



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.



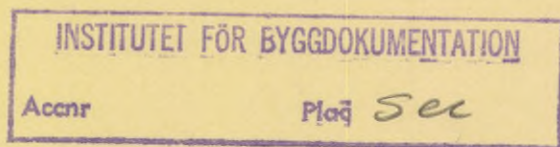
**Rapport**

**R62:1984**

**Metoder för lokalisering av  
läckor på värmekulvertar**

**Tor Rundström  
Arne Schleimann-Jensen**

R  
A/W



**Byggeforskningsrådet**

R62:1984

METODER FÖR LOKALISERING AV LÄCKOR  
PÅ VÄRMEKULVERTAR

Tor Rundström  
Arne Schleimann-Jensen

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820089-6 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Studsvik Energiteknik AB, Nyköping.

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

R62:1984

ISBN 91-540-4148-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
1. BAKGRUND	3
2. MÅLSÄTTNING	5
2.1 Elektroniska larmsystem	5
2.2 Akustiska metoder	6
2.3 Värmeamera	7
3. PROVKRETS	8
4. ELEKTRONISKA LARMSYSTEM	9
4.1 Allmänt	9
4.2 Inledande försök	12
4.3 Simulering av läckor	15
4.4 Problem vid lokalisering	17
4.5 Utbytbarhet	19
4.6 Övriga bedömningar	21
5. AKUSTISK METOD: NIVÅANALYS	23
5.1 Beskrivning av provkrets för akustiska metoder	23
5.2 Mätförfarande, mätutrustning	24
5.3 Mätresultat, nivåmetoden	25
5.4 Montering av accelerometrar	30
6. AKUSTISK METOD: KORRELATION	35
6.1 Mätförfarande, mätutrustning	35
6.2 Utbredningshastighet	36
6.3 Mätresultat, korrelationsmetoden	42
7. VÄRMEKAMERAMETODEN	53
7.1 Kort beskrivning av metoden	53
7.2 Litteratursökning, sökord	53
7.3 Egna försök	55
7.4 Referat av AGA rapport	58

8.	SLUTSATSER	61
8.1	Elektroniska larmsystem	61
8.2	Akustiska metoder	63
8.3	Värmekamera	63
8.4	Fortsatta insatser	64
	REFERENSFÖRTECKNING	66
	BILAGOR	
A.	Provanläggning	67
B.	Elektroniska larmsystem	68
C.	Mätpunkter på provanläggningen för akustiska metoder	73

## 1. BAKGRUND

Driftsäkerhet och ekonomi är fundamentala krav i våra fjärrvärmenät, och nätens ökade storlek ställer krav på bättre kulvertkonstruktioner, underhåll och övervakning. Snabba åtgärder vid haverier och läckage krävs bl a för att begränsa korrosionskadorna. Det finns idag några olika metoder att övervaka kulvertsystem t ex elektroniska larmsystem, läcksökning medelst lyssningsmetoder samt användande av värmekamera.

År 1981 svarade prefabricerade fjärrvärmekulvertar med PEH-mantel för 45 % av hela värmekulvertlängden hos de svenska värmeverken. Av nybyggnaden 1981 lades till 83 % denna kulverttyp, som oftast förses med elektroniska larmsystem för fuktövervakning. Antalet rapporterade skador på direktskummade kulvertar var 92 st, av vilka 55 % upptäcktes med hjälp av de elektroniska larmsystemen, som dock ibland uppvisar brister i sin funktion på grund av installationsfel eller mätprincipens begränsningar. En kartläggning av bristerna är nödvändig, om de ska kunna elimineras.

Stora längder äldre kulvertar saknar larmsystem. Behovet av en väl utvecklad teknik att lokalisera läckor på värmekulvertar, oberoende av larmsystem, är därför påfallande och kommer att så förbli för lång tid framöver.

I samverkan med Scandiaconsult har Water Research Centre (WRC) samt Palmer EAE i England utvecklat en avancerad och mycket användbar utrustning för korrelationsmätning. Detta innebär att akustisk läcksökning kan utvecklas till en praktisk och effektiv metod för läcklokalisering efter ett inledande forskningsarbete.





## 2 MÅLSÄTTNING

Projektets målsättning har varit att belysa svårigheterna med och studera grundförutsättningarna för tre olika metoder för läcklokalisering: Elektroniska larmsystem till direktskummade kulverttyper, läcklokalisering medelst akustiska metoder samt användande av värmekamera. För vardera metoden har ett antal delmål uppställts.

### 2.1 Elektroniska larmsystem

Med avsikt att kunna öka förståelsen för larm och läcklokalisering med elektroniska system har experimentella undersökningar gjorts enligt delmålen nedan:

- Genom konduktivitetmätningar studera de grundläggande förutsättningarna för att larm ska erhållas för fukt i isoleringen.
- Med artificiella läckage studera om larmtrådarnas placering relativt läckans läge har ett avgörande inflytande på tiden till larm.
- Studera störkällor som kan resultera i falska eller obefogade larm eller ge felaktiga resultat vid inmätning av läckor.

I målsättningen har även ingått att bedöma:

- De på marknaden idag förekommande larmsystemens utbyttbarhet sinsemellan.
- Nya typer av larmsystem.
- Korrosionsrisker om likspänningssystem används.
- Kvalitén på ritningsunderlaget för redan uppkopplade larmsystem.

## 2.2 Akustiska metoder

De akustiska metoder för läcklokalisering som berörs i projektet är nivåmetoden och korrelationsmetoden.

Vid nivåmetoden utnyttjas erfarenhetsmässig kännedom om läckljudets avtagande vibrationsnivå från läckstället till mätpunkter längs ledningen. Många parametrar påverkar emellertid precisionen i beräkningen av läckläget. I detta projekt har avsetts att studera bland annat vilken inverkan rörmaterial, godstjocklek, kringfyllning och eventuell fukthalt i isoleringen kan ha på läckljudets utbredning.

Vid korrelationsmetoden kan nivåvariationer i tiden kännas igen vid den akustiska analysen, som i detta fall baseras på mätning av tidsskillnaden mellan samma nivåvariationer i läckljudet vid ankomsten till två olika mätpunkter. Med kännedom om utbredningshastigheten för läckljudet kan man beräkna avståndet till läckan. Parametrar som påverkar utbredningshastigheten är bl a tryck, temperatur, rörmaterial och godstjocklek.

De parametrar för nivå- och korrelationsmetoden som har avsetts bli belysta är följande:

- Utbredningsdämpning för olika rördimensioner
- Dito för olika rörmaterial (stål, koppar)
- Utbredningsdämpning i rör med olika isoleringsmaterial, isoleringstillstånd torrt, vått, osv
- Inverkan av areaförändringar hos röret på läckljudets utbredning
- Avgreningars inverkan på läckljudets utbredning

- Utveckling av metod för bestämning av ljudutbredningshastighet i vatten i olika rör
- Läckljudets variation med temperatur och tryck
- Reflexförhållanden i rörets slutände samt vid areaförändringar
- Resonansfrekvenser i rörsystem för olika rörmaterial, -dimensioner, vatten-tryck och temperaturer

### 2.3 Värmekamera

Värmekamerametoden baserar sig på att isoleringen i en värmekulvert blir sämre då isoleringen blir blöt t ex vid en läcka hos medieröret eller inläckning av grundvatten i kulverten. Härvid uppvärms intilliggande fyllning och man kan få en lokal uppvärmning av markytan ovanför läckan, som kan spåras med hjälp av värmekameran. Många parametrar påverkar dock precisionen hos denna metod, som t ex kulvertens läggningsdjup, temperatur, kringfyllning, markytans värmestrålningsegenskaper osv.

En del forskning har utförts i Norge och Danmark på detta område. Avsikten i detta projekt har varit att sammanställa de eventuellt dokumenterade erfarenheter som finns om denna läcklokaliseringsmetod.

### 3. PROVKRETS

Till den experimentella delen av arbetet har en ca 90 m lång provanläggning byggts upp enligt Bilaga A. Utformningen av anläggningen har styrts av kraven på parameterstudier vid de akustiska proven. För att kunna erhålla ett cirkulerande vattenflöde i större delen av anläggningen har sträckan för akustiska prov kompletterats med en returledning av direktskummade kulvertrör, där experiment med de elektroniska larmsystemen utförts.

Akustikprovsträckan innehåller 2 st areareduktioner med areaförhållandet 0.27 resp 0.44, 3 st avgreningar, en PUR-isolerad strålrörskulvert, en mineralullsisolerad kopparrörskulvert samt oisolerade stål- och kopparrör, som vid behov isolerats med lösa rörskålar av mineralull. Inflytandet av torr och våt isolering har kunnat studeras genom att väta mineralullsisoleringen.

I returledningen har inlagts totalt 24 m specialtillverkade kulvertrör med 4 larmtrådar, medan återstoden utgörs av standardkulvertrör med 2 larmtrådar.

Provanläggningen har kunnat anslutas dels till en trycksatt vattenbehållare för tryckhållning under försök med utströmmande vatten, dels till en av Studsviks försörjningskretsar för cirkulerande varmvatten, som normalt används till kulvertfältprov.

## 4. ELEKTRONISKA LARMSYSTEM

4.1 Allmänt

Kulvertisoleringen kan i elektriskt hänseende betraktas som ett oändligt stort antal parallellkopplade resistanser och kapacitanser inkopplade mellan kulvertens larmtråd och stålrör. Om en spänning påläggs fås en RC-krets enligt figur 4.1 nedan, och om strömmen i kretsen mäts som en spänning över ett mätmotstånd erhålls ett enkelt larmsystem. Eftersom isoleringens impedans

$$Z = \left( \frac{1}{R^2} + (2\pi fC)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{ekv 4.1})$$

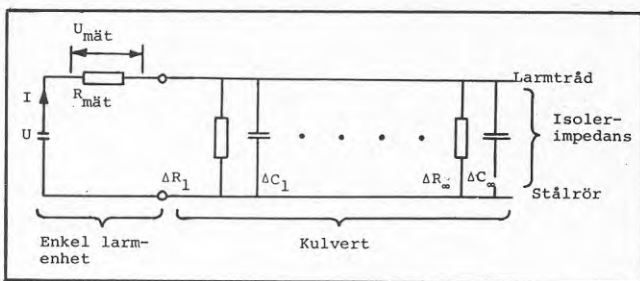
där

f = frekvens

$1/R = 1/\Delta R_1 + \dots + 1/\Delta R_\infty$ , R = resistans

$C = \Delta C_1 + \dots + \Delta C_\infty$ , C = kapacitans

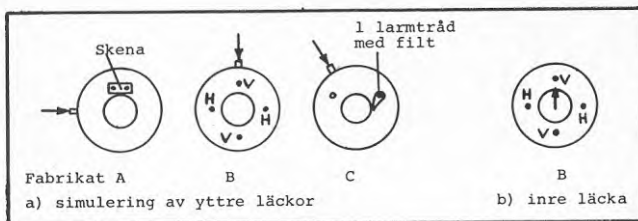
blir värdet på impedansen Z avhängigt den pålagda spänningens frekvens. Då vatten tränger in i isoleringen kommer isoleringens resistans att lokalt bli låg varvid strömmen i RC-kretsen ökar upp till ett gränsvärde, larmgränsen, och larm erhålls.



Figur 4.1

Principschema för ett enkelt larmsystem

För att studera vatteninträngningens inflytande på impedansminskningen har prov och mätningar gjorts på tre olika kulvertfabrikat A, B och C under simulering av yttre läckage i skarvarna S2, S6 och S9 (se Bilaga A) samt under simulering av inre läckage i kulverten B, som utrustats med fyra larmtrådar för studier av läcklägets inverkan på tiden till larm. Läckornas placering framgår av Figur 4.2.



Figur 4.2

Läckans läge relativt larmtrådarna

Vid läcklokalisering med hjälp av larmtrådar används i regel en pulsekometer eller en impuls-reflektometer. Instrumentet sänder i ledaren ut en puls, som reflekteras om den når en defekt eller förändring i larmtrådens karaktäristiska impedans  $Z_0$ , vilken approximativt kan beräknas som för en ledare över ett jordplan.

$$z_o = \frac{60}{\sqrt{k_e}} \cdot \ln(2h/r) \quad (\text{ekv 4.2})$$

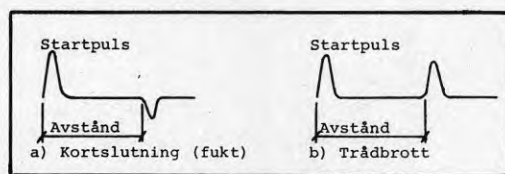
där

$k_e$  = relativ dielektricitetskonstant

$h$  = avstånd mellan ledarens centrum och jordplanet

$r$  = ledarens tvärsnittsradie

På en bildskärm erhålls ekobilder i princip enligt Figur 4.3, varvid löptiden kan mätas och avståndet till felet kan beräknas enligt ekv 4.3.



Figur 4.3

Idealiserade pulsekobilder

$$L = \frac{V}{2} \cdot t \quad (\text{ekv 4.3})$$

där

$L$  = avstånd till den förändring i karaktäristiska impedansen som ger ekot

$V = c/\sqrt{k_e}$  = vågutbredningshastighet

$c$  = ljushastigheten =  $3 \cdot 10^8$  m/s

$t$  = tidsskillnad mellan tidpunkt för utsänd och reflekterad puls

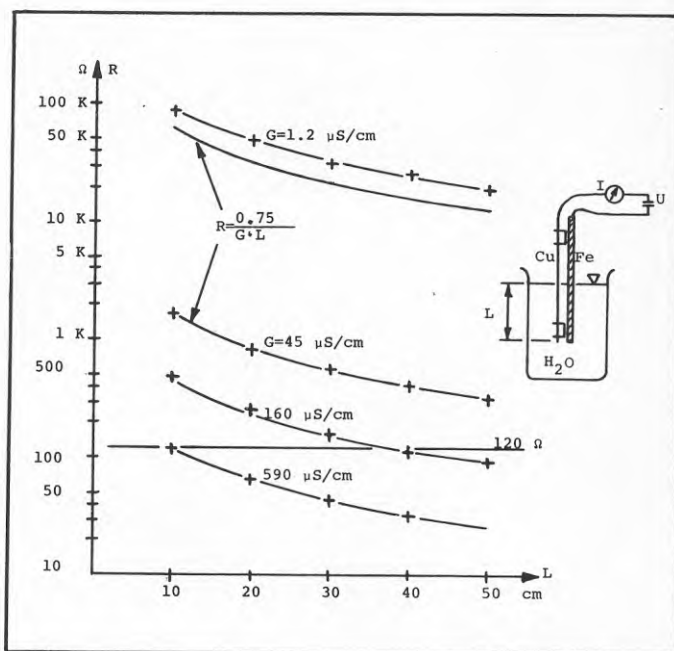
Kulvertarnas hopkopplingsmöjligheter har studerats genom att koppla samman larmtrådarna i skarvarna S3 och S7 till en sluten larmtråds-slinga genom fabrikaten A, B och C. Slingans pulsekobildd har sedan kunnat iakttas. Vidare har slingan använts för att få ett grovt samband mellan karaktäristisk impedans (eko) och resistansen i ett fuktställe.



Till kulvertarna har anslutits tillhörande larmenheter. Data för dessa framgår av Bilaga B.1.

#### 4.2 Inledande försök

Inledande konduktivitetmätningar har gjorts med en kulvertattrapp av plattjärn, larmtråd och distanshållare nedsänkt till olika djup i ett vattenbad med varierande konduktivitet. Från mätningarna har resistansen mellan plattjärn och larmtråd beräknats enligt ekv 4.1 och återges i Figur 4.4. Härur inses att den till år 1982 (1983) använda larmgränsen på  $120 \Omega$  kräver betydande mängder fukt om vattnet har normalt låg konduktivitet och om ingen larmaktivator används. Vidare bör beaktas att utrymmet mellan larmtråd och stålrör vid verkliga läckor upptas av en polyuretan/gas/vattenblandning och att övergångsmotstånd kan förekomma i form av polyuretan- och oxidskikt på både larmtrådar och stålrör.

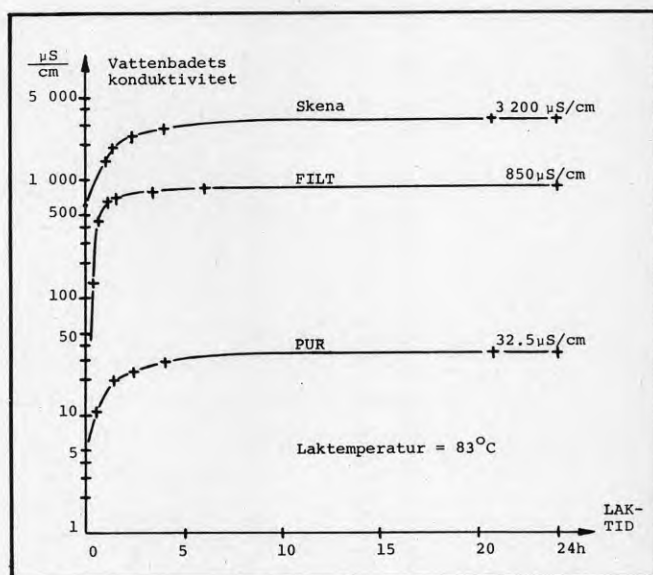


Figur 4.4

Resistansmätningar för kulvertattrapp i vatten



De hittills använda larmaktivatorerna hygroskopisk filt respektive saltpreparerad larmskena har kvalitativt jämförts med vanlig PUR-isolering vad gäller vattenuptagningsförmåga och urlakning av elektriskt ledande joner. Provbitar med volymen  $330 \text{ cm}^3$  urlakades under 24 timmar i  $600 \text{ cm}^3$  vattenbad vid  $83^\circ\text{C}$  med begynnelsekonduktiviteten  $1.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Resultaten sammanfattas i Figur 4.5 och Tabell 4.1.



Figur 4.5

Urlakningsprov på larmskena, hygroskopisk filt och PUR-isolering

Tabell 4.1

Provbit	Densitet $\text{kg}/\text{m}^3$	Vatten- uppt- förmåga	Urlakade joner	
			typ	mängd, $\text{mg}/\text{l}$
Filt	142	Mycket stor	$\text{SO}_4^-$	73
Skena	46	14 vol %	$\text{Cl}^-$	460
PUR	73	6 vol %	$\text{Cl}^-$	~ 5

Vid verkliga läckage kommer urlakade kloridjoner att påskynda lokal korrosion och ifrågasätts som lämplig aktivator, se Molander (1983). Speciellt vid läckage på mantelhöljet bör problemet beaktas, eftersom syre till korrosionsprocessen då kan tillföras utifrån.

Lakprovet utfördes vid 83°C vattentemperatur. Vid högre temperaturer kan PUR-isoleringen förväntas avge ytterligare joner genom hydrolys. För 10 representativa svenska fjärrvärmenät är emellertid årsmedeltemperaturen 82 - 88°C i framledningen och 40 - 59°C i returledningen, se Werner (1982), varför hydrolyseffekten kan bidra till snabbare larm endast under ca 1 månad/år i framledningen.

I en tidigare undersökning har uppskattats att larmtrådsbrott utgör ungefär 23 % av alla fel som kan förorsaka larm, se Rundström (1983). Lämpligheten i olika utföranden av larmtråds-skarvning har också diskuterats. Hållfastheten hos olika trådskarvar och larmtrådar har därför undersökts i dragprov respektive bockprov, se Bilaga B.2. Resultaten påvisar inte några större mekaniska svagheter i trådskarvar eller larmtrådar. Enbart lödda skarvhylsor har dock något sämre hållfasthet än pressade (och lödda) hylsor. De i verkligheten uppträdande trådbrotten synes därför bero på:

- Bristfälligt montage vid trådskarvning.
- Anvisningar i larmtråden invid kulvertisoleringskant, förmodligen härrörande från skumningsverktyg vid kulverttillverkningen.

### 4.3 Simulering av läckor

Yttre läckage har simulerats på de tre skarvtyperna A, B och C i skarvarna S2, S6 och S9. Nipplar anslöts axiellt mitt på skarvhyllsorna, 90° från de normalt använda larmtrådarna (se Figur 4.2). Till nipplarna tillfördes utifrån under tryck färgat vattenledningsvatten med konduktiviteten 290 - 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Under ett antal olika driftperioder enligt Tabell 4.2 bevakades impedansförändringen i isoleringen, dels genom manuella mätningar, dels med hjälp av de inkopplade larmenheterna. Tiden till larm eller resistansminskning framgår av Tabell 4.3. Resultatet för typen C reproducerades i skarven S8. Impedansförändringarna efter totalt 52 dygn för skarvtyp A återges i Bilaga B.3.

Tabell 4.2

Olika driftperioder

Driftperiod	Antal dygn	Temperaturer, °C		Läckvatten-tryck, kPa
		medierör	mantel	
1	19	konst 71 - 75	5 - 10	25 - 30
2	23	konst 71	0 - 5	40 - 50
3	8	konst 52	0 - 2	40
4	7	cykl 5 - 50	0 - 2	30 - 45
Totalt	57			

Tabell 4.3

Tid till läckageindikation

Skarvtyp	Larm-aktivator	Indikationstidpunkt		Typ av indikation
		period	total tid	
A	Skena	4	52 dygn	resistansminskning
B	-	4	57 dygn	ingen förändring
C	Filt	1	42 - 46 h	larm för fukt

Tiden till larm bestäms inte bara av larmaktivatorns egenskaper utan också av skarvisoleringens, exempelvis densitet, vattenupptagningsförmåga och läckagevägar i form av spalter. Genom jämförelse av resultaten för främst skarvtyperna B och C inses att läckagevägarna, se Bilaga B.3, har ett avgörande inflytande på tiden till larm.

Vid inre läckage är som tidigare visats (lak-) vattnets konduktivitet av betydelse för resistansminskningen. Vanliga värden för vatten i fjärrvärmenät visas i Bilaga B.4. I provkretsen, som fylldes upp med dejonat, har använts vatten med förhållandevis låg konduktivitet, eftersom vattnets ledningsförmåga endast ökade till 10 - 12  $\mu\text{S}/\text{cm}$  under provperioden. En inre läcka simulerades med ett genom isoleringen instuckat munstycke, som försörjdes med vatten från provkretsen. Läckhålet valdes till  $\phi$  0.5 mm och placerades vid medieröret rakt under en av larmtrådarna i den vertikala larmslingan enligt Figur 4.2. Kretstryck och -temperatur valdes till 0.8 - 0.9 MPa respektive 73 - 75 $^{\circ}\text{C}$ . Efter 6 dygns läckaetid erhöles larm från den vertikala larmslingan, varvid impedansförändringarna enligt Bilaga B.4 uppmättes. Försöken visar att larm för inre läckor fås på kortare tid om avståndet mellan läckan och larmtråden är litet.

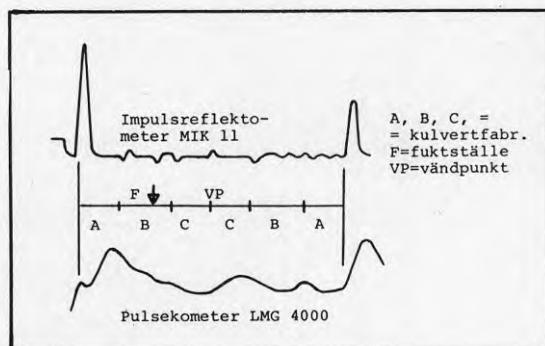
En jämförelse med liknande läckförsök på Energiwerken i Göteborg, se LEL (1982) kan sammanfattas i:

- Betydligt kortare tider till resistansminskningar erhöles i Göteborgsförsöken (8 minuter - 3 timmar) för tre olika kulvertfabrikat, troligen beroende på högre tryck och temperatur i provkretsen.
- Konstanta resistansvärden på 4 - 5 k $\Omega$  erhöles i slutet av försöksperioden i Göteborg för fabrikat utan larmaktivator, jämför resistansändringen för fabrikat B i Bilaga B.4.

- Både vid yttre och inre läckage kan vattnet lätt spridas i larmskenan, speciellt i spåren för larmtrådarna.

#### 4.4 Problem vid lokalisering

Då lokalisering av läckor, kortslutningsliknande fel eller trådbrott sker enligt pulsekometoden, erhålls i verkligheten inte de idealiserade pulsekobilder som tidigare visats i Figur 4.3. Störningar i ekobilden erhålls för exempelvis överkopplingar med elkabel, avvikande larmtrådsdragning i kompensatorer eller om larmtråden lagts nära stålröret i börjar och T-stycken. Dessa störningar försvårar läcklokaliseringen, jämför Figur 4.6 från Studsviks hopkoppling av larmtrådarna i de tre kulverttyperna till en gemensam trådslinga.



Figur 4.6

Ekobilder för sammankopplade kulvertar av tre olika fabrikat

En överkoppling av larmtrådarna med elkabel i exempelvis en kammare förorsakar inte bara ett störeko pga ändring i ledarens karaktäristiska impedans. I elkablar är också pulsens löphastighet betydligt lägre än i kulvertarnas larmtrådar, se Tabell 4.4, varför den med ekometoden mätta kabellängden blir 30 - 70 % längre än den verkliga, som i sin tur kan vara större än kulverttrörens längd vid överkopplingen. Problemet måste lösas enligt minst ett av de två alternativen:

- Kabelns elektriska längd mätt med löphastigheten i larmtråden och kulvert-rörets geometriska längd vid överkopplingen (kammaren) anges på larmritningen.
- Lokalisering görs från överkopplingspunkten (kammaren) med elkabeln bortkopplad.

Tabell 4.4

Experimentellt funna löphastigheter

Ledare	$v/2$ (m/ $\mu$ s)	index $1/\sqrt{k_e}$
kulvert 1	137	0.913
kulvert 2	133	0.887
kluvert 3	134	0.893
kabel RDOE	84	0.56
kabel EKLK	105	0.70

Ovan nämnda problem gäller också för kompensatorer, där larmtrådarna antingen överkopplas med elkabel eller läggs ringlade inuti kompensatorns isolering.

Som mål bör man ha att lägga larmtrådarna i böjar och T-stycken på samma stål-rörsavstånd som i raka kulvertrör, detta av två skäl:

- Störningar i ekobilden undviks.
- Risken för larm pga kortslutningsliknande fel minskar.

Precisionen i en lägesbestämning enligt pulsekometoden blir inte bättre än vad larmritningsunderlaget medger, eftersom larmritningarna är grundstenen vid översättningen från uppmätt läge utefter en larmtråd till geografiskt läge för



läckan. Ritningarna måste vara uppdaterade. Från granskning av befintliga ritningsunderlag dras slutsatsen att underlagets kvalitet i många fall bör höjas, se Rundström (1983). Eftersom larmtrådslingan utgör ett elektriskt system, bör larmritningarna upprättas på ett standardiserat sätt.

Mätosäkerheten i ekometoden kan uppskattas till 1 å 2 % av uppmätt trådlängd. Noggrannheten i lägesbestämningen förbättras om sträckan mellan mätplats och läcka kan kortas eller om tillfälle till mätning från två håll erbjuds.

#### 4.5 Utbytbarhet

För att studera de tekniska begränsningarna i olika möjligheter till hopkoppling och utbytbarhet har antagits tre olika hopkopplingsnivåer:

- Kulvertnivå: En sektion av ett kulvertfabrikat med tillhörande larmenhet kompletteras med en kortare kulvertsträcka av annat fabrikat så att en sammanhängande larmslinga bildas.
- Enhetsnivå: En larmenhet kopplas till en kulvertsektion på annat sätt än gängse.
- Systemnivå: Larmenheter av olika fabrikat hopkopplas via ett signal(kabel)system till en gemensam centralenhet.

Eftersom alla på den svenska marknaden förekommande kulvertarna utrustats med två larmtrådar med arean  $1.5 \text{ mm}^2$ , är hopkopplingen på kulvertnivå skäligen enkel. I vissa fall bör man iaktta extra försiktighet så att man med hjälp av distanshållare får ett korrekt avstånd mellan larmtråd och stålrör utefter hela skarvens längd. De för kulvertfabrikaten lämpligaste larmgränserna kan dock visa sig vara olika, jämför problem på enhetsnivå.

Larmenheter arbetande enligt principen impedans- eller resistansmätning kan kopplas till ett godtyckligt valt kulvertfabrikat om larmleverantörens installationsanvisningar följs. Enhetens larmgräns bör dock passa det valda kulvertfabrikatets larmaktivator (om sådan finns). Försöken redovisade i kapitel 4.2 - 4.3 visar att följande kombinationer bör kunna accepteras på nuvarande kunskapsbas:

Larmaktivator	Larmgräns
Hygroskopisk filt	120 $\Omega$ eller pulseko
Ingen aktivator, skena	Minst 1.0 k $\Omega$ , se kapitel 4.6

Enheter arbetande enligt pulsekopprincipen kan bara användas till kulvertfabrikat där larmtrådsförläggningen i både rokrör, böjar och T-stycken medför ett konstant värde på den karaktäristiska impedansen (ca 200  $\Omega$ ).

Hopkoppling på systemnivå förefaller möjlig genom att använda speciella komponenter (universitysalenheter, adapterkort och signalgivare) för överföring av larmsignalerna. En förutsättning för detta är att larmenheter utrustats med reläutgång.

Vid läcklokalisering kan hopkoppling av två olika kulvertfabrikat ge upphov till dels störkon, jämför exceptionella sådana i Figur 4.6, dels felinmätning av avståndet till en läcka pga olika löphastigheter i de olika kulvertfabrikatens larmtrådar, se Tabell 4.4. Problemen är dock av underordnat slag.



#### 4.6 Övriga bedömningar

Orsaker till obefogade larm har i tidigare undersökningar konstaterats vara onödiga trådbrott eller kortslutningar. Vidare kan åsknedslag åstadkomma elektronikfel, som i sin tur kan ge rena falsklarm. Här har undersökts om parallellt med kulverten dragna elkablar kan förorsaka falsklarm genom induktion. Härvid användes kabeln till ett svetsaggregat som störkällor, vilka tejpades fast på mantelröret till kulverten. Den inducerade spänningen mellan larmtråd och stålrör mättes med ett oscilloskop. För jämförelse mättes även inducerade spänningar på motsvarande sätt i kablar av EKLK- och RDOE-typ.

Som högsta värde uppmättes 0.6 V p-p inducerad störspänning i RDOE-kabeln, medan 0.1 V p-p erhöles i kulverten. Markförlagda elkablar nära värmekulvertar synes därför i normala fall inte utgöra någon störningsrisk.

Ett i Sverige använt larmsystem, där en likspänning påläggs mellan larmtråd och stålrör, har bedömts vad gäller risken för korrosion. I detta system är spänningen 10 V = och larmgränsen vanligtvis inställd på minst 50 k $\Omega$ . Då fukt tränger in i isoleringen och larm erhålls är strömstyrkan i fuktstället maximalt 0.2 mA, vilket bedömts vara ofarligt ur korrosionssynpunkt. Resistansen i fuktstället kan dock minska ytterligare, varför kulverten vid larm bör bortkopplas, se Molander (1983), men med bibehållen larmindikation. Man kan även styra eventuell korrosion till larmtråden genom att ansluta denna till larmenhetens negativa pol.

Lämpliga värden på larmgränser har översiktligt granskats för kulvertar utan speciella larmaktiva-  
torer. Här måste avvägningar göras mellan önskemål  
om små fuktmängder vid larm och möjligheten att  
med ekometoden lokalisera läckan, dvs frågeställ-  
ningen blir: Vilket är sambandet mellan resistan-  
sen och karaktäristiska impedansen för fuktig  
isolering? Detta undersöktes något ovetenskapligt  
med hjälp av en isolerskål av mineralull och i  
denna injicerat vatten i skarv S3. Resultaten  
visar att larmgränsen kan väljas till minst  
1.0 k $\Omega$ . För larmenheter som mäter isoleringens  
impedans med en pålagd växelspanning bör även en  
högsta tillåtna larmgräns sättas, om den reella  
larmgränsen för fukt ska bli oberoende av den i  
övrigt torra kulvertens längd (kapacitans), se  
Bilaga B.5. Den maximala larmgränsen kan sättas

$$\text{Max larmgräns (k}\Omega\text{)} = 2\,500/f(\text{hz}) \quad (\text{ekv 4.4})$$

där  $f$  = den pålagda växelspanningens frekvens

Vid val av larmgräns bör också isoleringens  
impedans vid acceptabla mängder byggfukt beaktas.  
Gränsvärden för lägsta resistans vid byggfukt  
samt mätmetod för resistansen bör specificeras.

## 5. AKUSTISK METOD: NIVÅANALYS

### 5.1 Beskrivning av provkrets för akustiska metoder.

---

I kapitel 3 ovan beskrevs provkretsens kompletta uppbyggnad. Bilaga A anger provkretsens uppbyggnad med mått och rörtyper anvisade. På den del som avsetts för akustiska metoder har mätpunkter placerats ut på ledningarna i positioner som framgår av Bilaga C.

I samtliga mätpositioner från 1 till och med 30 har plattor med gängdubb för montering av accelerometer limmats på rören, detta för att så god koppling till röret som möjligt skulle erhållas. (Se för övrigt 5.5 "Montering av accelerometer".)

Avsikten var från början att läckljud skulle åstadkommas genom att verkliga läckor utfördes i vissa punkter på rören. Vid försök att få dessa läckor stabila vad beträffar läckljudets nivå, uppstod problem med varierande strömning genom de hål som avsetts som läckor. Detta i sin tur ledde till att läckljudets nivå varierade väsentligt under försöken.

För att jämförelser skulle kunna utföras mellan de olika delarna på provkretsen krävs en signal, ett läckljud på ledningarna som är reproducerbar i de punkter som avsetts som läckställen. Därför simulerades läckorna genomgående i försöken med en vibrator som kopplades till rören i de punkter som avsetts som läckställen.

Vibratorn drevs av en signalkälla som var helt stabil i tiden vad beträffar nivå och frekvensinnehåll. Signalen var en brussignal (500 Hz till 5.5 kHz), som mycket liknar normala läck-

ljud. Genom detta förfarande kunde dessutom helt stabila tryckförhållanden erhållas, eftersom ingen tappning av vatten genom läckställen förekom.

## 5.2 Mätförfarande, mätutrustning

Som beskrivits under 5.1 ovan har läckljudet vid samtliga försök åstadkommits av en vibrator, som mekaniskt kopplats till provkretsen i ett antal olika positioner. Vibratorn, som drivits av en brusgenerator med brus från 500 Hz till 5 500 Hz, simulerar på detta sätt en läcka i dessa positioner.

Vibrationsnivåer på olika avstånd från vibratorn, "läckan", har sedan bestämts med vibrationsnivåmätutrustning. Vid försöken på olika kulvertrör har tryck och temperatur varierats.

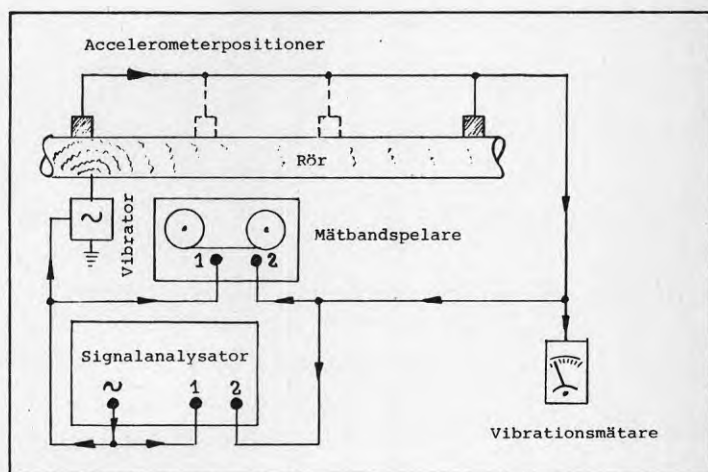
För att så god mätnoggrannhet som möjligt skulle erhållas har alla mätpositioner utförts med limmade gängdubbar mot röret. På detta sätt har god kontakt mellan accelerometer och rör skapats. (Angående montering av accelerometer, se 5.4.) Jämförande parallella mätningar har även utförts till vissa delar med accelerometer med magnetfot på rören.

Mätutrustningen som har använts vid samtliga försök rörande nivåmetoden visas i Figur 5.1.

Genom denna uppkoppling är det möjligt att

- undersöka vibrationsnivåns avtagande från "läckstället" (vibratorn)
- jämföra frekvensinnehållet i varje mätpunkt med övriga mätpunkter
- lagra alla signaler från alla mätpunkter för ytterligare analyser vid senare tillfällen

- upptäcka eventuella resonanser hos de olika rörsystemen
- undersöka vibrationsnivåns eventuella variation vid olika tryck, temperaturer och isoleringsstatus (torr eller våt isolering)
- utföra korrelationsmätningar mellan "läckställe" (vibrator) och annan mät-punkt på inspelat material vid senare tidpunkt. Se kapitel 6 "Korrelation".



Figur 5.1

Mätutrustning, nivåmetoden.

### 5.3 Mätresultat, nivåmetoden

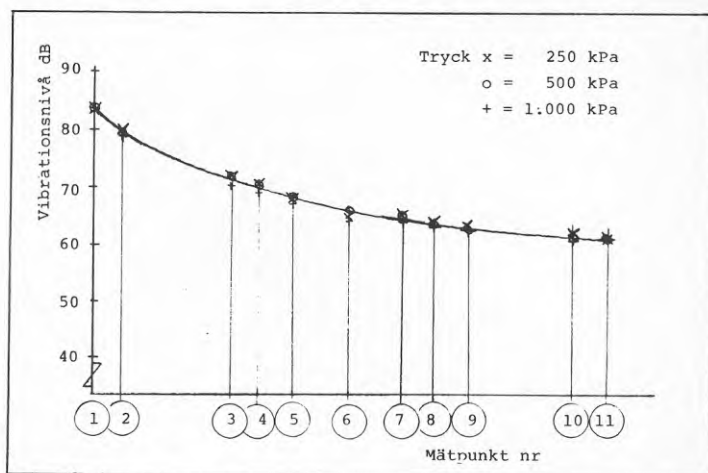
Undersökning av frekvensfördelning i olika positioner på kulverttyp Ecopipe respektive typ AquaWarm (stålrör + polyuretanskum respektive kopparrör + mineralull) har utförts. Av mätresultaten framgår att stålrörskulvertens frekvensfördelning nivåmässigt förändras mest i frekvensområdena 1 kHz till 2 kHz respektive 4.5 kHz till 5.5 kHz. Inom dessa områden dämpas vibrationerna mer än i övriga frekvensområden.

Kopparrörskulverten har en jämn vibrationsdämpning inom hela det betraktade frekvensområdet 0.5 kHz till 5.5 kHz.

Generellt gäller detta för de olika tryck som undersökts (250, 500 respektive 1 000 kPa) och temperaturer (10<sup>o</sup> respektive 70<sup>o</sup>C) samt för torr och våt isolering på kopparrörskulverten.

Försök med våt isolering på stålrörskulverten har ej utförts på grund av den långa tid som åtgår för att blöta en tät polyuretanskumisolering.

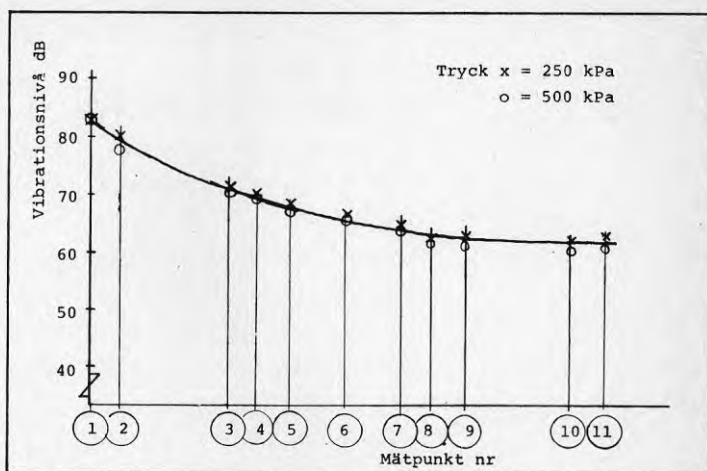
Det instrument som använts i fält för läcklokalisering mäter vibrationer inom frekvensområdet 20 Hz - 6 kHz. Vibrationsnivån mäts i dB. (84 dB RMS = 1 m/s<sup>2</sup> accelerationsnivå.) På provanläggningen i Studsvik har vibrationsnivåmätningar utförts som tidigare nämnts med vibrator som simulerad läcka, kopplad till rörledningen. Genom att koppla vibratorn på rörledningens olika delar har vibrationsavtagandet kunnat studeras i olika punkter på ledningen. I figurerna 5.2, 5.3 och 5.4 redovisas mätresultaten från mätningar på stålrörs- respektive kopparrörskulvert vid olika tryck (250, 500 och 1 000 kPa) samt temperatur (10<sup>o</sup>C och 70<sup>o</sup>C).



Figur 5.2

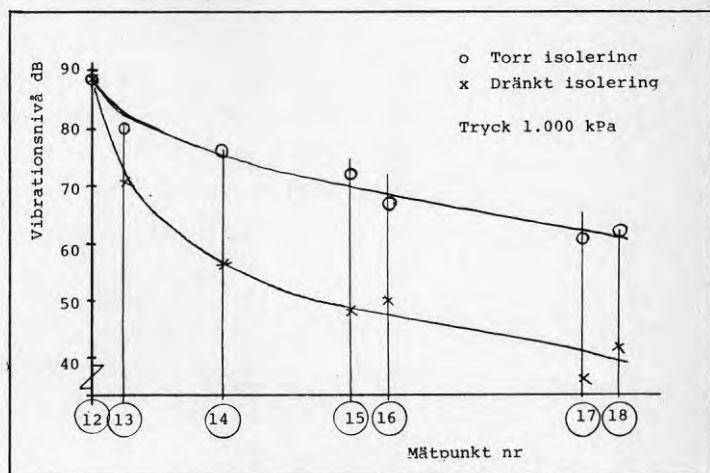
Vibrationsnivåavtagande, dB, vid ökande avstånd från läckställe (vibrator) vid olika tryck. Vattentemperatur 70<sup>o</sup>C. Ecopipe-kulvert. Torr isolering. (Ø 89 mm stålrör, polyuretanskumisolering, polyetenytterhölje).





Figur 5.3

Vibrationsnivåavtagande, dB, vid ökande avstånd från läckställe (vibrator) vid olika vatten-tryck. Vattentemperatur  $10^{\circ}\text{C}$ . Ecopipe-kulvert. Torr isolering. ( $\emptyset$  89 mm stålrör, polyuretanskum-isolering, polyetenytterhölje).



Figur 5.4

Vibrationsavtagande, dB, vid ökande avstånd från läckställe (vibrator). Vattentryck 1 000 kPa. Vattentemperatur  $70^{\circ}\text{C}$ . Torr respektive dränkt isolering. AquaWarm-kulvert. ( $\emptyset$  89 mm kopparrör, mineralullsisolering, polyetenfolie och polyetenytterhölje).

Av figurerna 5.2 och 5.3 framgår att oavsett tryck och temperatur är vibrationsnivåavtagandet med ökande avstånd från vibratorn (läckstället) i stor sett likadant för alla varianter på tryck och temperatur på stålörskulverten (Ecopipe).

Kopparrörskulverten (Figur 5.4) uppvisar en mer utpräglad dämpning av vibrationerna vid ökande avstånd från vibratorn (läckstället). Vibrationsnivån vid vibratorn är jämfört med motsvarande punkt på stålörskulverten ca 4 dB högre på kopparrörskulverten. Detta beror på de två materialens olika E-moduler, vilken för kopparen medför 6 gånger högre accelerationsnivå på röret vid samma drivkraft på vibratorn som på stålörret. Dimensionerna på de två rören är för övrigt lika. Att dämpningen på kopparrörskulverten är högre än på stålörskulverten beror också på E-modulen. Kopparröret har större möjlighet att svänga med trycksvängningarna i vattnet vilket medför en högre dämpning med ökande avstånd på kopparröret. Sjunkande E-modul för rörväggsmaterialet medför högre vibrationsnivådämpning samt lägre utbredningshastighet hos trycksvängningar i vattenfyllda rör.

Figur 5.4 visar dessutom att en blöt, i det här fallet dränkt, isolering medför en kraftig dämpning av vibrationerna på röret. Detta beror på att vibrationerna i röret kommer att stå i direkt förbindelse med en stor massa (rör + våt isolering) som också sätts i vibration. Det åtgår stor energi för detta, vilket medför att vibrationsnivån i röret minskar fortare med ökande avstånd från läckstället.

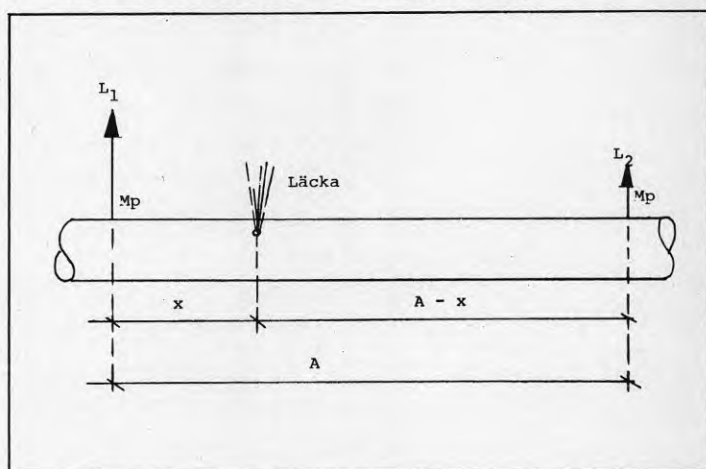
Grundformeln nedan för läcklägesbestämning kan efter detta kopleteras med värden på K.



$$L = K \cdot \log \frac{A - X}{X}$$

där  $L = L_1 - L_2$

och övriga beteckningar enligt Figur 5.5.



Figur 5.5

Bestämning av läckans läge.

De K-faktorer som medför en relativt bra anvisning av läckställen varierar från ca 15 till 30. För stålrörskulvert med polyuretanskumisolering används  $K \sim 17$ . Motsvarande kan  $K \sim 19$  gälla för kopparrörskulvert med torr mineralullsisolering.

Vid blöt mineralullsisolering på koppar- eller stålrör används  $K \sim 25 - 30$ .

De anvisningar av läckställen som på detta sätt skapas är, om lika förhållanden mättekniskt föreligger i de två mätpunkterna, en god indikation på läckställets läge. Vid avstånd på upp till ca 50 m mellan mätpunkterna blir felet som regel ej större än någon meter. Om isoleringsstatus (torr eller våt) varierar utmed ledningen mellan mätpunkterna blir dock anvisningen grövre.

I målsättningen för dessa försök har även ingått att till vissa delar undersöka areaförändringars samt förgreningars inverkan på läckljudsutbredningen.

Enligt vad som tidigare erfarits har utbredningen av vibrationer till största delen skett i vattnet i röret. Detta gäller i hög grad kallvattenrör som ligger direkt i marken utan isolering. Försöken i Studsvik på värmemediarör har dock visat att på rör som ligger fria eller i någon form av värmeisolering sker även transport av läckljud i rörväggen. De mätningar som gjorts på förgreningar respektive areaförändringar har inte givit några entydiga enkla kopplingar mellan areors eller förgreningars inverkan på läckljudens avtagande eller ökande i sådana punkter.

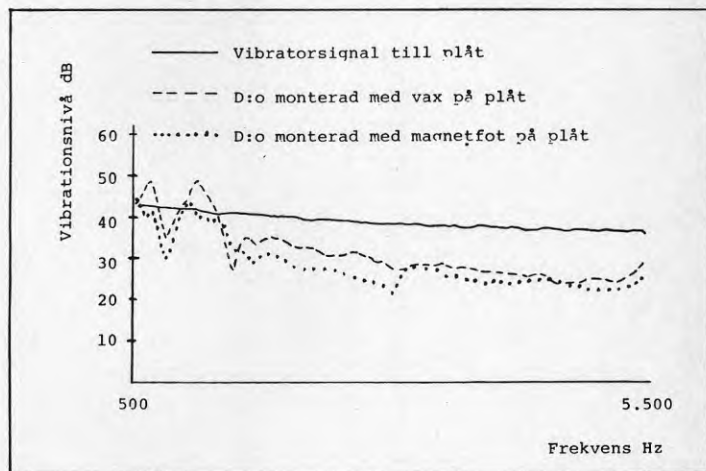
Vad beträffar reflektioner i rörslut eller i rörböjor har en förhöjning av läckljudet med upp till 3 dB erfarits.

#### 5.4 Montering av accelerometrar

Både nivå- och korrelationsmetoden kräver god koppling mellan accelerometer och det rör som skall undersökas.

Den från läckan utsända vibrationen utbreder sig i röret men främst i vattnet i röret. Vibrationerna i vattnet skakar om rörväggen i hela dess längd till dess att vibrationerna i vattnet är utdämpade. Rörväggens vibrationer på grund av vattnets, innanför väggen, är de som undersöks både vid nivå- och korrelationsmetoden. Det är viktigt att man åstadkommer en god kontakt mellan accelerometer och rörvägg så att så liten del som möjligt av informationen i rörväggens vibra-

tioner går förlorad vid överföringen till accelerometern. I figuren nedan visas ett exempel på hur accelerometern uppfattar samma signal vid tre olika monteringsätt.



Figur 5.6

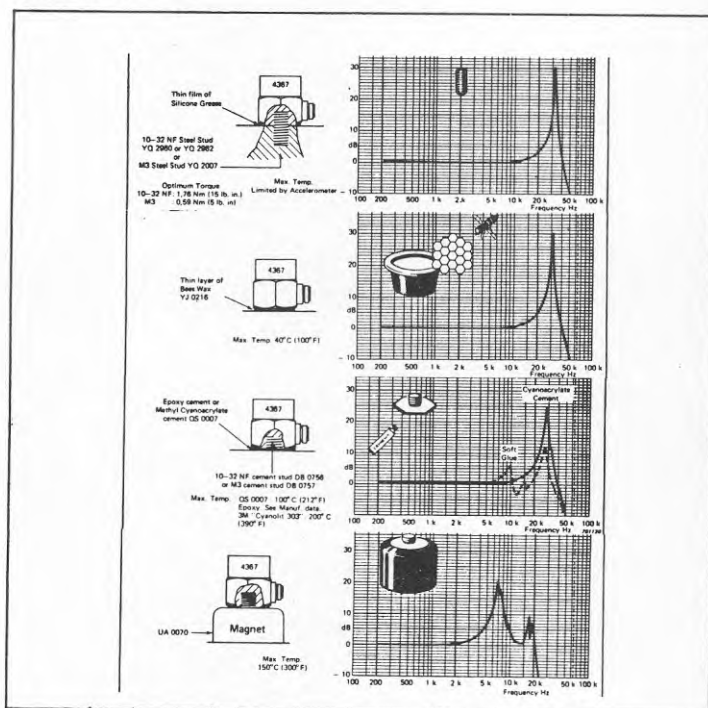
Olika accelerometermonteringar och deras "uppfattning" av samma signal

För enkelhetens skull används i praktiken accelerometern i kombination med en magnetfot på grund av att andra monteringsätt är för tidskrävande (skruvning, limning). En annan monteringsmetod är att använda bivax som "lim" mellan rör och accelerometer. Praktiskt är dock denna metod ej bra på grund av den höga temperatur som de flesta värmerör har. För att vax skall fästa krävs dessutom att rörytan är relativt ren.

Magnetfoten är ingen bra lösning men hittills den praktiskt bäst fungerande så länge rörväggen består av magnetiskt material. I de fall koppar-, rostfria stål- eller plastmaterial förekommer i rörväggen måste monteringen av accelerometern ske på annat sätt. En del försök har lyckats med

hjälp av en skruvtving av magnetiskt material på röret. En annan möjlighet är slangklämma av magnetiskt material.

För att illustrera vikten av en riktig accelerometersmontering hänvisas till Figur 5.7 nedan. Figuren illustrerar hur olika kopplingar till en vibrerande kropp medför olika svar i accelerometern i fråga om frekvens, nivå och resonansfenomen.

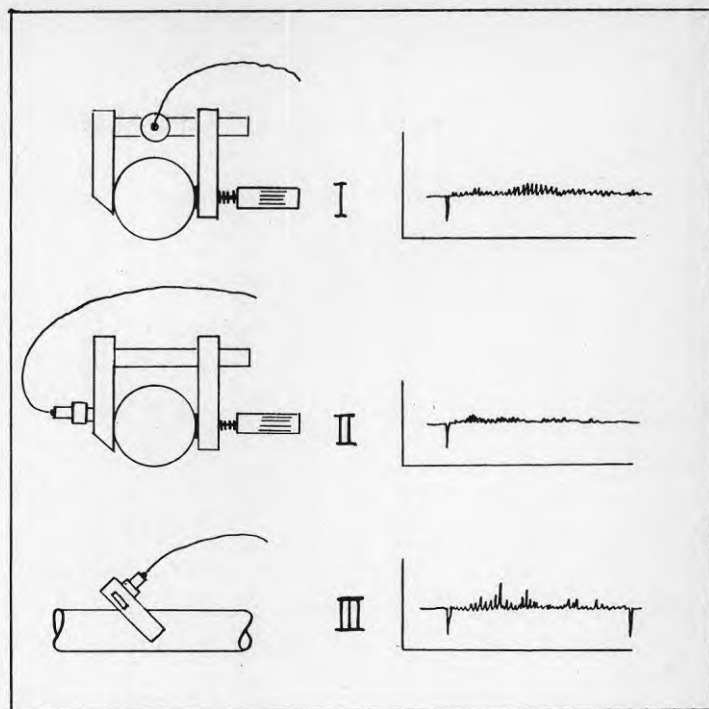


Figur 5.7

Olika accelerometersmonteringar och deras frekvenssvar.

Figuren är hämtad ur Brüel & Kjaers "Mechanical Vibration and Shock Measurement".

Som illustration på användning av tving på kopparrör visas i Figur 5.8 olika monteringar av accelerometer och tving med respektive resultat vid korrelationsförsök i Studsvik.



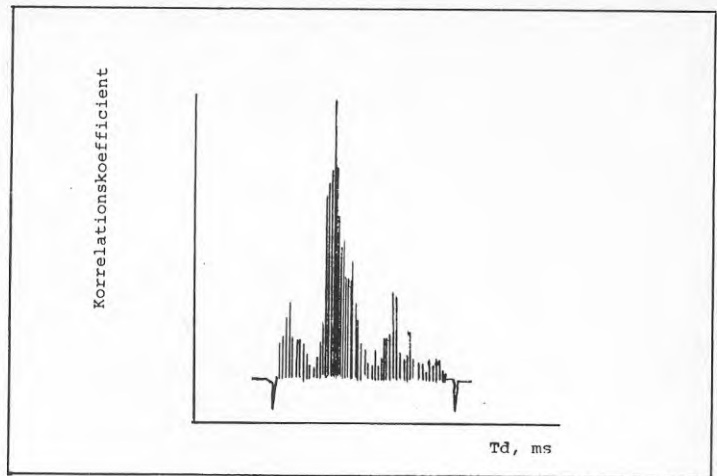
Figur 5.8

Accelerometermontering på kopparrör.

Försök I ger en antydning om att någon form av korrelation finns. Resultatet är dock helt oacceptabelt. Det senare gäller även försök II. Anledningen till att I och II ej fungerar kan vara att tvingen i monteringspunkterna på röret hindrar rörets "fria" svängningar.

I försök III stjälpptes tvingen så att kontakt åstadkoms mot röret rakt under accelerometern. I denna punkt är röret inte lika inspänt på grund av tvingmonteringen.

Resultatet vid detta försök var tillfredsställande och kunde vid uppförstoring av korrelations-svaret redovisas tydligare. Se Figur 5.9 nedan.



Figur 5.9

Förstärkt korrelationssvar.

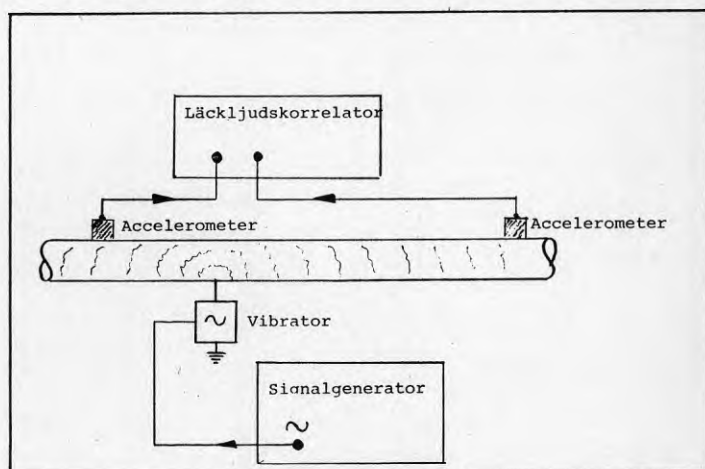
Vid alla korrelationsförsök på Studsviksanläggningens kopparrör monterades accelerometrarna enligt försök III ovan.

## 6. AKUSTISK METOD: KORRELATION

## 6.1 Mätförfarande, mätutrustning

Som tidigare beskrivits har läckstället simulerats av en vibrator kopplad till de olika rördelarna som undersökts. Korrelationsutrustningens två accelerometrar har sedan placerats i olika mätpunkter, varefter korrelationsmätning utförts. Tryck och temperatur har även vid dessa försök varierats. I några fall har dessutom isoleringen påverkats genom blötning varefter nya mätningar utförts.

Vid de korrelationsmätningar som utförts i fält på Studsvikanläggningen har en korrelator för läcksökning på kallvattenledningar använts utan modifieringar. Den använda korrelatorn är utvecklad av Walter Research Centre i England och tillverkad av Palmer EaE. Modellbeteckningen på utrustningen är LNC MK1S. Mätutrustningen för korrelationsförsöken visas i Figur 6.1 nedan.



Figur 6.1

Mätutrustning, korrelationsmetoden.



Med ovanstående mätutrustning är det möjligt att i fält

- principiellt bestämma utbredningshastighet för vibrationer i olika rör med olika tryck och temperatur
- bestämma läckställets läge i förhållande till olika mätpunkter.

I samband med korrelationsförsöken har inspelningar gjorts för att vid eventuellt fortsatt arbete kunna jämföra olika korrelatorers egenskaper att analysera de inspelade signalerna.

## 6.2 Utbredningshastighet

Med utbredningshastighet avses här den hastighet som tryckvågor i vatten utbreder sig med, uttryckt i meter per sekund. I fritt vatten, alltså ej inneslutet i t ex ett rör, är utbredningshastigheten som här betecknas med  $C_v$  lika med uttrycket

$$C_v = \sqrt{K/\rho} \quad (\text{m/s})$$

där  $K$  = kompressibiliteten för vatten  
 $\rho$  = densiteten för vatten

Storleksordningen på  $K$  är  $2.1 \cdot 10^9$  och  $\rho$  är  $1 \cdot 10^3$ , vilket ger  $C_v = 1\,449$  m/s som gäller vid ca  $5^\circ\text{C}$ .

Vattnets densitet varierar dock något med temperaturen och är störst vid  $4^\circ\text{C}$ .

Enligt Pearsall är ungefärlig utbredningshastighet vid olika temperaturer och tryck i vatten enligt tabellen nedan.



Tabell 6.1

Ljudhastighet (m/s) i vatten för olika temperaturer och tryck.

Temperatur °C	$C_v$ m/s vid trycket	
	100 kPa	14 MPa
0	1 403	1 424
10	1 448	1 470
20	1 483	1 506
40	1 529	1 553
60	1 551	1 577
70	1 555	1 581
80	1 555	1 582
100	1 543	1 572

Som framgår av tabellen ökar  $C_v$  med ökat tryck. Ökningen är dock marginell. Vad beträffar  $C_v$ :s förändring med temperaturen så ökar  $C_v$  upp till 70 - 80°C för att sedan avta något.

Sammanfattningsvis kan sägas att i praktiken har temperaturen större inverkan på ljudhastigheten än trycket.

En faktor som dock måste uppmärksammas och som påverkar ljudhastigheten i vattnet är gasinnehållet. De gasbubblor som kan finnas i vattnet i olöst tillstånd medför en väsentlig förändring av kompressibiliteten hos blandningen vatten och luft. Ur föregående källa hämtas följande värden.

Tabell 6.2

Ljudhastigheten  $C_v$  (m/s) i vatten vid 20°C, olika tryck och med varierande proportion luft olöst i vatten (gasbubblor).

Tryck kPa	$C_v$ m/s				
	1 ppm luft	10 ppm luft	100 ppm luft	1 % luft	1 % luft
(1) 100	1 466	1 346	836	313	101
(2) 200	1 475	1 405	1 013	421	139
(3)	1 479	1 445	1 193	584	199

Ljudhastigheten påverkas alltså mycket kraftigt av luftinnehåll i vatten.

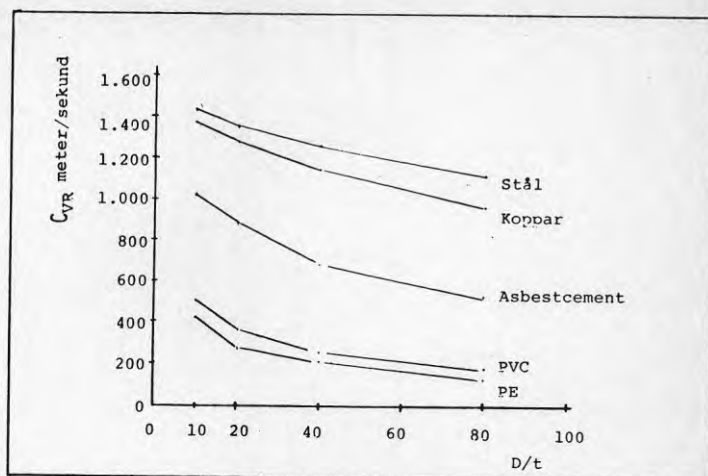
Vid beräkning av ljudhastigheten för vibrationer i vatten i rör måste dessutom hänsyn tas till rörets material och dimensioner enligt formeln nedan

$$C_{vR} = \frac{C_v}{\left[ 1 + \frac{E_v \cdot D}{E_R \cdot t} \right]^{1/2}} \quad (\text{m/s})$$

där

- $C_v$  = ljudhastigheten i vatten
- $C_{vR}$  = ljudhastigheten i vatten i röret
- $E_v$  = elasticitetsmodul för vatten
- $E_R$  = elasticitetsmodul för rörmaterial
- $D$  = ytterdiameter för röret
- $t$  = rörets vägg tjocklek

I Figur 6.2 nedan visas några exempel på utbredningshastigheter vid olika rördimensioner och rörmaterial.



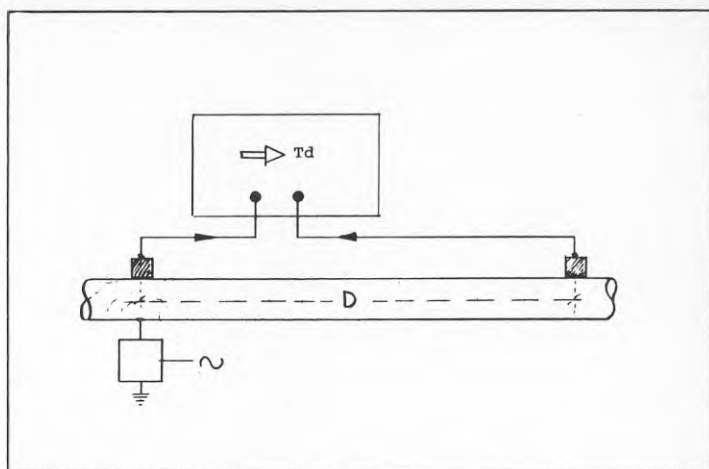
Figur 6.2

Ljudhastigheter m/s i vatten i rör av olika material och dimensioner (Tryck 100 kPa; Temp 30°C).

Av Figuren 6.2 framgår att tunnare rörvägg och lägre E-modul medför lägre utbredningshastighet för vibrationer i vatten i rör.

Med den utrustning som visas under avsnitt 6.1 ovan är det möjligt att praktiskt bestämma utbredningshastigheten för vibrationer i vattenfyllda rör. Det finns åtminstone två metoder.

I den första, den aktiva metoden krävs åtkomlighet i två punkter på röret samt vetskap om längden utmed röret mellan mätpunkterna. I en av punkterna monteras en ljudkälla, t ex en vibrator som drivs med lämplig (brus)signal. Intill vibratoren placeras en accelerometer. I den andra punkten placeras en annan accelerometer. Genom en korskorrelationsanalys erhålls gångtidsdifferensen mellan accelerometrarna. Tidsdifferensen är den tid det tar för ljudet från vibratoren att utbreda sig från den ena accelerometern till den andra. Eftersom sträckan mellan accelerometrarna är känd kan utbredningshastigheten beräknas. Se Figur 6.3 och uttryck nedan.



Figur 6.3

Mätförfarande för bestämning av utbredningshastighet med signal från en vibrator.

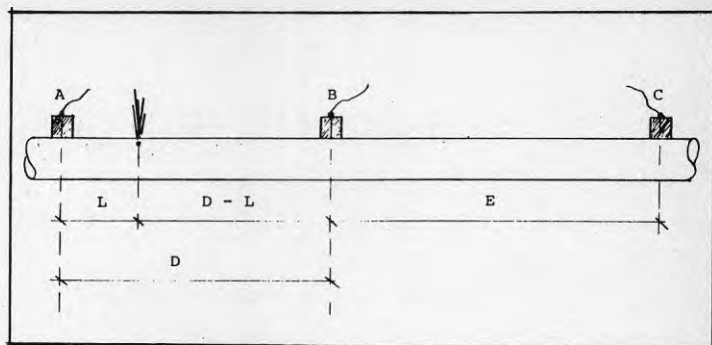
$$C_{vR} = \frac{D}{T_d} \quad (\text{m/s})$$

D = avstånd mellan accelerometrar

Td = tidsdifferens då korrelation erhålls

Den andra metoden är den passiva. Ett läckljud på en ledning är i de flesta fall fullt tillräckligt för att ersätta vibratorn i ovanstående aktiva metod, där en signal påtvingas röret. Problemet i detta fall är att man inte känner läckans (motsvarande vibratorns) läge.

Det medför att minst tre punkter måste användas för att erhålla korrelationer för minst två olika långa sträckor. Se Figur 6.4 nedan.



Figur 6.4

Mätförfarande för bestämning av utbredningshastighet med befintligt läckljud.

Eftersom läckans läge ej är känt utförs mätningarna på följande sätt. Med hjälp av korrelatorn undersöks tidsdifferensen mellan de olika punkterna A och B respektive A och C. Avstånden D och E är kända från ritningar eller genom uppmätning med måttband. De två mätningarna ger tidsdifferenserna  $Td_1$  respektive  $Td_2$  för mätningarna A till B respektive A till C. Genom insättning av D, E och  $Td_1$  respektive  $Td_2$  i formeln

$$L = \frac{D - C_{vR} \cdot Td}{2}$$

erhålls två uttryck där L i båda fallen är lika stort.

$$L = \frac{D - C_{vR} \cdot Td_1}{2} \quad (\text{mätn A} \rightarrow \text{B})$$

och

$$L = \frac{(D + E) - C_{vR} \cdot Td_2}{2} \quad (\text{mätn A} \rightarrow \text{C})$$

De två uttrycken sätts lika med varandra och för genom förenkling erhålls slutligen uttrycket

$$C_{vR} = \frac{E}{Td_2 - Td_1} \text{ m/s}$$

$C_{vR}$  sätts in i formlerna för L och man erhåller då läckans läge i meter från den mätpunkt vars signal tidsfördröjts för att erhålla korrelation.

Om läckan hade legat mellan B och C i ovanstående figur hade formeln för utbredningshastigheten erhållit följande utseende:

$$C_{vR} = \frac{D}{Td_1 - Td_2} \text{ m/s}$$

### 6.3 Mätresultat, korrelationsmetoden

Vid föregående BFR-projekt i Studsvik (projekt nr 770567-0) erhöles inga tillfredsställande resultat vid försök med korrelationsmetoden, se Stenberg (1980).

Undersökningarna i det nuvarande projektet har varit mer tillfredsställande så tillvida att korrelationer erhållits i fält. Resultaten har dock ej varit helt positiva. Ett 50-tal korrelationer har utförts i fält med mycket varierande resultat som följd.

På grund av de nedslående resultaten i det förra projektet har i detta projekt använts ett signalanalyssystem, HP 3582 Spectrum Analyzer, parallellt vid alla nivå- och korrelationsmätningar. Signalanalysatorn har delvis använts för att analysera frekvensinnehållet i de olika mätpunkterna på provanläggningen. I samband med korrelationsförsöken har en annan funktion undersökts, nämligen coherensen hos signalerna i två punkter samtidigt. Coherens kan förenklat uttryckt sägas beskriva orsak och verkan i t ex

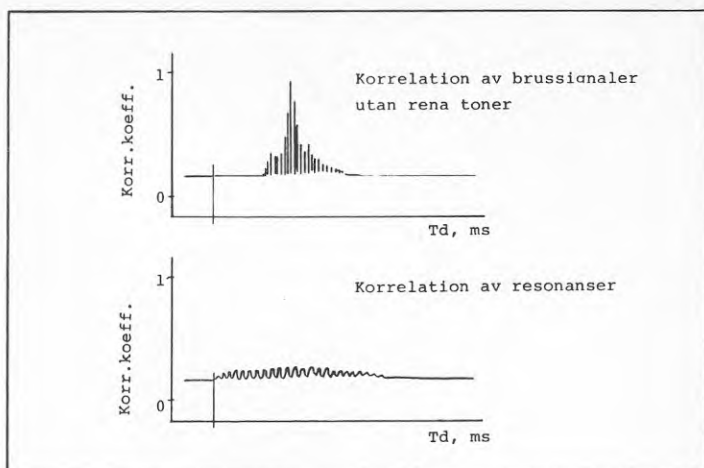
ett mekaniskt system. Orsak i detta försök är hela tiden vibratorns brussignal som sänds in i vattnet i rörledningen. Verkan är den effekt som vibratorns signal medför i en annan mätpunkt på rören. Coherens graderas från 0 till 1. Är coherensen 0 finns inget gemensamt av signalerna i de två punkterna. Är coherensen 1 överensstämmer signalerna i de två punkterna helt med varandra.

För att korrelation skall erhållas krävs att coherensen måste vara större än 0 inom vissa frekvensområden. Vid undersökningar och jämförelser av tidigare gjorda försök på kallvattenledningar och fjärrvärmeledningar har upptäckts att coherensen genomgående är högre för kallvattenledningar.

Eftersom varierande utbredningshastigheter på ett och samma rör har erhållits under jämförbara förhållanden (samma tryck och samma temperatur) har det inte varit möjligt att dra några slutsatser om utbredningshastighetens förhållande till tryck och temperatur med korrelationsmetoden på provningsanläggningen i Studsvik. Utseendet på en del korrelationer tyder dessutom på att någon form av resonanssvängning förekommer i det frekvensområde som har korrelerats, nämligen 500 Hz till 5 500 Hz.

Att resonanser förekommer visas av bland annat korrelatorns utskrifter. En normal korrelationsutskrift redovisar ett markant och lokalt maximum där korrelationen är störst. Förekommer resonanser, som här liknas vid i det närmaste rena sinusvängningar, så blir korrelatorns utskrift en vågform utan något speciellt markerat maximum. Se Figur 6.5 nedan.



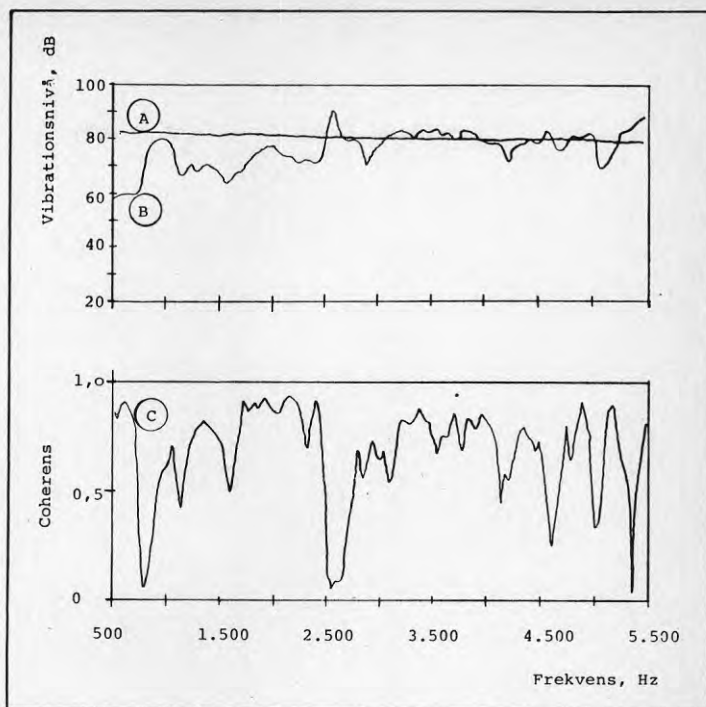


Figur 6.5

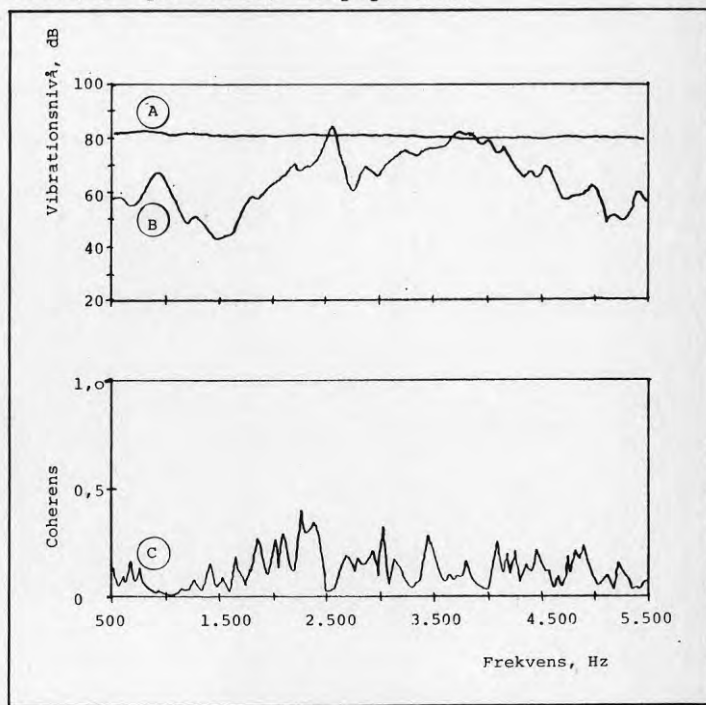
Korrelationsutskrifter av olika signaltyper.

Signalanalysatorn redovisar också resonanser vid olika frekvenser på de olika rördelarna i provningsanläggningen. Samtidigt erhålls coherensen för parvisa mätpunkter. Som exempel redovisas frekvensinnehåll och coherens för två parvisa mätningar på Ecopipe-röret samt på AquaWarm-röret. Se figurer nedan.

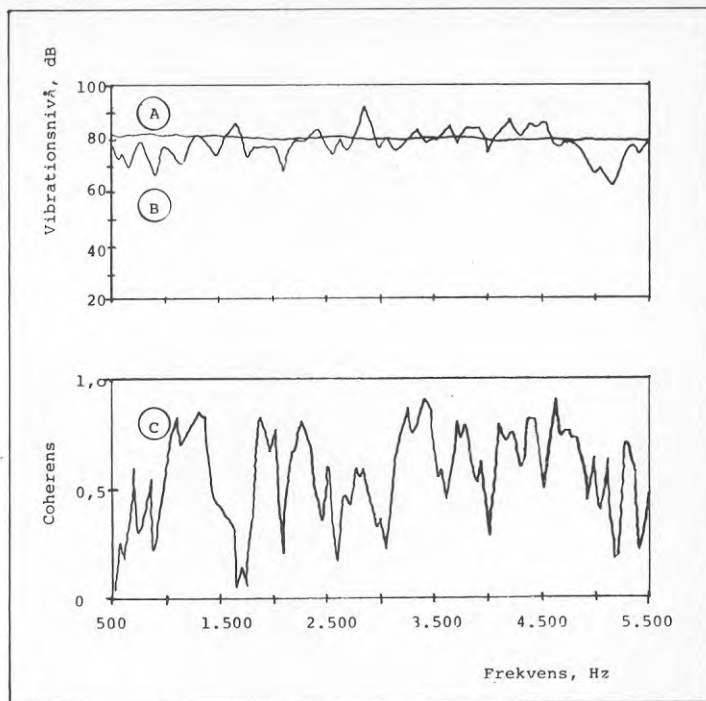
I varje figur visas den elektriska signalen till vibratorn på röret. Denna signal är markerad som kurva A i resp figur. Kurva B är den med accelerometer mätta signalen i någon position på röret. Slutligen visas kurva C som är coherensen mellan kurva A och B.



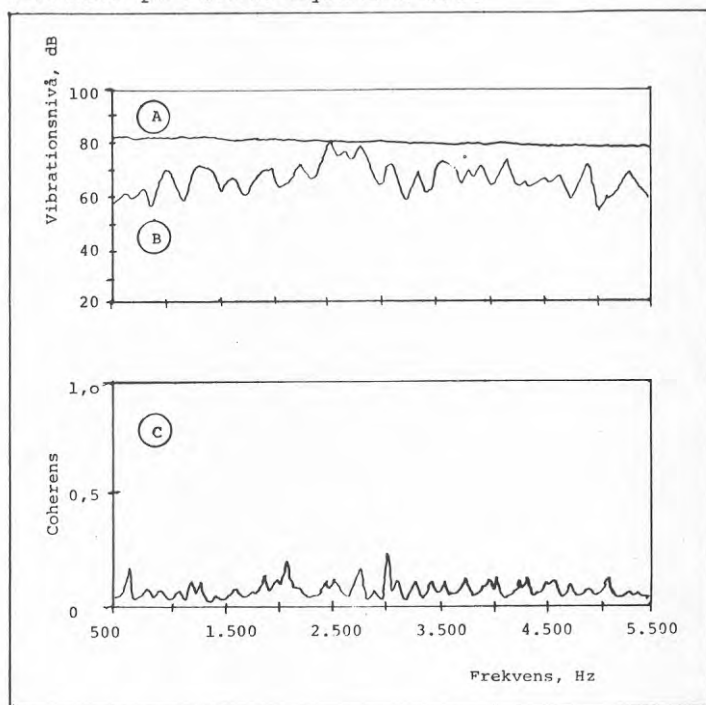
Figur 6.6 Frekvensinnehåll och coherens intill vibrator på röret, Ecopepe-rör.



Figur 6.7 Frekvensinnehåll och coherens 10 m från vibrator på röret. Ecopepe-rör.



Figur 6.8 Frekvensinnehåll och coherens intill vibrator på röret. AquaWarm-rör.



Figur 6.9 Frekvensinnehåll och coherens 10 m från vibrator på röret. AquaWarm-rör.

I Figur 6.6, där vibrator och accelerometer är monterade 1 meter från varandra kan man se följande: Coherensen, kurva C, är hög, men har två områden där coherensen är mycket låg. Vid samma frekvensområden på kurva B finns två toppar vid 800 - 900 Hz och 2 600 Hz. Dessa toppar är resonanser hos det vattenfyllda röret och är antagligen anledningen till att korrelationerna blir svårtolkade.

Figur 6.7 redovisar förhållandena 10 m bort från vibratorn. Kurva B visar samma resonanstoppar. Dessutom har coherensen sjunkit markant.

Figurerna 6.8 och 6.9 redovisar på liknande sätt förhållandena på AquaWarm-röret. Coherensen är dock lägre i båda fallen. Misstänkta resonanser ligger i frekvensområdena omkring 1 700 Hz och 2 500 - 3 000 Hz.

De ovan visade resultaten är utförda vid trycket 250 kPa och med kallt vatten, ca 10°C temperatur. Vid andra tryck (500 kPa resp 1 000 kPa) och temperaturer (10°C resp 60°C) har inga större förändringar på vare sig resonansfenomen eller coherens observerats.

På AquaWarm-röret utfördes ett försök då isoleringen dränkts med vatten. Intressanta förändringar uppstod. Vibrationsnivån dämpades kraftigt längs röret med ökande avstånd från vibratorn (se avsnitt 5.3, Figur 5.4). En del resonansfenomen minskade och coherensen ökade. I och med det senare ökade även korrelationsmöjligheterna.

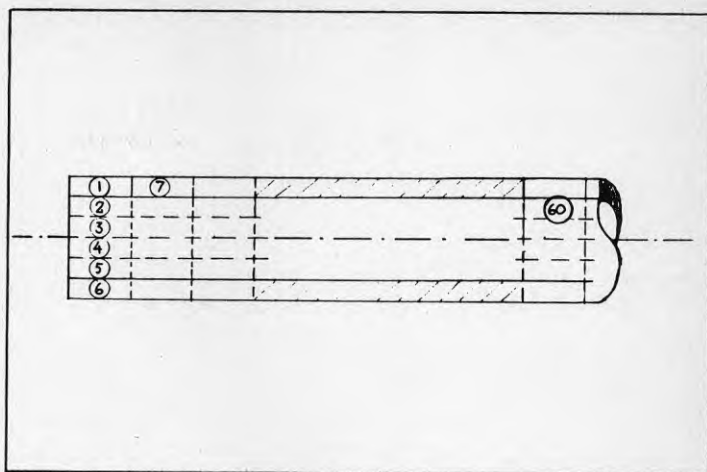
De förändringar som uppstod i och med blötning av AquaWarm-ledningens isolering av mineralull har medfört ytterligare undersökningar. Eftersom

korrelation på markförlagda kallvattenrör av t ex stål eller koppar fungerar bra, men mindre bra på kulvertrör av samma material, så miss-tänks förklaringen till detta ligga i skillnaden av koppling mellan rörvägg och intilliggande tung fyllning för kallvattenröret respektive kulvertrörets koppling till intilliggande isoleringsmaterial typ polyuretanskum eller mineralull. Den tunga fyllningen i direkt kontakt med kallvattenröret medför att rörväggen blir kraftigt dämpad på egna svängningar på grund av t ex resonanser. Kulvertröret med sin koppling till omkringliggande lätta isolermaterial svänger näst intill helt fritt med allt vad detta innebär av resonanser och dylikt.

Kulvertröret medför på grund av detta att läck-ljudet även kan spridas i själva rörväggen. Detta medför att läckljudet utbreder sig med minst två olika hastigheter i ledningen, en hastighet i rörväggen samt en i vattnet. Detta försvårar högst väsentligt korrelationen, så som den utförts i dessa försök.

För att illustrera de erhållna resultaten, samt till viss del konfirmera misstankarna om flera utbredningsvägar med olika hastigheter, har följande försök gjorts.

Med hjälp av ett dataprogram utvecklat på North Western University i Illinois, USA, har beräkningar av tryckstötsförlopp utförts på Ecopipe- och på AquaWarm-kulverten. De rör som har beräknats har samma dimensioner som rören i Studsvik. Den beräkningsmetod som använts kallas finita elementmetoden, vilket innebär att röret indelas i en mängd element för vilka olika parametrar som t ex tryck vid viss tidpunkt kan beräknas. I Figur 6.10 nedan framgår elementindelning och numrering av de olika elementen.

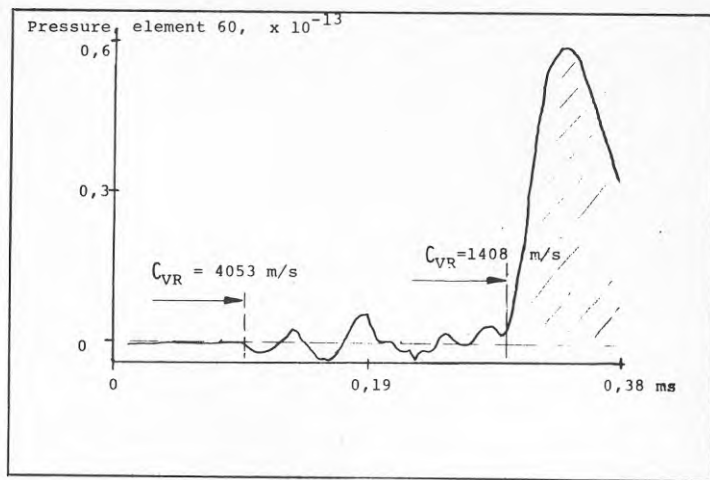


Figur 6.10

Indelning av vattenfyllt rör i element för simulering av tryckstötsutbredning enligt finita elementmetoden.

I den vänstra änden på röret i Figur 6.10 åstadkoms en kortvarig stöt (här 0.1 ms) i vattnet i röret. I de olika elementen redovisas när stöten kommer till elementet, om den är förändrad till utseendet på grund av eventuella resonanser, om den dämpats osv.

Av den information som på detta sätt erhållits har framgått att flera utbredningsvägar för stöten existerar i Ecopipe- och kanske främst i AquaWarm-röret. I Figur 6.11 visas hur stöten i Ecopipe-röret ser ut då den kommit till element nr 60, vilket ligger ca 0.4 m från den vänstra änden av röret i Figur 6.10. En del smärre svängningar når fram före själva tryckstöten som i Figur 6.11 skrafferats. Utbredningshastigheten är omkring 1 400 m/s för tryckstöten. Detta värde stämmer väl med uppmätta värden för liknande rör. De svängningar som registreras före själva tryckstöten i element nr 60 har på kortare tid nått element nr 60. Utbredningshastigheterna för dessa varierar från omkring 4 050 m/s ner till 1 400 m/s.



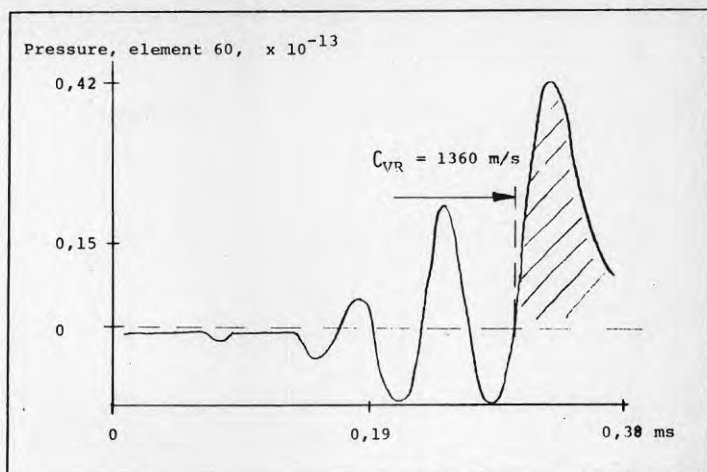
Figur 6.11

Tryckstötssvar i stålrör, element 60.

I Figur 6.12 visas samma förlopp i element nr 60 för AquaWarm-röret. Här framträder en avsevärt påtaglig svängning som är näst intill sinusformad, vilket tyder på resonans. Det förväntade svaret på tryckstöten föregås av svängningar med högre utbredningshastighet än tryckstöten med hastigheten  $C_v$  omkring 1 360 m/s.

Enligt våra coherensmätningar (se Figur 6.9) är coherensen låg på AquaWarm-röret. Detta förstås lätt om man iakttar Figur 6.12 där andra svängningar med hög amplitud stör den egentliga tryckstöten som i figuren skrafferats.





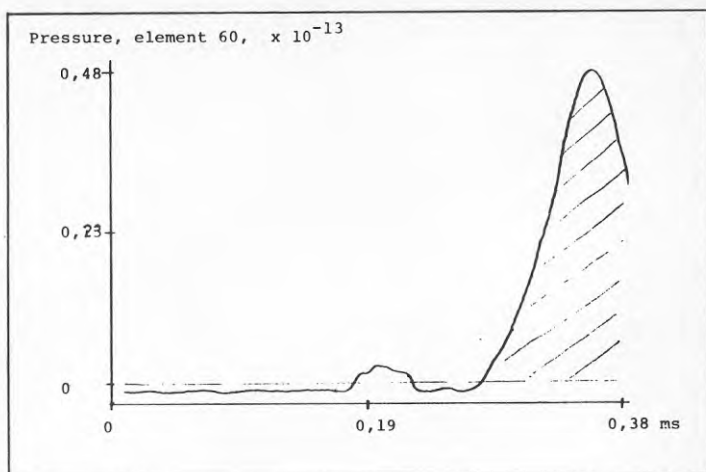
Figur 6.12

Tryckstötssvar i kopparrör, element 60.

För att undersöka den förändring som åstadkoms på AquaWarm-röret då dess isolering blöttes, utfördes en ytterligare beräkning enligt finita elementmetoden.

Den blöta isoleringen i AquaWarm-röret har bedömts innebära en förhöjning av massan kopplad till röret, varför denna parameter vid beräkningen kompletterat övriga ingående data. Resultatet är tydligt och visas i Figur 6.13. Här är tryckstöten renodlad efter utbredning i vattnet. Detta innebär en högre coherens och en förbättrad korrelationsmöjlighet.

På grund av de erfarenheter som nu vunnits måste analysen av läckljuden utvecklas ytterligare för att tillfredställande resultat skall kunna erhållas med korrelationsmetoden.



Figur 6.13

Tryckstötssvar i kopparrör med ökad massa,  
element 60.

## 7. VÄRMEKAMERAMETODEN

Följande avsnitt om värmekamerametoden är till största delen en sammanställning av informationer från litteratursökning.

### 7.1 Kort beskrivning av metoden

Alla objekt avger infraröd (IR) strålning. Genom att mäta denna strålning med en IR-kamera kan objektets temperatur bestämmas.

En IR-kamera eller värmekamera kan dessutom visualisera den mätta IR-strålningen från ett objekt i form av en värmebild på t ex en TV-monitor. Den redovisade värmebilden kan avfotograferas för dokumentering av uppmätt IR-strålning.

Värmekameran är med sin temperaturkänslighet av upp till  $0.2^{\circ}\text{C}$  väl lämpad att undersöka t ex markytans temperatur ovan en värmekulvert. Genom en sådan undersökning kan information om t ex en kulverts jämnhet i isolering relativt lätt skaffas. Sådana undersökningar utförs idag runt om i världen men främst i Norden där Danmark är föregångslandet.

### 7.2 Litteraturundersökning

Litteratursökning har utförts för Norden hos Byggdok i Sverige och utanför Norden hos ESA Information Retrieval Service i Italien. Sökorden har varit värmekamera resp Thermovision, district heating och leak detection. Från de båda sökningarna har 8 resp 55 artiklar angivits som behandlar värmekamerans användningsområden. Två av dessa artiklar berör direkt läcksökning på medierör med värmekamera.

I en artikel, se Hellström, Lindgren (1977), beskrivs en del praktiska fall av lokalisering av vattenläckage på gatuvärmslingor samt medierör i byggnader. Vidare ställs i artikeln vissa tekniska anspråk på den personal som utför termograferingsarbetet. Artikeln berör även värmekamerans möjligheter att påvisa fel i värmeisoleringen i byggnader.

En annan artikel, se Bergman (1977), beskriver principerna för värmekamerans funktion och anger som ett av användningsområdena just möjligheten att söka läckor på fjärrvärmenät.

Förutom litteratursökningen har en del material angående läcksökning med värmekamera erhållits från en tillverkare och utställningar av värmekameror.

Aga Infrared Systems AB ger ut informationsbladet "The Infrared Observer". I nr 9 av detta blad finns artikeln "Thermography reduces heat losses in district heating systems by more than 50 %". Denna artikel refererar till det arbete som utförts av Palle Øhrgaard vid Avdelningen för värme och installationsteknik vid Teknologisk Institut utanför Köpenhamn i Danmark. Metoden har utvecklats för kontroll av fjärrvärmenät med värmekamera. Genom att introducera dessa metoder med värmekameran på fjärrvärmenäten i Danmark säger man sig ha minskat förlusterna från 40 % till 25 %.

Kontrollen med värmekamera på fjärrvärmenäten utförs vanligen nattetid på grund av lägre trafik och frånvaro av soluppvärmning av markytan ovanför fjärrvärmerören. Undersökningen utförs från ett fordon med vilket det är möjligt att under-

söka upp till 100 km kulvert per natt. Ett iakttaget fel markeras på ritning och/eller markeras direkt på platsen genom en färgmarkering på marken.

Denna kontroll utförs både vår och höst och har på vissa orter nedbringat underhållskostnaderna med 50 %.

Metoden är färdigutvecklad och tillämpas numera av konsulterande företag i Danmark.

Slutligen erhöles en rapport av AGA Infrared Systems AB i Sverige. Rapportens titel är "How the infrared technique can help to solve leakage problems in district heating systems with AGA Thermovision 750". Rapporten är utarbetad i Danmark av AGA IR:s Thomas Dresler.

Delar av rapporten återges under avsnitt 7.4 nedan.

### 7.3 Eegna försök

Scandiaconsult har sedan några år tillbaka använt värmekameran som komplement till den övriga akustiska läcksökningsutrustningen. Under dessa år har utförts läcksökning med värmekamera på följande typer av medierör:

1. Fjärrvärmekulvertar typ betongfyrkantkulvert och typ friliggande kulvertrör med mineralulls- eller PUR-isolering.
2. Värmeslingor i gator och golv.
3. Radiatorrör i byggnader.

Av de ovanstående typerna har det varit problem med läcksökningen på betongfyrkantkulvert. Kulvertkonstruktionen är sådan att läckande vatten

hålls kvar inuti kulverten vilket kan medföra uppvärmning av kulvertens utsida på långa sträckor. Därför kan det vara problem att lokalt ange läckstället. Vid vissa försök har kulverten frilagts i sin helhet så att kulvertlocket har kunnat termograferats utan inverkan av ovan liggande marklager. Är läckan rejäl och begränsad finns goda utsikter att hitta den. Men misstänks flera små läckor blir det problem på grund av att många värmefläckar upptäcks på kulvertlocket. Dessa fläckar behöver ej antyda läckställen utan kan helt enkelt utvisa t ex upphängningspunkter för medierören i kulverten.

Vid läcka på friliggande kulvertrör i mark är problemen mindre då läckvatten inuti kulverten ej kan sprida sig längre sträckor. I de direkt-skummade kulvertrören är isoleringsmaterialet svår genomträngligt. I de mineralullsisolerade kulvertrören är de som regel tätt avslutade var n:te meter (n = 6, 8, 12 eller 25 meter beroende på fabrikat). Detta medför att viss sektion framträder vid undersökning med värmekamera.

Vad beträffar värmeslingor och radiatorrör har det med relativt små problem kunnat anges läckställen som även kunnat verifieras med lyssningsmetoden.

Generellt för all läcksökning med värmekamera gäller att hänsyn måste tas till en hel del faktorer som påverkar tolkningen av värmebilderna. Sådana faktorer kan vara t ex

- läggningsdjupets eventuella variation vid olika kulvertar
- läggningsdjupets variation utmed kulverten

- eventuell variation på fyllningsmaterialets isolation ovan kulverten
- markskiktets varierande IR-strålnings egenskaper ( $\epsilon$ , emittans)
- solbestrålning av markyta ovanför kulvert
- avkylning av markyta på grund av vind
- dito på grund av fukt

Med värmekameran kan jämförande mätningar utföras. Med hjälp av en referensyta vars temperatur och emittans man känner kan absoluta temperaturen också erhållas för markytan ovan en kulvertsträckning. Med kännedom om markytans emittans,  $\epsilon$ , (IR-strålningsegenskaper) kan den, på grund av dålig isolering i kulverten, extra utstrålade värmeeffekten i Watt beräknas.

Denna möjlighet skulle kunna ligga till grund för bedömning av åtgärder på kulvertsträckor som t ex har undermålig isolering. Det uttryck som kan användas för beräkning av utstrålad värmeeffekt är följande:

$$P_Y = A_Y \cdot \epsilon_Y \cdot C_S (T_Y^4 - T_O^4) \text{ (W)}$$

där

$P_Y$  = utstrålad värmeeffekt från markyta (W)

$A_Y$  = markytans area ( $m^2$ )

$\epsilon_Y$  = markytans emittans ( $\epsilon$ : 0 - 1, vanligen 0.9)

$C_S$  = Strålningskonstanten för en svart kropp  
 $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)}$

$T_Y$  = markytans temperatur, ( $T_Y = t_Y + 273$ ) (K),  
 ( $t_Y$  anges i  $^{\circ}\text{C}$ )

$T_O$  = omgivande markytors temperatur, (K)

Vid bedömning av utstrålad värmeeffekt från markyta ovanför en kulvert måste naturligtvis hänsyn tas även till läggningsdjupet av kulverten.



#### 7.4 Referat av AGA rapport

Artikeln behandlar först allmänt fjärrvärmesystemets uppbyggnad och utveckling. En del problem berörs som rost på medierören på grund av utifrån kommande grundvatten och rost inifrån på grund av syrerikt obehandlat vatten i systemet. Tre olika kulvertkonstruktioner nämns

- mineralullsisolerade rör med någon form av äldre yttre beklädnad (papp, eternit e dyl)
- betongkulvert med mineralulls- eller cellbetongisolerade rör
- skumplastisolerade rör med yttermantel av plast

Värmekamerans funktion beskrivs tillsammans med en del teori om IR-strålning. Den värmebild som redovisas på värmekamerans monitor redovisar varmare ytor med ljusare gråton samt kallare med mörkare gråton. Bilden kan dock "inverteras" så att kallare ytor blir ljusare osv. Med hjälp av en "isotherm"funktion kan temperaturskillnader hos ett objekt uppmätas.

Efter denna inledning beskrivs den mätutrustning som är lämplig för undersökning av fjärrvärmenät med värmekamera. Utrustningen är

- Värmekamera AGA Thermovision 750 kamera och displayenhet
- 20° IR-lins med antisolär filter
- 2 meters förlängningssladd
- Tex Polaroidkamera för avfotografering av display för dokumentering
- 12-volts batteri används som energikälla

Utrustningen används alternativt i vanlig bil eller elektrisk bil typ golf-bane bil.

Mätningen genomförs av två personer, av vilka den ena kör och håller uppsikt över faktorer som kan påverka mätningen (t ex vatten på vägen). Man kör med hastigheter 5 - 10 km/tim. Föraren bör vara förtrogen med fjärrvärmenätet.

Den nämnda hastigheten gäller för normala rutininspektioner. Om syftet är att snabbt finna t ex en hastigt uppkommen läcka på nätet kan hastigheten ökas till 25 - 30 km/tim.

Den andra personen följer fjärrvärmesystemet genom värmekameran för att kunna upptäcka läckor som visas på displayenheten som så kallade "hot spots" (värmefläckar). Dessa redovisas som ljusa fläckar om IR-kamerans NORMAL-funktion används eller som mörka fläckar om INVERTED-funktionen används.

Lämplig tid för dessa undersökningar är perioden september till maj. På grund av att man vill undvika solbestralning av markytan och biltrafik utföres mätningar lämpligen under natten eller tidigt på morgonen.

Då en värmefläck upptäcks stannas mätfordonet och temperaturdifferensen mellan den "normala" delen ovan rören och den upptäckta värmefläcken fastställs. Temperaturdifferensen kan erhållas genom användning av IR-kamerans ISOTHERM funktion. Då isothermskillnaden erhållits multipliceras denna med 1.5 och produkten blir temperaturdifferensen i grader Celsius.

I Danmark klassas olika temperaturdifferenser enligt rapporten

1. Temp diff  $1.5^{\circ} - 4.5^{\circ}\text{C}$  = våt eller dålig isolering
2. Temp diff  $4.5^{\circ} - 7.5^{\circ}\text{C}$  = som 1. eller liten läcka

3. Temp diff > 7.5°C = stor läcka

Förutom dokumentation i form av fotografering av displayenheten så markeras funna värmefläckar direkt på gatan med färg. Läget markeras dessutom på ritning.

Rapportering av utförd undersökning bör innehålla följande information:

- mätdatum
- klockslag för mätning
- omgivningstemperatur
- väderlek, våt eller torr markyta
- vattentemperatur i rörledningarna
- utvärdering av mätningarna
- ritningsunderlag med markerade fel

Slutligen sammanfattar AGA-rapporten lämpligheten för värmekameran vid nämnda undersökningar som medför lägre underhållskostnader på fjärrvärme-systemet.

## 8. SLUTSATSER

I de svenska värmeverkens kulvertnät, som år 1981 uppgick till 4 500 km på primärsidan, finns investeringar till miljardbelopp gjorda. För ett gott underhåll av näten fordras effektiva och tillförlitliga metoder för läcklokalisering, så att följdskadorna (korrosion, genomdränkt isolering) vid ett läckage kan begränsas. I detta projekt har tre grundprinciper/metoder för läcklokalisering undersökts: Fuktövervakning och lokalisering med hjälp av larmtrådar, akustiska metoder för lokalisering samt termografering av extraordinära värmeläckage med värmekamera. Eftersom varje metod är begränsat tillämpbar och metoderna kompletterar varandra, görs ingen gradering av metoderna inbördes. Ur de erfarenheter som erhållits i projektet dras istället slutsatser om problemen kring och fördelarna med de enskilda metoderna.

### 8.1 Elektroniska larmsystem

Väl fungerande larmsystem med larmtrådar i isoleringen erbjuder goda möjligheter till både kontinuerlig övervakning samt lokalisering av yttre och inre läckage i den direktskummade kulverttypen, som till mer än 80 % används vid nybyggnation. Begränsningar i deras nuvarande funktion finns dock: Tillgänglighet och tillförlitlighet hos redan installerade system är oroande låg, se Rundström (1983), och grundprincipen för fuktlarm fungerar i praktiken på högst varierande sätt.

Vid simulering av yttre läckage har konstaterats stora variationer i tiden till larm under likartade provbetingelser. Oberoende av larmsystemens tekniska utformning bör en någorlunda enhetlig funktion eftersträvas.

Vid simulering av små inre läckage har framkommit att tiden till larm är beroende av läckans läge relativt larmtråden.

De obefogade larm som i praktiken erhålls för trådbrott och kortslutningar synes huvudsakligen bero på bristfällig larmtrådsuppkoppling. Utbildning av montagepersonal och kontrollanter behövs härför.

Ur korrosionssynpunkt ifrågasätts kloridjoner som lämplig larmaktivator. Om NaCl-preparerad larmskena ändå används, måste användaren uppmärksammas på nödvändigheten av ett snabbt åtgärdande av läckage.

Likspänningsbaserade larmenheter bör fränkopplas kulvertens larmtrådar snarast efter larm för fukt, detta för att nedbringa riskerna för punkt-korrosion pga likström genom fuktstället.

Lämpliga lägsta och högsta värden på larmgränser har översiktligt behandlats. Oxidskikt- och byggfuktresistansernas inflytande på lämpliga larmgränser bör dock studeras ytterligare.

Hopkoppling av olika kulvert- och larmfabrikat är generellt sett tekniskt genomförbart. I vissa fall krävs dock speciella elektronikheter.

För att underlätta läcklokalisering med pulsekometoden och få precision i denna måste följande krävas:

- Larmtrådarnas pulsekobildd bör vara "ideal" eller bli dokumenterad för den torra kulvertsektionen som referens.
- Larmritningarna bör upprättas på ett korrekt och enhetligt sätt, oberoende av kulvert- eller larmfabrikat.

- Kompensatorer och överkopplingar i kammare eller liknande bör dokumenteras extra omsorgsfullt på larmritningarna.

## 8.2 Akustiska metoder

Resultaten av försöken visar att speciellt korrelationsmetoden måste vidareutvecklas ytterligare. Sedan mätningarna i fält utförts har ytterligare vägar hittats för att komma vidare. Detta har främst skett genom att korrelationer utförts i smala frekvensband. I fält kunde endast frekvensområdet 500 Hz till 5.5 kHz behandlas med den korrelator som använts. Genom att på laboratorium analysera inspelningar med kompletterande utrustningar har en väsentlig förbättring åstadkommit. Ytterligare bättre utrustning med förfinade signalanalysmetoder är för närvarande föremål för fortsatt arbete. Eftersom resultaten som uppnåtts på kallvattenrörsidan med korrelationsmetoden är mycket tillfresställande, förväntas att dessa resultat även skall uppnås på fjärrvärmesidan då de rätta analysmetoderna utvecklats.

Nivåmetoden kan väl användas för att erhålla en grov indikering av läckställe. Ihop med korrelationsmetoden erhålls säkrare angivande av läckställe. Observeras bör dock vad som inträffar på läckljudsnivån då blöt isolering föreligger utmed viss del av röret.

## 8.3 Värmekamera

Värmekameran är ett utmärkt instrument för visualisering och mätning av IR-strålning. De metoder som utvecklats i Danmark har resulterat i kraftigt nedskurna underhållskostnader på fjärrvärmeanläggningar.



Störst lämplighet anses utrustningen ha på direkt markförlagda fjärrvärmerör. Vid betongfyrkantkulvert har problem med tolkningen av värmebilder förekommit på grund av den mängd värmebryggor som är inbyggd i denna typ av kulvert.

Arbetet med värmekameran kräver dock erfaren personal med god kännedom om både mätutrustningen och det fjärrvärmenät som är föremål för undersökning. Som komplement till övriga metoder är instrumentet utmärkt.

#### 8.4 Fortsatta insatser

För de elektroniska larmsystemen med tillhörande pulsekometod för läcklokalisering kan denna undersökning och tidigare gjorda tillförlitlighetsstudier närmast betraktas som en samlad probleminventering. Härur kan följande handlingsprogram skisseras i ett antal punkter:

1. Göra en ekonomisk bedömning av nyttan i systemens larmfunktion.
2. Föreslå enhetliga larmritningssystem, funktionskontroller samt principer för isolerimpedansmätningar vid dessa kontroller.
3. (Experimentellt) bestämma gränsvärden på högsta tillåtna mängd byggfukt i nya kulvertar.

Om den ekonomiska bedömningen under 1. motiverar ytterligare undersökningar kring larmfunktionen:

4. Söka en lämpligare larmaktivator än kloridjoner.
5. Undersöka övergångsmotståndens inflytande på lämplig larmgräns.
6. Föreslå ett (enhetligt) larmfunktionskrav vad gäller fuktinträngning samt en provmetod för detta krav.



För de akustiska metoderna för läcklokalisering gäller främst att vidareutveckla korrelationsmetoden. Genom att kunna ta hänsyn till följande parametrar bör metoden bli avsevärt förbättrad.

1. Resonansfenomen i kulvertrör
2. Olika utbredningshastighet för olika frekvenser i läckljudet (dispersion) vid större rördimensioner.
3. Olika utbredningsvägar, i vatten respektive i rörvägg.

Vid de två tillfällena som prov har gjorts i Studsvik har en hel del material insamlats i form av bandinspelningar. Detta material är mycket lämpat för fortsatta studier, som kan utföras i sin helhet på laboratorium.

## REFERENSFÖRTECKNING

BERGMAN, H, 1977

Thermovision. Radio Fernsehen Elektron.  
Vol 26, nr 9.

DRESLER, T

How the infrared technique can help to solve leakage problems in district heating systems with AGA Thermovision 750. AGA Infrared Systems AB.

HELLSTRÖM, D, LINDGREN, S 1977

Redogörelse för termograferingsteknikens möjligheter att hitta isoleringsfel och vattenläckage. VVS-forum nr 6 - 7, 1977.

LEL, 1982

Resultatrapport. Provning av plastkulvert vid simulerat inre läckage. Energiverken i Göteborg.

MOLANDER, A, 1983

Korrosionsproblem vid larmindikering i fjärrvärmekulvertar.  
Studsvik Arbetsrapport EI-83/102.

RUNDSTRÖM, T, 1983

Tillgänglighet och tillförlitlighet hos larmsystem.  
Slutrapport SVF E29. Studsvik EI-83/8.

STENBERG, R, 1980

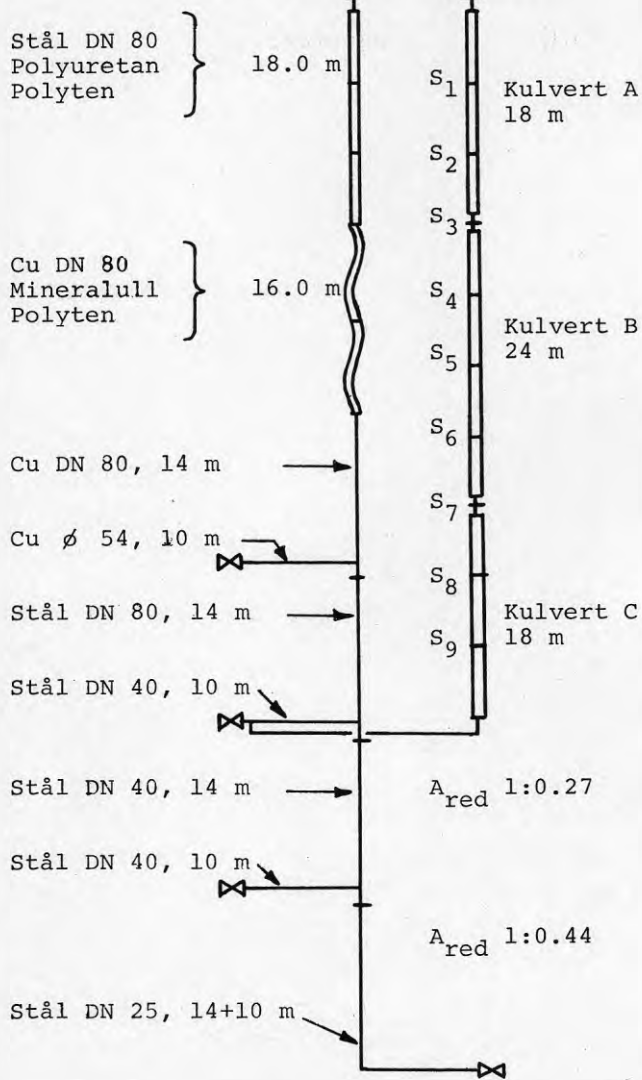
Larmsystem och läcksökningsmetoder för värmekulvertar, del 2. Lokalisering av läckor genom lyssningsmetoden.  
BFR-projekt nr 770567-0.

WERNER, S, 1982

Gratidtal för fjärrvärme. VVS.2.82 Tidskrift för energi- och VVS-teknik.

## PROVANLÄGGNING

Försörjningsanslutning




⊗ Avluftning

A<sub>red</sub> Areareduktion

S<sub>i</sub> Skarv nr i

## ELEKTRONISKA LARMSYSTEM

## 1. Data för använda kulvertar och larmenheter

Fabrikat	A	B	C
Larmaktivator	skena	-	filt i skarv
Antal larmtrådar	2	2	1
Larmenheter:			
Mätprincip	resistiv	resistiv	pulseko
Mätspänning, V p-p	4.4 - 5.2	26	3.2
Mätfrekvens, Hz	20 	50 sinus	pulser
Larmgränser:			
För fukt	2.7 k $\Omega$	8.1 - 72 k $\Omega$ <sup>1)</sup>	$z_o \pm 50\Omega$ <sup>2)</sup>
För trådbrott	9.4 k $\Omega$	90 $\Omega$	

1) Larmgräns för fukt på tre nivåer: 8.1 k $\Omega$ , 31 k $\Omega$  och 72 k $\Omega$ .

2) Larm vid förändringen 50  $\Omega$  i karaktäristisk impedans både vid fukt och trådbrott.

## 2. Drag- och bockprov på larmtrådar

Provmaterial:

- Typ-I. Larmtråd: Enledare 1.5 mm<sup>2</sup> av förtent koppar.  
Skarvhylsa: Pressad och lödd.
- Typ-II. Larmtråd: Enledare 1.5 mm<sup>2</sup> av blank koppar.  
Skarvhylsa: Lödd.
- Typ-III. Larmtråd: Enledare 1.5 mm<sup>2</sup> av blank koppar.  
Skarvhylsa: Pressad.
- Typ-IV. Larmtråd: 7-ledare 1.5 mm<sup>2</sup> av blank koppar.  
Skarvhylsa: Pressad.

Provningar:

- Prov 1: Dragprov till brottlast.
- Prov 2: D:o efter cyklisk dragbelastning 500 ggr med lastomfånget 0 - brottlast/3.
- Prov 3: Bockprov med tråden fast inspänd i en ände och draglasten 17 N resp 40 N i tråden. Bockning cykliskt 0°, + 90°, 0°/0°, - 90°, 0° till brott.

Resultat dragprov:

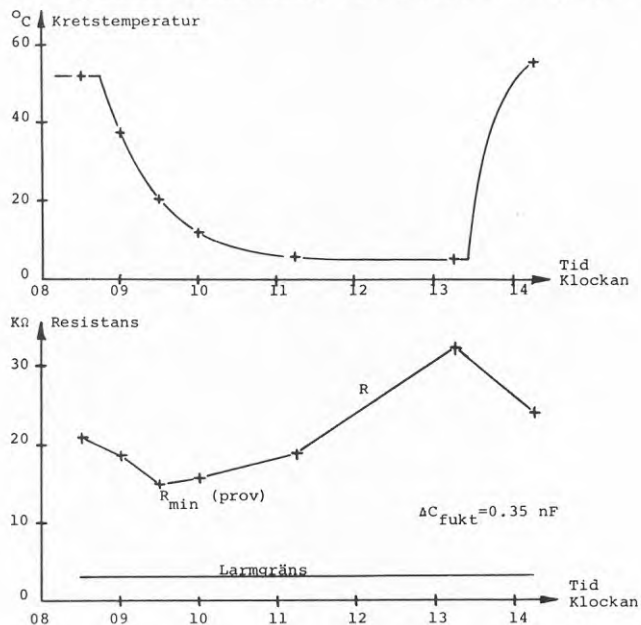
Skarv- hylsa	Brottlast, N/mm <sup>2</sup>		Huvudsakligt brottställe
	Prov 1	Prov 2	
I	261 ± 2	252 ± 3	i tråd eller nära lödställe
II	248	243 ± 10	i lödning eller nära lödställe
III	251 ± 0	243 ± 1	i tråd
IV	262 ± 10	257 ± 5	vid press-ställe

Resultat bockprov:

Trådtyp	Antal bockningar (90°)	
	Drag 17N	Drag 40N
I	7 st	6 st
II/III	6 st	4 st
IV	18 st	10 st

### 3. Resultat från läckagesimulering, yttre läckage.

#### a) Impedansförändring vid yttre läckage, skarvtyp A.

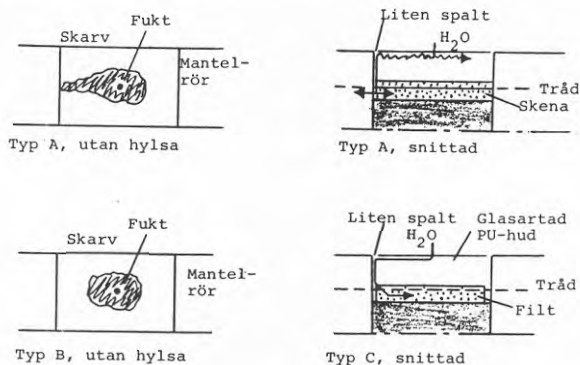


#### b) Skarvisoleringens egenskaper.

Skarvtyp	Medeldensitet	Vattenupptagningsförmåga *
A	50 kg/m <sup>3</sup>	65 vol - %
B	70 kg/m <sup>3</sup>	50 vol - %
C	142 kg/m <sup>3</sup>	14 vol - %

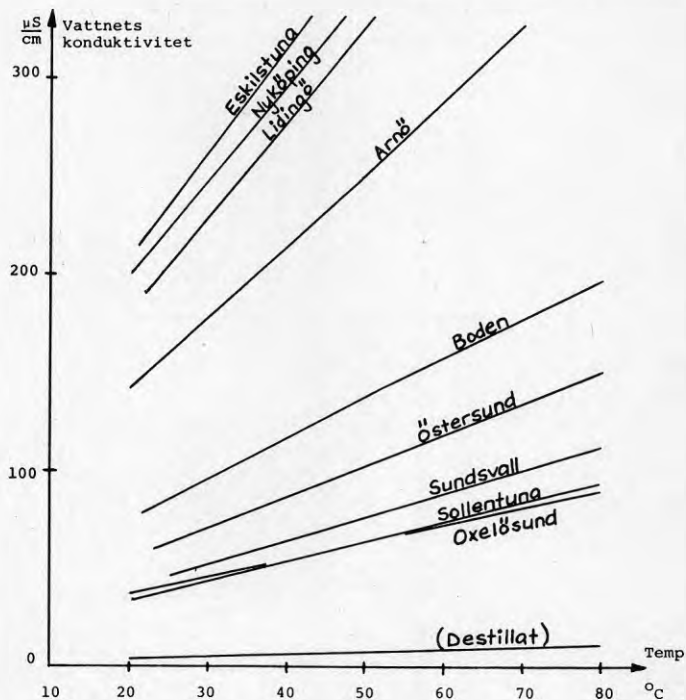
\*) Exponering i 90 min vid 100°C

#### c) Läckagevägar i skarvar vid yttre läckage.

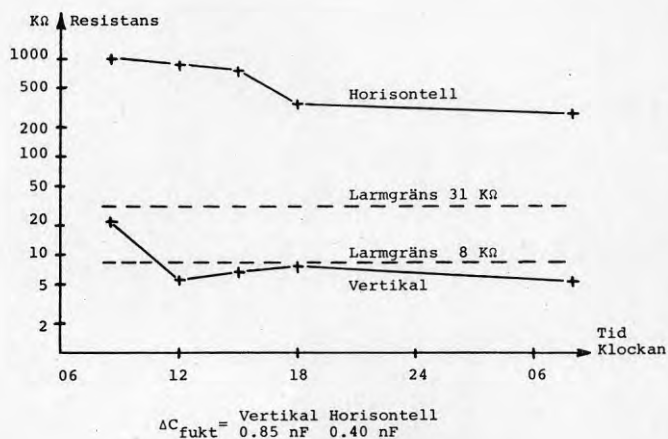


4. Förhållanden vid inre läckage.

a) Vattnets konduktivitet i några fjärrvärmenät.



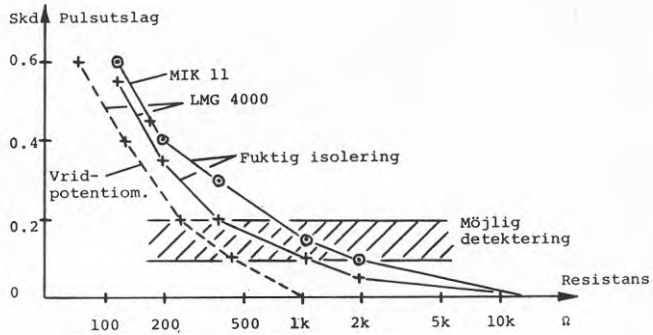
b) Impedansförändring vid inre läckage, kulvert B.



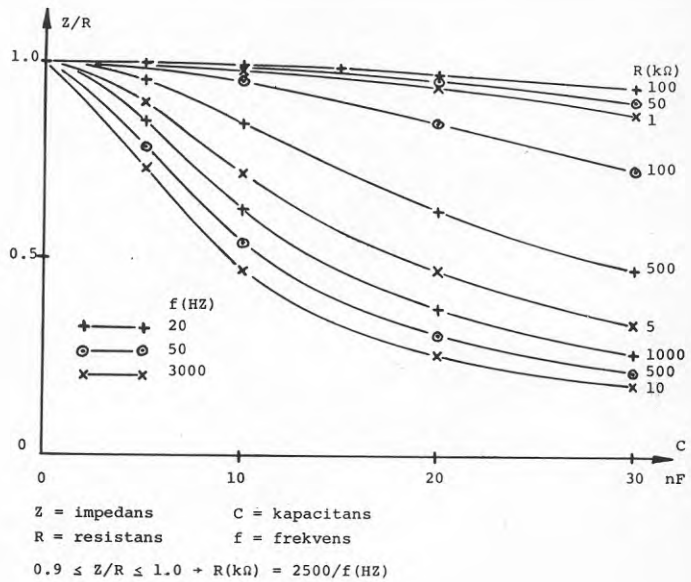


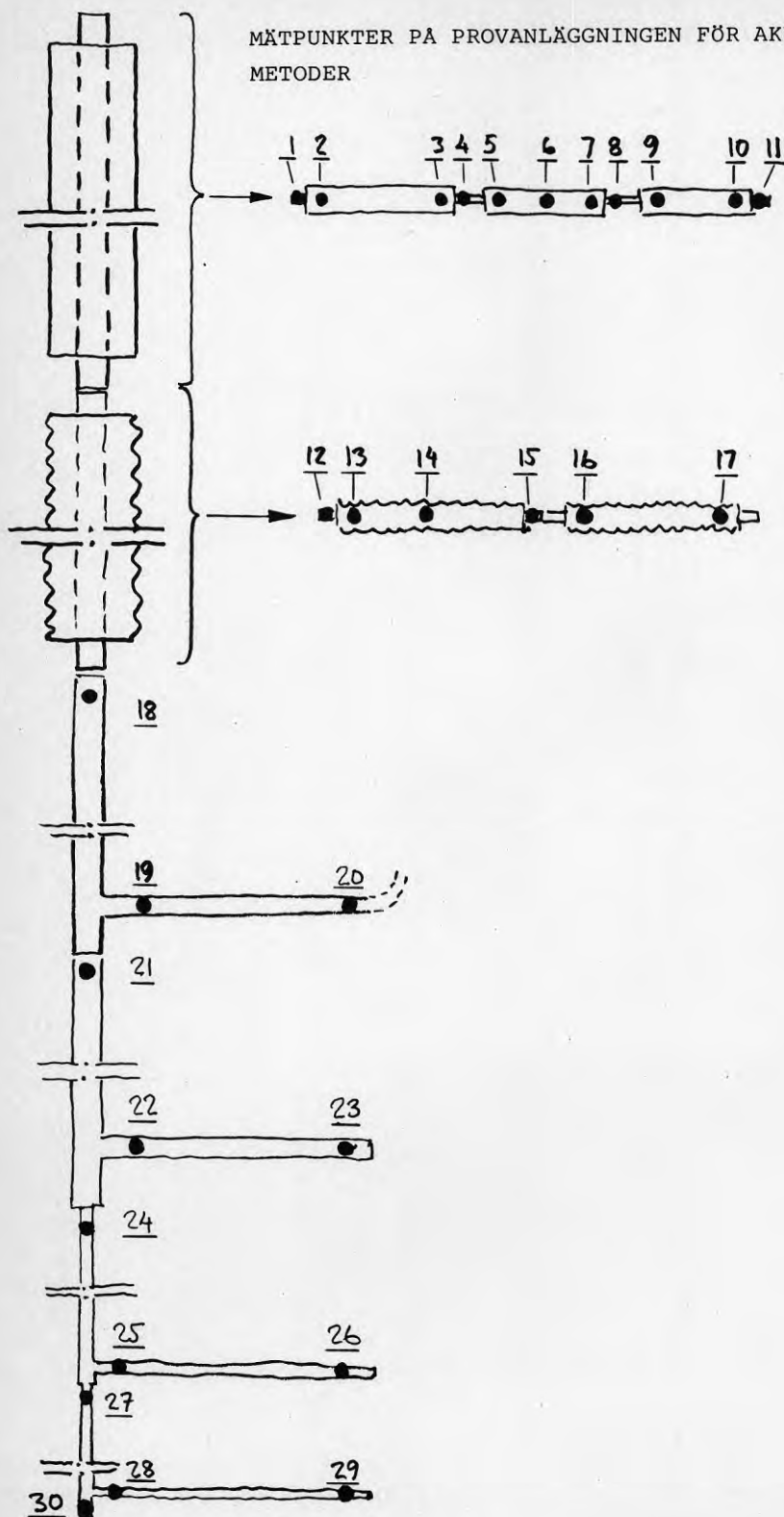
5. Översiktlig undersökning av lämpliga larmgränser. Utan larmaktivator.

a) Undre gränsvärde. Utslag i ekobild.



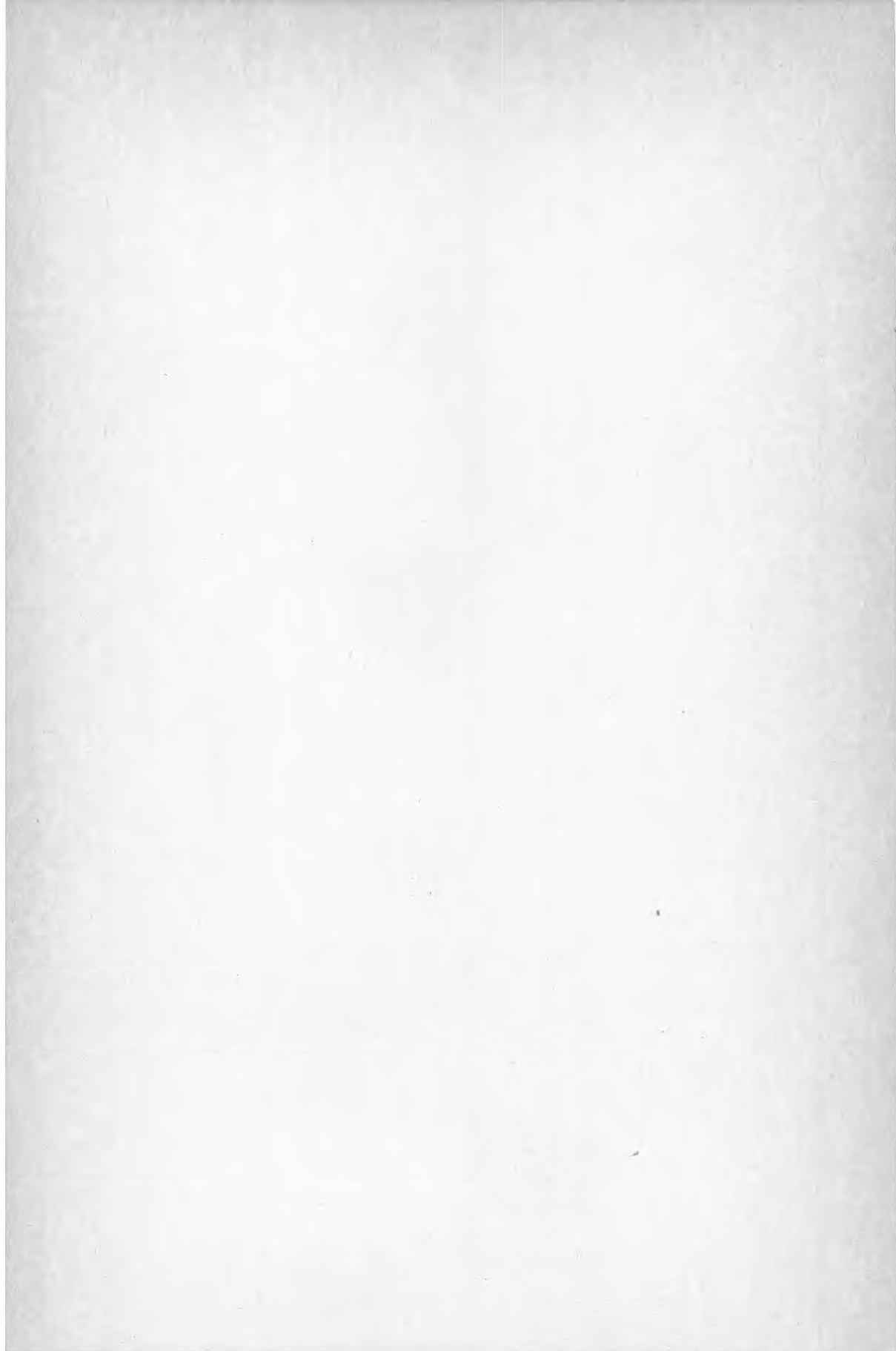
b) Övre gränsvärde. Reell larmgräns oberoende av kulvertlängd.



MÄTPUNKTER PÅ PROVANLÄGGNINGEN FÖR AKUSTISKA  
METODER

AVSTÅND TILL MÄTPUNKTER, FRÅN PUNKT 1 RESPEKTIVE  
FRÅN HUVUDRÖR

Mätpunkt nr	Avstånd (cm)	Mätpunkt nr	Avst från huvudrör (cm)
1	0	19	20
2	100	20	895
3	475		
4	570		
5	690	22	35
6	880	23	895
7	1 070		
8	1 170		
9	1 295	25	20
10	1 660	26	920
11	1 770		
12	1 905		
13	2 010	28	20
14	2 345	29	915
15	2 790		
16	2 920		
17	3 590		
18	3 715		
21	4 850		
24	6 335		
27	7 640		
30	9 160		











**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
820089-6 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Studsvik Energiteknik AB, Nyköping.**

**R62: 1984**

**ISBN 91-540-4148-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704062**

**Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 35 kr exkl moms**