpha + j\beta = \sqrt{j\omega RC}$$

$$\alpha^2 - \beta^2 + j2\alpha\beta = j\omega RC$$

Dette gir:

$$\alpha^2 = \beta^2 \quad \& \quad 2\alpha\beta = \omega RC$$

$$\alpha = \beta = \sqrt{[\omega RC/2]} \quad (13)$$

Av dette følger:

$$|\gamma| = \sqrt{[\alpha^2 + \beta^2]} = \sqrt{[\omega RC]} \quad (14)$$

Dette gir følgende resulterende spenning i enden av en L km lang kabel :  
( (12), (13) & (14) innsatt i (11) )

$$\begin{aligned}
 U_L &= u_s J_1 (1/\sqrt{[\omega RC]}) \sqrt{[ 1 - (2e^{-L \sqrt{[\omega RC/2]}} \cos (L \sqrt{[\omega RC/2]}) ) + e^{-2L \sqrt{[\omega RC/2]}} ]} \\
 &= (U_{tot}/L) (1/\sqrt{[\omega RC]}) \sqrt{[ 1 - (2e^{-L \sqrt{[\omega RC/2]}} \cos (L \sqrt{[\omega RC/2]}) ) + e^{-2L \sqrt{[\omega RC/2]}} ]} \\
 &\quad (15)
 \end{aligned}$$

R = ohmsk motstand av parets ledere i parallell  
C = kapasiteten av paret målt mot jord.

Beregninger av reelle verdier vil bli gjort i kappitel 4.4.7.

### 4.3. VURDERING AV NY KABELKONSTRUKSJON

METF-kabelen har halvledende kappe for å gi god avledning fra kabelmantel til jord. Dette gir bedre reduksjonsfaktor for kabelen. Ved forlegning i kabelkanal eller et tilsvarende sted med utilstrekkelig avledning til jord, har ikke den halvledende kappe noen funksjon. (Kabelen ligger så og si isolert fra jord) Dette har i endel tilfeller ført til skader på materiell og misnøye hos de som arbeider med kabelen, på grunn av høye induserte spenninger. I flere tilfeller kan kabelens ytterkappe komme i fysisk kontakt med andre ledere som er forbundet til sporet. Ved bruk av halvledende kappe kan dette gi en parallellforbindelse med sporet som kan hindre skinnebruddindikering. Utover dette har det i mange tilfeller vist seg at kabelen brenner av ved en slik kobling til skinna. Det blir fysisk kontakt mellom kabelmantel og skinnejord gjennom den halvledende kappe. Dette gir avledning for den induserte strømmen i mantelen, men kappe som er halvledende er ikke bygd for så store strømmer gjennom et lite punkt og vil derved brenne av. For å forhindre dette, mener gruppa at det bør legges kabel med isolerende ytterkappe på alle elektrifiserte strekninger der kabelen skal forlegges i kabelkanal.

Som nevnt i avsnitt 3.2.3, er styrken til METF-kabelen den kontinuerlige kontakten til jord. En kabel med isolert ytterkappe må nødvendigvis ha gode jordingspunkter for å oppvise de samme egenskaper som METF-kabelen forlagt i god jord. I avsnitt 4.4.2 er METF-kabelen og en tilsvarende oppbygd kabel med isolert ytterkappe sammenlignet. Det viser seg at en isolert kabel skal punktjordes meget hyppig og med en meget lav overgangsmotstand til jord for å ha de samme gode egenskapene METF-kabelen har ved forlegning i kontinuerlig kontakt med jordsmonnet.

I den forbindelse ble det foreslått å se nærmere på forholdet mellom materialmengde i armering og mantel. Ved å øke aluminiumstverrsnittet i mantelen vil kabelens ohmske motstand reduseres og derved mantelstrømmen økes. Økt mantelstrøm gir igjen en bedre reduksjonsfaktor. Imidlertid gikk prosjektgruppa ikke inn på en slik vurdering, da dagens kabelkonstruksjon er et resultat av flere års arbeid med å finne det gunstigste forholdet mellom aluminium og jern i kabelen ut ifra en funksjonsmessig og økonomisk synsvinkel. Utover dette er det også klart at det springende punkt i arbeidet med å oppnå best mulig reduksjonsfaktor ligger i overgangsmotstanden mellom mantel og jord. Hvis en ikke kan sikre en god avledning til jord, hjelper det forholdsvis lite med lav ohmsk motstand i mantelen. Det er langt mer å hente ved å legge arbeid og penger i bedre jordinger. Forslaget om vurdering av forholdet aluminium og jern må imidlertid ikke overses, da det har sin helt klare effekt på kabelens reduksjonsfaktor.

Ut fra disse vurderingene har gruppa kommet fram til en ny kabelkonstruksjon der den eneste forandringen blir å bytte ut den halvledende kappe på METF-kabelen med en isolerende kappe. Kabelens betegnelse blir da METE.

Det har vært diskutert hvor kraftig denne isolerende kappe bør være. EB Norsk Kabel hevder imidlertid at den isolerende kappe tåler 40 000 V uten at det blir gjennomslag. Dette er mer enn godt nok for NSBs bruk av kabelen.

Det har også vært vurdert å legge METE-kabel uansett forlegningsmetode. I kanal er METE-kabel det naturlige valget, men også der kabelen skal forlegges direkte i jord vil det være fordelaktig med isolerende kappe. NSB har idag krav til at alt utstyr/gjenstander nærmere enn 5m fra sporet skal jordes til skinnejord. Dette fører til en rekke ledere mellom slike gjenstander og sporet. Idag isoleres de fleste av disse lederne, men det ligger fortsatt mye uisolert i bakken. En METF-kabel med sin halvledende kappe vil da kunne komme i kontakt med disse. Dette kan føre til avbrenning av telekabelen, samt hindring av skinnebruddindikering pga direkte parallellkobling til sporet. Imidlertid har METF-kabelen langt bedre egenskaper enn METE-kabelen ved slik forlegning. Det foreslås derfor at man fortsetter å benytte METF-kabel ved slik forlegning, men at det i tillegg systematisk må benyttes isolerte ledere for å koble gjenstander til skinnejord. For ledere som idag allerede ligger der, må det systematisk byttes ut med isolerte ledere.

Videre har det vært diskutert hvordan METE-kabelen skal kunne skilles fra en METF-kabel når kablene er lagt i kanal. Det har vært forslag om å benytte en annen farge på ytterkappa, samt merke kabelen med egen farge på skriften. EB Norsk kabel advarer mot å benytte en annen farge enn sort. Det er aske i den sorte ytterkappen som beskytter mot UV-stråling. Hvis det benyttes kappe uten denne beskyttelsen kan ikke kabelfabrikkene garantere en levealder på 30-40 år, da det alltid er fare for at kabelen skal kunne bli utsatt for sollys over lenger tid. Prosjektgruppen anbefaler derfor at METE-kabelen merkes med rød skrift, mens den sorte fargen på kappe beholdes. METF-kabelen har hvit skrift.

#### **4.4. PUNKTJORDING AV KABELMANTEL - HYPPIGHET.**

Det er tidligere nevnt at kabelens reduksjonsfaktor er sterkt avhengig av kabelens overgangsmotstand til jord.

Begrunnelsen for de krav som settes til jordingshyppigheten kan deles opp i følgende punkter:

- NSB og andre administrasjoners jordingsforskrifter.
- Samlet jordingsmotstand ved punktjording av kabelmantel i forhold til kabel med halvledende kappe forlagt i god jord.
- Jordingshyppighet på grunnlag av støybegrensing.
- Induserte langspenninger.

##### **4.4.1. NSB og andre administrasjoners jordingsforskrifter**

Dagens jordingspraksis ved NSB, er jording i hver ende av kabelen. NSB har ingen spesielle forskrifter til jording av METF-kabel forlagt i kabelkanal.

Televerket har retningslinjer for jording av kabel ved forlegning der man ikke har kontinuerlig avledning til jord. "Hvis metallmantelen ikke har kontinuerlig avledning til jord, bør den punktjordes for ca. hver 200 m." (Retningslinjer for jordkabelanlegg. Teledirektoratet, kabelkontoret. 1981) Hvilken jordingsmotstand det kreves ved denne punktjordingen har prosjektgruppen ikke funnet ut, men uoffisielle kilder mener at det kreves omkring 50  $\Omega$  pr. punkt.

Televerket har lagt noe METE-kabel i forbindelse med tunneler og kraftverk. Dette av samme grunn som prosjektgruppen har skissert.

Banverket i Sverige er i ferd med å utvikle en ny kabelkonstruksjon for forlegning i jord. Denne har metallkappe ytterst (dvs fullstendig ledende ytterkappe) som er punktvis koblet til aluminiumsmantelen ved hver 700 m. Dette er sjeldnere jording enn det Televerket krevde, men samtidig oppnår de en langt lavere samlet overgangsmotstand til jord ved den ledende ytterkappen.

#### 4.4.2. Samlet jordingsmotstand ved punktjording av kabelmantel i forhold til kabel med halvledende kappe forlagt i god jord.

Følgende tabeller viser hvilken samlet overgangsmotstand til jord en kan oppnå med ulike punktvisse jordingsmotstander, for jording i hver skjøt og jording i annenhver skjøt.

Beregningene er gjort ut fra følgende forhold:

$$* \text{ Avledning pr. km} = (\text{Antall jordingspunkt pr. km}) / (\text{Jordingsmotstand pr. punkt})$$

$$* \text{ Samlet jordingsmotstand} = 1 / [ (\text{Avledning pr km}) (\text{km}) ]$$

TABELL 1: METE-kabel jordet i hver skjøt (dvs. hver 700m):

| Jordingsmotstand per jordingspunkt | Avledning per km | Samlet jordingsmotstand for strekning. |         |
|------------------------------------|------------------|--|---------|
|                                    |                  | 5 km                                   | 40 km   |
| 30 Ω                               | 0,048 Siemens    | 4,2                                    | 0,53 Ω  |
| 50 Ω                               | 0,029 Siemens    | 7,0                                    | 0,88 Ω  |
| 100 Ω                              | 0,014 Siemens    | 14,0                                   | 1,75 Ω  |
| 200 Ω                              | 0,007 Siemens    | 28,0                                   | 3,50 Ω  |
| 300 Ω                              | 0,005 Siemens    | 42,0                                   | 5,25 Ω  |
| 500 Ω                              | 0,003 Siemens    | 70,0                                   | 8,75 Ω  |
| 1000 Ω                             | 0,001 Siemens    | 140,0                                  | 17,50 Ω |

TABELL 2: METE-kabel jordet i annenhver skjøt (dvs. hver 1400m):

| Jordingsmotstand per jordingspunkt | Avledning per km | Samlet jordingsmotstand for strekning. |         |
|------------------------------------|------------------|--|---------|
|                                    |                  | 5 km                                   | 40 km   |
| 30 Ω                               | 0,024 Siemens    | 8,4                                    | 1,05 Ω  |
| 50 Ω                               | 0,014 Siemens    | 14,0                                   | 1,75 Ω  |
| 100 Ω                              | 0,007 Siemens    | 28,0                                   | 3,50 Ω  |
| 200 Ω                              | 0,004 Siemens    | 50,0                                   | 7,00 Ω  |
| 300 Ω                              | 0,002 Siemens    | 84,0                                   | 10,05 Ω |
| 500 Ω                              | 0,001 Siemens    | 140,0                                  | 17,50 Ω |
| 1000 Ω                             | 0,001 Siemens    | 280,0                                  | 35,00 Ω |



METF: Samlet overgangsmotstand til jord ved forlegning i kontinuerlig kontakt med jordsmonnet.

Forusatt: Jordmotstand: 2500Ω/m  
 Kabellengde: 40 km  
 Kabeldiameter: 17 mm  
 Forlegningsdybde: 0.8 m

$$R_j = \frac{2500\Omega/m}{\pi * 40\,000m} * \ln\left(\frac{40\,000m * 2}{\sqrt{(0.017m * 0.8m)}}\right) = 0.27\Omega$$

For å oppnå den samme samlede jordingsmotstanden for METE-kabel (isolert kappe) eller METF-kabel (halvledende kappe) forlagt i kanal, må kabelmantelen punktjordes ofte. Følgende tabell viser hvor ofte det må jordes ut ifra en gjennomsnittlig jordingsmotstand pr. punkt.

TABELL 3: Nødvendig jordingshyppighet på METE-kabel for å oppvise METF-kabelens egenskaper

| Jordingsmotstand per jordingspunkt | Antall jordingspunkter per km. | Lengde mellom jordingspunkter |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 10 Ω                               | 1,0 /km                        | 1000m                         |
| 30 Ω                               | 2,8 /km                        | 350m                          |
| 50 Ω                               | 4,6 /km                        | 200m                          |
| 100 Ω                              | 9,4 /km                        | 100m                          |
| 200 Ω                              | 18,7 /km                       | 50m                           |

Tabell 3 viser at en isolert kabel skal punktjordes meget hyppig og med meget lav jordingsmotstand for å ha de samme gode egenskapene METF-kabelen har ved forlegning i godt ledende jordsmonn.

#### 4.4.3. Jordingshyppighet på grunnlag av støybegrensing.

Dette emnet har vært lite vurdert av prosjektgruppen. Det er i hovedsak begrensning av farespenninger som det er tatt hensyn til, da det er her misnøyen og problemene har vært størst. Det foreslås imidlertid at det settes av midler til en nærmere vurdering av tiltak for å begrense eksternt støy på kabelen.

Kabler som ligger parallellført med sporet vil ligge i det magnetiske nærfeltet til kontaktledningsstrømmen. Dette vil indusere langspenninger på lederne i kjernen av kabelen. Under normal drift inneholder kontaktledningsstrømmen en mengde høyfrekvente komponenter på grunn av

styringer og reguleringer i lokomotivet. Disse høyfrekvente komponentene vil også induseres på tilsvarende måte over på lederne i kabelkjernen.

Hvis lederne i et kabelpar har ulik kapasitiv kobling til jord, vil de høyfrekvente komponentene forårsake tverrspanning mellom lederne i paret. Tverrspanning legger seg direkte på signaler i samme frekvensområde og kan ikke fjernes når det først har lagt seg på signalet.

Det er viktig å sikre en god reduksjonsfaktor for å begrense den induserte langspenningen. Utover dette vil regelmessig bruk av skilletransformatorer stoppe de langspenninger som likevel induseres på parene.

Idag er dessuten kabelen meget godt balansert, så tverrspanningene som er forårsaket av kontaktledningsstrømmen ligger i praksis innenfor CCITT's grenser.

#### 4.4.4. Punktjording av kabelmantel - diskusjon/konklusjon

Kabel av type METF og METE blir fra fabrikken levert i 700 m lengder. Av praktiske hensyn har gruppa kommet til at det bør punktjordes i skjøter. Punktjordinger andre steder enn ved skjøter betyr at kappa må åpnes. Dette kan i sin tur føre til kabelfeil. Det er derfor foretatt beregninger og vurderinger for punktjording enten i hver skjøt (dvs. for hver 700 m) eller i annenhver skjøt (dvs for hver 1400 m).

Ut fra de beregninger som er gjort foreslår gruppa at det bør jordes for hver 700 m. (Beregninger som er gjort av induserte langspenninger i kap 4.4.7. ligger også til grunn for denne beslutningen)

#### 4.4.5. Grenseverdier for induktiv kopling

Televerket har følgende krav til induktiv kopling i en telefonlinje som er nærført et høyspenningsanlegg:

- "a) Under normale driftsforhold tillates maksimalt 60 V indusert langspenning i en **telefonlinje**. Denne grensen kan når det er absolutt påkrevet, heves til 150 V. Med **varige spenninger** høyere enn 60 V må det foreligge spesiell instruks for arbeid i nettet, og materiell og linjer må tydelig merkes med farespenningsvarsel.
- b) Ved jordslutning i høyspenningsanlegg med høy drifssikkerhet (direkte jordet nullpunkt), og utkoblingstid under 500 ms, er grensen for tillatt langspenning i nærført telefonlinje 650 V. Ved jordfeil i andre høyspenningsanlegg er grensen satt til 430 V. I et kabelanlegg uten avgreining tillates en langsspenning på 1200 V når kabelen har galvanisk skille i strekningens endepunkter, og langspenningen er forårsaket av jordslutning i et høyspenningsanlegg med høy driftssikkerhet."

(Utdrag av Televerkets Sikringsforskrift, T3-G2)

NSBs utkoblingstid ved jordslutning ligger på ca. 200 ms. Imidlertid er det større fare for jordslutning i og med at det ofte forekommer at strømvtageren river ned kontaktledningen. Vi bør derfor ta utgangspunkt i å overholde 430 V ved jordslutning.

De kravene som er satt er i første rekke for å ivareta personsikkerheten. Vi forstår det imidlertid slik at et kabelbrudd på telekabelen ikke kan regnes som normal drift. Her forventes det at alt personalet som kan komme i berøring med kabel er kyndige fagfolk som vet hvordan denne type kabel skal behandles. Det er viktig ved ethvert arbeid på denne type kabler, at kabelen jordes på hver side av det stedet man arbeider. Videre må det ved brudd på kabel sørges for at mantelendene sammenkobles.

#### 4.4.6. Reell reduksjonsfaktor

En kabels reduksjonsfaktor er forholdet mellom den induserte spenning i lederne i en kabel og den spenning som ville blitt indusert i en ubeskyttet leder på samme sted. (Nærmere beskrivelse av virkemåten til kabler med reduksjonsfaktor er gitt i avsnitt 3.2.3.)

Generelt kan reduksjonsfaktoren uttrykkes slik:

$$K = R_m / Z_k \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{der } R_m &= \text{Mantelens likestrømsmotstand} \\ Z_k &= \text{Armeringens impedans} \end{aligned}$$

Dette er imidlertid et ideelt uttrykk for reduksjonsfaktoren, der det forutsettes at kabelens overgangsmotstand til jord er lik  $0 \Omega$ . Da dette aldri vil være tilfelle, må det tas hensyn til kabelens samlede jordingsmotstand ( $R_j$ ). Uttrykket for reduksjonsfaktor (16) blir da som følger:

$$K = \frac{R_m * 1 + R_j}{Z_k * 1 + R_j} \quad (17)$$

I bilag 3 vises den ideelle reduksjonsfaktor for en 30 par METE - kabel. Denne kurven må justeres for å ta hensyn til jordingsmotstanden. Den ideelle reduksjonsfaktoren er som nevnt kun avhengig av armering- og mantels likestrømsmotstand og impedans. Armeringens impedans vil variere med frekvens og påtrykt spenning. Likestrømsmotstanden vil være konsentrert til mantelens ohmske motstand og den er konstant.

Videre beregningsgrunnlag:

- Spesifikk motstand for aluminium =  $0,0286 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- Diameter på Al-tråd (30 par) =  $1,6 \text{ mm}$
- Antall Al-tråder =  $42$

$$\text{Totalt Al-tverrsnitt} = 42 \pi (0,8 \text{ mm})^2 = 84,45 \text{ mm}^2$$

Mantelmotstand pr. km:

$$R_m = \frac{0,0286 \Omega\text{mm}^2/\text{m}}{84,45 \text{ mm}^2} = 0,339 \Omega/\text{km}$$

Armeringens impedans pr km:

$$Z_k = R_m / K$$

Armeringens impedans pr. km er vist i graf i bilag 4. Den er beregnet utifra mantelmotstand og kurve for reduksjonsfaktor for METE -kabel.

På bakgrunn av den informasjon vi nå har om  $R_m$  og  $Z_k$  kan den reelle reduksjonsfaktor beregnes ut ifra ulike jordingsmotstander og ulikt påtrykk:

$$K = \frac{R_m * l + R_j}{Z_k * l + R_j}$$

Tabell 4 - 6 angir den reelle reduksjonsfaktor ved jording for hver 700 m. For påtrykt spenning er det tatt utgangspunkt i maksimalt 275 V induisert spenning under normal drift, og 860 V induisert spenning ved kortslutning. Ved bruk av returledning er det gjort en forutsetning om at dette i snitt reduserer påtrykket til 1/10 av det opprinnelige påtrykket.

TABELL 4: Punktvis jordingsmotstand: 100  $\Omega$ , dvs. avledning pr. km: 0,014 Siemens

| Avstand til omf. st. | Samlet $R_j$  | Påtrykt spenning v/ normal drift |       | Påtrykt spenning v/ kortslutning |       | Red. faktor v/ normal drift |       | Red. faktor v/ kortslutning |       |
|----------------------|---------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
|                      |               | u/ RL                            | m/ RL | u/ RL                            | m/ RL | u/ RL                       | m/ RL | u/ RL                       | m/ RL |
| 2 km                 | 35,0 $\Omega$ | 138 V                            | 14 V  | 430 V                            | 43 V  | 0,92                        | 0,95  | 1,00                        | 0,93  |
| 4 km                 | 17,5 $\Omega$ | 69 V                             | 7 V   | 215 V                            | 22 V  | 0,71                        | 0,91  | 0,93                        | 0,83  |
| 6 km                 | 11,7 $\Omega$ | 46 V                             | 5 V   | 143 V                            | 14 V  | 0,64                        | 0,85  | 0,61                        | 0,73  |
| 8 km                 | 8,8 $\Omega$  | 34 V                             | 3 V   | 108 V                            | 11 V  | 0,53                        | 0,90  | 0,40                        | 0,70  |
| 10 km                | 7,0 $\Omega$  | 28 V                             | 3 V   | 86 V                             | 9 V   | 0,47                        | 0,87  | 0,30                        | 0,64  |
| 12 km                | 5,8 $\Omega$  | 23 V                             | 2 V   | 72 V                             | 7 V   | 0,45                        | 0,93  | 0,30                        | 0,64  |
| 15 km                | 4,7 $\Omega$  | 18 V                             | 2 V   | 57 V                             | 6 V   | 0,41                        | 0,91  | 0,30                        | 0,59  |
| 20 km                | 3,5 $\Omega$  | 14 V                             | 1 V   | 43 V                             | 4 V   | 0,38                        | 0,95  | 0,28                        | 0,59  |
| 25 km                | 2,8 $\Omega$  | 11 V                             | 1 V   | 34 V                             | 3 V   | 0,42                        | 0,98  | 0,26                        | 0,63  |
| 30 km                | 2,3 $\Omega$  | 9 V                              | 1 V   | 29 V                             | 3 V   | 0,42                        | 0,98  | 0,26                        | 0,62  |

(RL - returledning, dvs 1/10 induksjon)

TABELL 5: Punktvis jordingsmotstand: 200  $\Omega$ , dvs. avledning pr. km: 0,007 Siemens

| Avstand til omf. st. | Samlet $R_j$  | Påtrykt spenning v/ normal drift |       | Påtrykt spenning v/ kortslutning |       | Red. faktor v/ normal drift |       | Red. faktor v/ kortslutning |       |
|----------------------|---------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
|                      |               | u/ RL                            | m/ RL | u/ RL                            | m/ RL | u/ RL                       | m/ RL | u/ RL                       | m/ RL |
| 2 km                 | 70,0 $\Omega$ | 138 V                            | 14 V  | 430 V                            | 43 V  | 0,96                        | 0,98  | 1,00                        | 0,97  |
| 4 km                 | 35,0 $\Omega$ | 69 V                             | 7 V   | 215 V                            | 22 V  | 0,83                        | 0,95  | 0,96                        | 0,90  |
| 6 km                 | 23,0 $\Omega$ | 46 V                             | 5 V   | 143 V                            | 14 V  | 0,77                        | 0,92  | 0,74                        | 0,83  |
| 8 km                 | 17,5 $\Omega$ | 34 V                             | 3 V   | 108 V                            | 11 V  | 0,67                        | 0,91  | 0,54                        | 0,81  |
| 10 km                | 14,0 $\Omega$ | 28 V                             | 3 V   | 86 V                             | 9 V   | 0,60                        | 0,87  | 0,41                        | 0,75  |
| 12 km                | 11,7 $\Omega$ | 23 V                             | 2 V   | 72 V                             | 7 V   | 0,57                        | 0,89  | 0,40                        | 0,74  |
| 15 km                | 9,3 $\Omega$  | 18 V                             | 2 V   | 57 V                             | 6 V   | 0,51                        | 0,87  | 0,39                        | 0,70  |
| 20 km                | 7,0 $\Omega$  | 14 V                             | 1 V   | 43 V                             | 4 V   | 0,45                        | 0,94  | 0,35                        | 0,67  |
| 25 km                | 5,6 $\Omega$  | 11 V                             | 1 V   | 34 V                             | 3 V   | 0,47                        | 0,98  | 0,31                        | 0,77  |
| 30 km                | 4,7 $\Omega$  | 9 V                              | 1 V   | 29 V                             | 3 V   | 0,46                        | 0,98  | 0,30                        | 0,75  |

(RL - returledning, dvs 1/10 induksjon)

TABELL 6: Punktvis jordingsmotstand: 300 Ω, dvs. avledning pr. km: 0,0048 Siemens

| Avstand til omf. st. | Samlet Rj | Påtrykt spenning v/ normal drift |      | Påtrykt spenning v/ kortslutning |      | Red. faktor v/ normal drift |      | Red. faktor v/ kortslutning |      |
|----------------------|-----------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
|                      |           | u/RL                             | m/RL | u/RL                             | m/RL | u/RL                        | m/RL | u/RL                        | m/RL |
| 2 km                 | 105,0 Ω   | 138 V                            | 14 V | 430 V                            | 43 V | 0,97                        | 0,98 | 1,00                        | 0,98 |
| 4 km                 | 352,5 Ω   | 69 V                             | 7 V  | 215 V                            | 22 V | 0,88                        | 0,97 | 0,97                        | 0,93 |
| 6 km                 | 35,0 Ω    | 46 V                             | 5 V  | 143 V                            | 14 V | 0,83                        | 0,94 | 0,82                        | 0,88 |
| 8 km                 | 26,3 Ω    | 34 V                             | 3 V  | 108 V                            | 11 V | 0,74                        | 0,93 | 0,65                        | 0,86 |
| 10 km                | 21,0 Ω    | 28 V                             | 3 V  | 86 V                             | 9 V  | 0,68                        | 0,94 | 0,50                        | 0,81 |
| 12 km                | 17,5 Ω    | 23 V                             | 2 V  | 72 V                             | 7 V  | 0,65                        | 0,94 | 0,48                        | 0,80 |
| 15 km                | 14,0 Ω    | 18 V                             | 2 V  | 57 V                             | 6 V  | 0,60                        | 0,92 | 0,46                        | 0,78 |
| 20 km                | 10,5 Ω    | 14 V                             | 1 V  | 43 V                             | 4 V  | 0,51                        | 0,95 | 0,40                        | 0,77 |
| 25 km                | 8,4 Ω     | 11 V                             | 1 V  | 34 V                             | 3 V  | 0,52                        | 0,98 | 0,35                        | 0,72 |
| 30 km                | 7,0 Ω     | 9 V                              | 1 V  | 29 V                             | 3 V  | 0,55                        | 0,98 | 0,33                        | 0,67 |

(RL - returledning, dvs 1/10 induksjon)

#### 4.4.7. Krav til jordingsmotstand per punkt

Den spenningen som vil bli indusert på en ubeskyttet leder over en lengde L, kan uttrykkes slik (15) :

$$U_L = (U_{tot}/L) (1/\sqrt{wRC}) \sqrt{[1 - (2e^{-L\sqrt{wRC/2}} \cos(L\sqrt{wRC/2})) + e^{-2L\sqrt{wRC/2}}]}$$

Tallverdier: C = 0,1 μF  
 R = 14 Ω (Sløyfemotstand er 56,1 Ω, men ved beregning av induserte langspenninger ser vi på motstanden av lederne i parallell. Da blir R = 14 Ω)

Tabellene 7 - 12 viser den endelige reduserte spenningen for hele strekningen mellom et tog og omformerstasjonen eller en kortslutning og omformerstasjonen. I tabellene er det tatt hensyn til en kabels reduksjonsfaktor. Det er beregnet hvilken total indusert spenning som vil oppstå på hele strekningen ved ulik lengde med returledning ut fra omformerstasjonen.

Den totale spenningen sett fra enden av kabellengden L vil være summen av den induserte spenningen over strekningen uten returledning og den induserte spenningen over strekningen med returledning. Det må tas hensyn til at den induserte spenningen fra strekningen med returledning vil dempes ytterligere noe over resten av strekningen, dvs strekningen uten returledning.

Matematisk kan dette uttrykkes slik:

$$U = (K_X * U_X) + (K_Y * U_Y * e^{-X \sqrt{wRC}}) \quad (18)$$

S = total induserende lengde  
 X = lengde uten returledning  
 Y = lengde med returledning

$U_X = U_L$  (se uttrykk (15))  
 der  $L = Y$

$U_{tot} = (275 / S) * (S - Y)$  , ved normal drift

$U_{tot} = (860 / S) * (S - Y)$  , ved kortslutning av kontaktledning

$K_X$  = Reduksjonsfaktor for strekning uten returledning, for påtrykt spenning lik  $U_{tot}$  (Red. faktor hentet fra tabellene 4 - 6)

$U_Y = U_L$  (se uttrykk (15))  
 der  $L = (S - Y)$

$U_{tot} = ((275 / S) * Y) / 10$  , ved normal drift

$U_{tot} = ((860 / S) * Y) / 10$  , ved kortslutning av kontaktledning

$K_Y$  = Reduksjonsfaktor for strekning uten returledning, for påtrykt spenning lik  $U_{tot}$  (Red. faktor hentet fra tabellene 4 - 6)

Resultatene gitt i tabellene 7 - 12 er presentert grafisk i bilag 5 - 10.

TABELL 7: Indusert spenning ved normal drift  
**Punktvis jordingsmotstand: 100  $\Omega$ .**

| Avstand fra tog til omf. st. | Resulterende indusert spenning på lederne | Resulterende indusert spenning m/ 5 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 10 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 15 km returledn |
|------------------------------|---|--|---|---|
| 2 km                         | 251 V                                     | 26 V   | 26 V  | 26 V  |
| 4 km                         | 192 V                                     | 25 V   | 25 V  | 25 V  |
| 6 km                         | 172 V                                     | 48 V   | 23 V  | 23 V  |
| 8 km                         | 141 V                                     | 68 V   | 24 V  | 24 V  |
| 10 km                        | 124 V                                     | 74 V   | 23 V  | 23 V  |
| 12 km                        | 118 V                                     | 80 V   | 40 V  | 24 V  |
| 15 km                        | 106 V                                     | 79 V   | 51 V  | 23 V  |
| 20 km                        | 96 V                                      | 79 V   | 61 V  | 43 V  |
| 25 km                        | 104 V                                     | 89 V   | 74 V  | 58 V  |
| 30 km                        | 102 V                                     | 90 V   | 77 V  | 65 V  |

TABELL 8: Indusert spenning ved normal drift  
**Punktvis jordingsmotstand: 200  $\Omega$ .**

| Avstand fra tog til omf. st. | Resulterende indusert spenning på lederne | Resulterende indusert spenning m/ 5 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 10 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 15 km returledn |
|------------------------------|---|--|---|---|
| 2 km                         | 261 V                                     | 26 V   | 26 V  | 26 V  |
| 4 km                         | 224 V                                     | 26 V   | 26 V  | 26 V  |
| 6 km                         | 206 V                                     | 56 V   | 25 V  | 25 V  |
| 8 km                         | 178 V                                     | 83 V   | 25 V  | 25 V  |
| 10 km                        | 158 V                                     | 91 V   | 23 V  | 23 V  |
| 12 km                        | 149 V                                     | 98 V   | 45 V  | 23 V  |
| 15 km                        | 132 V                                     | 97 V   | 60 V  | 23 V  |
| 20 km                        | 114 V                                     | 92 V   | 70 V  | 47 V  |
| 25 km                        | 116 V                                     | 99 V   | 81 V  | 63 V  |
| 30 km                        | 111 V                                     | 98 V   | 84 V  | 70 V  |

TABELL 9: Indusert spenning ved normal drift  
**Punktvis jordingsmotstand: 300  $\Omega$ .**

| Avstand fra tog til omf. st. | Resulterende indusert spenning på lederne | Resulterende indusert spenning m/ 5 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 10 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 15 km returledn |
|------------------------------|---|--|---|---|
| 2 km                         | 264 V                                     | 26 V   | 26 V  | 26 V  |
| 4 km                         | 238 V                                     | 26 V   | 26 V  | 26 V  |
| 6 km                         | 223 V                                     | 59 V   | 25 V  | 25 V  |
| 8 km                         | 196 V                                     | 90 V   | 25 V  | 25 V  |
| 10 km                        | 179 V                                     | 103 V  | 24 V  | 24 V  |
| 12 km                        | 170 V                                     | 111 V  | 50 V  | 24 V  |
| 15 km                        | 155 V                                     | 113 V  | 69 V  | 24 V  |
| 20 km                        | 129 V                                     | 104 V  | 78 V  | 52 V  |
| 25 km                        | 129 V                                     | 109 V  | 89 V  | 68 V  |
| 30 km                        | 133 V                                     | 117 V  | 99 V  | 82 V  |

TABELL 10: Indusert spenning ved kortslutning  
**Punktvis jordingsmotstand: 100  $\Omega$ .**

| Avstand fra kortslutning til omf. st. | Resulterende indusert spenning på lederne | Resulterende indusert spenning m/ 5 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 10 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 15 km returledn |
|---------------------------------------|---|--|---|---|
| 2 km                                  | 853 V                                     | 79 V   | 79 V  | 79 V  |
| 4 km                                  | 787 V                                     | 71 V   | 71 V  | 71 V  |
| 6 km                                  | 512 V                                     | 137 V  | 61 V  | 61 V  |
| 8 km                                  | 333 V                                     | 163 V  | 58 V  | 58 V  |
| 10 km                                 | 247 V                                     | 152 V  | 52 V  | 52 V  |
| 12 km                                 | 245 V                                     | 167 V  | 86 V  | 52 V  |
| 15 km                                 | 242 V                                     | 180 V  | 115 V   | 48 V  |
| 20 km                                 | 221 V                                     | 180 V  | 137 V   | 93 V  |
| 25 km                                 | 201 V                                     | 173 V  | 143 V   | 113 V   |
| 30 km                                 | 197 V                                     | 174 V  | 150 V   | 126 V   |

TABELL 11: Indusert spenning ved kortslutning  
**Punktvis jordingsmotstand: 200  $\Omega$ .**

| Avstand fra kortslutning til omf. st. | Resulterende indusert spenning på lederne | Resulterende indusert spenning m/ 5 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 10 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 15 km returledn |
|---------------------------------------|---|--|---|---|
| 2 km                                  | 853 V                                     | 82 V   | 82 V  | 82 V  |
| 4 km                                  | 812 V                                     | 77 V   | 77 V  | 77 V  |
| 6 km                                  | 621 V                                     | 163 V  | 70 V  | 70 V  |
| 8 km                                  | 449 V                                     | 213 V  | 69 V  | 69 V  |
| 10 km                                 | 338 V                                     | 202 V  | 62 V  | 62 V  |
| 12 km                                 | 327 V                                     | 219 V  | 106 V   | 61 V  |
| 15 km                                 | 315 V                                     | 232 V  | 146 V   | 57 V  |
| 20 km                                 | 276 V                                     | 224 V  | 169 V   | 112 V   |
| 25 km                                 | 240 V                                     | 206 V  | 171 V   | 135 V   |
| 30 km                                 | 227 V                                     | 201 V  | 174 V   | 126 V   |

TABELL 12: Indusert spenning ved kortslutning  
**Punktvis jordingsmotstand: 300  $\Omega$ .**

| Avstand fra kortslutning til omf. st. | Resulterende indusert spenning på lederne | Resulterende indusert spenning m/ 5 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 10 km returledn | Resulterende indusert spenning m/ 15 km returledn |
|---------------------------------------|---|--|---|---|
| 2 km                                  | 853 V                                     | 83 V   | 83 V  | 83 V  |
| 4 km                                  | 820 V                                     | 79 V   | 79 V  | 79 V  |
| 6 km                                  | 688 V                                     | 178 V  | 74 V  | 74 V  |
| 8 km                                  | 540 V                                     | 251 V  | 71 V  | 71 V  |
| 10 km                                 | 412 V                                     | 243 V  | 66 V  | 66 V  |
| 12 km                                 | 392 V                                     | 260 V  | 122 V   | 66 V  |
| 15 km                                 | 371 V                                     | 272 V  | 169 V   | 63 V  |
| 20 km                                 | 316 V                                     | 256 V  | 193 V   | 128 V   |
| 25 km                                 | 271 V                                     | 231 V  | 189 V   | 146 V   |
| 30 km                                 | 250 V                                     | 220 V  | 188 V   | 156 V   |

I en mulig situasjon med kortslutning av kontaktledningen vil vi i hovedsak kunne overholde Televerkets krav til induserte spenninger i en telefonlinje hvis det monteres returledning ut fra omformerstasjonen. Selv hvis kravet skulle senkes fra 650 V til 430 V pga kortslutningshyppigheten ved jernbanen, vil vi kunne overholde kravene.

Beregningene viser at det er ved normal drift det er størst problemer med å overholde Televerkets krav til induserte spenninger i en telefonlinje (se avsnitt 4.4.5.). En må også ha i bakhodet at de beregningene som er gjort er foretatt på grunnlag av en 30 pars kabel. Situasjonen vil være værre for 10 og 20 pars kabler. Et annet problem som må tas med i betraktningen er vanskelighetene med å opprettholde god kontakt med jord om vinteren. Ved frost i bakken vil overgangsmotstanden øke betraktelig. Figur i bilag 11 viser hvordan jordingsmotstanden forandres ved klimaforandringer i de



ulike årstidene. De fleste jordmålingene på jordanlegg blir utført sommerstid. Vinterstid opererer man med helt andre verdier.

Likevel kan man etter all sannsynlighet tro at de verdiene beregningene har gitt ligger godt innenfor det man kan forvente seg i virkeligheten. Det er ved beregningene ikke tatt hensyn til at kabelen ved hver stasjon blir jordet til stasjonens jordingsanlegg. Dette anlegget har krav om jordingsmotstand under  $30 \Omega$ . Har man koblet kabelen til slike jordingsanlegg med jevne mellomrom vil den totale avledningen til jord øke betraktelig. I tillegg til dette vil tosidig mating av kontaktledningsanlegget ha en reduserende effekt på kabelen, samt at kabelen sjelden ligger alene i en kabelkanal. Når det ligger flere kabler i en kabelkanal bedres reduksjonsfaktoren på grunn av kablernes gjensidige påvirkning på hverandre.

For ytterlig å stoppe de induserte langspenningene kan de regelmessig monteres skilletransformator på parene i kabelen. Dette vil imidlertid ikke være mulig på alle par, da det finnes en del likestrømsimpulserte systemer i langlinjekabelen. Her bør linjen seksjoneres med overdrag. Det anbefales av gruppa at denne type samband skiftes ut til nyere teknologi så raskt som mulig.

Prosjektgruppa vil anbefale at det på grunnlag av de beregninger som er gjort, blir montert returledning 10 km ut fra alle omformerstasjoner. Det bør i tillegg monteres skilletransformator for hver 10 km på de par der det elektriske grensesnittet tillater det. Kravet til punktvis jordingsmotstand vil i et slikt tilfelle ligge på 100 - 300  $\Omega$ .

Imidlertid gir beregningene ikke det hele og fulle bilde. Det er ikke tatt hensyn til hva som vil skje hvis kortslutningen forekommer nærmere omformerstasjonen enn siste sugetransformator. I et slikt tilfelle vil ikke returstrømmen gå i returledningen, og med de enorme strømmene som oppstår over en så kort strekning, viser det seg at vi umulig kan overholde noe krav. Dette kan enkelt ses på grafene i bilag 5 - 10, på kurven der en ikke har returledning. Tilsvarende vil det når et tog befinner seg mellom siste sugetransformator og omformerstasjonen ikke være noen hjelp med returledning og det vil følgelig ikke være noen mulighet til å overholde de fastsatte krav.

#### **4.5. JORDING AV KABLER I TUNNELER OG BRUER/OVERGANGER.**

I tunneler som er opp mot 5 km eller lenger, bør det legges en solid isolert kobberledning parallelt med METE-kabelen. Kobberledningen vil på samme måte som mantelen sette opp et magnetisk motfelt til feltet fra kjørestrømmen. Den direkte reduserende effekten av dette er noe begrenset p.g.a. avstanden mellom kabelkjernen og den parallellførte jordledningen relativt sett er stor. Den direkte reduserende effekten vil ligge i området 0,8 - 0,9. For å øke denne reduserende effekten må man sørge for at kobberledningen ligger helt inntil telekabelen. Dette kan f.eks. gjøres ved å tape denne fast til telekabelen, eller sørge for at de ligger nært i en kanal med spiss bunn.

Det kan også sies at jordledningen har indirekte reduserende effekt. Kabelmantelen punktjordes til kobberledningen for hver skjot, noe som bedrer mantelens avledning til jord, og derved også den reelle reduksjonsfaktoren. Både mantel og kobberledning må jordes i hver ende av tunnelen med lavest mulig jordingsmotstand. I tillegg kan en for kraftig kobberledning føre til at størstedelen av strømmen går i denne. Det vil føre til at hovedstrømmen forflytter seg lenger fra kabelkjernen, og reduksjonsfaktoren øker. •

Et tredje punkt som viser viktigheten av en parallellført jordledning er i tilfelle ved kabelbrudd. Jordledningen vil da, såsant den ikke selv er brutt, sikre avledning til jord, og berøringsspenninger blir som tidligere beregnet, i og med at kabelmantel og jordledning har galvanisk kontakt for hver 700 m.

For å sikre stor reduksjon av induserte spenninger i kabelkjernen bør det monteres returledning i tunneler.

Når det gjelder bruer/overganger er disse sjelden så lange at det er behov for noen parallellført jordledning. Men det er her, som i tunneler, meget viktig å sikre et isolert system. For bruer/overganger er det også uhyre viktig at kabelen på alle eksisterende anlegg isoleres fullstendig fra brua/overgangen. Disse er ved de aller fleste tilfeller i galvanisk kontakt med skinnegangen. Hvis det ikke isoleres grundig her, vil en raskt få avbrenning av kabel. På slike strekninger må METF-kabel legges i isolerende rør.

På alle stasjoner er det lagt kabelkanaler fra innkjørsignal og inn til stasjonen. På disse strekningene bør det benyttes METE-kabel, eller hvis det er mer praktisk benytte METF-kabel forlagt i isolerende rør.

**Det er meget viktig at kabelmantel og kabelens jordingsystem holdes fullstendig isolert fra omgivelsene.** NSB har krav til at alt utstyr med ulikt jordingsystem skal jordes minst 7m fra hverandre. Jordledningen må være isolert for ikke å komme i kontakt med andre ledere som er forbundet med sporet. Det bør utarbeides skisser som forklarer hvordan dette skal gjøres i praksis.

#### 4.6. KONKRETE FORSLAG TIL TILTAK.

##### 4.6.1. Kortsiktige tiltak - eksisterende anlegg.

METF-kabel forlagt i kabelkanal, eller på sted med dårlig avledning til jord skal punktjordes i mantel for hver 700 m. Jordingspunktet skal ligge minst 7 m fra spor eller nærmeste jordede utstyr. Jordledning fra kabelmantel til jordingspunktet skal være isolert. Det kreves en overgangsmotstand til jord på 100  $\Omega$ . Hvis overgangsmotstanden til jord overstiger 300  $\Omega$  må dette bedres i.h.t. trykk 506.3. Det betyr at de fleste jordingsmotstandene på en strekning bør ligge rundt 100  $\Omega$ , men det godtas at enkelte punkter ligger på 300  $\Omega$ . I relehus, der kabelen termineres, skal det jordes til det respektive jordnett i.h.t. trykk 506.3. Dvs. krav til 10  $\Omega$  jordingsmotstand. Hvis det overstiger 30  $\Omega$  må jordingsanlegget bedres.

Alle jordledninger som forbinder gjenstander i nærheten av sporet til skinnejord, må isoleres.

I tunneler skal det jordes i hver ende av tunnelen. I tunneler på lengder over 5 km bør det også legges ved en solid isolert jordledning som kobles til kabelmantel for hver skjøt. (hver 700 m) Det bør monteres returledning i tunneler.

METF-kabelen må isoleres alle steder der den kan få fysisk kontakt med skinnejord gjennom den halvledende kappa.

Ved bruer/overganger må METF-kabelen isoleres fra bruonstruksjonen.

Det bør monteres returledning 5 km ut fra alle omformerstasjoner og skilletransformator for hver 10 km på alle par der det elektriske grensesnittet tillater det. Tjenester som i dag blir overført på langlinjekabelen med likestrømsimpulserte systemer kan ikke ha skilletransformator. Her bør linjen seksjoneres for hver 10 km med overdrag. Disse tjenestene bør skifte transmisjonsteknikk.

#### **4.6.2. Langsiktige tiltak - nye anlegg.**

Ved forlegning i kabelkanal eller ved tilsvarende forlegning der avledning til jord er utilstrekkelig, skal det ved alle nye anlegg benyttes kabel med isolerende ytterkappe av type METE. METE-kabelen merkes med rød skrift.

For å oppnå tilfredstillende reduksjonsfaktor ved denne forlegning og denne type kabel, bør mantelen punktjordes for hver 700m. Jordingspunktet skal ligge minst 7 m fra spor eller nærmeste jordede utstyr. Jordledning fra kabelmantel til jordingspunktet skal være isolert. Det kreves en overgangsmotstand til jord på 100  $\Omega$ . Hvis overgangsmotstanden til jord overstiger 300  $\Omega$  må dette bedres i.h.t. trykk 506.3. Det betyr at de fleste jordingsmotstandene på en strekning bør ligge rundt 100  $\Omega$ , men det godtas at enkelte punkter ligger på 300  $\Omega$ . I relehus, der kabelen termineres, skal det jordes til det respektive jordnettet i.h.t. trykk 506.3. Dvs. krav til 10  $\Omega$  jordingsmotstand. Hvis det overstiger 30  $\Omega$  må jordingsanlegget bedres.

I tunneler skal det jordes i hver ende av tunnelen. I tunneler på lengder over 5 km bør det også legges ved en isolert jordledning som kobles til kabelmantel for hver skjot. (hver 700 m) Det bør også monteres returledning i tunneler.

Det er meget viktig at kabelmantel og kabelens jordingsystem holdes fullstendig isolert fra omgivelsene.

Det bør monteres returledning 5 km ut fra alle omformerstasjoner og skilletransformator for hver 10 km på alle par der det elektriske grensesnittet tillater det. Tjenester som i dag blir overført på langlinjekabelen med likestrømsimpulserte systemer kan ikke ha skilletransformator. Her bør linjen seksjoneres for hver 10 km med overdrag. Disse tjenestene bør skifte transmisjonsteknikk.

Ved forlegning i godt ledende jord skal det som tidligere benyttes METF-kabel. På overganger/bruer eller tilsvarende steder der kabelen kan komme i fysisk kontakt med annet jordet utstyr, må kabelen trekkes i isolerende rør. Hvis METF-kabelen på enkelte strekninger blir liggende i kanal i mer enn 1-2 km bør det benyttes METE-kabel.

## **5. KOSTNADER**

### **5.1. TILTAK**

Vi har vurdert kostnader for forskjellige tiltak for å bedre sikkerheten når vi legger kabel i kanal eller på tilsvarende steder hvor det er utilstrekkelig avledning til jord. Det er klart at prisen er viktig for om tiltakene lar seg gjennomføre, men kostnadene må imidlertid ikke gå foran personalets sikkerhet. De summene vi har kommet fram til er langt fra eksakte, men de gir et bilde av hvilke investeringer vi snakker om.

#### **5.1.1. Jordinger.**

Kostnadene vil variere mye etter hvor vi befinner oss i landet og de lokale jordingsforholdene på stedet. Enkelte steder er det bare å slå ned et jordspyd og koble til kabelen. Andre steder må man kanskje jobbe med store jordingsanlegg for å komme ned mot kravet til jordingsmotstand. Det vil f.eks. være store forskjeller mellom Jæren og Finse.

Hvis vi tenker oss et jordingspunkt der vi bare trenger å slå ned et jordspyd for å nå kravet til jordingsmotstand, kan vi kanskje få følgende kostnadsoverslag:

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Materiell                | 150,-        |
| Montasje 2 t à 300 kr    | 600,-        |
| <u>Diverse/utjevning</u> | <u>250,-</u> |

Sum 1.000,-

Hvis vi tenker oss et større jordingsanlegg der det er meget vanskelig å nå kravet til jordingsmotstand, kan vi kanskje få følgende kostnadsoverslag:

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Materiell                | 1.500,-      |
| Montasje 16 t à 300kr    | 4.800,-      |
| <u>Diverse/utjevning</u> | <u>700,-</u> |

Sum 7.000,-

Det vil være meget sjelden at et jordingspunkt vil komme opp i mot en kostnad på 7.000,-. Hvis vi ut fra dette sier at 2.000,- vil være et realistisk tall, vil det gi en kostnad på ca. 3.000,- pr km.

#### **5.1.2. Returledning.**

Kabelen er punktjordet for hver 700 m. For å overholde de krav som Televerket setter til induserte langsspenninger, må vi bygge returledning 5 km ut fra hver matestasjon. Dette vil redusere berøringsspenningen på mantelen mye (størrelsesorden 90%).

Kostnadene med å bygge returledning vil hvis vi tar med ledning, isolatorer, festejern og nedføring bli ca. 140.000,- pr km. Hvis det i tillegg må settes opp nye KL-master til 10.000,- pr stk, vil summen bli omkring 300.000,- pr km.

**5.1.3. Skilletransformator.**

Ved kabelbrudd der kabelen er slitt helt av, vil det være mulig å komme i berøring med lederne i kabelen. Den induserte spenningen som oppstår på lederne kan bli meget store. Skal vi dempe langsspenningene på parene må vi sette inn skilletrafoer med jevne mellomrom.

For en 30 par vil kostnadene for skilletrafo bli:

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| 30 stk trafoer à kr 800,- | 24.000,-        |
| Montasje 7 t à 300 kr     | 2.100,-         |
| Diverse/utjevning         | 900,-           |
| <u>Totalt</u>             | <u>27.000,-</u> |

Ut fra det som er beskrevet tidligere, vil skilletrafoer koste 2 700,- pr km:

**5.1.4. METF - METE.**

Det er vurdert å legge METE både ved forlegning i kanaler og i bakken. Når METE legges i bakken får vi på grunn av den isolerende kappa ingen avledning til jord. Vi får kostnader med å legge isolerte jordledninger for hver 700 m. Vi må imidlertid trekke fra de reduserte kabelkostnadene vi får ved å kjøpe METE i steden for METF. Forskjellen er i dag 4 - 5 kr/m. Det blir 4.000 - 5.000 kr pr km, et ikke ubetydelig beløp. I tillegg slipper vi kostnader med å isolere mastejordinger og o.l. jord. Disse kostnadene vil ikke være til stede over alt da slik jord ofte er isolert på nyere anlegg. Det vil ikke være ofte et jordingspunkt vil koste så mye som 5.000,- Det vil være billigere å legge METE enn METF de fleste steder, men METE-kabelen har heller ikke så gode egenskaper.

## 6. MÅLING AV PRØVEKABEL

### 6.1. BAKGRUNN OG FORMÅL MED MÅLING

Det ble forholdsvis tidlig i prosjektet avgjort at det ved forlegning i kabelkanaler eller på tilsvarende steder med dårlig avledning til jord skulle legges kabel med isolerende ytterkappe, METE-kabel. Videre ble det bestemt at kabelmantelen måtte punktjordes for hver 700 m for å sikre kabelens reduksjonsfaktor.

Det ble i den forbindelse kjøpt inn en 3 km lang prøve kabel for å teste kabelen og for å verifisere de beregninger som var foretatt. Prøvekabelen var av typen L30 - 0,9 METE - 45P B0,8

Som målestrekning ble Sandnes - Gandal valgt. Dette ble gjort i hovedsak fordi strekningen er forholdsvis lite trafikert, og det var muligheter for kortslutningsmålinger på strekningen. Målingene ble foretatt 28.11.91 kl 22.30 - 29.11.91 kl 00.30.

### 6.2. MÅLEOPPSETT OG MÅLEPROSEDYRE

Kontaktledningsanlegget ble kjørt fra 5,8 MVA omformer aggregat i Gandal omformerstasjon. I Stavanger ble kontaktledningen kortsluttet til skinnegangen. Omformer aggregatet ble styrt på Gandal og for hver måling ble det etter tur matet ut 300 A, 400 A, 500 A og 600 A.

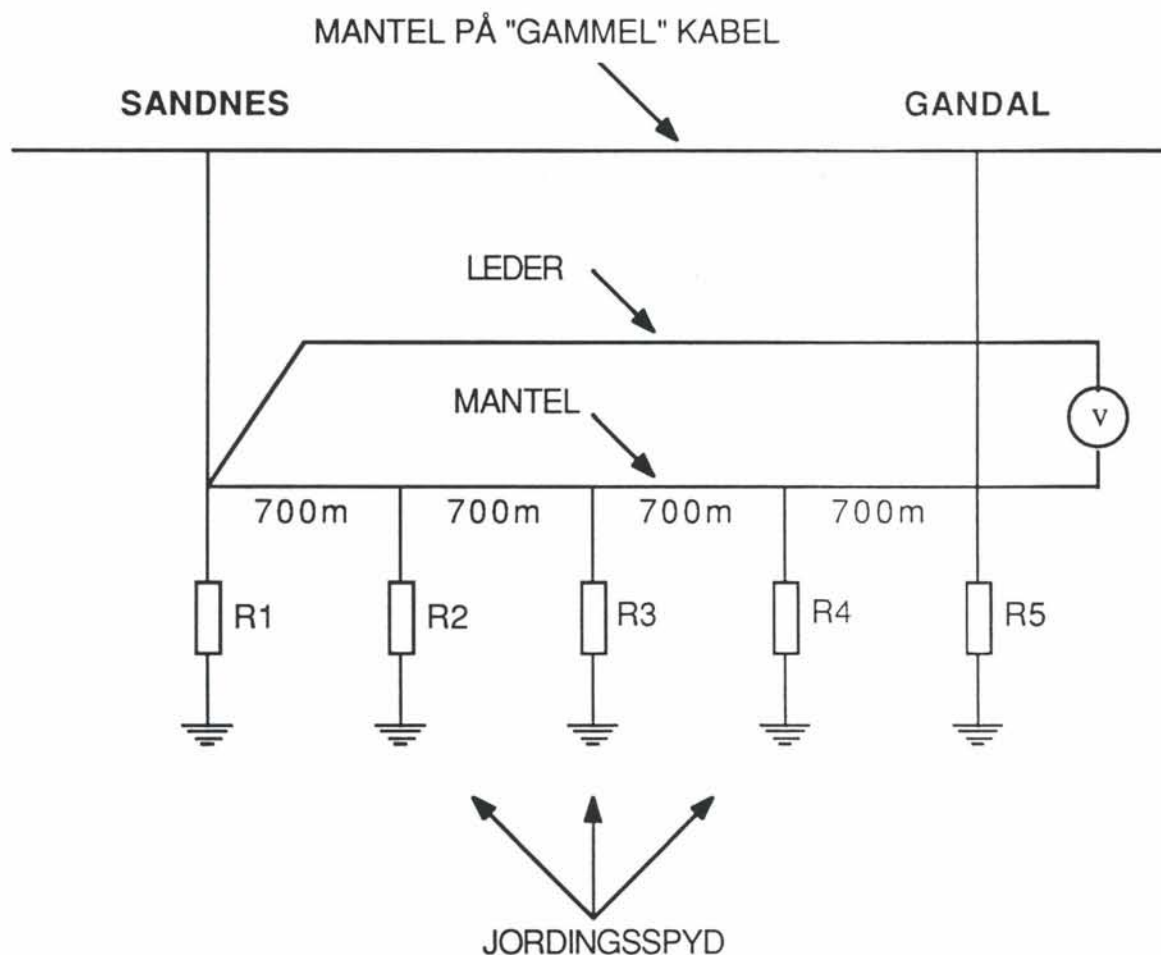


Fig. 6: Måleoppsett

Figur 6 viser måleoppsettet. I hver ende ble mantelen på prøvekabelen koblet til mantelen på en gammel kabel som ligger i bakken. Dette ble gjort for å sikre reelle forhold der kabelen forsetter videre. I Sandnes og Gandal ble også kabelmantelen koblet til stasjonens jordingsanlegg. Mellom Sandnes og Gandal ble kabelmantelen punktjordet for hver 700 m. Her bestod jordingen i et jordingsspyd. Ett par ble koblet til jord i Sandnes og det ble målt på andre enden av paret i Gandal. Prøvekabelen var 3 km lang, men pga at det på stasjonen går flere spor som kontaktledningsstrømmen vil fordele seg på, vil den påtrykte spenningen på kabelen bli langt mindre. Vi kan regne en effektiv lengde på ca 2,6 km.

Følgende målinger ble utført:

#### MÅLING 1

Måling av overgangsmotstand til jord i hvert jordingspunkt.

#### MÅLING 2

Måling av indukert spenning på leder med kabelmantel punktjordet for hver 700 m. Kabelmantelen jordes i endene både til eget jordingsanlegg og til kabelmantel på eksisterende "gammel" kabel som ligger forlagt i jord. Underveis punktjordes mantel til jordingsspyd for hver 700 m. Jordingsspydene skal slås ned minst 7 m fra sporet eller fra nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende, mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

#### MÅLING 3

Måling av indukert spenning på leder med kabelmantel punktjordet for hver 1400 m (Jordingspunkt R2 og R4 bortfaller). Kabelmantelen jordes i endene både til eget jordingsanlegg og til kabelmantel på eksisterende "gammel" kabel som ligger forlagt i jord. Underveis punktjordes mantel til jordingsspyd for hver 1400 m. Jordingsspydene skal slås ned minst 7 m fra sporet eller fra nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende, mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

#### MÅLING 4

Måling av indukert spenning på leder med kabelmantel punktjordet i hver ende (Jordingspunkt R2, R3 og R4 bortfaller). Kabelmantelen jordes i endene både til eget jordingsanlegg og til kabelmantel på eksisterende "gammel" kabel som ligger forlagt i jord. Jordingsspydene skal slås ned minst 7 m fra sporet eller fra nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende, mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

#### MÅLING 5

Måling av indukert spenning på leder med kabelmantel jordet i kun en ende - den motsatte enden er åpen (Jordingspunkt R2, R3, R4, og R5 bortfaller). Forbindelsen til "gammel" kabelmantel fjernes i begge ender. Kabelmantelen beholdes tilkoblet til jordingsanlegget i Sandnes.

Leder jordes i en ende (samme ende som kabelmantel jordes), mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

### 6.3. MÅLERESULTATER

#### MÅLING 1

Jordingsmotstanden ble målt til følgende verdier i de respektive jordingspunktene.

$$R1 = 5 \Omega \text{ (Sandnes)}$$

$$R2 = 1000 \Omega$$

$$R3 = 250 \Omega$$

$$R4 = 200 \Omega$$

$$R5 = 15 \Omega \text{ (Gandal)}$$

Måling av jordingsmotstand på jordingsanlegget på Sandnes og Gandal stasjon ble foretatt sommeren 1991

#### MÅLING 2 - 5

Tabell 13 viser målte verdier fra måling 2 - 5:

TABELL 13: Måleresultater.

| KL-strøm | MÅLING 2 | MÅLING 3 | MÅLING 4 | MÅLING 5 |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 300 A    | 5,0 V    | 5,0 V    | 5,0 V    | 13,5 V   |
| 400 A    | 6,2 V    | 6,2 V    | 6,2 V    | 17,2 V   |
| 500 A    | 7,4 V    | 7,4 V    | 7,4 V    | 21,0 V   |
| 600 A    | 8,4 V    | 8,5 V    | 8,6 V    | 24,4 V   |



## 6.4. SAMMENLIGNING AV FORVENTEDE OG MÅLTE VERDIER

### MÅLING 2

Måling av indusert spenning på leder med kabelmantel punktjordet for hver 700 m. Kabelmantelen jordes i endene både til eget jordingsanlegg og til kabelmantel på eksisterende "gammel" kabel som ligger forlagt i jord. Underveis punktjordet mantel til jordingsspyd for hver 700 m. Jordingsspydene skal slås ned minst 7 m fra sporet eller fra nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende, mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

### Samlet jordingsmotstand:

$$R_{j2} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + 1/R_5}$$

$$= \frac{1}{1/5\Omega + 1/1000\Omega + 1/250\Omega + 1/200\Omega + 1/15\Omega} = 3,61\Omega$$

### Uredusert spenning:

$$V_2 = (\text{KL-strøm}) * (2,6 \text{ km}) * (0,017 \text{ V/Akm})$$

### Reduksjonsfaktor:

$R_m$  og  $Z_k$  er beregnet i avsnitt 4.4.6.

$$K_{300} = \frac{R_m * l + R_{j2}}{Z_{300} * l + R_{j2}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,61}{0,75 * 2,6 + 3,61} = 0,808$$

$$K_{400} = \frac{R_m * l + R_{j2}}{Z_{400} * l + R_{j2}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,61}{0,84 * 2,6 + 3,61} = 0,775$$

$$K_{500} = \frac{R_m * l + R_{j2}}{Z_{500} * l + R_{j2}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,61}{0,9 * 2,6 + 3,61} = 0,755$$

$$K_{600} = \frac{R_m * l + R_{j2}}{Z_{600} * l + R_{j2}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,61}{0,95 * 2,6 + 3,61} = 0,739$$

Redusert spenning:

$$V_{2\text{red}} = V_2 * K_x$$

TABELL 14: Forventede og målte verdier.

| KL-strøm | Forventet uredusert spenning $V_2$ | Forventet induisert spenning $V_{2\text{red}}$ | Målte verdier |
|----------|------------------------------------|--|---------------|
| 300 A    | 13,26 V                            | 10,71 V  | 5,0 V         |
| 400 A    | 17,68 V                            | 13,70 V  | 6,2 V         |
| 500 A    | 22,10 V                            | 16,69 V  | 7,4 V         |
| 600 A    | 26,52 V                            | 19,60 V  | 8,4 V         |

### MÅLING 3

Måling av induisert spenning på leder med kabelmantel punktjordnet for hver 1400 m (Jordingspunkt R2 og R4 bortfaller). Kabelmantelen jordes i endene både til eget jordingsanlegg og til kabelmantel på eksisterende "gammel" kabel som ligger forlagt i jord. Underveis punktjordes mantel til jordingspyd for hver 1400 m. Jordingspydene skal slås ned minst 7 m fra sporet eller fra nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende, mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

Samlet jordingsmotstand:

$$R_{j3} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_3 + 1/R_5}$$

$$= \frac{1}{1/5\Omega + 1/250\Omega + 1/15\Omega} = 3,70\Omega$$

Uredusert spenning:

$$V_3 = (\text{KL-strøm}) * (2,6 \text{ km}) * (0,017 \text{ V/Akm})$$

Reduksjonsfaktor:

$R_m$  og  $Z_k$  er beregnet i avsnitt 4.4.6.

$$K_{300} = \frac{R_m * 1 + R_{j3}}{Z_{300} * 1 + R_{j3}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,7}{0,75 * 2,6 + 3,7} = 0,811$$

$$K_{400} = \frac{R_m * 1 + R_{j3}}{Z_{400} * 1 + R_{j3}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,7}{0,84 * 2,6 + 3,7} = 0,779$$

$$K_{500} = \frac{R_m * 1 + R_{j3}}{Z_{500} * 1 + R_{j3}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,7}{0,9 * 2,6 + 3,7} = 0,759$$

$$K_{600} = \frac{R_m * 1 + R_{j3}}{Z_{600} * 1 + R_{j3}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,7}{0,95 * 2,6 + 3,7} = 0,743$$

Redusert spenning:

$$V_{3red} = V_3 * K_x$$

TABELL 14: Forventede og målte verdier.

| KL-strøm | Forventet<br>uredusert spenning<br>$V_3$ | Forventet<br>indusert spenning<br>$V_{3red}$ | Målte verdier |
|----------|--|--|---------------|
| 300 A    | 13,26 V                                  | 10,75 V                                      | 5,0 V         |
| 400 A    | 17,68 V                                  | 13,77 V                                      | 6,2 V         |
| 500 A    | 22,10 V                                  | 16,77 V                                      | 7,4 V         |
| 600 A    | 26,52 V                                  | 19,70 V                                      | 8,5 V         |

MÅLING 4

Måling av induisert spenning på leder med kabelmantel punktjordet i hver ende (Jordingspunkt R2, R3 og R4 bortfaller). Kabelmantelen jordes i endene både til eget jordingsanlegg og til kabelmantel på eksisterende "gammel" kabel som ligger forlagt i jord. Jordingsspydene skal slås ned minst 7 m fra sporet eller fra nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende, mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

Samlet jordingsmotstand:

$$R_{j4} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_5}$$

$$= \frac{1}{1/5\Omega + 1/15\Omega} = 3,75\Omega$$

Uredusert spenning:

$$V_4 = (\text{KL-strøm}) * (2,6 \text{ km}) * (0,017 \text{ V/Akm})$$

Reduksjonsfaktor:

Rm og Zk er beregnet i avsnitt 4.4.6.

$$K_{300} = \frac{R_m * 1 + R_{j4}}{Z_{300} * 1 + R_{j4}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,75}{0,75 * 2,6 + 3,75} = 0,813$$

$$K_{400} = \frac{R_m * 1 + R_{j4}}{Z_{400} * 1 + R_{j4}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,75}{0,84 * 2,6 + 3,75} = 0,780$$

$$K_{500} = \frac{R_m * 1 + R_{j4}}{Z_{500} * 1 + R_{j4}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,75}{0,9 * 2,6 + 3,75} = 0,760$$

$$K_{600} = \frac{R_m * 1 + R_{j4}}{Z_{600} * 1 + R_{j4}} = \frac{0,339 * 2,6 + 3,75}{0,95 * 2,6 + 3,75} = 0,745$$

Redusert spenning:

$$V_{4\text{red}} = V_4 * K_x$$

TABELL 16: Forventede og målte verdier.

| KL-strøm | Forventet uredusert spenning<br>$V_4$ | Forventet induisert spenning<br>$V_{4red}$ | Målte verdier |
|----------|---------------------------------------|--|---------------|
| 300 A    | 13,26 V                               | 10,78 V                                    | 5,0 V         |
| 400 A    | 17,68 V                               | 13,79 V                                    | 6,2 V         |
| 500 A    | 22,10 V                               | 16,80 V                                    | 7,4 V         |
| 600 A    | 26,52 V                               | 19,76 V                                    | 8,4 V         |

MÅLING 5

Måling av induisert spenning på leder med kabelmantel jordet i kun en ende - den motsatte enden er åpen ( Jordingspunkt R2, R3, R4 og R5 bortfaller). Forbindelsen til "gammel" kabelmantel fjernes i begge ender. Kabelmantelen beholdes tilkoblet til jordingsanlegget i Sandnes. Jordingsspydet slås ned minst 7 m fra spor eller nærmeste jordede utstyr.

Leder jordes i en ende (samme ende som kabelmantel jordes), mens den motsatte enden er åpen. Det måles i åpen ende av leder.

Uredusert spenning:

$$V_5 = (\text{KL-strøm}) * (2,6 \text{ km}) * (1,7 \text{ V}/100\text{Akm})$$

TABELL 17: Forventede og målte verdier.

| KL-strøm | Forventet uredusert spenning<br>$V_5$ | Målte verdier |
|----------|---------------------------------------|---------------|
| 300 A    | 13,26 V                               | 13,5 V        |
| 400 A    | 17,68 V                               | 17,2 V        |
| 500 A    | 22,10 V                               | 21,0 V        |
| 600 A    | 26,52 V                               | 24,4 V        |

## SAMMENDRAG AV MÅLINGER

Sammenligner man de forventede og de målte verdier ser man at beregningene stemmer rimelig bra overens når det gjelder ureduisert induerte spenninger på lederne. Ser man imidlertid på den reduserte spenningen ser man at det målte resultatet er langt bedre enn det forventede. Dette er på grunn av ekstremt lav endejordingsmotstand. Jordingsmotstandene i Sandnes og i Gandal lå i området 1 - 2 $\Omega$  istedet for 5 - 15  $\Omega$  som ble målt tidligere (Denne målingen fant sted sommeren 91). Dette fører til en langt bedre reduksjonsfaktor, og dermed et bedre resultat.

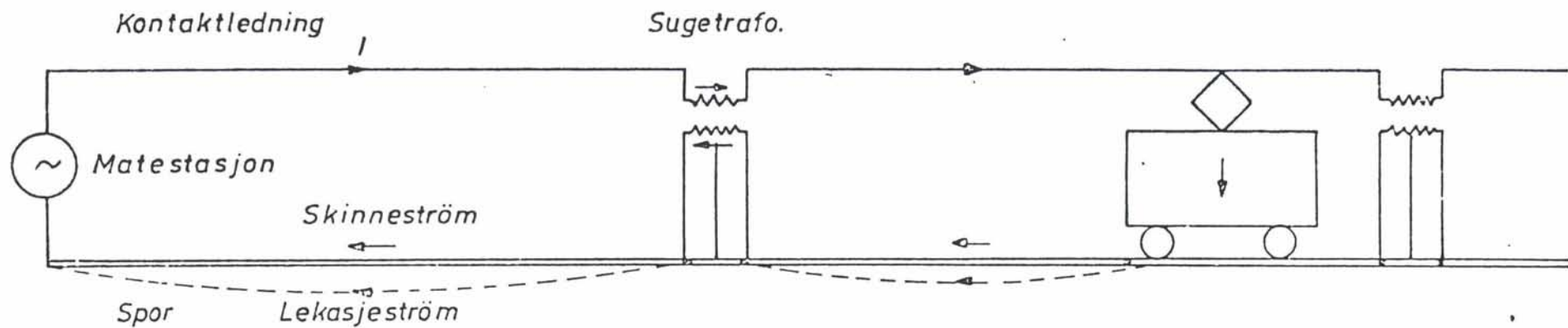
Det er ikke mulig å se noen effekt av hyppigere jording. Dette er fordi endejordingene er langt bedre en jordingene underveis. Forhåpentligvis tyder det på at vi kan regne med betraktelig lavere jordingsmotstand på stasjoner, men det vil neppe være tilfelle overalt. Jordingshyppigheten må fortsatt opprettholdes, selv på strekninger med god endejord. Hvis det skulle oppstå et kabelbrudd underveis mister kabelen den reduserende effekten hvis den kun har endejordinger. Med hyppig jording sikrer en i langt større utstrekning at det er en viss reduksjonsfaktor på mesteparten av kabellengden.

Videre må man være klar over at prøvekabelen var kort. Hadde forsøket vært gjort med større induserende lengde ville man sett resultatet av jordingshyppigheten bedre. Prosjektets økonomi tillot dessverre ikke dette.

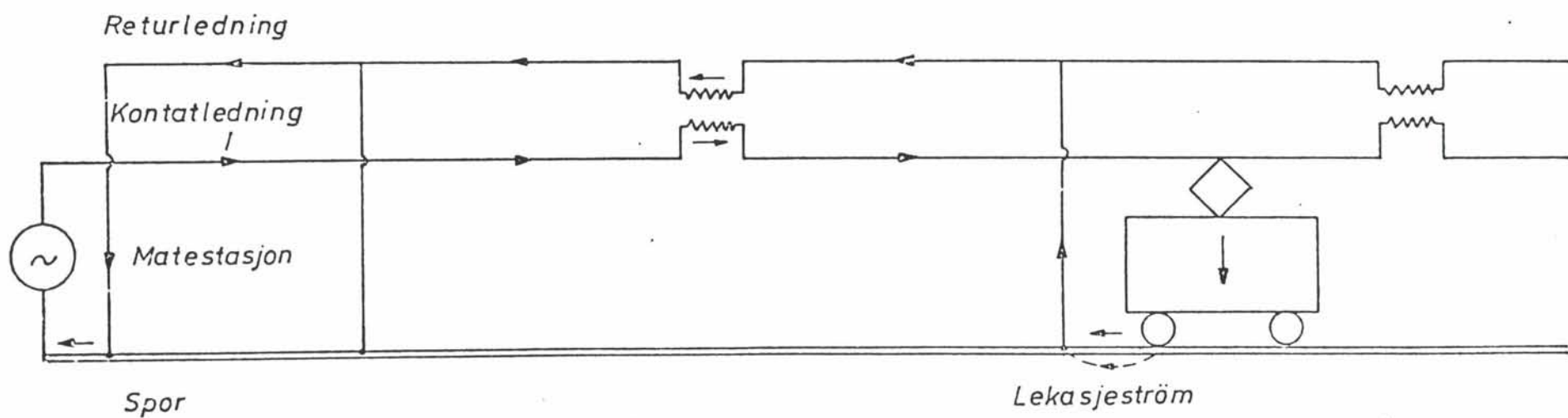
## **7. BAKGRUNNSLITTERATUR**

- (1) Returkretsens påvirkning på teleanlegg, T. Madssveen (27.11.90)
- (2) Fare- og støyspenninger i telenettet, T. Madssveen
- (3) Møteref. datert 02.04.91 fra teknisk møte mellom EBK og NSB 20.03.91
- (4) Skriv av 19.08.91 fra E. Steen, EB Norsk Kabel.
- (5) Behov for returledning, NSB Engineering august 1991.
- (6) Måling av elektrisk ledningsevne i jord. EFI (79-80)

o



a. Norsk system.



b. Svensk system.

Dokument

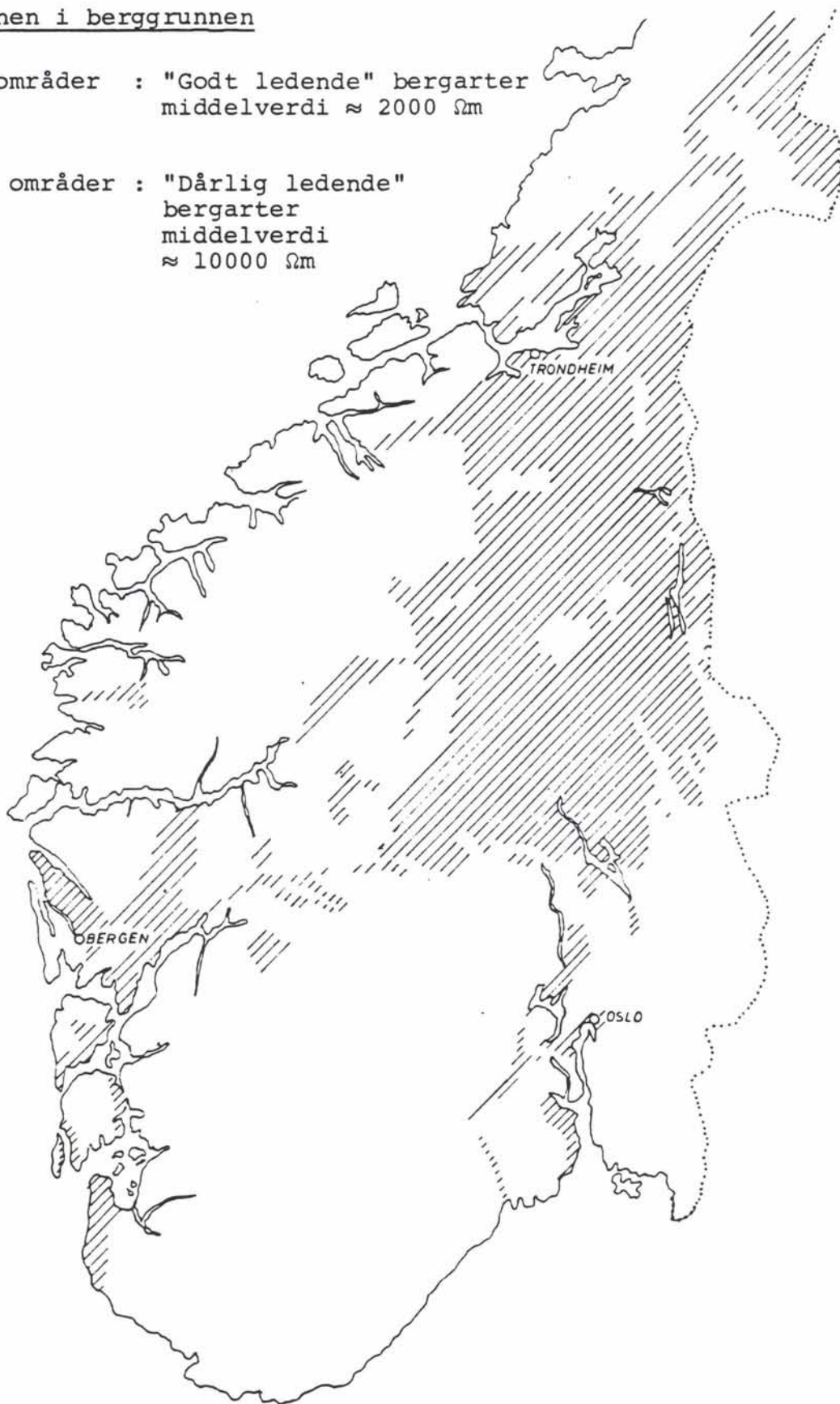




Ledningsevnen i berggrunnen

Skraverte områder : "Godt ledende" bergarter  
middelverdi  $\approx 2000 \Omega\text{m}$

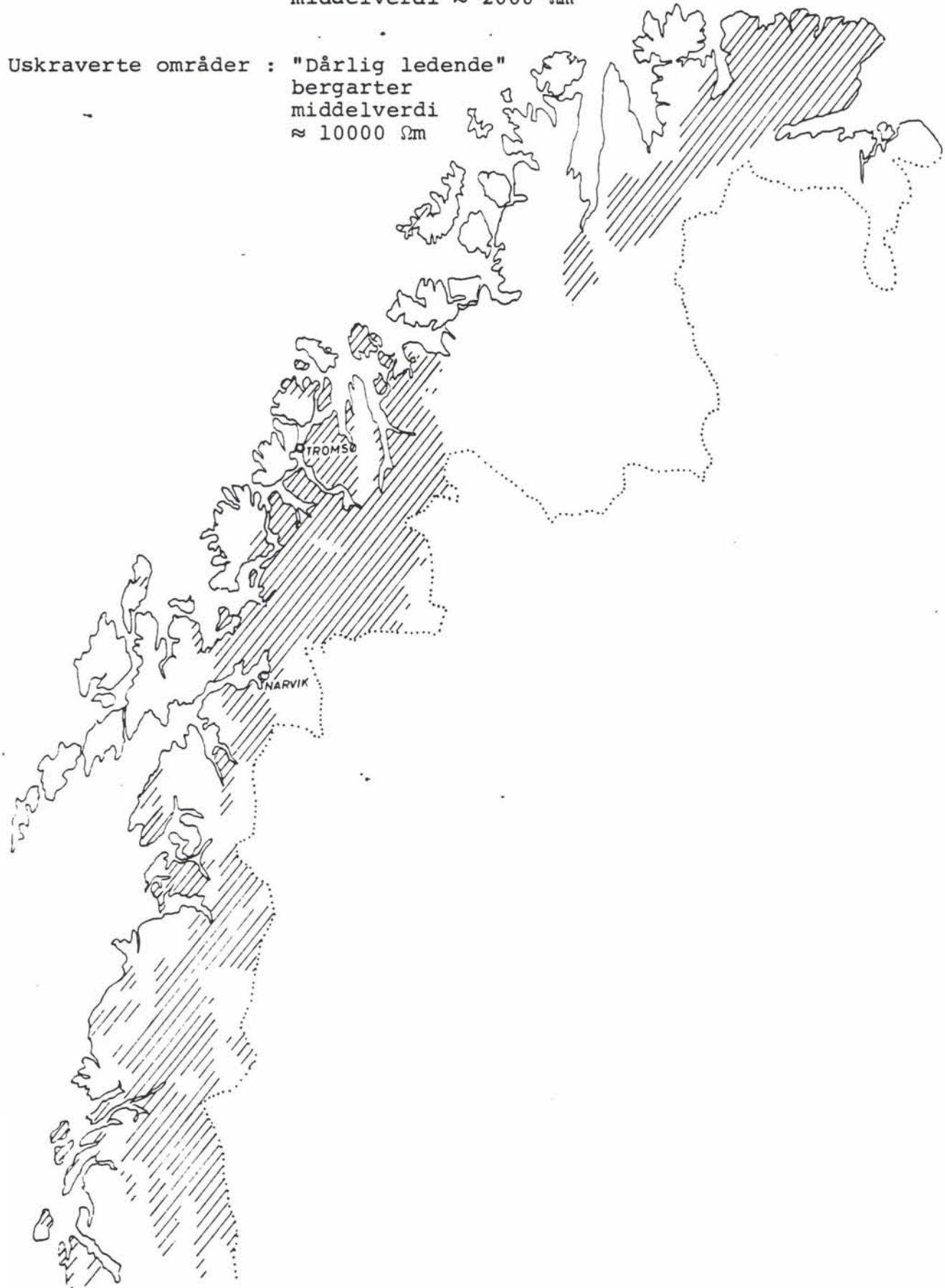
Uskraverte områder : "Dårlig ledende"  
bergarter  
middelverdi  
 $\approx 10000 \Omega\text{m}$



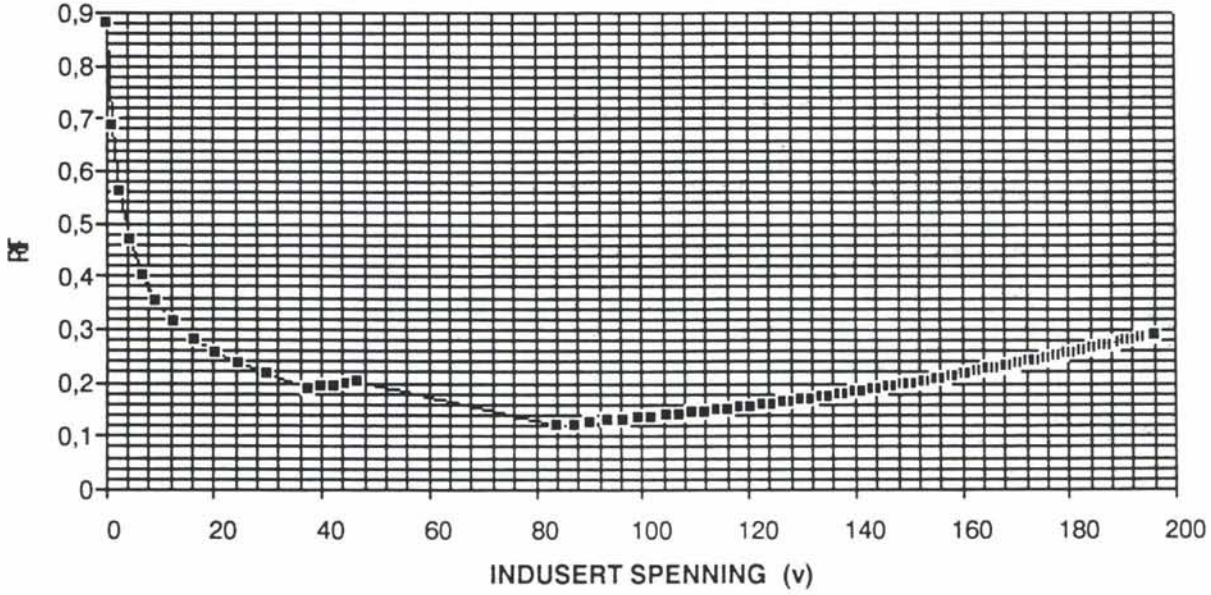
Ledningsevnen i berggrunnen

Skraverte områder : "Godt ledende" bergarter  
middelverdi  $\approx 2000 \Omega m$

Uskraverte områder : "Dårlig ledende"  
bergarter  
middelverdi  
 $\approx 10000 \Omega m$



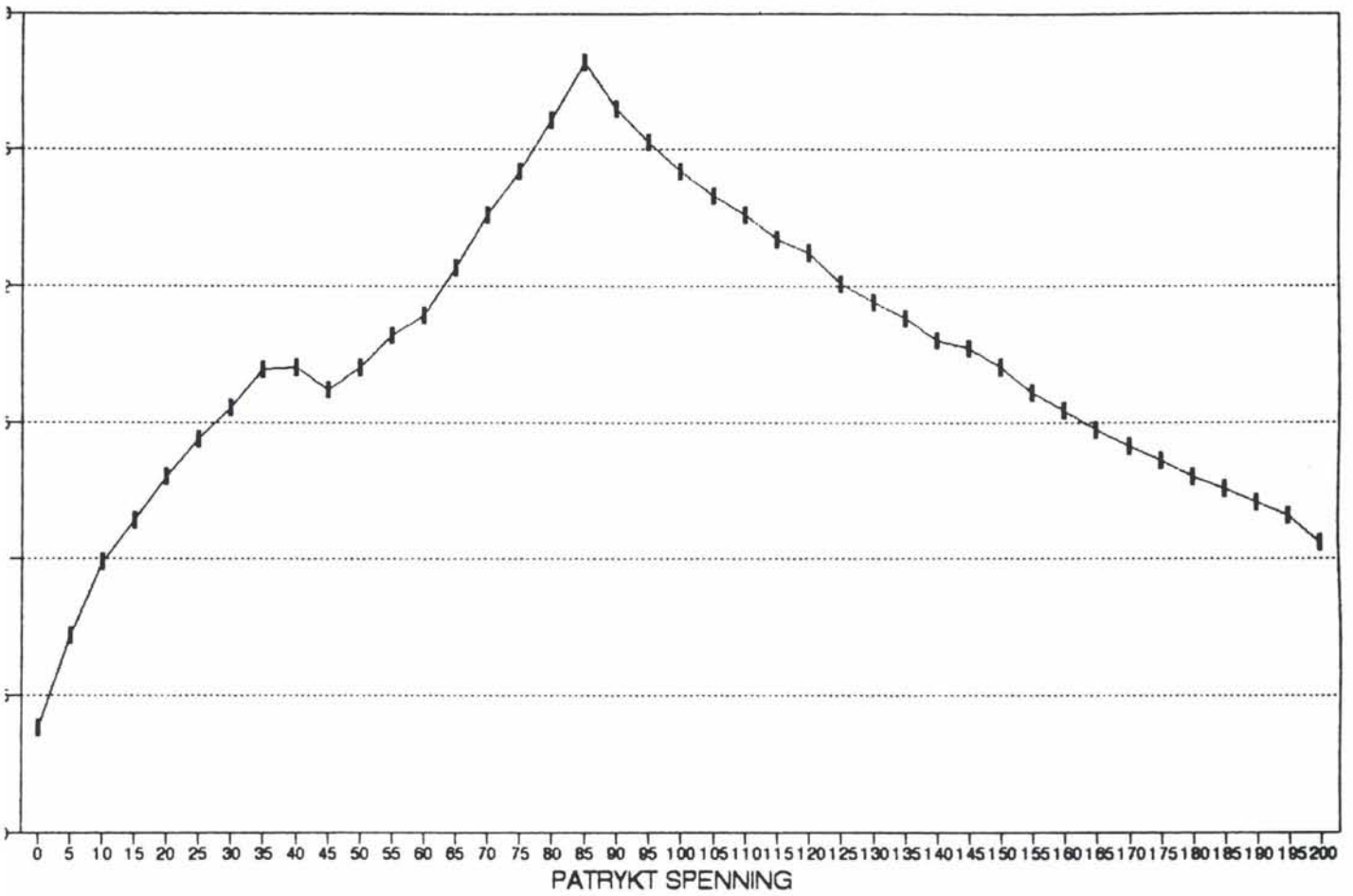
REDUKSJONSFAKTOR: L30-0.9METE-45P B0.8



|                          |       |        |
|--------------------------|-------|--------|
| Antall par:              | 30    | stk    |
| Diameter, Al-trad:       | 1,6   | mm     |
| Antall Al-trader:        | 42    | stk    |
| Tykkelse, stalband:      | 0,8   | mm     |
| Bredde, stalband:        | 35    | mm     |
| Leggevinkel, stalband:   | 57    | grader |
| Antall stalband:         | 2     | stk    |
| Diameter over armering:  | 28,7  | mm     |
| Frekvens, støyspenning:  | 16,67 | Hz     |
| Geometrisk selvinduktans | 0,002 |        |
| Spesifikk motstand, AL:  | 28,6  |        |
| Spesifikk motstand, Fe:  | 100   |        |

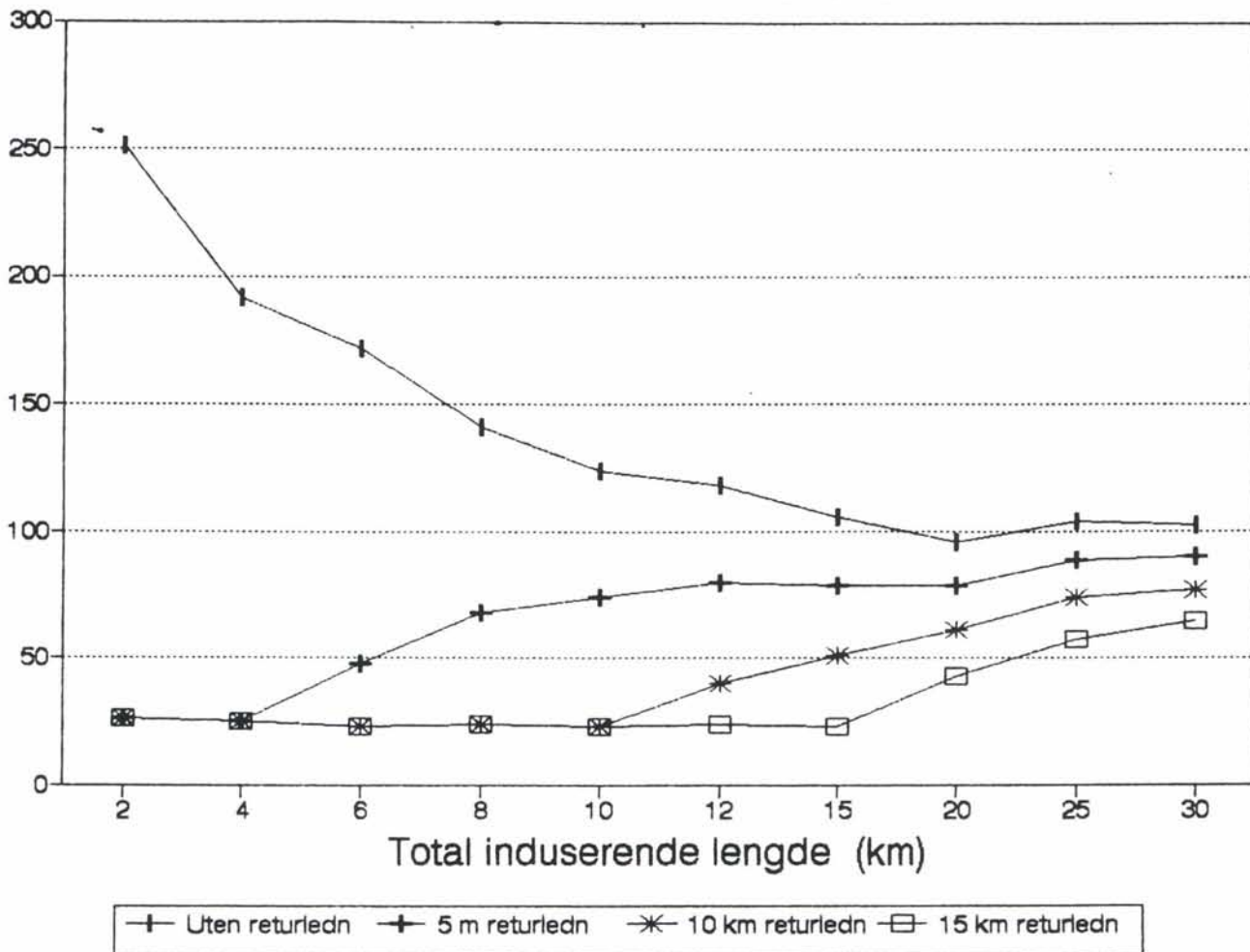
# ARMERINGENS IMPEDANS

Variasjon ved ulik patrykt spenning



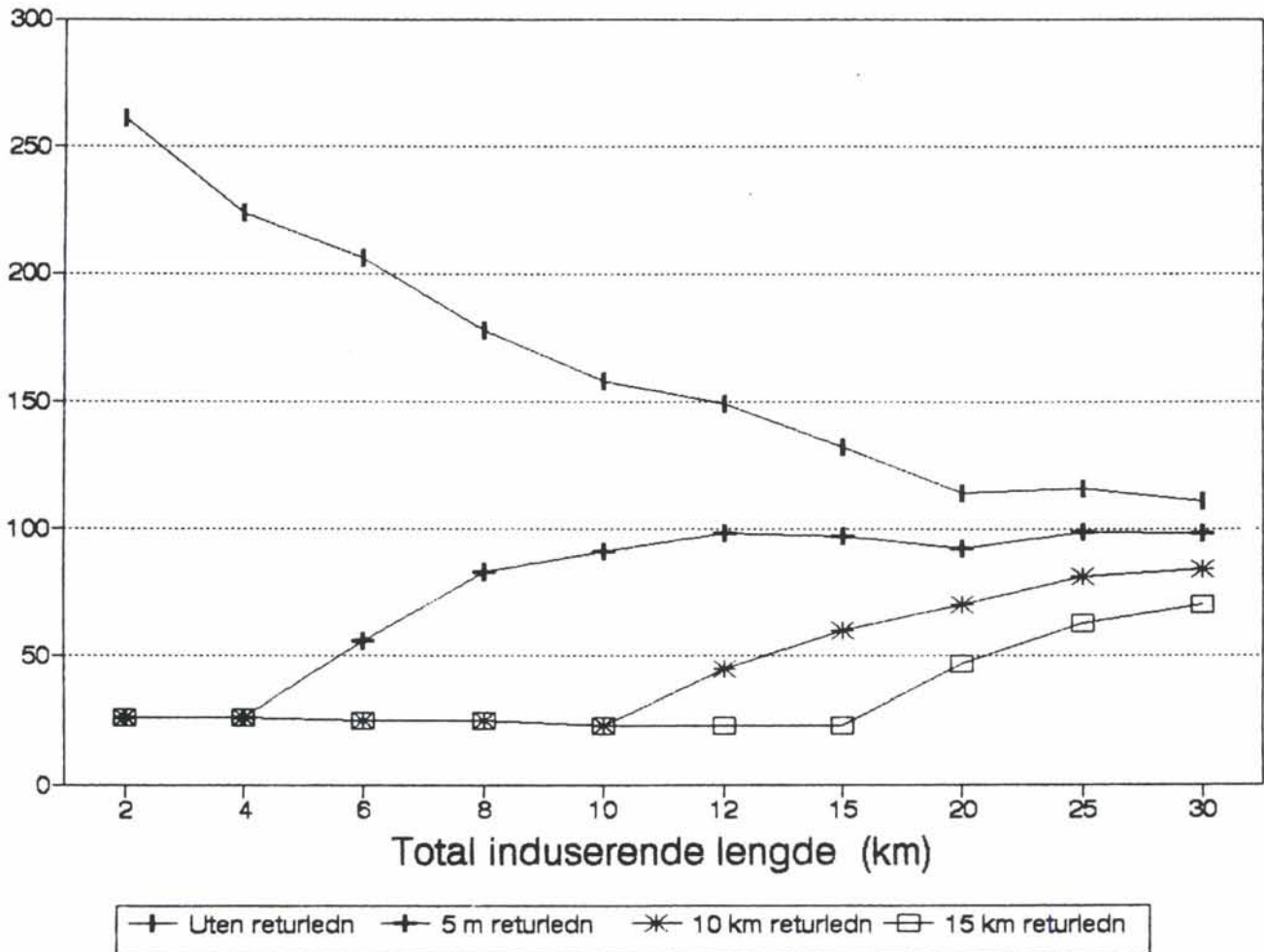
# INDUSERT SPENNING VED NORMAL DRIFT

(Jordleng hver 700m, 100 Ohm pr. pkt.)



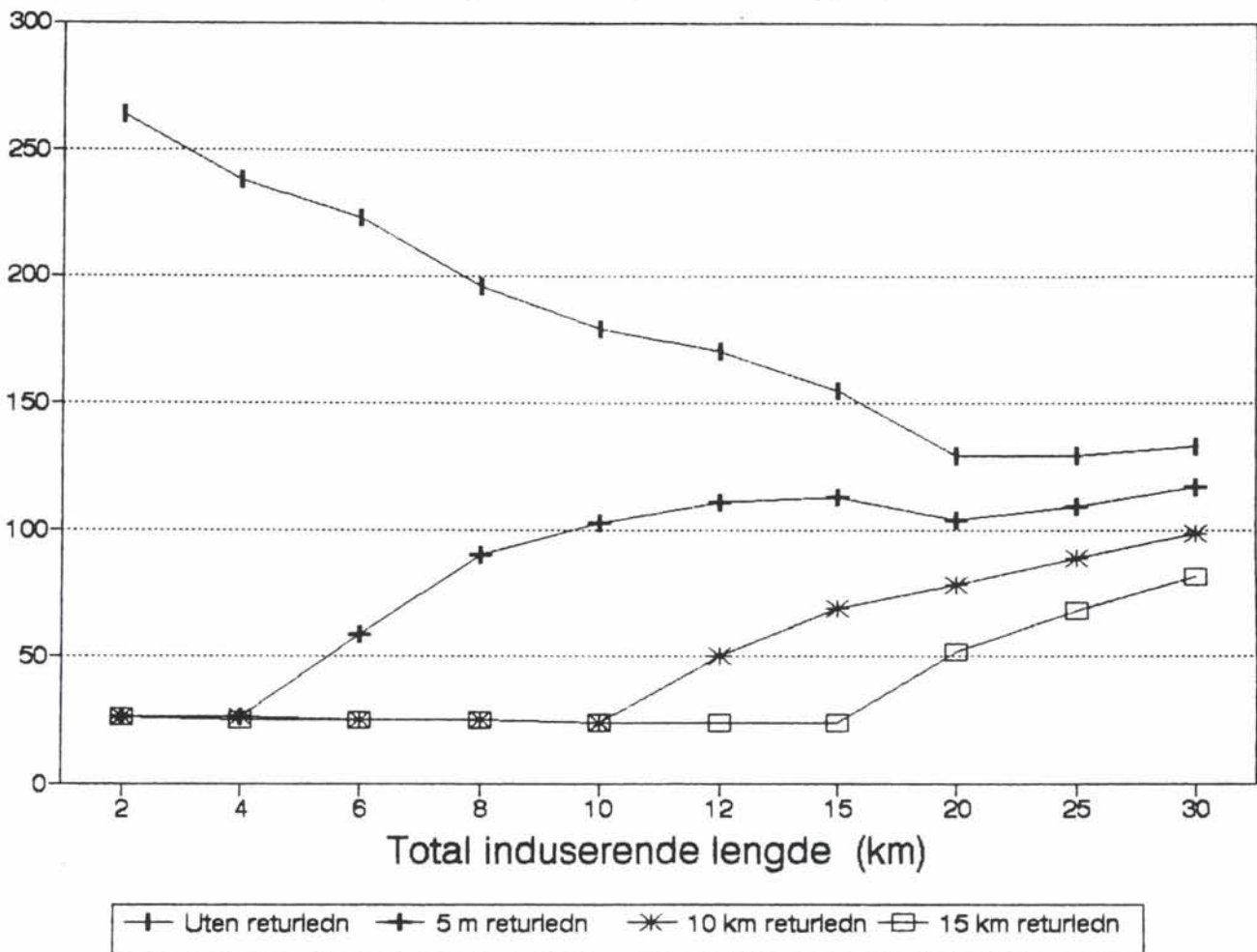
# INDUSERT SPENNING VED NORMAL DRIFT

(Jording hver 700m, 200 Ohm pr. pkt.)



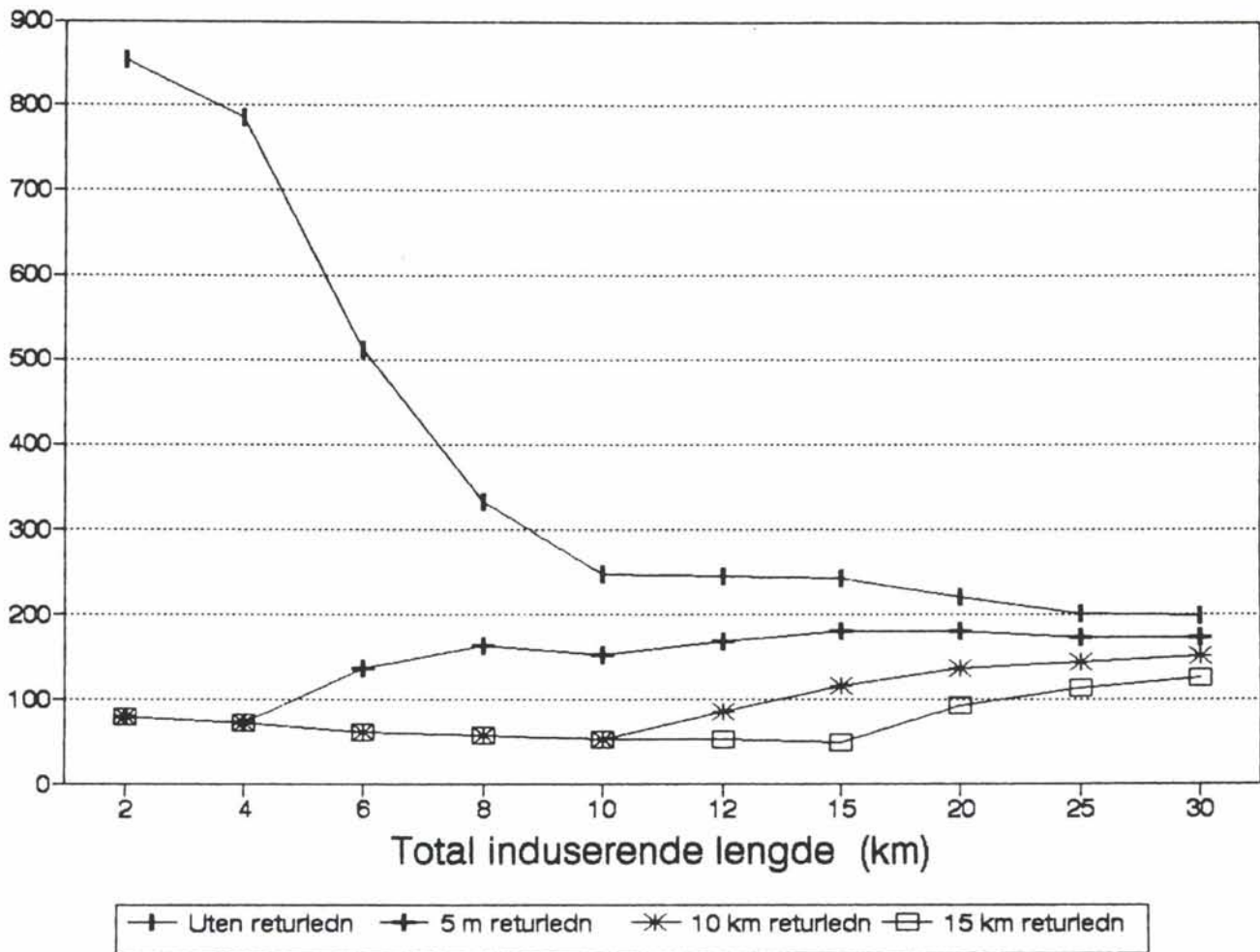
## INDUSERT SPENNING VED NORMAL DRIFT

(Jording hver 700m, 300 Ohm pr, pkt.)



# INDUSERT SPENNING VED KORTSLUTNING

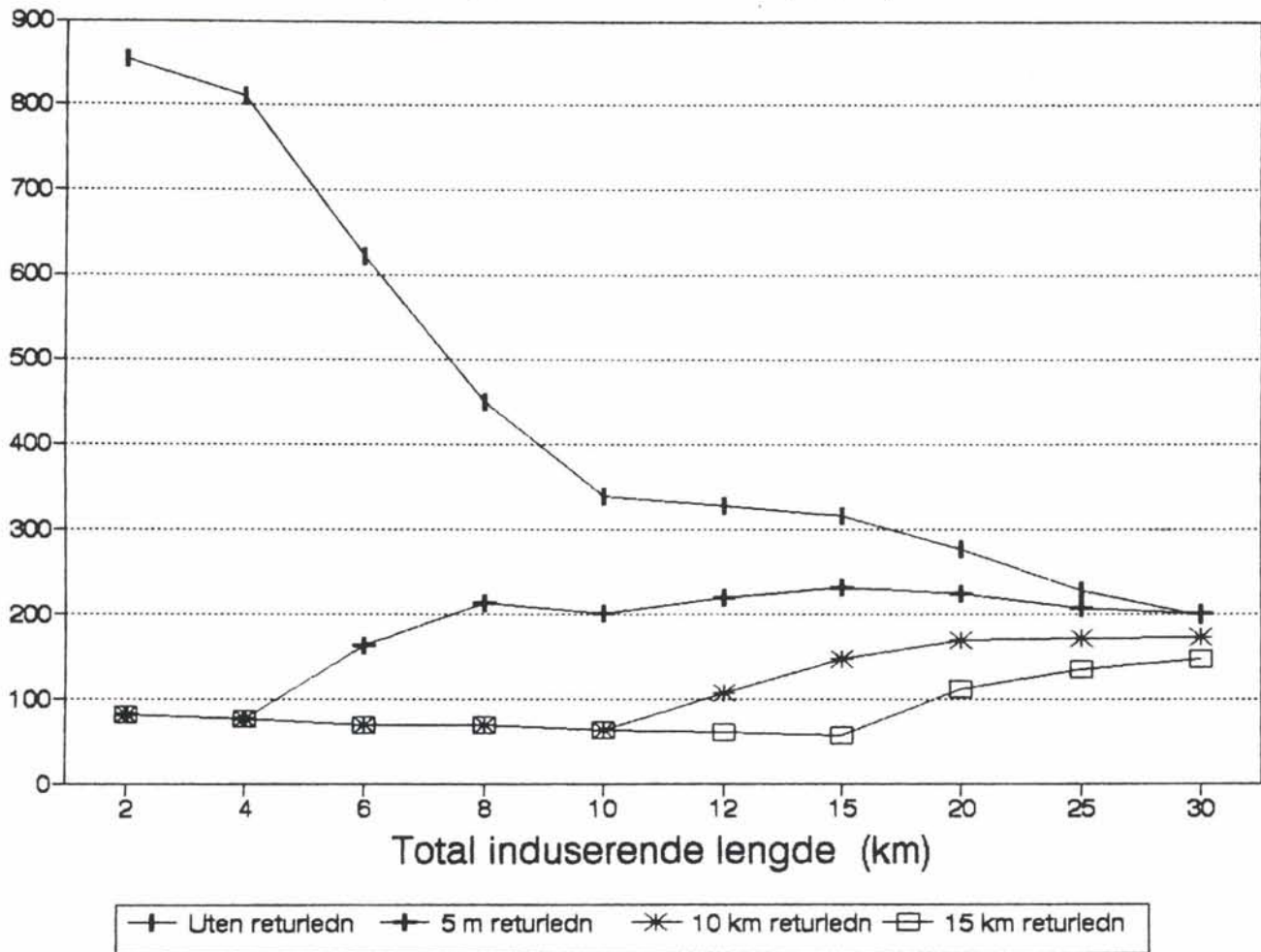
(Jordling hver 700m, 100 Ohm pr. pkt.)





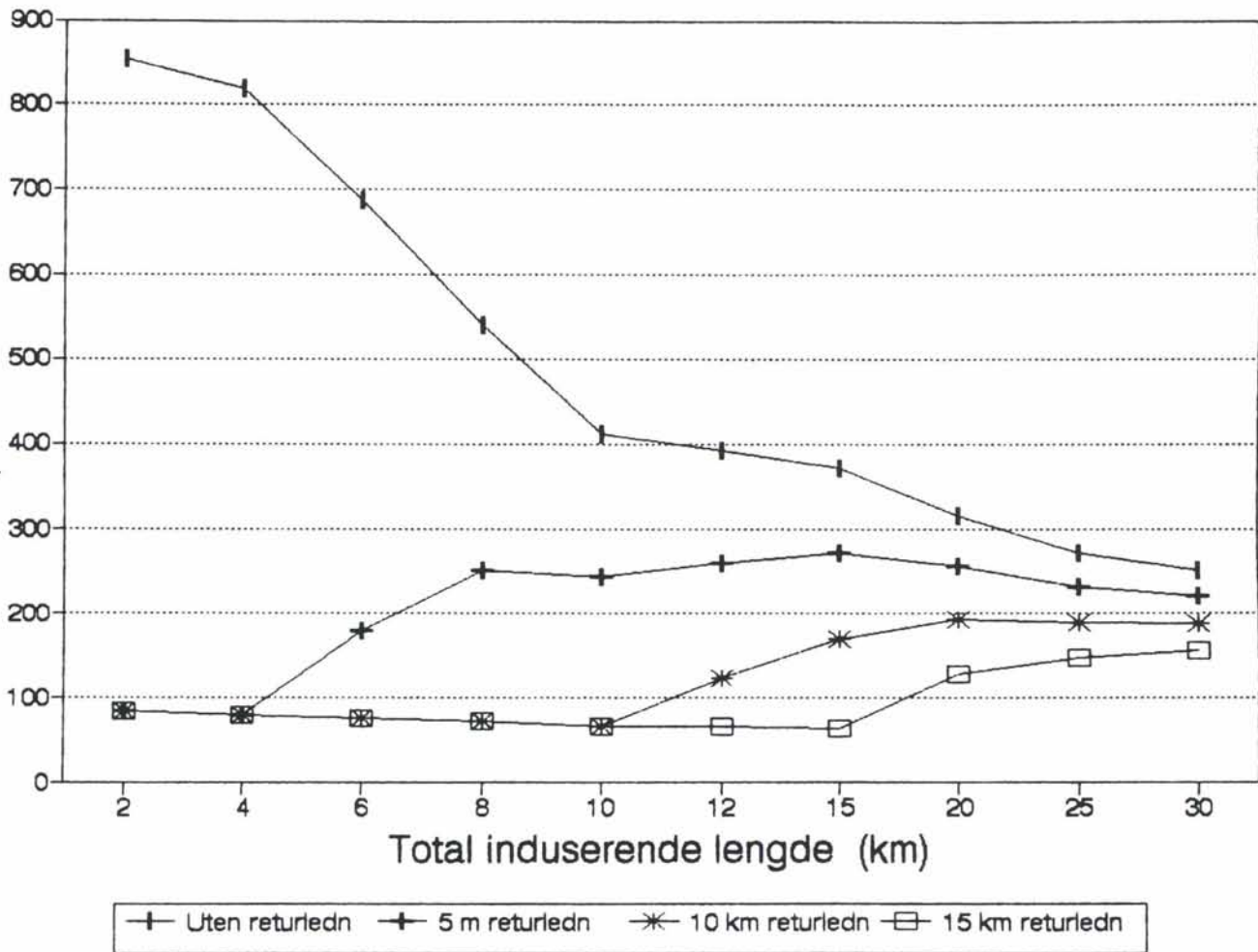
# INDUSERT SPENNING VED KORTSLUTNING

(Jording hver 700m, 200 Ohm pr. pkt.)



# INDUSERT SPENNING VED KORTSLUTNING

(Jording hver 700m, 300 Ohm pr. pkt.)



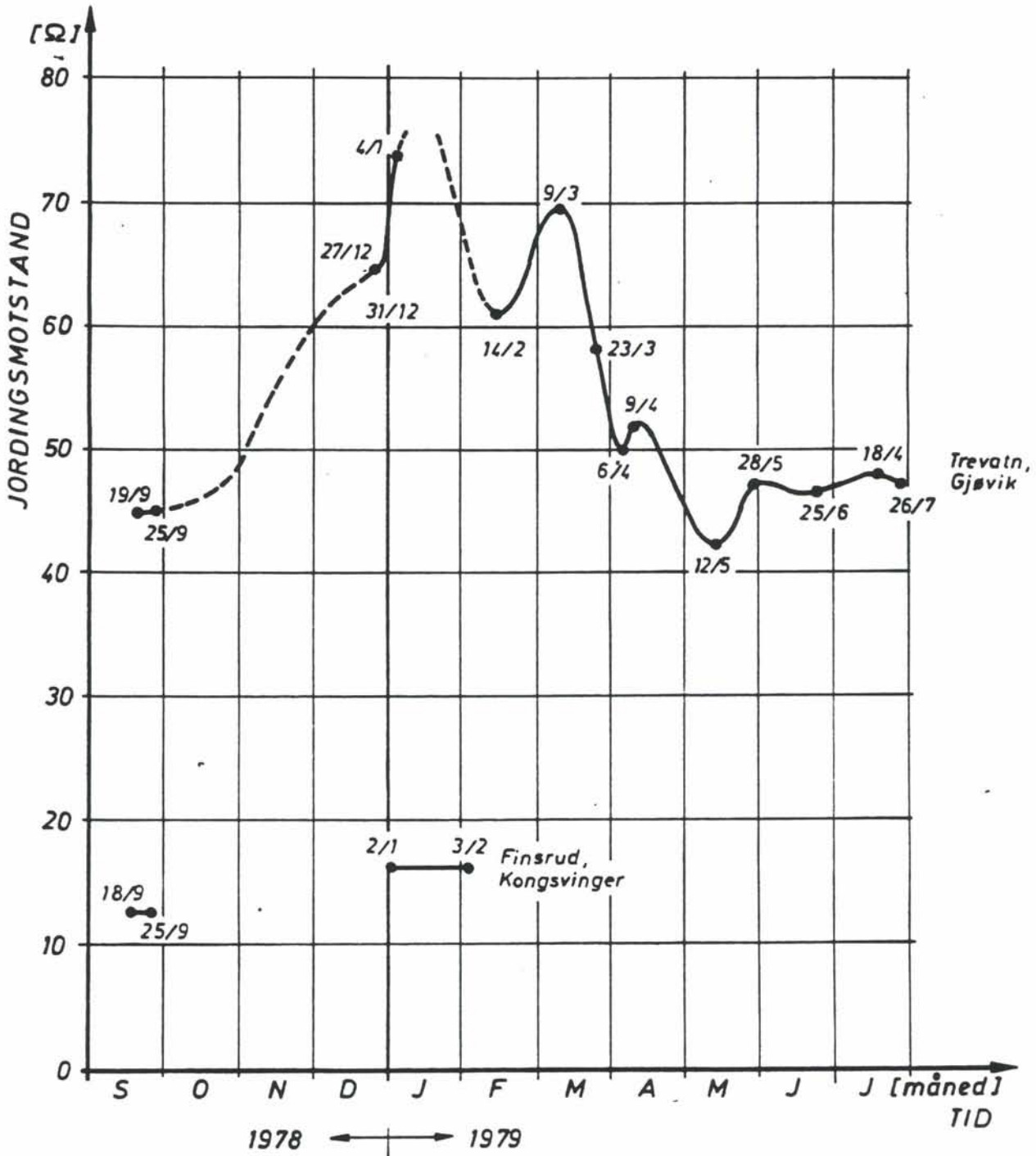


DIAGRAM I. Variasjon i jordingsmotstand med årstiden.