



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**

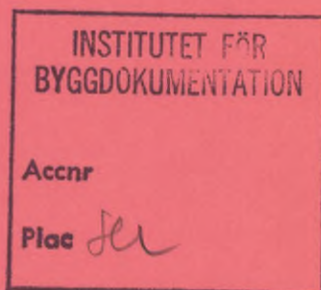
**R74:1985**

# **Värmekulverttyper**

**Insamling av erfarenheter och  
utvärdering av egenskaper**

**Sture Andersson  
Jan Molin  
Dan Olofsson**

R  
GML



**Byggforskningsrådet**

R74:1985

VÄRMEKULVERTTYPER

Insamling av erfarenheter och  
utvärdering av egenskaper

Sture Andersson  
Jan Molin  
Dan Olofsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821693-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,  
Malmö.

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

R74:1985

ISBN 91-540-4399-9  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

## INNEHÅLL

0.	SAMMANFATTNING .....	5
1.	INLEDNING .....	7
2.	ÖVERSIKT AV BEFINTLIGA KULVERT- TYPER .....	9
2.1	Metallrör som medierör .....	10
2.2	Plaströr som medierör .....	17
3.	KULVERTSKADESTATISTIK .....	19
3.1	Inledning .....	19
3.2	Förekomst av olika kulverttyper .	19
3.3	Analys av skadestatistiken .....	20
3.4	Kostnader för reparation av kulvertskador i Sverige .....	31
4.	ERFARENHETER OCH UTVECKLINGS- TENDENSER .....	33
4.1	Betongkulvertar .....	33
4.2	Plaströrskulvertar .....	38
4.3	Stål-i-stål .....	48
5.	ÅTGÄRDER FÖR FÖRENKLING AV KULVERTBYGGANDET .....	49
5.1	Mer friktionsfixerad förläggning.	49
5.2	Minska antalet avstängnings- och tömningsanordningar .....	50
5.3	Markförlagda ventiler .....	50
5.4	Expansionsanordningar .....	50
5.5	Slopa mekanisk förspänning av böjar m m .....	51
5.6	Mindre fyllningshöjd då trafik- lasten är liten .....	51
5.7	Korsning av elledningar .....	51
5.8	Understick i vissa fall .....	52
5.9	Snabbare framdrift - ökad pre- fabricering .....	53
5.10	Val av sträckning .....	53
5.11	Projektering och kontroll .....	53
5.12	Dränering .....	54
6.	OPTIMAL KULVERTUTFORMNING .....	55
6.1	Kravspecifikation .....	55
6.2	Uppfyller dagens kulverttyper kraven? .....	56
6.3	Optimal kulvertutformning .....	57
7.	LITTERATUR .....	61



## 0. SAMMANFATTNING

Användning och fortsatt utbyggnad av fjärrvärmenäten i Sverige är en förutsättning för den satsning på alternativa värmekällor som varit utmärkande för den svenska energipolitiken under senare år. Ett fjärrvärmesystem kännetecknas av en hög anläggningskostnad och en måttlig energikostnad. För ekonomin i ett fjärrvärmesystem har kulvertarnas livslängd och möjligheten att använda enklare läggningsteknik stor betydelse. Syftet med detta projekt har varit att samla in den erfarenhet som i dag finns i Europa av befintlig kulvertteknik och göra en framåtsyftande utvärdering av denna teknik och eventuellt pågående utvecklingsarbete. I uppgiften har också ingått att ge förslag till optimal kulvertutformning.

Insamling av internationell kunskap och erfarenhet har skett genom besök hos 13 olika kulverttillverkare, värmeverk och forskningsinstitutioner i Europa under 1983-84.

Rapporten inleds med en översikt av befintliga kulverttyper. Dessa har indelats i grupperna plaströrskulvert, betongkulvert, stål-i-stålkulvert vad beträffar kulvertar med metallrör som medierör. Dessutom beskrivs kulverttyper med plaströr som medierör.

Därefter följer ett kapitel om kulvertskador som främst baserats på en genomgång av underlaget till Svenska Värmeverksföreningens skadestatistik för åren 1979-1982. Även resultaten i en omfattande dansk utredning angående skador på prefabricerade plastkulvertar har beaktats. En analys av skadefrekvenser och skadeorsaker görs för de olika kulverttyperna. Även den årliga kostnaden för reparation av kulvertskador i Sverige analyseras. Det framgår att skadekostnaden satt i relation till såväl kulvertlängd som anläggningskostnad är lägst för direktskummad PUR-kulvert. Den totala årliga kostnaden för drift, underhåll och reparation av kulvertnäten i Sverige är totalt mindre än 1 % av anläggningskostnaden.

I avsnittet om erfarenheter och utvecklingstendenser redovisas för- och nackdelar med olika kulverttyper. I detta kapitel har dels författarnas egen erfarenhet inom området dels den information, som erhållits vid de genomförda besöken, utnyttjats.

Att utnyttja nya kulverttypers egenskaper till att förenkla kulvertbyggnaden är en väsentlig del i strävan att bygga billigare fjärrvärmesystem. I avsnittet om åtgärder för förenkling av kulvertbyggnaden lämnas ett antal konkreta förslag till hur kulvertbyggnaden skulle kunna förenklas vid användning av den direktskummade PUR-kulverten, som är den i dag helt dominerande kulverttypen i Sverige.

Rapporten avslutas med ett kapitel om optimal kulvertutformning. Där redovisas en kravlista över önskvärda egenskaper för en ideal kulvertkonstruktion. Eftersom samtliga dessa krav ej kan uppfyllas i en och samma kulvertkonstruktion med dagens teknik måste kraven ges olika prioritet beroende på kulverttypens avsedda användningsområde. Avslutningsvis redovisas i rapporten optimala kulverttyper för olika användningsområden såsom överföringsledningar, primärnät, servisledningar och lokala ledningsnät samt lågtemperaturnät.



## 1. INLEDNING

En hög utbyggnadstakt av fjärrvärmenäten i Sverige är en förutsättning för den satsning på alternativa värmekällor som präglar den nuvarande energipolitiken. Ett fjärrvärmesystem kännetecknas av att anläggningskostnaden är hög men energikostnaden förhållandevis låg. Dessutom utgör en fjärrvärmekulvert en konstruktion utsatt för stora termiska och mekaniska belastningar, vilket ställer stora krav på konstruktion och utförande. Under årens lopp har en successiv utveckling av kulverttekniken skett i syfte att nå billigare lösningar och tillförlitligare system.

För att kunna utnyttja billigare läggningsteknik och enklare ledningsdragning måste kulvertkonstruktionernas beständighet och långtidshållfasthet vara betryggande. Kunskap om dessa egenskaper erhålls främst genom praktisk erfarenhet och genom provning av nya kulverttyper i fält såväl som på laboratorium.

Detta projekt syftar till att samla in den kunskap och erfarenhet som i dag finns i Europa om ny kulvertteknik samt att mot bakgrund av erhållen kunskap göra en framåtsyftande utvärdering av befintliga och under utveckling varande kulverttyper.

Projektet har genomförts gemensamt av en arbetsgrupp bestående av Sture Andersson, Malmö Energiverk, Jan Molin, VBB AB, Malmö, och Dan Olofsson, Scandiaconsult AB, Malmö. Insamling av internationell erfarenhet och information om pågående forskning har skett genom besök under 1983-84 hos sammanlagt 13 olika tillverkare, värmeverk och forskningsinstitutioner i Tyskland, Holland, Italien och Finland.

Vidare har produktbroschyrer infordrats från ett 30-tal kulverttillverkare i Europa som underlag för redovisningen av befintliga kulverttyper.



## 2. ÖVERSIKT AV BEFINTLIGA KULVERTTYPER

I det följande ges en översikt över de olika kulverttyper som i dag säljs på den europeiska kulvertmarknaden. Följande uppdelning har gjorts:

### \* Metallrör som medierör

- Plaströrskulvert (PE)
  - . direktskummad PUR-kulvert
  - . PUR-kulvert med glidskikt
  - . PUR-kulvert med hålrör
  - . Aquawarm
- Betongkulvert
  - . platsgjutna
  - . prefabricerade
- Stål-i-stålkulvert
- Övrigt

### \* Plaströr som medierör

För enkelhets skull kommer i denna rapport ofta följande förkortningar att användas:

PB	polybuten
PE	polyeten
PEH	polyeten med hög densitet
PEL	polyeten med låg densitet
PEX	tvärförnätad polyeten
PP	polypropen
PUR	polyuretan
PVC	polyvinylklorid

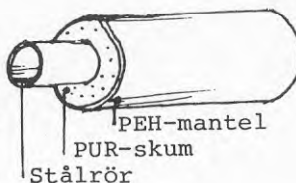
## 2.1 Metallrör som medierör

### 2.1.1 Plaströrskulvert

#### - Direktskummad PUR-kulvert

Detta är den i dag helt dominerande kulverttypen.

Kulverten har ett medierör av stål, isolering av PUR-skum och mantelrör av PE.



PUR-skummet är skummat direkt mot stålröret och mantelröret och ger därmed ett fast förband mellan dessa. Det finns också tillverkningsmetoder, där skumning sker mot medieröret och mot en tillfällig utvändig form, som efter skumning avlägsnas och ersätts med ett mantelrör av PE, som extruderas direkt mot PUR-isoleringen (Magnatherm). Alternativt kan PUR-skummet också sprayas mot stålröret och expandera fritt, varefter PE extruderas utanpå isoleringen (Socotherm).

#### Användningsområde m m:

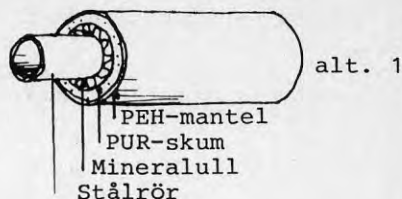
- . Primär- och sekundärsystem DN 15-DN 800
- . Temperatur upp till 130°C (PUR-skummet begränsar)
- . Tryckklass vanligen 16 bar
- . Mantelrör skarvas med skjutmuff och krympförband eller svetsning (Swedish Joint e d)
- . Skarv skummas i fält

#### Exempel på fabrikat:

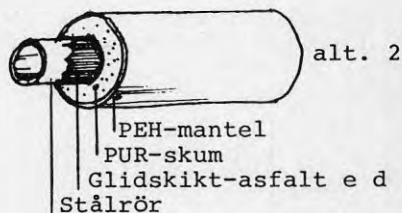
Ecopipe  
 Polyheat  
 ICM  
 Pan-Isovit  
 Stjärnvärme  
 TK-rör  
 Magnatherm  
 Ania  
 Alvenius  
 Dürotan  
 Wehotherm  
 Socotherm  
 Jabitherm  
 Kabelmetal-Premant  
 Wavin-Teletherm

## - PUR-kulvert med glidskikt

Denna kulverttyp fungerar expansionsmässigt som en hålrumskulvert. Genom att exempelvis lägga mineralull mellan stålrör och PUR-skum kan kulverten klara höga temperaturer.



PUR-kulvert med glidskikt har mycket liten marknadsandel. Som specialkulvert för höga temperaturer finner den en marknad. Tidigare användes för bl a Lögstör mantelrör av PVC men numera har de i Sverige använda kulvertarna mantelrör av PE.



## Användningsområde m m:

- . I huvudsak samma användningsområden som för direktskummad PE-kulvert. Specifika data gäller för resp typ av kulvert.
- . För kulvert med mineralull kan temperaturer upp till 200°C tillåtas.

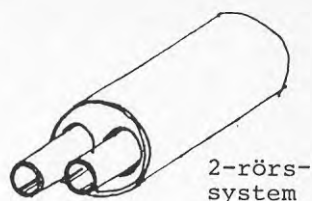
## Exempel på fabrikat:

Dürotan Extra  
Lögstör  
Wehotherm Extra

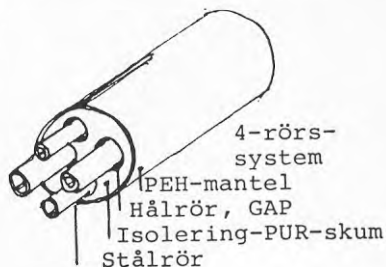
- PUR-kulvert med hålrör

Hålrörskulvertar har tidigare haft en betydande marknadsandel men succsssvit trängts undan av direktskummade PUR-kulvertar.

Kulverten har två eller fyra medierör av stål, hålrör ofta av glasfiberarmerad polyester, isolering av PUR-skum och mantelrör av PE.



2-rörs-system



4-rörs-system

PEH-mantel  
Hålrör, GAP  
Isolering-PUR-skum  
Stålrör

Användningsområde m m:

- . Primär- och sekundärsystem DN 40-DN 200
- . Temperatur upp till 130°C, 16 bar
- . Mantelrör skarvas med krympmuffar (Lohja).

Exempel på fabrikat:

Lohjatherm  
Somatherm  
Wehotherm Universal

- Aquawarm

Aquawarm, som är ett varunamn, är en kulverttyp som har väsentligt andra egenskaper än övriga plast-rörskulvertar.

Aquawarm är en flexibel kulvert, som kan läggas i böjar förbi hinder i marken. Kulverten skall läggas i sinusbågar och kräver ej särskilda expansionsanordningar för att ta upp rörelser på grund av temperaturväxlingar.

Medieröret är av koppar, isoleringen av glasull och mantelröret korrugerat och av polyeten, PE.



Användningsområde:

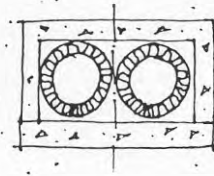
- . Primär- och sekundärsystem  
DN 25-DN 90
- . Temperatur upp till 130°C
- . Tryck 16 bar

### 2.1.2 Betongkulvert

#### - Platsgjuten betongkulvert

Platsgjuten betongkulvert är en vanligt förekommande kulverttyp för större dimensioner.

Kulverten har ett medierör av stål, isolering av mineralull eller PUR-skålar. Upplagen utgörs av glidstöd, pendlar eller rullstöd. Detaljutförandet varierar för varje konstruktion.



#### Användningsområde m m:

- . Primärsystem  
DN 200-DN 1000
- . Temperatur upp till 130°C-  
600°C (beroende på isole-  
ringstyp och övrig utform-  
ning)
- . Tryckklass vanligen 16 bar.
- . Betongskarvar förses med  
fogband för tätning och  
ursparingar eller genomgå-  
ende armering för tvärkrafts-  
upptagning.
- . Lock tätas med bitumenband  
e d.

#### Exempel på fabrikat:

Vid varje större  
värmeverk finns  
egna konstruktio-  
ner.

#### - Prefabricerad betongkulvert

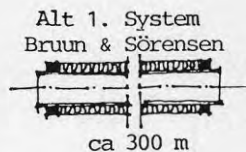
Skillnaden här jämfört med platsgjuten ligger i detaljutförande av geometri, skarvar m m. I övrigt har kulverterna likartade prestanda.



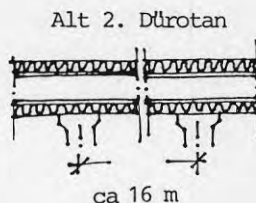
### 2.1.3 Stål-i-stålkulvert

Som alternativ till betongkulvert och plaströrskulvert i stora dimensioner förekommer främst i Västskandinavien och Danmark så kallat stål-i-stålkulvert.

Montagetekniken är i flera avseende hämtad från gasledningsbyggandet. System Bruun & Sörensen, som använts i Århus (DN 1000) och Holland (DN 600) består av medierör av stål, isolering med mineralull samt mantelrör av stål med PE-coating. Mantelröret är i ändpunkterna fixerat till medieröret. Isoleringen är satt under vakuum, vilket minskar korrosionsrisken, förbättrar isoleringsförmågan samt ger ett automatiskt larmsystem.



Dürotan har ett annat stål-i-stål-system med medierör av stål, glidskikt med bitumen, isolering med PUR-skum och mantelrör av Cortén. Systemet används främst för ovanmarksledningar. Dürotan har också ett system för markförläggning, där Corténröret är ersatt med stålrör med PE-coating.



Användningsområde m m:

- . Transmissionsledningar i stora dimensioner
- . Temperaturer upp till 130°C

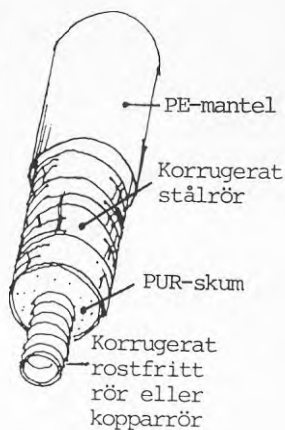
Exempel på fabrikat:

Bruun & Sörensen  
Dürotan  
Kabelmetal

## 2.1.4 Övrigt

## - Flexwell

Flexwell, som är ett varunamn, är liksom Aquawarm (se avsnitt Plaströrskulvertar) en flexibel kulvert som möjliggör att man lätt kan passera hinder. Kulverten har ett korrugerat medierör av rostfritt stål eller koppar. Isoleringen består av ett flexibelt PUR-skum och mantelröret av korrugerat stålrör utvändigt korrosionsskyddat av en tunn PE-mantel. Få skarvar (max. c/c är 600 m) och bra korrosionsskydd gör att kulverten lämpar sig bra vid besvärliga förhållanden med yttre vattentryck.



## Användningsområde:

- . Primär- och sekundärsystem
- . Största dimension DN 125
- . Temperaturer upp till 125°C
- . Tryck 16 bar

## 2.2 Plaströr som medierör

Flera system med medierör av plast finns i dag på europeiska marknaden. Följande exempel kan ges:

Fabrikat	Medierör	Isolering	Mantelrör	Max. temp.-tryck
Flexalen	Polybuten	PUR-skum	PVC	90°C
Teletherm-flex	Polybuten	PEX-skum	PEL	95°C- -5,4 bar
Epogard	Glasfiberarmerad epoxi	PUR-skum	PVC, PP eller PEH	130°C- -10 bar
Teletherm-110	Glasfiberarmerad epoxi	PUR-skum	PEL	110°C- -12 bar
Wirsbo-PEX	PEX	PUR-skålar	PUR-skålar	85°C- -6 bar
Minitherm	PEX med metallfolie	PEX-skum	PEH	90°C- -6 bar

I dag finns inga system på marknaden som klarar svensk fjärrvärmestandard, dvs 120°C och 16 bar.

Användningsområde m m:                              Exempel på fabrikat:

. Lågtemperatursystem                              Se ovan



### 3. KULVERTSKADESTATISTIK

#### 3.1 Inledning

I Sverige rapporterar de till Svenska Värmeverksföreningen, VVF, anslutna värmeverken årligen inträffade skador på kulvertnäten. Dessa uppgifter bearbetas av Korrosionsinstitutet och publiceras av Värmeverksföreningen. I Danmark har nyligen en omfattande utredning angående skador på prefabricerade plastkulvertar genomförts.

I detta avsnitt görs en analys av de återopade referenserna i kapitel 7. Särskild vikt har lagts vid plaströrskulvertarna men även de mer traditionella kulvertarna, typ betongkulvert, behandlas. Intressanta aspekter är

- driftålder
- konstruktionssätt
- grundförhållanden (jordarter, berg)
- expansionsanordningar
- dränering
- yttre åverkan

Försök görs att spåra trender i utvecklingen avseende frekvensen av olika skadetyper.

Avslutningsvis har skadekostnaden jämförts med anläggningskostnaden för olika kulverttyper.

#### 3.2 Förekomst av olika kulverttyper

Den totala längden fjärrvärmeledningar (dubbelledning) uppgick på primärsidan i Sverige 1982-12-31 till 5 090 km. Av denna ledningslängd utgjorde

16 %	(809 km)	betongkulvertar
20 %	(1 004 km)	asbestcementrörskulvertar (ACE)
50 %	(2 529 km)	plaströrskulvertar
2 %	(124 km)	stålrörskulvertar
12 %	(625 km)	övriga kulvertar, främst inomhus- och tunnelledningar

Av de 584 km kulvert som byggdes under 1982 utgjorde

1 %	betongkulvertar
0,5 %	asbestcementrörskulvertar
88 %	plaströrskulvertar
1 %	stålrörskulvertar
10 %	inomhus- och tunnelledningar

I figur 3.1 visas hur utvecklingen för olika kulverttyper varit under årens lopp.

Plaströrskulvertarna, med vilka här avses prefabricerade fjärrvärmerör med stålrör som medierör och plaströr som utvändigt mantel- eller skyddsror för isoleringen, dominerar marknaden för närvarande. De befintliga ledningarna av denna typ utgörs för

närvarande av

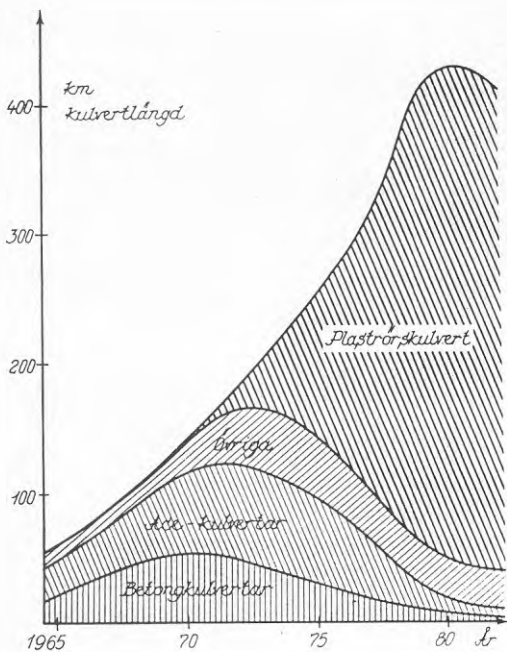
5 %	(135 km)	PUR-kulvert med hålrör
71 %	(1 787 km)	direktskummad PUR-kulvert
24 %	(607 km)	övriga (varav Aquawarm 522 km och Lögstör 46 km)

### 3.3 Analys av skadestatistiken

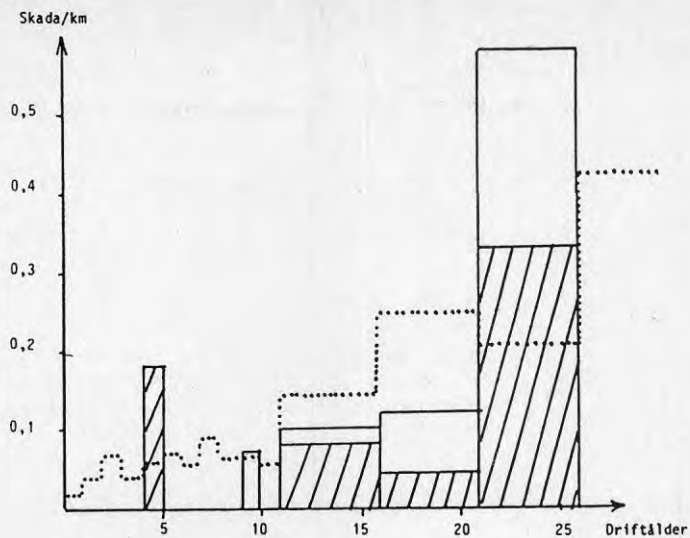
#### 3.3.1 Betongkulvertar

Mineralullsisolerade medierör är vanligast förekommande och denna typ har totalt sett lägre skadefrekvens än genomsnittet av samtliga kulverttyper, se figur 3.2. I figur 3.2, liksom i samtliga följande liknande figurer, avser den prickade kurvan genomsnittet för samtliga kulverttyper. Den streckade delen av staplarna avser andelen skador som lett till hål i medieröret.

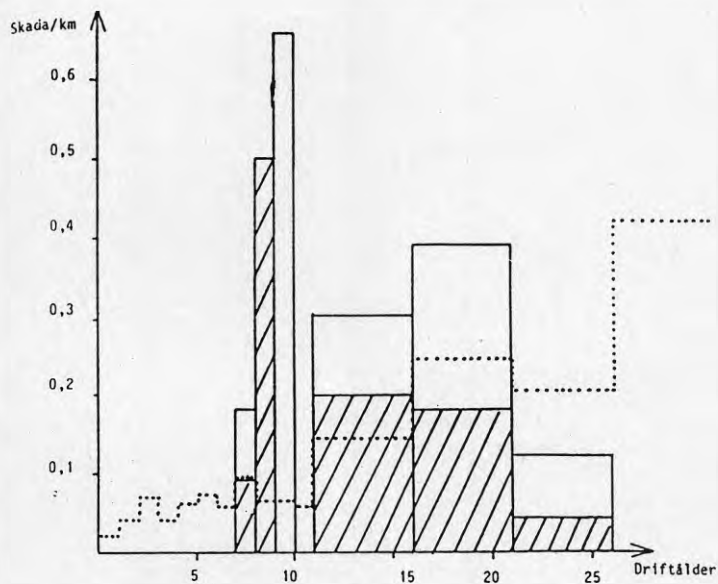
För äldre kulvertar med driftålder över 20 år är skadefrekvensen högre än genomsnittet, men dessa kulvertar utgör endast 2 % av totala längden betongkulvertar med mineralullsisolering.



Figur 3.1 Nybyggnation av kulvertar per år.



Figur 3.2 Skadefrekvens 1982 för betongkulvertar med mineralullsisolering, VVF, 1983.



Figur 3.3 Skadefrekvens 1982 för betongkulvertar med cellbetongisolering, VVF, 1983.

Skadefrekvensen för cellbetongisolerade betongkulvertar framgår av figur 3.3 och är, om samtliga drift-åldrar beaktas, högre än för separatisolering med mineralull.

I statistiken görs ingen skillnad på prefabricerade och platsgjutna betongkulvertar.

De vanligaste skadeorsakerna för betongkulvertar är otäta skarvar i betongen eller otät gjutning, fel som tillsammans utgör ca 30 % av antalet rapporterade orsaker.

Betongkulvertar är vanligast för större dimensioner - ca 75 % av den totala ledningslängden för denna kulverttyp utgörs av dimensioner större än DN 200. I antalet skador för de olika kulverttyperna räknas också in skador på komponenter och kammare. Antalet skador fördelar sig ungefär lika mellan kulvert, kammare, kompensatorer och ventiler.

De vanligaste sätten att upptäcka skador i betongkulvertar är

- vatten i kammare (67 %)
- ånga strömmande ut ur ventilationsrör (10 %)
- larmsystem (8 %)

Andelen skador, vid vilka korrosionsangrepp lett till genomfrätning av medierör eller kompensatorer, var för betongkulvertar ca 65 % under 1982.

Genomsnittssiffran för andelen skador, som lett till genomfrätning var för samtliga kulverttyper 48 % varav 27 % avser skador som lett till genomfrätning på enbart framledningen. Andelen skador med genomfrätning var således något högre för framledningen än för returledningen.

Jämför man 1982 års statistik med tidigare år kan man konstatera att inga större förändringar har skett vad gäller skadeorsakernas procentuella fördelning. Vissa förskjutningar kan dock iakttas:

- \* Bristfällig dränering har sålunda varit orsak till skador i mellan 10-20 % av fallen fram till 1982, då siffran var 6 %. Här kan således en viss förbättring noteras. Bristfällig ventilation uppvisar en liknande positiv utveckling. I detta avseende har tydligen en viss förbättring av utförandet skett under senare år.
- \* Felaktig lutning var 1981 och 1982 orsak till 4 % respektive 5 % av skadorna mot att tidigare ha legat på ca 1 %. För de fall då ledningen lagts för nära kulvertbotten är siffran 8 % för 1982 mot ca 3 % tidigare år. Detta kan tolkas så att en tendens till ökat slarv under montaget finns under senare år.



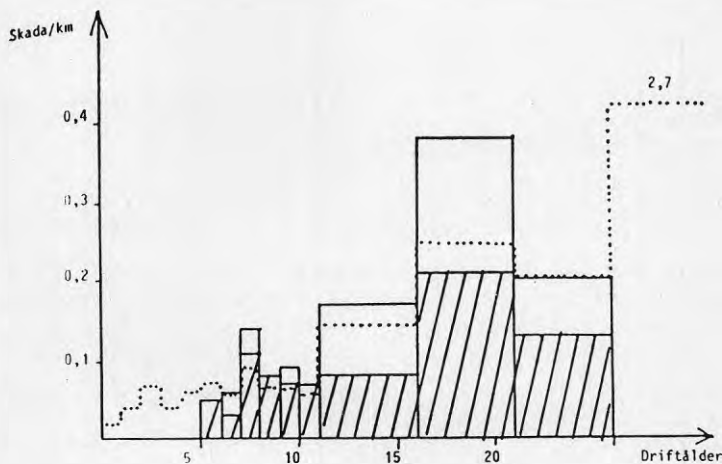
### 3.3.2 Asbestcementrörskulvertar

Asbestcementrörskulvertar separatisolerade med mineralull har ungefär samma skadefrekvens som genomsnittskulverten, se figur 3.4.

De vanligaste skadeorsakerna är marksättningar, otäta skarvar på skyddshöljet samt felaktig lutning på kulverten. Dessa orsaker utgör vardera 13 % enligt statistiken för 1982. Dessa skadeorsaker dominerar statistiken även från tidigare år och andelen skador som bedömts ha uppkommit på detta sätt har varierat mellan 10 och 27 % genom åren.

Sammanfogningen av skyddsroren sker med rullkoppling eller sk gibaultkoppling. Gummiringarna i kopplingarna har visat sig ha dålig långtidshållfasthet.

Asbestcementkulverten har också visat sig vara känslig för mekanisk åverkan. Andelen skador, som utgörs av yttre åverkan, har dock minskat från 10 % tidigare år till 4 % 1982. Orsaken härtill kan vara att en stor del av de mekaniska skadorna troligen orsakats i samband med läggningen men inte upptäckts förrän de lett till skador på medieröret. Dessa skador har nu successivt reparerats.



Figur 3.4 Skadefrekvens 1982 för asbestcementrörskulvertar med mineralullsisolering, VVF, 1983.

### 3.3.3 Plaströrskulvertar

Plaströrskulvertar dominerar för närvarande marknaden, varför de olika typerna av denna kulvertkonstruktion diskuteras mera i detalj.

#### Aquawarm

Skadefrekvensen för Aquawarm-kulverten framgår av figur 3.5.

Skadorna orsakas till största delen av yttre åverkan (ca 40 %). En viss andel skador orsakas också av otäta skarvar på skyddshöljet men i väsentligt lägre grad än för genomsnittet för plastkulvertarna.

Uppstår läckage på medierör eller mantelrör "vandar" vattnet lätt i kulverten, vilket medför skador på isolering och mantelrör vid dränkning. Kulverten går ej att torka ut.

Betydelsen av driftålder är svår att bedöma, då flertalet kulvertar är yngre än 10 år.

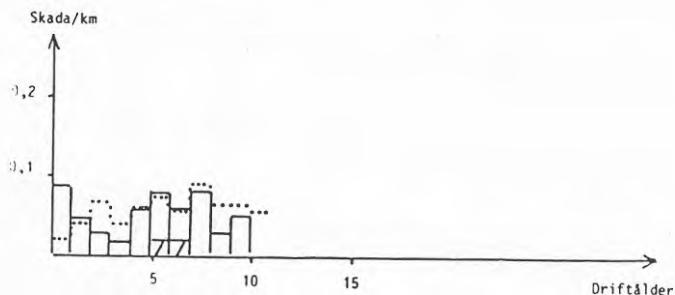
Aquawarm-kulverten uppvisar högre andel materialfel än genomsnittet. Denna skadeorsak anges först i 1982 års statistik och utgör då 16 %, medan genomsnittet för samtliga kulvertstyper endast är 2 %.

#### Lögstör

Denna kulvert, som är av typen PUR-kulvert med glidskikt och mantelrör av PVC, uppvisar betydligt högre skadefrekvens än genomsnittet enligt figur 3.6.

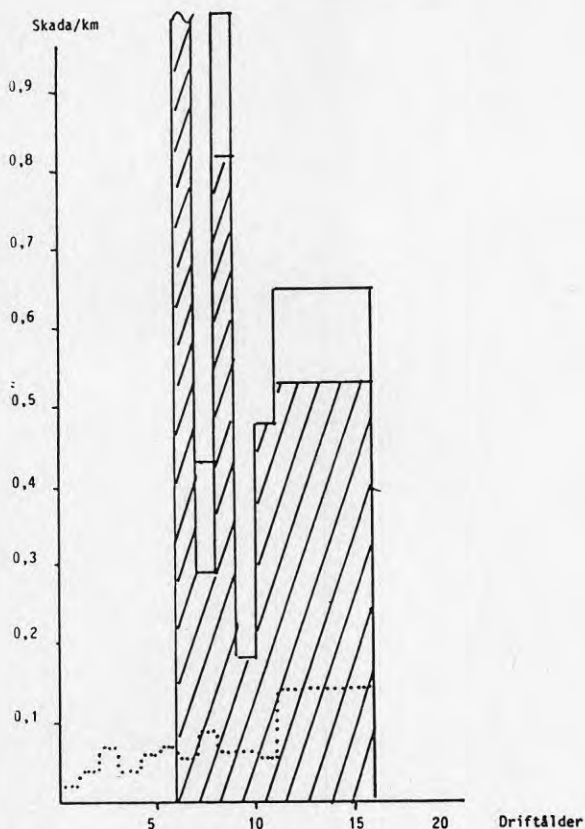
De vanligaste skadeorsakerna är otäta skarvar på skyddshöljet (38 %) och bristfällig dränering (19 %).

En stor del av skadorna leder till genomfrätning av medieröret, 80 %, vilket är den högsta siffran av samtliga kulvertstyper.



Figur 3.5 Skadefrekvens 1982 för plaströrskulvert Aquawarm, VVF, 1983.

Ledningar av denna typ har i huvudsak mindre dimension än DN 80. De flesta byggdes för mer än 5 år sedan, dvs i början av utvecklingsperioden för de förisolerade plastkulvertarna. De representerar en relativt liten andel av det totala ledningsnätet (ca 45 km eller mindre än 1 %).



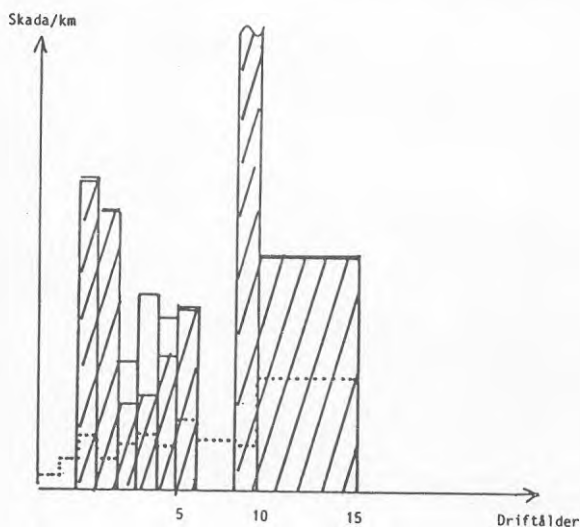
Figur 3.6 Skadefrekvens 1982 för plaströrskulvert typ Lögstör, VVF, 1983.

## PUR-kulvert med hålrör

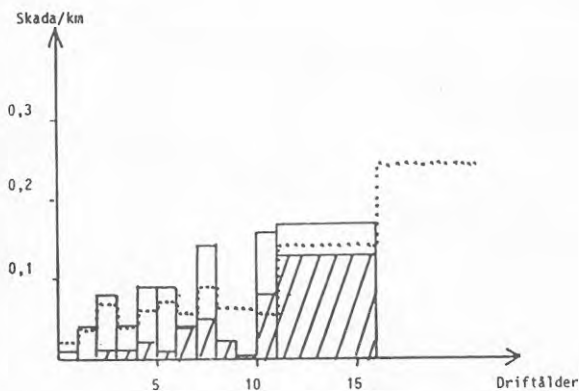
Hålrörskulvertarna uppvisar hög skadefrekvens i förhållande till genomsnittet, figur 3.7. Andelen skador, som leder till genomfrätning, är hög. Otäta skarvar dominerar statistiken och utgör 1/3 av antalet rapporterade skadeorsaker.

## Direktskummad PUR-kulvert

Kulvertar med direktskummad PUR-isolering har lägst skadefrekvens av alla plaströrskulvertar. Antalet skador ökar dock något med driftålder enligt figur 3.8.



Figur 3.7 Skadefrekvens 1982 för plaströrskulvertar med hålrör, VVF, 1983.



Figur 3.8 skadefrekvens 1982 för plaströrskulvertar med direktskummad PUR-isolering, VVF, 1983.

Otåta skarvar på mantelröret (37 %), otät svets på medierör (26 %) och yttre åverkan (10 %) utgör de vanligaste skadeorsakerna 1982. Sneglar man bakåt i statistiken har fördelningen varit densamma varje år och tillsammans har dessa skadeorsaker utgjort ca 70 % av de rapporterade.

I relativt få fall leder skadorna till genomfrätning av medierör eller kompensatorer (18 % av skadorna), vilket skall jämföras med genomsnittet 48 %.

Andelen skador upptäckta genom larmsystem är stor för de direktskummade kulvertarna och var 1982 60 % och har stigit successivt de senaste åren. Totalt för alla typer av plaströrskulvertar upptäcktes 33 % genom larmsystem och totalt för samtliga kulvert-typer var siffran 17 %.

En omfattande genomgång av skador på plaströrskulvertar har gjorts i den danska EFP-rapporten, EFP, 1983, Fjernvarme 5.

Vid böjar och T-stycken, där det uppträder rörelser, placeras i Danmark ofta expansionskuddar kring PEH-röret (på danska "skumpuder") för att underlätta rörelserna. Det är enligt danska erfarenheter dock risk för att "skumpuderna" mister sin funktion genom att de med tiden trycks ihop av jordtrycket. På längre sikt kan det därför trots "skumpuder" uppstå höga spänningar i dessa rördelar.

På grund av expansionskuddarnas isolerande egenskaper kommer temperaturen att stiga i skyddsroret. Temperaturen ökar med ökad tjocklek hos expansionskuddarna. Detta innebär på sikt en haveririsk för såväl mantelröret som för skarvförbandet, om detta utförts med krympmanschett. Den förhöjda temperaturen kan leda både till en degradering av plastmaterialet och till en uppmjukning av tätningssmassan på krympmanschettens insida. Då mantelröret rör sig i jorden uppstår friktionskrafter på skarvmuffen, som kan få den att helt glida av skarvstället, om den inte är fixerad till mantelröret med hjälp av krympmanschetterna.

I Sverige används ofta mineralullsskivor runt ledningen för att åstadkomma expansionsutrymme. Dessa torde ha ungefär samma för- och nackdelar som de danska "skumpuderna".

I den danska rapporten har grundförhållandenas betydelse för skadefrekvensen undersökts, tabell 3.1. Det konstaterades att antalet skador är markant större i leriga jordarter med grundvattenproblem än vid övriga läggingsförhållanden. Ledningslängderna i klass 1 och klass 4 är relativt korta, varför de beräknade frekvenserna för dessa är osäkra. Det är likväl intressant att notera att grundvattenförekomst i sandig jord ej ökat skadefrekvensen. Sannolikt beror detta på att grundvattensänkning i denna

- jordart normalt måste utföras med wellpoint, vilket ger goda arbetsförhållanden under byggskedet. I leriga jordarter är denna grundvattensänkningssmetod svårare att använda och länshållning sker normalt genom pumpning i rörgraven. Detta ger sämre förhållanden för lägnings- och svetsningsarbetena, vilket också avspeglat sig i en högre skadefrekvens för lägningsklass 3.

Tabell 3.1 Antal kulvertskador i Danmark fördelade på olika lägningsklasser enligt EFP, 1983

Lägningsklass	Antal skador (1970-1981)	Ledningslängder km	Skadefrekvens %	Skadefrekvens Antal/km
Lägningsklass 1 (sandig jord utan grundv.problem)	24	54,9	8	0,44
Lägningsklass 2 (lerig jord utan grundv.problem)	69	338,4	48	0,20
Lägningsklass 3 (lerig jord med grundv.problem)	275	267,3	38	1,03
Lägningsklass 4 (sandig jord med grundv.problem)	13	41,5	6	0,31
Okänt	283	853,3	-	0,33
Summa	664	1 555,4	100	0,43

I den svenska statistiken kan ej direkt utläsas hur grundförhållandena inverkat på skadefrekvensen. Det är dock rimligt att anta att skadebilden ser ut ungefär som i Danmark. Dock tillkommer i Sverige fallet med läggning i bergschakt, vilket ej förekommer i Danmark. Enligt erfarenheter från annat ledningsbyggande är skadefrekvensen på ledningar i bergschakt större än för övriga lägningsförhållanden. Orsaken här till är punktanläggning mot uppstickande berggaddar genom en undermåligt utförd ledningsbädd. Det förekommer då att ledningsbädden med tiden helt eller delvis spolats bort av strömmande grundvatten. Risken för att så sker är särskilt stor, om ledningsbädden utförs på kvarliggande sprängmassor utan mellanliggande filterlager. Plastkulvertarna bedöms i detta avseende kräva minst samma omsorg vid utförandet som övriga ledningar av plast, t ex vatten- och avloppsledningar.

I den danska rapporten redovisas även antalet skador i relation till ledningsdimension, tabell 3.2. Skadefrekvensen syns vara något avtagande med ökad dimension. Detta kan antas bl a bero på att de mindre dimensionerna är äldre än de större. En annan orsak kan vara att de mindre dimensionerna utsätts för

större temperatursvängningar, då de är belägna längst ut i näten. Slutligen kan noggrannheten vid utförandet vara större vid byggandet av större ledningar, vilket givetvis också är gynnsamt ur skadesynpunkt.

Tabell 3.2 Antalet kulvertskador i Danmark fördelade efter ledningsdimension

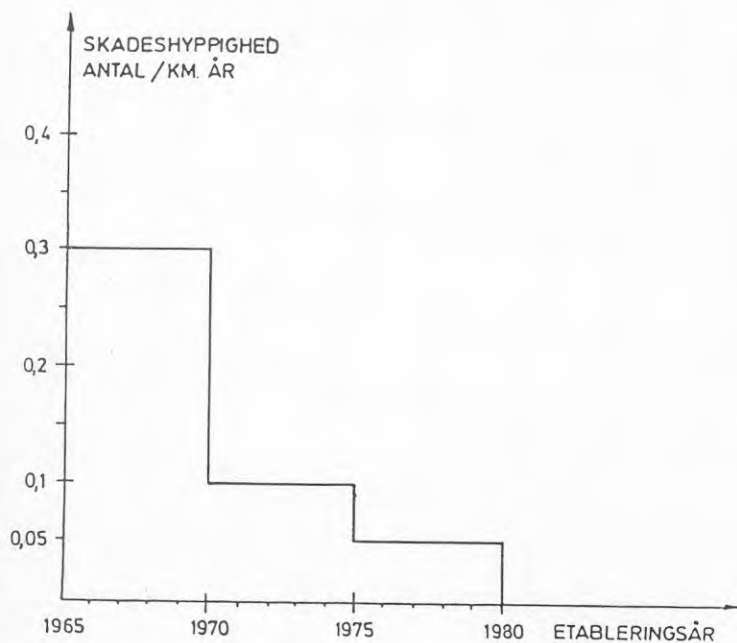
Diameter	Antal skador	Ledningslängder 1981	Skadefrekvens
	(1970-1981)	km	Antal/km
<80	362	556,8	0,65
80-<200	39	76,8	0,51
>200	17	37,0	0,46
Okänd diameter	246	884,8	0,28
Summa	664	1 555,4	0,43

En stor del av de i Danmark rapporterade skadorna har uppstått vid böjar (28 %) och T-stycken (12 %), vilket är höga siffror med beaktande av den ringa längd som dessa element utgör i det totala systemet. Motsvarande siffra för rokrör i Danmark är 47 %. Många av skadorna på böjar och T-stycken har uppstått på plastkulvertar med glidskikt eller hålrör (glidande system), där expansionsutrymmet mellan medierör och mantelrör varit för litet, så att differensrörelser och läckage uppstått i angränsande skarvar på mantelröret.

En jämförelse av skadeorsakerna i svensk och dansk statistik visar att god överensstämmelse finns för otätheter i skyddshölje och mekanisk åverkan. Där emot stämmer siffrorna dåligt vad gäller svets på medierör, 2 % i Danmark mot 21 % i Sverige (1981). En förklaring till denna skillnad kan vara att skadorna upptäcks i olika skeden av skadans utveckling. Svetsfel kan vara svåra att registrera efter det att skadan har skett, såvida registreringen inte sker med larmtråd. Fler skador upptäcks via larmsystem i Sverige än i Danmark, 33 % i Sverige mot 12 % i Danmark 1982. Å andra sidan har andelen svetsfel i Sverige inte förändrats för de direktskummade plaströrskulvertarna under senare år trots att andelen skadeupptäckter genom larmsystem ökat med 20 %-enheter sedan 1979. Det tycks därför vara så att andelen svetsfel i Danmark undervärderats, vilket också påpekas i den danska rapporten.

I figur 3.9 visas skadefrekvensen för de svenska kulvertledningarna som funktion av deras ålder. Orsakerna till den större skadefrekvensen hos äldre kulvertar är många, bl a materialåldring och att de ofta utgörs av ej färdigutvecklade system. En orsak, som kanske inte framhålls så ofta, är att

antalet temperaturcykler ökat på grund av nattsänkning, borttagande av överkopplingar samt optimal styrning av framledningstemperaturen för att minska värmeförlusterna. Dessa åtgärder leder till en ökad mekanisk belastning på ledningsnätet.



Figur 3.9 Skadefrekvensen hos plastkulvertar i Sverige som funktion av åldern, EFP, 1983.



### 3.4 Kostnader för reparation av kulvertskador i Sverige

Kostnaderna för reparation och utbyte av kulvertar och komponenter i Sverige uppskattas 1982 till ca 35 miljoner kronor för det totala ledningsnätet.

Antalet rapporterade skadetillfällen var 454 st, vilket innebär ca 80 000 kronor per skada. Med skadefrekvensen ca 0,1 skada/km.år blir skadekostnaden i genomsnitt 8 000 kr/km eller 8 kr/m.

Den genomsnittliga anläggningskostnaden för kulvertnäten i Sverige uppskattas till ca 2 600 kr/m, vilket innebär att kostnader för reparation och utbyte av skadade kulvertdelar utgör ca 3 o/oo av den samlade anläggningskostnaden för kulvertnäten i Sverige. Den totala årliga kostnaden för drift, underhåll och reparationer av kulvertnäten i Sverige är mindre än 1 % av den samlade anläggningskostnaden.

Reparationskostnaden för kulvertskador vid svenska fjärrvärmeverk har analyserats mer i detalj av Bo Thunström, 1982. Därav framgår de i tabell 3.3 redovisade kostnaderna för olika kulverttyper.

Tabell 3.3 Kostnader för reparation av kulvertskador vid svenska värmeverk 1980 fördelade på olika kulverttyper enligt Thunström B, 1982.

	Skade- kostnad 1980 kr/m	Uppskattad anläggnings- kostnad kr/m	Skade- kostnad Anl.kostn. %
Betongkulvert	6,5	5 000	0,13
Asbestcimentrörs- kulvert	4,0	2 200	0,18
Plaströrskulvert (direktskummad PUR-kulvert)	1,3	2 200	0,06
Plaströrskulvert (PUR-kulvert med hålrör)	36,3	2 200	1,65
Lögstör	34,8	1 100	3,2
Aquawarm	1,4	1 000	0,14

De i tabell 3.3 angivna värdena är ungefärliga och speglar endast storleksordningen på reparationskostnaderna för de olika kulverttyperna. Sålunda har i dessa siffror ej hänsyn tagits till att vissa skador ej beror på den aktuella kulverttypen (t ex fel på kammare eller kompensatorer). Ej heller har hänsyn tagits till att de olika kulverttyperna har mycket varierande driftålder och olika dimensionsområden.

Den angivna skadekostnaden för betongkulvertar inkluderar cellbetongisolerade kulvertar, som har en särskilt hög skadekostnad. Skadekostnaden för mineralullsisolerade betongkulvertar låg 1980 ungefär på halva det angivna värdet, dvs ca 3,2 kr/m. Att denna siffra är högre än för plaströrskulvertarna beror bl a på att betongkulvertarna har större dimensioner än plaströrskulvertarna.

Ur reparationskostnadssynpunkt visar den gjorda sammanställningen att plaströrskulvertar utförda med direktapplicerad PUR-isolering är bäst såväl vad avser den absoluta skadekostnaden per meter kulvertlängd som skadekostnaden satt i relation till anläggningskostnaden.

#### 4. ERFARENHETER OCH UTVECKLINGSTENDENSER

Erfarenheter av och synpunkter på en produkt baseras på en kombination av produktens egenskaper och funktion samt på de yttre omständigheterna vid användandet. Sådana yttre omständigheter är naturligtvis grundläggnings- och grundvattenförhållanden men även kontrollfunktioner i form av byggledare och kontrollanter samt utförandesidans erfarenheter och organisation har stor betydelse.

När det gäller erfarenheter i form av skador bildar den statistik, som på Svenska Värmeverksföreningens (VVF:s) uppdrag sedan mer än 10 år upprättas av Korrosionsinstitutet tillsammans med de kompletterande utvärderingar, som görs vid VVF:s tekniska möten, en värdefull databank för spegling av förhållandet i riket i stort.

Nedan redovisas erfarenheter vunna dels inom detta projekt och dels inom vår övriga egna verksamhet.

##### 4.1 Betongkulvertar

###### 4.1.1 Platsgjutna betongkulvertar

Platsgjutna betongkulvertar är i dag i Sverige ett ekonomiskt intressant alternativ vid större dimensioner. Konkurrensen gentemot andra anläggningsarbeten inom regionen och det allmänna sysselsättningsläget har relativt större inverkan på prisnivån för betongkulvertar än för plastkulvertar. Lokal tradition och yrkeskunskap har i detta sammanhang också betydelse. Härigenom kan också svängningarna i priser från ett objekt till ett annat bli ganska stora.

Den omslutande betonglådan skapar miljön för de medieförande rören och deras värmeisolering. Den innehåller även upplag, styrningar och erforderliga förankringar för medierören. Genom åren har en god teknik utvecklats, vilket även avspeglas i att denna kulverttyp har lägst skadefrekvens i kulvertskadestatistiken räknat per meter kulvert.

De flesta problem med platsgjutna betongkulvertar sammanhänger med bristande insikt i och hänsynstagande till betongens egenskaper:

- \* Betong krymper under sin härdnings- och åldringsprocess.
- \* Betong kryper under inverkan av kraftstyrda belastningar.
- \* Betongs draghållfasthet är väsentligt lägre än dess tryckhållfasthet. De spänningar, som uppstår om den ovannämnda krympningen förhindras, kan därför ofta medföra dragsprickor.

- \* Betong är inte "vattentät" på samma sätt som en metall. Den släpper genom vatten - utan att därför vara "otät" - om den utsätts för sådana temperatur- och fuktighetsförhållanden att detta kan ske.
- \* Betong är korrosionsskyddande - bl a genom sitt "naturliga" pH-värde - men det krävs vissa minimitjocklekar på täckande betongskikt över t ex armering för att detta skydd skall vara tillräckligt.
- \* Det går att täta mot och mellan betongytor, men vissa spelregler måste följas - beträffande temperatur, fuktighet och geometri.

Det traditionella sättet att handskas med fuktproblemen i betongbyggnadstekniken är

- dränering och ventilation så att tillförd mängd vatten minimeras och inträngt vatten kan borttransporteras,
- anordnandet av kondensdroppskydd, så att vitala delar av installationen skyddas,
- kontroll över läckvägarna genom att hålla vissa minimitjocklekar på konstruktionen och minimibredder på fogband och andra tätningar.

De krafter, som uppstår genom förhindrad krympning, måste mildras, antingen genom anordnandet av regelrätta rörelsefogar eller genom att sprickanvisningar utförs. Krympningen förhindras ju genom att egentygnd och omgivande jordmassors tyngd ger upphov till markfriktion. Ingjutningsgoods och skarpa dimensionsförändringar ger spänningskoncentrationer och utgör därmed sprickanvisningar. Detta måste beaktas t ex genom att betongtvärsnittet armeras med hänsyn härtill.

Krympning och draghållfasthet har även betydelse vid anslutningar och genomföringar. Det går inte att få en genomföring tät, såvida ej särskilda åtgärder vidtas. Sådana åtgärder kan bestå i användning av tillsatser, som gör att betongen expanderar, och utförande av särskilda tätningsflänsar på rör genomföringar.

Vid anslutningar till t ex kammare och om kulverten utförs med prefabricerade lock är det nödvändigt med överbryggande tätning mellan olika betongytor. En lösning som då alltid måste föregås av en noggrann analys av konsekvenserna är inåtgående hörn. Tätningsmaterialen är plastiska eller elastoplastiska och deras fläkningshållfasthet är begränsad på lång sikt. Det är därför viktigt att sådana detaljer är noga genomtänkta och ej löses under tidspress på arbetsplatsen.

Övervaknings- och kontrollfunktionen har många viktiga uppgifter. Bland dessa kan nämnas tillsyn

av att dränering och täckande betongskikt samt vägg-tjocklekar utförs på avsett sätt.

Den platsgjutna betongkulverten har i dag använts och utvecklats under ca 30 år i Sverige. Den kan i dag betraktas som en i sina bästa utföranden färdig produkt.

De flesta äldre fjärrvärmeverk och några konsult- och entreprenadföretag har i dag typritningar för de större kulvertdimensionerna. Förhållandet är likartat i Danmark och Finland. I Finland finns också typlösningar på detaljer framtagna i samarbete mellan finska Värmeverksföreningen, LLY, och tillverkarna/entreprenörerna.

Sker ett vattenläckage i en betongkulvert, är det oundvikligt att vattnet sprider sig på längre sträckor. Det är därför nödvändigt att kunna ta hand om sådant vatten och avleda det. Detta kräver som princip att kulverten läggs med lutning.

Konstruktionen gör det möjligt att utföra en väldefinierad dimensionering av medierören. En allmän bedömning är att denna kulverttyp är relativt okänslig för utmattning på grund av växlande temperatur och tryck.

#### 4.1.2 Prefabricerade betongkulvertar

Prefabricerade kulvertar är i princip utformade lika de platsgjutna.

Genom att betonggjutningen, som är ett temperaturberoende arbetsmoment, flyttas inomhus och är/kan vara utsatt för verkstadskontroll erhålls emellertid ett flertal fördelar, varav några är mer uppenbara än andra.

Kulvertprisets marknadsberoende är av ungefär samma natur som för den platsgjutna kulverten. Det minskade klimatberoendet kan någon gång ge en bättre prisbild genom att byggandet med större frihet kan pågå under vinterhalvåret, varigenom den då normalt lägre sysselsättningsnivån utnyttjas.

Tekniska fördelar är högre betongkvaliteter, bättre kontroll över vägg-tjocklekar och armeringens inplacement. De högre betongkvaliteterna ger i sin tur en högre draghållfasthet och slankare konstruktioner, vilket minskar sprickrisken.

Skarvarna mellan betongelementen, vilka tillverkas med upp till 6 m längd, kan utföras olika. Oftast förbinds delar av armeringen i intilliggande element med svetsförband, vilka emellertid redan vid måttliga sättningar uppnår flytspänningen. Detta behöver inte vara någon nackdel men ställer liksom vid kulvertkonstruktion utan momentöverförande förband

krav på de tätningar, som anbringas vid längs- och tvärskarvar.

Här har emellertid en utveckling skett under de senaste åren och kulverttypen används med tekniskt gott resultat både i Sverige och t ex Finland.

När det gäller val av kulvertdesign finns en intressant skillnad mellan finsk och svensk betongkulvert. Medan i Sverige oftast en underdel utformad som ett rättvånt U kombineras med ett plant lock, är i Finland två lika halvkor med skarv "vid midjan" förhärskande.

Fördelen med den svenska varianten kan bl a vara en högre belägen längsskarv. Därigenom erhålls större säkerhet mot grundvatteninträngning och en större åtkomlighet.

Utvecklingen av tätningsmaterialen och den nu dokumenterade höga livslängden hos betongkulvertar pekar mot att ett större utnyttjande av den finska designen även i Sverige vore intressant. Detta innebär bättre åtkomlighet under montagearbetet och lättare element vid samma bygglängd.

En av den prefabricerade betongkulvertens särdrag är att den hänger direkt samman med dess tillverkningsmetod. När elementen monteras, har i allmänhet deras första, autogena, krympning redan ägt rum. Detta innebär att när kulverten tas i bruk och betongkonstruktionen därigenom värms till 35-45°, den av kringliggande jordmassor förhindrade värmeexpansionen ger upphov till en tryckkraft, som hjälper till att hålla ihop tvärsnittet och förhindrar att såväl ev. krympsprickor som att tvärskarvarna öppnar sig.

Tryckkraften kan för stora kulvertdimensioner bli över 1000 kN. När en prefabricerad kulvert friläggs på en längre sträcka måste därför risken för utknäckning beaktas.

En sådan kulvertkonstruktions tvärskarvar är således normalt täta mot utifrån inträngande vatten. Om kulverten tas ur drift kan den emellertid visa sig vara otät. Orsaken är att tryckspänningarna av värmeexpansionen försvunnit genom betongens krympning.

#### 4.1.3 Betongkulvertar, allmänt

I samband med avstängningar sommartid kan det inträffa att i kulvertar med separat isolerade rör, t ex betongkulvertar, det omslutande höljet (betonglådan) blir varmare än rören. Det är då utomordentligt viktigt att betonglådan är tät mot inträngande vatten och att FV-vatten ej släpps ut i kulverten. Enligt "lagen om den kalla väggen" kommer nämligen vattenånga i kulvertluften att kondensera mot rören. När kulverten sedan åter tas i drift kommer svåra korro-

sionsskador att uppträda, i synnerhet på framledning-  
en. (Under i övrigt lika förhållanden är korrosions-  
hastigheten för vanliga kolstål störst vid temperatu-  
rer runt +100°C.) Det är således väl så nödvändigt  
med tillsyn när kulverten ej är i drift som under  
drift, att kammare inspekteras och tömningsbrunnar  
töms.

Värmeförlusterna sommartid kan, i synnerhet för  
äldre betongkulvertar med isolertjocklekar valda  
vid helt andra energipriser än dagens, synas vara  
höga i relation till den levererade värmemängden.  
Det kan då synas vara en god lösning att, om det  
är distributionstekniskt möjligt, stänga av vissa  
delar av ett väl maskat nät sommartid. Sådana åtgärder  
måste då ske under beaktande av de risker  
ett sådant driftsätt medför, t ex genom insats av  
skärpt tillsyn på sätt som beskrivits ovan.

Till betongkulvertens nackdelar hör att den är utrym-  
meskrävande. För större kulvertdimensioner i befintlig  
stadsbebyggelse kan detta framtvinga spontning  
för att klara trafiken samtidigt som kulvertbyggandet  
pågår.

Betongkulvertarnas för- och nackdelar kan kortfattat  
sammanfattas i följande punkter:

- + Beprövad teknik. God kontroll på krafter och rörelser
- + Okänslig för yttre åverkan
- + Inga schaktrestriktioner. Okänslig för yttre åverkan. "Inbyggt larm"
- Utrymmeskrävande. Svårt att ta sig fram
- Dyr för mindre dimensioner
- Sättningskänslig. Otätheter i skarvar och gjutfogar

## 4.2 Plaströrskulvertar

### 4.2.1 Flexibla kulvertar med medierör av metall

Fjärrvärmeutbyggnad, i synnerhet med prefabricerade rör, har alltid att kämpa med och försöka lösa tre problem - skarvningsproblemet, transportproblemet, och intrånget på omgivningen.

Sökandet efter lösningar på dessa problem, vilka dessutom skall uppfylla kraven på systemdata ( $>120^{\circ}\text{C}$ , 12 bar) har lett till framtagnandet av flexibla system med medierör av metall.

Mest kända i Sverige är Aquawarm och i någon mån Flexwell. Den termiska expansionen tas för dessa båda system upp på olika sätt, hos Aquawarm genom att kulverten, som har medierör av koppar, förut-sätts byggd med i princip sinusformad ledningssträckning, hos Flexwell genom att medieröret, som är av koppar eller specialstål, är korrugerat. Vid temperaturhöjning ökas sinusbågarnas pilhöjd respektive trycks "bälgen" samman.

Eftersom skarvarna fortfarande, trots alla ansträngningar, är den svaga länken i systemet, har dessa kulverttyper en stor fördel därigenom att antalet skarvar nedbringas. Genom sin flexibilitet kan de vid mindre dimensioner transporteras i slingor eller på rullar. Konstruktionen och det sätt på vilket den termiska expansionen tas upp gör det möjligt att utan särskilda åtgärder kringgå hinder, något som är mycket värdefullt, framförallt vid fjärrvärmeanslutning inom äldre områden.

Allt är emellertid inte problemfritt. I de fall den ökade flexibiliteten har vunnits genom en tunnare eller på särskilt sätt utformad yttermantel är den ökade risken för skador genom yttre åverkan eller genom att rören vid montage släpas mot ojämn markyta (t ex asfaltyta utan toppbeläggning, packad makadamyta, brädriven betong) uppenbar. På samma sätt ökar risken för yttre åverkan i samband med andra grävningssarbeten. Den entreprenör och den byggherre, som väljer sådana kulverttyper, måste ta hänsyn till detta genom att i arbets- och ekonomisk planering förutse ökade insatser vad avser dessa arbetsmoment samtidigt som höga krav när det gäller hjälpmedel för att lokalisera kulverten vid grävningssarbete i efterhand måste ställas. Ett finmaskigt brett markingsnät är att föredra framför smala varningsremsor.

Det stora avståndet mellan skarvarna innebär, om inga vattentäta skott förekommer och om isoleringen tillåter detta, att vatten, som kommit innanför ytterhöljer - vid montage eller yttre åverkan i efterhand - kan sprida sig längs långa sträckor. Detta kräver mycket stor omsorg vid montage tillfallet för att bli undvika översvämning av kulvertgraven.



Det kortsiktiga resultatet av en vattenspridning inom isoleringen är en drastiskt minskad isolerförmåga. Det mer långsiktiga är en nedbrytning av ytterhöljet som följd av den förhöjda temperaturen.

Typiskt för Aquawarm är att i Sverige nära hälften av alla skador uppstår genom yttre åverkan och att skadorna oftast uppmärksammas genom att marken är varm eller genom att vatten tränger in i anslutna fastigheter. En slutsats kan vara att hantering, kontroll och yttre omständigheter i varje fall inte är på önskat sätt matchar kulvertens egenskaper. Trots detta är emellertid, på grund av ledningstypens goda egenskaper i övrigt, antalet skadefall under medeltalet i relation till dess andel i hela ledningsbeståndet i Sverige. Däremot är skadornas utbredning som väntat, dvs stor.

I många sammanhang behöver Aquawarm, med medierör av koppar, sammankopplas med system med medierör av stål. En särskild lösning för denna förbindning har tagits fram av tillverkaren. Lösningen har för svenska fjärrvärmevattenkvaliteter befunnits fungera väl.

Aquawarm har för servisändamål en ledningstyp, där såväl fram- som returledning placeras i samma ytterhölje. Genom ett särskilt byxrör ansluts servisen till fördelningsledningens separata rör. Lösningen används sedan några år vid Malmö Energiverk utan att problem uppmärksammas. De ekonomiska fördelarna är uppenbara. För mindre kulvertdimensioner kan vid separata medierör sidokostnaderna uppgå till 2/3 av den totala kulvertbyggnadskostnaden.

Under senaste året har en ny kulvertteknik med framgång provats vid Malmö Energiverk, där den ovannämnda konstruktionen använts. När hinder förekommer vid marknivå eller till ett djup av ca 1 meter, eller när växtligheten är sådan att den bör skonas, kan en tunnel skjutas med en sk jordraket. Jordraketten har under några år använts för servicesystem av enkelledningstyp t ex kablar och gasledningar, vilka ej utsätts för fjärrvärmeledningarnas temperaturändringar. Genom att frångå det gängse läggnings sättet (i sinusbågar) och arrangera med nödvändig expansionsupptagning innanför grundmur kan tekniken även användas för fjärrvärme.

I stenig mark kan raketekniken ej användas, då risk finns att raketten ändrar riktning. Vid skarpkantat markmaterial kan det vara nödvändigt att dra ledningen inuti ett foderrör för att undvika släpskador.

För- och nackdelar för flexibel plaströrskulvert typ Aquawarm kan kortfattat sammanfattas enligt följande:

- + Inbyggd expansionsupptagning
- + Små axiella krafter
- + Lätt att ta sig fram
- + Dyrare kulvert men enklare läggningsteknik
- Känslig för yttre åverkan
- Stor utbredning av skador vid läckage, vilket ger stora skadekostnader

#### 4.2.2 PUR-kulvertar med mantelrör av polyeten (PE)

Denna kulverttyp är den i dag förhärskande kulverten på fjärrvärmemarknaden. Tillsammans med Aquawarm svarar den i dag för 90-95 % av nybyggandet i Sverige. I Västtyskland har andelen under tre år stigit från under 10 till ca 40 % av marknaden.

Kulverten förekommer i två ur funktionssynpunkt olika utföranden:

- med fast förband mellan isolering och medierör, direktskummad PUR-kulvert
- med rörelsemöjlighet mellan isolering och medierör, PUR-kulvert med glidskikt eller hålrör.

I Sverige är den direktskummade kulverten den dominerande. Det andra utförandet utgör endast en marginell del. I Finland t ex är förhållandet annorlunda, hålrörskulverten är där mera vanlig. Skillnaderna i utförande är av avgörande betydelse för kulvertens funktion, både i normalt driftskede och vid ett eventuellt haveri. Hos bägge typerna är skarvarna den svaga punkten, i synnerhet de där rörelse förekommer.

Den direktskummade kulvertens principiella rörelsemönster med friktionsfixerade och friktionshämmade sträckor förutsätts vara känt. Skarvarna på friktionshämmade sträckor blir utsatta för de krafter som uppstår vid rörens förskjutning i marken. Rörelserna är dock ej så stora, ty de motverkas av markfriktionen. För ett hålrörssystem eller ett system med glidskikt samlas den relativa rörelsen mellan medieröret och isoleringen - som ligger stilla tillsammans med manteln, kvarhållen av omgivande jordmassor - upp till ett antal kritiska punkter: T-stycken, böjar, dimensionsövergångar etc, där absoluta krav på expansionsupptagning ställs. Det måste finnas utrymme för medieröret att röra sig inne i mantelröret. Uppfylls inte dessa krav, kommer stålroret på grund av sin större styrka att spränga såväl isolering som mantel. Skarvarna i dessa punkter kan utsättas för stora krafter. Krav på rörelsemöj-

lighet uppträder också för den direktskummade kulverten vid böjar och avgreningar. I detta fall rör sig mantelröret i stort sett på samma sätt som medieröret. Lösningen är expansionslådor av betong eller av annat material. Alternativt kan rören kringbäddas med något mjukt material, t ex mineralull. Expansionen kan också tas upp genom axialkompensatorer.

För mindre dimensioner ( $\leq$  DN 200) finns inkapslade kompensatorer för förläggning direkt i mark. För större måste kompensatorer i särskilda kompensatorkammare användas. Kammarna kan vara prefabricerade eller platsbyggda.

Erfarenheterna av rokrör och övriga rördelar är för den direktskummade kulverten med få undantag goda. Ett genomgripande utvecklings- och standardiseringsarbete har ägt rum de senaste 5 åren och borgar för att en god produkt såväl vad gäller mantelrör som isolering kan åstadkommas.

Om elementen tillverkats genom skumning av isoleringen med manteln som ytterform uppstår vid tillverkningen stora dragspänningar i manteln. Dessa spänningar minskar med tiden men kan vid byggande med nya rör vintertid behöva beaktas genom att särskild försiktighet iakttas vid hantering och kapning. Polyeten har nämligen ett mycket högt  $\epsilon_T$  ("temperaturlöjning",  $\epsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T$ ) och när manteln förhindras att dra ihop sig på grund av isoleringens motstånd uppstår höga dragspänningar, såväl axiellt som i ringled. Denna temperaturkänslighet kan vid låga, runt röret jämnt fördelade yttertemperaturer leda till långsgående sprickor vid förhållanden enligt ovan. Vid stora temperaturskillnader mellan rörets hjässa och nederdel uppstår även stora skjvuspänningar som kan ge eventuella sprickor en sned, spiralliknande riktning.

Det inses att dessa problem är aktuella endast vid hantering och montage samt för ovanjordsledning.

Skadestatistiken för fastskumkulvertar är ej så god som för en väl utförd betongkulvert med separat isolerade medierör, men dessa skall vägas mot de lägre anläggningskostnaderna och andra fördelar. Uppenbara fördelar är att kulverten är mindre utrymskrävande än betongkulverten, men den är dessutom såväl extremt sättningstålig och tålig för höga trafiklast, även vid så "svåra" punkter som avstick och anslutningar till kammare.

Som tidigare nämnts är skarvarna kulvertens svaga punkt. Nära hälften av alla registrerade skadefall har med skador vid skarvar att göra.

För att få en under kulvertens hela livslängd väl fungerande skarv krävs enkelt uttryckt

- ett isolermaterial, som fullständigt utfyller utrymmet mellan medierör och ytterhölje, som

- är formstabil och som bibehåller sina egenskaper under kulvertens hela livslängd,
- ett ytterhölje - en skarvhylsa - som är tätt mot utifrån inträngande vatten och som förmår uppta och överföra de krafter som hylsans funktionssätt medför (utan att skadas), som har en rimlig säkerhetsnivå mot yttre skador och som bibehåller dessa egenskaper under kulvertens livslängd.

Med prefabricerade kulvertsystem av typ PUR-kulvert kan man utföra de flesta arbetsmoment - grävning, anordnande av bädd, montage, återfyllning vid andra årstider och under andra väderleksförhållanden än de, som man behöver för att bygga betongkulvertar. Framdrivningstakten blir också hög. Dessa uppenbara fördelar, "förenklingar", inbjuder emellertid till att handskas med skarvningen på samma sätt. Skarvningen kräver dock ett stort mått av yrkeskunskap och noggrannhet så att arbetet utförs med rätta förutsättningar vad gäller renhet, fukt och temperatur och på rätt sätt i övrigt.

De under de gångna åren framkomna skadefallen visar att såväl leverantörer/entreprenörer som beställare bidragit till att skadorna uppstått. Båda sidor måste bli mera medvetna om de risker som tas om arbetet utförs vid för höga eller låga temperaturer, med vatten- eller is-inneslutningar i skumändar och i skarvhylsor. Båda sidor måste respektera att detta är ett viktigt arbete som kräver sin plats i en tidplan. Skulle genom översvämningar, regn etc de ursprungliga planerna rubbas kan förhållandena bli sådana att arbetet ej kan utföras. Erfarenheterna hittills leder till tanken att en auktorisation för skarventreprenörer lika den som finns för svetsning på stålrörssidan, med återkommande prov för svetsaren och med krav på teknisk back-up hos arbetsledningen, skulle vara en nödvändig förbättring. Beställarens folk genom ökad utbildning ges en motsvarande kunskapsnivå.

Det nu förhärskande isolermaterialet i skarvarna är polyuretan (PUR), som gjuts (skummas) i skarvarna på platsen. Tidigare har även halvskålar av annat material (mineralull) och av PUR förekommit. Dessa är mindre lämpliga. Till detta skall återkommas senare.

Vissa frågor vad gäller skarvningstekniken är emellertid ännu ej till fullo utredda. Sådana frågor är t ex korrelationen mellan acceptabel innesluten fuktmängd, temperatur, luftningshålens placering och skumningens rent praktiska utförande. Forskning pågår såväl inom landet som på andra håll. Man vet emellertid redan att luftningshålens placering har avgörande betydelse för att hela skarvutrymmet fylls ut lika väl som att skumningens praktiska utförande (hur skummet sprutas in) har stor betydelse för skummets homogenitet.

Ytterhöljet vid skarven utgörs av en hylsa av metall eller plast. Av plasterna är PE vanligast men även glasfiberarmerad polyester förekommer. Skarvhylsan kan, som vid Swedish Joint eller vid ICMS bandskarv, svetsas till mantelröret med hjälp av prefabricerade skarvelement. Den kan även enligt metoder, som tillämpas av Dfrotan och Kabelmetal, främst i Västtyskland, utföras med hjälp av fogberedning på platsen, svetsning med tillsatsmaterial i V-fog (Dfrotan) eller upphettning med motståndstråd, placerad i svarvat spår i yttermanteln, i vilket skarvhylsan skjuts in (Kabelmetal). I spåret reduceras vägg tjockleken till ungefär halva mantelrörets vägg tjocklek. Metoden kräver därför enligt byggherrens bedömning (se nedan) en tjocklek på mantelröret på minst ca 18 mm. Även Swedish Joint och ICMS bandskarvmetod bygger på upphettning med motståndstrådar.

Såväl ICMS bandskarvsmetod som Kabelmetals metod har tillämpats vid en DN 800 ledning för BEWAG i Berlin. Skarvkostnaden för metoderna är väsentligt högre (uppemot 3 000:- kr per skarv för Kabelmetal) än de vi i dag är vana att acceptera i Sverige.

Svetsmetoderna enligt ovan har fördelar. Så länge svetsförbanden är intakta kan man vara säker på att de är täta. De tar ett grepp om toleransproblemet, låt vara att Swedish Joint förutsätter att skarvhylsan är större än mantelröret. Svetsmetoderna medför emellertid även att ett jämnstyrkekrav måste ställas på skarvarna: skarvarna måste vara minst lika starka som rokrörens yttermantel. De stora krafter som kan uppstå vid montage på grund av polyetenets stora temperaturtöjning har tidigare nämnts. Härtill kommer de krafter som införs i mantel och skarvhylsa vid rörens rörelse i mark. Försök vid Studsvik har visat att svetsade förbindningar kan vara känsliga för fuktinneslutningar över viss mängd i fogen, genom att vattenånga stör svetsprocessen så att blåsbildningar uppstår. (Mot svarande försök är planerade men ännu ej genomförda för krympförband.)

Svetsförbanden har sitt användningsområde för dimensioner från DN 300 och uppåt. För mindre dimensioner utförs skarven vanligen så, att skarvhylsan som helhet eller dess ändar förses med en krympmatta eller krymphylsa uppbyggd av polyeten och mastix. Skarvhylsan är då, som tidigare nämnts, företrädesvis av PE men kan även vara av stål eller glasfiberarmerad polyester. För större dimensioner är måttavvikelserna hos hylsor av PE ett problem. Med nuvarande toleranser kan skillnaderna i diameter mellan hylsa och rör variera inom vida gränser. Detta löses ibland genom att killister slås in i spalten, varigenom hylsan centreras. Kvar står emellertid att hylsan har större diameter än manteln, varför krympförbandet vid kulvertens rörelse blir påverkat av krafter från de kringfyllda massorna. De flesta försök (t ex vid Studsvik och vid Jydska

Teknologisk Institut) har gett skador på krympförbanden. Att kornstorlek och kornutseende har betydelse torde vara fastlagt - det är viktigt att kringfyllningen sker på rätt sätt och med rätt typ av massor. Svårigheten med tolkningen av de utförda försöken är bl a att finna korrelationen mellan ett begränsat antal större temperaturcykler utförda under kort tid och ett större antal mindre cykler utspridda under kulvertens livslängd. Här kommer också den yttre lastens och temperaturrens tidsvariationer och deras betydelse för krympförbandets plastiska egenskaper in. Fortsatt forskning erfordras på denna punkt.

Ett särskilt problem är den temperaturhöjning som uppstår vid expansionsupptagande mineralullskuddar. Temperaturerna på mantelrör och skarvhylsa kan bli så höga, 50-60°C, att krympförbandens egenskaper förändras drastiskt. Å andra sidan kan hävdas att ingen markfriktion påverkar rören i dessa punkter. Problemet är komplext och nödvändig kunskap är ännu ej för handen.

Fullskaleförsök vid Studsvik tyder på att krympförbanden har en tendens till förskjutning i en riktning, vilken skulle kunna bero på olika temperatur på krympförbandens tätningsskikt vid de olika faserna i den fram- och återgående rörelsen.

Vid skarvutfyllnad med annat material än platsgjutet PUR-skum har erfarenheterna hitintills varit dåliga. Det är svårt att få exakt temperaturoberoende passform och formstabilitet på t ex halvskålar. Kravet är ju dessutom att såväl dessa egenskaper som viss tryckhållfasthet bibehålls under kulvertens livslängd.

Skadebilden vid en defekt skarv hos PUR-kulvert med fast förband mellan isolering och medierör blir med få undantag begränsad till skarvstället. Om skadan upptäcks i tid blir därför en reparationsinsats begränsad och korrosionsskador, som kräver utbyte av medierör, förekommer sällan.

Annorlunda är skadebilden för hålrörskulvert och för kulvert med glidskikt. Inträngande vatten från en otät kulvertskarv kan sprida sig på långa sträckor, på samma sätt som inifrån kommande fjärrvärmevatten vid en defekt svets på medieröret kan sprida sig hundratals meter. Följden blir nedbrytning av isoleringen och vad värre är kraftiga korrosionsskador på medieröret, som ofta behöver bytas ut på långa sträckor.

I Finland har på senare tid en annan typ av skador observerats. Från kammare med hög luftfuktighet på grund av tillgång på fritt vatten kan vattenånga tränga upp i hålrummet och sedan stanna i högpunkterna och där åstadkomma svåra korrosionsskador. För att komma tillrätta med detta har nu Lohja OY utvecklat ett system för att täta foderröret vid skarvarna.

Denna konstruktion är beskriven i reseberättelsen från Finland. Konstruktionen är för ny för att praktiska erfarenheter av den skall kunna redovisas.

Sammanfattningsvis kan följande för- och nackdelar anges för direktskummad PUR-kulvert och PUR-kulvert med hålrör:

Direktskummad kulvert	Hålrörskulvert
+ Vanligaste kulvert-typen, vilket ger god branscherfarenhet och hög leveransberedskap	- Ingen leverantör med volym i Sverige
+ Läckage får ringa utbredning	- Läckage ges stor spridning och leder till höga skadekostnader
+ Fixar kan normalt utgå	- Fordrar fixar m
+ Friktionsfixerad förläggning ger få expansionsanordningar	- Kortare avstånd mellan expansionsanordningar
+ Tål sättningar och stora trafiklast	
- Schaktningsrestriktioner på grund av stora axialkrafter	+ Små axialkrafter
- Viss osäkerhet om rörelser, krafter och spänningar	+ God kontroll på rörelser, krafter och spänningar
- Nötning mot mantelyta (skarvar)	+ Ingen utvändig nötning (invändig rörelse)

#### 4.2.3 Kulvertar med medierör av plast

Det i Sverige vanligaste medieröret av plast framställs av tvärförnätad polyeten, PEX. Rör av detta material utvecklades under mitten av 70-talet för användning i varmvattensystem. Den största användningen har rören fått i golvvärmsystem och tappvarmvattensystem.

Som fjärrvärmerör har PEX-rör hittills använts endast i begränsad utsträckning i Sverige. Några områden finns dock, bl a i Växjö och Göteborg. Erfarenheterna från Växjö, där systemet byggdes i mitten av 70-talet, är inte särskilt goda främst beroende på ett förhållandevis stort antal rörbrott. Orsaken här till har varit att rören haft undermålig kvalitet, sannolikt beroende på brister i stabilisatorsystemet. I Göteborg, där PEX-systemet byggdes i slutet av 70-talet, är erfarenheterna hittills (1984) goda och inga rörbrott har inträffat. Temperaturen har maximalt varit 75°C och systemet har längden ca 3 000 m med största dimension ca DN 90.

Plast har i jämförelse med metaller speciella viskoelastiska egenskaper, som måste beaktas vid materialvalet. Sålunda är långtidshållfastheten starkt temperaturberoende speciellt inom det för fjärrvärme aktuella temperaturintervallet, vilket gör att tillåtet användningsområde måste begränsas med hänsyn till temperaturen. Detta gäller i särskilt hög grad termoplasterna, dvs tvärförnätad polyeten PEX, polypropen PP och polybuten PB. För PEX har omfattande hållfasthetsundersökningar under flera års tid visat att materialet kan användas upp till temperaturen 80-90°C. För PP och PB gäller att drifttemperaturen för de bäst stabiliserade kvaliteterna ej bör överstiga 70°C respektive 80 à 90°C om 50-årig livslängd eftersträvas.

Bestämmande för livslängden hos plasterna är förutom temperaturen givetvis också den mekaniska spänningens storlek. Vid lägre temperaturområden är som regel den praktiska livslängden mer beroende av spänningen än av temperaturen. Vid ökad temperatur sker emellertid en påskyndad förbrukning av de stabilisatorer som tillsatts plasten för att den inte skall brytas ned kemiskt. Det övre temperaturområdet inom vilket plasten kan användas under, säg 50 år, bestäms sålunda av risken för stabilisatorförlust i så stor omfattning att materialbrott inträffar oberoende av den mekaniska spänningens storlek. Fenomenet är tämligen komplext, vilket innebär att endast plast för vilka omfattande materialtekniska undersökningar genomförts kan användas vid de temperaturer som nämnts.

Det praktiska diameterområdet för PEX och PB ligger i dag i storleksordningen upp till ca 100 mm, medan för PP diametrar upp till 1 000 mm kan komma ifråga.

Härdplaster, såsom epoxi eller polyester, är mer beständiga vid höga temperaturer än termoplasterna. I bästa fall tål dessa material långvarig mekanisk belastning vid temperaturer upp mot 110-130°C. Rördiameter omkring och även över 1 000 mm kan åstadkommas.

Plast är i motsats till metaller inte gastätt utan en viss diffusion av bl a syre kan ske. I ett cirkulerande system blir vattnet på så sätt syrerikare med tiden, vilket i vissa fall lett till korrosion på systemkomponenter, som ej utförts av korrosionshärdigt material. Dessa problem har i första hand uppstått i radiatorkretssystem på sekundärsidan vid användning av tunnväggiga plaströr av PEX. För att öka gastätheten har en fabrikant försett plaströret med en utvändig aluminiumfolie (Minitherm), medan en annan utvecklat ett rör med ett utvärdigt plastfolielaminat (Wirso-pePEX). För att eliminera risken för korrosion i systemet kan vattnet i vissa fall behöva behandlas med syreförbrukande inhibitorer.

Fogning av PEX-rören måste ske med mekanisk koppling. Det har utvecklats en speciell koppling som tål



de stora temperaturväxlingar, som förekommer i ett värmesystem. PP och PB kan även fogas genom stumsvetsning.

Genom sin låga styvhet och höga brottöjning kan termoplasterna ta upp axialexpansionen av temperatur som en töjning i materialet och några särskilda expansionselement behövs således normalt inte. De är dessutom flexibla och kan läggas i böjar förbi hinder i marken.

Medierör av epoxi och polyester är betydligt styvare än termoplaströr. Dessa material har också en väsentligt lägre brottöjning, varför behov av expansionsupptagande element måste studeras från fall till fall.

Eftersom plaströr ej korroderar finns inte samma krav på vattentäthet hos mantelröret som när medieröret består av stål. Dock måste givetvis isoleringskrav på fuktskydd säkerställas såväl med hänsyn till isoleringsförmågan som med hänsyn till risken för angrepp av mikroorganismer. (Det sistnämnda är speciellt viktigt vid användning av material som innehåller tillväxtbetingande ämnen.) Vid temperaturer under 100°C kan vissa isoleringsmaterial medge att mantelröret kan slopas (t ex Wirsbo kulvert i PUR-block). Detta system har dock hittills endast använts i begränsad omfattning och långtidserfarenheten finns ännu inte. Speciellt är det angeläget att risken för mikrobiell nedbrytning beaktas, eftersom i detta fall kombinationen av fukt, jord, värme och urea borde kunna skapa gynnsamma betingelser för utveckling av materialnedbrytande mikroorganismer i isoleringsblocken.

Följande för- och nackdelar kan sammanfattningsvis anges för plaströrskulvertar med medierör av plast:

- + Korrosionssäkert material
- + Plaströret tar själv upp axialexpansionen (gäller termoplasterna)
- + Flexibel ledning och lätt att ta sig förbi hinder (gäller termoplasterna)
- Ännu ej etablerad teknik. Långtidserfarenhet vid höga temperaturer saknas
- Lägre tillåtna temperaturer och tryck än svensk fjärrvärmestandard på primärsidan
- Syreförbrukande inhibitor måste i vissa fall tillsättas vattnet

### 4.3 Stål-i-stål

Erfarenheterna från totalentreprenader i Danmark och Holland har visat att stål-i-stål-system är mycket konkurrenskraftiga för stora dimensioner. Det är främst erfarenheterna från montageteknik vid gasledningsbyggande som initierat dessa system.

En stålmantel med PE-coating ger fördelar, eftersom den är formstabil och lätt att skarva. Problemet med alternativet plaströrskulvert vid stora dimensioner är att PE-manteln dels är dyr dels är svår att skarva.

Hittills har ingen information beträffande skadefall för stål-i-stål-system kommit till vår kännedom. Vi bortser då i detta sammanhang från äldre hålrörssystem med stålrör som hålrör.

Om någon nackdel skall nämnas med de förspända stål-i-stål-systemen så är det att de är hållfasthetstekniskt komplicerade och kräver avancerad förspänningsutrustning.

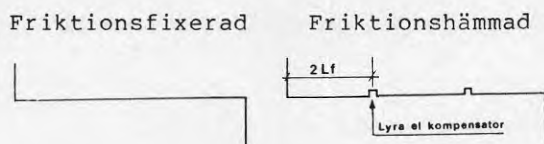
## 5. ÅTGÄRDER FÖR FÖRENKLING AV KULVERTBYGGANDET

Direktskummad PUR-kulvert är i dag den helt dominerande kulverttypen. Vi har med anledning härav valt att i detta avsnitt lämna ett antal konkreta och detaljerade förslag till hur kulvertbyggandet skulle kunna förenklas för denna kulverttyp.

Det intressanta är här sådana förenklingar eller besparingar som inte fullt ut kompenseras av ökade drift- och underhållskostnader. Här finns givetvis en svår avvägning att göra och lokala förhållanden blir för en del av exemplen avgörande för hur långt man kan gå.

### 5.1 Mer friktionsfixerad förläggning

Vissa värmeverk tillämpar endast i undantagsfall s k friktionsfixerad förläggning. Motiven för att ej nyttja denna metod har varit risk för patentintrång, risk för utknäckning, komplikationer vid senare inkoppling samt att olika typer av hinder gör att man inte kan förlägga långa raka sträckor.



Genom friktionsfixerad förläggning minskas anläggningskostnaderna genom att lyror eller kompensatorer utgår. Ur driftsynpunkt erhålls fördelar genom att lyror och kompensatorer har större skadefrekvens än motsvarande rak ledning, att krympmanschetter och avgreningar utsätts för mindre rörelser samt att värmeförlusterna blir mindre.

Beträffande nackdelarna torde risken för att man gör patentintrång i dag vara nästan obefintlig. Risken för utknäckning i samband med frischaktning finns längs en större del av en ledningssträcka, vilket gör att man bör undvika friktionsfixerad förläggning i de centrala delarna av en tätort. Beträffande komplikationer med senare inkoppling av T-stycken på friktionsfixerade ledningssträckor finns metoder härför som medför att denna nackdel ej är något större problem.

Av Värmeforsk-rapporten Andersson S m fl, 1984, framgår att även friktionsfixerade ledningar (mindre dimensioner) kan kallförläggas, dvs förvärmning erfordras ej, eftersom utmattningshållfastheten är oberoende av om förvärmning utförs.

Vår rekommendation är således att nyttja friktionsfixerad förläggning där så är möjligt med hänsyn till den geometriska sträckningen. Kallförläggning kan nyttjas för mindre dimensioner. Vid förläggning i centrala delar samt i övrigt längs sträckor där frischaktning är mycket sannolikt bör dock friktionshämmande förläggning nyttjas.

## 5.2 Minska antalet avstängnings- och tömningsanordningar

Om en avstängningsventil med åtföljande tömnings- och luftningsanordning tas bort minskas förutom anläggningskostnaden även underhållskostnaden av dessa anordningar. Samtidigt berörs fler abonnenter, då ett ingrepp på nätet behöver göras. Åtgärden bör därför tillämpas endast för nät med mindre dimensioner (villaområde eller dylikt).

För lokala lågpunkter kan tömningsanordning utgå. För små dimensioner är det frågan om så små vattenvolymer att man vid ett eventuellt ingrepp kan ta hand om vattnet i rörgraven. Möjligheten finns också att förlägga tömning och luftning till abonnentcentraler. Ett annat alternativ är att förlägga avstängningsventiler till en abonnentcentral eller dylikt och samtidigt få en expansionsanordning genom den lyra som erhålls av in- och utgående ledningar.

## 5.3 Markförlagda ventiler

Olika praxis förekommer hur långt man vill gå upp i dimension med markförlagda ventiler som alternativ till betongkammare. Vår rekommendation är att använda markförlagda ventiler upp till dimension DN 150-DN 200. Stora ventildimensioner bör ej förläggas friktionsfixerat på grund av stora axialkrafter. Markförlagda ventiler kan kombineras med att låta luftning och/eller tömning ske i abonnentcentraler. Vid knutpunkter där flera ventiler erfordras bibehålls ventilkammare.

## 5.4 Expansionsanordningar

Markskivor kontra hålrum är en fråga som diskuteras till och från. Ett problem är här förhöjda manteltemperaturer på grund av markskivor. Ett annat är att vissa gatukontor föreskriver hålrum i all gatumark med hänsyn till sättningsrisken.

Vår rekommendation är att nyttja hålrum då rörelserna är stora och då ledningen är förlagd i gata med tyngre trafikbelastning. Härav följer att i grönområden, trottoarer och gator med liten trafiklast (ex. villaområden) kan markskivor nyttjas då rörelserna är måttliga.

Erforderliga skänkelängder, då ledningen är förlagd i hålrum, kring markskivor eller direkt i mark framgår av Andersson S m fl, 1984. I och med att fjärrvärmeledningar belastas med ett litet antal temperaturcykler under livslängden (ofta mindre än 100) så ger diagrammen i ovan angivna referens, där förspänning ej tillgodoräknas, kortare skänkelängder än diagram upprättade enligt metod 1 i RN 78 och där förvärmning tillgodoräknas.

Om markskivor nyttjas bör skivan ovanpå ledningarna tas bort och ersättas med fiberduk eller minskas i tjocklek. Därmed minskar temperaturen på PEH-manteln samt sättningarna i beläggningsen.

Genom förvärmning minskas rörelserna i ledningssystemet, vilket möjliggör direkt förläggning i mark av avstick och böjar, där rörelserna är små.

#### 5.5 Slopa mekanisk förspänning av böjar m m

Att förspänning nyttjas är en följd av det sätt på vilket nuvarande rörledningsnorm RN 78 är skriven (metod 1). Senaste utgåvan (1978) redovisade en alternativ beräkningsmöjlighet (metod 2) som innebär att om skänkelängden ökas (jfr metod 1) 10-15 % kan förspänning utgå. Den översyn av dimensioneringsförändret, som redovisas i Andersson S m fl, 1984, har medfört att man inte erhåller någon beräkningsmässig fördel med förspänning. Bakgrunden härtill är att provningar visat att brotthållfastheten i huvudsak är oberoende av om förspänning görs eller ej. Således kan mekanisk förspänning av böjar m m utgå.

#### 5.6 Mindre fyllningshöjd då trafiklasten är liten

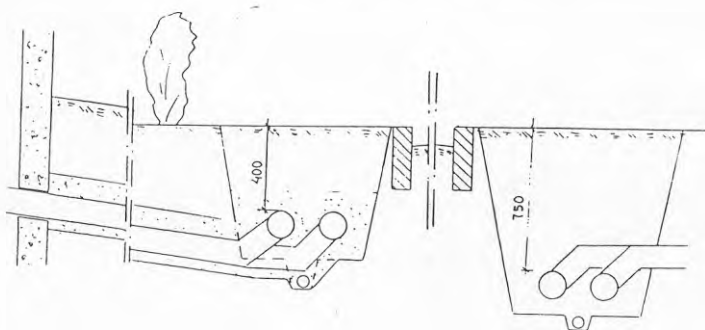
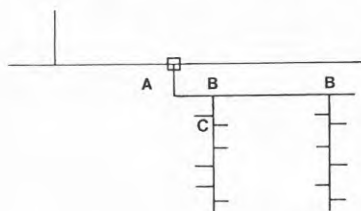
För närvarande utförs projektering med 0,6 m i minsta fyllningshöjd. Enstaka undantag förekommer. Ofta är det fyllningshöjden över servisavsticken som styr nivån. I gator med liten trafiklast skulle minsta fyllningshöjd kunna reduceras till 0,45-0,5 m.

#### 5.7 Korsning av elledningar

Elverket har anvisningar om minsta avstånd till högspänningskablar etc. Av betydelse är här att ökad temperatur kring en elkabel ökar förlusterna. En översyn av dessa anvisningar kan ge besparings-effekter. Exempelvis kan ett minskat avstånd kompenseras med extra markisolering kring korsande fjärrvärmeledning.

## 5.8 Understick i vissa fall

Som huvudregel gäller att överstick skall nyttjas vid avgreningar. Som en idé och som ett undantag från regeln skulle man kunna tänka sig att nyttja understick för serviser i ett villanät. Förutsättningen är då att avgreningar från större ledningar (punkt A och B nedan) sker med överstick. Därmed skulle man kunna lägga fördelningsledningar i trottoarer med 0,3-0,4 m i minsta fyllningshöjd.



Alternativt utförande

Normalt utförande

### 5.9 Snabbare framdrift - ökad prefabricering

- Prefabricera längre sträckor (15-30 m) med rör-detaljer (T-stycken, böjar).
- Direktåterfyll i större utsträckning där körbroar erfordras.
- Möjligheterna att täthetsprova med luft (ev. vakuum) bör prövas. Prefabricering och direkt återfyllning underlättas om täthetsprovning av korta sträckor kan ske med luft och avtagbara ändtätningar. Därefter kan återfyllning ske och provtryckning utföras efter återfyllning.
- Snabbare framdrift samt kostnadsbesparingar erhålls också om samma byggnadsentreprenör utför såväl schakt- och återfyllningsarbeten som återställning av beläggning.
- Det är väsentligt att välja en upphandlingsform som är anpassad till entreprenadformen samt att den främjar en jämn och hög beläggning hos entreprenören och en hög framdrifttakt.

### 5.10 Val av sträckning

- En mycket viktig arbetsinsats ur besparingssynpunkt är att inledningsvis vid en projektering lägga ner tid och arbete på att pröva olika alternativa ledningsdragningar. En ny möjlighet är här projektering med hjälp av CAD (computer aided design), som bl a underlättar alternativstudier. De väsentligaste faktorerna vid val av sträckning är som bekant kortaste kulvertlängd, billig markåterställning och framkomlighet i mark. Kunnig och erfaren personal har här påtagliga möjligheter att i de olika konkreta fallen finna bra lösningar.
- Ökad förhandlingsfrihet med fastighetsägarna vid förläggning inom tomtmark.
- Ökad förläggning av primärledningar i källare i hyreshus och dylikt bör prövas i de enskilda fallen.

### 5.11 Projektering och kontroll

En noggrann projektering och framförallt en professionell kontroll under utförandet är till fördel såväl vad avser anläggningskostnaden som drift- och underhållskostnaden.

### 5.12 Dränering

Merkostnaden för dräneringsledningar kompenseras med marginal av att värmeförlusterna blir mindre på grund av att fukthalten i omgivande kringfyllning sänks. Därtill ger dräneringsledningar mindre risk för vatteninläckage i skarvar och därmed mindre risk för skador.



## 6. OPTIMAL KULVERTUTFORMNING

### 6.1 Kravspecifikation

Mot bakgrund av den långa erfarenhet av fjärrvärme-distribution som nu finns i Europa, där Sverige varit ett av föregångsländerna, kan följande tekniska kravspecifikation ställas upp för en optimal kulvert-utformning:

- \* Kulverten skall utifrån nedan ställda funktionskrav ha lägsta möjliga anläggnings- och driftskostnad.
- \* Materialet i isolering, medie- och mantelrör skall vara stabilt mot förekommande mekanisk, termisk och mikrobiologisk belastning.
- \* Om medierör och isolering ej utförs av korrosions-säkert och vattentåligt material måste mantelröret vara vattentätt.
- \* Kulverten bör beträffande material och hållfasthet ha en livslängd som ej understiger 30 år vid aktuella driftsförhållanden.
- \* Medierör och isolering skall klara medietemperaturen 120°C eller högre vid invändigt tryck 1,6 MPa för användning på primärsidan i befintliga FV-nät i Sverige.
- \* Kulverten skall om möjligt vara självupptagande vad gäller den termiska expansionen. Alternativt skall kulverten vara utformad så att behovet av expansionsanordningar (kompensatorer eller lyror) blir så litet som möjligt.
- \* Kulverten skall klara större yttre laster än i dag och helst kunna läggas med min. 0,3 m täckning i gata.
- \* Kulverten bör vara robust och ha stor motståndskraft mot yttre åverkan i samband med schaktningsarbeten.
- \* Skarvningssystemet för medie- och mantelrör skall vara enkelt och säkert och klara ställda funktionskrav.
- \* Läckvatten får ej spridas längs isolering och medierör.
- \* Kulverten bör vara flexibel, vilket ökar framkomligheten och minskar risken för sättnings-skador.
- \* Kulverten skall ha ett säkert larmsystem.
- \* Möjlighet till anpassning av isolertjockleken till olika energipriser skall finnas.

- \* Medieröret skall ha låg gaspermeabilitet.
- \* Kulvertutformningen skall möjliggöra kort byggtid.
- \* Kulverttillverkningsmetoden bör medge enkel och säker kvalitetskontroll av ingående delar.

## 6.2 Uppfyller dagens kulverttyper kraven?

Vid genomgång av dagens kulverttyper finner man snart att ingen uppfyller alla de uppställda kraven. Man kan tvärtom notera att kulverttyper avsedda för olika användningsområden i viss mån utformats utifrån olika kravprofiler, vilket tydligt framkommit vid den genomförda inventeringen på den europeiska marknaden.

Kulverttyper avsedda för stora överföringsledningar, t ex stål-i-stål- och betongkulverten, uppfyller i första hand kraven på mycket stor driftsäkerhet och är i detalj analyserbara och kontrollerbara system. Konsekvenserna av ett haveri på en sådan ledning är så allvarliga att krav som lättframkomlighet och frihet från expansionsanordningar har låg prioritet. God inspekterbarhet och/eller ett effektivt larmsystem är andra attribut som är viktiga för denna typ av ledningar.

Kulverttyper avsedda i första hand för primärnät, t ex plaströrskulvert, direktskummad eller med hålrör, har i första hand utvecklats med tanke på lägsta möjliga kostnad och litet utrymmesbehov. Funktions säkerheten har ej värderats lika högt som för överföringsledningar, då reservmatningsmöjligheter ofta finns vid ett eventuellt kortvarigt driftstopp på grund av rörhaveri. Erfarenheten har dock visat att större vikt måste läggas på funktions säkerheten även för kulvertar avsedda för användning i primärnät, eftersom underhållskostnaderna annars blir oacceptabelt höga. Kraven på att en tät och säker fog för mantelröret erhålls och att eventuellt läckvatten ej skall kunna transporteras längs ledningen mellan medierör och mantelrör har också fått större tyngd under senare år. Detta har medfört att den direktskummade PUR-kulverten i dag nästan helt slagit ut hålrörskulverten.

För fjärrvärmenät inom områden med begränsat byggnadsutrymme och för servisledningar är möjligheten till flexibel ledningsdragnings en viktig egenskap hos en lämplig kulvert. För servisledningar är möjligheten till förläggning utan expansionsanordningar viktig, då dessa har stor inverkan på kostnaden för sådana ledningar. Aquawarm är ett exempel på en flexibel kulverttyp med inbyggd compensation för längdexpansionen. Flexwell är en annan kulverttyp med liknande egenskaper. Båda dessa kulverttyper finns dock bara i mindre dimensioner.

### 6.3 Optimal kulvertutformning

En viktig slutsats av den i detta projekt genomförda inventeringen av pågående utvecklingsarbete hos ett förhållandevis stort antal kulverttillverkare, provningsanstalter och forskningsinstitutioner i Europa är att arbetet främst koncentreras på vidareutveckling av de i dag befintliga kulverttyperna. Det har ej framkommit något som tyder på att helt nya kulvertkoncept kommer att ligga till grund för de kulverttyper som kommer att användas praktiskt inom en överskådlig framtid. Arbetet inriktas i stället av olika tillverkare på förbättringar av tillverkningsmässig eller konstruktiv natur. Exempel på sådana åtgärder för plaströrskulverten är rotationsgjutning av ytterhöljen av PE till böjar och avgreningar, vilket ger ett hölje utan svetsar för dessa komponenter, extrudering av mantelröret på rårör direkt mot den i förväg utförda PUR-isoleringen runt stålröret, vilket ger möjlighet till en säker kontroll av att isoleringen är helt felfri och utan hålrum. Vidare pågår för denna kulverttyp en utveckling av skarvtekniken för mantelröret, så att en ökad säkerhet mot skador på skarven på grund av kulvertens axiella rörelser i marken erhålls. Således arbetar i dag flera tillverkare med olika typer av svetsade fogar, vilket medför att ett starkare förband erhålls mellan skarvhylsa och mantelrör och att diameterskillnaden mellan hylsa och mantelrör blir mindre. Det senare minskar det axiella jordtrycket mot skarvhylsan.

På betongkulvertsidan finns en klar tendens i Europa att användningen av prefabricerade betongelement ökar och att denna kulverttyp blir ekonomisk i allt mindre ledningsdimensioner. Utvecklingen leds här av Finland, där standardiseringen av prefabricerade kulvertelement lett till ett mycket ekonomiskt betongkulvertbyggande, där de yttre förhållandena vad beträffar mark- och grundvattenförhållanden så medger.

För kulvertar med plaströr som medierör har utvecklingen kommit längst för PEX-rör, som enligt hittills utförda undersökningar kan användas upp till max. 80-90°C temperatur. Dessa rör finns bara i mindre dimensioner och används i viss utsträckning till servisledning och till mindre lågtemperaturnät. Som alternativ till PEX kan även andra termoplaster användas, t ex polypropen, PP, och polybuten, PB. För dessa material måste dock temperaturen begränsas ytterligare. För större ledningsdimensioner kan rör av glasfiberarmerad epoxi komma till större användning än i dag. En förutsättning för en ökad användningsmöjlighet för dessa rör är dock att deras hållfasthetsegenskaper under lång tid vid hög temperatur dokumenteras på ett betryggande sätt.

De flexibla kulverttyperna kan förbättras på olika punkter. Aquawarm skulle exempelvis bli bättre

om det korrugerade mantelröret gjordes mer robust och nötningsbeständigt och om spridningen av inläckande vatten i isoleringen kunde begränsas. För Flexwell torde en förenklad och billigare skarvteknik vara den mest angelägna förbättringen.

Det går inte att ange en enda optimal kulverttyp som täcker alla användningsområden. Kulverttypen måste i stället anpassas till dess avsedda användning. I figur 6.1 redovisas i sammanfattning bedömda optimala kulverttyper för olika användningsområden i dagsläget tillsammans med en bedömning av en sannolik utveckling under den närmaste framtiden.

Användningsområde	Optimal kulverttyp	Sannolik utveckling
A. Stora trans- missionsledningingar	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Stål-i-stål</li> <li>◦ Betongkulvert</li> </ul>	<p>---</p> <p>Vidareutveckling av glidformsgjutning.</p>
B. Primärnät 120°/1,6 MPa	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Direktskummad PUR-kulvert med stål som medierör</li> <li>◦ Betongkulvert</li> </ul>	<p>Rotationsgjutna böjar och grenrör. Svetsade skarvsystem för mantelrör av PE. Säkrare larmsystem. Förbättrad kvalitetskontroll vid tillverkning. Standardisering av prefab.element.</p>
C. Servisledningingar och små, lokala ledningsnät	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Flexibla kulvertar</li> </ul>	<p>Robustare hölje för Aquawarm och system för att förhindra spridning av läckvatten i isoleringen. Billigare skarvteknik för Flexwell.</p>
D. Lågtemperaturnät 70-90°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Direktskummad PUR-kulvert med stål som medierör</li> <li>◦ PEX-kulvert</li> <li>◦ Epoxi-kulvert</li> </ul>	<p>Se B</p> <p>Förbättrad täthet mot syrediffusion. Dokumentation av långtidsegenskaper.</p>

Figur 6.1 Bedömda optimala kulverttyper för olika användningsområden



## 7. LITTERATUR

Andersson, S, Andersson, S, Olofsson, D, 1984: Spänningsanalys av fjärrvärmeledningar. (Värmeforsk projekt E23.) Stockholm 1984.

EFP, 1983, Fjernvarme 5. Projektrapport. Under-søgelse af skader på præisolerede fjernvarmeledninger, herunder vandtap fra fjernvarmeværker. (Danske Fjernvarmeværkers Forening.) Kolding. November 1983.

Thunström, Bo, 1982. Olika kulverttyper och deras egenskaper. Kongress VVS-dagarna i Oslo 29 sept.-1 okt. 1982. (Norsk forening for varme-, ventilasjon- och sanitaerteknikk.) Oslo.

VVF, 1979-82: Enkät svar från värmeverk vilka utgör underlag för VVFs statistik 1978-81. (Svenska Värmeverksföreningen.) Stockholm.

VVF, 1979, Sammanställning av kulvertskadestatistik 1968-78. Rapport. (Svenska Värmeverksföreningen.) Stockholm.

VVF, 1980, Sammanställning av kulvertskadestatistik 1979. Rapport. (Svenska Värmeverksföreningen.) Stockholm.

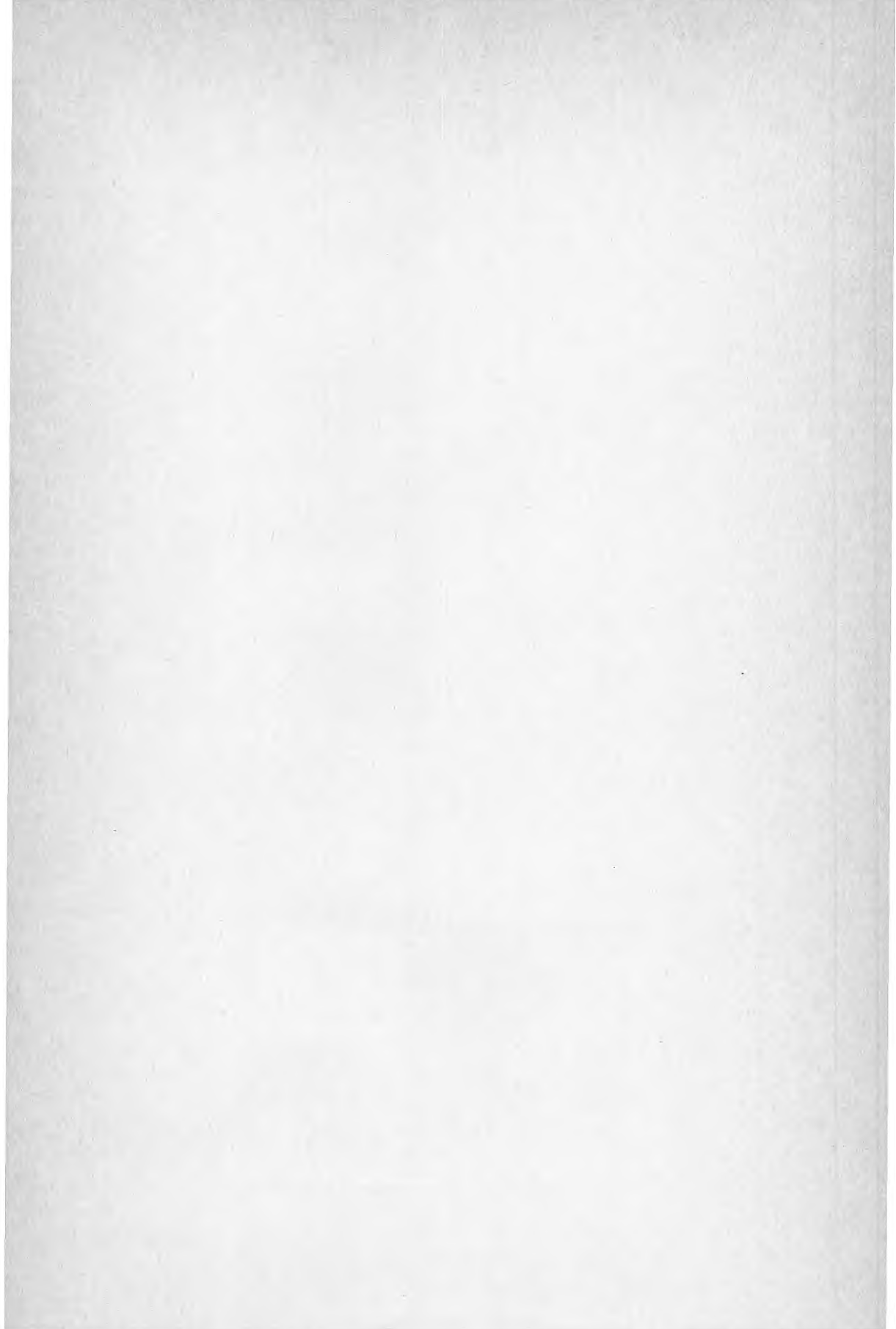
VVF, 1981, Sammanställning av kulvertskadestatistik 1980. Rapport. (Svenska Värmeverksföreningen.) Stockholm.

VVF, 1982, Sammanställning av kulvertskadestatistik 1981. Rapport. (Svenska Värmeverksföreningen.) Stockholm.

VVF, 1983, Sammanställning av kulvertskadestatistik 1982. Rapport. (Svenska Värmeverksföreningen.) Stockholm.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821693-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,  
Malmö.**

**R74: 1985**

**ISBN 91-540-4399-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6705074**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**