



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R26:1978

**Mätmetod för
korrosionsrisker på grund
av sekundärverkan
av katodiskt skydd**

**Gunnar Carré
Göran Camitz
Björn Linder
Einar Mattsson**

Byggforskningen

R26:1978

MÄTMETOD FÖR KORROSIONSRISKER PÅ GRUND
AV SEKUNDÄRVERKAN AV KATODISKT SKYDD

Gunnar Carré
Göran Camitz
Björn Linder
Einar Mattsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730497-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutets
Forsknings- och utvecklingslaboratorium, Stockholm

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Nyckelord:

korrosion
jordförlagda konstruktioner
katodiskt skydd
skyddsström
sekundärverkan
korrosionsrisk
mätmetoder

UDK 620.197
620.1

R26:1978

ISBN 91-540-2837-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	5
2	ELEKTROPOTENTIALMÄTNINGAR PÅ FÖREMÅL SOM ÄR UTSATTA FÖR SEKUNDÄRVERKAN FRÅN ETT KATODISKT SKYDD	6
3	METODER FÖR BESTÄMNING AV ELEKTROPOTENTIAL UTAN RI- FALL	7
3.1	Direkt mätning av elektropotential utan RI-fall	7
3.2	Växelströmsmetoder för bestämning av RI-fall	7
3.2.1	Metod 1	8
3.2.2	Metod 2	9
3.2.3	Metod 3	9
4	FÖRSÖKSARRANGEMANG	11
5	MÄTUTRUSTNING OCH BETECKNINGAR	12
5.1	Elektrolytbryggor	12
5.2	Övrig mätutrustning	12
5.3	Beteckningar	13
6	GENOMFÖRDA MÄTNINGAR	15
6.1	Mätperiod 1	15
6.1.1	Utförande och resultat	15
6.1.2	Diskussion	16
6.2	Mätperiod 2	17
6.2.1	Utförande	17
6.2.2	Resultat	17
6.2.3	Diskussion	17
6.3	Mätperiod 3	18
6.3.1	Utförande och resultat	18
6.3.2	Diskussion	20
7	SLUTSATSER	22
	BILAGOR	23-57

MÄTMETOD FÖR KORROSIONSRISKER PÅ GRUND AV SEKUNDÄRVERKAN AV
KATODISKT SKYDD

1 BAKGRUND

En jordförlagd lednings livslängd bestäms i dag huvudsakligen av korrosionen och samhället satsar årligen betydande summor på underhåll och reparation beroende på korrosionsangrepp. Förutom kostnaderna för reparationer medför uppkomna driftsstopp vanligen stora besvär och höga kostnader.

Den säkraste metoden för skydd mot korrosion på jordförlagda konstruktioner utgörs av s k katodiskt skydd. Skyddet har förhållandevis låga anläggningskostnader, och dess funktion kan mycket lätt fortlöpande kontrolleras. Utomlands används sådant skydd i mycket stor omfattning.

I Sverige har metoden hittills använts i mindre omfattning. Antalet installationer av katodiskt skydd har dock de senaste åren ökat väsentligt och inom de närmaste åren kan en mycket stor ökning förväntas. Katodiskt skydd kommer att användas på vattenledningar, tele- och elkablar, oljecisterner, fjärrvärmeledningar samt pipe-lines för gas och olja.

Vid användningen av elektrolytiskt katodiskt skydd av jordförlagda konstruktioner föreligger emellertid risk för att skyddsströmmen skall orsaka ökad korrosion på närliggande jordförlagda konstruktioner som ej är medtagna i skyddet, s k sekundärverkan. Eftersom exempelvis oljecisterner och fjärrvärmeledningar oftast är förlagda inom tätbebyggda områden med ett stort antal olika ledningssystem, föreligger risk för skador genom sekundärverkan. Enligt svensk standard, SEN 08 04 01 sida 6, måste alltid vid projektering av katodiskt skydd, undersökas om närliggande konstruktioner som ej ingår i skyddet påverkas genom sekundärverkan från detsamma. Om sekundärverkan föreligger eller ej kan fastställas genom studium av hur elektrodpotentialen för det icke skyddade föremålet förändras när skyddsströmmen inkopplas. En positiv förändring antyder en ökad korrosionshastighet. Inom landet och internationellt råder starkt delade meningar om hur stor potentialförändring som skall tillåtas och om hur mätningarna skall utföras. Allmänt anses den nuvarande mättekniken ha stora brister därigenom att ett okänt ohmskt spänningsfall s k RI-fall ingår i uppmätt potentialvärde. Ett klarläggande i dessa frågor är nödvändigt särskilt med tanke på den ökade användningen av katodiskt skydd av jordförlagda konstruktioner, som kan väntas inom den närmaste framtiden här i landet.

Målsättningen med projektet, som påbörjades 1974-12-01, var att utveckla en mätmetodik, vilken medger att med största möjliga säkerhet avgöra om en jordförlagd konstruktion är ogynnsamt påverkad av skyddsströmmen från ett katodiskt skydd som applicerats på en annan närliggande konstruktion.

2 ELEKTROPOTENTIALMÄTNINGAR PÅ FÖREMÅL SOM ÄR UTSATTA
FÖR SEKUNDÄRVERKAN FRÅN ETT KATODISKT SKYDD

För att avgöra om en jordförlagd konstruktion är ogynnsamt påverkad av skyddsströmmen från katodiskt skydd av en annan närliggande konstruktion mäter man den eventuellt påverkade konstruktionens elektropotential vid till- och frånslag av skyddsströmmen. Mätningen utförs vanligen med referenselektroden (Cu/CuSO₄-elektrod) placerad på markytan rakt ovanför den punkt på föremålet vars elektropotential man önskar bestämma såsom framgår av figur 1. Den voltmeter som används vid mätningen skall som vid all elektropotentialmätning ha hög ingångsimpedans.

Om konstruktionens elektropotential förändras i positiv riktning, när skyddsströmmen slås till, föreligger en ogynnsam sekundärverkan från det katodiska skyddet. Den positiva potentialförändringen är nämligen ett resultat av strömutträde från konstruktionen. Elektropotentialförändringens storlek kan användas som mått på graden av sekundärverkan.

Potentialförändringen är sammansatt av dels anodisk polarisation dels ett ohmskt potentialfall (RI-fall) i jorden mellan konstruktionen och referenselektroden. Mellan anodisk polarisation och korrosionshastighet föreligger ett entydigt samband men däremot icke mellan ohmskt potentialfall och korrosionshastighet. Det ohmska potentialfallet bestäms ju förutom av den anodiska strömtätheten också av jordens resistivitet. För en säkrare bedömning av sekundärverkan måste således anodisk polarisation och RI-fall kunna separeras. Utan korrektion för RI-fall mäts vid sekundärverkan en större positiv potentialförändring än den verkliga förändringen av anodpolarisationen.

3 METODER FÖR BESTÄMNING AV ELEKTRODPOTENTIAL UTAN RI-FALL

3.1 Direkt mätning av elektrodpotential utan RI-fall

Den mest fundamentala metoden att undvika inmätning av RI-fall vid elektrodpotentialmätningar i områden med läckströmmar är att placera referenselektroden i mätföremålets omedelbara närhet. Då strömtätheten i jorden oftast är störst i närheten av föremålet måste härvid referenselektroden placeras direkt intill mätföremålets yta. Risken är då stor att föremålet avskämmas från läckströmmen, dvs att förhållandena ändras vid mätningen så att det uppmätta värdet ej är det man avsåg att mäta. Vid laboratoriemätningar i vätskor kan skärmning undvikas genom att referenselektroden förses med en elektrolytbrygga med en kapillär, som förs mot mätföremålet. Det vore önskvärt om en liknande metod kunde användas vid fältmätningar i jorden. En tänkbar konstruktion för sådana mätningar är en mätsond bestående av två delar; en robustare del som borrar ned i jorden mot mätföremålet eller pressas ned i ett i förväg borrarat hål samt i mekanisk anslutning till denna del en finare del som pressas genom jorden den återstående sträckan fram till mätföremålet så att jorden i närheten av mätföremålet ej förändras. För att en sådan mätning skall vara möjlig krävs att mätobjektet är noggrant lokaliserat samt att man kan registrera hur nära mätföremålet sonden befinner sig så att man ej borrar förbi mätföremålet eller så nära detta att jorden i dess närhet störs. Eftersom RI-fallet är störst i mätföremålets omedelbara närhet måste mätsondens finare del föras tätt intill mätföremålets yta. I jorden finns sten och annat hårt material som måste undvikas vid borrarningen, vilket medför att man troligtvis måste göra ett flertal borrarningar innan mätföremålet nås. Mycket talar för att med en sådan metod varje mätning blir mycket kostsam samt att även sonden blir dyrbar.

3.2 Växelströmsmetoder för bestämning av RI-fall

Ett alternativ till att på mätteknisk väg direkt eliminera RI-fallet är att mäta detsamma och därefter korrigera uppmätt potentialvärde. Detta kan ske med en växelströmsmetod varvid man med växelström åstadkommer samma potentialbild i närheten av mätföremålet som den störande strömmen åstadkommer när det katodiska skyddet är tillkopplat. Växelströmmens frekvens skall vara så hög att mätföremålet ej polariseras, dock får frekvensen ej vara så hög att eventuella kapacitanser i jorden mellan mätföremålet och referenselektroden inverkar på mätresultatet. Det är nämligen endast den resistiva delen av potentialskillnaden mellan referenselektrod och mätföremål som skall mätas. Denna kan antas vara densamma som RI-fallet. Lämplig frekvens torde ligga kring ca 100 Hz. Dock bör man ej välja en frekvens som är en hel multipel av nätfrekvensen 50 Hz då störningar med denna frekvens är vanliga. I det följande beskrivs tre olika växelströmsmetoder för mätning av RI-fallet.

Metoderna beskrivs med stöd av figurerna 2, 3 och 4, där både det katodiskt skyddade föremålet och det ogynnsamt påverkade föremålet är rörledningar. Det påverkade rörets potential mäts där rören korsar varandra, eftersom sekundärverkan sannolikt är störst där. Det katodiska skyddet är i figurerna med avsikt utformat så att sekundärverkan skall uppstå.

3.2.1 Metod 1

- Mom 1. Det påverkade rörets potentialförändring mäts vid till- och frånslag av det katodiska skyddet enligt figur 1.
- Mom 2. Det katodiska skyddets likriktare ersätts med en jordmegger, vilken inkopplas enligt figur 2. Detta instrument sänder ut en växelström, i , mellan polerna E_1 och HE och mäter det pga denna ström uppkomna potentialfall-
let, U , mellan polerna E_2 och S. På instrumentet avläses sedan ett R-värde som är lika med $\frac{U}{I}$.
- Mom 3. Det uppmätta R-värdet avläses på jordmeggern.
- Mom 4. Det sökta RI-fallet beräknas som $R \cdot I_{\text{skydd}}$ där R erhålls från moment 3 och I_{skydd} är den katodiska skyddsströmmen.
- Mom 5. Det i moment 4 erhållna RI-fallet subtraheras från den i moment 1 erhållna elektrodpotentialförändringen varvid korrekt RI-fri potentialförändring erhålls.

Bakgrunden till påståendet under moment 4 är att jordmeggern sänder ut mätväxelströmmen i mellan anoden och det skyddade röret. Endast en del av denna ström $k \cdot i$, där $k < 1$, ger upphov till potentialskillnaden mellan referenselektrod och påverkat rör. Denna potentialskillnad ($k \cdot i \cdot R'$) dividerad med mätströmmen i avläses på jordmeggern som en resistans. Härvid är R' resistansen i jorden mellan referenselektrod och påverkat rör. Den avlästa resistansen är alltså lika med

$$\frac{k \cdot i \cdot R'}{i} = k \cdot R'$$

Man antar nu att skyddsströmmen I_{skydd} breder ut sig på samma sätt som mätströmmen i , dvs att endast en del av skyddsströmmen $k \cdot I_{\text{skydd}}$ ger upphov till RI-fallet. Således är det $k \cdot R' \cdot I_{\text{skydd}}$ som skall bestämmas. Detta erhålls genom att multiplicera skyddsströmmen I_{skydd} med på jordmeggern avläst resistans som är $k \cdot R'$.

Jordmeggern är ett litet och robust instrument välkänt för servicepersonal som arbetar med katodiskt skydd. Det är ur denna synpunkt fördelaktigt om jordmeggern kan användas. En eventuell nackdel med instrumentet är att mätströmmen är liten i förhållande till skyddsströmmen.

3.2.2 Metod 2

Metod 2 bygger på samma princip som metod 1 men mätväxelströmstyrkan är i metod 2 lika stor som skyddsströmstyrkan.

- Mom 1. Potentialändringen för det påverkade röret mäts vid till- och frånslag av det katodiska skyddet enligt figur 1.
- Mom 2. Det katodiska skyddets likriktare ersätts med ett växelströmsaggregat enligt figur 3.
- Mom 3. Växelströmsaggregatet justeras så att växelströmmen blir lika stor som den katodiska skyddsströmmen.
- Mom 4. Potentialskillnaden mellan referenselektrod och påverkat rör avläses. Denna potentialskillnad antas motsvara det under moment 1 inmätta RI-fallet.
- Mom 5. Korrekt RI-fri potentialförändring erhålls genom att från den under moment 1 uppmätta potentialförändringen subtrahera det under moment 4 uppmätta RI-fallet.

Vid metoderna 1 och 2 förutsättes att lik- och växelström breder ut sig på samma sätt i jorden. Enligt von Baeckmann (von Baeckman, W & Schwenk, W. Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. (Verlag Chemie.) Weinheim 1971. p. 117-118.) beror en växelströms inträngningsdjup eller utbredning, t , i jord av växelströmmens frekvens, f , och jordens resistivitet ρ såsom anges av följande formel

$$t = 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

där t fås i meter om ρ anges i ohmmeter och f i Hertz. Inträngningsdjupets variation med jordresistivitet och frekvens framgår av figur 4.

Vid utformningen av metod 3 har försök gjorts att eliminera inverkan av skillnaden i inträngningsdjup mellan växel- och likström.

3.2.3 Metod 3

- Mom 1. Den påverkade konstruktionens elektropotentialförändring mäts vid till- och frånslag av det katodiska skyddet enligt figur 5a.
- Mom 2. Det katodiska skyddets likriktare ersätts med ett varierbart likströmsaggregat enligt figur 5b., så att det påverkade föremålet blir anod och det skyddade föremålet blir katod. Strömmen ökas tills dess att det påverkade föremålets elektropotential blir densamma som när det katodiska skyddet var inkopplat. Referenselektroden skall ha samma placering under alla mätningar. Strömmen som flyter i kretsen mäts.

- Mom 3. Likströmsaggregatet ersätts med ett växelströmsaggregat och växelströmmen ökas tills dess att den blir lika stor som den likström som erhöles i moment 2. Samtidigt avläses potentialskillnaden mellan referenselektroden och det påverkade föremålet. Denna potentialskillnad motsvarar det i moment 1 inmätta RI-fallet.
- Mom 4. Korrekt RI-fri potentialförändring erhålls genom att från den i moment 1 uppmätta potentialförändringen subtrahera det i moment 3 uppmätta RI-fallet.

Vid denna metod är uppmärksamheten endast inriktad på strömbilden i elektrolyten kring det påverkade föremålet rakt under referenselektroden. För att metoden skall vara korrekt skall strömbilden vara densamma med växelström som med likström från skyddet. Genom att vid likströmsmätningen koppla det påverkade föremålet som anod och skyddsföremålet som katod försöker man att åstadkomma samma utläckning från det påverkade föremålet vid mätplatsen, som med det katodiska skyddet. Detta förhållande antas uppnått när potentialskillnaden mellan referenselektrod och påverkat föremål är densamma som när det katodiska skyddet var inkopplat. Efter likströmsmätningen utbyts likströmsbelastningen mot en lika stor växelströmsbelastning. Det av växelströmmen orsakade potentialfallet mellan påverkat föremål och referenselektrod antas vara lika stort som RI-fallet ingående i potentialvärdet från den första potentialmätninge.

Eftersom avståndet mellan referenselektroden på markytan och det påverkade föremålet är litet är det rimligt att anta att växel- och likströmmen breder ut sig på samma sätt mellan föremålet och referenselektroden.

Laboratorieförsök i halvstor skala utfördes i en inomhusanläggning som tillhör Televerkets Centralförvaltning i Farsta. I denna anläggning finns en bassäng vars längd är 5,3 m och bredd 3,9 m. Bassängen fylldes med vattenledningsvatten till ca 1,5 m djup. Två stålrör med längd 2,75 m resp 1,95 m och diametern 10 mm fästes i en träram, vilken var fixerad i bassängen. På så sätt kom det längre röret att ligga parallellt med bassängens långsida och det kortare, parallellt med bassängens kortsida.

Fästpunkterna i träramen anordnades så att rören läge kunde ändras i både höjd- och sidled. Elektriska kablar fästes i rörens ändar. Ett ca 20 x 40 mm stort Pt-bleck fästes på en plasthållare och sänktes ned i bassängen. En elektrisk kabel anslöts till Pt-blecket. Tvärs över bassängen löper en brygga som kan flyttas i bassängens längdriktning. På bryggan kunde referenselektroder fästas och sänkas ned i vattnet.

I anslutning till bassängen, avskilt från denna med en glasvägg, finns ett laboratorieutrymme med spänningsuttag och plats för mätutrustning. Kablarna från rören, Pt-blecket och referenselektroden drogs in till laboratorieutrymmet. Med hjälp av ett likspänningsaggregat applicerades katodiskt skydd på det ena röret med Pt-blecket som anod. Anoden placerades så att stor sekundärverkan erhöles på det andra röret (se figur 6). Strömutflykten från det påverkade röret var störst i området kring rörkorsningen. Det påverkade rørets elektropotential uppmättes i detta område dels med en referenselektrod placerad i vattenytan, dels med en referenselektrod försedd med en elektrolytbrygga vars ena ände bestod av en kapillärspets. Kapillärspetsen anbringades mot rörytan på sådant sätt (se figur 7) att RI-fria elektropotentialer kunde uppmätas. Därmed kunde den verkliga elektropotentialen bestämmas. Denna utgjorde ett jämförelsevärde när de olika mätmetodernas riktighet kontrollerades.

5 MÄTTRUSTNING OCH BETECKNINGAR

5.1 Elektrolytbryggor

Två olika elektrolytbryggor användes. Båda var försedda med kapillärspets. Den ena bestod av ett kommunicerande kärl, som fyllts med den aktuella elektrolyten, i vilket referenselektroden sänktes ned. Via en plastslang var kärlet anslutet till ett glasrör vars nedre ände var utdragen till en kapillärspets (se figur 8). Vid mätningarna fördes kapillärspetsen mot det påverkade rörets yta. Då det kommunicerande kärlet var beläget ca 1 m över vattenytan krävdes att kapillärens inre diameter var så liten att vattnet endast med svårighet kunde tränga ut genom denna.

Vid mätningarna användes en plastslang och ett glasrör med 3 mm innerdiameter och med en sammanlagd längd av 1,5 m. Kapillärspetsen var ca 10 mm lång och hade ca 0,1 mm innerdiameter. Då bassängvattnets resistivitet var ca 50 ohm·m blev elektrolytbryggans totala resistans 75 Mohm. Motståndet i kapillären utgjorde ca 85% av den totala resistansen.

Den andra konstruktionen bestod av ett plexiglasrör med 15 mm innerdiameter. I rörets nedre ände var fästad en genomborrad gummikork (figur 9). I gummikorkens hål fästes ett plast- eller glasrör (med 3 mm innerdiameter) vars nedre ände dra its ut till en spets. Då det ej fanns några förutsättningar för snabb vattenutströmning med denna konstruktion krävdes ej så trång spets. Vid mätningarna användes ca 70 mm långa glas- eller plaströr med ca 10 mm långa kapillärspetsar. De olika spetsarnas innerdiameter var 0,6 - 1,0 mm. Elektrolytbryggans totala resistans var 0,8 - 2,4 Mohm om vattenpelaren i plexiglasröret är 0,5 m.

Elektrolytbryggan med plexiglasrör hade många fördelar framför den andra elektrolytbryggan. Dess robustare konstruktion och kraftigare spets medförde att det var lättare att fixera och justera denna brygga i rätt läge i förhållande till rörytan utan att spetsen skadades. Dess resistans var betydligt lägre än den andra elektrolytbryggans vilket medförde att det ej krävdes lika höghögiga mätinstrument. Detta i sin tur medförde att mätningarna ej blev särskilt störningskänsliga. Dessutom krävde denna brygga ingen passning eftersom elektrolytan i bryggan var i statisk jämvikt med vattnet utanför. Den relativt grova spetsen hos denna brygga kan dock medföra antingen en viss strömavskärmning på mätstället eller att hela RI-fallet ej elimineras vid mätning.

5.2 Övrig mätutrustning

För mätning enligt de tre metoderna som beskrivits i avsnitt 3 har följande apparatur använts:

Referenselektroder. - Mättad kalomelelektrod (SCE) av fabrikat Radiometer modell K 401. Referenselektrodens potential relativt normalvätgaselektroden (SHE) är 247,7 mV vid 20 °C.

Voltmetrar. - För mätning av elektrodpotentialer användes i undersökningens första skede en pH-meter av fabrikat Radiometer modell PHM 29 b. Instrumentet är av visartyp med mätområdet 0 - +700 mV. Ingångsimpedansen är $>10^{13}$ ohm. Senare användes en pH-meter av fabrikat KNICK modell 650. Instrumentet är digitalt med mätområdet 0 - +2000 mV. Ingångsimpedansen är $>2 \cdot 10^{12}$ ohm. För mätning av växelspanning användes en våganalysator av fabrikat Hewlett Packard modell H 15 - 302 A. Med detta instrument kan man mäta växelspanningar inom ett smalt frekvensband, dvs störspanningar från andra källor än mätkällan kan elimineras.

Amperemeter. - För mätning av både lik- och växelström användes ett universalinstrument av fabrikat Goertz modell Unigor 2S.

Likspänningsaggregat. - 1 st fabrikat Oltronix modell B 402. Aggregatet har två separata utgångar. Den ena ger spänningar mellan 0 och 40 V med maximal strömstyrka 1,0 A. Den andra ger spänningar mellan 0 och 20 V med maximal strömstyrka 1,5 A.

De två utgångarna kan seriekopplas, varvid en spänning mellan 0 och 60 V kan tas ut med maximal strömstyrka 1,0 A. Parallellkopplas utgångarna kan 0 till 20 V tas ut med maximal strömstyrka 2,5 A.

Växelspanningsaggregat. - LF-Generator av fabrikat Philips modell GM 2306 E.

Effektförstärkare. - fabrikat Servotrone modell EF 130 L. 100 W uteffekt.

Oscilloskop. - fabrikat Tektronix modell 7623. Oscilloskopet har använts för kontroll av den utgående växelspanningens kurvform.

5.3 Beteckningar

Samtliga elektrodpotentialer avser det påverkade röret och har uppmätts relativt en mättad kalomelelektrod och angetts med omvänt tecken i samtliga tabeller.

Med $e_{\text{kap}}^{\text{till}}$ avses elektrodpotential uppmätt med kapillärförsedd referenselektrod vid tillslaget katodiskt skydd.

Med $e_{\text{ytan}}^{\text{till}}$ avses elektrodpotential uppmätt med referenselektrod placerad i vattenytan rakt ovanför det påverkade röret vid tillslaget katodiskt skydd.

På analogt sätt används beteckningarna $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ resp $e_{\text{ytan}}^{\text{från}}$ vid frånslaget katodiskt skydd.

Med I_{skydd} avses katodisk skyddsström.

Med verklig sekundärverkan avses $e_{\text{kap}}^{\text{till}} - e_{\text{kap}}^{\text{från}}$.

Med sekundärverkan uppmätt med endast ytelektrod avses $e_{\text{ytan}}^{\text{till}}$ -
 $e_{\text{ytan}}^{\text{från}}$.

Med I_{del} avses den likström som mäts i metod 3, moment 2 (se kapitel 3.2.3).

Med R-värde avses det värde som avläses på jordmeggern i metod 1, moment 3 (se kapitel 3.2.1).

6 GENOMFÖRDA MÄTNINGAR

Mätningarna utfördes i tre olika perioder mellan vilka projektets stödgrupp har diskuterat de erhållna resultaten och planlagt nästa mätprogram.

Mellan mätperioderna tömdes och rengjordes bassängen. Elektrolytens, dvs bassängvattnets, resistivitet var densamma vid de tre mätperioderna nämligen ca 50 ohm·m.

Under period 1 provades endast metoderna 1 och 3 emedan metod 2 vid detta tillfälle ännu ej var utvecklad. Av samma anledning användes elektrolytbryggan med plexiglasrör endast under mätperiod 3.

Instrumenteringen var densamma under de tre mätperioderna frånsett att under de två första mätperioderna användes en voltmeter av visartyp med avläsningsnoggrannheten ± 5 mV (Radiometer, PHM 29 b). Under mätperiod 3 användes en digital voltmeter (KNICK, 650) med avläsningsnoggrannheten ± 1 mV.

6.1 Mätperiod 1

6.1.1 Utförande och resultat

Rörens, anodens och kapillärspetsens placering under mätperiodens första del visas i figur 10. Som framgår av figuren placerades Pt-anoden så att stor påverkan från det katodiska skyddet erhöles på det påverkade röret. Detta rörs elektrodpotential uppmättes i den punkt där rören korsar varandra vid till- och frånslag av skyddsströmmen.

Ett karakteristiskt resultat av mätningarna under denna del av mätperioden återges i tabell 1, där de tre olika mätningarna presenteras i den ordning de utfördes. Ett uppehåll på ca 1 timme gjordes mellan mätningarna.

Av tabellen framgår att det påverkade rörets elektrodpotential vid fränkopplat katodiskt skydd, $e_{kap}^{från}$ och $e_{ytan}^{från}$, förändrades mellan de olika registreringarna.

För att lättare kunna jämföra sekundärverkan uppmätt med de olika metoderna med verklig sekundärverkan, dvs med skillnaden mellan e_{kap}^{till} och $e_{kap}^{från}$, och med sekundärverkan uppmätt med ytelektrod har dessa värden från tabell 1 åskådliggjorts i figur 11. I figuren har sekundärverkan, uttryckt som potentialförändring vid tillslag av det katodiska skyddet, avsatts på y-axeln och den katodiska skyddsströmmen (I_{skydd}) på x-axeln.

Av figur 11 framgår att metod 1 vid olika värden på skyddsströmmen gav ca 30 - 60% för låga och metod 3 ca 20 - 30% för höga värden på sekundärverkan jämfört med verklig sekundärverkan.

Emedan det visade sig vara svårt att iaktta kapillärspetsens läge i förhållande till rörytan vid denna försöksupställning ändrades denna så att det övre långa röret katodiskt skyddades

och det undre kortare röret utsattes för sekundärverkan. Försöksuppställningen framgår av figur 12. Karakteristiska resultat från mätningarna med denna uppställning återges i tabell 2. Av tabellen framgår det att elektrodpotentialerna uppmätta vid frånslagen skyddsström ej förändrades mellan de olika registreringarna.

De i tabell 2 angivna resultaten på sekundärverkan har åskådliggjorts i figur 13. Härav framgår att metod 1 vid olika storlek på skyddsströmmen gav ca 70 - 80% för låga och metod 3 ca 1 - 5% för låga värden på sekundärverkan.

För att kontrollera om olika placeringar av kapillärspetsen påverkade resultaten flyttades denna längs rörytan till en punkt belägen ca 5 cm från dess tidigare läge varefter mätningar utfördes på samma sätt som tidigare. Karakteristiska resultat från dessa mätningar återges i tabell 3 och figur 14. Av figuren framgår att vid olika skyddsströmmar metod 1 gav ca 60 - 85% för låga och metod 3 mellan ca 3% för låga och 4% för höga värden på sekundärverkan.

Vid de första två mätningarna i tabell 2 och den första mätningen i tabell 3 visade det sig vid kontroll att kapillärspetsen var belägen ca 3 mm från rörytan. Som framgår av figurerna 13 och 14 avviker värdet på verklig sekundärverkan uppmätt med denna kapillärspetsplacering från övriga värden.

I avsikt att undersöka om anodplaceringen påverkade resultaten flyttades Pt-anoden närmare rörkorsningen varvid mätningen utfördes med i övrigt bibehållen försöksuppställning (figur 15). Karakteristiska resultat från mätningarna återges i tabell 4 och figur 16. Härav framgår det att vid olika storlek på skyddsströmmen metod 1 gav ca 35 - 75% för låga och metod 3 mellan ca 20% för låga och 20% för höga värden på sekundärverkan.

6.1.2 Diskussion

Mätningarna i mätperiodens första del var svårtolkade då potentialvärdena dels ej var stabila under registreringen, dels förändrades mellan de olika registreringarna. Dessa omständigheter gör det vanskligt att dra några slutsatser om metodernas riktighet.

När försöksuppställningen förändrades i mätperiodens senare del kunde stabilare värden på elektrodpotentialerna registreras. Detta medförde att mätningarna kunde utföras med en god reproducerbarhet.

Den förflyttning av kapillärspetsen som gjordes längd rörytan medförde ingen förändring vad beträffar metodernas avvikelser från verklig sekundärverkan.

Den anodförflyttning som företogs i mätperiodens sista del, men med i övrigt bibehållen försöksuppställning, innebar att metoderna gav större procentuell avvikelse från verklig sekundärverkan. Detta betyder dock ej att metodernas riktighet försämrats utan sammanhänger sannolikt med att verklig sekundärverkan efter anodförflyttningen är mindre, varför voltmeters relativt dåliga avläsningsnoggrannhet ($+5$ mV) kan orsaka procentuellt

sett större fel.

Vidare framgår det av figurerna 13 och 14 ($I_{\text{skydd}} = 15 \text{ mA}$) hur viktigt det är att kapillärspetsen placeras omedelbart intill rörytan. I de aktuella fallen var kapillärspetsen placerad ca 3 mm från rörytan vilket medförde att värdet på verklig sekundärverkan blev upp till 40% större än när kapillärspetsen placerades mot rörytan. Detta beror på att i det förra fallet ett RI-fallet har inmätts i "verklig sekundärverkan". Det stora RI-fallet trots det korta avståndet mellan kapillärspets och rör beror på att strömtätheten i elektrolyten är störst närmast rörytan.

6.2 Mätperiod 2

Avsikten med mätningarna under denna period var att prova metod 2 samt att undersöka om metoderna 2 och 3 är beroende av var elektrisk anslutning görs på det påverkade röret.

6.2.1 Utförande

Mätupställningen framgår av figur 17. Som påverkat rör valdes det kortare röret, vilket försågs med fem elektriska anslutningar.

6.2.2 Resultat

Ett karakteristiskt resultat av mätningarna återges i tabell 5 och figur 18. Härav framgår att vid olika anslutningspunkter metod 2 gav ca 7 - 20% och metod 3 ca 15 - 25% för höga värden på sekundärverkan. Vidare framgår det av tabell 5 att $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ var 45 - 55 mV mer negativ än $e_{\text{ytan}}^{\text{från}}$.

6.2.3 Diskussion

Den stora skillnaden mellan $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ och $e_{\text{ytan}}^{\text{från}}$ kan förklaras med att man med den kapillärförsedda referenselektroden mäter rörets elektrodpotential i en punkt, medan man med referenselektroden placerad vid vattenytan mäter ett medelvärde av rörets elektrodpotential på ett större område av röret. I detta fall tyder mätresultaten på att rörets elektrodpotential var olika i olika punkter på rörytan.

Ingen signifikant förändring av metodernas riktighet kunde iaktas vid anslutning i olika punkter, (se figur 18).

Vidare framgår det av figur 18 att metod 2 i detta fall gav något bättre överensstämmelse med verklig sekundärverkan än metod 3.

Mätningarna under mätperioden var svårtolkade då potentialvärdena ej var stabila under registreringen. Därför beslöts att fortsatta mätningar skulle utföras.

6.3 Mätperiod 3

6.3.1 Utförande och resultat

Mätperioden inleddes med att elektrodpotentialmätningar utfördes på samma sätt som tidigare med den skillnad att elektrolytbrygga med plexiglasrör användes. Försöksuppställning framgår av figur 19. Eftersom några stabila potentialvärden ej kunde erhållas, varierades kapillärspetsens läge och anliggningsvinkel mot rorytan. Resultat från mätningarna presenteras i tabell 6. Fyra mätningar utfördes med $I_{\text{skydd}} = 30 \text{ mA}$. Mellan mätning 1 och 2 ändrades endast kapillärspetsens anliggningsvinkel. Tidsskillnaden mellan mätningarna var 0,5 timme. Mellan mätning 2 och 3 är tidsskillnaden ca 16 timmar. Inga förändringar i försöksuppställningen gjordes mellan dessa mätningar. Efter mätning 3 flyttades kapillärspetsen till en punkt ca 1 cm från dess tidigare läge, men med bibehållen anliggningsvinkel, varpå mätning 4 utfördes ca 0,5 timme senare.

Av tabell 6 framgår att verklig sekundärverkan förändrades från 35 till 20 mV mellan mätning 1 och 4. Denna förändring beror framför allt på att $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ förändrats med kapillärspetsens placering och med tiden. Den ändrade anliggningsvinkeln påverkade däremot ej nämnvärt resultaten.

I avsikt att undersöka hur verklig sekundärverkan påverkas av små förflyttningar av kapillärspetsen utfördes fyra mätningar med $I_{\text{skydd}} = 20 \text{ mA}$ och åtta med $I_{\text{skydd}} = 40 \text{ mA}$. Mellan mätningarna flyttades kapillärspetsen ca 2 mm utmed rorytan. Resultaten från dessa mätningar återges i tabell 7, varav framgår att skillnaden mellan största och minsta sekundärverkan var 85% av den minsta sekundärverkan för $I_{\text{skydd}} = 20 \text{ mA}$ och 110% för $I_{\text{skydd}} = 40 \text{ mA}$.

I försök att erhålla stabilare elektrodpotentialvärden samt söka finna områden på rorytan där "vårt facit", dvs verklig sekundärverkan, ej varierade vid små förflyttningar av kapillärspetsen förändrades försöksuppställningen. Därvid blev det undre röret katodiskt skyddat och det övre utsatt för sekundärverkan (figur 20 a). Denna förändring medförde att $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ ej varierade varken med tiden eller med små förflyttningar av kapillärspetsen. Här efter utfördes ett stort antal mätningar där sekundärverkan enligt de tre metoderna jämfördes med verklig sekundärverkan. Karakteristiska resultat från dessa mätningar återges i tabell 8. Den första mätningen i tabellen utfördes med kapillärspetsen enligt figur 21 a. Härvid erhöles god överensstämmelse mellan de värden på sekundärverkan som uppmättes med metoderna 2 och 3, medan verklig sekundärverkan i hög grad avvek från dessa värden. Det föreföll troligt att ett RI-fall inkluderades i mätningen av $e_{\text{kap}}^{\text{till}}$ varför kapillärspetsen placerades mot rörsidan enligt figur 21 b. Fortsatta mätningar utfördes med denna kapillärplacering, varvid relativt god överensstämmelse erhöles mellan sekundärverkan enligt de tre metoderna och verklig sekundärverkan. (Figur 22.) Av detta framgår att vid olika storlek på skydds-

strömmen metod 1 gav ca 10 - 25% för låga, metod 2 ca 5 - 30% för höga samt metod 3 ca 5 - 20% för höga värden på sekundärverkan.

Eftersom stabilitet och reproducerbarhet i mätningarna nu hade uppnåtts utfördes ett stort antal mätningar där avståndet mellan rören och anodplaceringen ändrades.

Mätningarna vars resultat återges i tabell 9 och figur 23 utfördes med samma försöksuppställning som vid föregående mätning frånsett att anoden flyttats ytterligare 0,5 m vinkelrätt ut från det påverkade röret enligt figur 20 b.

Av figur 23 framgår att vid olika värden på skyddsströmmen metod 1 gav ca 20 - 30% för låga, metod 2 ca 0 - 15% för låga samt metod 3 ca 5 - 20% för låga värden på sekundärverkan.

Efter denna mätning flyttades anoden till ett läge 3 cm rakt under det påverkade röret enligt figur 20 c. Resultaten från mätningar utförda med denna försöksuppställning presenteras i tabell 10 och figur 24. Ur figuren framgår det att vid olika värden på skyddsströmmen metod 1 gav ca 2 - 10% för låga, metod 2 ca 5 - 25% för låga samt metod 3 ca 0 - 20% för låga värden på sekundärverkan.

Vid mätningen därpå bibehölls anodplaceringen medan avståndet mellan rören ökades till 25 cm enligt figur 20 d. Mätresultaten presenteras i tabell 11 och figur 25. Av figuren framgår att vid olika värden på skyddsströmmen metod 1 gav ca 10 - 20% för låga, metod 2 från ca 10% för låga till ca 10% för höga samt metod 3 från ca 2% för låga till ca 2% för höga värden på sekundärverkan.

Därpå ökades avståndet mellan rören till 35 cm samt flyttades anoden enligt figur 20 e. Mätresultaten framgår av tabell 12 och figur 26. Härav framgår att vid olika värden på skyddsströmmen metod 1 gav ca 15 - 20% för låga, metod 2 från ca 4% för låga till ca 4% för höga samt metod 3 ca 0 - 4% för låga värden på sekundärverkan.

I detta läge förändrades försöksuppställningen så att det övre långa påverkade röret placerades under det korta katodiskt skyddade röret enligt figur 27 a. Vid mätningarna noterades att $e_{\text{kap}}^{\text{till}}$ vid $I_{\text{skydd}} = 20 \text{ mA}$ varierade mellan ca -580 och -650 mV när kapillärspetsen flyttades mellan olika punkter inom en ca 1 cm^2 stor zon på rörytan. I alla dessa punkter var $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ ca -670 mV. Detta betyder att den verkliga sekundärverkan varierade mellan 20 och 90 mV inom denna lilla zon. När kapillärspetsen flyttades längs röret till en punkt ca 2 cm från denna zon varierade $e_{\text{kap}}^{\text{till}}$ betydligt mindre, varför denna kapillärspetsplacering behölls under de kommande två mätningarna. Resultaten från den första av dessa mätningar med försöksuppställning enligt figur 27 a presenteras i tabell 13 och figur 28. Av figuren framgår det att vid olika värden på skyddsströmmen metod 1 gav från ca 20% för låga till 10% för höga, metod 2 från ca 25% för låga till 10% för höga samt metod 3 ca 3 - 5% för höga värden på se-

kundärverkan.

Vid den sista mätningen minskades avståndet mellan rören till 25 cm enligt figur 27 b. De erhållna resultatens presenteras i tabell 14 och figur 29. Ur figuren kan utläsas att vid olika värden på skyddsströmmen metod 1 gav ca 0 - 20% för låga, metod 2 från ca 5% för låga till 5% för höga samt metod 3 från ca 5% för låga till 10% för höga värden på sekundärverkan.

6.3.2 Diskussion

Vid de inledande mätningarna i mätperiod 3 förändrades "vårt facit", dvs verklig sekundärverkan, med tiden och små förflyttningar av kapillärspetsen längs rörytan (se tabellerna 6 och 7). Dessa omständigheter gjorde att de tre metodernas riktighet ej kunde provas.

Vid förändring av försöksuppställningen så att elektrodpotentialmätningarna utfördes på det andra röret varierade ej längre "vårt facit" varken med tiden och små förflyttningar av kapillärspetsen. Under dessa omständigheter kunde de tre metodernas riktighet kontrolleras vid olika avstånd mellan rören och olika anodplaceringar.

Vid en av förändringarna av försöksuppställningen kom kapillärspetsen att placeras i en zon på rörytan där ånyo "vårt facit" varierade med små förflyttningar av kapillärspetsen. Området på rörytan kring denna zon gav emellertid ej några variationer av "vårt facit" vid små förflyttningar av kapillärspetsen. Detta tyder på att det förekommer små zoner på rörytan där ström-utläckningen varierar i hög grad mellan närliggande punkter.

Resultaten från de mätningar där metodernas riktighet vid olika försöksuppställningar kunde kontrolleras har återgetts i figurerna 22, 23, 24, 25, 26, 28 och 29. En sammanställning av dessa resultat presenteras i figur 30. I denna figur har sekundärverkan uppmätt med metod 1, 2 och 3 samt med ytelektrod ($e_{\text{ytan}}^{\text{till}}$ - $e_{\text{ytan}}^{\text{från}}$) återgetts i form av procentuell avvikelse från verklig sekundärverkan ($e_{\text{kap}}^{\text{till}}$ - $e_{\text{kap}}^{\text{från}}$). Resultaten av varje metod från vart och ett av figurerna 22, 23, 24, 25, 26, 28 och 29 representeras i figur 30 med ett intervall, eftersom avvikelsen från verklig sekundärverkan varierar med olika värden på skyddsströmmen.

Av figur 30 framgår att metod 1 i allmänhet ger ett för lågt värde på sekundärverkan, medan både för låga och för höga värden erhålls med metod 2 och 3. I de flesta fall ger metod 3 minst avvikelse från verklig sekundärverkan. Skillnaden mellan metod 2 och 3 är emellertid liten. Metod 1 avviker i allmänhet mer än metod 2 och 3 från verklig sekundärverkan. Metoderna ger i bland relativt stor avvikelse, i ett fall upp till 30% av verklig sekundärverkan. Om t ex verklig sekundärverkan är 20 mV innebär en avvikelse på 30% dock endast 6 mV. För de flesta fältmetoder torde ett sådant värde falla inom ramen för mätnoggrannheten.

Om metodernas resultat dessutom jämförs med värdet på sekundär-

verkan uppmätt med ytelektrod (se figur 20) framgår det att en avvikelse på 30% är liten jämfört med den avvikelse som erhålls då ytelektrod används för att uppmäta sekundärverkan.

Vidare framgår det av figur 30 att man ej kan förutse hur metodernas riktighet beror av anodplacering och avståndet mellan rören. Man kan sålunda ej förutse i vilken riktning metodernas riktighet påverkas vid förändring av anodplacering och/eller avstånd mellan rören.

7 SLUTSATSER

Vid undersökningen har följande framkommit:

- Det förekommer zoner på det påverkade rörets yta där strömutläckningen är i hög grad olika i närliggande punkter.
- Om ej kapillärspetsen placeras i omedelbar närhet av det påverkade rörets yta kommer ett betydande RI-fall att inkluderas i elektropotentialmätningen även om avståndet mellan kapillärspetsen och rör-ytan endast är någon mm.
- Det torde medföra stora svårigheter att konstruera en jordsond så att man med millimeternoggrannhet kan avgöra avståndet mellan sondens spets och mätobjektet. Detta är nödvändigt för att hela RI-fallet ska kunna elimineras.
- Metod 1 ger i allmänhet ett för lågt värde på sekundärverkan medan såväl för låga som för höga värden kan erhållas med metoderna 2 och 3. I de flesta fall ger metod 3 minst avvikelse från verklig sekundärverkan. Skillnaden mellan metoderna 2 och 3 är emellertid liten. Metod 1 avviker i allmänhet mer från verklig sekundärverkan än metoderna 2 och 3.
- De värden på sekundärverkan som erhålls med metoderna 1, 2 och 3 ligger betydligt närmare värdet på verklig sekundärverkan än det värde som erhålls om sekundärverkan uppmäts med en ytelektrod.

Detta projekt har genomförts med anslag från Statens råd för byggnadsforskning. Vid projektets uppläggning och genomförande har medverkat en rådgivande stödgrupp bestående av:

Avd-dir P-O Persson (ordf), Televerket
 Fil mag G Dahlstedt (sekr), Korrosionsinstitutet
 Drifting G Bader, Televerket
 Tekn lic B Linder, Paul Bergsöe & Son AB

Televerket har frikostigt ställt sitt tanklaboratorium till förfogande för undersökningarnas genomförande. Härvid har värdefull assistans erhållits av Televerkets arbetsgrupp för ljudstörningsundersökningar.

Tabell 1. Resultat från mätperiod 1, med försöksupställning enligt figur 10.

I skydd mA	från eytan	från ekap	till eytan	till ekap	I del mA	R-värde ohm	RI-fall		Med yt- elektrod		Med ka- pillär- elektrod		Enl metod 3 mV
	mV	mV	mV	mV			Enl metod 1 mV	Enl metod 3 mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 3 mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 3 mV	
30	550	550	340	460	13,5	5,3	160	100	210	90	50	110	
60	590	590	210	440	24,0	5,3	320	180	380	150	60	200	
15	600	600	490	555	6,7	5,3	80	50	110	45	30	60	

Tabell 2. Resultat från mätperiod 1, med försöksupställning enligt figur 12.

I skydd mA	från e- ytan mV	från e- kap mV	till e- ytan mV	till e- kap mV	I del mA	R-värde ohm	RI-fall		Sekundärverkan			
							Enl metod 1 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 3 mV
15	635	630	450	550	5,0	11,3	170	130	185	80	15	55
15	630	625	445	550	5,0	11,3	170	125	185	75	15	60
15	635	630	455	570	5,1	11,3	170	120	180	60	10	60
15	635	630	450	570	5,2	11,3	170	130	185	60	15	55
20	635	630	400	550	6,2	11,3	225	145	235	80	10	90
20	635	630	395	555	6,8	11,3	225	160	240	75	15	80
25	635	630	330	530	8,5	11,3	283	205	305	100	22	100
25	635	630	330	530	8,7	11,3	283	210	305	100	22	95
30	635	630	270	495	10,5	11,3	340	245	365	135	25	120
30	635	630	270	510	10,6	11,3	340	245	365	120	25	120

Tabell 3. Resultat från mätperiod 1, med modifierad kapillärplacering jämfört med tabell 2.

I skydd mA	från eytan	från ekap	till eytan	till ekap	I del mA	R-värde ohm	RI-fall		Med yt- elektrod		Med ka- pillär- elektrod		Enl metod 1		Enl metod 3	
	mV	mV	mV	mV			Enl metod 1	Enl metod 3	mV	mV	mV	mV	Enl metod 1	Enl metod 3	mV	mV
15	640	640	450	550	5,0	11,3	170	125	190	90	20	65				
15	640	635	450	570	5,1	11,3	170	130	190	65	20	60				
20	640	635	395	555	6,7	11,3	225	165	245	80	30	80				
25	640	635	340	540	8,5	11,3	283	205	300	95	17	95				
30	640	635	275	525	10,3	11,3	340	250	365	110	25	115				

Tabell 4. Resultat från mätperiod 1 med försöksupställning enligt figur 15.

15	640	640	560	615	2,1	4,9	74	60	80	25	6	20
30	640	640	470	595	4,8	4,9	147	120	170	45	23	50
45	640	640	390	575	6,8	4,9	221	170	250	65	29	80

Tabell 5. Resultat från mätperiod 2 med försöksuppställning enligt figur 17.

an- slut ning nr	från ytan mV	från e _{kap} mV	till ytan mV	till e _{kap} mV	I _{del} mA	RI-fall		Sekundärverkan					
						Enl metod 2	Enl metod 3	Med yt- elektrod	Med ka- pillär- elektrod	Enl metod 2	Enl metod 3	Enl metod 2	Enl metod 3
	mV	mV	mV	mV		mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV
1	575	625	450	555	5,6	50	45	125	70	75	80		
2	580	630	450	560	5,8	45	40	130	70	85	90		
3	580	635	450	560	6,1	45	40	130	75	85	90		
4	585	635	455	560	6,1	45	40	130	75	85	90		
5	585	630	460	560	6,0	45	35	125	70	80	90		

Tabell 6. Resultat från mätperiod 3 med försöksupställning enligt figur 19.

Tid mellan de olika mät- serierna h	I_{skydd} mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I_{del} mA	RI-fall enl metod 3 mV	Sekundärverkan		
								Med yt- elektrod mV	Med kapil- lärelektrod mV	Enl metod 3 mV
—	30	655	605	520	570	7,7	120	135	35	15
ca 0,5	30	657	610	518	583	7,7	118	139	27	21
ca 16	30	663	630	530	597	8,0	122	133	33	11
ca 0,5	30	661	655	528	635	7,9	125	133	20	8

Tabell 7. Resultat från mätning i mätperiod 3 i avsikt att studera hur $e_{\text{kap}}^{\text{till}} - e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ varierar vid små förflyttningar av kapillärspetsen. Försöksupställning enligt figur 19.

I_{skydd} mA	$e_{\text{kap}}^{\text{från}}$ mV	$e_{\text{kap}}^{\text{till}}$ mV	Sekundärverkan med kapillärelektrod, mV
20	521	509	12
	573	560	13
	536	525	11
	567	560	7
40	570	540	30
	604	576	28
	558	518	40
	548	519	29
	626	607	19
	580	544	36
	637	615	22
	622	600	22

Tabell 8. Resultat från mätperiod 3 med försöksuppställning enligt figur 20 a.

I skydd mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I _{del} mA	R-värde ohm	RI-fall			Sekundärverkan				
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
30	671	673	474	539	11,5	5,0	150	125	129	197	134	47	72	68
30	669	689	476	634	11,2	5,0	150	125	126	193	55	43	68	67
30	664	685	473	635	11,8	5,0	150	125	132	191	50	41	66	59
30	666	686	474	635	11,6	5,0	150	125	130	192	51	42	67	62
20	669	689	539	650	7,8	5,0	100	85	88	130	39	30	45	42
20	664	686	536	650	8,0	5,0	100	85	90	128	36	28	43	38
10	666	686	601	666	4,0	5,0	50	44	44	65	20	15	21	21
10	667	687	602	667	4,0	5,0	50	44	44	65	20	15	21	21
40	665	687	414	623	15,3	5,0	200	163	170	251	64	51	88	81
40	666	687	417	623	15,0	5,0	200	163	167	249	64	49	86	82

Tabell 9. Resultat från mätperiod 3 med försöksuppställning enligt figur 20 b.

I skydd mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I _{del} mA	R-värde ohm	RI-fall			Sekundärverkan				
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
5	668	675	639	661	1,6	3,7	19	15	17	29	14	10	14	12
5	668	675	640	662	1,6	3,7	19	15	17	28	13	9	13	11
10	668	676	615	651	2,9	3,7	37	33	31	53	25	16	20	22
10	668	676	617	653	2,9	3,7	37	33	31	51	23	14	18	20
15	668	674	589	639	4,7	3,7	56	48	49	79	35	23	31	30
15	669	675	590	641	4,4	3,7	56	48	49	79	34	23	31	30
20	668	675	562	626	6,0	3,7	74	63	64	106	49	32	43	42
20	668	676	560	625	6,0	3,7	74	63	65	108	51	34	45	43
30	669	675	505	600	9,3	3,7	111	92	104	164	75	53	72	60
30	669	674	510	605	9,0	3,7	111	92	101	159	69	48	67	58
40	672	679	461	584	12,1	3,7	148	123	135	211	95	63	88	76
40	668	674	462	587	11,5	3,7	148	123	128	206	87	58	83	78

Tabell 10. Resultat från mätperiod 3 med försöksuppställning enligt figur 20 c.

I skydd mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I _{del} mA	R-värde ohm	RI-fall			Sekundärverkan				
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
5	667	676	627	658	2,2	4,9	25	26	24	40	18	15	14	16
5	668	676	628	660	2,4	4,9	25	26	26	40	16	15	14	14
10	668	677	592	645	4,5	4,9	49	55	48	76	32	27	21	28
10	667	675	592	645	4,5	4,9	49	55	48	75	30	26	20	27
15	668	675	556	631	6,9	4,9	74	81	73	112	44	38	31	39
15	667	675	556	631	6,9	4,9	74	81	73	111	44	37	30	38
20	668	675	514	611	9,5	4,9	98	109	107	154	64	56	45	47
20	670	678	517	613	9,5	4,9	98	109	107	153	65	55	44	46
30	669	675	438	585	13,5	4,9	147	158	151	231	90	84	73	80
30	669	675	439	586	13,5	4,9	147	158	151	230	89	83	72	79
40	669	675	365	563	19,0	4,9	196	209	210	304	112	108	95	96
40	669	675	366	564	19,0	4,9	196	209	210	303	111	107	94	95

Tabell 11. Resultat från mätperiod 3 med försöksuppställning enligt figur 20 d.

I skydd mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I _{del} mA	R-värde ohm	RI-fall			Sekundärverkan							
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
5	674	683	636	666	2,0	5,1	26	21	21	21	38	17	12	17	17		
5	673	682	637	667	2,1	5,1	26	21	21	36	15	10	15	15	15		
10	674	682	605	655	4,1	5,1	51	46	42	69	27	18	18	23	27		
10	673	682	605	655	4,1	5,1	51	46	42	68	27	17	17	22	26		
15	674	682	570	641	6,2	5,1	77	67	64	104	41	27	27	37	40		
15	672	680	570	641	6,1	5,1	77	67	63	102	39	25	25	35	39		
20	671	679	537	631	8,3	5,1	102	88	87	134	48	32	32	46	47		
20	670	677	537	631	8,3	5,1	102	88	87	133	46	31	31	45	46		
30	672	679	469	609	12,5	5,1	153	132	131	203	70	50	50	71	72		
30	673	679	469	609	12,5	5,1	153	132	131	204	70	51	51	72	73		
40	673	678	400	590	17,3	5,1	204	172	182	273	88	69	69	101	91		
40	673	677	406	595	17,0	5,1	204	172	179	267	82	63	63	95	88		

Tabell 12. Resultat från mätperiod 3 med försöksuppställning enligt figur 20 e.

I skydd mA	från e ytan mV	från e kap mV	till e ytan mV	till e kap mV	I del mA	R-värde ohm	RI-fall			Sekundärverkan				
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
5	675	680	641	665	1,8	4,6	23	19	18	34	15	11	15	16
5	673	678	641	665	2,0	4,6	23	19	20	32	13	9	13	12
10	673	678	609	652	3,9	4,6	46	41	39	64	26	18	23	25
10	673	678	609	652	3,9	4,6	46	41	39	64	26	18	23	25
15	673	678	577	639	5,9	4,6	69	60	59	96	39	27	36	37
15	673	678	579	641	5,7	4,6	69	60	57	94	37	25	34	37
20	673	678	544	627	8,2	4,6	92	80	81	129	51	37	49	48
20	673	678	545	628	8,1	4,6	92	80	81	128	50	36	48	47
30	675	681	482	606	12,0	4,6	138	118	119	193	75	55	75	74
30	673	679	484	608	12,0	4,6	138	118	119	191	71	53	73	72
40	673	677	424	589	16,0	4,6	184	155	160	249	88	65	94	89
40	673	677	424	590	16,0	4,6	184	155	160	249	87	65	94	89

Tabell 13. Resultat från mätperiod 3 med försöksuppställning enligt figur 27 a.

I skydd mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I del mA	R-värde ohm	RI-fall							
							RI-fall			Sekundärverkan				
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
10	673	677	534	654	5,2	11,8	118	120	113	139	23	21	19	26
10	671	675	535	651	5,1	11,8	118	120	110	136	24	18	16	26
15	671	674	467	642	7,8	11,8	177	175	170	204	32	27	29	34
15	670	672	467	642	7,8	11,8	177	175	170	203	30	26	28	33
20	670	672	394	629	10,5	11,8	236	230	230	276	43	40	46	46
20	671	672	385	629	11,0	11,8	236	230	240	286	43	50	56	46
30	670	669	253	611	15,9	11,8	354	345	346	417	58	63	62	61
30	670	669	253	613	16,0	11,8	354	345	348	417	56	63	62	59

Tabell 14. Resultat från mätperiod 3 med försöksupställning enligt figur 27 b.

I skydd mA	från eytan mV	från ekap mV	till eytan mV	till ekap mV	I _{del} mA	R-värde ohm	RI-fall			Sekundärverkan				
							Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV	Med yt- elektrod mV	Med ka- pillär- elektrod mV	Enl metod 1 mV	Enl metod 2 mV	Enl metod 3 mV
5	669	672	609	660	2,4	9,5	48	45	45	60	12	12	15	15
10	669	672	556	651	4,6	9,5	95	93	86	113	21	18	20	27
15	669	672	499	640	7,2	9,5	143	140	136	170	32	27	30	34
20	669	671	443	628	9,6	9,5	190	185	182	226	43	36	41	44
30	669	670	324	607	14,5	9,5	285	270	275	345	63	50	65	60

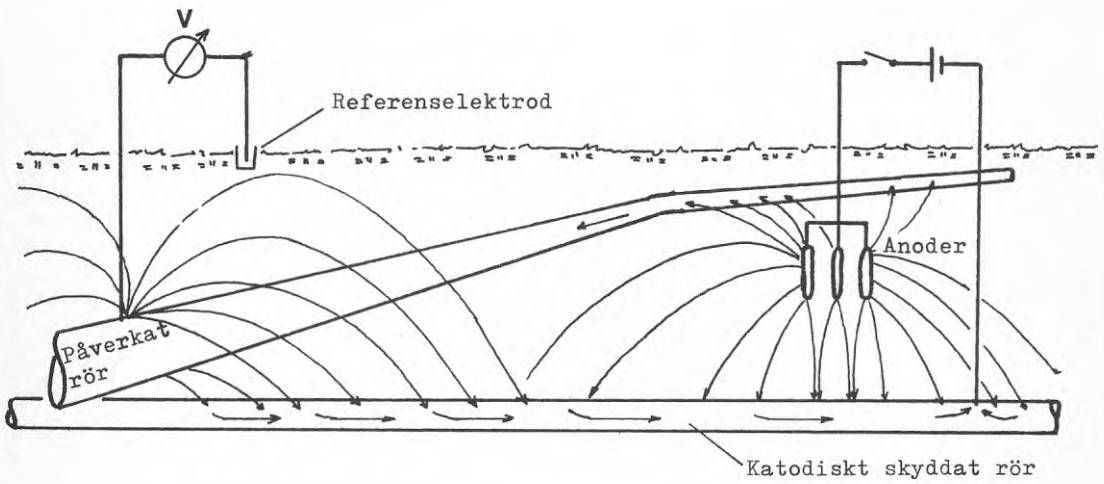


FIG. 1. Elektrodpotentialmätning vid till- och frånslag av det katodiska skyddet för bestämning av sekundärverkan.

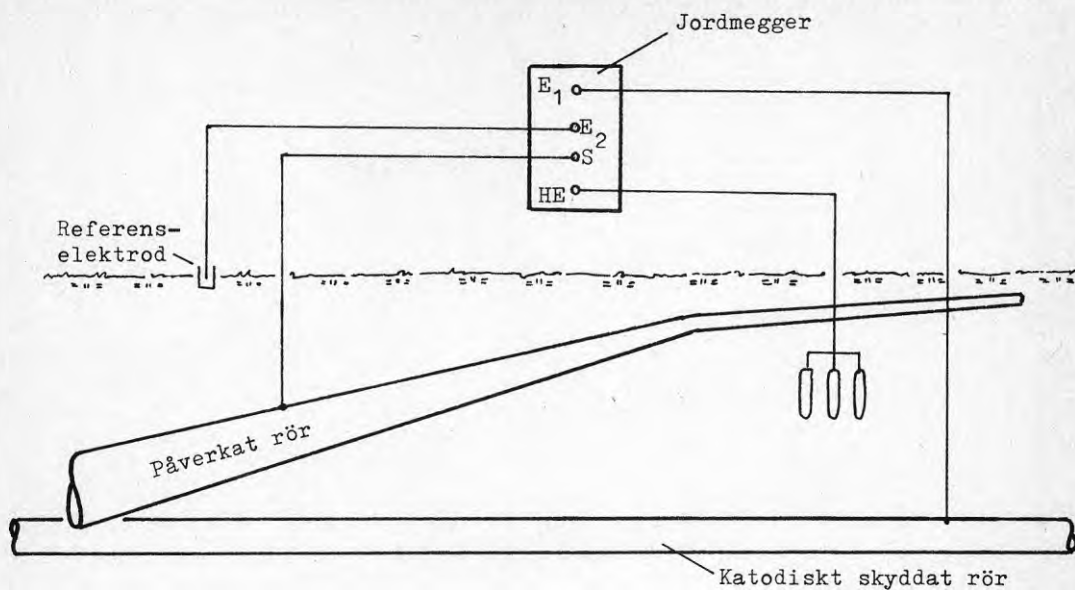


FIG. 2. Metod 1 - det katodiska skyddets likriktare ersätts med en jordmegger.

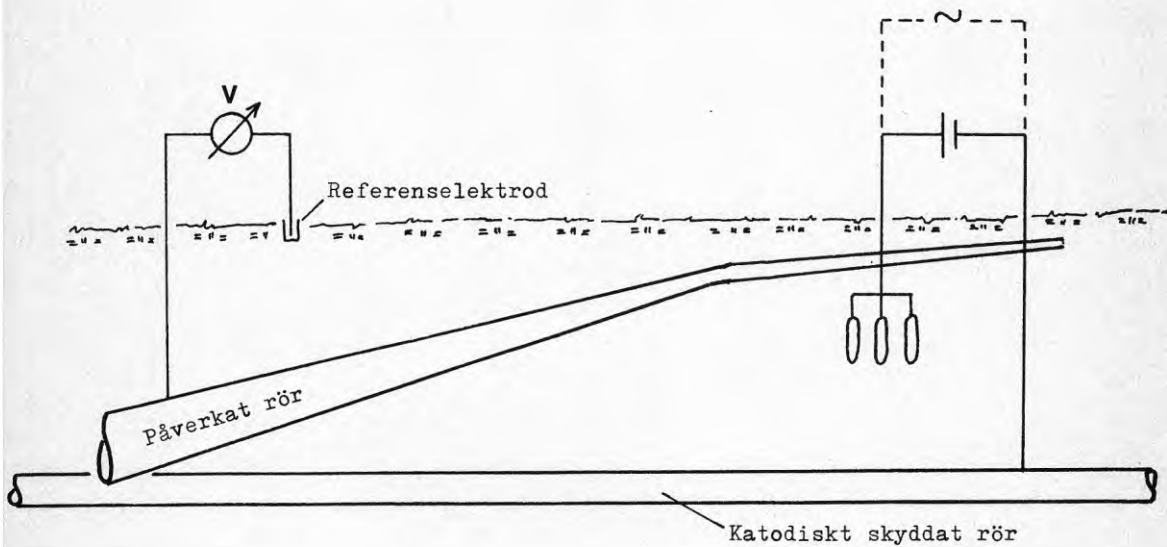
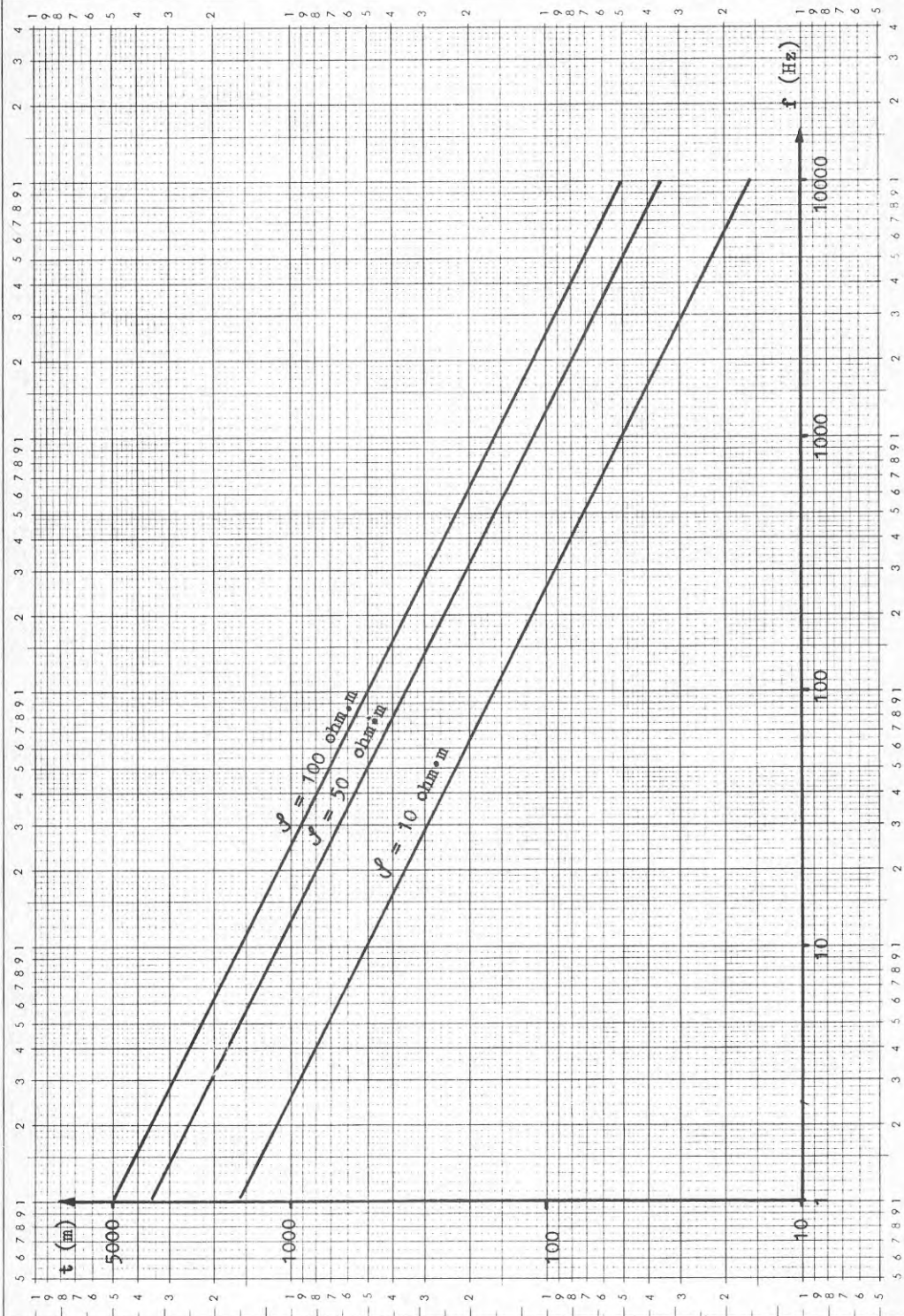


FIG. 3. Metod 2 - det katodiska skyddets likriktare ersätts med ett växelströmsaggregat.

FIG. 4. Samband mellan inträngningsdjup t (m),
 frekvens f (Hz) och jordresistivitet ρ (ohm·m)
 enligt formeln,

$$t = 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$



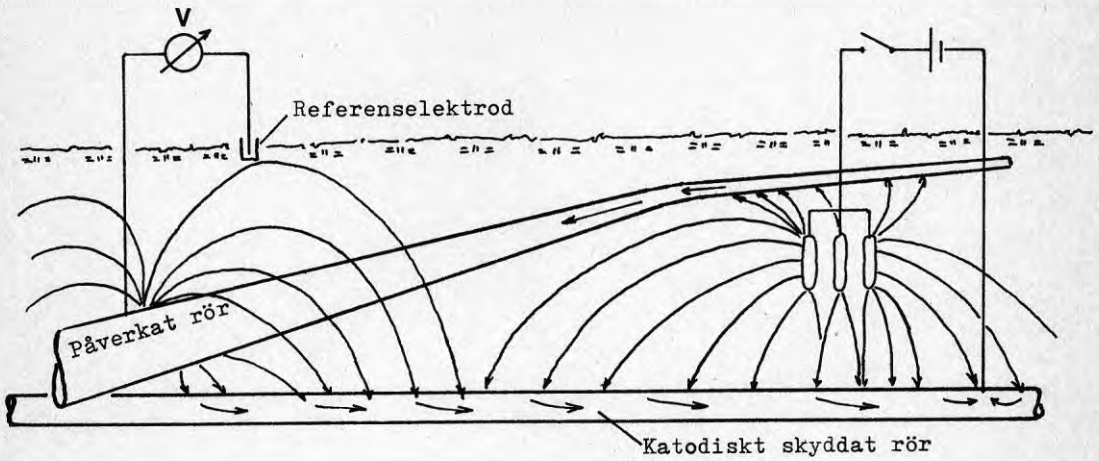


FIG. 5 a. Metod 3 - Elektrodpotentialen vid till- och frånslag av det katodiska skyddet mäts.

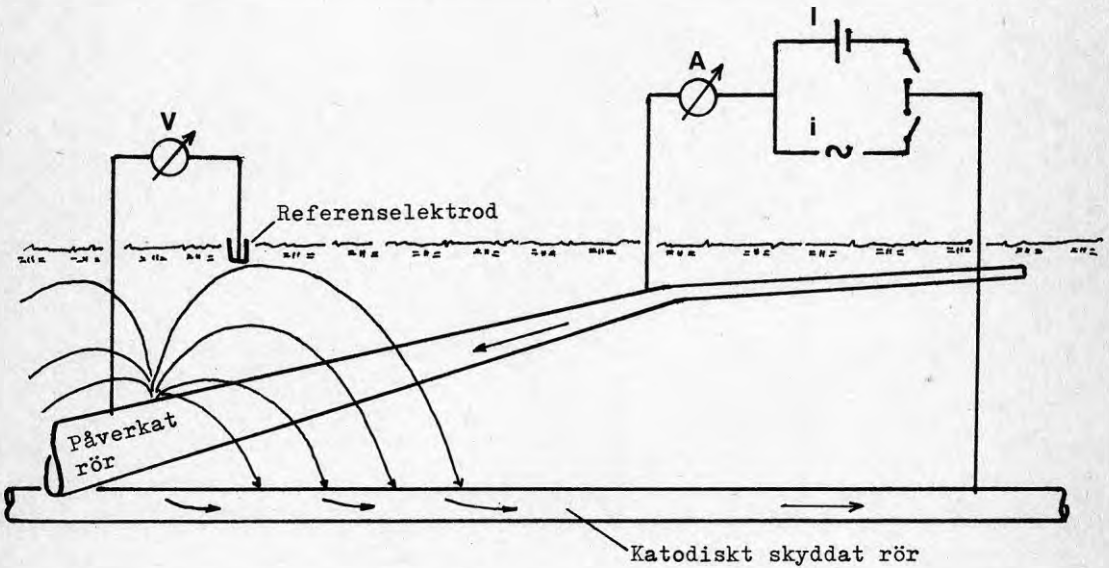


FIG. 5 b. Metod 3 - Det katodiska skyddets likriktare ersätts med ett likspänningsaggregat och därefter med ett växelströmsaggregat.

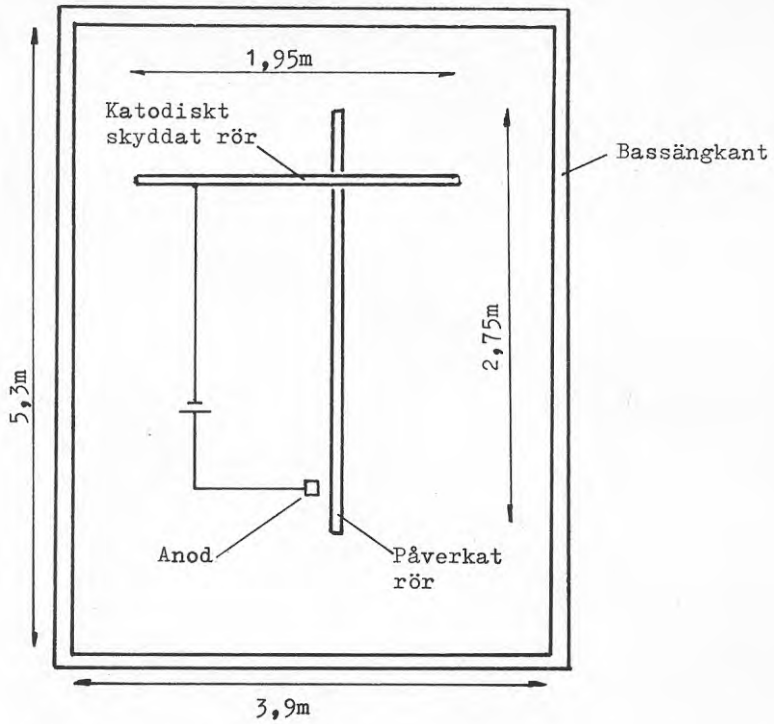


FIG. 6. Försöksuppställning.

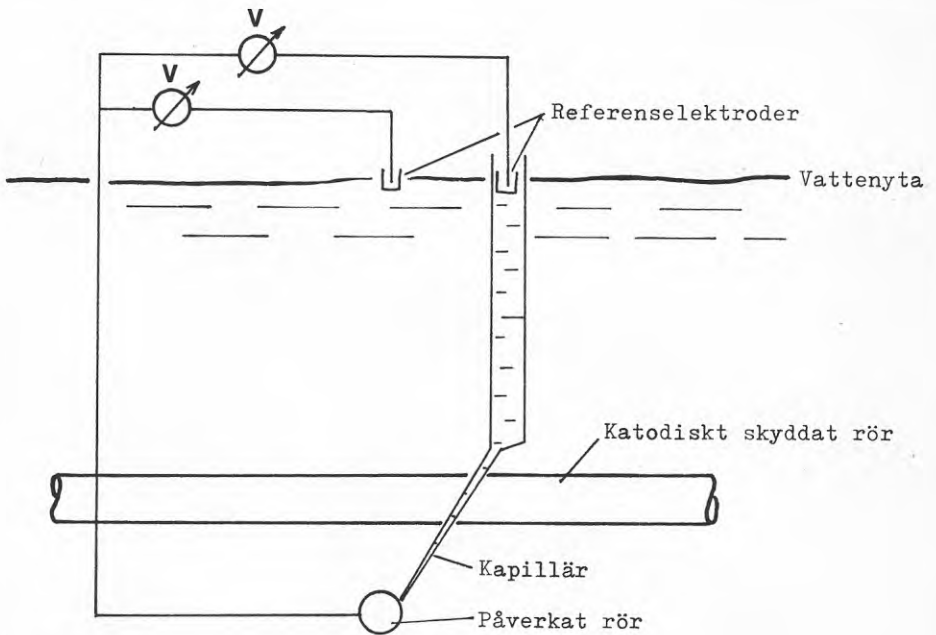


FIG. 7. Referenselektrodernas placering i rörkorsningen.

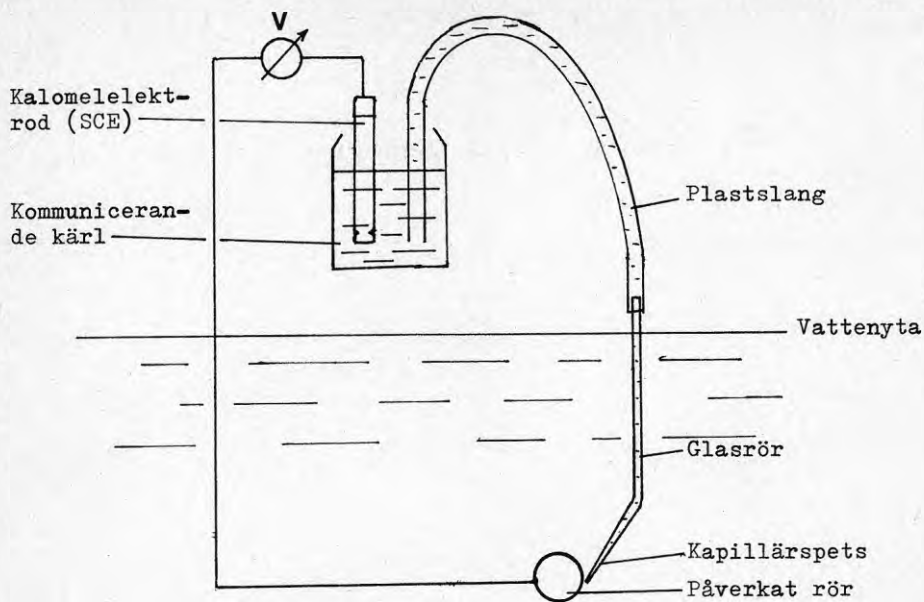


FIG. 8. Elektrolytbrygga.

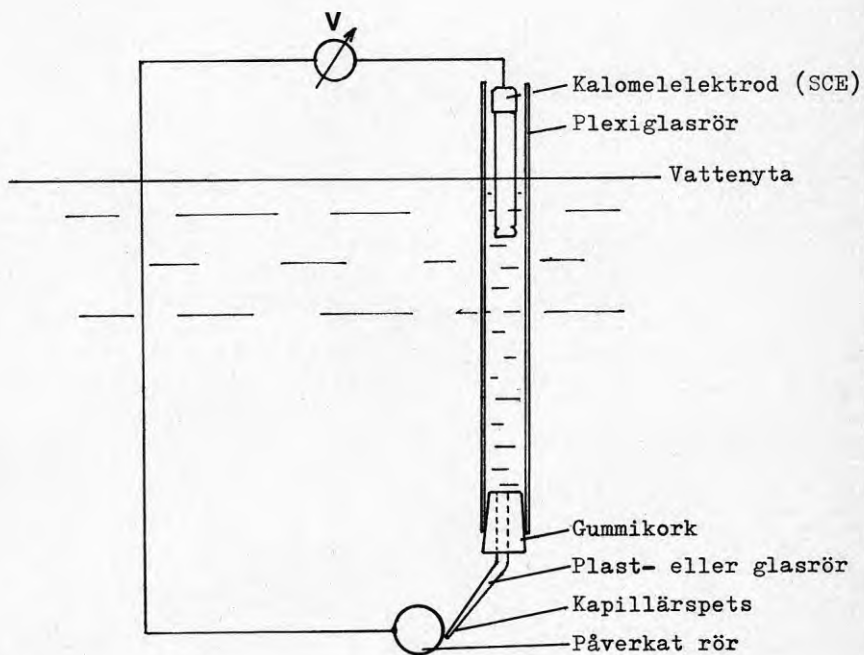


FIG. 9. Elektrolytbrygga.

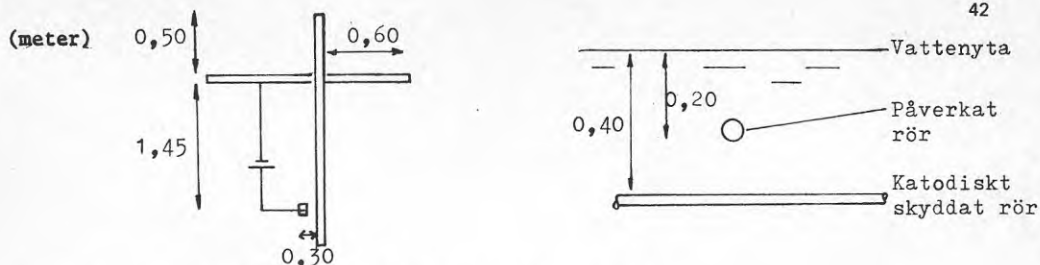


FIG. 10. Försöksuppställning under mätperiod 1.

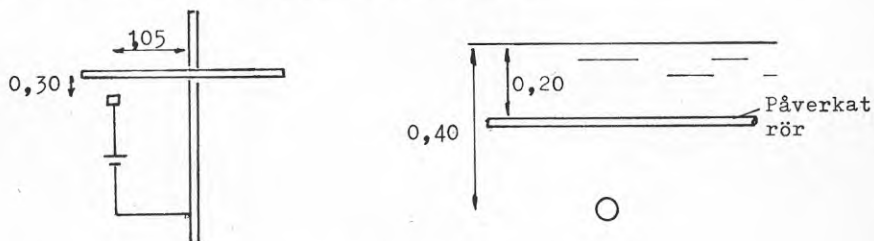


FIG. 12. Försöksuppställning under mätperiod 1.

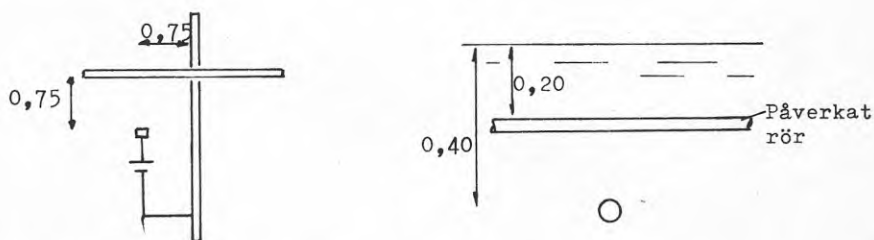


FIG. 15. Försöksuppställning under mätperiod 1.

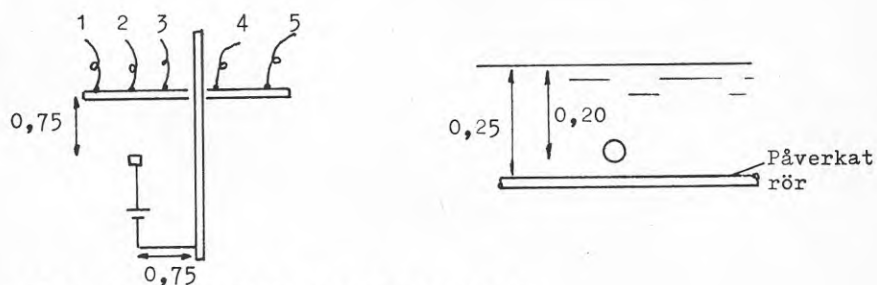


FIG. 17. Försöksuppställning under mätperiod 2.

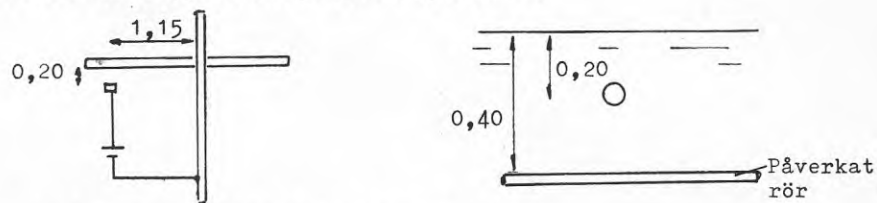


FIG. 19. Försöksuppställning under mätperiod 3.

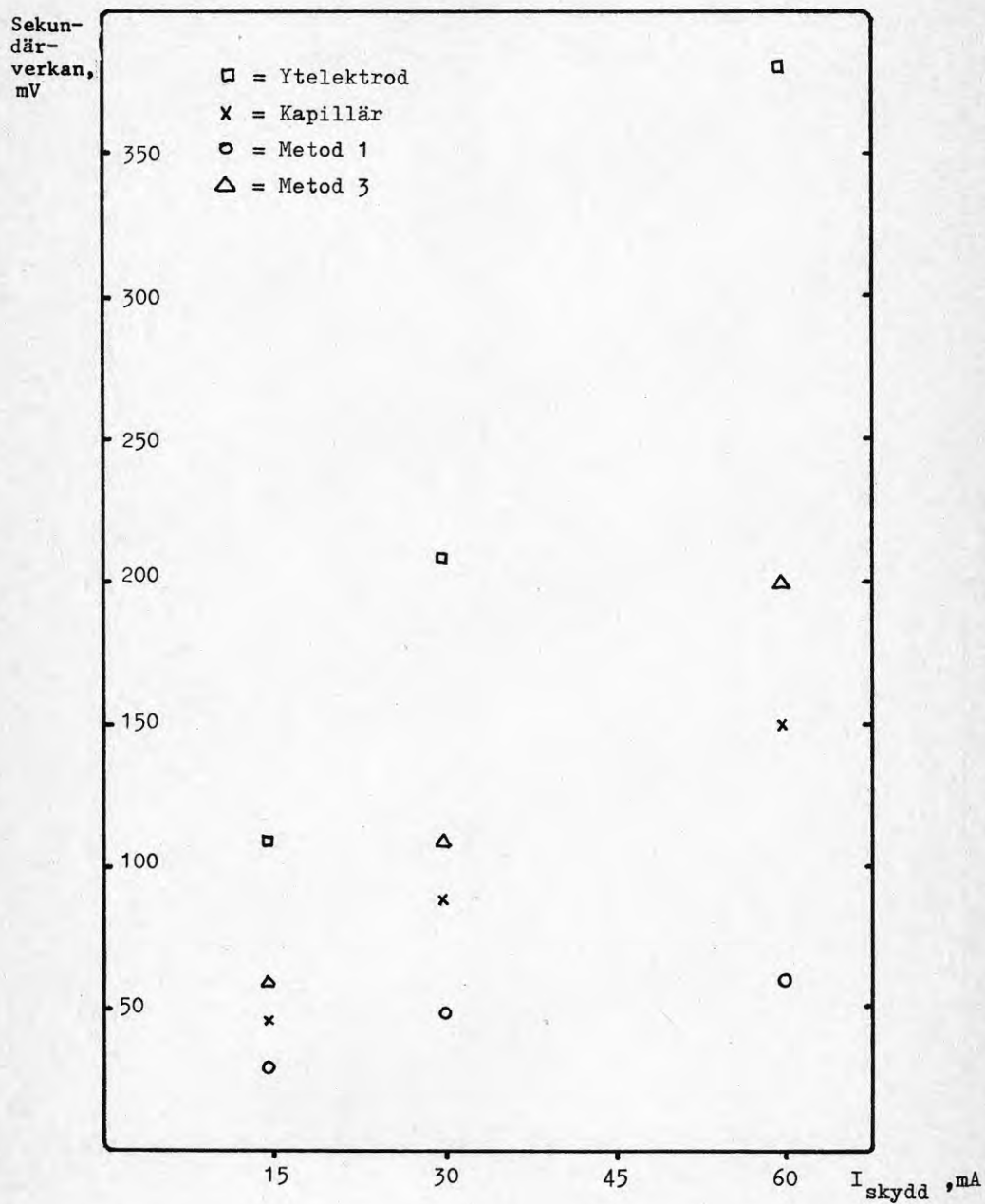


FIG. 11. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 1.

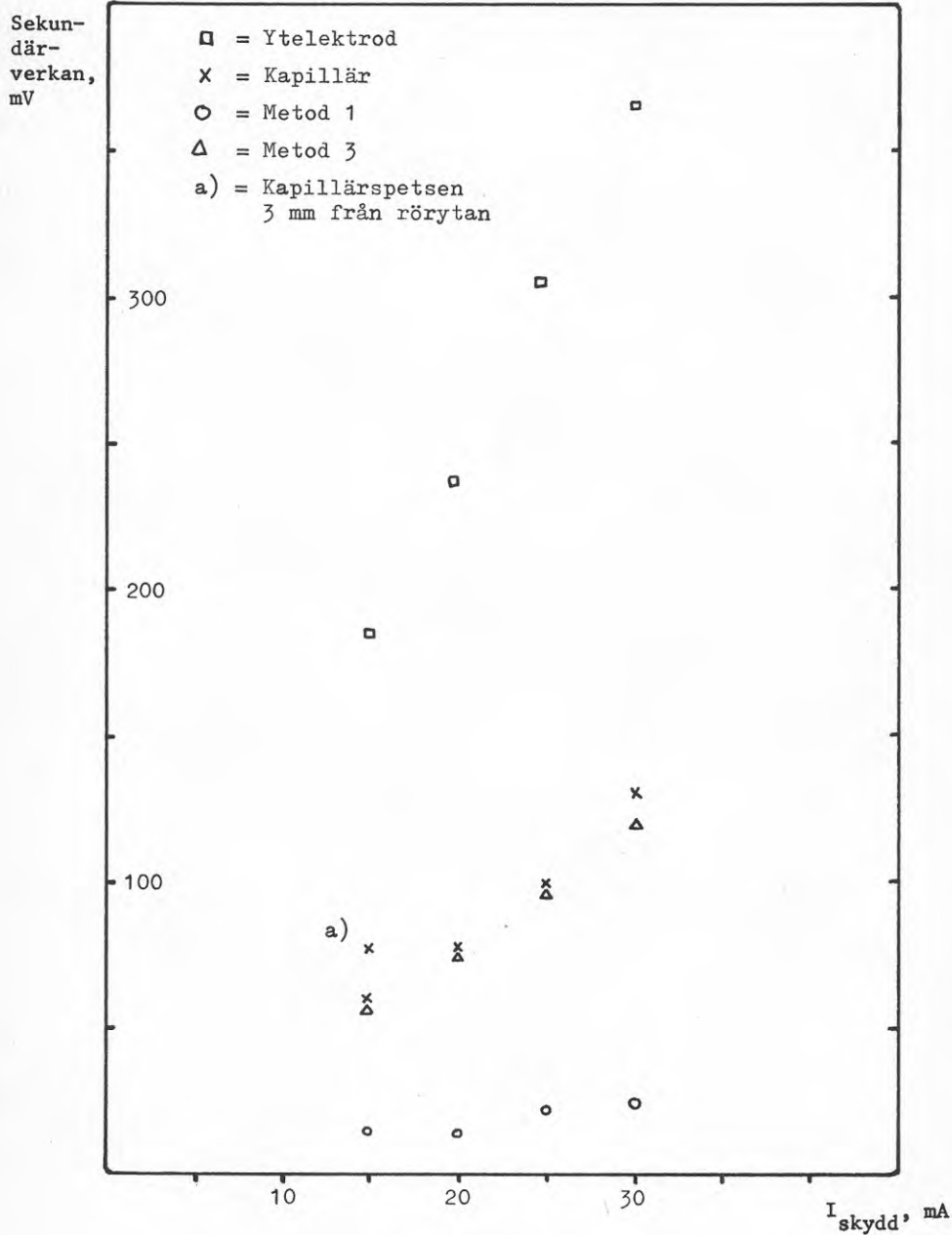


FIG. 13. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 2.

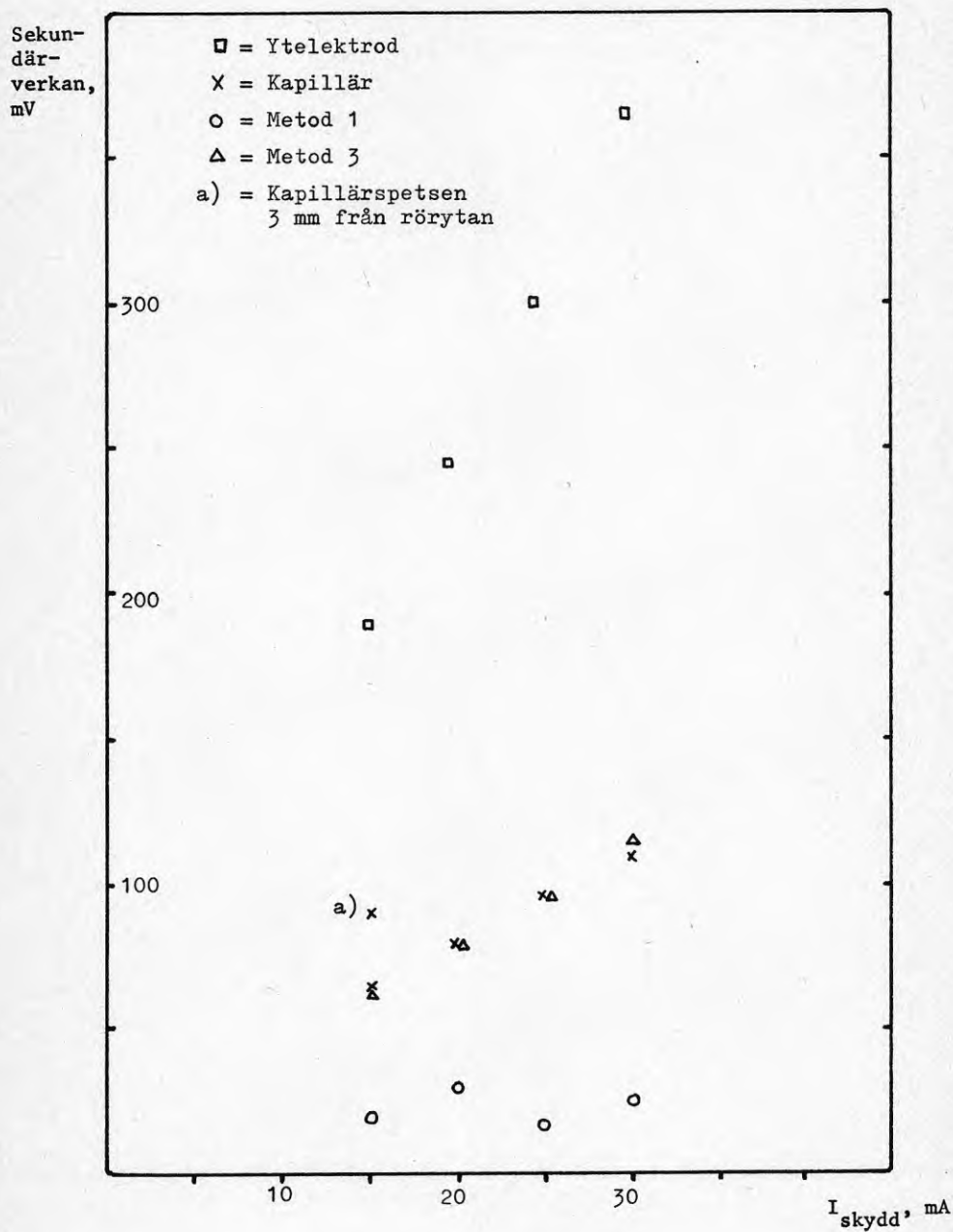


FIG. 14. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 3.

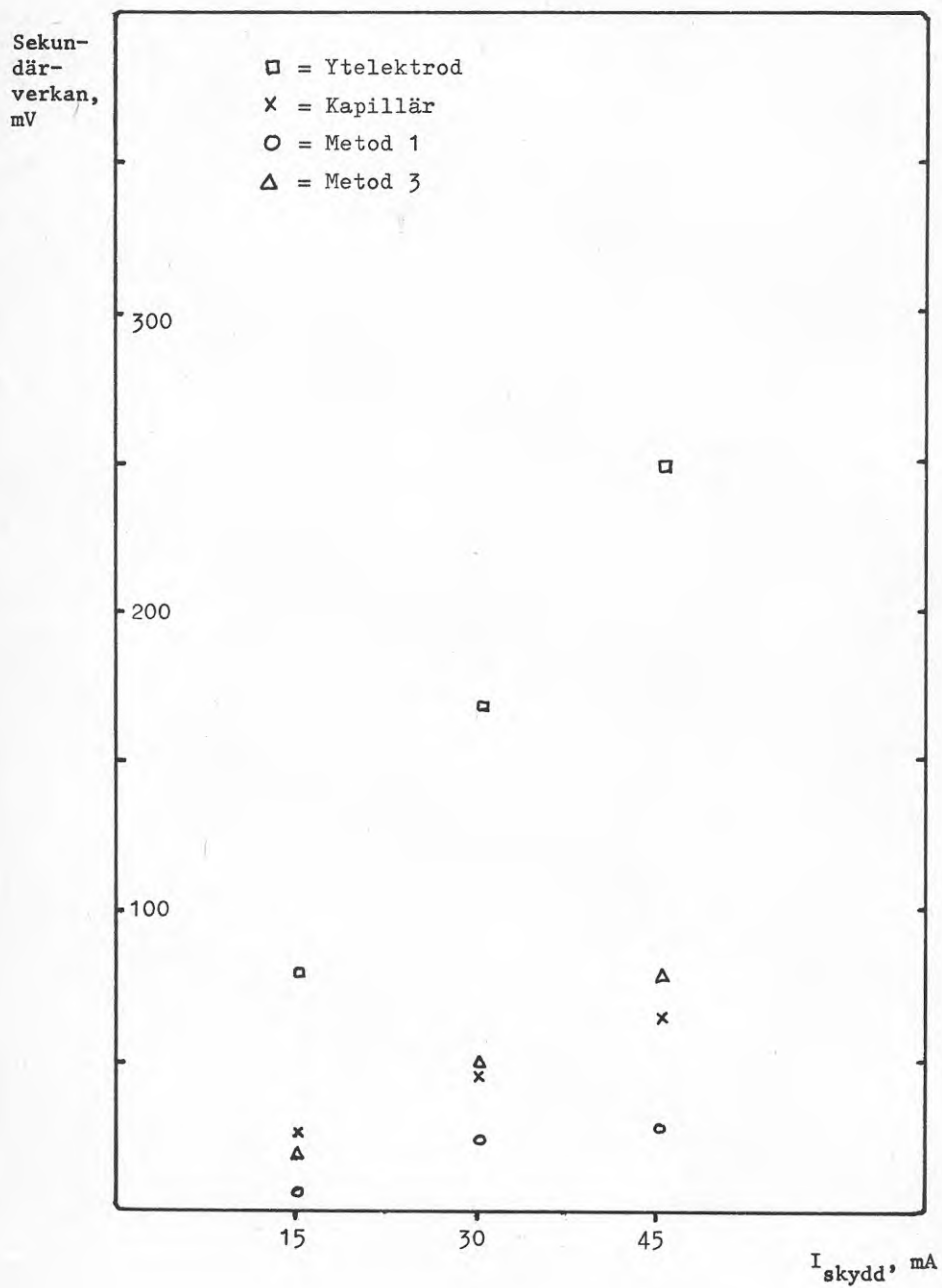


FIG. 16. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 4.

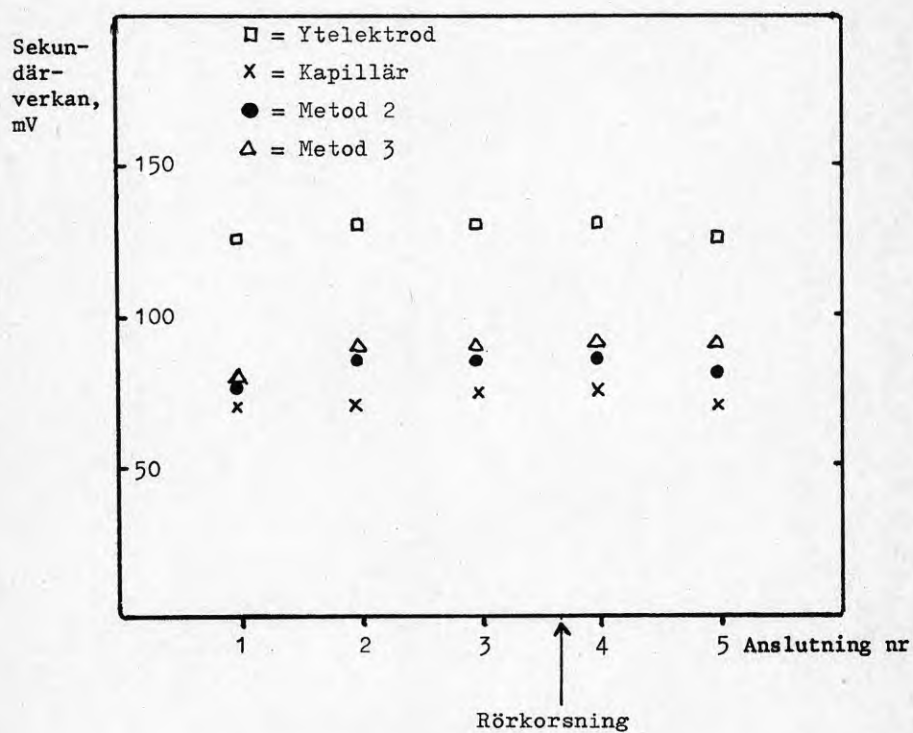


FIG. 18. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 5.

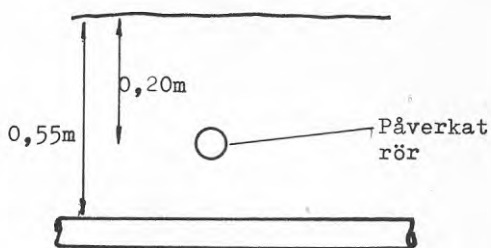
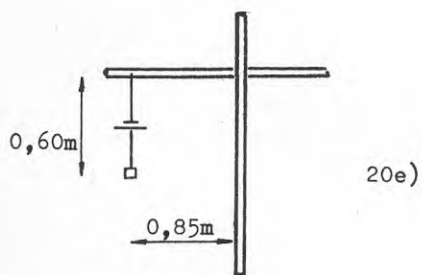
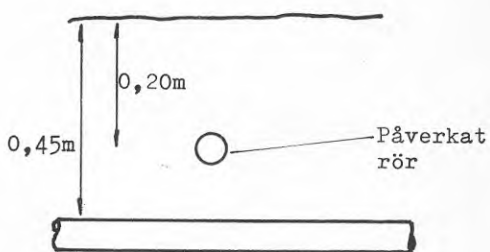
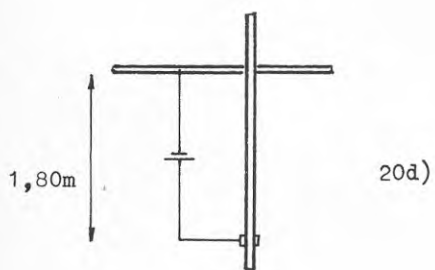
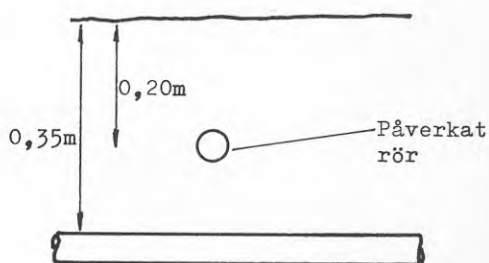
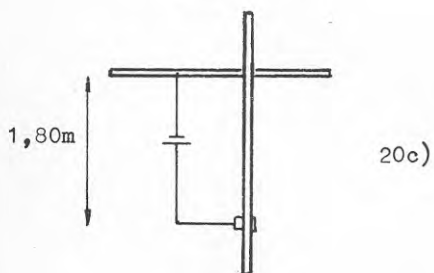
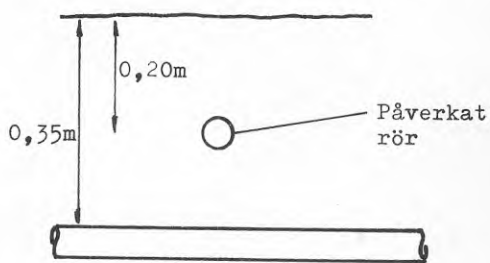
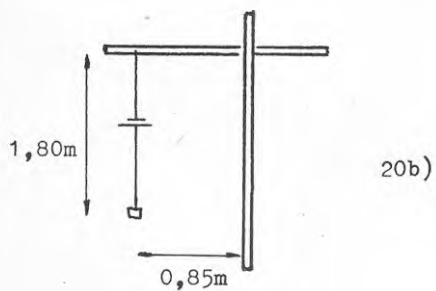
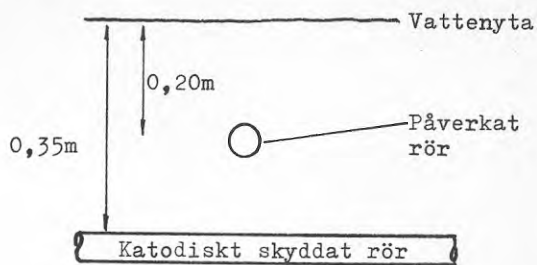
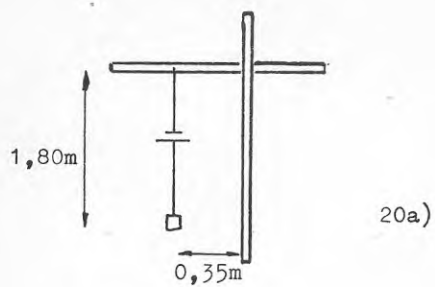


FIG. 20 a, b, c, d och e. Försöksupställningar under mätperiod 3.

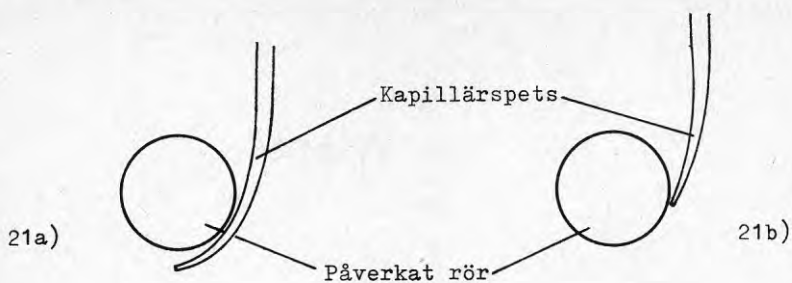


FIG. 21 a och b. Olika kapillärspetsplaceringar.

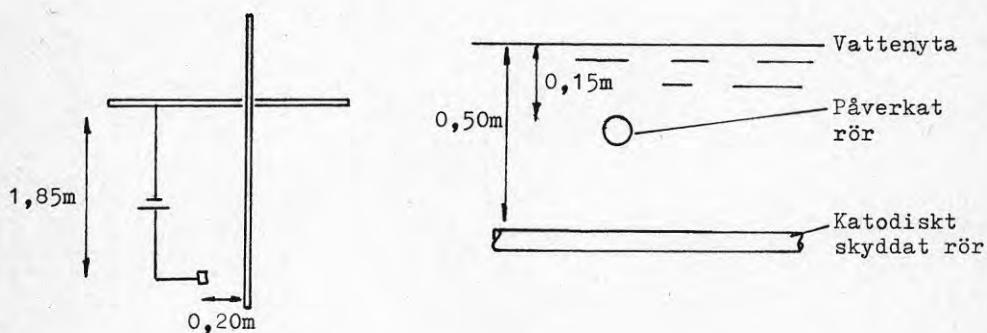


FIG. 27 a. Försöksuppställning under mätperiod 3.

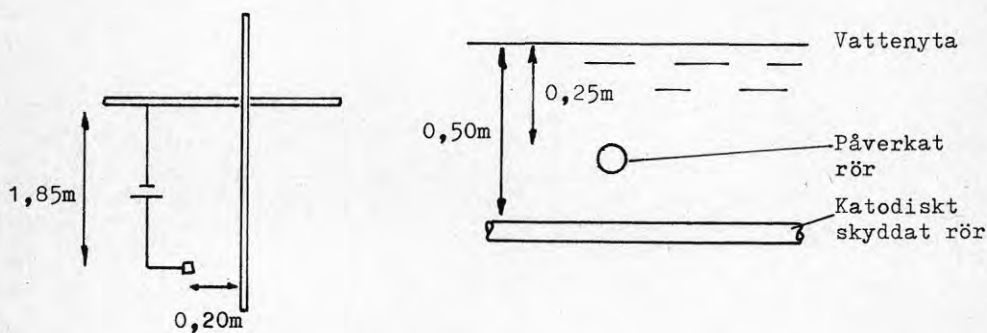


FIG. 27 b. Försöksuppställning under mätperiod 3.

Sekun-
där-
verkan,
mV

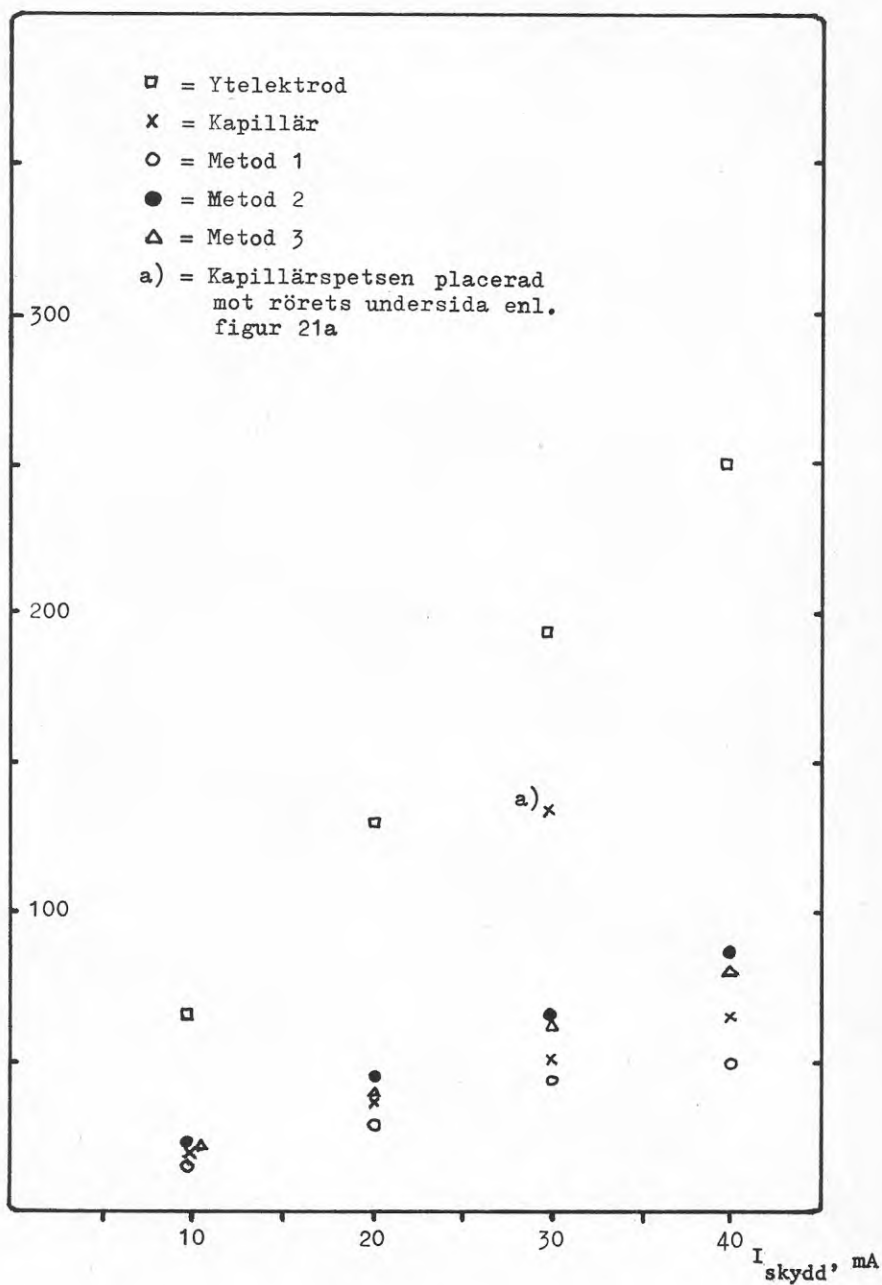


FIG. 22. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 8.

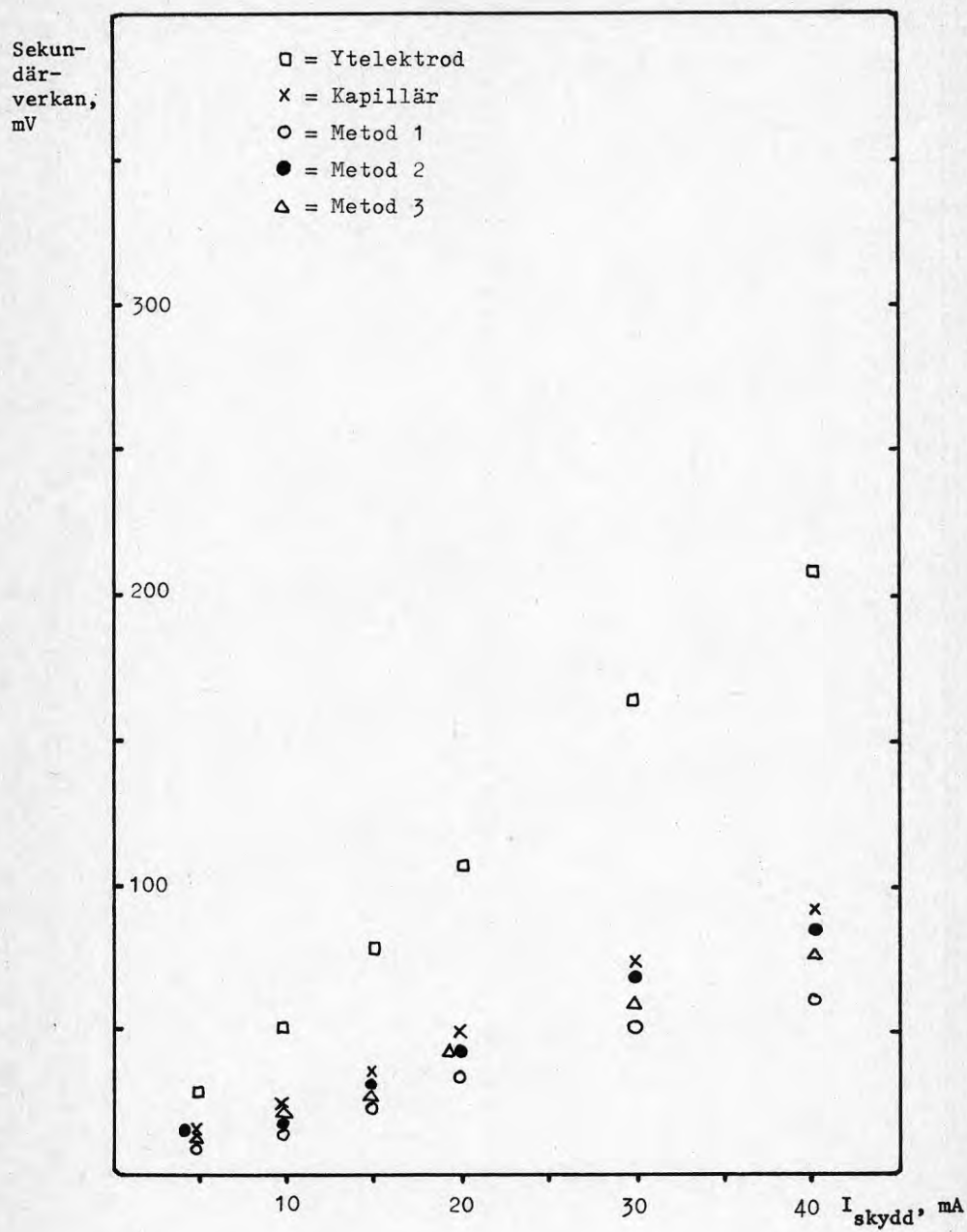


FIG. 23. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 9.

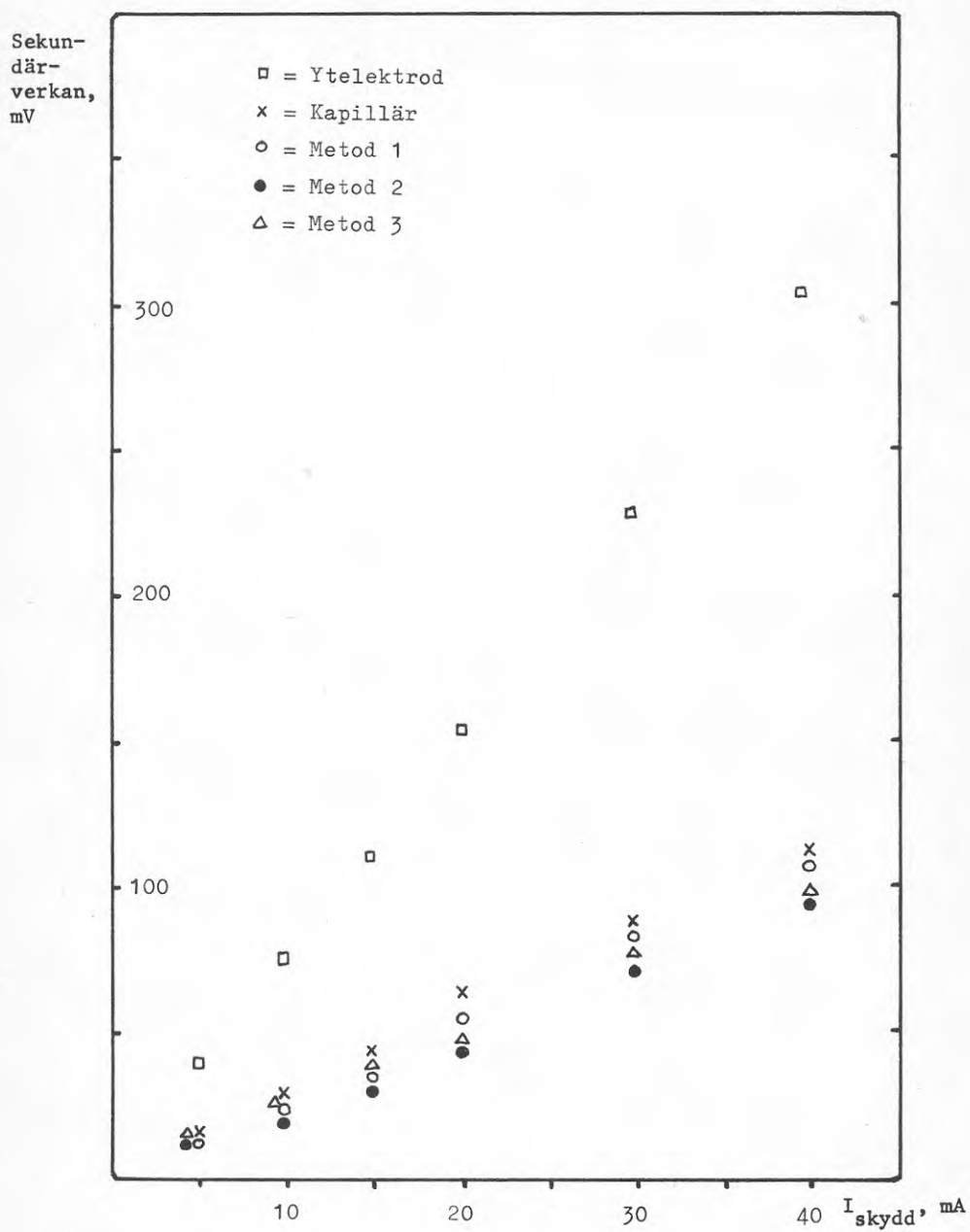


FIG. 24. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 10.

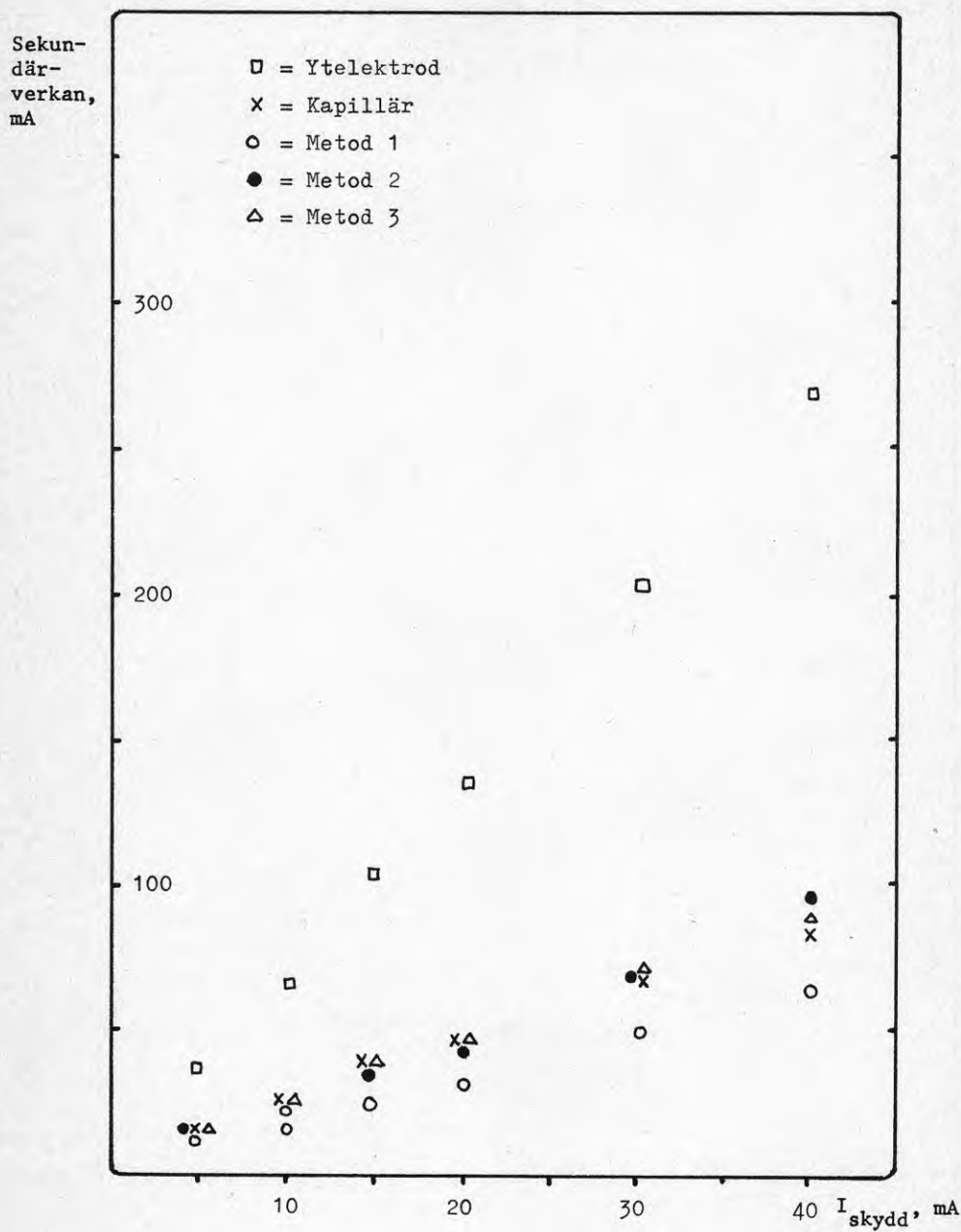


FIG. 25. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 11.

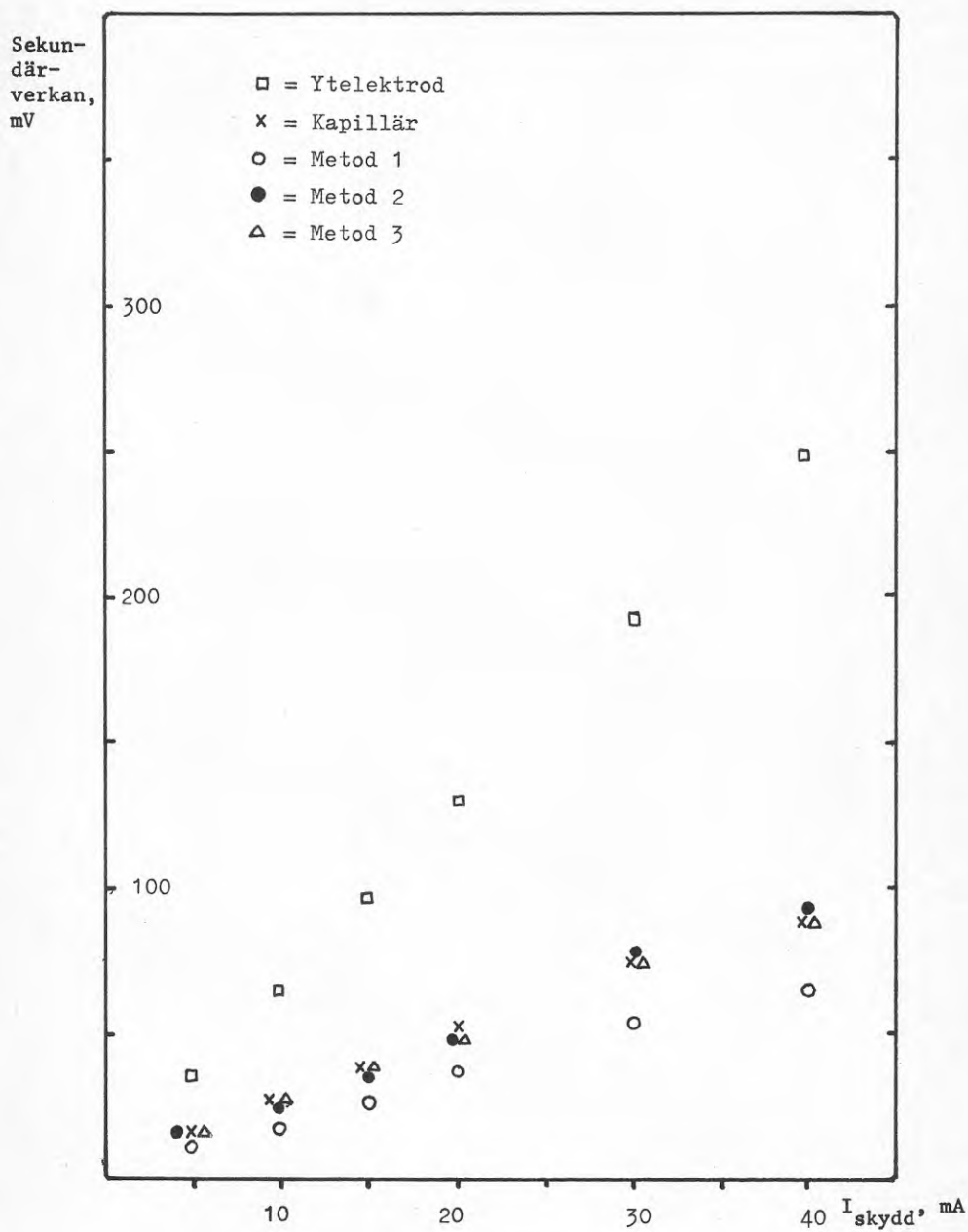


FIG. 26. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 12.

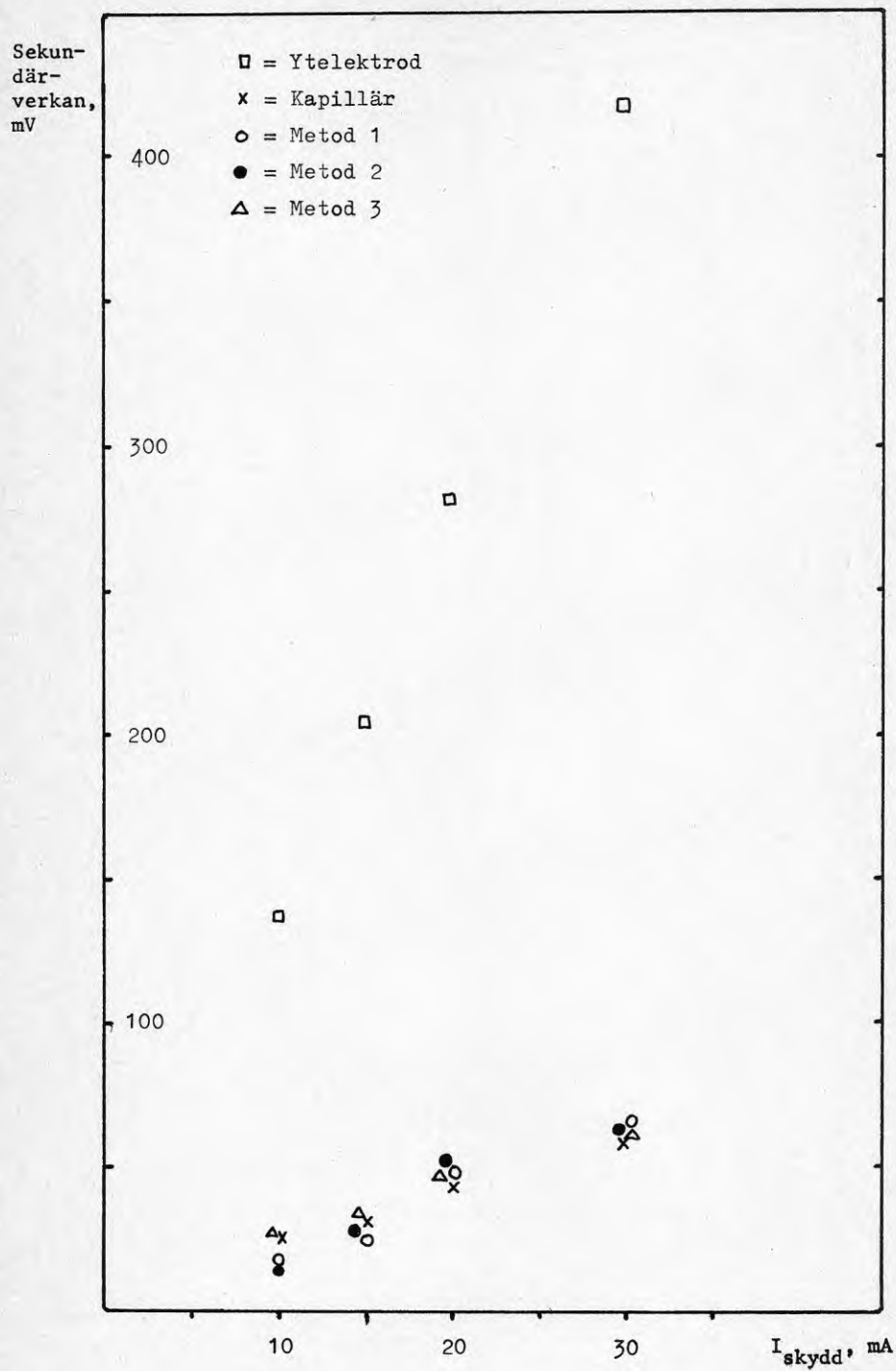


FIG. 28. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 13.

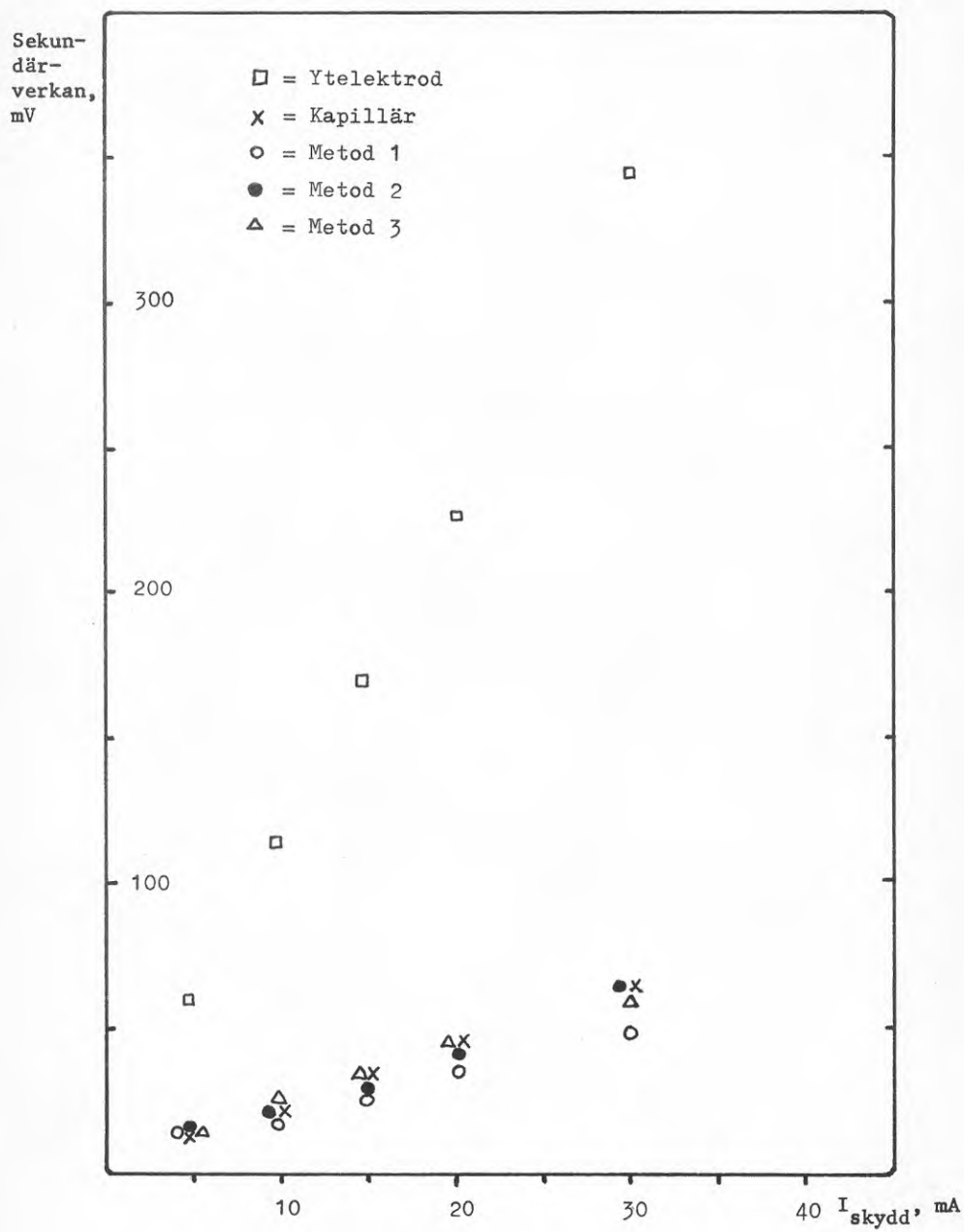


FIG. 29. Sekundärverkan enligt de olika metoderna från resultat i tabell 14.

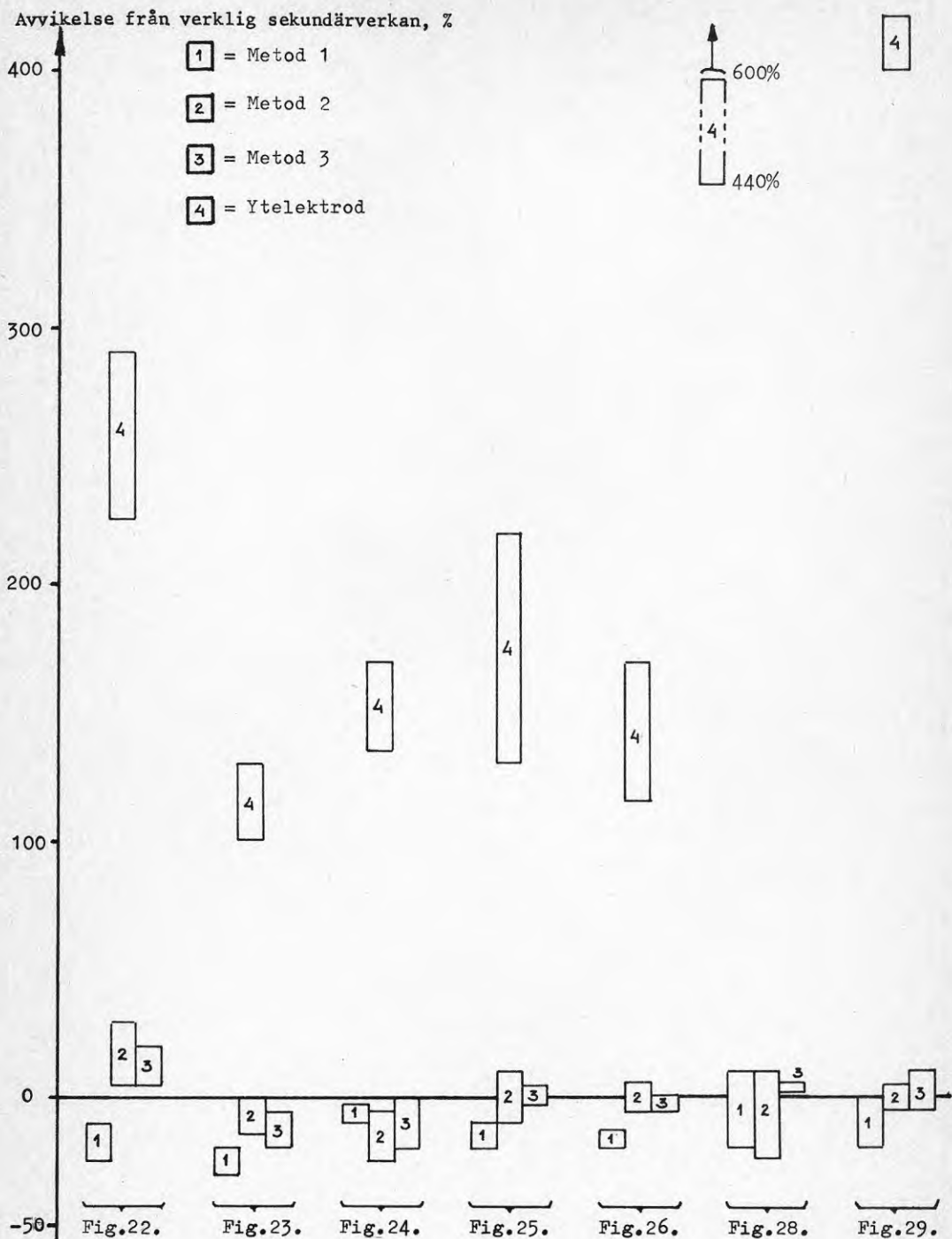


FIG. 30. Sekundärverkan uppmätt med metod 1, 2 och 3 samt med ytelektrod återges här i form av procentuell avvikelse från verklig sekundärverkan. Värdet av sekundärverkan enligt metoderna från FIG. 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29 representeras av intervall eftersom dessa värden varierar med skyddsströmmen.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730497-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutets
Forsknings- och utvecklingslaboratorium, Stockholm**

R26: 1978

ISBN 91-540-2837-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600726

Abonnemangsgrupp:

W. Installationer

Distribution:

Svensk Byggtjänst, Box 1403

111 84 Stockholm

Cirka pris: 20 kr exkl moms

