



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

R53:1977

Byggnadsstatik

**Galvanisk korrosion på
kopplingar hos mark-
förlagda vattenledningar**

263

Göran Camitz

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VYG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Byggforskningen

R53:1977

GALVANISK KORROSION PÅ KOPPLINGAR HOS MARKFÖRLAGDA
VATTENLEDNINGAR

Göran Camitz

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag nr 760064-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutet,
Stockholm.

Nyckelord:
rörledningar
gjutjärn
kopplingar
mässing
vattenledningar
markförläggning
korrosion
galvanisk korrosion

UDK 620.193
621.643.4

R53:1977

ISBN 91-540-2736-5
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1977

INNEHALLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND	5
2	KORROSIONSMEKANISMER I JORD	7
2.1	Korrosionens elektrokemiska natur i jord	7
2.2	Galvanisk korrosion	7
2.3	Korrosion orsakad av luftningsceller	7
2.4	Andra korrosionsmekanismer	8
3	UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING	9
4	BESKRIVNING AV KOPPLINGSENHETERNA OCH DERAS OMGIVNING	11
4.1	Kopplingsenheter	11
4.2	Rörens närmaste omgivning	11
4.3	Geologisk beskrivning av områdena	11
5	UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE	13
5.1	Sprickvattenprovtagning och jordresistivitetsmätning	13
5.2	Analys av ledningsvattnet	13
5.3	Vattenhalten i rörens närmaste omgivning	13
5.4	Laboratoriebesiktning	13
6	RESULTAT	15
6.1	Sprickvattenanalys	15
6.2	Jordresistivitetsmätning	15
6.3	Analys av ledningsvattnet	15
6.4	Vattenhalten i rörens närmaste omgivning	15
6.5	Laboratoriebesiktning	15
7.	DISKUSSION	17
7.1	Betydelsen av rörens närmaste omgivning	17
7.2	Angreppens lokalisering på rören	18
7.3	Korrosionshastigheten	19
7.4	Inverkan av anod-katodytans förhållande	19
7.5	Korrosionsrisker och korrosionsskyddsåtgärder vid strömningsavskärande fyllning	20
8	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	21
	TABELL 1-11	22
	FIGUR 1-18	27

GALVANISK KORROSION PÅ KOPPLINGAR HOS MARKFÖRLAGDA VATTENLEDNINGAR

1 BAKGRUND

Vid markförläggning av vattenledningar kopplar man ofta ihop olika metaller, t ex vid servisavgreningar från en huvudledning. Huvudledningar utgörs vanligen av gjutjärn och servisledningar av koppar eller plast. Kopplingen mellan huvudledning och servisledning är oftast av mässing. Även skarvning av två olika rörmaterial förekommer som t ex vid övergång från ledning i mark till ledning i byggnad. Därvid är det inte ovanligt att man strax utanför huslivet övergår från gjutjärn till koppar.

En annan typ av materialkombination är när plaströr av polyeten (PEL och PEH) används som servisledningar för vatten. Dessa ledningar skarvas oftast med någon typ av kompressionskoppling av mässing, aluminium, järn eller plast. Vanligast på marknaden är kopplingar av mässing eller annan kopparlegering. Huvudledningar för vatten är så gott som uteslutande av gjutjärn. Vid anslutning av servisledning till huvudledning sätts på den senare ett s k värtrör av gjutjärn. Den s k vårtan är ett gängat hål i röret. I detta hål gängas en plaströrskoppling, oftast av mässing. En bimetallcell kommer då att uppstå mellan värtröret av gjutjärn och kopplingen av mässing. Vid närvaro av fukt finns risk att en sådan bimetallcell kan orsaka galvanisk korrosion, varvid den oädlare metallen i kombinationen skadas. Detta kan inträffa såväl på in- som utsidan av kopplingen.

Hur stor risken för skadefall till följd av galvanisk korrosion är på de beskrivna konstruktionerna är dock ej klarlagt, varför en undersökning startades år 1976 vid Korrosionsinstitutet på initiativ av Svenska Riksbyggen. Syftet med undersökningen var således att söka kartlägga i vilken omfattning galvanisk korrosion förekommer vid sammankoppling av gjutjärn och mässing/koppar i markförlagda vattenledningar. Projektet har genomförts vid Korrosionsinstitutet med anslag från Statens råd för byggnadsforskning.

Arbetet har skett i samarbete med marksektionen på Svenska Riksbyggens projekteringskontor i Stockholm där främst R Kindvall och H Skeppström har medverkat vid projektets uppläggning och genomförande. Svenska Riksbyggen i Uppsala har ställt objekten till förfogande.

2 KORROSIONSMEKANISMER I JORD

2.1 Korrosionens elektrokemiska natur i jord

Korrosion som uppträder på metallkonstruktioner som är förlagda i jord är av typ elektrokemisk korrosion. Förutsättningen för denna är att det finns vatten eller fukt närvarande på metallytan. Vidare krävs även tillgång till oxidationsmedel. Detta utgörs vanligen av syrgas som är löst i porvattnet eller i vissa fall av vätejoner.

Den elektrokemiska korrosionen sker i korrosionsceller. Dessa består av en anodyta och en katodyta samt en elektrolyt (vatten, fuktig jord etc). Denna brukar även kallas korrosionsmediet. Anod- och katodytorna kan utgöras av antingen samma material eller av skilda material. Under korrosionsförloppet sker samtidigt vid katod- och anodytorna var för sig två skilda kemiska reaktioner. Vid anodytan sker en oxidation av metallen dvs metallupplösning. Här uppstår således själva korrosionsangreppet. Vid katodytan sker en reduktion av ett ämne, vanligen syre eller under vissa omständigheter vätejoner.

Om förloppen i korrosionscellerna skall ske med nämnvärd hastighet fordras att vattnet som står i kontakt med metallytan har god elektrisk ledningsförmåga dvs låg resistivitet. Mycket rent vatten leder elektrisk ström dåligt. Innehåller däremot vattnet salter, t ex natriumklorid, såsom är fallet i leror som relativt nyligen varit havsbotten, blir ledningsförmågan hög vilket underlättar transport av den korrosionsström som alstras av de två elektrokemiska reaktionerna. Därvid ökar korrosionshastigheten.

Med hänsyn till korrosionens orsaker och förlopp samt skadans utseende skiljer man mellan olika korrosionsmekanismer i jord.

2.2 Galvanisk korrosion

Vid denna korrosionstyp utgörs anod- och katodytorna av skilda material. Galvanisk korrosion uppkommer om två metaller med olika ädelhet, som fogats samman eller på annat sätt bringats i elektriskt ledande förbindelse med varandra, utsätts för samma elektrolyt. Härvid bildas en bimetalld-cell. Om t ex stål och koppar kommer i kontakt med varandra i en jord kommer koppar pga större "ädelhet" än stål att bli katodyta medan stålytan blir anodyta och följaktligen kommer stålet att korrodera snabbare. Kopparytan skadas inte genom hopkopplingen. För att korrosionshastigheten skall bli nämnvärd i ett sådant fall krävs dock att jorden har god elektrisk ledningsförmåga, dvs låg resistivitet.

2.3 Korrosion orsakad av luftningsceller

En luftningscell (också kallas syrgaskoncentrationscell) uppkommer då en metallkonstruktion sträcker sig genom jordlager med olika syrehalt. Därvid gäller att metallytan belägen i jordlager med hög syrehalt blir katod (riklig tillgång till oxidationsmedel) medan metallytan i jordlager med låg syrehalt blir anod.

Horisontella såväl som vertikala konstruktioner kan påverkas av denna korrosionstyp.

Luftningsceller kan dock till storleken vara mindre än de ovan nämnda men ändå ha förödande inverkan på konstruktioner. Som exempel på situationer där denna typ av luftningsceller förekommer kan nämnas en vattenledning som förläggs i t ex lerblandad sand. Om inte utrymmet närmast ledningen fylls med homogen sand utan återfyllningen utgörs av schaktmassorna kan enstaka lerklumpar komma att ligga an mot stålytan medan den övriga rörytan täcks av sand. Syrehalten blir lägre vid stålytan under lerklumpen än vid stålytan som är täckt av sand. Ytan under lerklumpen blir anod och korrosionsangrepp uppstår.

2.4 Andra korrosionsmekanismer

Även andra korrosionsmekanismer förekommer i jord såsom t ex anaerob mikrobiell korrosion och läckströmskorrosion. I det aktuella fallet är det dock sannolikt att det inte har funnits förutsättningar för att dessa skulle kunna uppträda.

Ursprungligen planerade man att lokalisera och gräva upp sex st vårtrörskopplingar med 5 - 10 års ålder belägna i relativt låg-resistiv jord som t ex lera. Vidare förutsattes objekten vara belägna på en plats som lämpade sig för uppgrävning. Det skulle även vara möjligt att stänga av vattentillförseln för utbyte till ny kopplingsenhet.

Ett omfattande arbete med sökning efter lämpliga objekt utfördes av Svenska Riksbyggen i deras arkiv. Det visade sig emellertid inte vara möjligt att finna några objekt vilka uppfyllde de premisser som hade uppställts.

Av denna anledning inleddes en ny sökning efter objekt bestående av gjutjärnsrör med mässingskoppling av annan typ än vårtrörs-koppling, som dock i övrigt uppfyllde de krav som uppställdes vid den första sökningen. Denna sökning resulterade i att ett tiotal gjutjärnsrör med mässingskoppling lokaliserades i Uppsala. Vid närmare undersökning på platsen visade det sig att endast fyra av dessa objekt var lämpliga för uppgrävning och besiktning, FIG. 1. Efter det att tillstånd om uppgrävning erhållits av ägaren togs kontakt med BPAs markavdelning och en rörfirma i Uppsala och uppgrävningsarbetena kunde påbörjas i september 1976.

4 BESKRIVNING AV KOPPLINGSENHETERNA OCH DERAS OMGIVNING

4.1 Kopplingsenheter

Av FIG. 2 - 6 framgår vilka delar som ingick i de fyra kopplingsenheterna.

I rör 1 och 3 var samtliga rör- och rördelar i metallisk kontakt med varandra. I rör 2 och 4 var gjutjärnsrörens med tytonmuffen elektriskt isolerade från de övriga delarna genom gummiringen i tytonmuffen.

Samtliga rör var både in- och utvändigt belagda med ett tunt asfaltskikt.

Rörens ålder vid uppgrävningen var 13 år för rör 1, 8 år för rör 2, 10 år för rör 3 samt 10 år för rör 4.

4.2 Rörens närmaste omgivning

Rörens förläggningsdjup och deras närmaste jordomgivning framgår av FIG. 7 - 10.

Kringfyllningen runt rör 1 utgjordes av sand och grus med rikligt inslag av lera, medan den runt rör 2 utgjordes av sand och grus med inslag av en mindre mängd lera. Kringfyllningen runt rör 3 utgjordes av lerblandad sand och grus. Kringfyllningen runt om rör 4 utgjordes av lera med inslag av sand. Vid uppgrävningen noterades att lerklumpar var fastklubbade utefter hela rörytan på rör 1 och 3.

Vid byggnationen hade marken kalkstabiliserats vid rör 1 och 2.

Under både rör 2 och 4 var en grovbetongplatta placerad. På vissa ställen var undre 3/4-cirkeln av rör 2 ingjuten i grovbetongen. Rör 4 hölls på plats ca 20 mm ovanför betongplattan med hjälp av armeringsjärn och en stödplatta av trä.

Kopplingsenheten på rör 4 var omlindad med en bitumenindräckt s k protectobinda.

4.3 Geologisk beskrivning av områdena

Dessa beskrivningar erhöles från Svenska Riksbyggen som utfört geotekniska undersökningar i områdena. Angivna lagertjocklekar, grundvattennivåer m m avser förhållandena som rådde vid tidpunkten för den geotekniska undersökningen.

Rör 1. - Området utgörs av ett 13,5 m djupt lerlager varav de två översta är torrskorpelera. Lerskiktets undre delar är varviga och innehåller mjälaskikt. Därunder följer ett 5 - 10 m tjockt lager av friktionsjord, sannolikt sand och mo som vilar på morän eller berg. - Grundvattennivån ligger på ett avstånd av 7 - 8 m eller mer under markytan. I torrskorpans spricksystem

förekommer dock vatten på olika nivåer beroende på nederbörd.

Rör 2. - Området utgörs av ett ca 20 m mäktigt lerlager vars översta del, ca 2 m, består av torrskorpelera. Leran är mjällig och varvig och vilar på friktionsjord, huvudsakligen morän.

Rör 3. - Området består av ett ca 15 m djupt lerlager vars övre del, 1,5 - 2,0 m, utgörs av torrskorpelera.

Rör 4. - Området utgörs av ett ca 7,5 m djupt lerlager vilket består av varviga sediment av lera och mjäla. Lerlagrets översta 1,5 m består av torrskorpelera. Lerlagret vilar på ett fast lager av friktionsjord.

5 UNDERSÖKNINGENS UTFÖRANDE

5.1 Sprickvattenprovtagning och jordresistivitetmätning

Lerjord utgörs vanligen underst av lös lera och överst av ett 0,5 - 2 m tjockt lager av torrskorpelera. I torrskorpelerans sprickor finns ett sprickvattensystem som är oberoende av grundvattenytan och som bildar ett vattenmagasin. Dess övre nivå bestäms av nederbörden och kan därför variera inom vida gränser under relativt kort tid. Sprickvattennivån kan ligga ända uppe vid markytan vid riklig nederbörd. Vid långvariga torrperioder kan sprickvatten saknas helt. Sprickvattnet löser ut salter i torrskorpeleran och blir därigenom mer eller mindre korrosivt. Då samtliga rör var förlagda i torrskorpelera bedömde man att en analys av sprickvattnet kunde ge värdefulla upplysningar om korrosionsmiljön kring rören. Under maj månad 1976 utfördes spadbörning efter sprickvatten i områdena i närheten av rören.

Vid rör 1 kunde spadbörningen inte utföras närmare än ca 150 m SV om röret pga att marken var kalkstabiliserad. Sprickvatten erhöles på ca 2 m djup. Vid rör 2 erhöles sprickvatten på ca 3 m djup 5 m från kopplingsenheten. Emedan rör 3 och 4 var belägna relativt nära varandra, ca 100 m, togs ett gemensamt sprickvattenprov för dem. Sprickvatten erhöles på ca 2 m djup 12 m från kopplingsenheten på rör 3.

Sprickvattnet uppsamlades i polyetenflaskor och sändes till Statens Lantbrukskemiska laboratorium för analys.

Det bedömdes vidare att uppmätning av jordresistiviteten skulle kunna ge indikationer på hur lätt den galvaniska korrosionsströmmen kunde transporteras i jorden.

Jordresistivitetmätningarna utfördes enligt Weners 4-elektrodmotod i två punkter, A och B, intill varje kopplingsenhet. Mätningarna utfördes i samband med sprickvattenprovtagningen.

5.2 Analys av ledningsvattnet

Det vatten som passerar genom kopplingsenheterna är icke avhärdat. Uppgiften om värden på olika fysikaliska och kemiska storheter i ledningsvattnet erhöles från Vattenverket i Uppsala.

5.3 Vattenhalten i rörens närmaste omgivning

Vattenhalten i rörens närmaste omgivning uppmättes inte. Däremot gjordes en relativ uppskattning av vattenhalten på så sätt att den röromgivning med den största vattenhalten utsågs. Till denna relaterades därpå vattenhalten i de övriga röromgivningarna.

5.4 Laboratoriebesiktning

De uppschaktade kopplingsenheterna fraktades till Korrosionsinstitutets laboratorium för besiktning. Där rengjordes rören och

besiktigades innan korrosionsprodukterna avlägsnades. Därpå kapades kopparrören invid mässingskopplingen och gjutjärnsrören sågades itu i längsriktningen.

De in- och utvändiga korrosionsprodukterna avlägsnades genom stålborstning. Där omfattande grafitering skett användes nål och en spetsig hammare för att avlägsna grafiten.

Emedan tillverkningstoleranserna är relativt stora i avseende på de olika rördelarnas vikt kunde man inte genom viktminskningen få ett kvantitativt mått på avfrätningen för rördelarna. Ytorna granskades istället noggrant och varje frätskada med ett djup $>0,5$ mm noterades med avseende på djup, utbredning och läge och markerades i FIG. 11 - 18. I figurerna har rörens in- och utsida avbildats i skala 1:3 efter itusågningen. Av figurerna framgår även rörens orientering i jorden.

Angreppens djup uppmättes med en profildjupmätare med en noggrannhet av $\pm 0,1$ mm.

I avsikt att erhålla ett relativt mått på i vilken omfattning de olika gjutjärnsdelarna var angripna noterades den sammanlagda invändiga ytan och den sammanlagda utvändiga ytan som angripits på varje gjutjärnsdel. TAB. 4 - 11.

Därpå beräknades korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsdelens totala invändiga och totala utvändiga yta. Med total yta avses här den yta som varit i kontakt med korrosionsmediet, jord utvändigt och vattenledningsvatten invändigt. Angreppens procentuella andel av hela gjutjärnskonstruktionens totala invändiga och totala utvändiga yta har också angivits.

Vidare delades angreppsdjupen in i tre olika klasser. Sålunda anges en klass som den procentuella andelen yta som angripits till ett djup $>0,5$ mm. Denna klass har i sin tur delats in i angrepp med djup $0,5 - 1,9$ mm och djup $\geq 2,0$ mm.

I tabellerna har även angivits varje gjutjärnsdels totala yta samt hela gjutjärnskonstruktionens totala yta.

6 RESULTAT

6.1 Sprickvattenanalys

Sprickvattenproven analyserades med avseende på resistivitet, pH-värde, kloridhalt samt totalhårdhet angiven som tyska hårdhetsgrader, (dH^o). Resultaten har införts i TAB. 1. Härvid framkom att för de fyra rören varierade resistiviteten mellan 1180 och 1300 ohm·cm, pH-värdet mellan 7,1 och 7,4 samt kloridhalten mellan 17 och 82 mg/l. Totalhårdheten var 24 dH^o för rör 1 och 20 dH^o för de övriga rören.

6.2 Jordresistivitetsmätning

Resultaten från de två resistivitetsmätningar som utfördes vid varje kopplingsenhet har införts i TAB. 2. Medelvärdet av de två mätningarna beräknades och befanns vara 3900 vid rör 1, 3570 vid rör 2, 2700 vid rör 3 samt 6550 ohm·cm vid rör 4.

6.3 Analys av ledningsvattnet

Värdena på resistivitet, pH-värde, kloridhalt samt totalhårdhet, dH^o, för ledningsvattnet har införts i TAB. 3.

Resistiviteten befanns vara 1720 ohm·cm och pH-värdet 7,5 - 7,6. Kloridhalten var 35 mg/l och totalhårdheten 15 dH^o.

6.4 Vattenhalten i rörens närmaste omgivning

Vattenhalten var störst kring rör 4, näst störst kring rör 1 och 2 samt minst kring rör 3.

6.5 Laboratoriebesiktning

Rör 1, utsidan. - Som framgår av FIG. 11 och TAB. 4 är korrosionsangreppens utbredning relativt liten, 2,4% av konstruktionens yta är angripen. Vidare framgår det att angreppen främst var koncentrerade till gjutjärnshuven.

Angreppen på huven var spridda runt denna, medan angreppen på röret var koncentrerade till ett mindre område på rörsidan.

Vid besiktningen noterades att praktiskt taget hela huvens utsida var angripen genom grafitisk korrosion till ett djup av 0,1 - 0,3 mm. Detta framgår ej av figuren eller tabellen emedan endast angrepp med djup $\geq 0,5$ mm har medtagits i dessa.

Rör 1, insidan. - På rörets insida kunde endast två angrepp noteras vars djup var 1,0 och 1,3 mm. Av FIG. 12 och TAB. 5 framgår angreppens läge samt att dessa utgjorde endast 0,08% av rörytan.

Rör 2, utsidan. - Inga korrosionsangrepp kunde noteras på någon del av gjutjärnskonstruktionens utsida. FIG. 13 och TAB. 6.

Rör 2, insidan. - Av FIG. 14 och TAB. 7 framgår det att 16,7% av den invändiga ytan var korrosionsangripen. Den största delen av angreppen var koncentrerade till rakbiten dvs den raka rördel vilken var i metallisk kontakt med mässings- och koppardelen. 15,8% av rakbiten var angripen. Den del av rörytan som var elektriskt isolerad från mässings- och koppardelen var angripen i endast fyra punkter vilka utgjorde 2,1% av rörets inneryta. Det största djupet, 2,7 mm, återfanns emellertid på denna del av ytan.

Rör 3, utsidan. - Av FIG. 15 och TAB. 8 framgår det att en relativt stor del, 24,8%, av konstruktionens yta var angripen. Den största delen av angreppen återfanns på röret och var koncentrerade till ett område som var beläget på ca 20 - 40 cm avstånd från mässingskopplingen. 19,6% av rörytan var angripen; 19,2% utgjordes av angrepp med djup >2,0 mm och resten, 10,4%, av angrepp med djup 0,5 - 1,9 mm.

5,2% av gjutjärnshuvens yta var angripen. Samtliga angrepp hade ett djup >2,0 mm. Dessa var koncentrerade till huvens ovansida.

Rör 3, insidan. - Som framgår av TAB. 9 utgjorde korrosionsangreppen 1,2% av rörytan av vilka den största delen, 1,1% av rörytan, utgjordes av angrepp med djup >2,0 mm. Angreppen var i huvudsak koncentrerade till den del av rörytan som var belägen in till mässingskopplingen. FIG. 16.

Rör 4, utsidan. - Av TAB. 10 framgår det att hela 52,2% av konstruktionens yta var angripen. Den del, muffen och röret, som var elektriskt isolerad från mässings- och koppardelen, var angripen till 50,6%, medan endast 1,6% av gjutjärnsproppens yta var angripen. Samtliga angrepp på proppen hade ett djup >2,0 mm. Proppen var i metallisk kontakt med mässings- och koppardelen.

Som framgår av FIG. 17 var de angrepp som förekom på proppen koncentrerade till den del av ytan som var belägen närmast mässingskopplingen.

Vidare framgår det att angreppen på muff- och rörytan var relativt jämnt spridda över denna del av konstruktionen. Emellertid återfanns de största djupen, 4,3 - 5,5 mm samt 6,5 mm på ett avstånd av 65 - 70 cm från mässingskopplingen. Dessa djupa angrepp var belägna i ett större angripet område på rörets undersida. En intressant iakttagelse gjordes på muffdelens kant, där denna runt om var bortkorroderad till ett djup av 2 - 3 mm.

Rör 4, insidan. - Jämfört med rörets utsida var dess insida angripen i relativt liten utsträckning. I själva verket kunde korrosionsangrepp noteras endast på proppen, på vilken 3,7% av ytan var angripen. Samtliga angrepp hade ett djup >2,0 mm. TAB. 11. Av FIG. 18 framgår det att angreppen var koncentrerade till halvan av proppen närmast mässingskopplingen. Inga korrosionsangrepp kunde iakttas på själva rörytan.

7 DISKUSSION

De fyra uppschaktade rören uppvisade betydande olikheter med avseende på de invändiga och utvändiga korrosionsangreppens djup, läge och utbredning. På insidan av rören förelåg förutsättningar för uppkomst av galvanisk korrosion medan det på utsidan fanns risk för både galvanisk korrosion och korrosion genom luftningsceller pga inhomogeniteter i jorden närmast rörytorna. I det följande diskuteras de erhållna resultaten med en målsättning att skilja på de två korrosionstyperna på rören utsida vilket bedöms som en av nyckelfrågorna vid utvärderingen av försökresultaten.

Samtliga rör var förlagda i torrskorpelera som var fuktig vid framgrävningen. Sprickvattenanalysen med avseende på resistivitet, kloridhalt, hårdhetsgrad och pH-värde uppvisar inga skillnader mellan de olika rören som bedöms vara av betydelse för vare sig den galvaniska korrosionen eller någon annan korrosionstyp, t ex korrosion genom luftningsceller. Emedan dels makroomgivningen, dels rörförläggningens djupet i stort sett var det samma för rören är det sannolikt att inga avgörande skillnader förekommit med avseende på syrekoncentrationer mellan de olika rören närmaste omgivning. Vidare härrörde ledningsvattenet från samma vattentorn, enligt uppgift från Uppsala Vattenverk. Dessa faktorer visar att makroomgivningen och miljön invändigt i rören i stort sett var densamma för de fyra rören.

7.1 Betydelsen av rören närmaste omgivning

Om man närmare studerar rören omedelbara omgivning, kringfyllningarna, visar det sig att betingelserna för bildandet av små luftningsceller har varit olika för de olika rören. Beskrivningarna av rören närmaste omgivning i avsnitt 4.2 visar att kringfyllningarna för rör 1 och 2 var likartade och utgjordes av sand och grus med inslag av mindre mängd lera, medan kringfyllningen för rör 3 utgjordes av lerblandad sand och grus. Rör 4 var kringfyllt med lera med inslag av sand och grus. Förutsättningarna för uppkomsten av luftningsceller har därmed sannolikt varit störst för rör 3 och 4. Detta styrks av att vattenhalten var störst kring rör 4. Emellertid var vattenhalten kring rör 3 lägst jämfört med de övriga rören.

En faktor som kan ha haft betydelse för att inga utvändiga angrepp noterades på rör 2 är att den besiktigade delen av gjutjärnsröret delvis var ingjuten i grovbetong. Det kan inte utslutas att betongen kan ha bidragit till att jordomgivningen närmast röret alkaliserats och därigenom verkat skyddande mot angrepp orsakade både genom galvanisk korrosion och korrosion orsakade av luftningsceller. Ätminstone står det klart att den del av ytan som var omsluten av betongen inta kan ha påverkats av luftningsceller.

Det bedöms däremot mindre sannolikt att kalkstabiliseringen av markytan kan ha bidragit till att förhöja jordens pH-värde på det djup där rören var belägna i sådan grad att det haft någon betydelse för korrosionshastigheten på rören.

7.2 Angreppens lokalisering på rören

En analys av korrosionsangreppens lokalisering på de enskilda rören medger i flera fall en bedömning av huruvida skadan uppkommit till följd av galvanisk korrosion i en bimetallicell eller om angreppet orsakats av en luftningscell. Det framgår t ex att korrosionsskadorna på muffen och rördelen på rör 4 inte kan ha uppkommit genom galvanisk korrosion emedan denna del var elektriskt isolerad från mässings- och koppardelen. Skadorna på muff- och rördelen har således med stor sannolikhet uppkommit pga luftningsceller. Galvanisk korrosion har sålunda endast varit möjlig på gjutjärnsproppen på rör 4. Både de in- och utvändiga skadorna på proppen är koncentrerade till den halva som är närmast mässings- och koppardelen. De utvändiga skadorna är belägna omedelbart intill mässingsdelen. Både de in- och utvändiga skadorna på proppen har således sannolikt uppkommit genom galvanisk korrosion.

Den invändiga galvaniska korrosionen hade större omfattning och djup än den utvändiga. Skillnaden kan förmodligen förklaras med att kopplingen och gjutjärnsproppen var omlindade med en bitumenindräckt sk protectobinda. Detta tillsammans med leran har sannolikt medfört en högre resistivitet i miljön närmast gjutjärnsproppens utsida än i motsvarande miljö på insidan.

För rör 2 gäller samma förhållanden som för 4 avseende den elektriska kontinuiteten. Endast gjutjärnshuven och rakkbiten var i metallisk kontakt med mässings- och koppardelen. Den möjliga anodytan är dock större på rör 2 än på rör 4. De invändiga skadorna är koncentrerade till rakkbiten och har sannolikt uppkommit genom galvanisk korrosion. Inga utvändiga korrosionsangrepp förekom. Detta kan till viss del bero på betonggjutningen.

I rör 3 var samtliga rördelar i metallisk kontakt med varandra. De invändiga skadorna var koncentrerade till området i närheten av mässingskopplingen och har därför sannolikt uppkommit genom galvanisk korrosion. De utvändiga skadorna var spridda över hela gjutjärnsytan. Emellertid återfanns den största andelen av skadorna på ett avstånd av 20 - 40 cm från kopplingen, varför dessa sannolikt inte har orsakats av galvanisk korrosion utan genom inverkan av luftningsceller pga den rikhaltiga lerinblandningen i kringfyllningen. Det kan dock inte uteslutas att åtminstone en del av skadorna på gjutjärnshuven har orsakats av galvanisk korrosion.

Även i rör 1 var samtliga rördelar i kontakt med varandra. De invändiga skadorna var också här koncentrerade till närheten av kopplingen varför dessa sannolikt har uppkommit genom galvanisk korrosion. Även de utvändiga angreppen var koncentrerade till området närmast kopplingen nämligen gjutjärnshuven. Det är således troligt att galvanisk korrosion åtminstone till en viss del har varit orsak till skadorna på gjutjärnshuvens utsida.

Av detta kan slutsatsen dras att den galvaniska korrosionen har haft mindre omfattning än korrosionen pga luftningsceller på alla fyra rören.

7.3 Korrosionshastigheten

Korrosionshastigheten för den galvaniska korrosionen kan beräknas utifrån de frätdjup som anges i FIG. 11 - 18 och den tid rören varit förlagda i jord. Med korrosionshastighet avses här frätgroparnas tillväxthastighet uttryckt i mm/år. Därvid erhålls att korrosionshastigheten för invändiga angrepp på rör 1 är 0,077 - 0,10 mm/år och för utvändiga angrepp 0,15 - 0,19 mm/år. För rör 2 är den invändiga korrosionshastigheten 0,063 - 0,28 mm/år och den utvändiga 0 mm/år. För rör 3 är motsvarande värden 0,080 - 0,20 mm/år resp ca 0,19 - 0,40 mm/år och för rör 4 0,15 - 0,30 mm/år resp 0,20 - 0,40 mm/år.

Det är endast möjligt att ange säkra värden på korrosionshastigheten för utvändiga angrepp orsakade av luftningsceller för rör 4 emedan detta rör är det enda där det pga den elektriska isoleringen är möjligt att med säkerhet skilja denna angreppstyp från den galvaniska korrosionen. Korrosionshastigheten för angrepp orsakade av luftningsceller på rör 4 är 0,08 - 0,65 mm/år.

Med anledning av vad som nämnts i avsnitt 7.2 om de utvändiga skadorna på rör 3, bedöms korrosionshastigheten för angrepp orsakade av luftningsceller på detta rör vara 0,10 - 0,50 mm/år.

Av ovannämnda framgår att åtminstone för rör 4 är korrosionshastigheten mindre vid den galvaniska korrosionen än vid korrosionsangrepp orsakade genom luftningsceller.

Det skall dock poängteras att de erhållna resultaten bör betraktas med en viss försiktighet beroende dels på svårigheterna att skilja de olika korrosionstyperna åt, dels på att undersökningsmaterialet varit så litet. Det är troligt att andra resultat erhålls med objekt som är förlagda i jordar av annan typ än de i denna undersökning emedan jordens karaktär i så hög grad är bestämmande för uppkomsten av galvanisk korrosion.

7.4 Inverkan av anod-katodytans förhållande

Vid betraktande av värdena på gropfrätningshastigheten för den galvaniska korrosionen skall det poängteras att katodytan, mässings- och koppardelen, var mycket stor i förhållande till anodytan på alla fyra rören. Detta gäller speciellt på rör 2 och 4 där elektrisk kontinuitet inte rädde för hela konstruktionen. Anodytan utgjorde här endast en mindre del av gjutjärnsdelen. Vid galvanisk korrosion gäller allmänt att ju större katodytan är i förhållande till anodytan, desto större är risken för allvarliga korrosionsangrepp på anodytan.

Vid konstruktioner av den typ som nämns i avsnitt 1, vårtrör + koppling, torde därför risken för att djupa angrepp skall uppkomma pga galvanisk korrosion på gjutjärnsröret i närheten av mässingskopplingen vara väsentligt mindre än för de konstruktioner som här har undersökts. Detta pga att katodytan därvid är väsentligt mindre i förhållande till anodytan. Om det av konstruktionsskäl eller av andra anledningar anses nödvändigt att kombinera mässing och eventuellt koppar med gjutjärn eller stål i ledningssystem kan risken för galvanisk korrosion väsent-

ligt minskas om den ädlare metallen dvs katodytan bестryks med en beständig beläggning t ex asfalt eller bitumen, så att den verksamma katodytan minskas.

7.5 Korrosionsrisker och korrosionsskyddsåtgärder vid strömningsavskärande fyllning

Ur korrosionssynpunkt är det lämpligt att omge gjutjärnsledningar med en homogen kringfyllning av grus i avsikt att undvika uppkomst av luftningsceller. I lerjordar riskerar man dock då istället en utdränering av torrskorpelerans sprickvatten. Vid avsänkning av sprickvattnet uppstår nämligen s k accelererad torrskorpebildning varvid risken för rörbrott pga sättningar i lera ökar väsentligt. Ett vanligt sätt att förhindra utdränering av sprickvatten genom rörgravar är att utföra s k strömningsavskärande fyllning bestående av lera på ca var femtionde meter. Utförandet beskrivs i Mark-AMA-72, pkt C 2.5. Därvid ökar risken för uppkomst av luftningsceller och korrosionsangrepp kan uppstå på den del av gjutjärnsytan som täcks av lera.

För att minska korrosionsrisken hos markförlagda gjutjärnsledningar och i synnerhet vid strömningsavskärande fyllningar rekommenderas bl a följande korrosionsskyddsåtgärder:

- Noggrann kontroll av ytskyddsbeläggning samt lagning av uppkomna skador i beläggningen.
- Katodiskt skydd med offeranoder eller påtryckt ström.
- Utökad ytskyddsbeläggning och/eller katodiskt skydd av den ledningsdel som befinner sig i strömningsavskärande fyllning.

8 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Vid undersökningen gällande uppsalajord framkom följande:

- De fyra rören var skadade genom grafitisk korrosion på utsidan genom galvanisk korrosion som uppkommit genom verkan av bimetallceller samt genom korrosion orsakad av luftningsceller. På insidan hade skadorna med stor sannolikhet uppkommit genom galvanisk korrosion orsakad av bimetallceller.
- Omfattningen av den galvaniska korrosionen var mindre än omfattningen av de korrosionsangrepp som förorsakades av luftningsceller vilka uppkommit genom att rörens kringfyllning inte utgjorts av homogen sand och grus utan av lerblandad sand.
- I jordar och ledningsvatten av här aktuell karaktär bedöms dock den galvaniska korrosionen vara så pass stor att det synes motiverat undvika sammankoppling av gjutjärnsledningar med större mässingskopplingar eller kopparledningar utan elektrisk avisolering eller annan korrosionsskyddande åtgärd.
- Korrosionshastigheten vid galvanisk korrosion för de fyra rören varierade vid invändiga angrepp mellan 0,06 och 0,30 mm/år och vid utvändiga angrepp mellan 0,15 och 0,40 mm/år. För utvändiga angrepp orsakade av luftningsceller varierade den mellan 0,08 och 0,65 mm/år.
- De erhållna resultaten måste betraktas med en viss försiktighet beroende dels på svårigheterna att skilja de olika korrosionstyperna åt, dels på att undersökningsmaterialet utgjordes av endast fyra objekt. Vidare är det troligt att andra resultat erhålls på objekt som är förlagda i andra typer av jordar emedan jordens karaktär är så väsentlig för uppkomsten av galvanisk korrosion.
- Emedan katodytan, dvs mässings- och koppar delarna av kopplingsenheten, var relativt stor hos de undersökta rören torde korrosionshastigheten vara lägre vid vårtrör av gjutjärn försedda med mässingskoppling för plaströrsservis då katodytan, mässingskopplingen, därvid är väsentligt mindre i förhållande till anodytan, gjutjärnsröret.
- Om det av konstruktionsskäl eller andra anledningar anses nödvändigt att kombinera mässing och koppar med stål eller gjutjärn i jordförlagda ledningssystem kan risken för galvanisk korrosion avsevärt minskas om katodytan bestryks med en beständig beläggning. Detta är för övrigt en åtgärd som generellt kan rekommenderas vid sammankoppling av olika metaller i markförlagda ledningar.
- För att minska risken för korrosion genom luftningsceller hos markförlagda gjutjärnsledningar bör noggrann kontroll av ytskyddsbeläggningen samt lagning av uppkomna skador utföras. Vidare kan katodiskt skydd med offeranoder eller påtryckt ström appliceras. Vidtagande av dessa skyddsåtgärder är viktigt i synnerhet vid strömningsavskärande fyllningar i rörgravar.

TABELL 1. Resultat av sprickvattenanalys.

Mätpunkter	Resistivitet, ohm·cm	pH-värde	Kloridhalt, Cl ⁻ , mg/l	Totalhårdhet i tyska grader, dH ⁰
Rör 1	1300	7,1	17	24
Rör 2	1300	7,4	25	20
Rör 3 och 4	1180	7,1	82	20

TABELL 2. Resultat av jordresistivitetmätning.

	Rör 1		Rör 2		Rör 3		Rör 4	
	Pkt A	Pkt B	Pkt A	Pkt B	Pkt A	Pkt B	Pkt A	Pkt B
Jordresistivitet, ohm·cm	3800	4000	3460	3680	2600	2800	6400	6700
Medelvärde ohm·cm	3900		3570		2700		6550	

TABELL 3. Resultat av ledningsvattenanalys.

Resistivitet, ohm·cm	pH-värde	Kloridhalt, Cl ⁻ , mg/l	Totalhårdhet i tyska grader, dH ⁰
1720	7,5 - 7,6	35	15

TABELL 4. Rör 1 - Utvändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Olika djupa angrepp är angivna dels för totala gjutjärnsenheten, dels uppdelade på de olika rördelarna.

	Andel utvändigt angripen yta i %			Total utv gj,järnsyta, cm ²
	djup $\geq 0,5$ mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup $\geq 2,0$ mm, %	
Gj.järnshuv	2,2	1,6	0,6	638
Rör	0,2	0,1	0,1	1225
Huv + rör	2,4	1,7	0,7	1863

TABELL 5. Rör 1 - Invändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är uppdelade i klasser om olika djup.

	Andel invändigt angripen yta i %			Total inv gj,järnsyta, cm ²
	djup $\geq 0,5$ mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup $\geq 2,0$ mm, %	
Rör = hela ytan	0,08	0,08	0	1239

TABELL 6. Rör 2 - Utvändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är indelade i klasser om olika djup och angivna dels för totala gjutjärnsytan, dels för ytan hos de olika rördelarna.

	Andel utvändigt angripen yta i %			Total utv gj ₂ järnsyta, cm ²
	djup ≥0,5 mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup ≥2,0 mm, %	
Gj.järnshuv	0	0	0	865
Rakbit	0	0	0	288
Tytonmuff	0	0	0	711
Rör	0	0	0	1083
Hela ytan	0	0	0	2947

TABELL 7. Rör 2 - Invändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är indelade i klasser om olika djup och angivna dels för totala gjutjärnsytan, dels för ytan hos de olika rördelarna.

	Andel invändigt angripen yta i %			Total inv gj ₂ järnsyta, cm ²
	djup ≥0,5 mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup ≥2,0 mm, %	
Rakbit	15,8	13,7	2,1	769
Rör	0,9	0,7	0,2	923
Hela ytan	16,7	14,4	2,3	1692

TABELL 8. Rör 3 - Utvändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är indelade i klasser om olika djup och angivna dels för totala gjutjärnsytan, dels för ytan hos de olika rördelarna.

	Andel utvändigt angripen yta i %			Total utv gj.järnsyta, cm ²
	djup $\geq 0,5$ mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup $\geq 2,0$ mm, %	
Gj.järnshuv	5,2	0	5,2	865
Rör	19,6	10,4	9,2	1408
Hela ytan	24,8	10,4	14,4	2273

TABELL 9. Rör 3 - Invändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är uppdelade i klasser om olika djup.

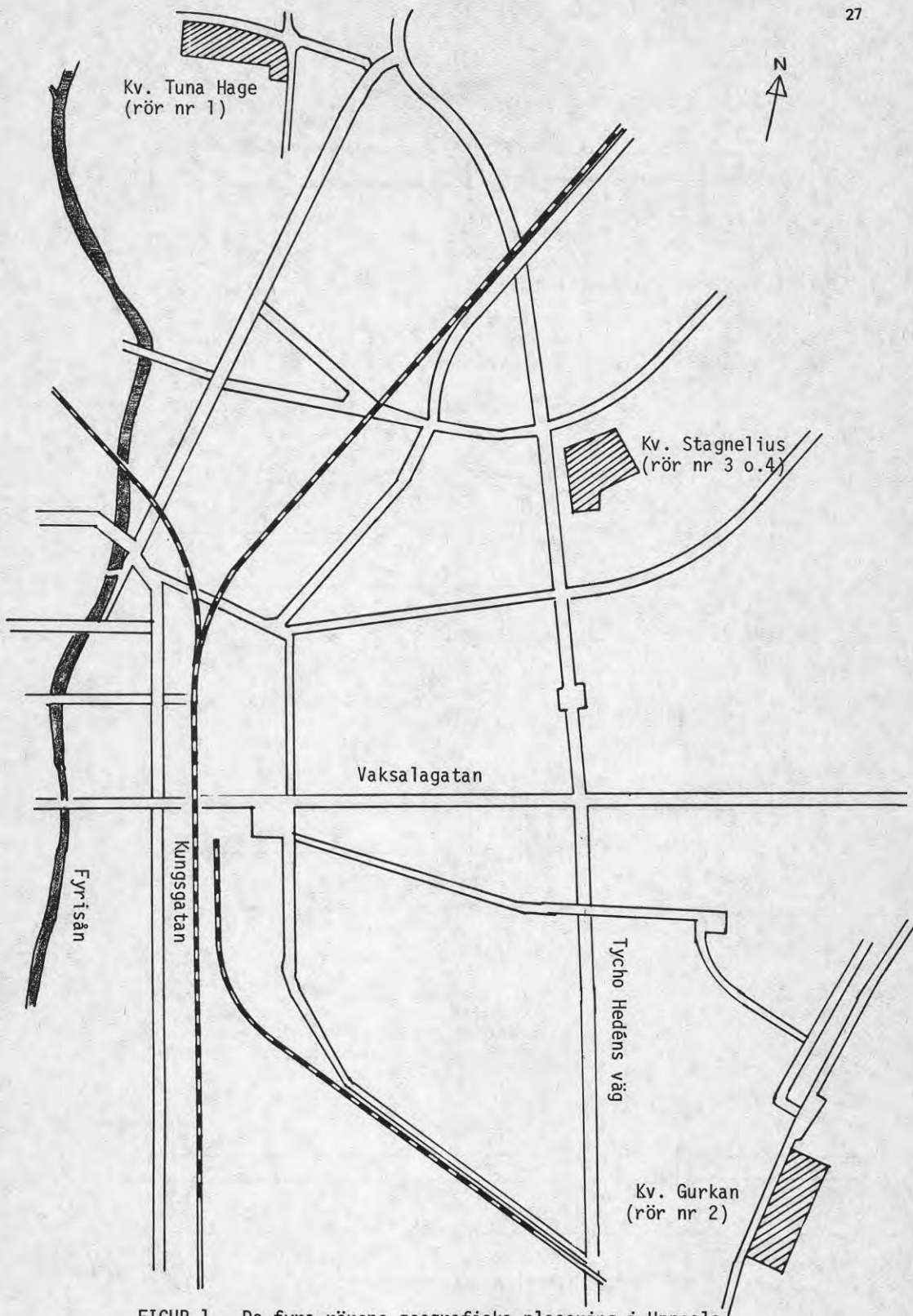
	Andel invändigt angripen yta i %			Total inv gj.järnsyta, cm ²
	djup $\geq 0,5$ mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup $\geq 2,0$ mm, %	
Rör = hela ytan	1,2	0,1	1,1	1446

TABELL 10. Rör 4 - Utvändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är indelade i klasser om olika djup och angivna dels för totala gjutjärnsytan, dels för ytan hos de olika rördelarna.

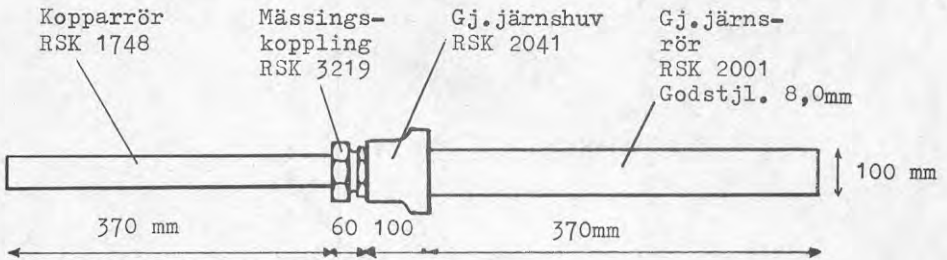
	Andel i utvändigt angripen yta i %			Total utv gjutjärnsyta, cm ²
	djup $\geq 0,5$ mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup $\geq 2,0$ mm, %	
Propp	1,6	0	1,6	182
Tytonmuff	22,2	6,1	16,1	523
Rör	28,4	12,2	16,2	1679
Hela ytan	52,2	18,3	33,9	2384

TABELL 11. Rör 4 - Invändiga korrosionsangreppens procentuella andel av gjutjärnsytan. Angreppen är indelade i klasser om olika djup och angivna dels för totala gjutjärnsytan, dels för ytan hos de olika rördelarna.

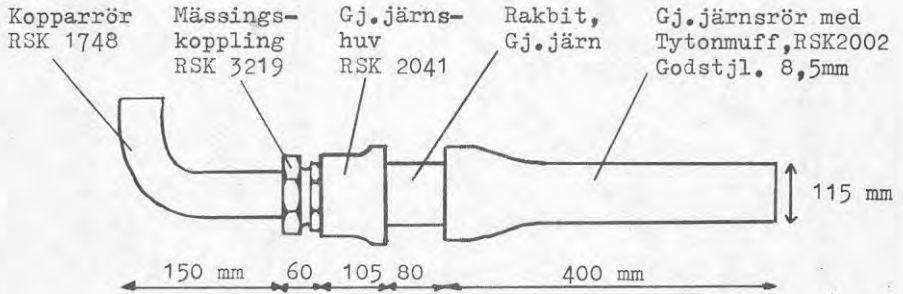
	Andel invändigt angripen yta i %			Total inv gjutjärnsyta, cm ²
	djup $\geq 0,5$ mm, %	djup 0,5-1,9 mm, %	djup $\geq 2,0$ mm, %	
Propp	3,7	0	3,7	352
Rör	0	0	0	1507
Hela ytan	3,7	0	3,7	1859



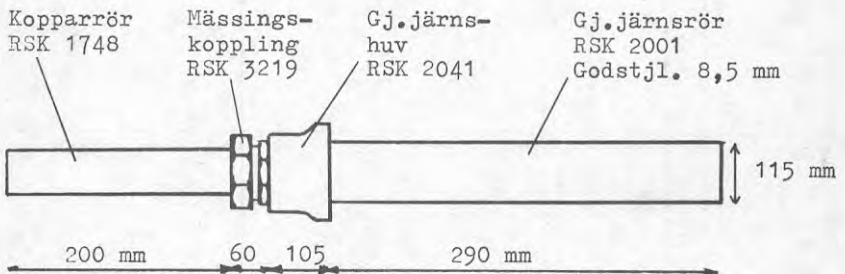
FIGUR 1. De fyra rörens geografiska placering i Uppsala.



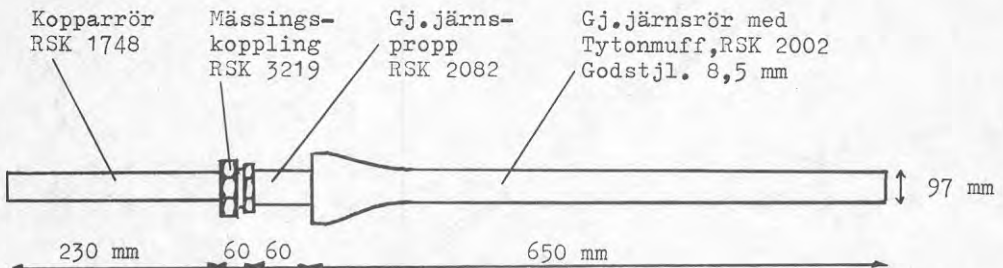
FIGUR 2. Rör 1, kopplingsenheten.



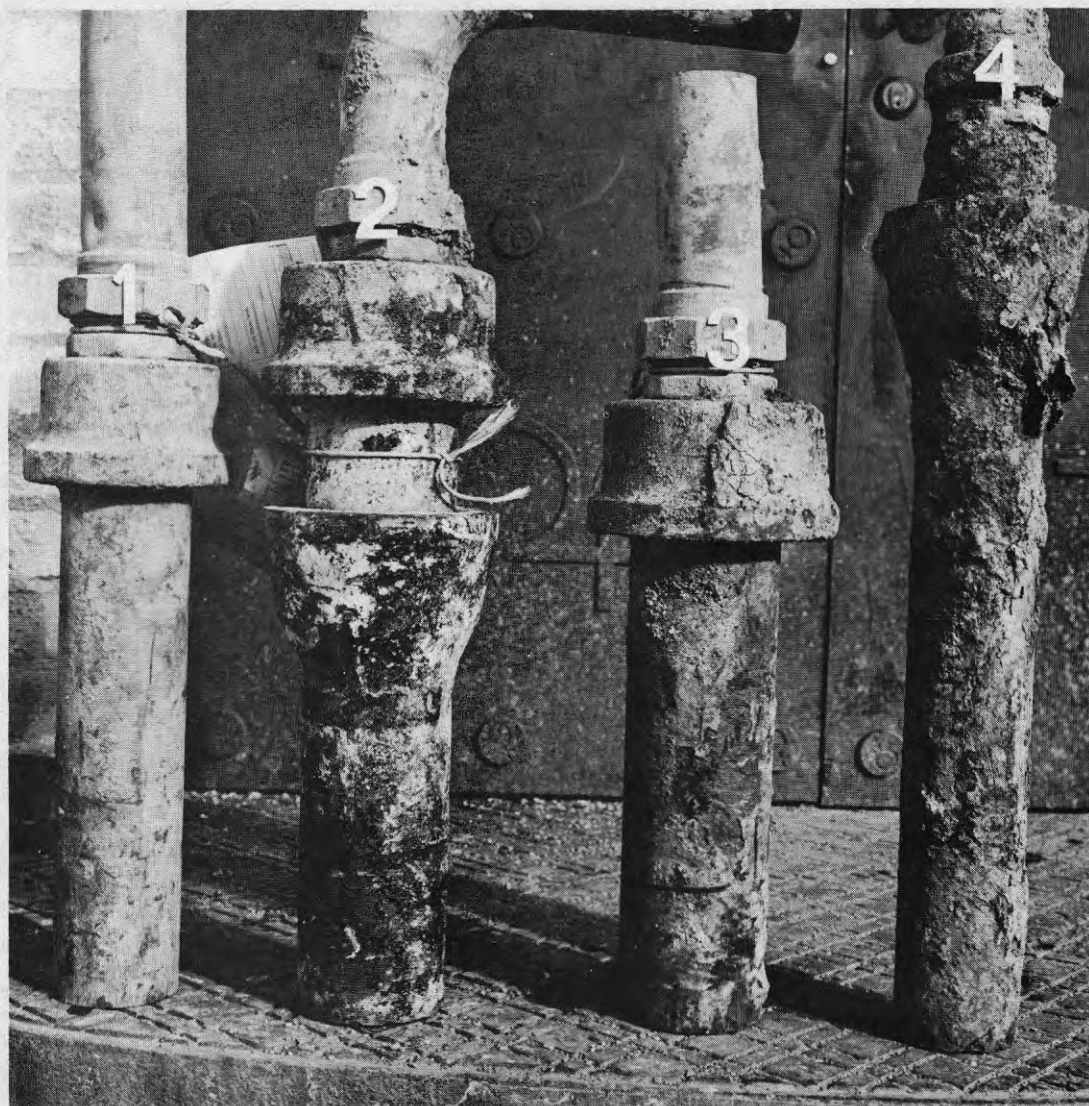
FIGUR 3. Rör 2, kopplingsenheten.



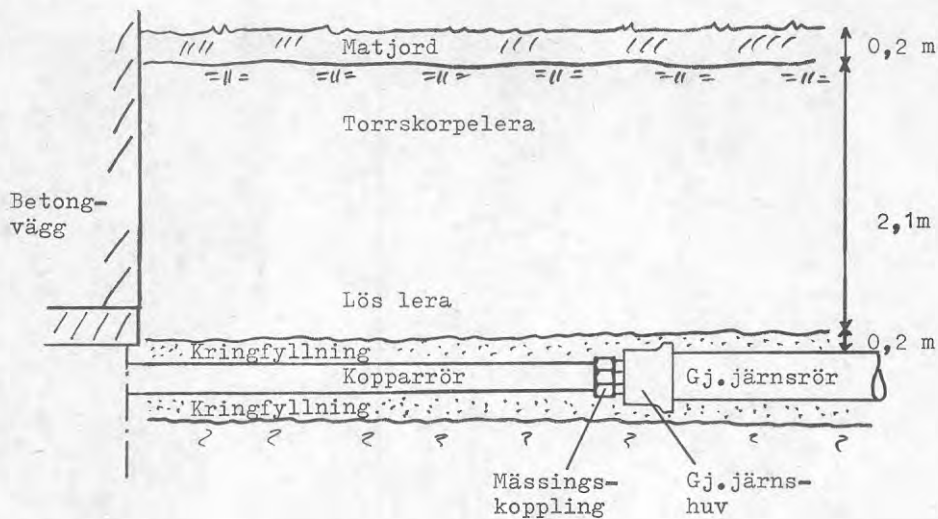
FIGUR 4. Rör 3, kopplingsenheten.



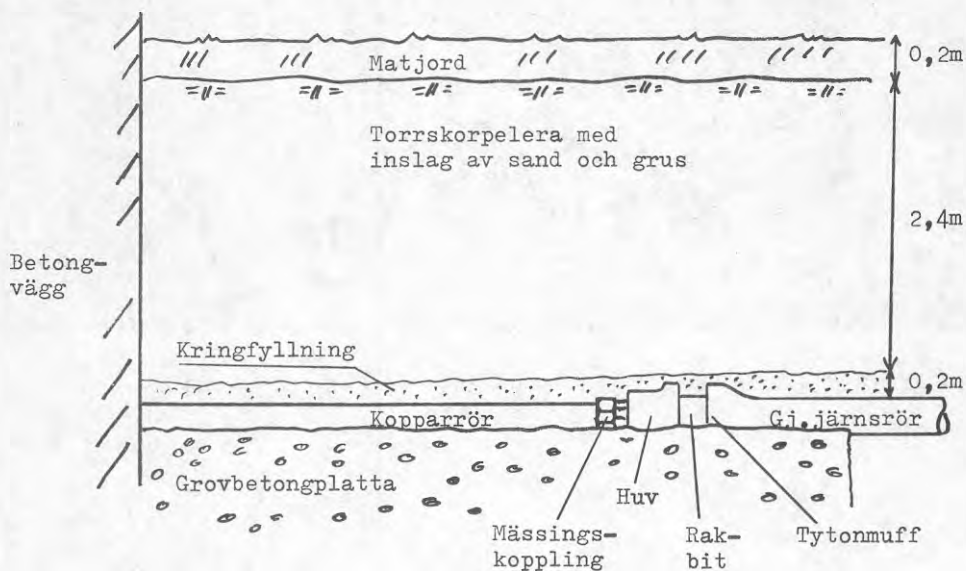
FIGUR 5. Rör 4, kopplingsenheten.



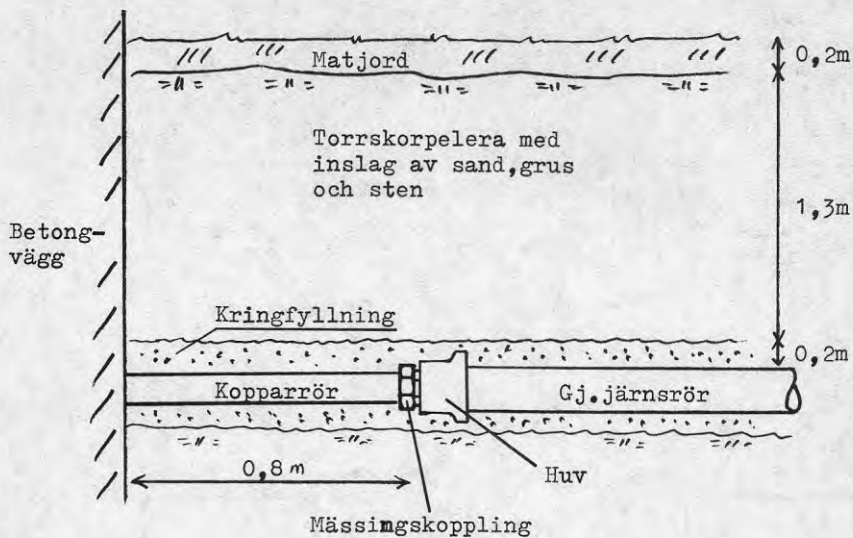
FIGUR 6. De 4 rören innan avlägsnande av jord och korrosionsprodukter.



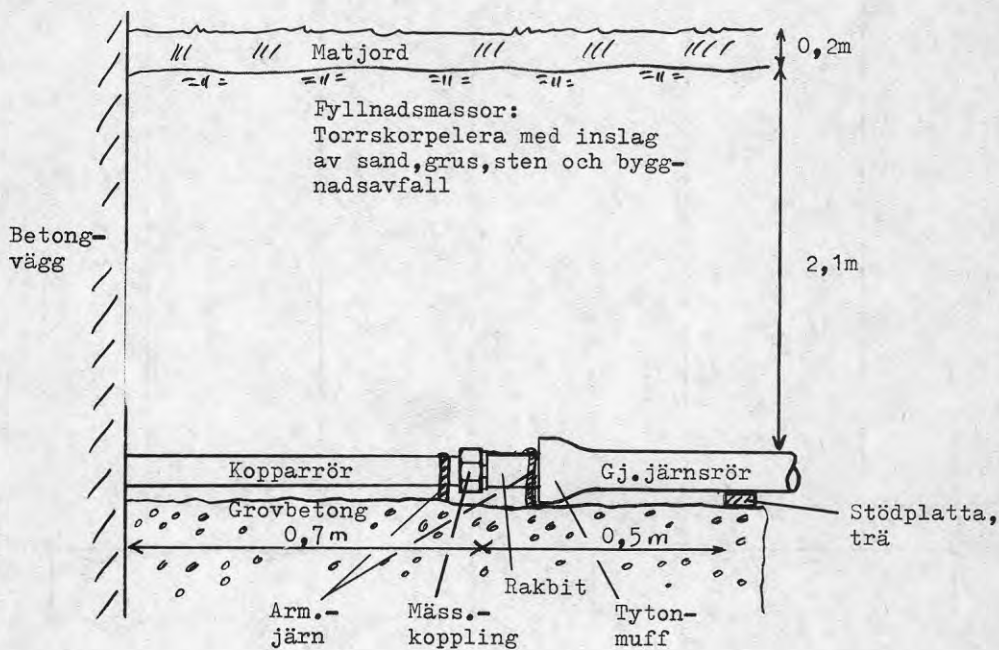
FIGUR 7. Rör 1 - dess närmaste jordomgivning.



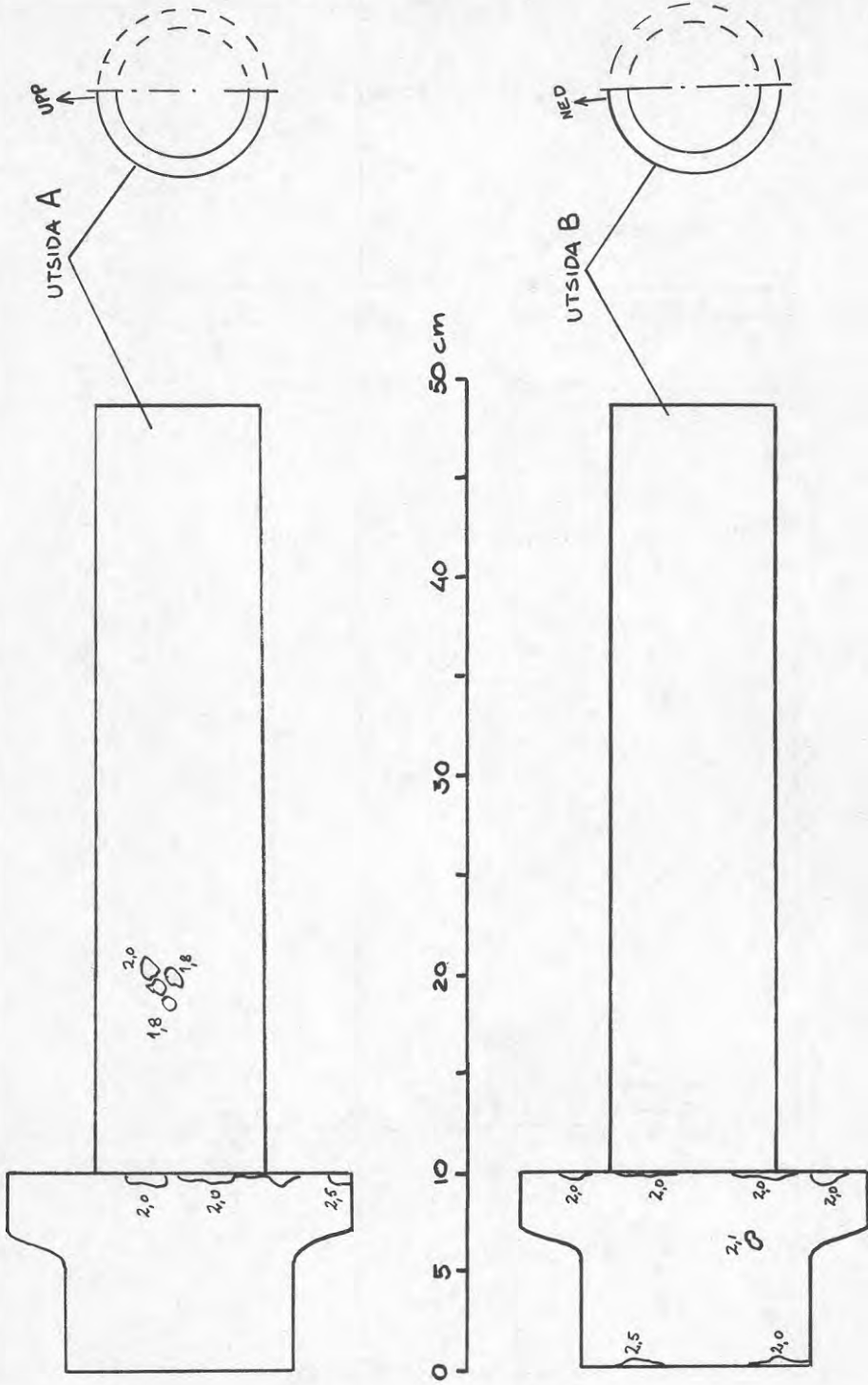
FIGUR 8. Rör 2 - dess närmaste jordomgivning.



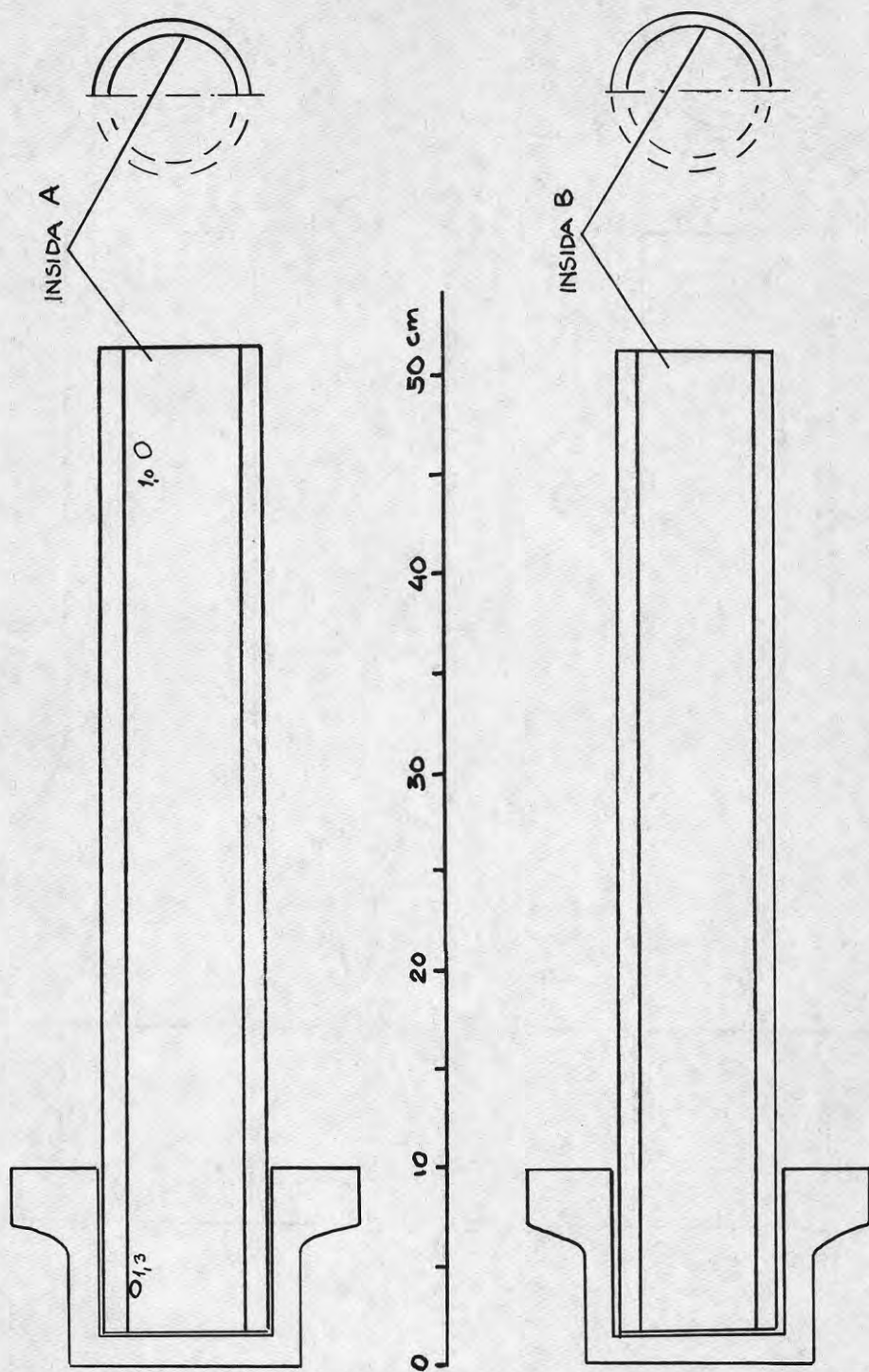
FIGUR 9. Rör 3 - dess närmaste jordomgivning.



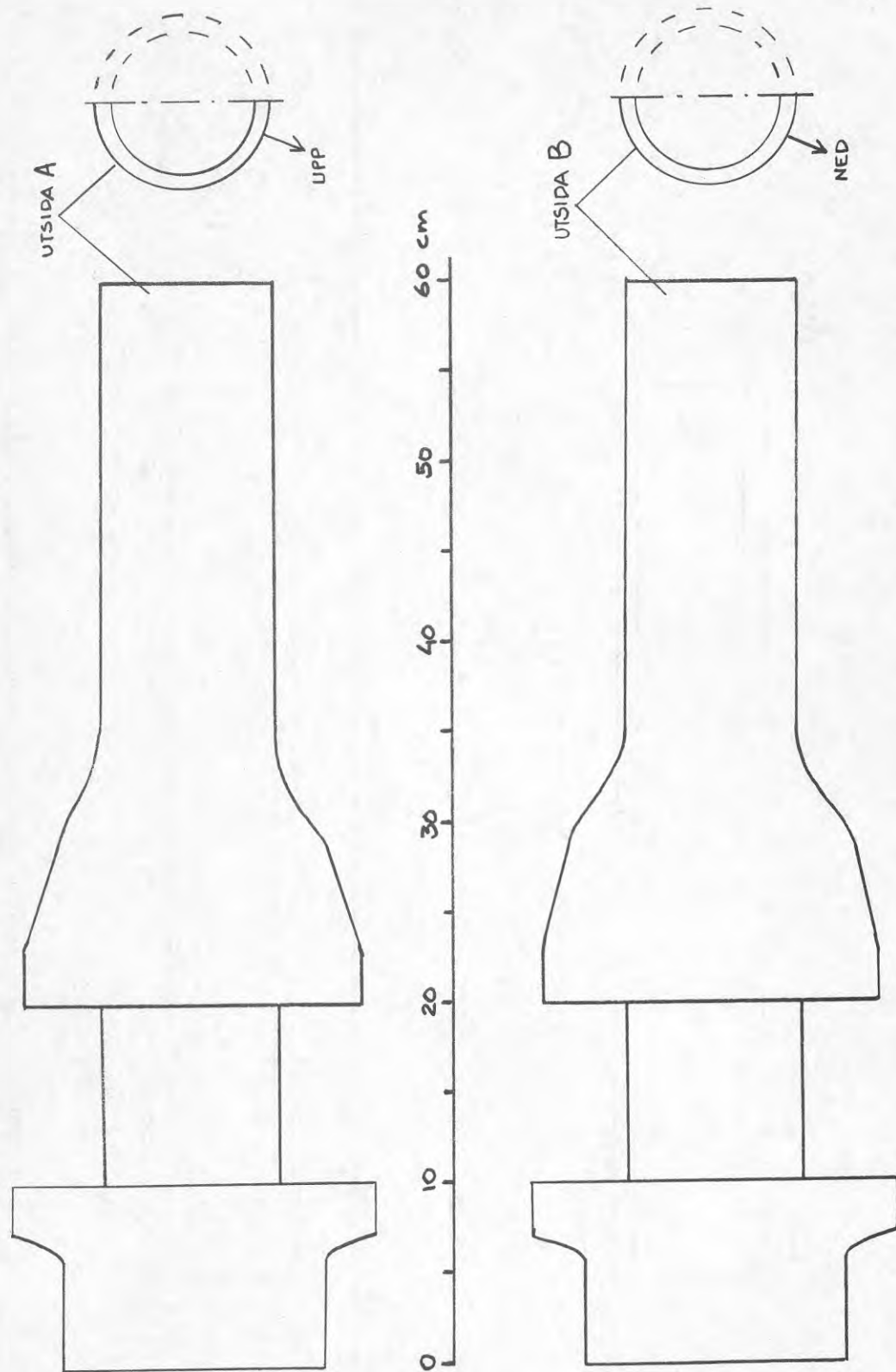
FIGUR 10. Rör 4 - dess närmaste jordomgivning.



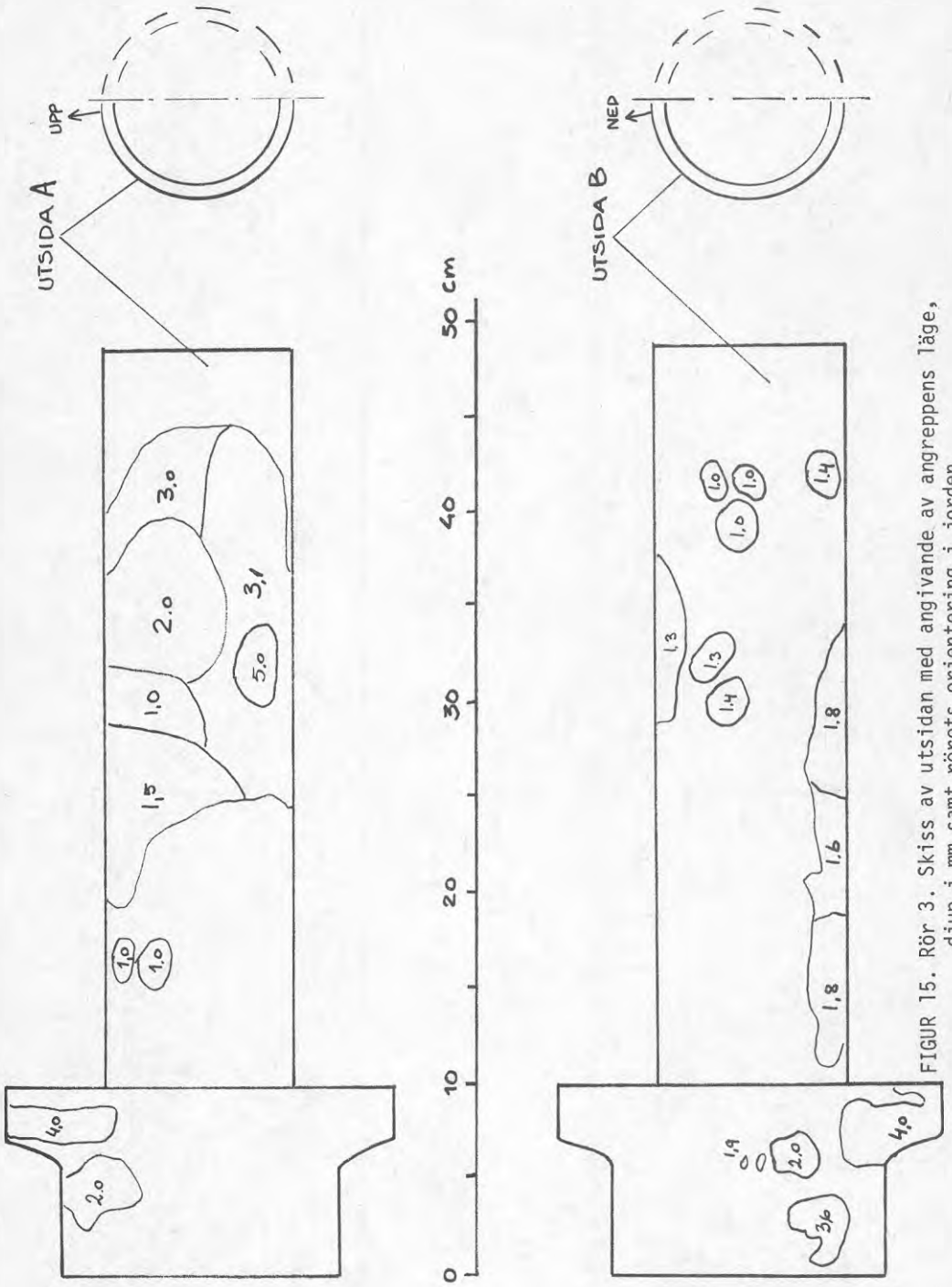
FIGUR 11. Rör 1. Skiss av utsidan med angivande av angreppens läge, djup i mm samt rörets orientering i jorden.



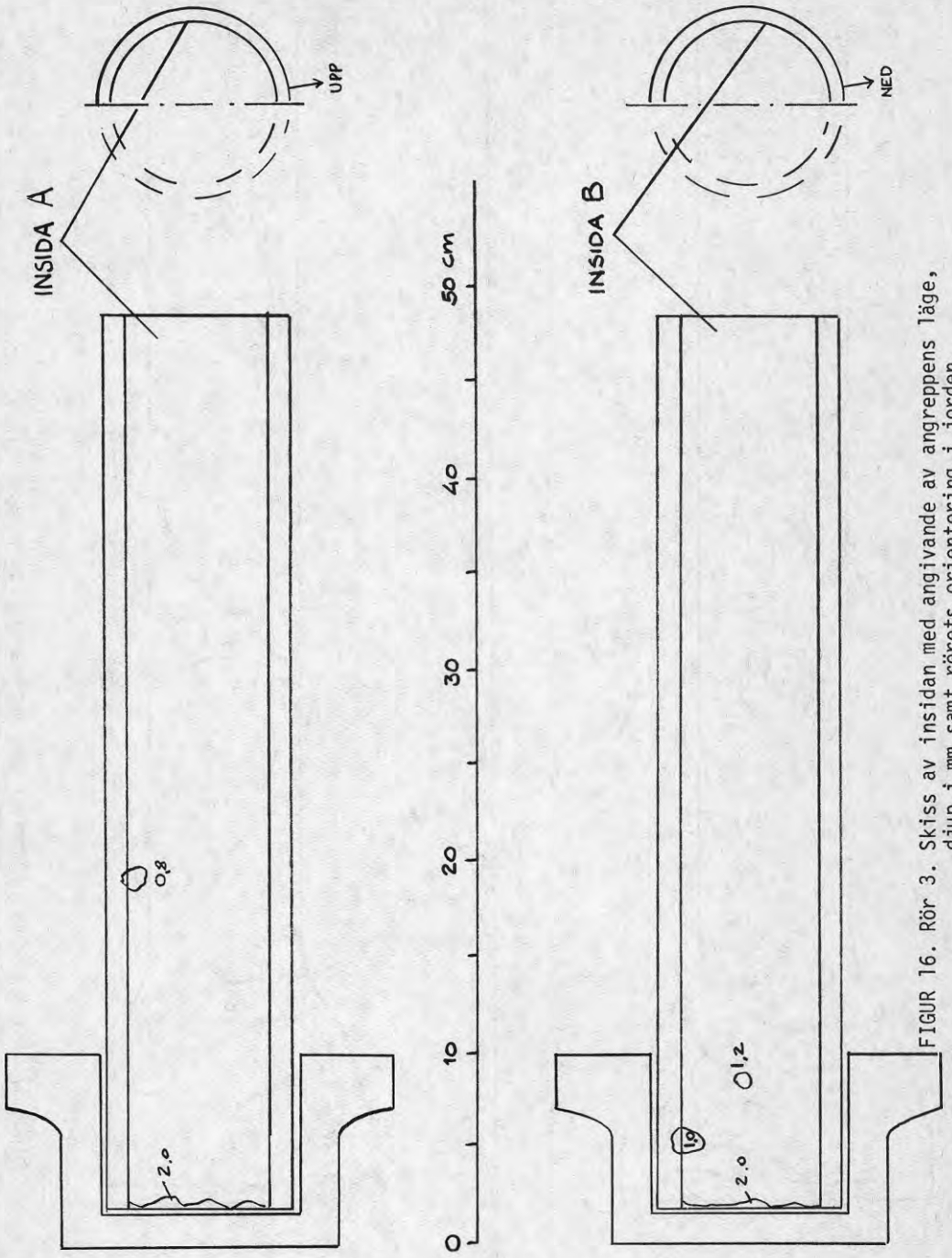
FIGUR 12. Rör 1. Skiss av insidan med angivande av angreppens läge, djup i mm samt rörets orientering i jorden.



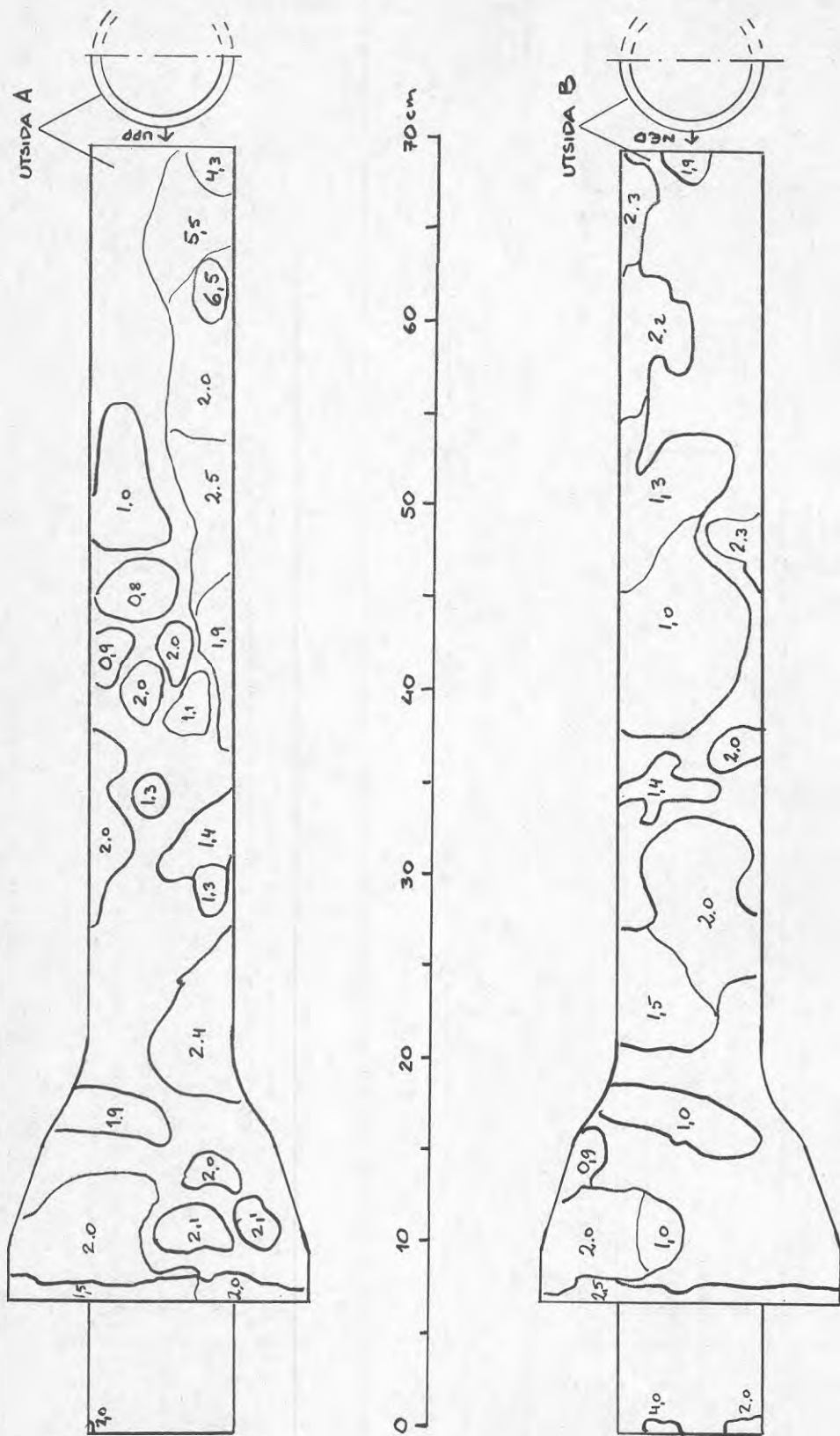
FIGUR 13. Rör 2. Skiss av utsidan med angivande av rörets orientering i jorden.



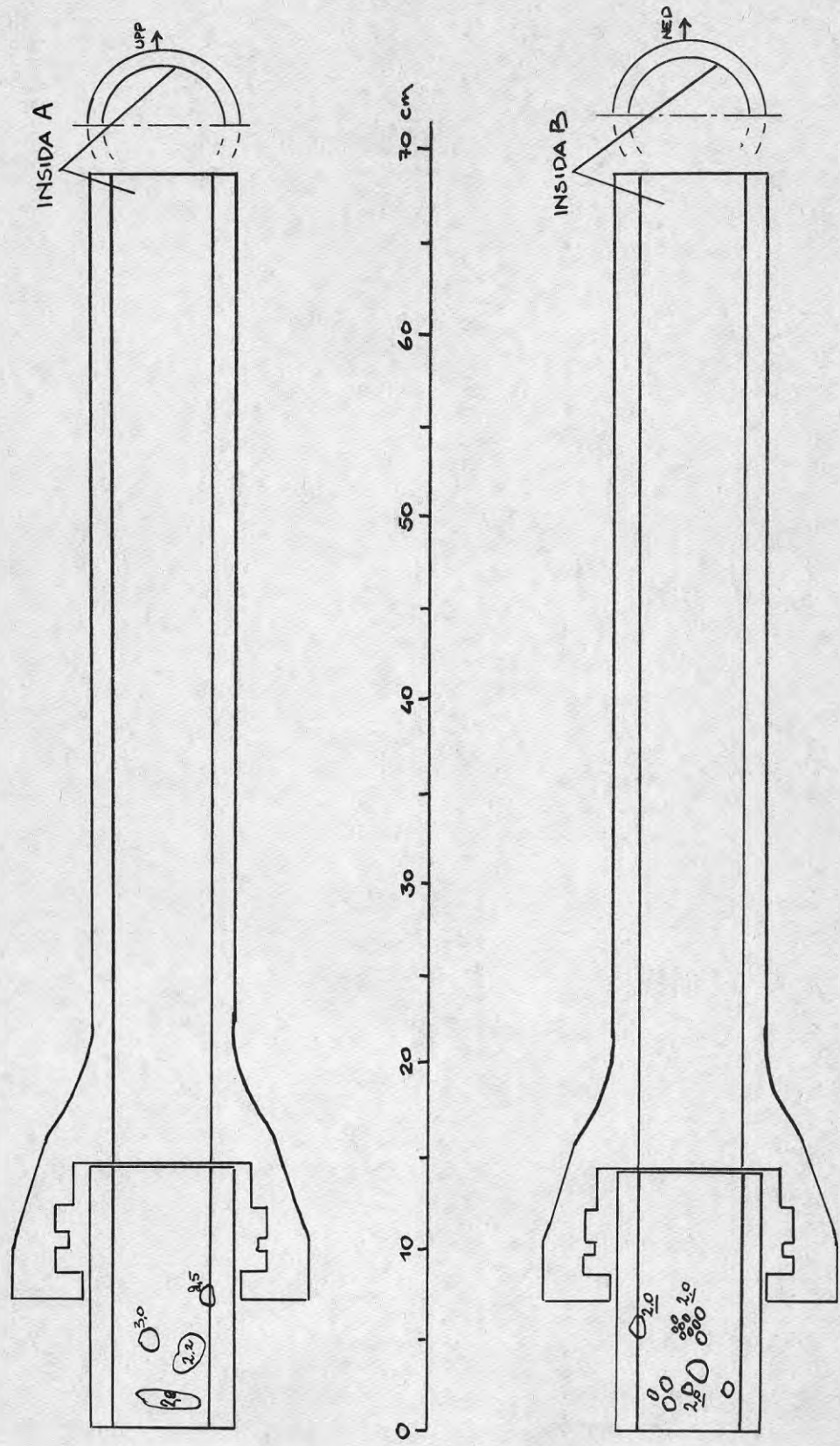
FIGUR 15. Rör 3. Skiss av utsidan med angivande av angreppens läge, djup i mm samt rörets orientering i jorden.



FIGUR 16. Rör 3. Skiss av insidan med angivande av angreppens läge, djup i mm samt rörets orientering i jorden.



FIGUR 17. Rör 4. Skiss av utsidan med angivande av angreppens läge, djup i mm samt rörets orientering i jorden.



FIGUR 18. Rör 4. Skiss av insidan med angivande av angreppens läge, djup i mm samt rörets orientering i jorden.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760064-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutet,
Stockholm**

R53: 1977

ISBN 91-540-2736-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600653

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktion och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirka pris: 21 kronor + moms