VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Metod för röntgenradiografering av isolerskikt i kulvertrör för fjärrvärmeledningar

Stig Dahn

ARKIVEXEMPLAR

HETVATTENTEKNIK 249

Metod för röntegenradiografering av isolerskikt i kulvertrör för fjärrvärmeledningar

Stig Dahn, Skandinavisk Kvalitetssäkring AB

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 · 113 82 STOCKHOLM · TEL. 08/ 34 09 80

Februari 1987
ISSN 0282-3772

METOD FÖR RÖNTGENKONTOLL AV ISOLERSKIKT I KULVERTRÖR FÖR FJÄRRVÄRMELEDNINGAR

Ett värmeforskprojekt utfört av Stig Dahn SKS, Skandinavisk Kvalitetssäkring AB, Täby

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning

2. Olika feltyper vid skumning

3. Röntgenmetodens huvudprinciper

4. Plan för projektets genomförande

4.1 Litteraturstudie inom området "lågenergiröntgen"

4.2 Komplettering av röntgenlab

4.3 Anskaffning av teströr och provblock

4.4 Försök med transparent röntgenfilm

4.5 Försök med radiografiskt papper

4.6 Utredning beträffande röntgengenomlysning

4.7 Försök med densitetsbestämning

4.8 Marknadsundersökning avseende röntgenapparater

4.9 Konstruktion och tillverkning av exponeringshuvar

4.10 Utredning beträffande "bildatlas"

5. Utrustning för röntgenkontroll av skarvställen

6. Röntgenkontroll av skarvställen - metodik

7. Nya tekniker

7.1 "Inspex dry X-ray film system" från 3M

7.2 "Non film technique" med CCD-dioder

8. Försök med röntgen av svetsskarvar i stålrör på radiografiskt papper

METOD FÖR RÖNTGENRADIOGRAFERING AV ISOLERSKIKT I KULVERTRÖR FÖR FJÄRRVÄRMELEDNINGAR

1. Sammanfattning

Vid läggning av kulvertledningar kan det vid skumning av skarvställen uppstå håligheter och blåsor i isolerskiktet. Detta kan leda till värmetransport från stålröret ut mot polyetenmanteln som därigenom överhettas och punkteras. Inläckande vatten kan på detta sätt med tiden föranleda allvarliga korrosionsangrepp på stålröret med hetvattenläckage som resultat.

Dessa feltyper kan inte detekteras med konventionell röntgenteknik och standardutrustning. Genom att tillämpa tangentiell strålningsriktning, låg strålningsenergi och röntgenkänsligt IC-papper har det emellertid varit möjligt att utveckla en praktiskt tillämpbar kontrollmetod. Fördelarna med IC-papper i stället för transparent film är lägre "filmpris", enklare framkallning och väsentligt snabbare resultat.

Felskönjbarheten vid normala storlekar på kulvertrör motsvarar att ett radiellt borrhål genom isolerskiktet med diameter 3 à 4 mm är synligt. Bildkvaliteten kan kontrolleras med hjälp av en speciellt framtagen likare som medfotograferas. Med hjälp av likaren är det även möjligt att i viss mån bedöma densiteten hos isolerskiktet. Röntgenmetoden ger även intressant information om krympförbandets tillstånd vid skarvställen samt visar läge och skarvningen av koppartrådar för läckageövervakning. Av strålskyddsskäl och reproducerbarhetsskäl har speciella exponeringshuvar av aluminiumplåt framtagits.

Metoden har i viss omfattning utprovats under praktiska förhållanden. För mera allmän tillämpning av metoden föreligger behov av regler för hur olika feltyper skall klassificeras och värderas.

I projektet har även ingått att studera möjligheten att tillämpa röntgengenomlysning. Den teknik som därvid är mycket intressant är CCD-tekniken, (Charge Coupled Device), med röntgenkänsliga fotodioder som sedan många år bl a används för bagagekontrollutrustningar på flygplatser. CCD-tekniken torde vara lätt att vidareutveckla för i första hand "on line inspection" av rakrör bl a därför att det är ett lågdossystem som inte borde ge några strålskyddsproblem.

Tekniken med IC-papper har även i mindre omfattning tillämpats på svetsskarvar (rundskarvar) i stålrör. Resultaten var överraskande positiva och pekar på att papperstekniken mycket väl kan vara en ersättning för den dyrare röntgenfilmstekniken eller ett komplement till densamma. En nyutvecklad typ av halvtransparent "pappersfilm" uppges ge en förbättrad bildkvalitet som kan jämföras med röntgenfilm av klass G III t ex Agfa Gevaert D7. Pappersfilmen framkallas genom uppvärmning helt utan vätskor och ett system med dagsljuskassetter är under utveckling vilket skulle helt eliminera behovet av mörkrum.

1. SUMMARY

In a district heating system, the hot water is normally transported via steel pipes isolated with a polyuretan foam layer enclosed in a polyethene casing. At plumbing in trench of hot water pipelines, prefabricated isolated straight pipes and fittings are used. These sections are delivered to the site with appr. 250 mm long unisolated ends which is the necessary space for the field welding of the circumferential weld joints of the steel pipes.

After welding and hydrostatic pressure test, the joint areas are isolated by use of an overlapping separate polyethene tube section and the space around the steel pipe is filled with polyuretan foam. At this local foaming process under field conditions, defects can occur in the shape of cavities and lack of alignment (pockets with entrapped air) to the mating areas of foam.

Via such cavities (radial channels), heat can be transferred from the hot media pipe to the polyethene casing which will be overheated, weakened and punctured. Water from the ground will leak in through the opening and start a corrosion process which finally results in loss of hot water.

Cavities in polyuretan foam of the above described nature cannot be detected by conventional x-ray techniques using standard equipment. A special procedure using tangential x-ray beam direction, very low kilovoltage and x-ray sensitive IC-paper (Instant copy paper) has been developed for practical field application. The main advantages with IC-paper instead of transparent film are lower "raw-film" cost, much faster and easier development process and thereby a quicker result.

When the new x-ray technique is applied on piping dimensions 250-500 mm it has been proven that the sensitivity corresponds to the visibility of a radially drilled hole of diameter 3-4 mm through the foam layer. A proper way to verify the image quality has been found to be of major importance, why a special image quality indicator has been designed and tested. This reference body of same dimension as the pipe to be radiographed contains three sections of foam with different densities and has a series of radially drilled holes e.g. 3-4-5-7 and 10 mm. The reference body is to be exposed together with the examined pipe.

As unfiltred radiation from a Beryllium window x-ray tube is used, some radiation shielding is necessary for field work. In addition accurate and reproduceable focus-to-film distance is important for reproduceble exposure doses. By these reasons two models of telescopic exposure boxes of aluminium have been manufactured and tested under field conditions.

Before the method can be more generally used there is a need of some type of reference standard where the different defect types in the foam are classified.

In the actual project, also a study of non film techniques was included. The use of x-ray sensitive photo diodes in CCD-coupling as recieving elements was found to be of great interest for primarily examination of straight pipes in the production line.

The IC-paper technique was also tested on two circumferential weld joints in steel pipes 139.7 x 3,6 mm containing significant weld defects. The result was clearly positive and indicates the possibility to use the IC method as either a supplement or a substitute to the convential method with transparent x-ray films.

2. Olika feltyper vid skumning

Vid applicering av isolerskiktet av polyuretanskum i utrymmet mellan stålrör och polyetenmuff vid kulvertledningars skarvställen kan felaktigheter uppstå i form av bl a blåsor (håligheter) eller ej utfyllda spalter mellan ändyta av befintligt isolerskikt i rakröret och nyskummad del.

Dessa feltyper - om de har en viss storlek och väsentlig utbredning i radiell led - orsakar värmetransport från stålröret ut till polyetenmanteln som genom detta försvagas och kan bli punkterad. Därvid kan vatten tränga in till stålröret och orsaka korrosionsangrepp som med tiden leder till läckage av hetvatten. Att upptäcka, lokalisera och åtgärda sådant läckage kräver friläggning av kulvertledningen och är därmed en kostsam operation särskilt vintertid med tjäle i marken.

Det förekommer även andra slag av avvikelser vid skumning t ex att skummet får fel densitet, att koppartrådarna för läckageövervakning förskjuts samt defekter i polyetenmuffarnas avtätning med krympförband mot rakrör. När det gäller tillverkning av "fittings", (rörböjar, T-stycken, konor), föreligger svårighet att förhindra stålrörsdelarna från att förskjutas från centrumläget.

3. Röntgenmetodens huvudprinciper

Redan innan detta projekt startade fanns vissa erfarenheter från röntgenkontroll av en helt annan typ av produkter där problemställningarna var likartade dvs det var frågan om runda objekt med en centrumdel av metall omgiven av en relativt tjock mantel av "lätt" material i vilken vissa feltyper var aktuella att detektera. I ett sådant fall är det omöjligt att få tillräcklig känslighet för defekter i manteln om röntgenstrålningen måste passera metallen eftersom den höga engeri (kV-värde) som då krävs är olämplig för lätta material.

Även vissa erfarenheter från en förstudie avseende röntgenundersökning av skarvisolering enligt tidigare utfört Värmeforskprojekt (Rapport nr 90) var tillgängliga.

Den lösning som framtogs gick ut på att utnyttja tangentiell strålningsriktning enligt följande huvudprinciper:

* Tangentiell strålriktning på sidan om stålröret. Detta innebär att en cirkelsegmentformad del av isolerskiktet av polyuretanskum kontrolleras vid varje exponering. Vid mindre rördimensioner kan isolerskiktet på båda sidor om röret exponeras på samma bild medan man vid större rördimensioner endast kan få med ena sidan. För att kontrollera isolerskiktet runt om till ca 90% krävs vid mindre rördimensioner två exponeringar i 90° förskjutning, vid större dimensioner fyra exponeringar.

* Röntgenstrålning i låg-kilovoltområdet 20-50 kV utnyttjas för att erforderlig kontrast skall kunna erhållas. Detta kräver röntgenapparat med lågkilovoltområde samt att röntgenröret har Beryllium-fönster. Lämpligast används en apparat av konstantpotentialtyp bl a för att erhålla reproducerbara exponeringsdata vid variationer i nätspänning och effektfaktor (Cos). Röntgenrör med bifocus t ex 1,5 x 1,5 respektive 0,4 x 0,4 mm är fördelaktigt.

* I stället för vanlig röntgenfilm används röntgenkänsligt papper (sk IC-papper) i format 30 x 40 cm. Pappret är jämförbart med vanlig transparent röntgenfilm billigare, möjliggör snabbare framkallning (10 sek) med enkel utrustning och att bilderna kan granskas på samma sätt som vanliga fotokopior utan särskild belysningsutrustning.

4. Plan för projektets genomförande

Arbetet har i huvudsak bedrivits enligt ursprunglig projektplan. Vissa tillägg och justeringar har dock visat sig nödvändiga att göra allteftersom projektarbetet framskred. Utvecklingsarbetets olika avsnitt framgår av innehållsförteckningen.

4.1 Litteraturstudie inom området "lågenergiröntgen av lätta material"

Vid konventionell röntgenradiografering av stål används normalt inte röntgenenergier under ca 100 kV. För att få önskad kontrast (felskönjbarhet) när det gäller plast och andra lätta material måste man emellertid reducera kilovoltvärdet avsevärt och för så extremt lätt material som polyuretanskum bör man ligga i området 25-50 kV. Röntgentekniken i dessa lågenergiområden skiljer sig väsentligt från den konventionella tekniken varför aktuell litteratur har anskaffats och studerats. En del av denna litteratur anges i rapportens litteraturförteckning.

4.2 Komplettering av röntgenlab

Två befintliga röntgenapparater av för ändamålet lämligt slag har använts:

* Philips MG150, stationär apparat för konstantpotential max 150 kV och röntgenrör med Beryliumfönster och dubbelfocus 1,5 x 1,5 respektive 0,4 x 0,4 mm.

* Philips MG 60, portabel apparat för max 60 kV och fokus 1 x 1 mm.

Röntgenstrålning i lågenergiområdet är mer skadlig för människan än vanlig röntgenstrålning men är å andra sidan lätt att avskärma. För att kunna arbeta rationellt vid exponeringarna av testmaterialet konstruerades och tillverkades en speciell blyklädd "röntgenbox".

I övrigt anskaffades bl a en speciell framkallningsapparat för framkallning av radiografiskt papper samt en eltork.

4.3 Anskaffning av teströr och provblock

Att anskaffa provbitar av kulvertrör med "intressanta" defekter visade sig vara betydligt svårare än väntat. Genom benäget bistånd från främst Stockholms Engergiverk gick det dock att få fram 10 stycken teströr enligt bilaga nr 1. I dessa teströr finns vissa naturliga fel men dessutom har referensfel i form av axiella och radiella borrhål applicerats.

För att lätt kunna simulera olika tjocklekar av polyuretanskum har 45 stycken block med 50 mm tjocklek och borrhål diameter 6, 9 respektive 12 mm tagits fram. Dessutom har polyetenskivor med 4 respektive 5 m tjocklek anskaffats för att vid radiograferingsförsöken symbolisera kulvertrörens polyetenmantel.

4.4 Försök med transparent röntgenfilm

Ett antal exponeringar har utförts på röntgenfilm Agfa-Gevaert D7 (utan blyskärmar). Generellt sett ger en röntgenfilm - förutsatt att den är rätt exponerad - en mycket god bildkvalitet. Råfilmens höga pris, den tidsödande framkallningsprocessen och att man i det aktuella fallet inte är i behov av särskilt hög upplösning (skärpa) talar dock mot dess lämplighet.

Jämförelse med några provbilder tagna på radiografiskt papper samt uppgifter i rapporter från andra tillämpningar föranledde beslut om att minska på provomfattningen när det gällde röntgenfilm och i stället utöka försöken med radiografiskt papper.

4.5 Försök med radiografiskt papper

Av den insamlade litteraturen framgick att man i Danmark på Risö Forskningsstation sedan flera år utfört en rad arbeten avseende användning av radiografiskt papper (se ref 1 och 5).

Ett besök på Risö gav mycket värdefull information även om man där främst arbetat med "pappersmetoden" på stål, aluminium och kärnbränslelement och inte på "lätta material".

I SKS röntgenlab har omfattande serier av exponeringar utförts med olika röntgentekniska data, olika bildkassetter och förstärkningsskärmar. Vid några tillfällen dök oväntade problem upp t.ex med ströstrålning men svårigheterna kunde så småningom bemästras.

Vid röntgenradiografering av objekt i stål används alltid en så kallad bildkvalitetsindikator (trådskala) som medfotograferas och som verifierar röntgenfilmens bildkvalité. Efter vissa utredningar har en referenskropp enligt bilaga 2 framtagits. Den skall vara tagen ur en rörsektion av den aktuella kulvertrörtypen och ha radiellt borrade hål med t.ex diameter 3,4,5,7 och 10 mm. Referenskroppen fastsättes lämpligen i exponeringshuven som beskrivs under punkt 4.9 och nedfotograferas på varje upptagen bild. Man kan då på varje bild avläsa t.ex att alla radiella hål t o m 4 mm är synliga.

På de olika teströr och provblock som stod till förfogande har sammantaget ca 500 bilder på röntgenkänsligt papper i format 30 x 40 cm upptagits.

Sammanfattningsvis kan sägas att försöken lett fram till en praktiskt tillämpbar metod för röntgenkontroll av isolerskikt vid skarvställen. Röntgenmetoden som är en s k "volymetrisk" provningsmetod ger en lättfattlig bild som klart avslöjar feltyp, felstorlek och exakt felläge inom några minuter efter skumning av ett skarvställe. Detta ger dels möjlighet till lokal reparation samt till korrigering av metodiken för nästkommande skarvställen. Man får även ett dokument från kontrollen genom att röntgenbilden arkiveras. Provningsmetoden beskrivs närmare under punkt 6.

4.6 Utredning beträffande röntgengenomlysning

Tillgänglig teknik inom genomlysningsområdet har ingående studerats i vad mån den kan appliceras för kontroll av isolerskikt i kulvertrör.

Konventionell teknik med fluorescensskärm har studerats teoretiskt och

vissa enkla praktiska prov har utförts. Resultatet blev att detekterbarheten som väntat var helt otillräcklig. Praktiska prov i en anläggning där fluorescensskärmen granskas via en extremt ljuskänslig SIT-TV-kamera (ljusbehov 0,005 Lux) gav bättre resultat - ett 5 mm radiellt borrhål genom isoleringen i ett rörprov kunde skönjas.

En annan teknikgren - elektronisk bildförstärkare - har också prövats praktiskt men visade sig ge för dålig felskönjbarhet. Resultaten kan förbättras genom att använda bildförstärkare av speciell typ med frontskiva av tunn titanplåt men kostnaden för så avancerad utrustning torde vara för hög för ifrågavarande ändamål.

Vidare har ett kulvertrörprov med radiella borrhål 5, 8, och 12 mm skickats genom en bagageröntgenanläggning på en flygplats med resultat att endast 12 mm hålet var synligt. Bagageröntgenanläggningen som testades fungerade enligt "flying-spot"- principen som är ett "filmsafe" lågdossystem. Orsaken till dålig känslighet är i första hand för högt kilovolttal - 70 kV och ej tillräckligt smal "röntgenstråle".

4.7 Försök med densitetsbestämning

För att förbättra möjligheterna att bestämma polyuretanskiktets densitet borde röntgenstrålningens energi ligga i området 15 - 20 kV. Beroende på att strålningen måste passera polyetenmanteln två gånger måste dock energin väljas högre (30 - 50 kV).

Eftersom det inte var möjligt att få fram testmaterial (rörprov) med olika och kända densiteter har det bara varit möjligt att utföra enkla försök där skummade testblock lagts samman till tjocklekar symboliserande densitet 80 respektive 60 kg/m^3. Proven störddes av ströstrålningsfenomen som är betydligt svårare att undvika när det gäller radiografering av block än vid hela rörprovbitar.

Allmänt kan sägas att densitetsbestämning är komplicerad och kan bara ske genom jämförelse av svärtningen hos en medfotograferad referenskropp med t ex tre sektioner med olika densitet. Testblockets polyetenmantel måste vara representativ för det kulvertrör som skall mätas dvs ha samma tjocklek. Under dessa betingelser kan man avgöra om isolerskiktet i det undersökta kulvertröret har högre eller lägre densitet än viss sektion i referenskroppen. Hur stor denna densitetsskillnad måste vara för att kunna påvisas har inte kunnat preciseras.

4.8 Marknadsundersökning avseende röntgenapparater

De för tekniskt bruk vanligaste röntgenapparaterna är av portabel typ (entanksapparater) och har ej Beryllium-fönster och ej heller reglermöjlighet ner till låga kilovolttal. Vissa specialvarianter för kontroll av aluminium med lågt kilovolttal finns men är mycket ovanliga.

Lämpligast för röntgenkontroll av isolerskikt är de nya röntgenapparaterna för konstantpotential (CP-apparater). Det marknadsförs fyra-fem olika fabrikat i Sverige och sammantaget finns ett 20-tal utrustningar i drift. Typiska data är 150/160 kV, 8 - 20 mA röntgenrör med Berylliumfönster och bifokus 1,5 x 1,5 och 0,4 x 0,4 mm. Röntgenröret är litet och väger ca 8 kg

medan transformatordelen med kylpump och manöverbord väger ca 140 - 160 kg. CP-utrustningarna är mycket kraftfulla och ger korta exponeringstider och bra bildkvalitet. De innehåller även en självreglering för variationer i nätspänningen vilket ger reproducerbara exponeringsvärden. Det finns även CP-högdosapparater t ex 100 kV, 40 mA som är synnerligen lämpliga.

CP-apparater är även väl lämpade för röntgenkontroll av rundskarvar i kulvertsledningars stålrör.

En ny amerikansk typ av batteridriven miniröngenapparat där röntgenenheten väger ca 5 kg och manöverbordet ca 8 kg har egenskaper som gör den lämpad för röntgenkontroll av isolerskikt. Den är emellertid dyr och saluförs ej i Sverige. Vidare kan den inte användas för svetsskarvar i stål.

4.9 Konstruktion och tillverkning av exponeringshuvar

Exponeringshuvar är nödvändiga av två skäl. Det ena är strålskyddshänsyn för att avskärma den ofiltrerade strålning som röntgenrör med Beryllium-fönster avger. Det andra skälet är förbättrad reproducerbarhet i exponeringarna vilket är särskilt viktigt när man använder IC-papper. Med exponeringshuvens hjälp kan avståndet mellan röntgenrör - kulvertrör och filmkassett hållas konstant.

Bilaga 3 visar principen för en exponeringshuv med två lådsektioner av aluminiumplåt som kan skjutas i varandra teleskopiskt för att passa olika dimensioner av kulvertrör.

4.10 Utredning beträffande "bildatlas"

För bedömning och betygsättning av svetsskarvar har i Sverige i flera 10-tal år en internationell bildatlas (IIW) med referensbilder använts. Likaså har liknande bildatlasverk från ASTM tillämpats när det gäller gjutgods i stål.

Det bedömdes därför som önskvärt att försöka få fram bildunderlag för en atlas när det gäller bedömningsgrunder för de olika feltyper som kan uppstå vid skumning. De 10 provbitar från kulvertrör som erhållits till projektet har röntgenradiofotograferats till 100% för att få fram bilder med representativa feltyper. Några intressanta feltyper har därvid framkommit men ett mycket större underlag behövs.

Kontakter med ett antal parter som kunde tänkas ha tillgång till provbitar av kulvertrör gav emellertid magert resultat varför planerna på en bildatlas måste skrinläggas tills vidare.

5. Utrustning för röntgenkontroll av skarvställen

Den utrustning som krävs för ambulerande verksamhet är följande:

* Röntgenapparat med lågkilovoltområde ner till 20 kV samt röntgenrör med Berylliumfönster och litet focus. Fördelaktigt är dubbelfocusrör för t ex 1,5 x 1,5 mm respektive 0,4 x 0,4 mm.

  Man bör välja en så kallad konstantpotentialapparat (CP) som har korrektion för nätspänningsvariationer och som är mer okänsliga för variationer i "cos fi"-värdet på elnätet. Detta är särskilt viktigt vid låg

kV-röntgen på IC-papper som har begränsat svärtningsomfång.

* Exponeringshuv, dvs en "tratt" som strålskydd att fästas på röntgenröret erfordras eftersom röntgenröret har Be-fönster som ej får användas i ambulerande verksamhet utan särskild åtgärd. Huven måste specialtillverkas för det röntgenrör som den skall passa till. I exponeringshuven placeras lämpligen ett testblock i form av ett segment av en polytenmantel med polyuretanskum och radiella borrhål med olika diameter. Testblocket medfotograferas vid varje exponering.

* Mörkrumsbil, vanlig röntgenbuss går bra. Framkallningsutrustningen och torkanordningen för röntgenpapper är små enheter som inte kräver något större utrymme, varför en fyrhjulsdriven "Pic-up" med "hytt" kan vara lämplig.

  NMT biltelefon eller personsökare i bilarna är praktiskt för snabb "kallelse" när skumning och kontroll av skarvställen skall ske.

* Strålskyddsmätinstrument som är rättvisande även för låg kV-området bör finnas. Vanliga mätinstrument visar vid låga kV-värden ofta för lågt värde.

* Filmkassetter 30 x 40 cm med frontsida av Al/plast och förstärkningsskärm.

* IC-papper 30 x 40 cm.

* Framkallningsapparat för IC-papper samt framkallningsvätskor.

* Eltork för IC-papper. Effektbehov ca 1000-watt.

* Svärtningsmätare för reflekterat ljus.

6. Röntgenkontroll av skarvställen - metodik

Baserat på erfarenheterna från de gjorda undersökningarna beträffande röntgenkontroll av skarvställen på IC-papper har följande riktlinjer för provningen utformats:

* Röntgenutrustning i enlighet med punkt 5 skall användas.

* Strålningsenergin skall väljas så lågt som praktiskt möjligt (30-40 kV) med hänsyn till exponeringstiden och får för kulvertar med stålrörsdimension upp till 408 mm inte överstiga 50 kV.

* Avståndet mellan röntgenrörets fokus och filmkassetten bör vara 4-5 gånger den maximala tjocklek av isolerskiktet i strålningsriktningen räknat som skall genomstrålas. Detta krav avser primärt begränsning av den geometriska uppförstoringen. Om på grund av begränsad åtkomlighet detta avstånd ej kan innehållas måste exponering ske från två motsatta håll.

* Den geometriska skärpan (Ug) beräknad på sedvanligt sätt får ej överstiga 0,5 mm.

* Svärtningen inom de partier av bilden som skall granskas skall ligga inom

de värden som leverantören av IC-papper rekommenderar.

* I avbildningen av den medfotograferade likaren skall det radiella borrhål med den diameter som överenskommits mellan parterna vara synlig.

Av bilaga 4 framgår lämplig exponeringsteknik av kulvertledning i det fall man vill kontrollera övre delen av isoleringsskiktet.

Bilaga 5 visar principiellt den teknik som krävs om en mera fullständig kontroll önskas (c:a 80 %).

I bilaga 6 har en sammanställning gjorts av röntgenmetodens olika applikationer och de defekter och andra avvikelser som kan defekteras.

Bilaga 7 visar några typiska IC-bilder som upptagits på teströren.

7. Nya tekniker

7.1 "Inspex dry X-ray film system" från 3M

3M i USA har nyligen introducerat ett mycket intressant mellanting mellan vanlig röntgenfilm och IC-papper - ett halvtransparent "IC-papper". Framkallningen sker i en enkel bänkapparat helt utan vätskor genom uppvärmning och processen tar endast något 10-tal sekunder. Bilden kan betraktas antingen i påfallande ljus eller med hjälp av ljuslåda på vilken bilden placeras. I det senare fallet får man en högre skönjbarhet som enligt tillverkaren ligger i paritet med snabbare typer av röntgenfilm av klass G III t ex Agfa Gevaert D7. Inom kort kommer ett kassettsystem för dagsljusarbete dvs behovet av mörkrum elimineras.

3M:s "dry film" finns ännu inte att få tag på i Sverige. Helt klart är att detta synes vara en mycket intressant nyhet främst när det gäller röntgenkontroll av rundskarvar i kulvertars stålrör.

7.2 "Non film technique" med CCD-dioder

Detta är en teknik som utvecklas mycket snabbt och som i fallet med "linear array" bygger på att objektet som skall undersökas förflyttas mellan röntgenröret och en smal spalt i vilken det sitter en "rad" av röntgenkänsliga fotodioder i CCD-koppling. Bildelementen finns i storlekar från 25 um till någon mm och kan vara anordade som "linear arry" enligt exemplet ovan eller på en bildplatta. Bildplattor (bildkretsar) finns i dag med upp till 4096 x 4096 bildelement och de ger en elektronisk bild som är överlägsen den bästa röntgenfilm.

För ändamålet kontroll av isolerskikt i kulvertrör är den enklare linjära tekniken tillräcklig och bildelementen torde kunna väljas i storlek ca 0,5 - 1,0 mm. I första hand är tekniken lämpad för rakrör men utveckling av portabel utrustning för kontroll av skarvställen är också möjlig. En fördel med CCD-tekniken är att färdigutvecklade bildbehandlingssystem kan köpas som standardprodukt och anpassas till lämplig typ av CCD-strips.

8. Försök med röntgen av svetsskarvar i stålrör på radiografiskt papper

I den litteratur som studerats har även användningen av IC-papper på svets-

skarvar i stål redovisats. Artikeln "Industrial application of radiographic paper" (ref 1) anger t ex att Gaz de France redan vid mitten av 70-talet tagit flera hundratusen bilder på rundskarvar i gasnätet och att man är mycket positiv till resultatet. Ur artikeln återges följande text:

"Application in gas industry

In this branch of industry wall thicknesses of steel tubes to be controlled are usually less than 15 mm for the transport and distribution pipelines, and 4 mm för copper tubes in customer installations. In those fields paper radiography presents great advantages. The most important applications are the following: The gas distribution net lies mainly in urban zones and therefore great precaution must be taken to protect third parties against ionizing radiation; thus radiographic control must be performed with high speed to limit the interruption of traffic in the streets.

Att Gaz de France all weldings on the distribution net tubes (diameters generally less then 150 mm and double wall thickness less than 8 mm of Fe) are controlled by paper radiography. This technique has been introduced some five years ago and several hundred thousand radiographs have been made since. In the above mentioned thickness range equivalent results could be reached as with the previously used Kodak Industrex A X-ray films. By using paper instead of film, kilovoltages could be lowered from 140 kV to 100-110kV. The delay between the exposure and the evaluation of the radiographs could be shortened from 30 to 1 min. The cost of the radiographic control of welds was reduced by factor 2 or 3, and that of certification of a welder by a factor of 10."

Eftersom de mycket goda resultaten från IC-pappersteknikenen i Frankrike bedömdes kunna vara av intresse för svenska förhållanden och främst då på montageskarvar (rundskarvar) i kulvertrör har - utanför det egentliga projektet - några rörsvetsprov med intressanta fel anskaffats och radiograferats på IC-papper.

Resultatet måste anses som bra och att det därmed borde vara intressant att utreda förhållandena mera ingående. Det svenska normenliga kravet för röntgenfilmer på tryckkärl och tryckkärlsrör är exponeringsteknik enligt SS 11 41 01 klass B och trådskönjbarhetskrav enligt SS 11 41 30 klass B. Med stöd av litteraturuppgifter och de få prov som gjorts kan man anta att tekniken med IC-papper borde ge en bildkvalitet motsvarande den något lägre klassen A i respektive standards. Enligt arbetarskyddsstyrelsens nya föreskrifter som gäller från årsskiftet 1986/87 ställs inga specifika krav när det gäller röntgenkontroll av markförlagd kulvertledning varför tillämpning av "klass A-teknik" inte hindras av formella normkrav.

Radiografisk bildkvalitet bestäms i huvudsak av två parametrar, kontrast och upplösning (skärpa). IC-papper ger likvärdig eller t o m högre kontrast än en normal röntgenfilm. Detta innebär att de vanligaste svetsfelen och de som oftast föranleder reparation dvs volymetriska feltyper såsom porer, slagginneslutningar och rotfel indikeras helt tillfredsställande. Skärpan hos en IC-bild är dock lägre än hos en röntgenfilm. Detta innebär att detekteringsförmågan när det gäller feltyper som bindfel och sprickor är sämre.

Dessa feltyper kan man tänka sig hålla under kontroll på så sätt att val av material, svetsmetod och svetsarbetskraft görs på sådant sätt att sannolikheten för feltyperna blir mycket låg. Dessutom kan man kombinera IC-metoden med vissa stickprov med vanlig röntgenfilm.I

I bilaga 8 har i tabellform angivits vilka fördelar respektive nackdelar som

IC-tekniken har jämfört med konventionell teknik.

Den mycket markanta kostnadsreducering med en faktor 2 till 3 som Gaz de France konstaterat redan år 1979 efter c:a 5 års tillämpning av IC-tekniken och deras tillfredsställelse i övrigt med metoden synes vara värd att ta fasta på för kulvertsvetsar. Den halvtransparenta 3M "Dry film" - tekniken med förbättrad bildkvalitet torde innebära ytterligare fördelar speciellt i kombination med dagsljuskassetter så att behovet av mörkrum eliminieras.

Litteraturreferenser

1. J.C. Domanus, P.A. Ruault: Industrial application of radiographic paper
2. P.A. Ruault: The Search för Rapid Information Using Radiographic Papers for Industrial Radiography Applications
3. B.E. Huggins: Radiography with Low Energy Radiation
4. Roy E. Wysnewski: Relevations at Low kV
5. J.C. Domanus: Industrial Radiography on Radiographic Paper
6. R. Halmshaw: Industrial Radiology (Handbook)
7. P.A.E. Stewart: Advances in radiography and fluoroscopy

FÖRTECKNING AV RÖRPROVER MED ISOLERING

Rörprov Nr	Ytterdiameter polytenmantel	Ytterdiameter stålrör	Längd
1.	ø 140 mm	ø 60,3 mm	420 mm
Testfel:			
Radiella hål:	ø 7, ø 10, ø 12, ø 15 och ø 20 mm.		
Axiella hål:	3 st ø 5 och 2 st ø 8 mm		
2.	ø 140	ø 60,3	500
Testfel:			
Radiella hål:	5 st ø 8 mm		
3.	ø 160	ø 76,1	500
Testfel:			
Axiella hål:	4 st ø 5 mm		
4.	ø 160	ø 76,1	420
Testfel:			
Axiella hål:	2 st ø 10 mm Isoleringsskarv		
5.	ø 170	ø 76,1	360
Testfel:			
Radiella hål:	8 st ø 3 och 6 st ø 5 mm		

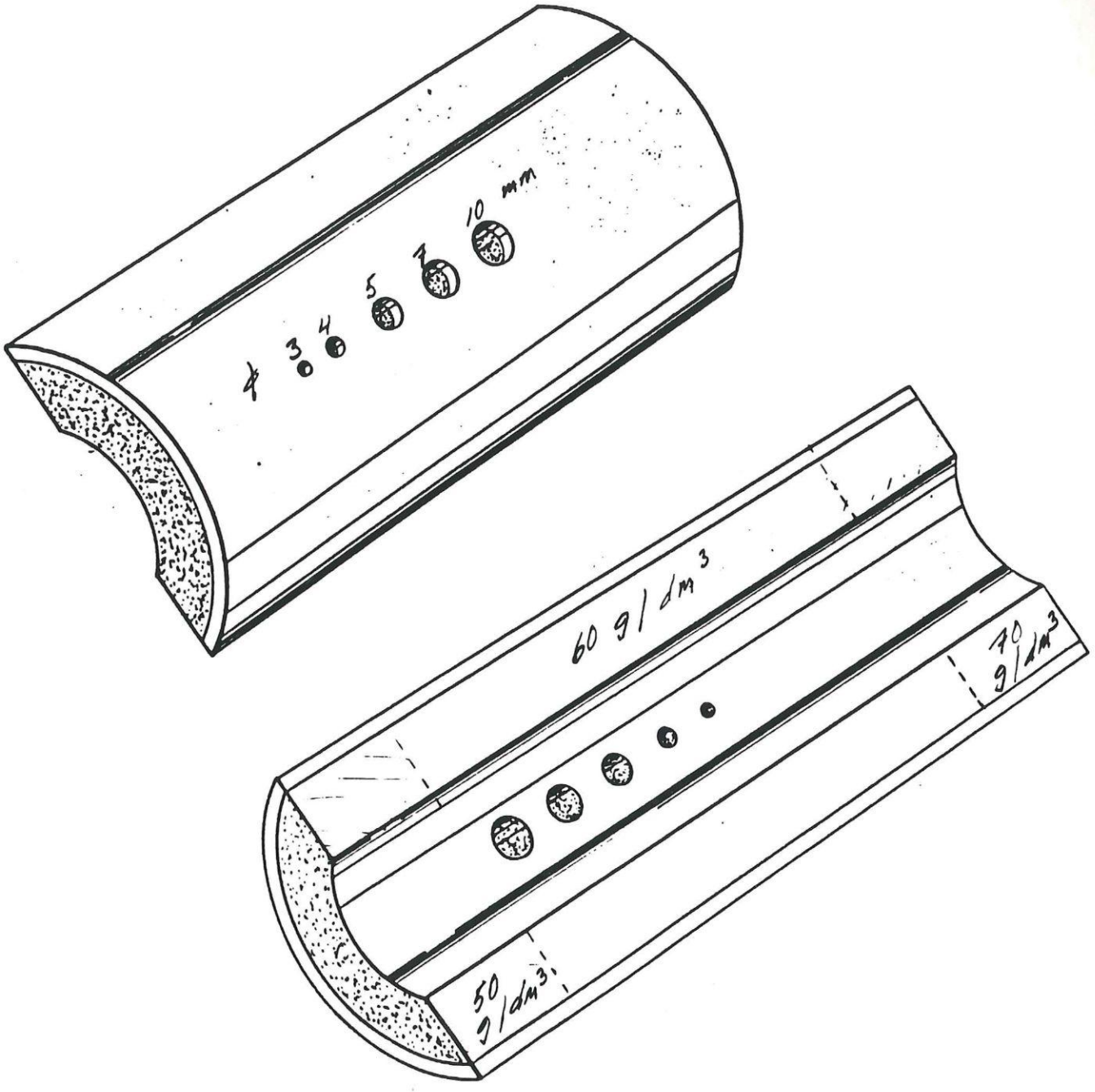
Rörprov Nr	Ytterdiameter polytenmantel	Ytterdiameter stålrör	Längd
6.	ø 180 mm	ø 88,9 mm	500 mm
Testfel:			
Axiella hål:	4 st ø 10 mm		
7.	ø 230	ø 114,3	500
Testfel:			
Radiella hål:	2 st 5 x 30 mm		
Axiella hål:	3 st ø 5, 2 st ø 10 och 1 st ø 12 mm		
	Isoleringsskarv		
8.	ø 250	ø 139,7	500
Stålstöd för isolering.			
9.	ø 280	ø 168,3	500
En sektor ca 120° av isoleringen avlägsnad.			
10.	ø 230	ø 168,3	500
Inga testfel.			

Referenskropp för medfotografering vid röntgenkontroll av isolerskikt i kulvertrör

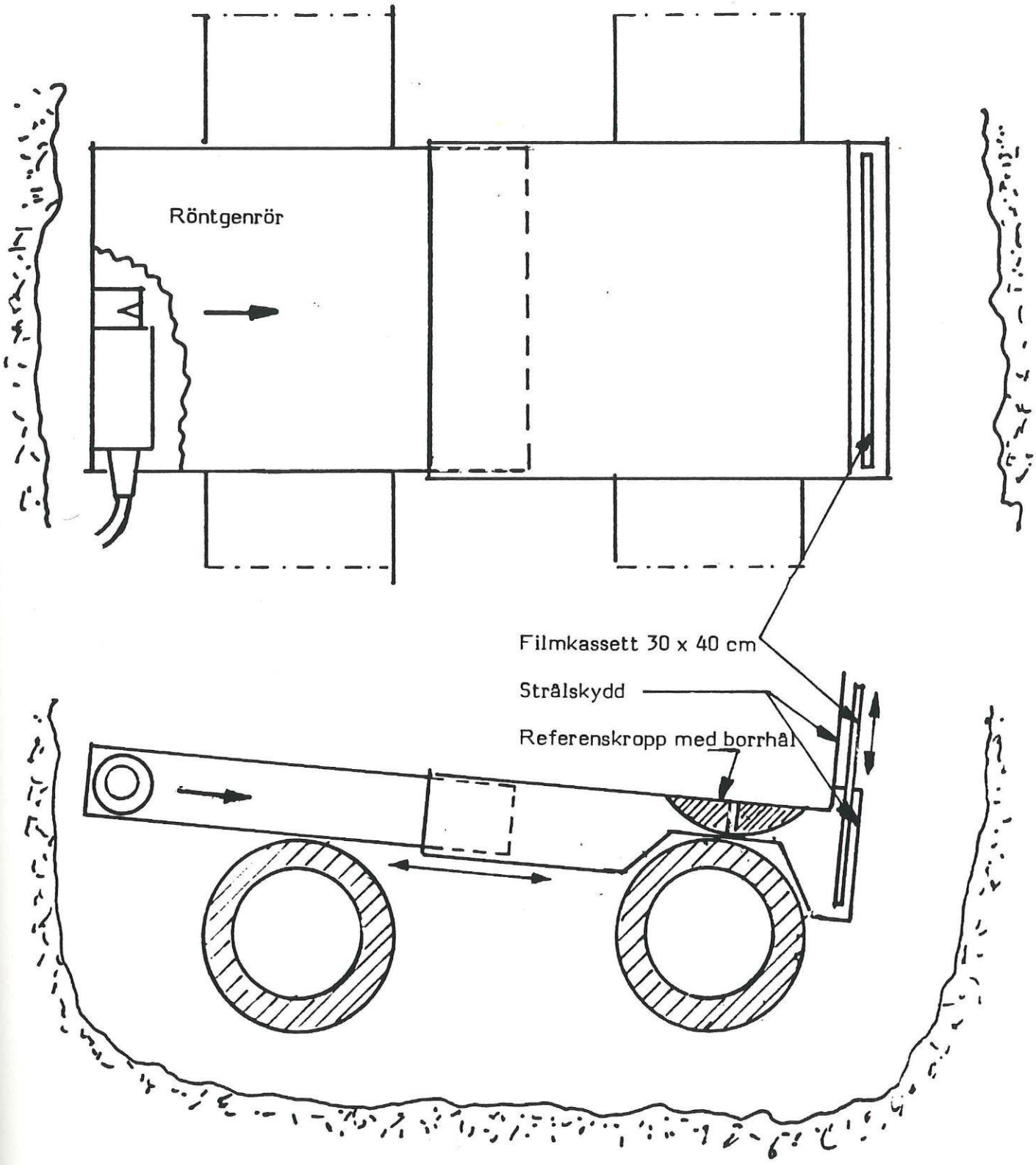
Referenskroppen skall ha samma dimensioner som det kulvertrör som skall kontrolleras och ifråga om polyetenmantelns tjocklek vara representativt.

De radiella borrhålen utgör referensfel varmed erforderlig bildkvalitet kan verifieras t ex att borrhål 4 mm skall vara synligt på röntgenbilden.

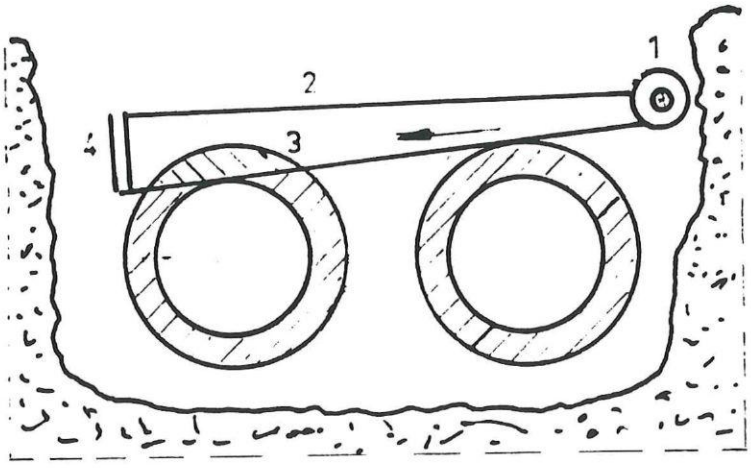
Referenskroppen kan även vara sammansatt av sektioner med olika densitet hos isolerskiktet. Därigenom kan densitetsbestämning utföras genom jämförelse av svärtning.



Referenskropp för bestämning av bildkvalitet och densitet.



Principskiss visande exponeringshuv med inbyggt röntgenrör (KP) och referenskropp samt ficka för filmkassett.

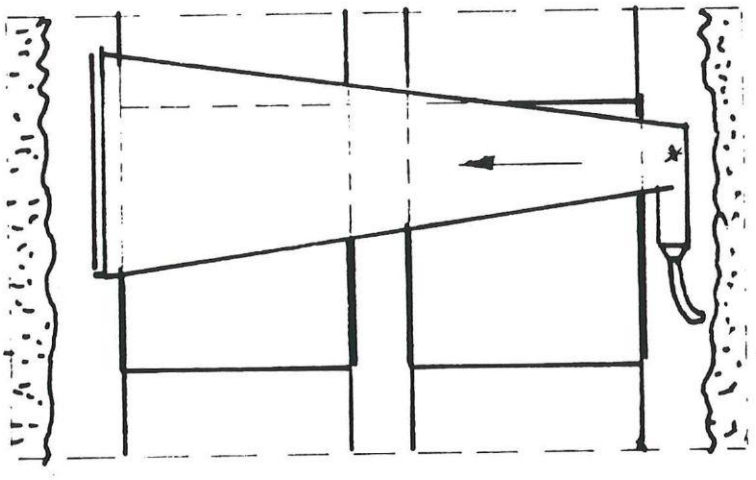


1: Röntgenrör

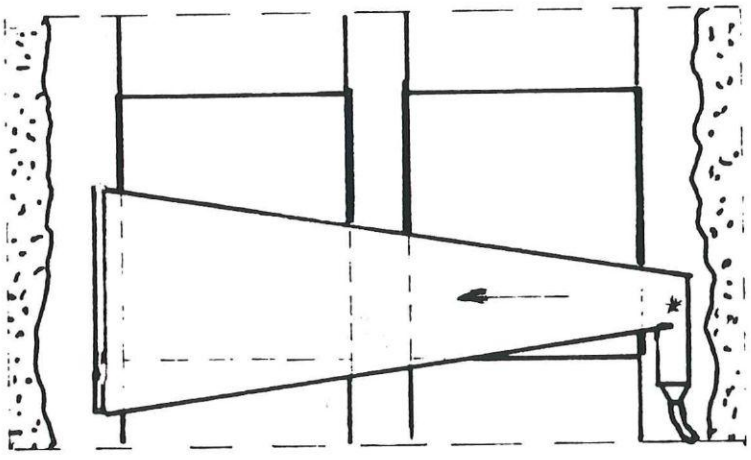
2: Exponeringstratt

3: Kontrollerat parti

4: IC-papper 30x40 cm i metallkassett (Samma papper kan användas för två exponeringar)

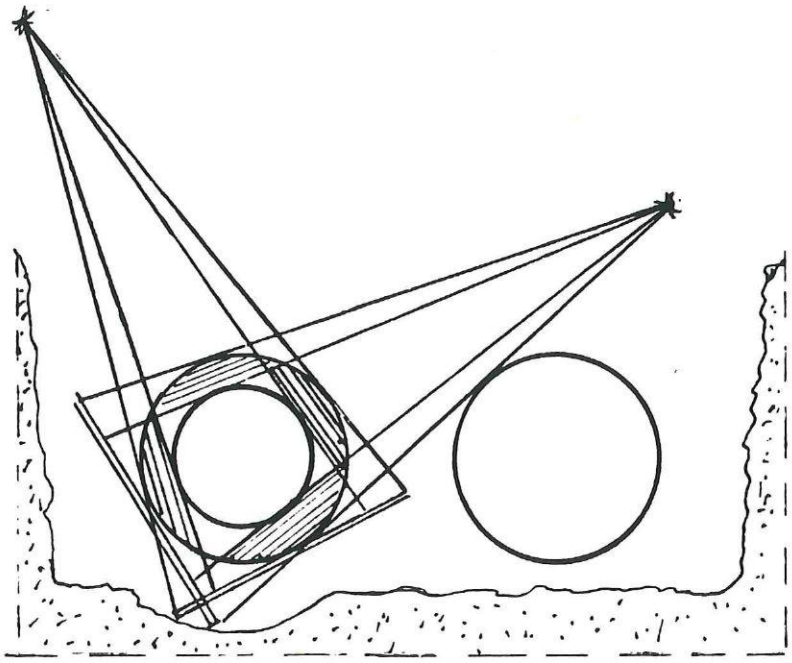


Exponeringslägen för kontroll av skarven i det vänstra kulvertröret

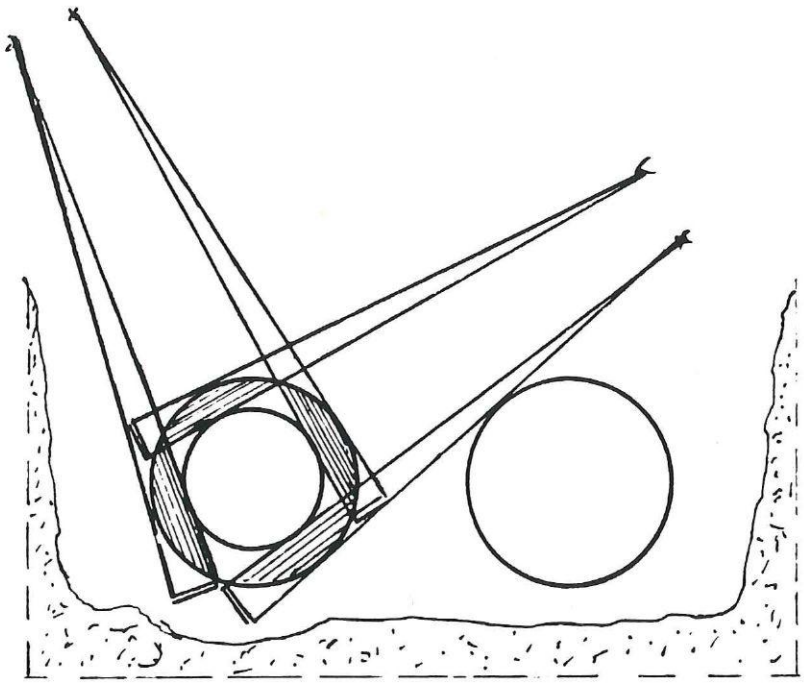


För det högra röret utföres motsvarande operation med omvänd strålriktning

Metodik vid röntgenkontroll av övre delen av isolerskiktet vid skarvställe.



Teknik med två exponeringar med ca 90° förskjutning kan tillämpas vid ytterdiameter på polyeten manteln upp till 225 mm. Två ungefär diametralt belägna områden av isoleringen kan exponeras på ett IC-blad. (30x40 cm)



Vid mantelrör med diameter större än 225 mm krävs fyra exponeringar

Exempel på exponeringsteknik vid röntgenkontroll av isoleringsskikt runt hela omkretsen. Ca 80-90 % av hela volymen kan täckas in.

RÖNTGENKONTROLL AV ISOLERSKIKT I KULVERTRÖR

Olika applikationer - Feltyper och avvikelser som kan detekteras

Skarvställen i kulvertledning.

Provning utföres med portabel utrustning och upptagning av bilder på röntgenkänsligt papper 30 x 40 cm. Detta utföres lämpligen av kontrollföretag. På sikt kan portabel lågdosgenomlysningsutrustning med TV-monitor för bildpresentation utvecklas.

Detekterbart:

- Bristande utfyllning
- Blåsbildningar
- Smala värmetransporterande kanaler från stålrör ut mot mantel
- Spalter mot rakrörets isolering
- Densitet (jämförelse med likare)
- Fuktzoner i rakrörs ändar
- Koppartrådar skarvning och läge
- Krympförbandets status

Fittings rörböjar, T-stycken

Provning utföres hos tillverkaren antingen med mobil utrustning via kontrollföretag eller med stationär utrustning. Den senare kan vara så utformad (röntgenskåp för genomlysning och bildupptagning) att ingen särskild strålskyddsutbildning krävs för personalen.

Detekterbart:

- Mediarörets läge
- Rörstödens läge
- Koppartrådars läge
- Bristande utfyllning
- Blåsbildningar
- Densitet
- Manteltjocklek

Rakrör

Provning utföres hos tillverkaren med stationär genomlysningsutrustning med lågdos CCD-teknik.

Detekterbart:

- Densitet
- Bristande utfyllning
- Blåsbildningar
- Rörstödens läge
- Koppartrådars läge
- Centrering
- Manteltjocklek

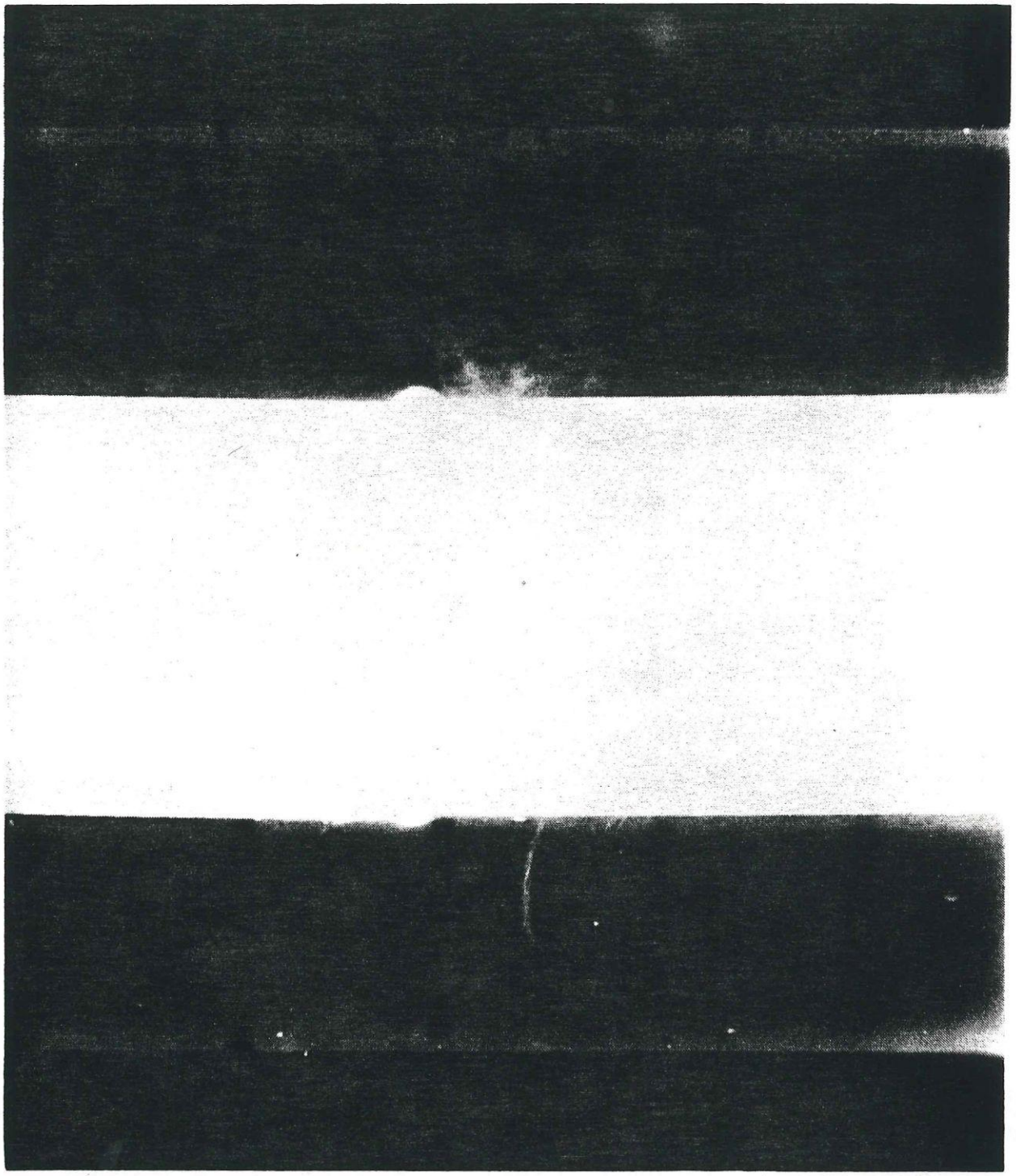
Laboratorieprov:

Provning utföres med stationär avancerad genomlysningsutrustning med avancerade analysmöjligheter.

Typprovning (leverantörsgodkännande) av inskickade

- Rakrör
- Fittings
- Uttagna provstycken från skarvställen

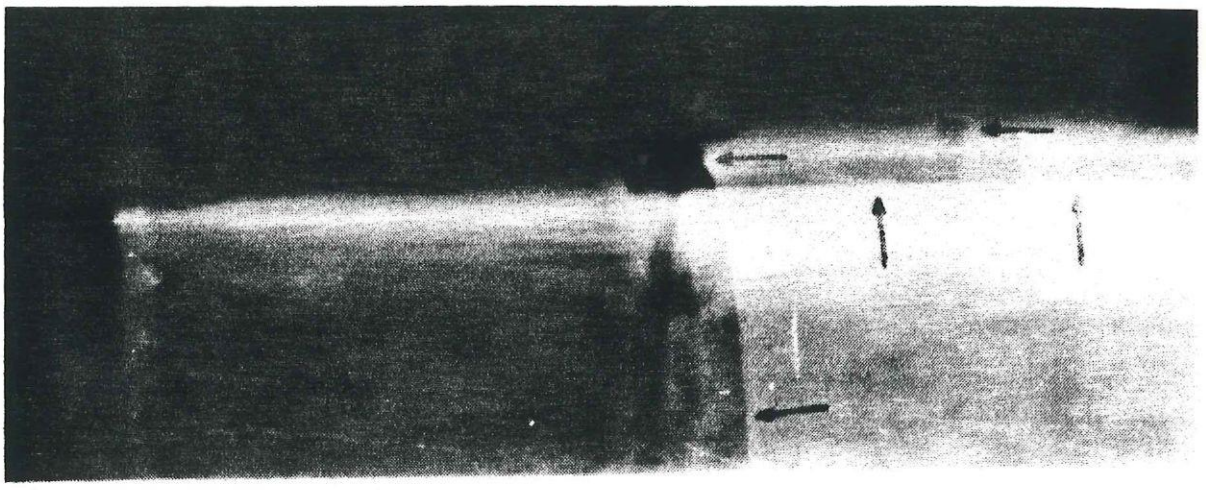
BILAGA 6

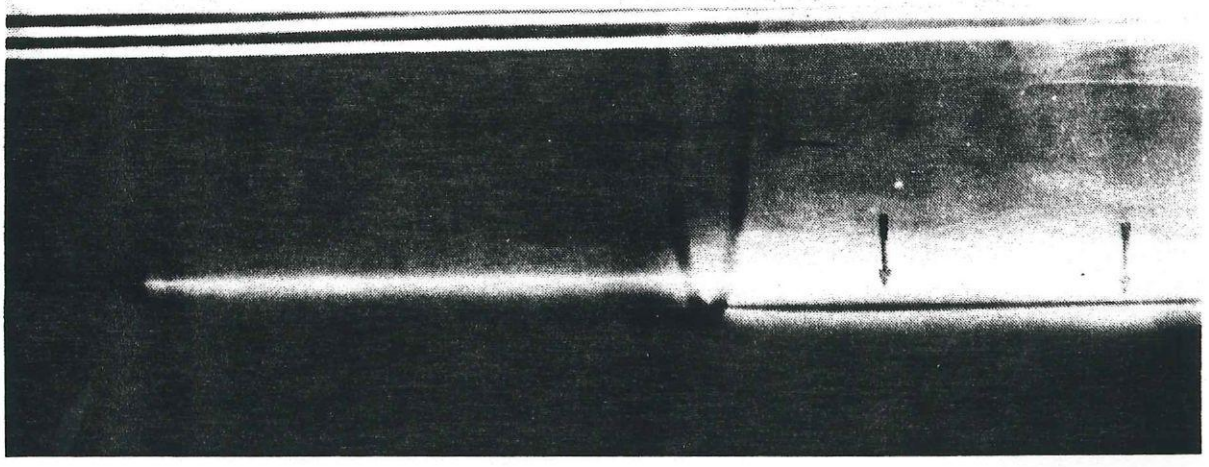


IC-bild av rörprov nr 5 (Stålrörsdim 76,1 mm). Bilden visar en serie radiella borrhål ϕ 5 respektive ϕ 3 mm genom mantelröret och isoleringsskiktet.

Hålen ϕ 3 mm ligger längs samma mantelgeneratris medan 5 mm hålen ligger stegvis förskjutna på omkretsen.

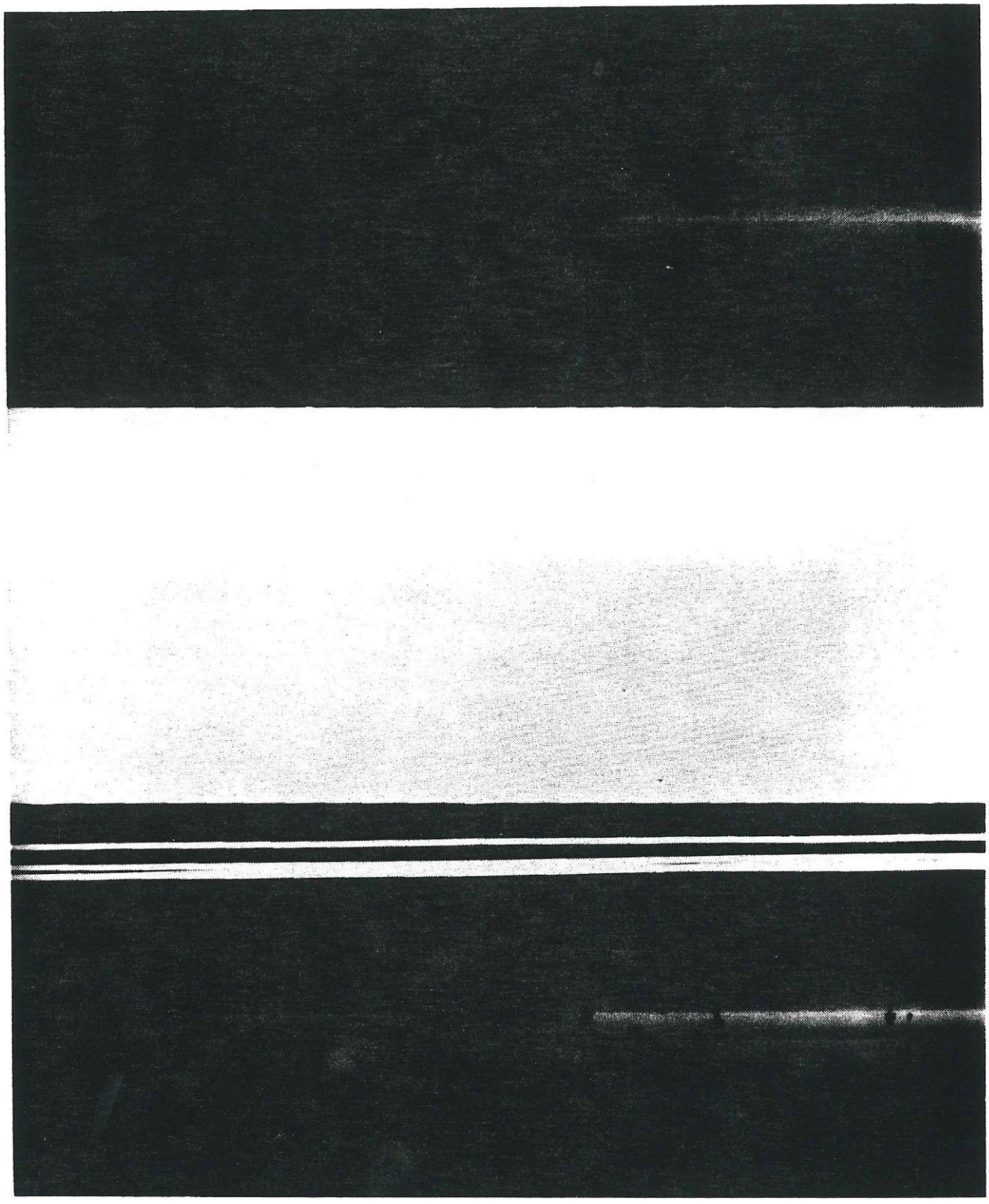
Bilden visar även mindre porositeter i PUR-skiktet samt en pluggsvetsning i polyetenmantelröret.





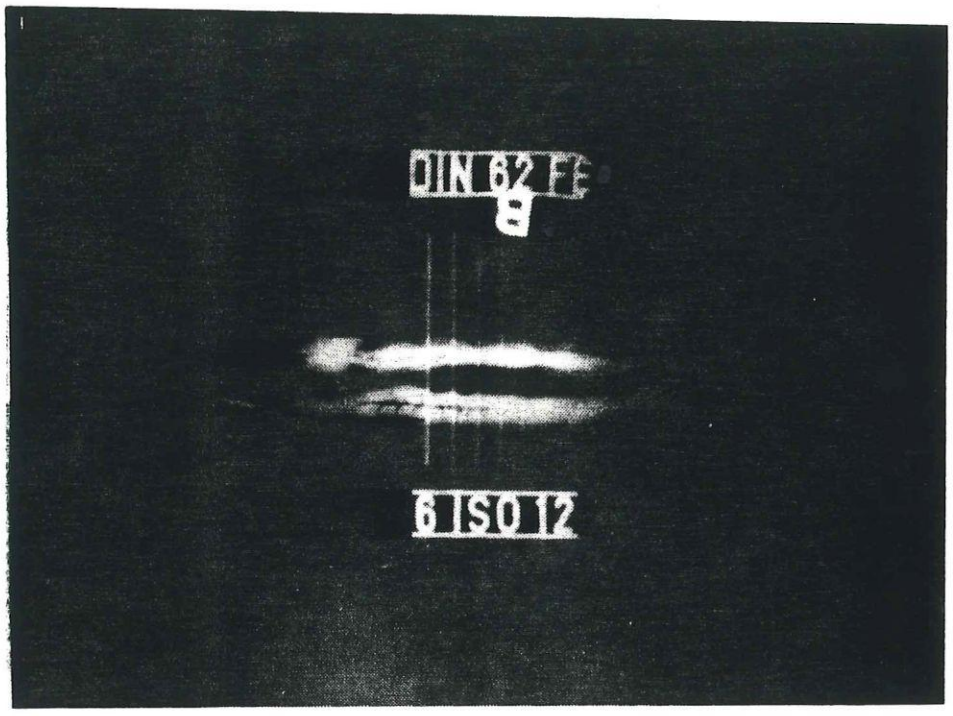
IC-bild av skarvställe i rörprov nr 4 (Stålrörsdimension 76,1 mm). Bilden visar övergången mellan polyetenmuff och rakrörets mantelrör med krympmanchett och de spalter som därvid bildats.

Man kan även delvis se koppartrådarnas läge samt en lång "vit rand" i isoleringsskiktet som kan tänkas vara en "skinnbildning". Ett radiellt borrhål i muffen ø 6 mm är delvis skönjbart.



JC-bild av rörprov nr 4 (samma skarvställe som bilaga 7, sid 2).

De iakttagelser som kan göras är väsentligen de samma som angivits på sid 2.





IC-bilder av svetsskarv i stålrör 139,7 x 3,6 mm. Två ellipsupptagningar med något olika strålriktning har utförts. Av trådskalans sju trådar är sex synliga, d v s trådskönjbarheten är 0,32 mm. Kravet i SS 11 41 30 är för klass A 0,20 mm och för klass B 0,13 mm.

Med viss optimering av tekniken bör klass A-kravet kunna uppfyllas, vilket enligt litteraturuppgifter har praktiskt verifierats.

Bilderna visar allvarliga svetsfel i form av porer, rotfel, bindfel och spricka (IIW-betyg = 1)

RÖNTGENRADIOGRAFERING AV SVETSAR I STÅL - MOBIL UTRUSTNING

Jämförelse mellan vanlig metod med röntgenfilm och IC-papper ("röntgenpapper")

	Film:	Papper:
Röntgenapparat	- Vanligen portabel utrustning 160-200 kV, röntgenrörets vikt 20-40 kg. Pris 80-100'. eller (vid större uppdrag) - S.k. "konstantpotentialapparat" (KP)*) 150-160 kV, 10-20 mA. Röntgenrörets vikt endast 8 kg men högspänningsgenerator mm på kärra tillkommer, vikt 160-200 kg. Pris 175-225'.	- Samma typ av röntgenutrustning krävs. KP-apparat är dock att föredra ty man kan då exponera med lägre kilovoltvärde. KP-apparater kompenserar dessutom för variationer i nätspänning, vilket säkerställer exponeringsdosen.
Framkallningsutrustning	- Röntgenbuss med inrett mörkrum för manuell framkallning erfordras (tankar, torkskåp, granskningslampa).	- Mindre skåpvagn med enklare mörkrum räcker. Pappersframkallaren och eltorken är små och relativt billiga bänkapparater. Framkallningssystem som ej kräver mörkrum finnes.
Framkallning och torkning	- Tidåtgång: cirka 1 timme.	- Tidåtgång: någon minut.
Film/papper:		
- Upplösning	- Mycket god.	- Ej särskilt bra.
- Kontrast	- Mycket bra.	- Mycket bra - ibland bättre än med film.
- Användbart svärtningsintervall	- Stort.	- Begränsat
- Kostnad	- Mycket dyr.	- Billig (ung. 20% av filmkostnad).
Granskning	- Granskning av transparent röntgenfilm kräver särskild granskningslampa och avskärmad allmänbelysning.	- Granskningen kräver ingen utrustning.

*) För dessa apparater helvågslikriktas högspänningen innan den matas in i röntgenröret. I de portabla apparaterna sker halvvågslikriktning i röntgenröret.