

Rapport fra måleturer for måling av overgangsmotstand og resistivitet langs Gardermobanen



av

Anna Sofie Mørland

Trondheim, desember 1996

Norges Teknisk - Naturvitenskapelige Universitet
Fakultet for elektroteknikk og telekommunikasjon
Institutt for elkraftteknikk

Sammendrag

Hensikten med denne rapporten har vært å identifisere delbidragene i jordingssystemet ved Gardermobanen. I den forbindelse har det vært utført syv måleturer hvor det er målt overgangsmotstand og resistivitet. Det var stor forskjell på overgangsmotstanden for de to typene mastefundament. Pælefundamentene var gode jordelektroder med en overgangsmotstand på 10 - 20 Ω . Sålefundamentenes overgangsmotstand varierte mye etter hvilket jordsmonn det var på stedet. Det ble målt overgangsmotstand mellom 40 - 400 Ω for denne fundamenttypen.

Ut fra disse målingene og et studium av de geologiske forholdene langs banetraséen er det forsøkt å regne ut en total overgangsmotstand for strekningen fra Lillestrøm til Eidsvoll.

Bakgrunnen for denne utregningen var å finne ut om det var nødvendig med tilleggsjording for å tilfredsstille kravet til maksimalt tillatt berøringsspenning. Utfra de kortslutningsberegninger som var utført av ABB tidligere og den totale overgangsmotstanden som ble funnet, var kravet til maksimalt tillatt berøringsspenning tilfredsstilt.

INNHold

1. INNLEDNING	2
2. KONTAKTLEDNINGSANLEGGET PÅ GARDERMOBANEN	3
2.1 KONTAKTLEDNINGSANLEGG MED RETURLEDNING	3
2.2 JORDINGSSYSTEM FOR GARDERMOBANEN	4
3. TEORI OM MÅLEMETODER OG BEREGNING AV OVERGANGSMOTSTAND	6
3.1 POTENSIALFALLMETODEN FOR MÅLING AV JORDMOTSTAND.....	6
3.2 FIREPUNKTSMETODEN FOR MÅLING AV JORDRESISTIVITET	8
3.3 FORMLER FOR UTREGNING AV OVERGANGSMOTSTAND.....	11
4. MÅLING OG BEREGNING AV OVERGANGSMOTSTAND PÅ GARDERMOBANEN	12
4.1 MÅLING AV OVERGANGSMOTSTAND	12
4.2 BEREGNING AV OVERGANGSMOTSTAND.....	13
5. MÅLETUR NR. 1; 2. JULI	16
6. MÅLETUR NR. 2; 3. JULI	17
7. MÅLETUR NR. 3; 7. AUGUST	19
8. MÅLETUR NR. 4; 8. AUGUST	20
9. MÅLETUR NR. 5; 27. AUGUST	21
10. MÅLETUR NR. 6; 28. AUGUST	22
11. MÅLETUR NR. 7; 11. SEPTEMBER	24
12. UTREGNING AV BERØRINGSSPENNING OG KONTROLLMÅLING AV OVERGANGSMOTSTAND	26
12.1 BEREGNING AV BERØRINGSSPENNING OG SKRITTSPENNING	26
12.2 KRAV TIL BERØRINGSSPENNING	27
12.3 KONTROLLMÅLING PÅ SYSTEMET I DRIFT	28
13. KONKLUSJON	31
14. REFERANSER	32
15. VEDLEGGSLISTE	33

1. Innledning

På Gardermobanen blir det brukt et nytt konsept for jordingsanlegg og i denne rapporten skal det ses på hvilke delbidrag de enkelte delene i jordingskretsen bidrar med.

Det skal utføres målinger på overgangsmotstanden fra mastefundamentene til jord for forskjellige typer fundamenter og for ulike typer jordsmonn. Dersom det er mulig skal jordens resistivitet måles på de forskjellige målestedene. Spenningsfallet over tverrforbindelsene mellom jordlinene skal også måles for å finne jordlinenes overgangsmotstand. På denne måten skal det skaffes et underlag for å se hvor det eventuelt må tilleggsjordes og hvordan de forskjellige mastefundamentene fungerer som elektroder.

Måleresultatene skal også brukes ved simuleringer av felt og strømfordeling i og rundt kontaktledningsanlegget.

2. Kontaktledningsanlegget på Gardermobanen

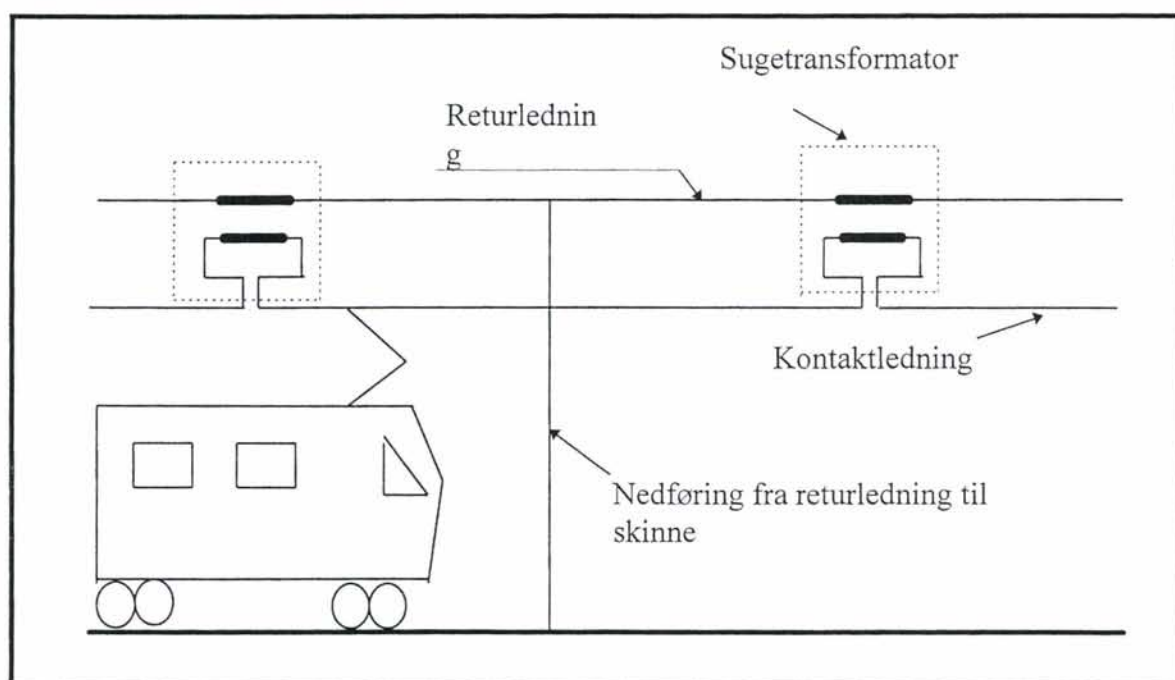
2.1 Kontaktledningsanlegg med returledning

På Gardermobanen blir det brukt to returledninger som skal henge på samme mast som kontaktledningene, se figur 2-1. Ved dette retursystemet vil returstrømmen bare gå i skinnene fra det stedet toget er og frem til nærmeste nedføring fra returledningene til skinnene. Avstanden mellom nedføringene er maksimalt 3 km. For å minske strømmen i jorden er det koblet sugetransformatorer mellom kontaktledningen og returledningene. Disse står med en avstand på 3 km og nedføringen fra returledningen til skinnene er midt i mellom sugetransformatorene. Ved å bruke returledning til strømmen, og ved å plassere returledningen nær kontaktledningen, vil de induerte strømmene på grunn av magnetfeltet som strømsløyfen i kontaktledningsanlegget setter opp, minke, se ligning 2-1 og ligning 2-2. Disse induerte strømmene er avhengige av den flukstettheten som strømsløyfen setter opp.

ligning 2-1
$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \int_A \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} \cdot dA$$

ligning 2-2
$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_A \frac{\delta \vec{B}}{\delta t} \cdot dA$$

De induerte strømmene kan påvirke signalanlegg og andre elektriske systemer nær sportraséen.

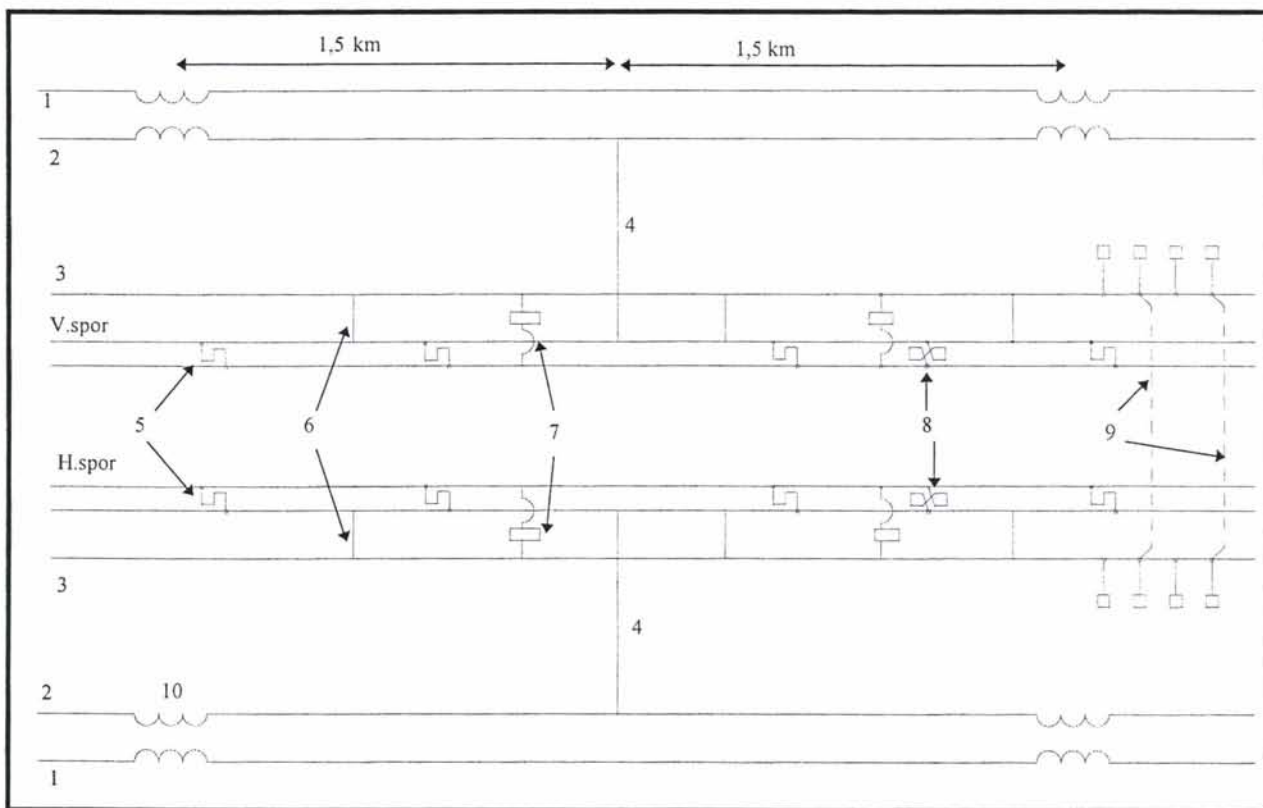


figur 2-1 Kontaktledningsnett for Gardermobanen

2.2 Jordingssystem for Gardermobanen

Parallelt med hvert spor vil det gå en isolert jordline som knytter hele jordingsanlegget sammen. Dette gjør at systemet får liten potensialforskjell langs jordlinen så lenge det er liten impedans i jordingssystemet. Jordingssystemet vil ha flere jordelektroder fordi alle fundamentene til mastene er koblet til jordlinene. For å motvirke potensialforskjell i jordingssystemet er de forskjellige delene av jordingssystemet knyttet sammen med jevne mellomrom, se figur 2-2.

Mellom jordlinen og skinnene er det forbindelser for å minske potensialforskjellen. Avstanden mellom to forbindelser jordline - skinne er bestemt utfra et kompromiss mellom hva som er best for signaloverføringen til signalsystemet og med hensyn til farlige berøringsspenninger. I nærheten til stasjoner er det lagt mest vekt på berøringsspenningene, mens det ellers er tatt størst hensyn til signalanlegget. Dersom begge skinnene er tilkoblet jordlinen i det samme sporfeltet må den ene tilkoblingen ha høyohmig impedans, 30 Ω ved 4.75 kHz, en PAK-utjevning.



figur 2-2 Prinsipp tegning av retur/ jordleder system

Forklaring til figur 2-2:

- | | |
|--|---|
| 1: Kontaktledning | 6: Direkte kobling jordline - jordskinne |
| 2: Returledning | 7: PAK-utjevning jordline - skinne |
| 3: Isolert jordline | 8: PAV - potensialbalanserer mellom skinnene |
| 4: Nedføring fra returledning til skinne | 9: Tverrforbindere, kobber, mellom jordlinene |
| 5: S-forbinder | 10: Sugetransformator |

Sugetransformatorene er normalt 1:1 transformatorer. Primærviklingen er koblet i serie med kontaktledningen og sekundærviklingen er koblet til returledningen. Midt i mellom to sugetransformatorer er det en nedføring fra returledningene til skinnene. Denne nedføringen fører matestrømmen som kommer fra kontaktledningen via tog til skinnene opp til returledningene. Hvis det er brudd i denne nedføringen eller i returledningen kan det medføre at all returstrømmen tvinges til å gå i skinnene og jorden.

Når det ikke er noen belastning mellom to sugetransformatorer vil matestrømmen unntatt magnetiseringsstrømmen gå i returledningene. Magnetiseringsstrømmen vil gå i skinnene. Ved belastning mellom to sugetransformatorer vil returstrømmen gå i skinnene frem til nedføringen fra returledningene. Når et tog passerer en sugetransformator vil transformatoren bli kortsluttet primært. Denne kortslutningen er av relativt kort varighet. På grunn av denne kortslutningen må det unngås at sugetransformatorer er plassert der hvor tog ordremessig stopper eller kan bli stoppet. Kortslutning av to sugetransformatorer i serie bør også unngås.

For å unngå skjevfordeling av returstrømmen blir skinnene koblet sammen med potensialutlignere, PAV forbindelser. Denne koblingen motvirker også potensialforskjell mellom skinnene.

Sporfeltene er strømkretser som brukes til å detektere om det er tog på strekningen eller eventuelt skinnebrudd. På Gardermobanen er det brukt sporfelt av typen FTG S med frekvenser i størrelsesorden 10 kHz. Lengden på sporfeltene vil variere. På fri linje er de mellom 600 og 1200 m, men på stasjoner er det korte sporfelt. I overgangen mellom forskjellige sporfelt er det koblet S-forbindere. Disse er kobberledere som ligger i en s-lignende forlegning mellom skinnene i et spor. De er dimensjoner for å kunne føre halve banestrømmen også ved kortslutning. For andre banestrekninger benytter NSB isolerte sporfelt og frekvensene 95 og 105 Hz til sporfelddeteksjon.

Mellom jordlinene er det koblet en tverrforbindelse, potensialutjevner, i uisolert kobber som ligger minst 1 m under skinneoverkanten og helst nede i traubunnen. Denne skal sørge for å jevne ut potensialforskjellen mellom de to jordlinene som ligger parallelt med sporene.

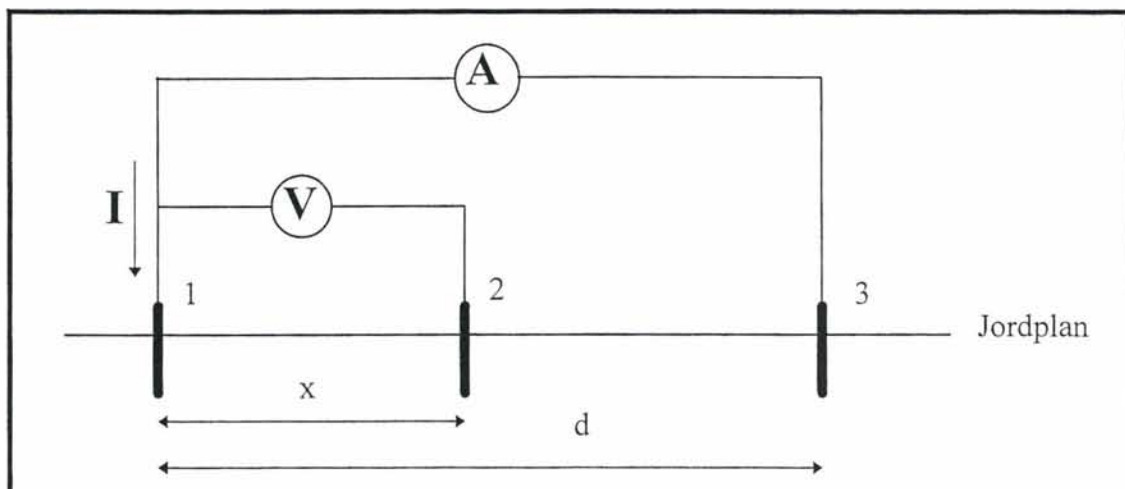
Den maksimale strømmen kontaktledningene er dimensjonert for er 750 A. Da er det antatt at bærelinen vil ta i overkant av 200 A.

3. Teori om målemetoder og beregning av overgangsmotstand

Det finnes flere metoder for å måle jordmotstand og resistivitet i jord. I dette kapittelet er det en beskrivelse av de metodene som er brukt under undersøkelsene i forbindelse med dette arbeidet. For mere detaljerte opplysninger se [1] og [2].

3.1 Potensialfallmetoden for måling av jordmotstand.

Denne metoden er mest benyttet av de målemetodene som brukes til å måle overgangsmotstand til jord for en jordelektrode. Metoden går ut på at det påtrykkes en strøm mellom **jordelektrode 1** hvor overgangsmotstanden ønskes bestemt, og en **strømelektrode 3**. Avstanden mellom disse to elektrodene er **d**. Samtidig måles spenningsfallet mellom **jordelektrode 1** og **spenningselektroden 2** med forskjellig avstand **x**. Måleoppsettet er vist i figur 3-1.



figur 3-1 Måleoppsett for Potensialfallmetoden

Dersom måleoppsettet er riktig kan en tilsynelatende overgangsmotstand beregnes utfra forholdet mellom avlest spenningsfall og påtrykt strøm, ligning 3-1.

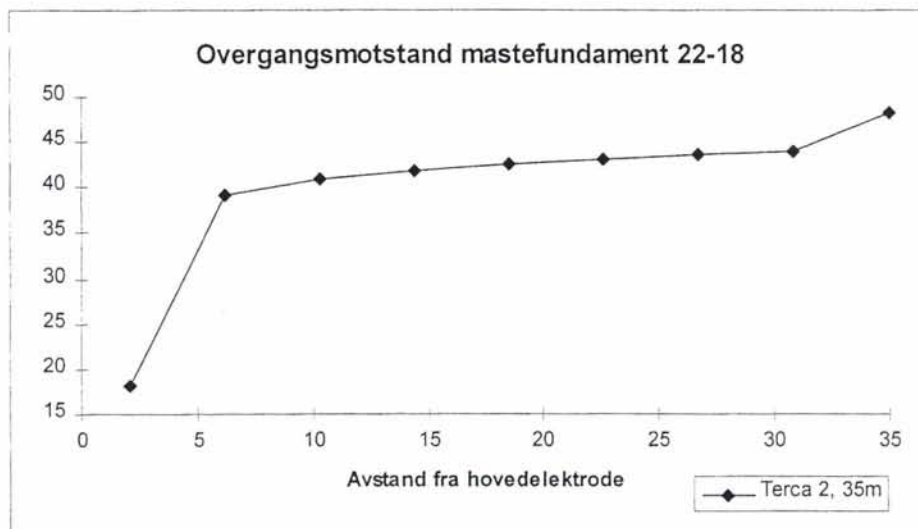
ligning 3-1
$$R_j = \frac{U_m}{I_m} \text{ } [\Omega]$$

hvor

U_m målt spenningsfall mellom jordelektrode og spenningselektrode [V]

I_m påtrykt strøm mellom jordelektrode og strømelektrode [A]

Ved å utføre målinger for varierende måleavstander x vil det etableres en grafisk sammenheng mellom tilsynelatende overgangsmotstand og avstanden x . Den søkte overgangsmotstanden settes lik den verdien som avleses på den horisontale delen av profilen, se figur 3-2. Det bør brukes sinusformet veksel- eller firkantstrøm med frekvens i nærheten av nettfrekvens på det systemet som måles ved målingene.



figur 3-2 Profil av overgangsmotstand

Avstanden d , mellom elektrode 1 og 3 bør være så stor at elektrodene ikke påvirker hverandre. En teknikk for å bestemme riktige avstander kalles 62% - teknikken. Den går ut på :

1. Velg en avstand d . (Større enn elektrodeanleggets utstrekning). Påtrykk strømmen I_m .
2. Velg avstand $x = 0,62 d$. Mål spenning U_{62} .
3. Velg avstand $x = 0,52 d$. Mål spenning U_{52} .
4. Velg avstand $x = 0,72 d$. Mål spenning U_{72} .
5. Dersom det er stor forskjell på spenningsmålingene må avstanden d økes. Er det liten forskjell mellom spenningsverdiene kan jordmotstanden beregnes ved å bruke ligning 3-2.

ligning 3-2

$$R_j = \frac{U_{62}}{I_m} [\Omega]$$

I tabell 3-1 er det vist anbefalte avstander til strømelektroden i forbindelse med måling av overgangsmotstand for jordelektroder.

tabell 3-1 Anbefalte avstander til strømelektroden

Måleobjekt	Jordspyd ¾ diameter $l = 2 - 20 \text{ m}$	Horisontal elektrode $h = 0,3 - 0,5 \text{ m}$ $l = 5 - 50 \text{ m}$	Maskenett 2 - 8 masker i hver retning
Minimums avstand (d)	$(2,5 \text{ til } 3,5) \cdot l$	$(1,5 \text{ til } 3) \cdot l$	$(5,5 \text{ til } 6,5) \cdot s$
Anbefalt avstand (d)	$5 \cdot l$	$(3 \text{ til } 5) \cdot l$	$10 \cdot s$

På store elektrodeanlegg kan det være problematisk å foreta målinger. Dette kommer først og fremst av:

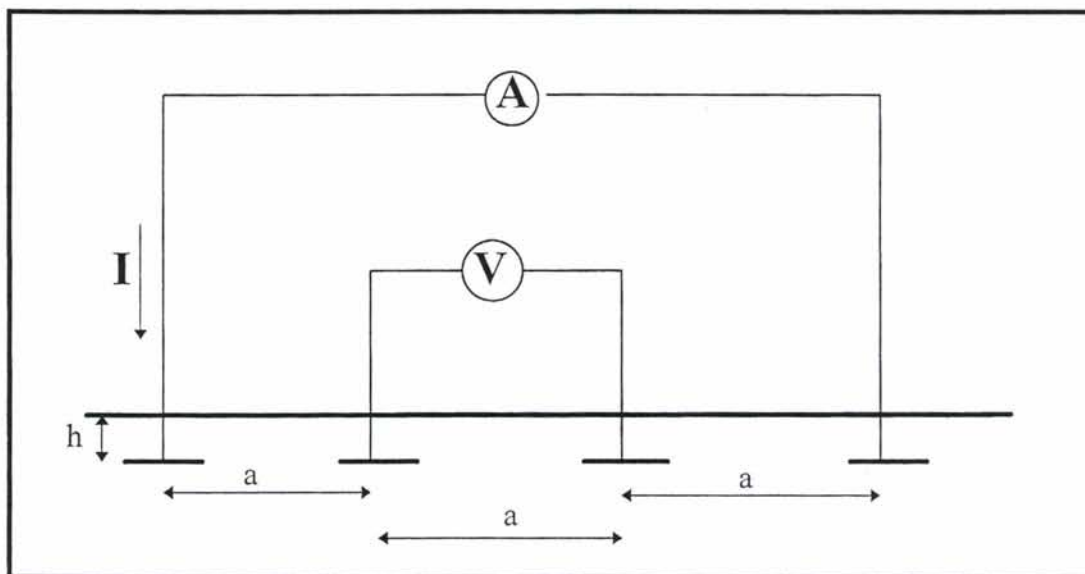
- De har lav jordmotstand. Dette stiller store krav til utføring av målinger.
- Det må tas hensyn til det induktive leddet i jordmotstanden.

- Stor utstrekning gjør at resultatet blir påvirket av induktanser i og induerte spenninger mellom tilledninger fra fjern jord.

3.2 Firepunktsmetoden for måling av jordresistivitet

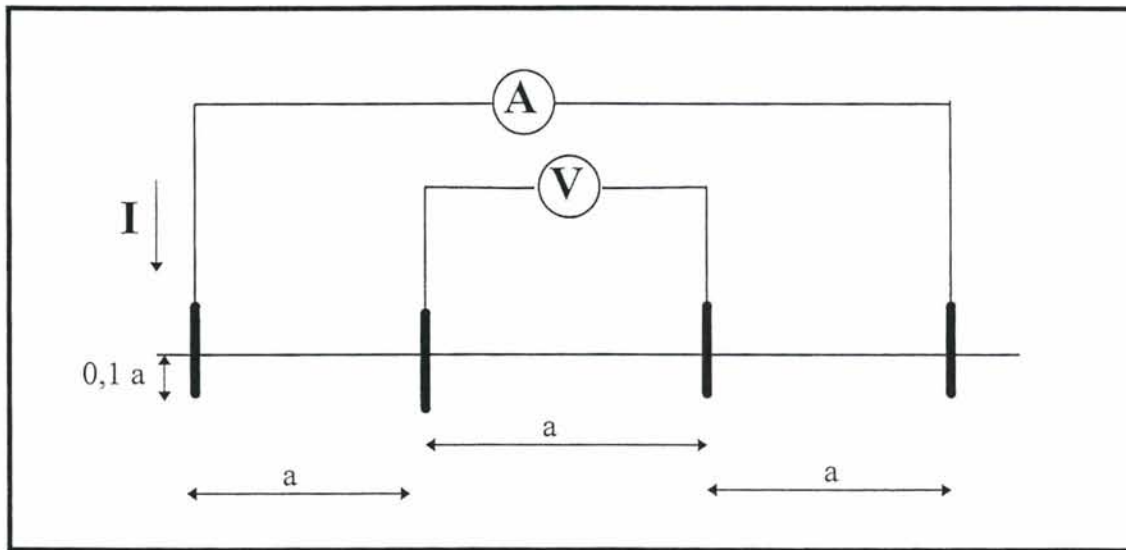
Metoden bruker som navnet sier fire referanseelektroder. Disse er små elektroder med tilledninger. Elektrodene blir gravd ned i jorden og plassert på en rett linje, se figur 3-3. Mellom de to ytterste elektrodene påtrykkes det en kjent strøm samtidig som spenningsfallet mellom de to midterste elektrodene måles. På bakgrunn av dette spenningsfallet beregnes jordsmonnets gjennomsnittlige resistivitet.

Ved måling av resistiviteten i bakken tas det flere forbehold. Dersom det er et homogent sjikt på målestedet vil måleresultatet gi resistiviteten for dette jordsjiktet. Dersom jordsjiktet ikke er homogent vil den resistiviteten som fremkommer være et gjennomsnitt for den blandingen av jordtyper som er på det aktuelle målestedet.



figur 3-3 Måleoppsett for firepunktsmetoden

De to mest brukte varianter av denne metoden er Wenners metode og Schlumberger-Palmers metode. Måleoppsettene for de to målemetodene er vist i figur 3-4 og figur 3-5. Jordmotstanden R_j er gitt av ligning 3-2. Ved begge metodene er elektrodene gravd ned til en dybde h , figur 3-3.



figur 3-4 Måleoppsett for Wenners metode

Forskjellen går ut på at det ved bruk av Wenners metode er like stor avstand, a , mellom alle fire elektrodene. Det fører til uttrykket for jordens resistivitet i ligning 3-3.

ligning 3-3

$$\rho = \frac{4\pi a R_j}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4h^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + h^2}}} \quad [\Omega m]$$

hvor

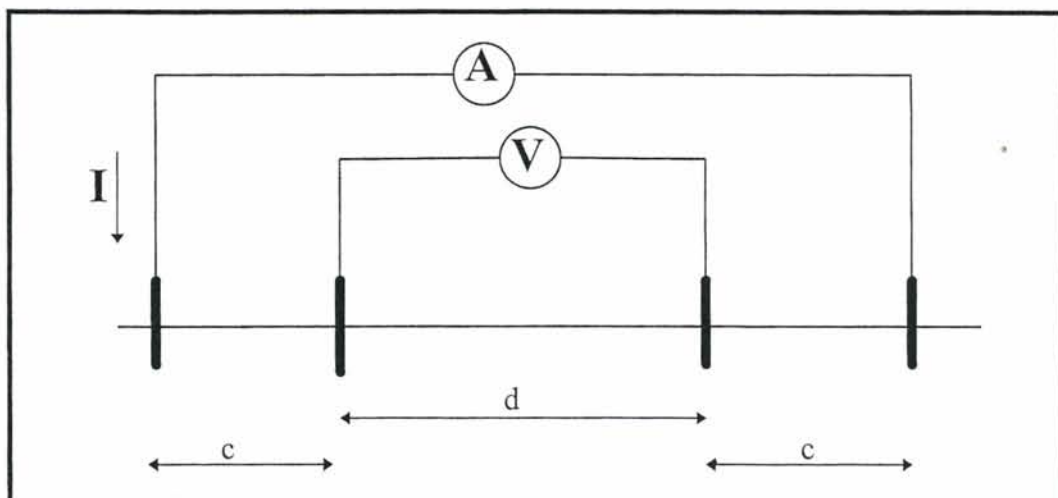
- R_j beregnet motstand ved hjelp av ligning 3-1 [Ω]
- a avstand mellom elektrodene, vist i figur 3-4 [m]
- h nedgravningsdybde for måleelektroder [m]

Metoden er beregnet for bruk av jordplater for måling. Det blir ofte brukt jordspyd istedenfor ved målingen, dersom spydene blir drevet ned til en dybde h som ikke overstiger $0,1a$, gjør dette at nedgravningsdybden h kan antas lik null. Dermed kan jordens resistivitet beregnes ved hjelp av ligning 3-4.

ligning 3-4

$$\rho = 2\pi a R_j \quad [\Omega m]$$

Ved bruk av Schlumberger-Palmers metode er det en større avstand, d , mellom de to midterste elektrodene, spenningselektrodene, enn det er mellom strøm og spenningselektrodene, hvor avstanden er c .



figur 3-5 Måleoppsett for Schlumberger-Palmers metode

Denne endringen i avstanden mellom elektrodene gir resistiviteten til jorden uttrykt ved ligning 3-5.

ligning 3-5

$$\rho = \frac{\pi c(c+d)R_j}{d} \quad [\Omega\text{m}]$$

hvor

R_j beregnet motstand ved hjelp av ligning 3-1 [Ω]

c avstand mellom elektroder som vist i figur 3-5 [m]

d avstand mellom elektrodene for spenningsmåling [m]

Schlumberger-Palmers metode blir gjerne brukt der hvor avstanden d mellom strømelektrodene er så stor at det blir vanskelig å måle spenningsfall mellom spenningselektrodene dersom avstanden innbyrdes mellom to og to elektroder skulle være lik. Wenners metode er den som blir mest brukt og som gir de mest pålitelige resultatene.

I tabell 3-2, [3] er det gitt noen typiske verdier for spesifikk motstand for forskjellige typer jordsmonn.

tabell 3-2 Resistivitet for ulike typer jordsmonn

Jord og bergarter	Typisk verdi ρ [Ωm]	Grenseverdier ρ [Ωm]
Leire	40	8 - 70
Leire og sandblanding	100	4 - 300
Skifer, sandstein etc.	120	10 - 1000
Fuktig leirjord, torv	150	5 - 250
Sand	2000	200 - 3000
Morenegrus	3000	40 - 10000
Granitt	25000	10000 - 50000

3.3 Formler for utregning av overgangsmotstand

For jordelektroder finnes det flere formler for utregning av overgangsmotstand. Disse formlene er avhengige av utformingen til jordelektroden og de er hentet fra [4].

For et jordspyd er overgangsmotstanden gitt i ligning 3-6.

ligning 3-6
$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r} \quad [\Omega]$$

hvor

- l**: lengden til jordspydet
- r**: jordspydets radius
- ρ** : resistivitet i bakken

Overgangsmotstand for en kuleformet jordelektrode er gitt i ligning 3-7.

ligning 3-7
$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad [\Omega]$$

hvor

- ρ** : resistivitet i bakken
- a**: radien i jordelektroden

4. Måling og beregning av overgangsmotstand på Gardermobanen

4.1 Måling av overgangsmotstand

Ved målingene som er utført er potensialfallmetoden benyttet. Det er målt med avstand x mellom målepunktene. De måleapparatene som er benyttet under målingene, **Norma jordplatemåler** og **Terca 2**, gir begge måleresultatet i ohm. Forskjellen på disse måleinstrumentene er at **Terca 2** kan måle med forskjellige strømstyrker slik at denne kan måle høye og lave overgangsmotstander, målinger som **Norma jordplatemåler** ikke har stort nok måleområde til å måle.

I **vedlegg A** er det fotografier av hvordan tilkoblingene til de forskjellige delene i måleoppsettet ble utført.

Tilkoblingen til de to måleapparatene er lik. De har fire terminaler hver. To er koblet sammen ved måling av overgangsmotstand. Terminalene er merket X, X_V , Y og Z på Terca 2, og E_1 , E_2 , S og HE på Norma jordplatemåler.

- X og X_V er koblet sammen, og til en av disse terminalene er elektroden som skal måles koblet. I dette tilfelle ble kobbertråden til mastefundamentene koblet til denne terminalen ved hjelp av en klemme og en PN-leder.
- Y-terminalen skal kobles til spenningselektroden. Ved målingene ble det benyttet jordspyd og tilkoblingen med PN-leder.
- Z-terminalen skal kobles til strømelektroden. Ved målingene ble det benyttet jordspyd og tilkoblingen med PN-leder.

Avstanden d mellom jordelektroden og strømelektroden varierte noe ved målingene, men det ble funnet at det var tilstrekkelig med en avstand på 30-70 m ved måling på mastefundamenter.

Overgangsmotstanden skal stige nær måleobjektet og så flate ut, men fortsatt ha en liten stigning før den igjen skal stige når den nærmer seg strømelektroden. Måleobjektets overgangsmotstand er den motstanden som måles der kurven flater ut. Ved måling på tverrforbindelser ble klypen koblet til tverrforbindelsen og målingen ble utført på samme måte som for mastefundament, med strømelektrode og spenningselektrode. Det ble ikke målt helt frem til strømelektroden på alle måleobjektene, da det ikke var den delen av profilen som var av interesse ved målingene. I tabellene over målt overgangsmotstand er det oppført overgangsmotstanden for den flate delen av profilen.

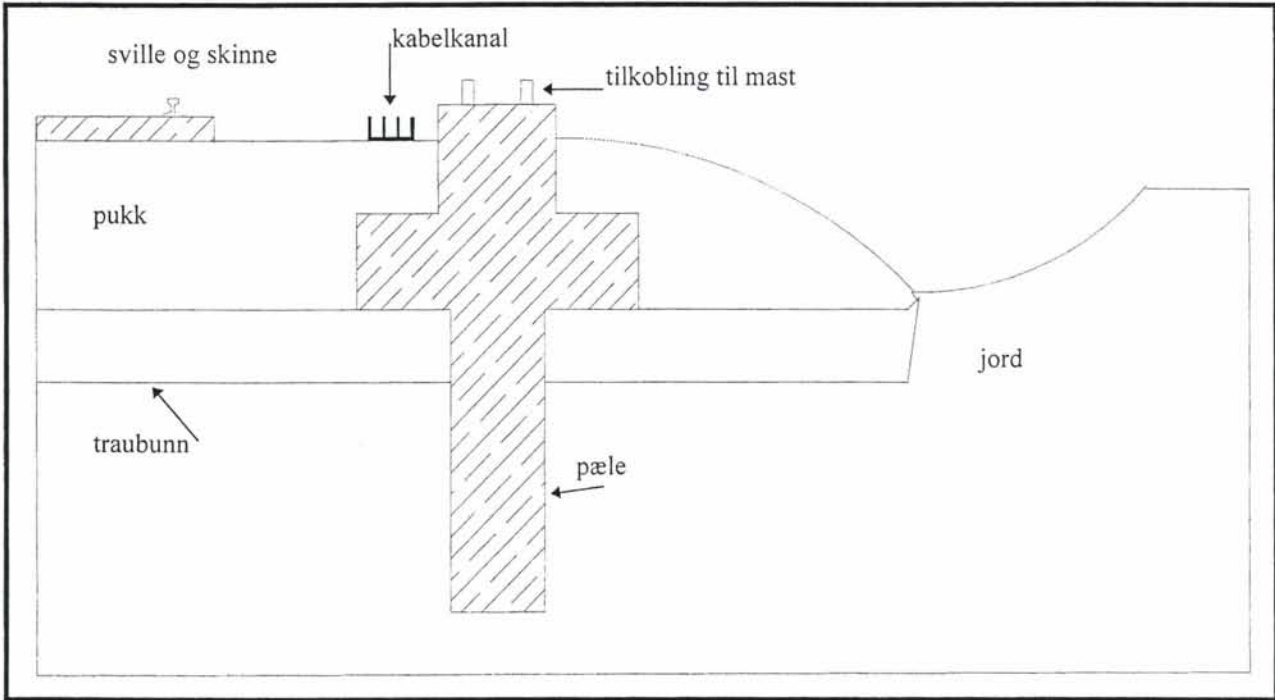
På bakgrunn av geologiske undersøkelser som er utført for Gardermobanen i forbindelse med byggingen av banetraséen er målestedene valgt. Et sammendrag av disse geologiske undersøkelsene finnes i **vedlegg B**. Det ble valgt ut noen områder med leirgrunn og noen med sandgrunn. De forskjellige typene mastefundamenter var også avgjørende for hvilke målesteder som ble valgt.

Ved måling av resistivitet ble Wenners metode, se figur 3-4, benyttet fordi det var denne målemetoden måleapparatene var kalibrert for. Ved å fjerne sammenkoblingen mellom X_V og X terminalene og koble X og Z terminalene til strømelektroden og X_V og Y terminalene til

spenningselektrodene kom motstanden R_j frem på displayet og ligning 3-4 kunne benyttes for å finne resistiviteten. Ved måling ble det benyttet fire spyd. Avstanden mellom spydene var mellom 10 og 30 m.

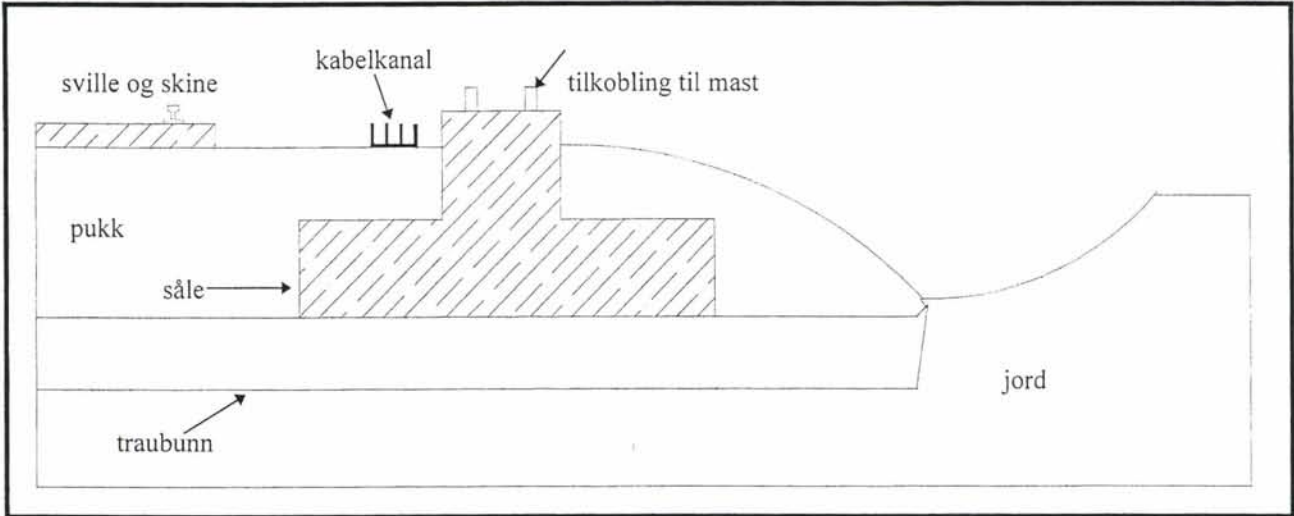
4.2 Beregning av overgangsmotstand

Overgangsmotstand langs banen vil variere en del. Det er forventet en lavere overgangsmotstand for pælefundamenter, se figur 4-1, enn for sålefundamentene, se figur 4-2.



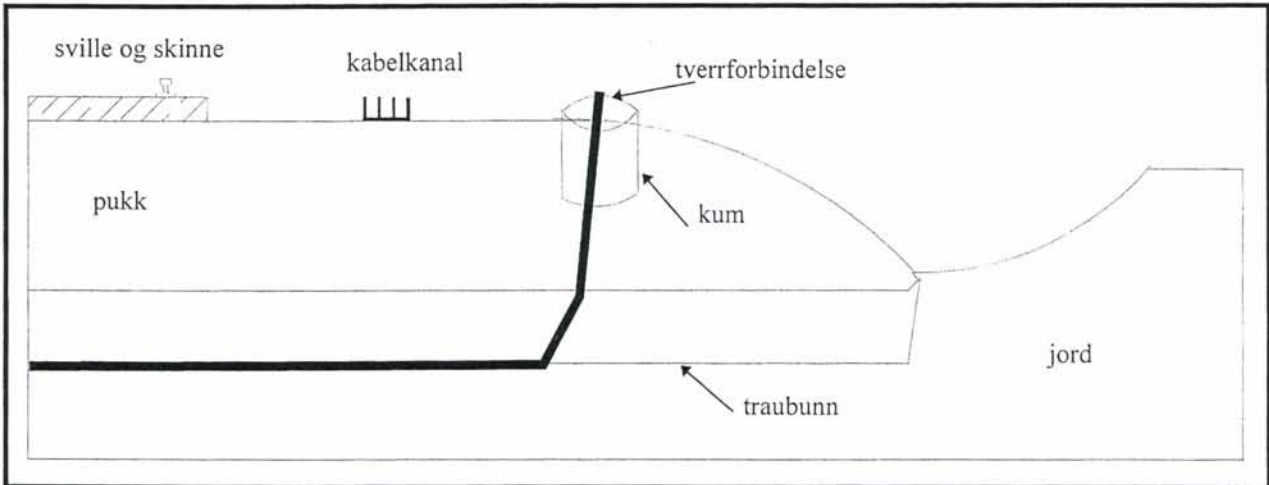
figur 4-1 Pælefundament for mast

Dette fordi pælefundamentene går ned i jordsmonnet og får kontakt med ledende jordsmonn. Disse fundamentene er plassert i områder med løsmassejord som leire. Disse jordsmonnene har lav resistivitet, se tabell 3-2. Pælen på fundamentet er fire meter lang og det er antatt at denne pælen vil ligge i delvis frostfri sone. Dette fører til at overgangsmotstanden for denne fundamenttypen ikke vil være like avhengig av temperaturen som sålefundamentene.



figur 4-2 Sålerefundament for mast

Sålerefundamentene har bare kontakt med pukk og denne har en høyere resistivitet enn leirjord. Dette gjør at overgangsmotstanden vil bli høyere for denne fundamenttypen enn for pælefundamentene uavhengig av jordsmonnet under pukken. Overgangsmotstanden vil også bli påvirket av vær og temperatur.



figur 4-3 Tverrforbinder mellom jordlinene

For tverrforbindelsene vil overgangsmotstanden variere avhengig av jordsmonnets resistivitet og hvor de er plassert. Tverrforbindelsene er uisolerte kobbertråder med et tverrsnitt på 50 mm^2 . De må ligge minst 1 m under SOK (skinneoverkant) eller helst på traubunnene, se figur 4-3.

Å beregne verdier for mastefundamentene vil være meget vanskelig på grunn av den utformingen de har. Det vil derfor ikke bli gjort, men det som står over ble tatt til følge ved måling av overgangsmotstand ved å sammenligne måleresultatene mellom de forskjellige mastefundamenttypene og målinger ved forskjellig jordsmonn.

I tunnelen Romeriksporten mellom Etterstad og Stalsberg, er fjellet av flere forskjellige bergarter. I hovedsak består det av granitt og gneis. Resistiviteten for disse bergartene ble funnet i flere tabeller. For granitt var det liten variasjon i oppgitt resistivitet mellom de forskjellige tabellene, de var rundt 25000 Ωm , mens det for gneis var store variasjoner i oppgitt resistivitet, en middel var rundt 5000 Ωm . Overgangsmotstanden kobberspyd med 6 m lengde og diameter på 5/8" eller 15.875 mm ble beregnet ved ligning 3-6. R_{spyd} , overgangsmotstanden for spydet, ble funnet for gneis og granitt, se tabell 4-1.

tabell 4-1 Overgangsmotstand for spyd på 6m, 5/8" i Romeriksporten

Bergart	Overgangsmotstand [Ω]
Gneis	879
Granitt	4395

Spydene er støpt inn i fjellet ved hjelp av elektrodemasse. Bruk av elektrodemasse vil redusere overgangsmotstanden noe fordi kontaktflaten for elektrodemassen blir større enn kontaktflaten for spydet.

Hullene som ble boret i fjellet og fylt med spyd og elektrodemasse hadde en diameter på vel 50 mm og de var 6.5 m dype. Det ble gjort en utregning for overgangsmotstand for disse hullene på samme måte som for spydet. Resultatet av disse utregningen er vist i tabell 4-2.

tabell 4-2 Overgangsmotstand for "hull" 6.5m, 5 cm i Romeriksporten

Bergart	Overgangsmotstand [Ω]
Gneis	596
Granitt	2979

5. Måletur nr. 1; 2. juli

Med på turen var Tore Sørensen, GMB som sikkerhetsmann og kjentmann, Oddgeir Rokseth fra EFI, Anngjerd Pleym, NTNU og Anna Sofie Mørland, NTNU. Det var byggevær og hadde regnet dagene før måleturen slik at det var våt jord, stedvis med overvann, som ble målt. Temperaturen var rundt $+15^{\circ}\text{C}$. Alle måleresultatene fra denne måleturen står i **vedlegg C**. De er vist i tabell, og profilen er vist i tilhørende diagram.

Det var tenkt å måle nær trafikkert spor, på Lillestrøm stasjon og nordover langs Leirsundveien og ved Arteid bru. Det viste seg å være umulig å måle på Lillestrøm stasjon på grunn av mye anleggstrafikk og bygninger i nærheten av mastefundamentene.

Derfor ble det kjørt videre til neste målested, sugetransformator ved mast 20-21, litt nord for Åråsen stadion. Der ble fundamentet til sugetransformatoren målt med Terca 2 og Norma Jordplatemåler. Fundamentet til sugetransformatoren lå i underbygningen uten kontakt med jordsmonnet. Det ble tatt tre måleserier, to med 40 m avstand mellom fundamentet og strømelektroden og en med 130 m til strømelektroden. Måleseriene ga tilnærmet like profiler. Ut fra disse profilene ble det klart at måleområdet dekket de karakteristiske delene av potensialfallprofilen. Jordsmonnet rundt jernbanetraseen var leire og jordbruksjord, kornåker og et lite skogholt med en bekk.

Neste målested var rett nord for Arteid bru, mastene 31-11, 31-13 og 31-15. I tillegg ble overgangsmotstanden for tverrforbindelsen ved 31-13 målt. Målepunktene for mast 31-13 og tverrforbindelsen er de samme. I målepunkt 3 på måling av tverrforbindelsen ved 31-13 var det dårlig kontakt slik at denne målingen avviker fra de andre. I målepunkt 9 ble det tatt en måling med tverrforbindelsen og mastefundamentets jordingspunkt sammenkoblet. Denne målingen viste som forventet de to overgangsmotstandene i parallell, målt verdi $8,7\ \Omega$. Den beregnede verdien for parallellkoblingen av de to måleobjektene ga $8,24\ \Omega$. På dette målestedet ble jordelektroden satt ned i en jordbæråker langs med sporet. Ved disse måleseriene ble bare instrumentet Terca 2 benyttet. På slutten av målingen begynte det å regne.

Overgangsmotstand for fundamentene og tverrforbindelsene er vist i tabell 5-1.

tabell 5-1 Overgangsmotstand, måletur 1

Maste-nummer	Type måleobjekt	Måleapparat, avstand	Overgangsmotstand
20-21	sugetransformator	Terca 2, 40m	220 Ω
		Norma, 40m	225 Ω
		Norma, 130m	230 Ω
31-11	Pælefundament	Terca 2, 80m	11,7 Ω
31-13	Pælefundament	Terca 2, 80m	10,5 Ω
31-13	Tverrforbindelse	Terca 2, 80m	36,7 Ω
31-15	Pælefundament	Terca 2, 70m	10,2 Ω

6. Måletur nr. 2; 3. juli

Med på turen var Oddgeir Rokseth, Anngjerd Pleym og Anna Sofie Mørland. Det var tidvis lett yr i luften og bakken var våt med stedvis overvann på grunn av nedbør de foregående dagene. Temperaturen var rundt $+15^{\circ}\text{C}$. Alle måleresultatene fra denne måleturen står i vedlegg D.

De første målingene denne dagen ble gjort rett sør for broen hvor Leirsundveien krysser Gardermobanen. Overgangsmotstanden for mastene 22-11, 22-12, 22-14, 22-16 og 22-18 i tillegg til tverrforbindelsen ved 22-16 ble målt. For mast 22-16 og tverrforbindelsen ble det brukt de samme målepunktene. 22-11 ble målt over sportraséen, og det ble benyttet felles målepunkter som for 22-12 på venstre side av traseen. For mast 22-11 er målepunktene 0,5, 1, 2 og 3 tatt opp i traseen. Strømelektroden var ved disse målingene plassert i våt jordbruksjord og ved måling på mastene 22-11 og 22-12 ble noen av målepunktene lagt ned i et bekkefar.

Etter at mastenes overgangsmotstand var målt, ble jordens resistivitet målt på jorden til venstre for jernbanetraseen. For å måle resistiviteten til jorden ble Wennergrens metode brukt. Avstanden mellom jordspydene var 26,5 m. Først ble Terca 2 benyttet til å måle, resultatene er vist i tabell 6-1. Deretter ble Norma jordplatemåler benyttet. Da ble motstanden målt til $1,9\ \Omega$, noe som tilsvarte en resistivitet på $316\ \Omega\text{m}$ ifølge formelen oppgitt i bruksanvisningen til Norma, ligning 3-4.

tabell 6-1 Resistivitet v.h.j.a. Terca 2

Strøm [mA]	$R_{2,3}$ [Ω]	ρ [Ωm]
2	488	81254
10	114	18981
50	36,7	6110

De neste målingene av overgangsmotstand ble tatt opp ved Jessheim omformerstasjon på mastene 40-18, 40-20 og 40-22 pluss tverrforbindelsen ved 40-22. Jordelektroden ble satt ned i åker på venstre side av sporet. Under disse målingene begynte det å duskregne. Måleresultatet for mastefundament 40-20 var avvikende fra de andre målingene, dette kan skyldes at det lå noen kabler eller lignende i bakken som påvirket målingene.

tabell 6-2 Overgangsmotstand, måletur 2

Maste- nummer	Type måleobjekt	Måleapparat, avstand	Overgangs- motstand
22-11	Pælefundament	Terca 2, 65 m	19 Ω
22-12	Pælefundament	Terca 2, 50 m	14 Ω
22-14	Pælefundament	Terca 2, 40 m	15 Ω
22-16	Pælefundament	Terca 2, 35 m	43 Ω
22-16	Tverrforbindelse	Terca 2, 35 m	36 Ω
22-18	Sålefundament	Terca 2, 35 m	42 Ω
40-18	Pælefundament	Terca 2, 60 m	13 Ω
40-20	Pælefundament	Terca 2, 40 m	16,6 Ω
40-22	Sålefundament	Terca 2, 60 m	31 Ω
40-22	Tverrforbindelse	Terca 2, 60 m	57,5 Ω

7. Måletur nr. 3; 7. august

Med på måleturen var Hans Kubberød fra ABB og Anna Sofie Mørland. Det var pent vær og tørt i bakken. Jorden som ble målt var tørr og det var rundt +20-25°C i luften. På denne måleturen ble måleapparatet Norma jordplatemåler benyttet. Alle måleresultatene er vist i **vedlegg E**. De er vist i tabell, og profilen er vist i tilhørende diagram.

Det ble først målt på parsellen nord for Gardermoen hovedflyplass, sør for stedet hvor Sessvollvegen krysser Gardermobanen. Der var det sandgrunn og skog rundt traseen. Overgangsmotstanden for mastefundamentene 53-20, 53-22 og 53-24 i tillegg til tverrforbindelsen ved 53-22 ble målt. For fundament 53-22 og tverrforbindelsen ble det benyttet felles målepunkter. Strømelektroden var ved disse målingene plassert i tørr sandjord i barskogområdet.

De neste målingene ble tatt opp på den samme parsellen som de første, men en kilometer nærmere Gardermoen. Her ble mastefundamentene 52-30, 52-32 og 52-34 målt. Strømelektroden stod ved disse målingene i samme type jordsmonn som ved de første målingene.

Den neste målingen ble tatt opp ved Jessheim omformerstasjon. Dette var en kontrollmåling for å sjekke om det var noen endring i overgangsmotstanden fra sålefundamentet 40-22 ved tørt vær, denne målingen, kontra ved fuktig vær, måletur 2. Ved dette fundamentet var det leire. Her ble en gjerdestolpe benyttet som spenningselektrode ved målepunkt 1.

Overgangsmotstand for fundamentene og tverrforbindelsene er vist i tabell 7-1.

tabell 7-1 Overgangsmotstand, måletur 3

Maste-nummer	Type måleobjekt	Måleapparat, avstand	Overgangs-motstand
40-22	Sålefundament	Norma, 40 m	34 Ω
52-30	Sålefundament	Norma, 50 m	400 Ω
52-32	Sålefundament	Norma, 50 m	230 Ω
52-34	Sålefundament	Norma, 50 m	350 Ω
53-20	Sålefundament	Norma, 40 m	280 Ω
53-22	Sålefundament	Norma, 40 m	310 Ω
53-22	Tverrforbindelse	Norma, 40 m	140 Ω
53-24	Sålefundament	Norma, 40 m	310 Ω

8. Måletur nr. 4; 8. august

Med på denne måleturen var Hans Kubberød, ABB og Anna Sofie Mørland. Det var pent vær, overskyet og tørt. Jorden som ble målt var tørt og lufttemperaturen var rundt +20°C. Måleapparatet som ble benyttet var Norma jordplatemåler. Alle måleresultatene er vist i **vedlegg F**. De er vist i tabeller, og profilene er vist i tilhørende diagram.

Alle målingene ble tatt opp på parsellen sør for Gardermoen hovedflyplass. Det ble først målt på fundamentene 42-34, 43-2 og 43-4. Her ble de første målingene tatt opp i støyvollen ved sporet, grus og sandjord, mens strømelektroden var plassert ved en kornåker. På det siste fundamentet 43-4 var strømelektroden plassert i sand, og dette gav en høyere overgangsmotstand enn på de to andre fundamentene som ble målt her.

Det var tenkt å måle nærmere Gardermoen hovedflyplass, på fundamenter rundt 44-24. Denne målingen ble sløffet fordi det var vanskelig å finne noe egnet sted for å plassere strømelektroden og fordi grunnforholdene var lik de som ble målt på måletur 3, 7. august, sand og skogbunn på sand.

Den siste målingen ble tatt ved Jessheim omformerstasjon. Denne målingen kontrollerte det måleresultatet som avvik fra vanlig utseende fra måletur 2, 3. juli. Det var fundament 40-20 som ble målt i denne omgangen. Denne gangen gav resultatene en fin profil uten uvanlige innslag. Strømelektroden ble ved denne målingen plassert i kornåker mens målepunktene gikk langs støyvollen og ut på jordet.

Overgangsmotstand for fundamentene er vist i tabell 8-1.

tabell 8-1 Overgangsmotstand, måletur 4

Maste-nummer	Type måleobjekt	Måleapparat, avstand	Overgangs-motstand
40-20	Pælefundament	Norma, 40 m	12 Ω
42-34	Sålefundament	Norma, 40 m	100 Ω
43-2	Sålefundament	Norma, 40 m	115 Ω
43-4	Sålefundament	Norma, 40 m	190 Ω

9. Måletur nr. 5; 27. august

Med på denne måleturen var Oddgeir Rokseth, Anngjerd Pleym og Anna Sofie Mørland. Målingene ble utført i Romeriksporten ved km 15,5 referert til Gardermobanens lengdeangivelse. Dette var rundt 2 km fra utgangen ved Lillestrøm. Inne i tunnelen var det mye fuktighet og temperaturen lå på rundt +20°C. Måleresultatene er vist i **vedlegg G**.

Det ble målt overgangsmotstand for to 6 m lange jordspyd med diameter 5/8", kalt spyd A og B. Spydene var støpt inn i hull på 6,5 m med GEM elektrodemasse 26. august. For å måle spydene var det sveiset på 1,5 m lange 70 mm² kobberledere til spydene. Disse ble koblet til på samme måte som ved måling på mastefundamentene. For å foreta måling i tunnelen var det boret hull for plassering av strømelektroden og spenningselektroden. Avstanden fra hovedelektroden til hjelpeelektroden var rundt 100 m. Nærmest spydene var det 5 m avstand mellom målehullene, deretter var det 10 m avstand og nærmest strømelektroden var det tre hull med 5 m avstand. Disse hullene var rundt 40 cm dype og de ble også fylt med GEM elektrodemasse for å oppnå god kontakt ved målingene. I noen av hullene var det kommet en del vann fra fjellet, det gjaldt også hullet hvor spyd B var plassert. Her var det vanskeligere å få inn elektrodemassen.

Det ble målt i begge retninger for begge spydene. Den første måleserien ble tatt opp i retning av Oslo, innover i tunnelen. Den andre serien ble tatt mot utgangen av tunnelen, retning Stalsberg. Spydene stod med en avstand på 5 m, og spyd A var nærmest Oslo. Under målingene ble Terca 2 benyttet med strømstyrken 10 mA. Måleresultatene står i tabell 9-1.

tabell 9-1 Overgangsmotstand måletur 5

Spyd	Måleretning	Overgangs- motstand
A	Oslo	430 Ω
A	Stalsberg	430 Ω
B	Oslo	590 Ω
B	Stalsberg	595 Ω

10. Måletur nr. 6; 28. august

Denne måleturen ble utført av Anngjerd Pleym og Anna Sofie Mørland. Det var pent vær, rundt +20°C. Jorden var litt fuktig etter regn noen dager tidligere. På denne måleturen ble Terca 2 benyttet til å måle overgangsmotstanden og resistivitet og Norma ble benyttet til å måle resistivitet. Måleresultatene for overgangsmotstandsmålingene er vist i **vedlegg H**.

Det ble først målt resistivitet ved Sessvollvegen rundt mastene 53-30. Målingen ble tatt i skogen ved siden av jernbanetraseen. Her var det et noe blandet jordsmonn med sand, steiner og trestammer på overflaten. Først ble det tatt en måling med avstand mellom elektrodene på rundt 10 m med Norma. Deretter ble det tatt tre målinger med avstand på rundt 24 m, to målinger ble tatt med Norma og en måling ble tatt med Terca 2, 2 mA. Måleresultatepe står i tabell 10-1.

tabell 10-1 Resistivitet ved Sessvollvegen

Måleapparat	Avstand [m]	R_{2-3} [Ω]	ρ [Ωm]
Norma	10	65	4084
Norma	24	4	603
Norma	24	6	904
Terca 2	24	15	2262

De neste målingen ble tatt rett sør for Gardermoen. Der ble det både målt resistivitet i bakken, se tabell 10-2 og overgangsmotstand for tre mastefundamenter, 45-6 - 45-10, se tabell 10-3. Her var det dyrket mark langs banetraseen, men det var en god del stein i bakken. Det ble gjort et forsøk på å måle resistivitet i pukken, men de resultatene var ikke som forventet. Den resistiviteten som ble målt i pukken var mindre enn resistiviteten i jorda.

Opplysninger som kom senere, viser at målingen var fornuftig. I området rundt Gardermoen hovedflyplass er det 10 m med morene med et tynt jordlag over. Morene har en høy resistivitet, noe i området rundt det som kan forventes for fjell. I pukken var det kort avstand mellom elektrodene og elektrodene var plassert i det øverste laget av pukken. Avstanden var større ved måling på dyrket mark, her var også elektrodene dypere ned i bakken.

tabell 10-2 Resistivitet sør for Gardermoen

Måleapparat	Avstand [m]	Målested	R_{2-3} [Ω]	ρ [Ωm]
Norma	20	dyrket mark	27,1	3400
Terca 2	10	pukk	41,5	2607

Ved måling av overgangsmotstanden ble Terca 2 benyttet og det ble benyttet en strøm på 2 mA.

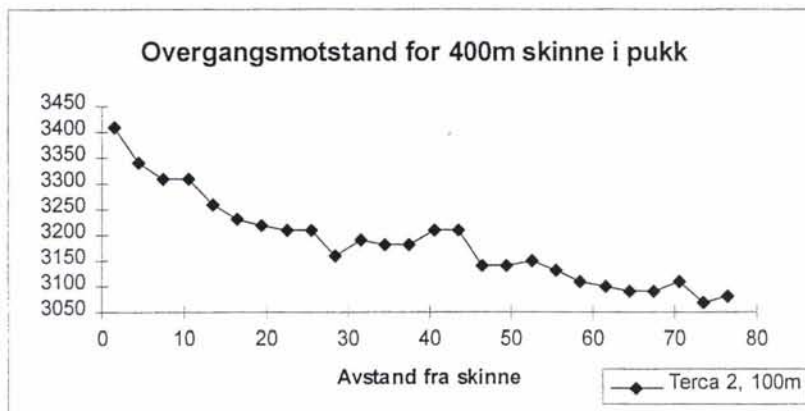
tabell 10-3 Overgangsmotstand måletur 6

Maste- nummer	Type måleobjekt	Måleapparat, avstand	Overgangs- motstand
45-6	Sålefundament	Terca 2, 50m	150 Ω
45-8	Sålefundament	Terca 2, 50m	90 Ω
45-10	Sålefundament	Terca 2, 50m	165 Ω

11. Måletur nr. 7; 11. september

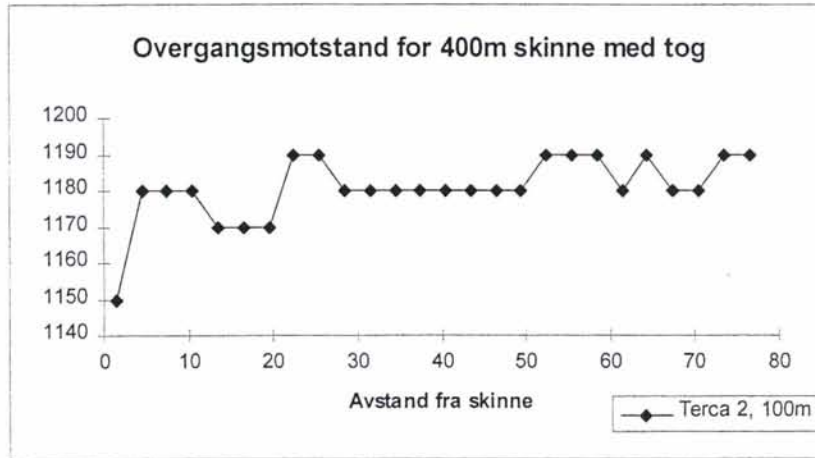
Med på denne måleturen var Ronny Stene, GMB som sikkerhetsmann, Anngjerd Pleym og Anna Sofie Mørland. Målingene ble utført på togskinner nord for Kløfta ved mastefundamentene 34-19 og 35-5. Det var lett overskyet og klart vær. Temperaturen lå rundt +5°C. Resultatet fra måleturen er vist i **vedlegg I**.

Det ble målt overgangsmotstand for togskinner. En skinnelengde var 400 m. Det var ønsket å måle en skinne som lå på sville uten at den var sveiset fast i andre skinner. Dette var vanskelig å få til. Derfor ble det først foretatt en måling på en skinne som lå løst i pukken. Denne målingen ble foretatt ved å koble seg til skinnen 125 m fra den ene enden. Dette målepunktet lå i mellom mastefundament 35-5 og 35-7. Målingene ble foretatt for høyre skinne i høyre spor, og strømelektroden ble plassert på et jordet mot E6. Det ble tatt opp målinger med spenningselektroden med 3 meters mellomrom til rundt 75 m fra skinnen, resultatet er vist i figur 11-1.



figur 11-1 Profil av overgangsmotstand for skinne i pukk

Det ble også tatt en måling på to skinner som lå på sviller. Disse skinnene var kortsluttet av et tog som stod oppå dem. Tilkoblingen skjedde mellom to av togets vogner, rett ved mastefundament 34-19. Målingen ble utført på samme måte som ved den første målingen resultatet er vist i figur 11-2. Disse skinnene var også 400 m lange. Ved denne målingen var det ikke pakket pukk rundt skinnene slik at det ikke var en representativ måling for hva overgangsmotstanden ville blitt ved et ferdig lagt spor.



figur 11-2 Profil av overgangsmotstand for skinne med tog

Målemetoden som ble benyttet ved skinnemålingen er beskrevet for bruk ved elektrodeanlegg med liten utstrekning. Det er derfor usikkert hvor god denne metoden er ved måling på en elektrode som er 400 m. Den gir en indikasjon på at overgangsmotstanden for skinnene ikke er uendelig.

Det var tenkt å måle motstanden mellom to skinner som lå på sviller. Denne målingen ble ikke utført fordi det ikke var noe sted skinnene ikke var kortsluttet av tog eller var sveiset sammen med påfølgende skinne.

12. Utregning av berøringspenning og kontrollmåling av overgangsmotstand

12.1 Beregning av berøringspenning og skrittspenning

Ved en kortslutning til en del i et elektrisk anlegg som normalt ikke er strømførende vil det oppstå en spenningsforskjell mellom denne delen av anlegget og omgivelsene. Denne spenningen kalles berøringspenning fordi det er den spenningen som en person som kommer i berøring med den spenningsatte delen vil være utsatt for, i figur 12-1 er dette vist, berøringspenningen er kalt U_b .

Berøringspenningen regnes ut ved hjelp av feilstømmen og defineres som spenningen mellom feilsatt del og sann jord.

ligning 12-1
$$U_b = I_e \cdot R_A \text{ [V]}$$

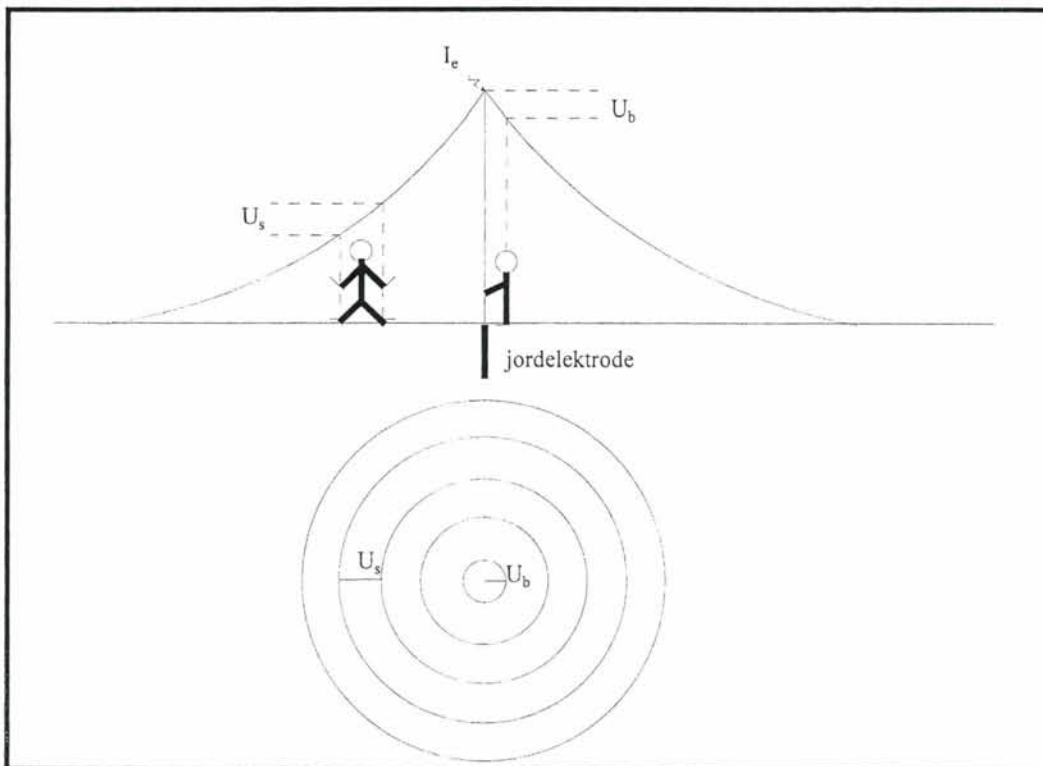
hvor

U_b : berøringspenning

I_e : feilstømmen

R_A : overgangsmotstand i egen jordelektrode

I [5] er det nevnt hvilke grenser berøringspenningen må holdes under. Disse grensene er avhengige av utkoblingstid og om det er likestrøm eller vekselstrøm.



figur 12-1 Berørings- og skrittspenning

Ved strøm gjennom jordelektroden vil det oppstå en spenningsforskjell rundt elektroden. Denne spenningsforskjellen avtar med økende avstand fra elektroden, se figur 12-1. Spenningsforskjellen pr. meter kalles for skrittspenning og er i ligning 12-2 gitt for en halvkuleformet jordelektrode

ligning 12-2
$$U_s = \frac{\rho \cdot I_e}{2 \cdot \pi} \left(\frac{1}{a \cdot (a+1)} \right) \text{ [V]}$$

hvor

ρ : resistivitet i bakken

I_e : strømmen ned i elektroden

a : avstanden fra elektroden til den nærmeste foten

12.2 Krav til berøringsspenning

Ifølge forskriftene kan det tillates berøringsspenning opp til 245 V på lite beferdet området når utkoblingstiden er under 0,3 sekunder. Utfra tidligere utførte kortslutningsberegninger, [6], er det regnet ut hvor høy overgangsmotstanden kan være for å tilfredsstille kravet til berøringsspenning, se tabell 12-1.

tabell 12-1 Kortslutningsstrøm langs Gardermobanen

km fra Oslo	I_k [kA]	R_A [mΩ]
0,0	21	11,67
4,4	13	18,85
8,8	18,5	13,24
13,5	10,5	23,33
17,5	11,6	21,12
22,4	7	35,00
27,1	5,6	43,75
31,7 - 36,4	5,1	48,04
41	5,7	42,98
44,5	4,8	51,04
48	4,6	53,26
52,5	3,8	64,47
57	3,4	72,06
61,5	3,3	74,24
66	3,4	72,06

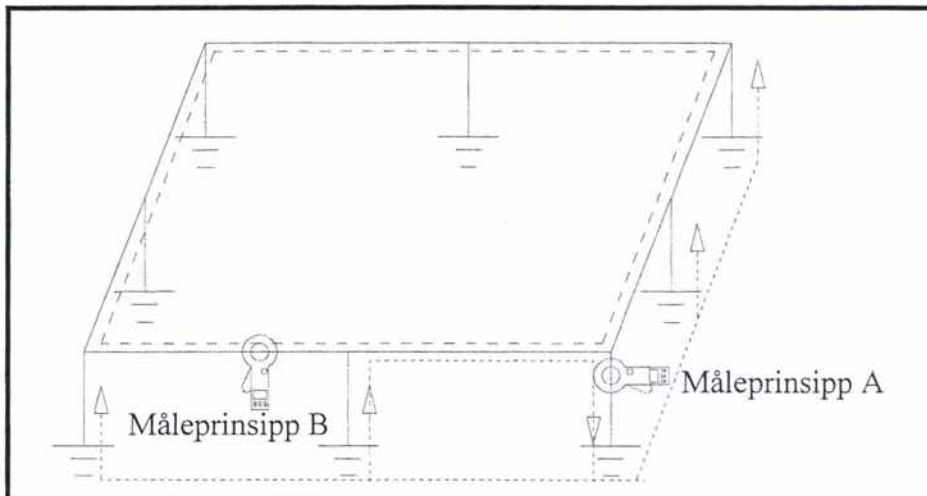
For området nærmest Oslo, på sørsiden av Romeriksporten, må det foretas en nærmere utredning. Det er dette området som har høyest kortslutningsstrøm, og derfor krav til lavest overgangsmotstand. Det er uklart hvilken innvirkning jordingen i Romeriksporten vil ha på den totale overgangsmotstanden.

I Romeriksporten er det usikkert hvordan jordingen skal foregå.

Fra km 18, Lillestrøm stasjon og til Eidsvoll er det regnet ut en tilnærmet total overgangsmotstand for Gardermobanen. Denne utregningen er gjort med utgangspunkt i målte overgangsmotstander på mastefundamenter og tverrforbindelser langs banen, og de geologiske undersøkelsene som er gjort med hensyn på hva slags grunnforhold som finnes langs banen. Det ble funnet at overgangsmotstanden totalt for hele strekningen var 17,6 mΩ, se **vedlegg J**. Dette tilfredsstiller kravet til overgangsmotstand fra utløpet på Romeriksporten og nordover, se tabell 12-1. I denne utregningen er jordingen i kulverten på hovedflyplassen ikke tatt med, slik at den totale overgangsmotstanden for systemet nok blir bedre. Det ligger også en usikkerhet i hvor representative målingene er for de forskjellige delstrekningene og eventuelle unøyaktigheter i måleresultatene.

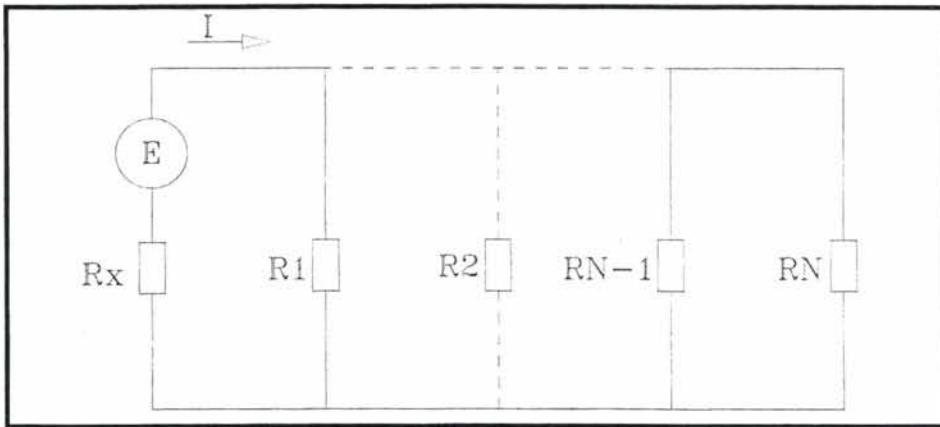
12.3 Kontrollmåling på systemet i drift

Etter at alle delene i jordingssystemet er koblet til jordlederen kan bidraget fra hver del kontrollmåles ved å bruke en jordsystemmåler, [7]. Ved måleprinsipp B måles resistansen i jordlederen som binder sammen jordelektrodene og ved måleprinsipp A måles motstanden i en sløyfe, overgangsmotstanden på en jordelektroden, se figur 12-2.



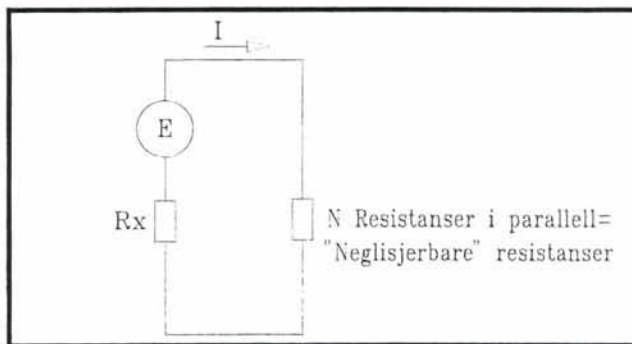
figur 12-2 Måleoppstilling for jordsystemsmåler

Ved bruk av måleprinsipp A måles motstand R_x for ønsket elektrode i parallell med motstanden $R_{\text{parallell}}$ fra alle de andre elektrodene, se figur 12-3.



figur 12-3 Prinsipiell måling med jordsystemsmåler

Parallellkoblingen gjør at de andre elektrodene bidrag blir mye mindre enn den målte elektrodens bidrag, se figur 12-4.



figur 12-4 Forenklet prinsipiell måling med jordsystemsmåler

Måleresultatet, R_{sloyfe} vil i tillegg til R_x og $R_{\text{parallell}}$ inneholde jordens motstand, R_{jord} , og motstanden i jordlinen, R_{jordline} . Disse to bidragene vil være små, slik at det ikke blir en stor feil i måleresultatet. På grunn av disse tre ekstra bidragene, fra parallellkoblede elektroder, jordmotstand og jordlederens motstand vil den målte verdien være litt høyere enn den faktiske verdien se ligning 12-3.

ligning 12-3
$$R_{\text{sloyfe}} = R_x + R_{\text{jord}} + (R_1 // R_2 // \dots // R_n) + R_{\text{jordline}}$$

Måleprinsipp A utføres ved å bruke et måleinstrument som er en tang som klemmes rundt forbindelsen mellom jordlederen og jordelektroden, se figur 12-2. Denne tangen har en generatorvikling som utvikler en vekselspenning med et konstant nivå E . Strømmålingsviklingen i tangen har verdien $I = E / R_{\text{sloyfe}}$. E og den målte strømmen I , er kjent og på den måten kan R_{sloyfe} bestemmes, og den vises i displayet på tangen.

For å kontrollere total overgangsmotstand i et området kan potensialfallmetoden benyttes. Det må være en avstand på 600 m fra hovedelektroden til strømelektroden. Spenningselektroden settes ned 300 m fra hovedelektroden. Denne målingen bør utføres for flere punkter i nærheten av hverandre for å sjekke hvordan målingen stemmer overens og for å utelukke

målefeil. For å kunne gjennomføre dette må det sendes ut nabovarsel til de husstander hvor det eventuelt er nødvendig å krysse eiendommen.

Denne målingen bør utføres i nærheten av tettbebygde strøk og stasjonsområder. Det er disse stedene det er størst sjanse for at det er mennesker i nærheten ved en eventuell kortslutning. Denne målingen gir et bilde av systemets overgangsmotstand ved det aktuelle målestedet.

13.Konklusjon

Målingene av overgangsmotstanden til de forskjellige typene mastefundamenter viste at overgangsmotstanden er avhengig av resistiviteten i bakken og at den derfor varierer opp til en dekade for fundamenter som står på steder med ulik resistivitet. Resistiviteten langs banen varierer fra 316 Ωm i områder med leire og til 3400 Ωm i område med morenegrus og sand- eller jordlag som dekke.

Målingene viste at pælefundamentene er gode jordelektroder, de står bare i områder med lav resistivitet. Sålefundamentene har en høyere overgangsmotstand og egner seg derfor ikke så godt som jordelektroder. Deres overgangsmotstand varierer i tillegg mye fordi de står i områder med ulik resistivitet i jordsmonnet under pukken.

Overgangsmotstanden til fundamentene varierer med fuktighet og temperatur. Sålefundamentene får størst variasjon, fordi disse fundamentene ikke ligger i frostfri sone. Det er antatt at pælene på pælefundamentet rekker ned i frostfri bakke slik at overgangsmotstanden for disse fundamentene ikke vil endres mye ved frost. Frost og tele vil føre til økt overgangsmotstand, mens mye nedbør vil redusere overgangsmotstanden.

På bakgrunn av målingene er det funnet at den totale overgangsmotstanden mellom Lillestrøm og Eidsvoll er lav nok til at kravet til maksimal berøringsspenning blir overholdt ved de kortslutningsstrømmene som det er beregnet at kan opptre på denne strekningen.

Skinne målingene gav ikke ønsket måleresultat. Årsaken til det var at målemetoden som ble benyttet er beregnet for elektroder med liten utstrekning. I tillegg var avstanden mellom skinnene og strømelektroden mindre enn skinnelengden, noe som også er et brudd på forutsetningene til målemetoden. Det bør derfor ses på andre muligheter for å identifisere skinnenes overgangsmotstand. Denne overgangsmotstanden har liten betydning for den totale overgangsmotstanden til jordingsanlegget, men den vil gi et bidrag til denne, og det er nødvendig å ha kjennskap til denne overgangsmotstanden ved 3D-simuleringer.

14. Referanser

- [1] Brede, Høidalen, Pleym, Rørvik, Seljeseth: Underlag for beregninger og målinger på jordelektroder i forskjellige elkraftanlegg. Trondheim: EFI, 1995 (EFI TR A4254).
- [2] ANSI/IEEE: IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System. New York: 1983. ANSI/IEEE Std. 81-1983
- [3] Norsk Elektroteknikk AS: Praktisk måling av overgangsmotstand til jord med jordplatemåler. 2.utg. 1995
- [4] Hansen: Elektroinstallasjoner, Trondheim: 1995, NTH
- [5] Elektrisitetstilsynet: Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner m.m., 1991
- [6] ABB Kraft, TB-0030 rev.A01, Dimensjonering av kontaktledningsanlegget returkrets og jordingsanlegg. 1995.
- [7] ABB Kraft, TB-0058 rev. A01, Teknisk beskrivelse av jordingskrets i Romeriksporten og Bekkedalshøgda. 1996.
- [8] Norsk Elektroteknikk AS: Praktisk måling av overgangsmotstand til jord med jordsystemsmåler for gjennomgående jord. 2.utg. 1995

15. Vedleggsliste

Vedlegg 1 Fotografier fra måleoppsett

Vedlegg 2 Geologisk undersøkelse langs banetraséen

Vedlegg 3 Måleresultater fra måletur 2. juli 1996

Vedlegg 4 Måleresultater fra måletur 3. juli 1996

Vedlegg 5 Måleresultater fra måletur 7. august 1996

Vedlegg 6 Måleresultater fra måletur 8. august 1996

Vedlegg 7 Måleresultater fra måletur 27. august 1996

Vedlegg 8 Måleresultater fra måletur 28. august 1996

Vedlegg 9 Måleresultater fra måletur 11. september 1996

Vedlegg 10 Overgangsmotstand langs Gardermobanen fra km 18 til km 67.

Vedlegg 11 Utstyrliste

VEDLEGG A

Bilder av måleoppkobling for måling av overgangsmotstand

Vedlegg A Bilder av måleoppsett og koblinger



Bilde 1: Sålefundament med mast og kum for tverrforbindelse



Bilde 2: Tilkobling til Norma jordplatemåler



Bilde 3: Tilkobling til kobbertråd fra mastefundament



Bilde 4: Tilkobling til måleelektrode, spyd



Bilde 5: Innstøping av 6 m jordspyd i Romeriksporten med elektrodemasse



Bilde 6: Tilkobling til Terca 2 og til togskinne

VEDLEGG B

JORDSMONN LANGS GARDERMOBANEN

INNHOLD

VEDLEGG B JORDSMONN LANGS GARDERMOBANEN	B-1
VEDLEGG B 1 KRYSSREFERANSER	B-1
VEDLEGG B 2 OSLO S - NITELVA.....	B-1
VEDLEGG B 3 NITELVA - ÅRÅSEN	B-2
VEDLEGG B 4 ÅRÅSEN - LEIRSUND	B-3
VEDLEGG B 5 LEIRSUND - KLØFTA.....	B-4
VEDLEGG B 6 KLØFTA - KVERNDALEN.....	B-5
VEDLEGG B 7 GARDERMOEN - RÅHOLT.....	B-6

Vedlegg B Jordsmonn langs Gardermobanen

Vedlegg B 1 Kryssreferanser

Sammenheng mellom arkivmapper hos NSB Gardermobanen og fundamenttegninger hos ABB Kraft er vist i tabell 1.

tabell 1 Kryssreferanse arkivmappe hos Gardermobanen og fundamenttegninger ABB Kraft

Arkiv GMB	Mastetegninger
214 Oslo S - Nitelva	G110 Oslo S - Etterstad G120 Etterstad - Stalsberg (tunnel) G130 Stalsberg - Nitelva
224 Nitelva - Åråsen	G140 Nitelva - Åråsen
234 Åråsen - Leirsund	G200 Åråsen - Leirsundveien
244 Leirsund - Kløfta	G210 Leirsundveien - Arteid bru
254 Kløfta - Kverndalen	G210 Leirsundveien - Arteid bru G230 Arteid bru - Kverndalen
264 Kverndalen - Gardermoen	G390 Kverndalen - Gardermoen S G490 Gardermoen S - Gardermoen N
274 Gardermoen - Råholt	G500 Gardermoen N - Bekkedalshøgda G510 Bekkedalshøgda - Ålborgsveien
284 Råholt - Eidsvoll	G520 Ålborgsveien - Eidsvoll S G530 Eidsvoll S - Eidsvoll N

Vedlegg B 2 Oslo S - Nitelva

Banen går i tunnel fra Etterstad til Stalsberg.

Etter at den igjen går åpent ved Rælingen viser målingene at dybden til fjell varierer fra fjell i dagen og til 14.4 m dybde. Løsmassene over fjell er fyllmasser over tørrskorpeleire, sand, steinete masse. Store variasjoner i løsmassene.

Vedlegg B 3 Nitelva - Åråsen

En jordprøveboring tilgjengelig for strekningen. Hvor den er tatt var ikke nevnt. Resultatet fra jordprøven er vist i tabell 2. Hovedtrekket fra denne målingen er leirejord med innslag av siltig sand. Silt er en løsmasse med partikkelstørrelse mellom leire og sand.

tabell 2 Jordsmonn mellom Nitelva og Åråsen

Dybde	Jordtype
3 - 3.8	siltig leire
5.1 - 5.3	siltig sand
7 - 7.2	leirig silt
8.5 - 8.7	siltig sand
9.7 - 9.9	leirig silt
10.5 - 10.8	siltig sand
11.4 - 11.9	leirig silt
16.5 - 16.9	siltig leire

Vedlegg B 4 Åråsen - Leirsund

Flere jordprøver tilgjengelig for denne delstrekningen. Boringer som er foretatt i nærheten av banesporet er tatt med i tabell 3. Hovedtrekket fra disse prøvene er at det er leirjord i hele dette området.

tabell 3 Jordsmonn ved forskjellige mastefundamenter mellom Åråsen og Leirsund

Tegningsnummer	Mastenummer	Jordsmonn
G200-J902	21-30 til 22-20	Hovedtrekk: 2-5 m tørrskorpeleire/tørrskorpesilt over siltig leire
	22-8	2 m tørrskorpesilt; 2 m siltig leire; 1 m tørrskorpesilt; siltig leire med forskjellige sjikt
	22-19 og 22-12	1 m tørrskorpeleire; 1 m silt; 1 m sand; 10 m siltig leire med forskjellige sjikt; sand med gruskorn
	22-20	3-14 meters dybde: leire
G200-J903	22-24 til 23-14	Hovedtrekk: 1-4 m tørrskorpeleire over lag av siltig leire og silt
	22-28	2 m siltig tørrskorpeleire; 1 m siltig leire; 1 m sand; 1 m siltig leire; 4 m leirig silt; 4 m siltig leire; sand m. gruskorn
	22-34 og 23-2	4 m siltig tørrskorpeleire; 8 m siltig leire; 1 m sandig silt; leire
	23-4	4-12 meters dybde: leire
	23-14	2-10 meters dybde: leire
G200-J904	23-16 til 24-2	Hovedtrekk: tørrskorpeleire over siltig leire med enkelte lag av silt og sand
	23-16	6 m siltig leire med forskjellige sjikt; 5 m silt; finsand
	23-20 og 23-22	3 m tørrskorpeleire; 5 m siltig leire; 1 m siltig finsand; 5 m siltig leire; sandig silt
	23-24	2 m tørrskorpeleire; siltig leire med tynne sjikt
	23-34	2 m tørrskorpeleire; 2 m silt; 3 m siltig leire; 1 m leirig silt; 5 m siltig leire; 1 m silt; finsand
G200-J905	24-4 til 24-16	Hovedtrekk: tørrskorpeleire over siltig leire med enkelte silt lag.
	24-6 og 24-8	2 m siltig tørrskorpeleire; siltig leire med tynne siltsjikt

Vedlegg B 5 Leirsund - Kløfta

Flere jordprøver var tilgjengelige for dette området. De som var tatt i nærheten av banesporet er referert i tabell 4. I hovedtrekk viste prøvene at det var leirjord men også noe sand i dette området.

tabell 4 Jordsmonn ved forskjellige mastefundamenter på strekningen Leirsund til Kløfta

Tegningsnummer	Mastenummer	Jordsmonn
G200-J906	24-26 til 25-18	Hovedtrekk: tørrskorpeleire over siltig leire
	24-26	3 m siltig tørrskorpeleire; siltig leire
	25-14	1 m finsand; 4 m siltig finsand; 2 m siltig sand; siltig leire
G210-J901	25-31 til 26-10	
	25-31	2 m forvitret leire; 3 m siltig leire; kvikkleire
	25-35	2 m siltig tørrskorpeleire; 7 m siltig leire; siltig kvikkleire
	26-4	2 m siltig tørrskorpeleire; 2 m siltig, forvitret leire; 18 m siltig leire; siltig kvikkleire
G210-J902	26-11 til 27-2	Hovedtrekk: tørrskorpeleire over fast siltig leire
	26-11	7 m siltig tørrskorpeleire; siltig leire
	26-19	3 m siltig tørrskorpeleire; 4 m siltig leire; 1 m silt; siltig leire
	26-25	2 m tørrskorpeleire/silt; 3 m siltig tørrskorpeleire; siltig leire
G210-J904/J905	28-9 til 29-7	Hovedtrekk: tørrskorpeleire over bløt/ middelsfast siltig leire
	28-9	2 m siltig tørrskorpeleire; siltig leire
	29-7	2 m siltig tørrskorpeleire; siltig leire

Vedlegg B 6 Kløfta - Kverndalen

Det var tatt noen jordprøver i dette området. De som var foretatt i nærheten av sportraseen er nevnt i tabell 5. I dette området var det leire.

tabell 5 Jordsmonn for forskjellige mastefundamenter mellom Kløfta og Kverndalen.

Tegningsnummer	Mastenummer	Jordsmonn
G230-J904	31-28	leire
G230-J916	36-17	leire med tørrskorpe
	36-25	50 m dybde: siltig leire 60 m dybde: leire
	36-31	45 m dybde: leire 55 m dybde: kvikkleire
G230-J918	37-34	leire
	38-1	leire
G230-J923	40-1	2.3 m dybde: oppfylt leire 7.55 m dybde: oppfylt leire
G230-J924	40-4 og 40-6	5.8 m dybde: leire 9.7 m dybde: leire 13.5 m dybde: mager, siltig leire
	40-14	11.4 m dybde: leire

Vedlegg B 7 Gardermoen - Råholt

Resultat fra jordprøver i område Gardemoen flyplass - Råholt, (Eidsvollværk terminal) er vist i tabell 6. På denne strekningen var det sand av varierende type i de øverste lagene. Der banetraséen gikk gjennom skogområder var det stedvis også torv i det øverste laget.

tabell 6 Jordsmonn ved forskjellige mastefundamenter mellom Gardermoen og Råholt.

Tegningsnummer	Mastenummer	Jordsmonn
G500-J904	50-28	1 m siltig sand mellomsand, noe siltig
	50-32	1 m siltig mellomsand 1 m siltig sand
	51-2	1 m siltig sand/grus siltig/grusig sand
	51-8	1 m siltig sand/grus sand
G500-J909	55-6	1 m mellomsand 3 m mellomsand
G500-J910	55-10 til 55-14	mellomsand
	55-16	finsand/ mellomsand
	55-18	mellomsand
	55-20	finsand/ mellomsand
	55-22	finsand/ mellomsand
	55-28	mellomsand
	55-30	mellomsand
	55-32	finsand/ mellomsand
	56-2	torv lagdelt sand og silt siltig finsand

VEDLEGG C

Resultater fra måletur 2.juli 1996 hvor sugetransformator v. fundament 20-21 og mastefundament 31-11 - 31-15 ble målt. Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 1”

Mastenummer:20-21

Fundamenttype: sugetransformator som står i underbygningen

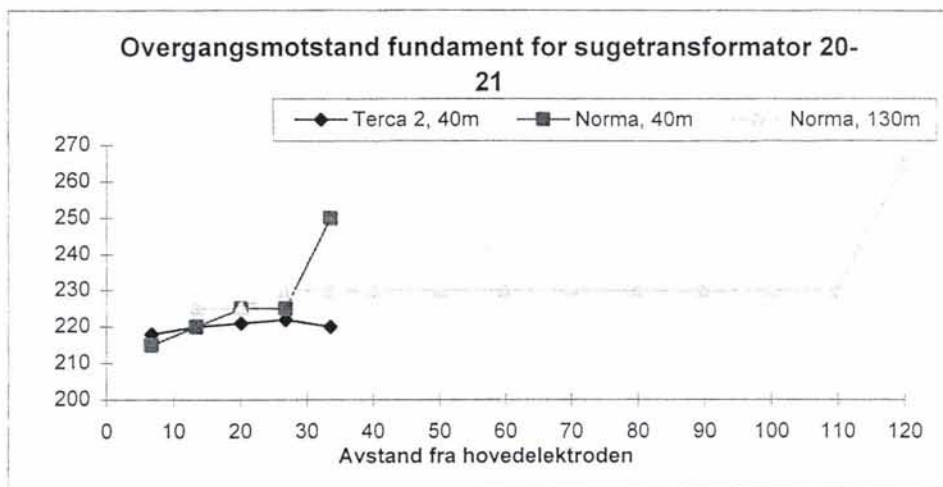
Dato for måling: 2.juli 1996

Vær: tidvis regn

Temperatur: ca +15

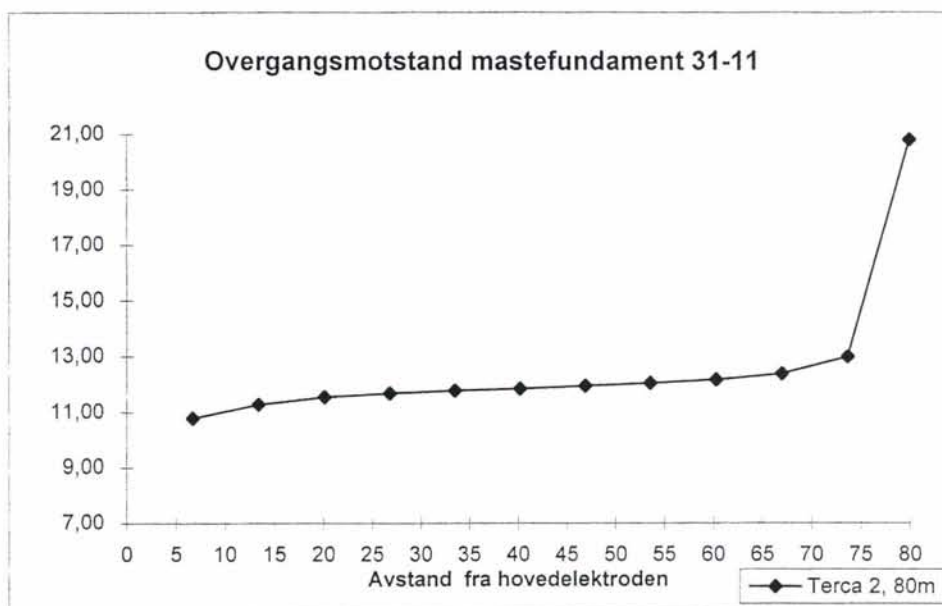
Jordsmonn: våt leire, jordbruksjord

Måleapp.	Terca 2	Norma	Norma
Strømstyrke [mA]: 50			
Avstand:	40	40	130
Avstand fra hovedelektroden	Overgangs- motstand	Overgangs- motstand	Overgangs- motstand
6,7	218	215	
13,4	220	220	225
20,1	221	225	225
26,8	222	225	230
33,5	220	250	230
40,2			230
50			230
60			230
70			230
80			230
90			230
100			230
110			230
120			265



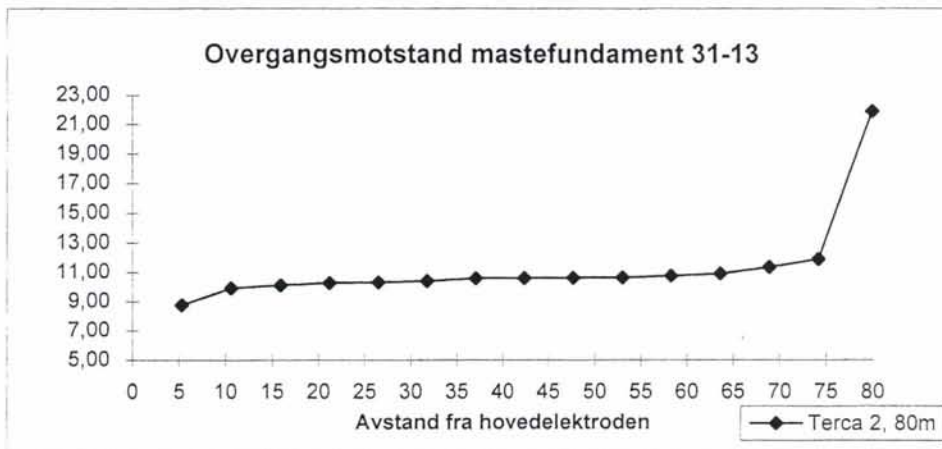
Mastenummer: 31-11**Fundamenttype: A-1****Dato for måling: 2.juli 1996****Vær: tidvis regn****Temperatur: +15****Jordsmonn: våt jordbruksjord, leire****Avstand til elektroden [m]: 80****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 50**

Avstand fra hovedelektroden	Overgangsmotstand
6,7	10,80
13,4	11,3
20,1	11,56
26,8	11,69
33,5	11,78
40,2	11,85
46,9	11,96
53,6	12,06
60,3	12,18
67	12,39
73,7	12,99
80	20,8



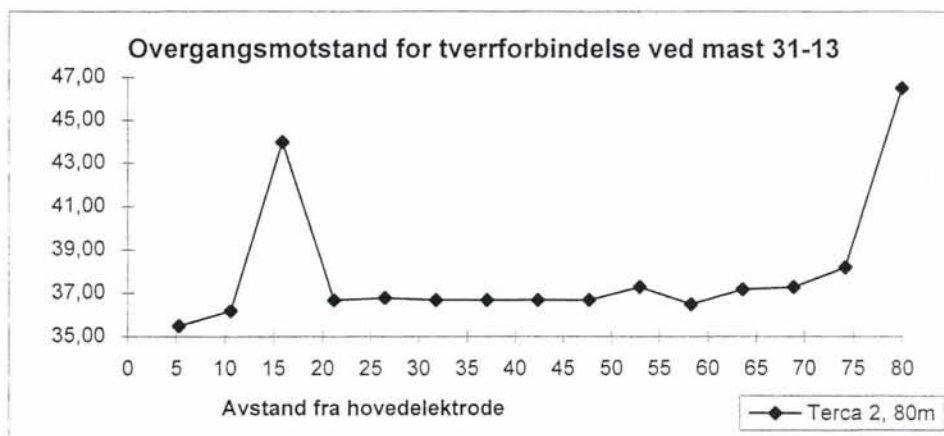
Mastenummer: 31-13**Fundamenttype: A-1****Dato for måling: 2.juli 1996****Vær: tidvis regn****Temperatur: +15****Jordsmonn: våt jordbruksjord, leire****Avstand til elektroden [m]: 80****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 50**

Avstand fra hovedelektroden	Overgangs- motstand
5,3	8,77
10,6	9,92
15,9	10,13
21,2	10,27
26,5	10,33
31,8	10,4
37,1	10,57
42,4	10,6
47,7	10,62
53	10,65
58,3	10,78
63,6	10,92
68,9	11,36
74,2	11,9
80	21,9



Mastenummer: 31-13**Fundamenttype:** tverrforbindelse**Dato for måling:** 2.juli 1996**Vær:** tidvis regn**Temperatur:** +15**Jordsmonn:** våt jordbruksjord, leire**Avstand til elektroden [m]:** 80**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 50

Avstand fra hovedelektroden	Overgangs- motstand
5,3	35,50
10,6	36,2
15,9	44
21,2	36,7
26,5	36,8
31,8	36,7
37,1	36,7
42,4	36,7
47,7	36,7
53	37,3
58,3	36,5
63,6	37,2
68,9	37,3
74,2	38,2
80	46,5



Mastenummer: 31-15

Fundamenttype: A-1

Dato for måling: 2.juli 1996

Vær: tidvis regn

Temperatur: +15

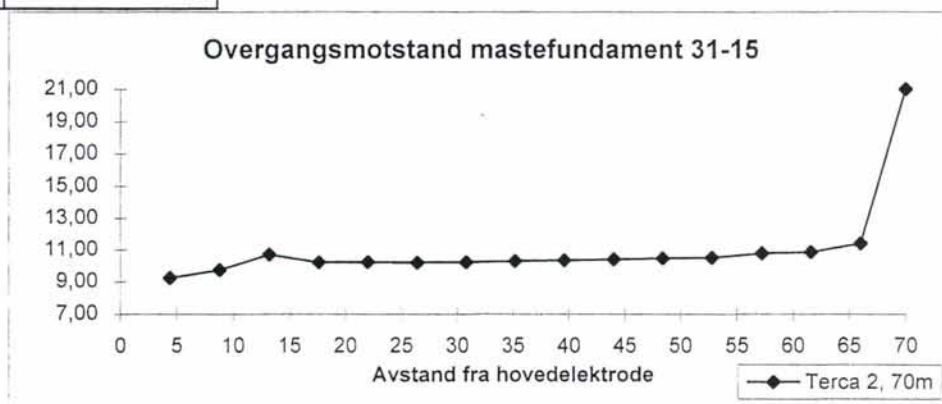
Jordsmonn: våt jordbruksjord, leire

Avstand til elektroden [m]: 70

Måleapparat: Terca 2

Strømstyrke [mA]: 50

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
4,4	9,25
8,8	9,75
13,2	10,72
17,6	10,23
22	10,24
26,4	10,2
30,8	10,22
35,2	10,3
39,6	10,37
44	10,42
48,4	10,49
52,8	10,52
57,2	10,8
61,6	10,89
66	11,42
70	21



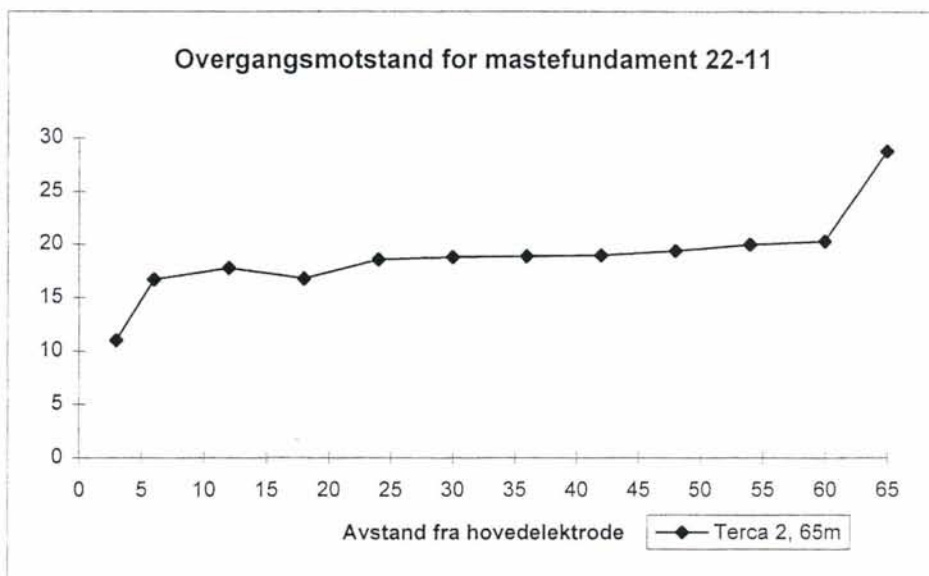
VEDLEGG D

Resultater fra måletur 3.juli 1996 hvor mastefundament 22-11 til 22-18 og mastefundament 40-18 til 40-22 ble målt. Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 2”

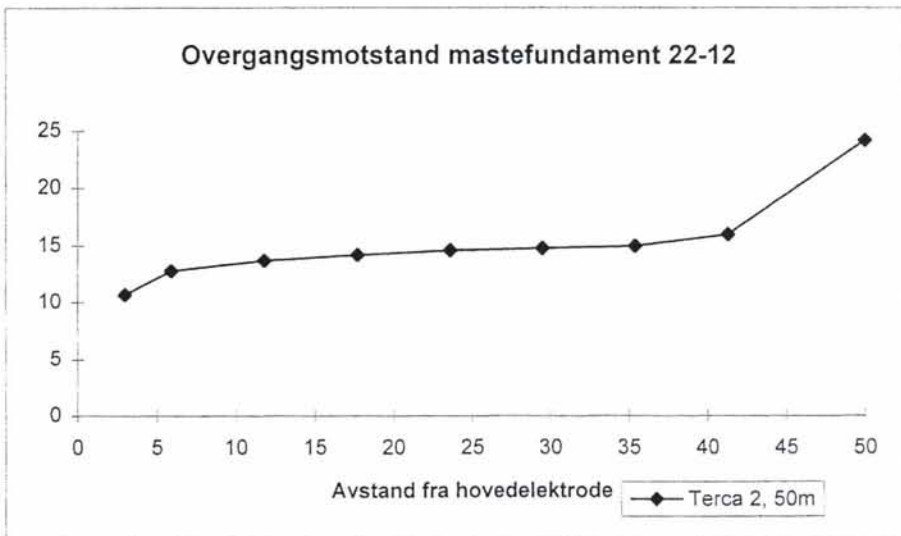
Mastenummer:22-11**Fundamenttype: A-2****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: overskyet med duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 65****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 10**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
3	11
6	16,7
12	17,8
18	16,8
24	18,6
30	18,8
36	18,9
42	19
48	19,4
54	20
60	20,3
65	28,8



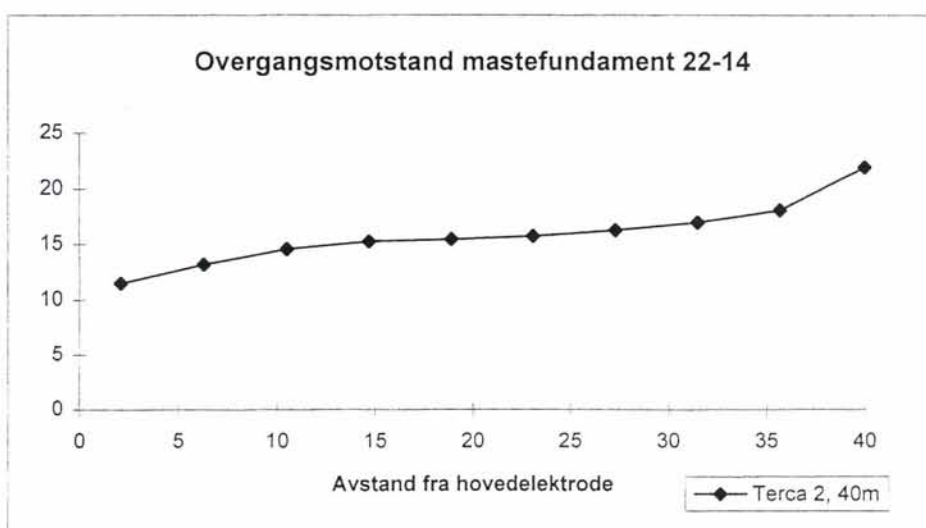
Mastenummer:22-12**Fundamenttype: A-2****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: overskyet med duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 50****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 10**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3	10,7
5,9	12,8
11,8	13,7
17,7	14,2
23,6	14,6
29,5	14,8
35,4	15
41,3	16
50	24,2



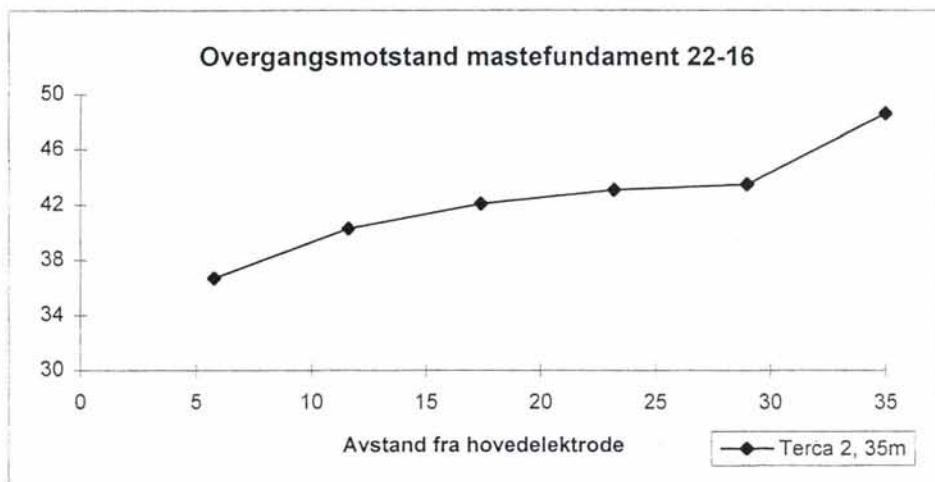
Mastenummer:22-14**Fundamenttype: A-2****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: overskyet med duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 10**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
2,1	11,5
6,3	13,2
10,5	14,6
14,7	15,3
18,9	15,5
23,1	15,8
27,3	16,3
31,5	17
35,7	18,1
40	22



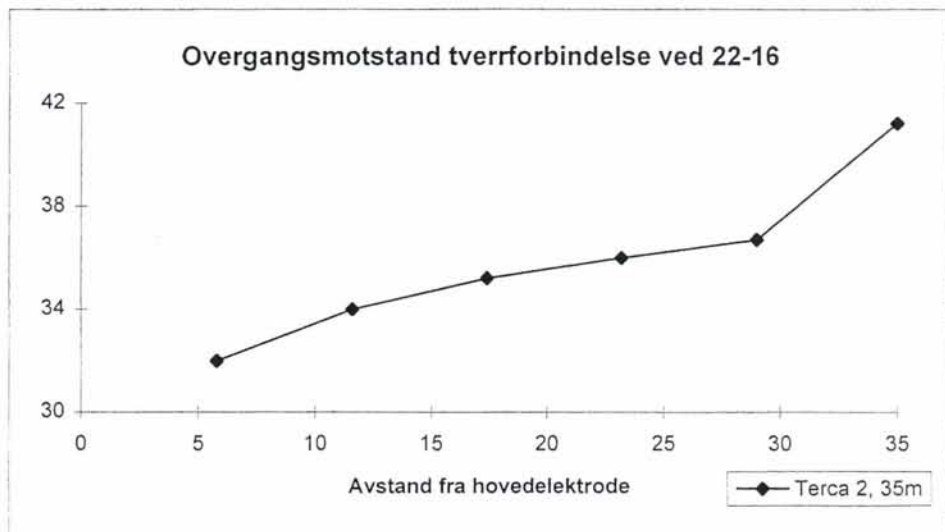
Mastenummer:22-16**Fundamenttype: A-2****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: overskyet med duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 35****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 10**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
5,8	36,7
11,6	40,3
17,4	42,1
23,2	43,1
29	43,5
35	48,6



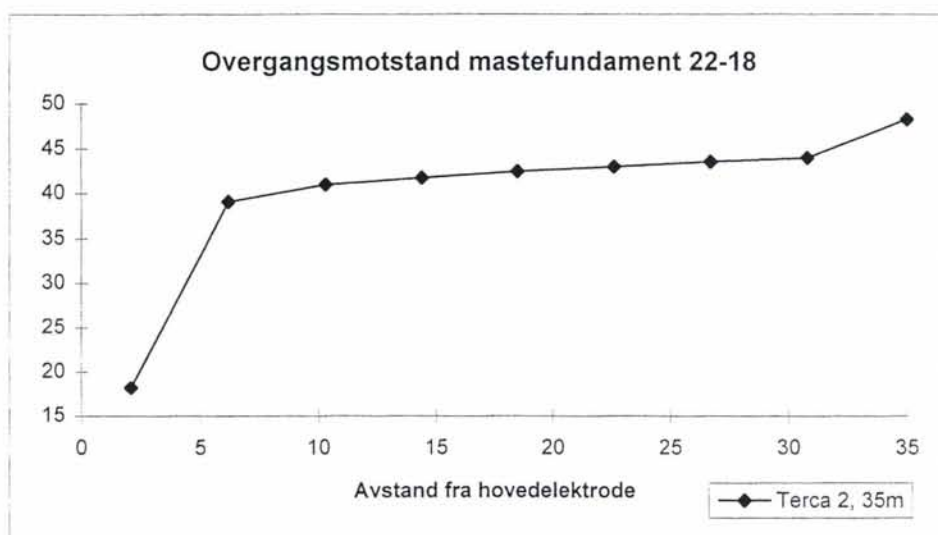
Mastenummer:22-16**Fundamenttype:** tverrforbindelse**Dato for måling:** 3.juli 1996**Vær:** overskyet med duskregn**Temperatur:** +15**Jordsmonn:** jordbruksjord, våt**Avstand til elektroden [m]:** 35**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 10

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
5,8	32
11,6	34
17,4	35,2
23,2	36
29	36,7
35	41,2



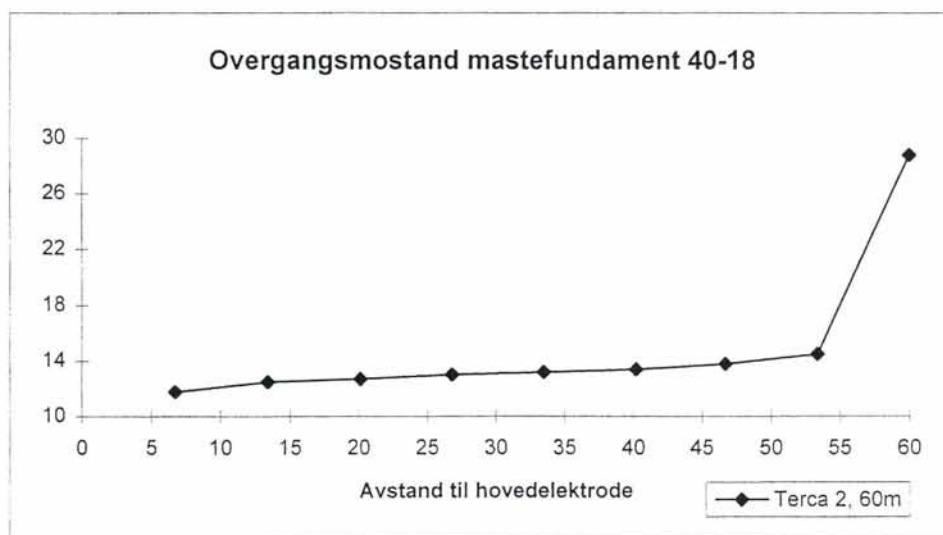
Mastenummer: 22-18**Fundamenttype: B-3****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: oppholdsvær med noe duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 35****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 50**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
2,1	18,27
6,2	39,1
10,3	41
14,4	41,8
18,5	42,5
22,6	43
26,7	43,6
30,8	44
35	48,3



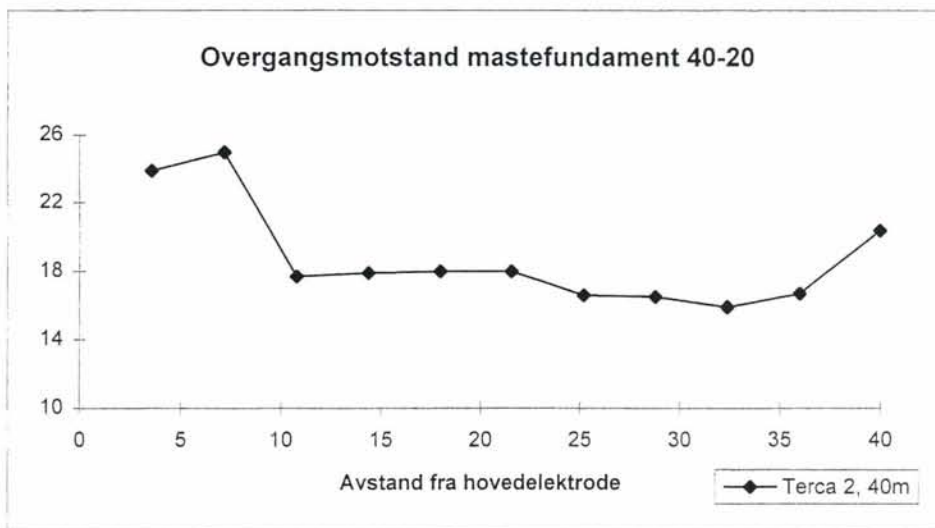
Mastenummer:40-18**Fundamenttype: A1****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: overskyet med duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 60****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 10**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
6,7	11,8
13,4	12,5
20,1	12,7
26,8	13
33,5	13,2
40,2	13,4
46,7	13,8
53,4	14,5
60	28,8



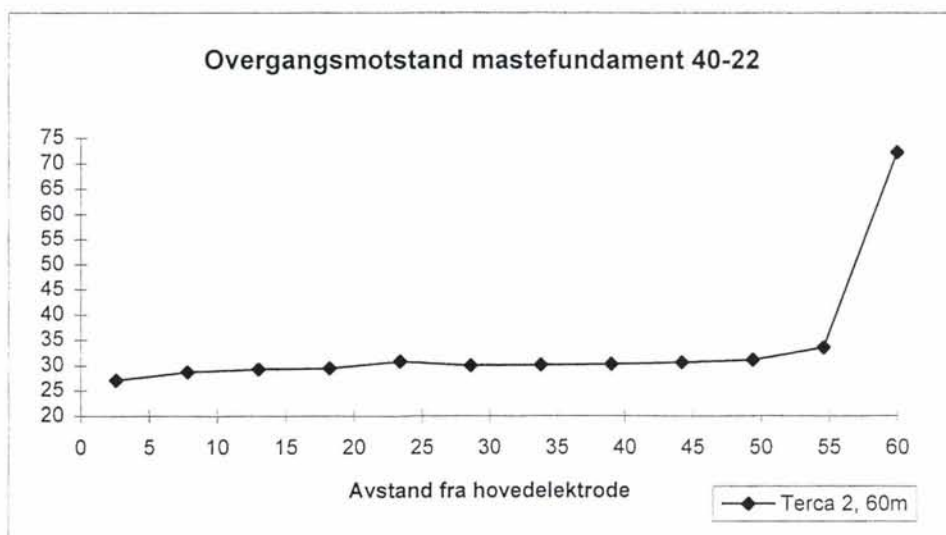
Mastenummer:40-20**Fundamenttype:?****Dato for måling:** 3.juli 1996**Vær:** overskyet med duskregn**Temperatur:** +15**Jordsmonn:** jordbruksjord, våt**Avstand til elektroden [m]:** 40**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 50

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
3,6	23,9
7,2	25
10,8	17,7
14,4	17,9
18	18
21,6	18
25,2	16,6
28,8	16,5
32,4	15,9
36	16,7
40	20,4



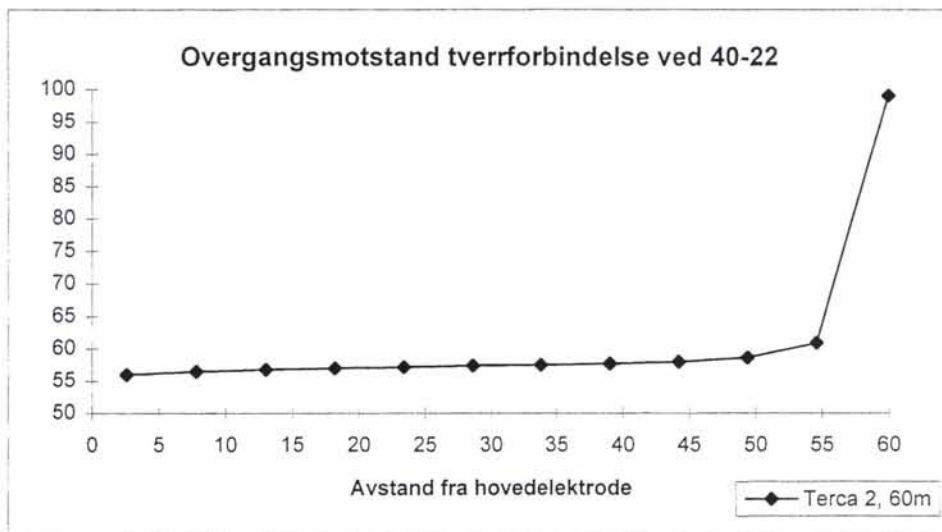
Mastenummer:40-22**Fundamenttype: B-1****Dato for måling: 3.juli 1996****Vær: overskyet med duskregn****Temperatur: +15****Jordsmonn: jordbruksjord, våt****Avstand til elektroden [m]: 60****Måleapparat: Terca 2****Strømstyrke [mA]: 50**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
2,6	27,1
7,8	28,7
13	29,3
18,2	29,5
23,4	30,8
28,6	30
33,8	30,1
39	30,3
44,2	30,6
49,4	31,1
54,6	33,5
60	72,2



Mastenummer:40-22**Fundamenttype:** Tverrforbindelse**Dato for måling:** 3.juli 1996**Vær:** overskyet med duskregn**Temperatur:** +15**Jordsmonn:** jordbruksjord, våt**Avstand til elektroden [m]:** 60**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 50

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
2,6	56
7,8	56,5
13	56,8
18,2	57
23,4	57,2
28,6	57,4
33,8	57,5
39	57,7
44,2	58
49,4	58,6
54,6	60,9
60	99



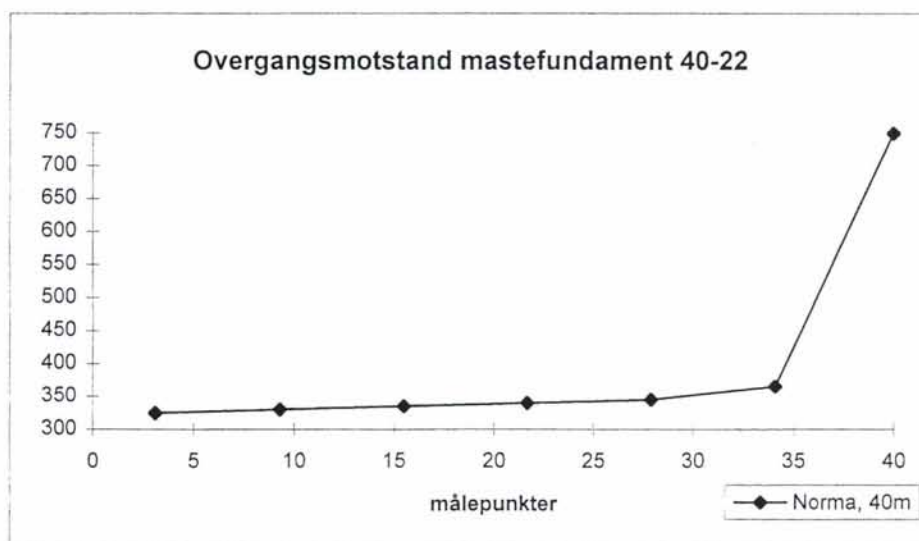
VEDLEGG E

Resultater fra måletur 7.august 1996 hvor mastefundament 40-22, 52-30 til 52-34 og 53-20 til 53-24 ble målt. Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 3”

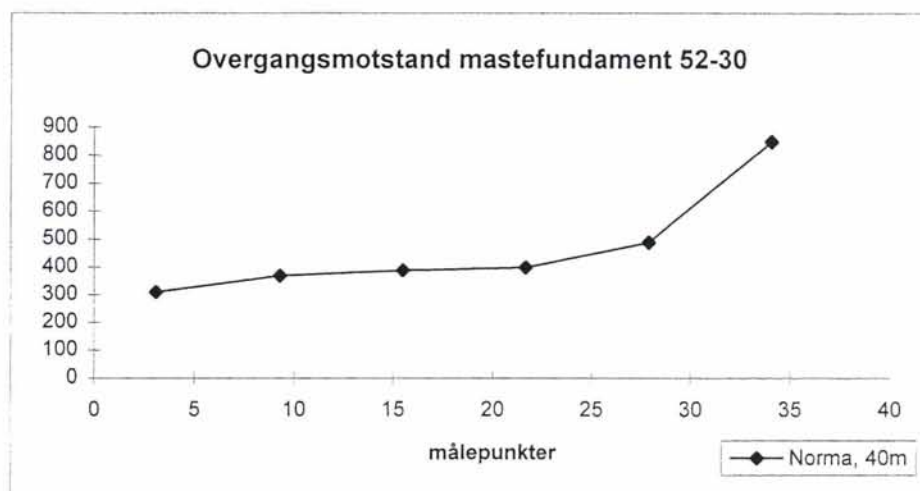
Mastenummer:40-22**Fundamenttype:** B-1**Dato for måling:** 7.august 1996**Vær:**Pent vær, sol og lettskyet**Temperatur:** 20-25**Jordsmonn:** Leire**Avstand til elektroden [m]:** 40**Måleapparat:** Norma**Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3,1	325
9,3	330
15,5	335
21,7	340
27,9	345
34,1	365
40	750



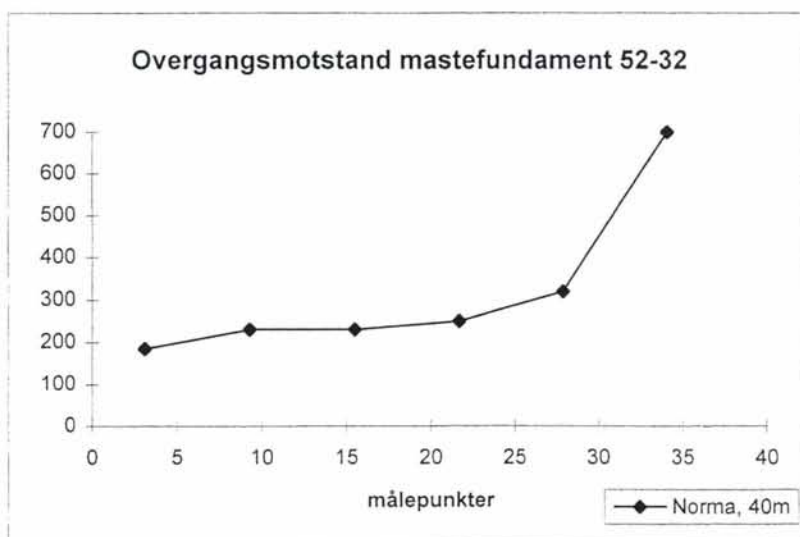
Mastenummer:52-30**Fundamenttype: B-1****Dato for måling:7.august 1996****Vær: Pent, solskinn og lettskyet****Temperatur: 20-25****Jordsmonn: sand og skogbunn****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
3,1	310
9,3	370
15,5	390
21,7	400
27,9	490
34,1	850
40	5000



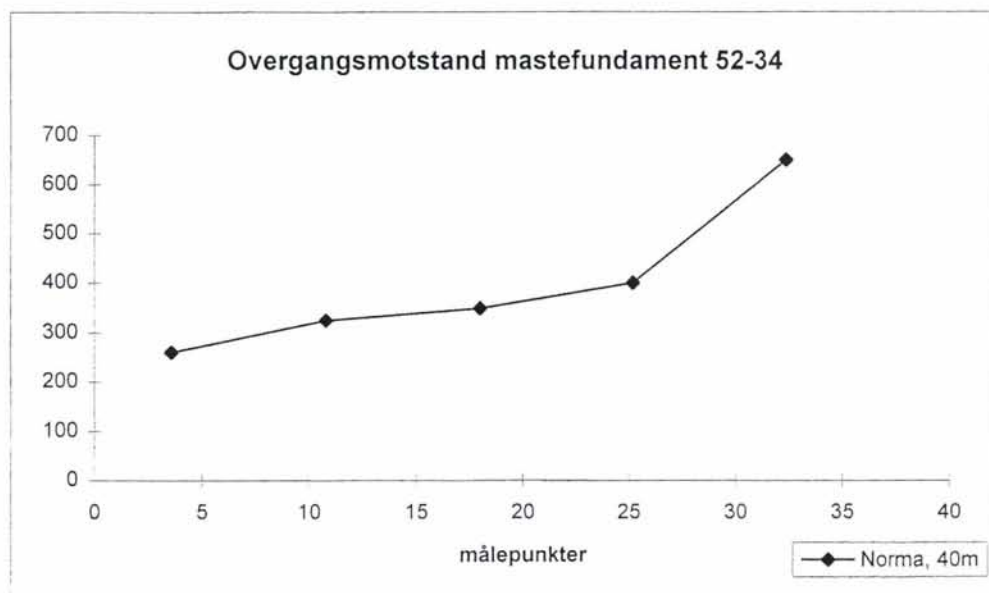
Mastenummer:52-32**Fundamenttype: B-2****Dato for måling:7.august 1996****Vær: Pent, solskinn og lettskyet****Temperatur: 20-25****Jordsmonn: sand og skogbunn****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3,1	185
9,3	230
15,5	230
21,7	250
27,9	320
34,1	700
40	3800



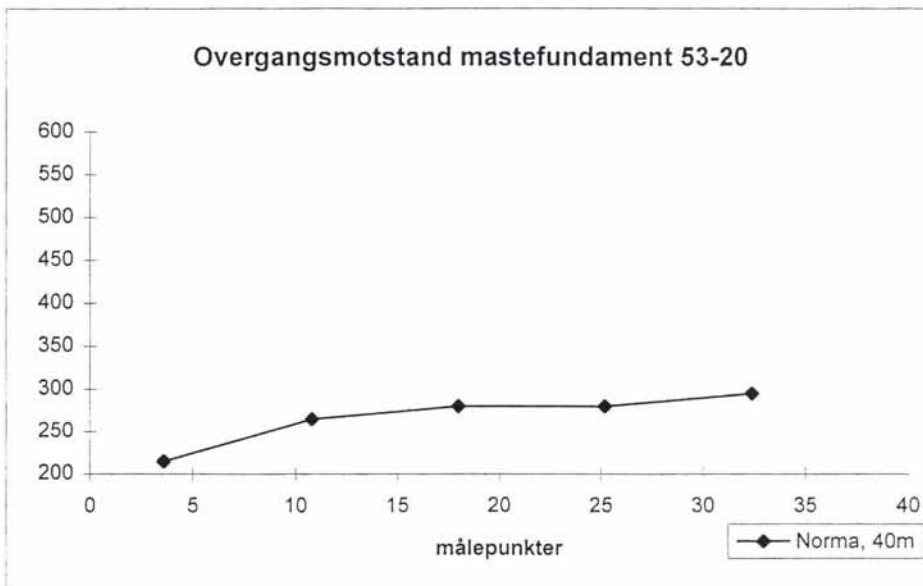
Mastenummer:52-34**Fundamenttype:** B-1**Dato for måling:**7.august 1996**Vær:** Pent, solskinn og lettskyet**Temperatur:** 20-25**Jordsmonn:** sand og skogbunn**Avstand til elektroden [m]:** 40**Måleapparat:** Norma**Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
3,6	260
10,8	325
18	350
25,2	400
32,4	650
40	2500



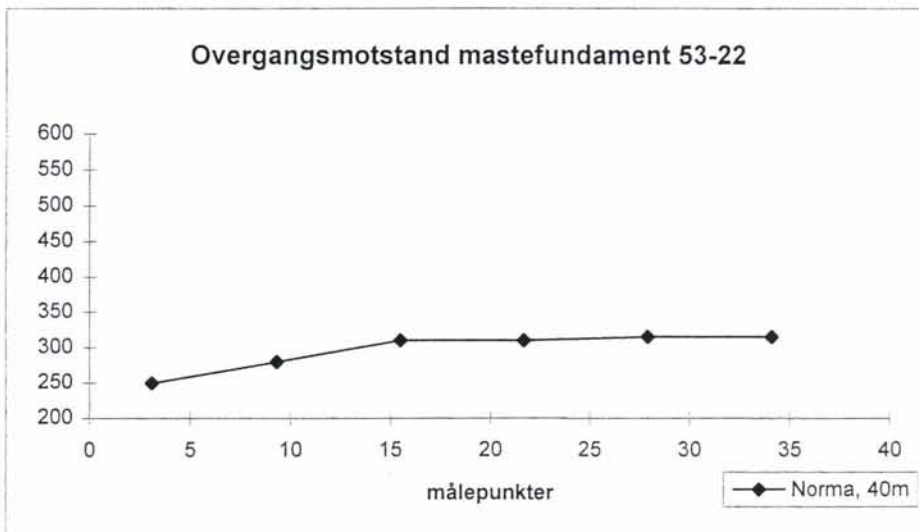
Mastenummer:53-20**Fundamenttype: B-1****Dato for måling:7.august 1996****Vær: Pent, solskinn og lettskyet****Temperatur: 20-25****Jordsmonn: sand og skogbunn****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3,6	215
10,8	265
18	280
25,2	280
32,4	295
40	5000



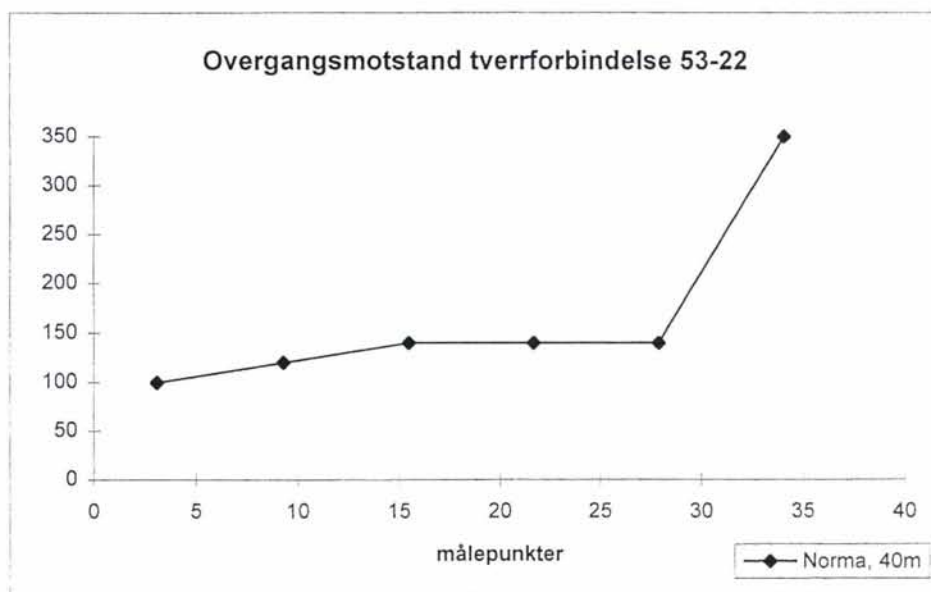
Mastenummer:53-22**Fundamenttype: B-2****Dato for måling:7.august 1996****Vær: Pent, solskinn og lettskyet****Temperatur: 20-25****Jordsmonn: sand og skogbunn****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3,1	250
9,3	280
15,5	310
21,7	310
27,9	315
34,1	315
40	1400



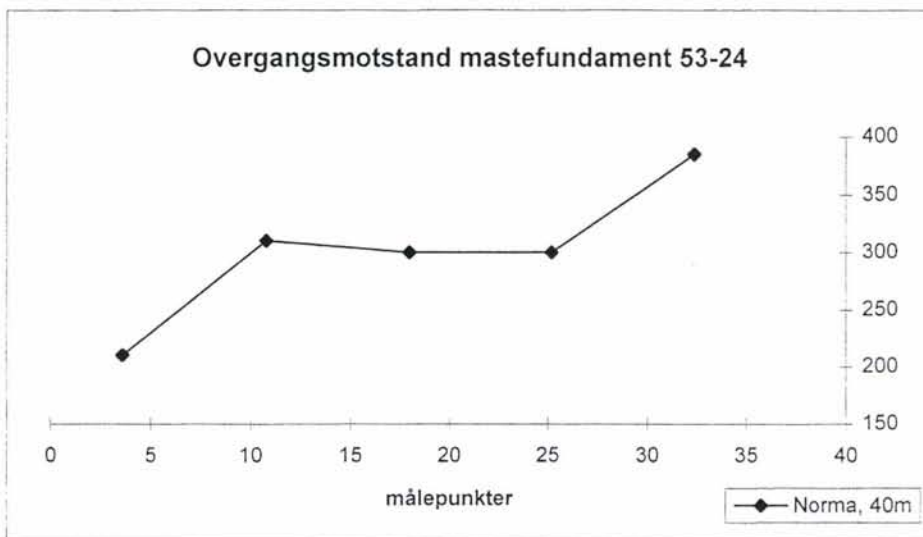
Mastenummer:53-22**Fundamenttype:** Tverrforbindelse**Dato for måling:**7.august 1996**Vær:** Pent, solskinn og lettskyet**Temperatur:** 20-25**Jordsmonn:** sand og skogbunn**Avstand til elektroden [m]:** 40**Måleapparat:** Norma**Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3,1	100
9,3	120
15,5	140
21,7	140
27,9	140
34,1	350
40	1200



Mastenummer:53-24**Fundamenttype:** B-1**Dato for måling:**7.august 1996**Vær:** Pent, solskinn og lettskyet**Temperatur:** 20-25**Jordsmonn:** sand og skogbunn**Avstand til elektroden [m]:** 40**Måleapparat:** Norma**Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
3,6	210
10,8	310
18	300
25,2	300
32,4	385
40	9500



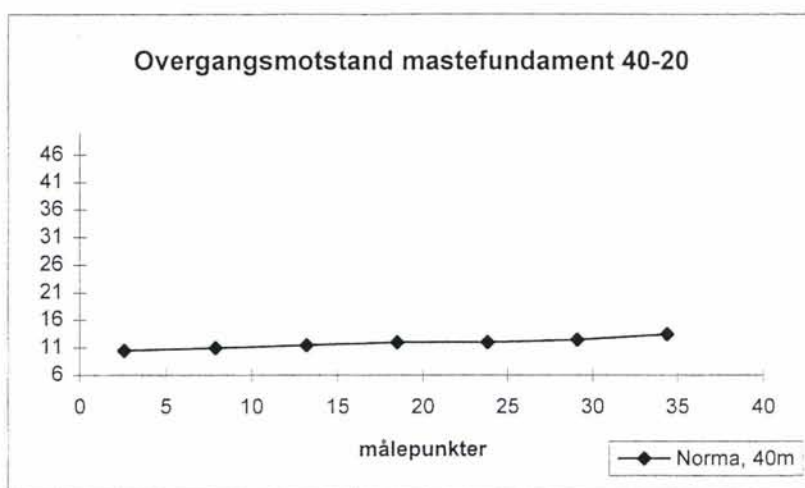
VEDLEGG F

Resultater fra måletur 8.august 1996 hvor mastefundament 40-20, 42-34 til 43-4 ble målt. Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 4”

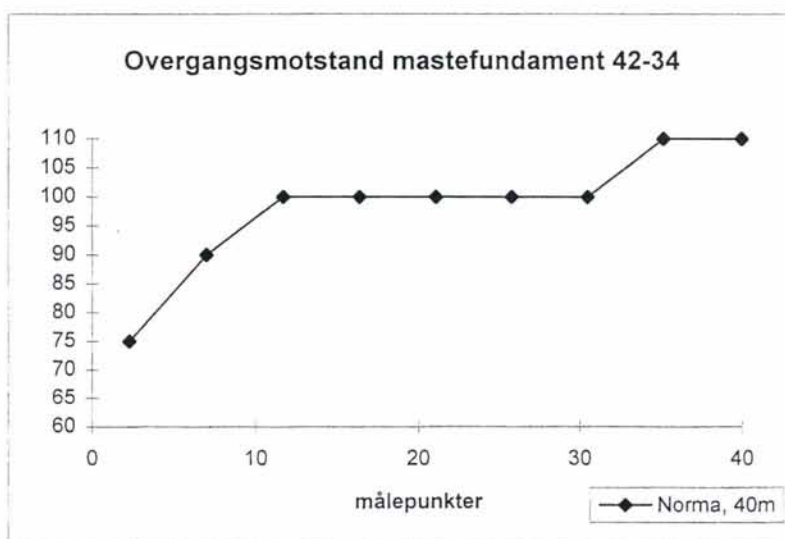
Mastenummer:40-20**Fundamenttype: A-1****Dato for måling: 8.august 1996****Vær:**Pent vær, overskyet**Temperatur: 20****Jordsmonn: Leire****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
2,6	10,5
7,9	11
13,2	11,5
18,5	12
23,8	12
29,1	12,5
34,4	13,5
40	140



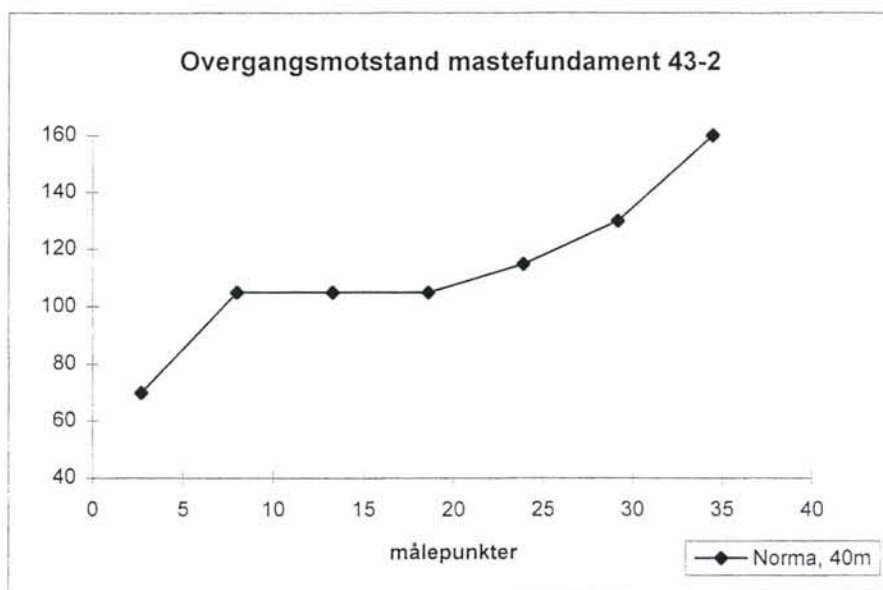
Mastenummer:42-34**Fundamenttype:** B-1**Dato for måling:** 8.august 1996**Vær:**Pent vær, overskyet**Temperatur:** 20**Jordsmonn:**Sand og åker**Avstand til elektroden [m]:** 40**Måleapparat:** Norma**Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
2,3	75
7	90
11,7	100
16,4	100
21,1	100
25,8	100
30,5	100
35,2	110
40	110



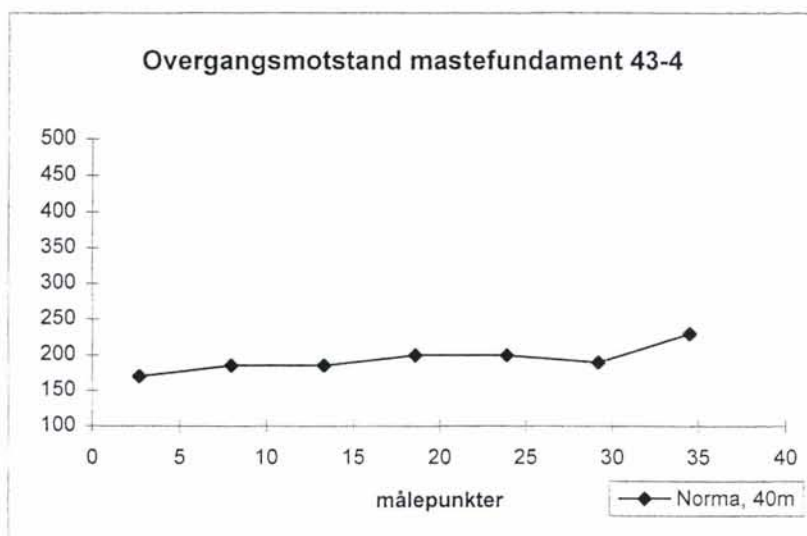
Mastenummer:43-2**Fundamenttype: B-1****Dato for måling: 8.august 1996****Vær:**Pent vær, overskyet**Temperatur: 20****Jordsmonn: Sand og jord****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
2,7	70
8	105
13,3	105
18,6	105
23,9	115
29,2	130
34,5	160
40	440



Mastenummer:43-4**Fundamenttype: B-1****Dato for måling: 8.august 1996****Vær:**Pent vær, overskyet**Temperatur: 20****Jordsmonn: Sand****Avstand til elektroden [m]: 40****Måleapparat: Norma****Strømstyrke [mA]:**

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
2,7	170
8	185
13,3	185
18,6	200
23,9	200
29,2	190
34,5	230
40	2700



VEDLEGG G

Resultater fra måletur 27.august 1996 hvor to spyd i Romeriksporten ble målt.
Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 5”

Mastenummer: jordspyd A, km 15500

Fundamenttype: jordspyd 6m langt, 5/8" diameter

Dato for måling: 27.august 1996

Vær:

Temperatur: rundt 20 grader

Jordsmonn: fjell

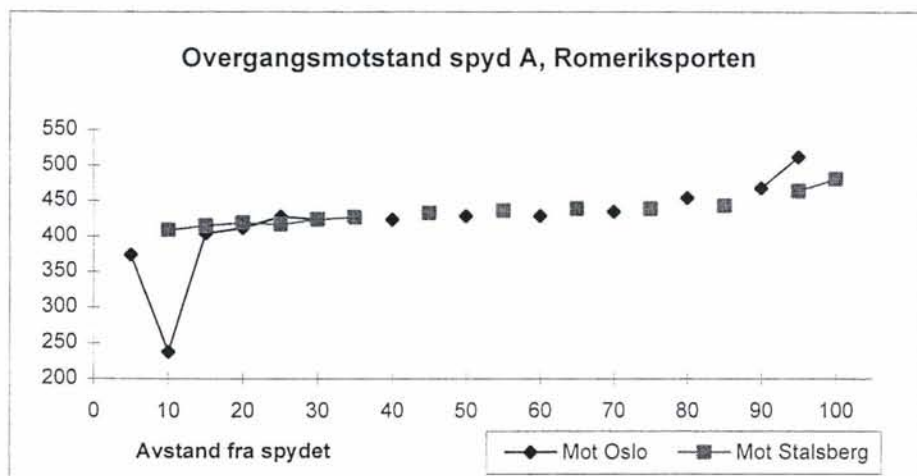
Avstand til elektroden [m]: 100/105

Måleapparat: Terca 2

Strømstyrke [mA]: 10

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
5	374
10	238
15	404
20	412
25	428
30	424
40	424
50	429
60	429
70	435
80	454
90	468
95	512

Avstand fra hovedelektrode	Overgangs- motstand
10	409
15	415
20	419
25	417
30	424
35	427
45	433
55	436
65	439
75	439
85	443
95	464
100	481



Mastenummer: jordspyd B, km 15500

Fundamenttype: jordspyd 6m langt, 5/8" diameter

Dato for måling: 27.august 1996

Vær:

Temperatur: rundt 20 grader

Jordsmonn: fjell

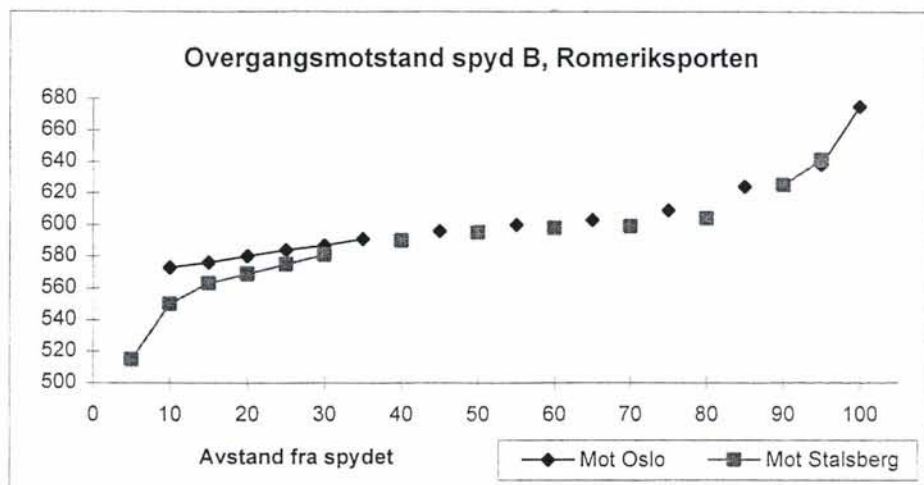
Avstand til elektroden [m]: 100/105

Måleapparat: Terca 2

Strømstyrke [mA]: 10

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
10	573
15	576
20	580
25	584
30	587
35	591
45	596
55	600
65	603
75	609
85	624
95	638
100	675

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
5	515
10	550
15	563
20	569
25	575
30	581
40	590
50	595
60	598
70	599
80	604
90	625
95	641



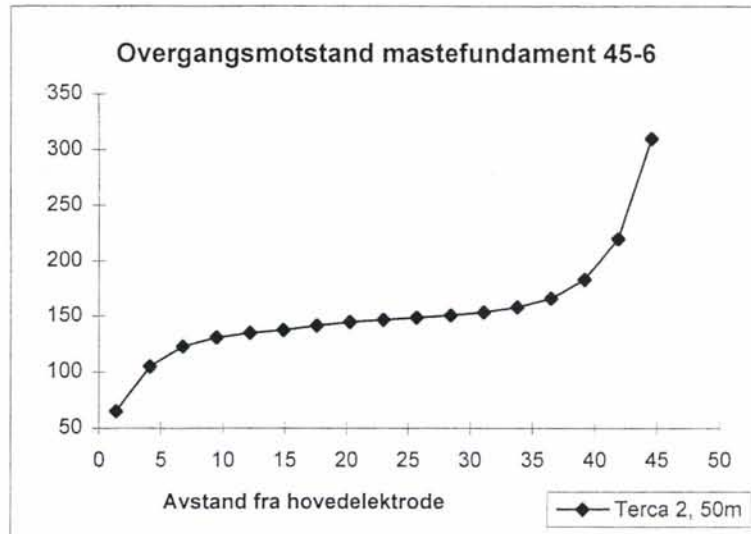
VEDLEGG H

Resultater fra måletur 28.august 1996 hvor mastefundament 45-6 til 45-10 ble målt.
Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 6”

Mastenummer: 45-6**Fundamenttype:** B-2**Dato for måling:** 28. august 1996**Vær:** Pent vær, overskyet**Temperatur:** + 20**Jordsmonn:** fuktig, dyrket mark**Avstand til elektroden [m]:** 50**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 2

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
1,4	65,3
4,1	105
6,8	122,8
9,5	130,9
12,2	135,1
14,9	137,7
17,6	141,6
20,3	145
23	146,9
25,7	149
28,4	151
31,1	154
33,8	158,6
36,5	166,2
39,2	183,3
41,9	220
44,6	310
47,3	670
50	2230



Mastenummer: 45-8

Fundamenttype: B1

Dato for måling: 28. august 1996

Vær: Pent vær, overskyet

Temperatur: + 20

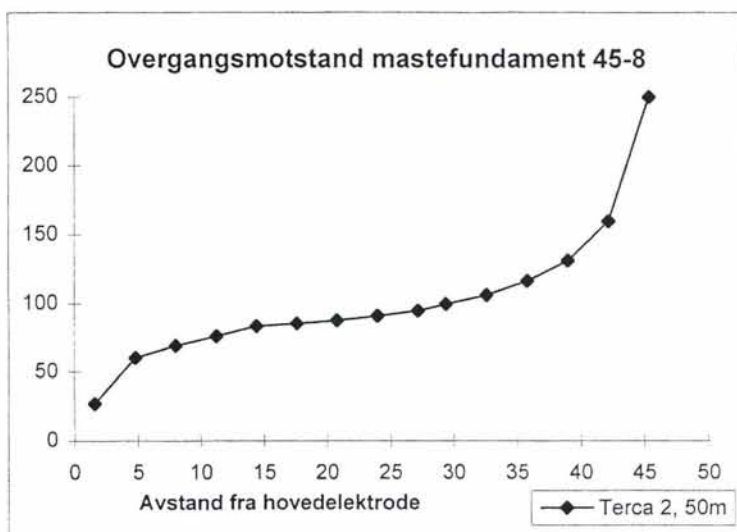
Jordsmonn: fuktig, dyrket mark

Avstand til elektroden [m]: 50

Måleapparat: Terca 2

Strømstyrke [mA]: 2

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
1,6	27,4
4,8	60,4
8	69,4
11,2	76,3
14,4	83,7
17,6	85,5
20,8	87,8
24	91,2
27,2	94,9
29,4	99,8
32,6	106,3
35,8	116,6
39	131,2
42,2	159,9
45,4	250
50	1890



Mastenummer: 45-10

Fundamenttype: B1

Dato for måling: 28. august 1996

Vær: Pent vær, overskyet

Temperatur: + 20

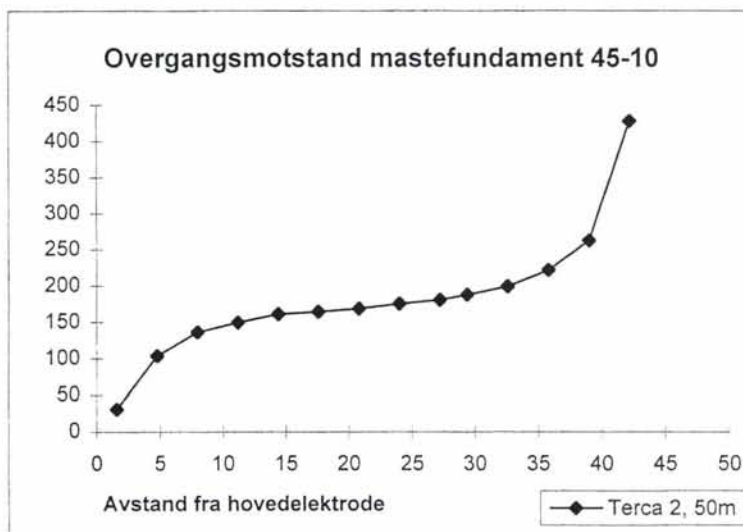
Jordsmonn: fuktig, dyrket mark

Avstand til elektroden [m]: 50

Måleapparat: Terca 2

Strømstyrke [mA]: 2

Avstand fra hovedelektrode	Overgangsmotstand
1,6	30,9
4,8	104
8	136,5
11,2	150
14,4	161,2
17,6	164,3
20,8	168,7
24	175,3
27,2	181
29,4	188
32,6	199,5
35,8	222
39	263
42,2	428
45,4	1273
50	1890



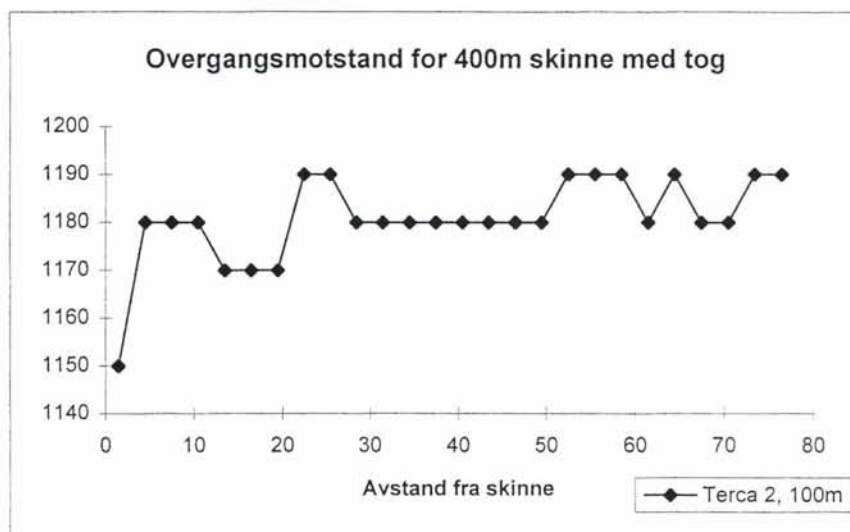
VEDLEGG I

Resultater fra måletur 11. september 1996 hvor skinner med 400 m lengde ble målt ved mastefundament 34-19 og mellom fundamentene 35-5 og 35-7. Fremstilling av resultatene i tabell og diagram.

“Måletur 7”

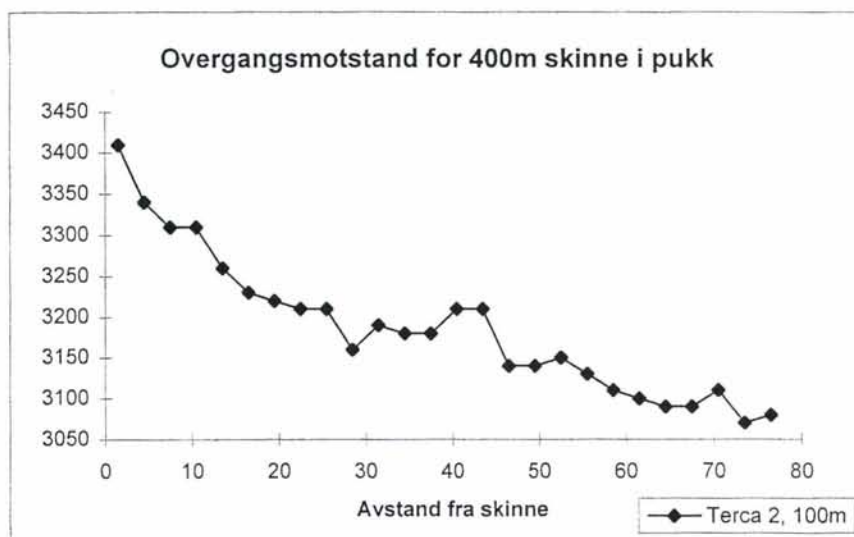
Mastenummer: 34-19**Fundamenttype:** 400m skinne med tog stående på.**Dato for måling:** 11. september 1996**Vær:** Lett overskyet, klart**Temperatur:** +5**Jordsmonn:** leire, slått kornåker**Avstand til elektroden [m]:** 100**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 2

Avstand fra målepunktet	Overgangsmotstand
1,5	1150
4,5	1180
7,5	1180
10,5	1180
13,5	1170
16,5	1170
19,5	1170
22,5	1190
25,5	1190
28,5	1180
31,5	1180
34,5	1180
37,5	1180
40,5	1180
43,5	1180
46,5	1180
49,5	1180
52,5	1190
55,5	1190
58,5	1190
61,5	1180
64,5	1190
67,5	1180
70,5	1180
73,5	1190
76,5	1190



Mastenummer: 35-5 - 35-7**Fundamenttype:** 400m skinne som ligger på pukken, målepunktet er ca 75 m fra enden på skinnen.**Dato for måling:** 11.september 1996**Vær:** Lett overskyet, klart**Temperatur:** +5**Jordsmonn:** leire, slått kornåker**Avstand til elektroden [m]:** 100**Måleapparat:** Terca 2**Strømstyrke [mA]:** 2

Avstand fra målepunkt	Overgangs- motstand
1,5	3410
4,5	3340
7,5	3310
10,5	3310
13,5	3260
16,5	3230
19,5	3220
22,5	3210
25,5	3210
28,5	3160
31,5	3190
34,5	3180
37,5	3180
40,5	3210
43,5	3210
46,5	3140
49,5	3140
52,5	3150
55,5	3130
58,5	3110
61,5	3100
64,5	3090
67,5	3090
70,5	3110
73,5	3070
76,5	3080



VEDLEGG J

Utrekning av overgangsmotstand langs Gardermobanen fra km 18 til km 67.

km	ant.mast	fund.type	Overgangs- motstand	Tot. overgangs- motstand, fund.	ant. tverrforb.	Overgangs motstand	Tot. overgangs- motstand, tverrf.	Tot. overgangs- motstand, strekning
18 - 20	120	B	40	0,333333333	25	36	1,44	0,330275229
21 - 22	68	A	17	0,25	9	36	4,00	0,248275862
23 - 25	111	A	17	0,306306306	15	36	2,40	0,303722084
		B	43	0,774774775				
26 - 27	66	A	17	0,257575758	9	36	4,00	0,255745926
28	36	A	17	0,944444444	5	36	7,20	0,920300752
		B	43	2,388888889				
29 - 35	244	A	12	0,049180328	34	36,7	1,08	0,049114511
36	32	A	12	0,75	4	36,7	9,18	0,734979973
		B	40	2,5				
37 - 39	108	A	12	0,111111111	14	57,5	4,11	0,110896818
40	34	A	13	0,764705882	4	57,5	14,38	0,754669359
		B	40	2,352941176				
41 - 45	178	B	150	0,842696629	22	80	3,64	0,833912439
47 - 57	346	B	300	0,867052023	50	140	2,80	0,861715224
59 - 67	241	KL 1	300	1,244813278	14	140	10,00	1,233842538

Total overgangsmotstand for alle fundamentene	0,0189187
Total overgangsmotstand for alle tverrforbindelsene	0,2610551
Total overgangsmotstand	0,0176403

Vedlegg K

Måleutstyr

Vedlegg K Måleutstyr

Norma Jordplatemåler, identitetsmerke EFI H01-0081

Yokogawa electric works. Specific earth resistance tester, type 3244, identitetsmerke NTH H1-14, IJ 4

YEW batteriveske, identitetsmerke IJ 4X

Terca 2, Chauvin Arnoux, jordplatemåler utlånt fra Oppdal energiverk

Terca 2, Chauvin Arnoux, EFI

Terca 2, Chauvin Arnoux, jordplatemåler utlånt fra Tydal energiverk

div. måleledning

div. jordspyd

målebånd, 30 m

Vedlegg K 1 Norma Jordplatemåler

Jordplatemåleren kan måle i området 0 - 5 - 50 - 500 - 5000 Ω og kan kobles om ved hjelp av trykknapper. Tomgangsspenningen ved måling er ca 60 V_{SS}. Nøyaktigheten til denne måleren er oppgitt til å være $\pm 1\%$ av skalaens endeverdi. Skalaen består av 50 delestreker med besifring 0-5. Jordplatemåleren kan måle med strømmer i frekvensområdet 100-150 Hz og den maksimale måleeffekten er 1 W. Maksimalt strømforbruk under måling er 0,3 A.

Vedlegg K 2 Specific earth resistance tester, type 3244, Yokogawa electric works

Måleapparatet trenger 12 V spenningsforsyning for å kunne brukes. Denner finnes som en bærbar veske med seriekoblede batterier, IJ 4X

Vedlegg K 3 Terca 2, jordplatemåler, Chauvin Arnoux

Jordplatemåler med digitalt display. Måleområde 0 - 2 - 20 - 200 - 2k - 20 k Ω som kobles ved hjelp av en vendebryter. Kan velge strømstyrke som apparatet skal sende, 5, 10 og 50 mA. Strømstyrken stilles også inn ved hjelp av vendebryter.

Jernbaneverket
Biblioteket

JBV



11TU00773

71593606