



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

R78:1984

**Metoder att minska värme-
förluster i befintliga fjärrvärme-
system**

Etapp 1

Ulf Jonasson mfl

Byggeforskningsrådet

R78:1984

METODER ATT MINSKA VÄRMEFÖRLUSTER I BEFINTLIGA
FJÄRVÄRMESYSTEM

Etapp 1

Ulf Jonasson m fl

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

R78:1984

ISBN 91-540-4154-6
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL	Sid
1	FÖRORD 5
2	INLEDNING 7
2.1	Bakgrund 7
2.2	Projektets syfte och målsättning 10
2.3	Projektets genomförande 11
3	VÄRMEISOLERINGEN HOS BEFINTLIGA KULVERTAR 13
3.1	Översikt över de vanligaste kulverttyperna 13
3.2	Isoleringsmaterial i värmekulvertar 25
3.3	Isoleringsens kondition samt skadeorsaker 26
3.4	Skadestatistik 28
4	VÄRMEFÖRLUSTER I BEFINTLIGA FJÄRRVÄRMESYSTEM . . . 31
4.1	Värmeförlustställen i systemen 31
4.2	Inverkan av varierande jordart, fukthalt och ledningstemperatur 32
4.3	Temperaturfördelningen runt en kulvert 34
4.4	Fältmetoder för bestämning av värmeförluster . . . 39
4.5	Beräknade värmeförluster hos några vanliga kulverttyper 41
4.6	Uppmätta värmeförluster, praktikfall 43
5	VÄRMEFÖRLUSTER GENOM VENTILATION 53
5.1	Översikt över de vanligaste ventilationssystemen . 53
5.2	Ventilationens funktion och betydelse 57
6	MINSKAD VÄRMEFÖRLUST GENOM TILLÄGGSISOLERING . . . 59
6.1	Beräknad minskning av värmeförluster 59
6.2	Ekonomiska förutsättningar för tilläggsisolering . 62
7	SAMMANFATTNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR FORTSATT ARBETE 67

8	BILAGOR	69
	Beteckningar	69
8.1	Beräkning av värmeförluster. Teori	71
8.1.1	Direkt markförlagt, separatisolerat rörpar	73
8.1.2	Betongkulvert, mineralullsisolering	74
8.1.3	Betongkulvert, cellbetongisolering	76
8.1.4	Separatisolerat rörpar i gemensamt asbestcimentrör	78
8.1.5	Gemensamt isolerat rörpar i gemensamt asbestcimentrör	79
8.2	Beräkning av temperaturer mellan isolering och omgivande mark. Teori	80
8.2.1	Asbestcementkulvert, separat fram- och returledning	80
8.2.2	Betongkulvert, mineralullsisolerad	82
8.3	Beräkning av ventilationsförluster, teori	84
8.3.1	Beräkningsexempel, praktikfall	85
8.4	Fältmätningar av temperatur på utsida kulvert	87
8.5	Fältmätningar av luftflöden och fuktighet	90
9	LITTERATURFÖRTECKNING	96

1 FÖRORD

Tekniken att bygga värmekulvertar har en kort utvecklingshistoria jämfört med t ex husbyggnadsteknik. I Sverige startade byggandet efter 2:a världskriget och från början av 70-talet har det skett en mycket kraftig expansion.

25 % av värmeverkens totala kulvertlängd på ca 4.500 km har en driftålder över 10 år. De äldsta är 30 år gamla.

På grund av låga bränslepriser fram till 1973 torde den isoleringstjocklek som tidigare valdes till kulvertarna helt otillräcklig jämfört med vad dagens höga bränslepriser motiverar. Dessutom kan isoleringsförmågan ha försämrats på grund av vattendränkningar och åldringseffekter.

Utveckling av ny teknik samt stora värmeförluster betyder höga kostnader, uppskattningsvis 450 Mkr/år i värmeförluster och 20 Mkr/år i reparationskostnader. Dessa kostnader ökar kraftigt för varje år.

Detta projekt syftar till att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmekulvertar genom utveckling av metoder och teknik för tilläggsisolering. I projektet ingår att finna fältmetoder för att bestämma värmeisoleringens isoleringsförmåga (kondition), samt att finna metoder att utföra tilläggsisolering. Därvid skall de ekonomiska förutsättningarna beaktas. Utvecklade metoder enligt etapp I och II skall praktiskt tillämpas och utvärderas i etapp III.

Vidare så skall ventilationens betydelse beträffande värmeförluster studeras. Metoder och teknik för att minska förlusterna skall, om så befinnes motiverat, utvecklas. Värmeförluster i ledningssystemen, främst betong och ACE-kulvertar (skyddsror av asbestcementror), orsakas också på grund av ventilationen. I föreliggande arbete skall därför undersökas hur stora förlusterna är och vilka möjligheter för styrning av ventilationen som kan användas. Avsikten är att de resultat som framkommer i etapp I och II praktiskt skall provas och utvärderas i etapp III.

FoU-gruppens sammansättning

Följande personer har deltagit i arbetsgruppen:

Jan-Olof Liljeroos	Uppsala Kraftvärme AB
Torbjörn Stål	Uppsala Kraftvärme AB
Bengt Arnryd	Bjerking Ingenjörbyrå AB
Ulf Jonasson	Bjerking Ingenjörbyrå AB, projektledare
Hans Stålhandske	Bjerking Ingenjörbyrå AB
Bror Dicksson	Tekniska verken, Västerås

I referensgruppen har ingått:

Bror Dicksson	Tekniska verken, Västerås
Sven Werner	Chalmers tekniska högskola, inst för energiteknik

Värdefulla bidrag och synpunkter har erhållits från:

Malmö energiverk
Energiverken Helsingborg
Tekniska verken Linköping
Industriverken Örebro
Tekniska verken Västerås
Sandvikens energiverk
Rockwool AB
Gullfiber AB
Berol Kemi AB

2 INLEDNING

2.1 Bakgrund

Fjärrvärmetekniken, som avser storskaliga kommunala värmeför-sörjningssystem, i kombination med värme- och kraftproduktion startade sin utveckling i vårt land i slutet av 40-talet. I Tyskland och Danmark fanns tekniken sedan mitten av 20-talet.

Detta kan kort förklaras av att Sverige hade vattenkraften under det att t ex Tyskland och Danmark var hänvisade till värmekraft. Prognoser pekade dock på att man under kommande decennier behövde en stark värmekraftutbyggnad. Framsynta kommunaltekniker siktade då på den ekonomiskt överlägsna mot-tryckstekniken som raskt döptes om till kraftvärmeteknik.

Då de större städerna började utreda fjärrvärme frågan fanns en rätt så god bakgrund vad beträffar produktion av värme i indu-strianläggningar samt i ett och annat koleldat värmekraftverk. Storskalig distribution av värme i markförlagda ledningsnät var däremot helt oprövad.

Den kulvertteknik varifrån Sverige utvecklade sitt byggande de närmaste två decennierna hade naturligt nog stått ganska stilla under 2:a världskriget. Tack vare en stor öppenhet och vilja från utländska kollegers sida att dela med sig av såväl negativa som positiva erfarenheter byggdes förhållandevis bra värme-kulvertar i Sverige. Detta medförde att vi snabbt fick ett gott rykte som fjärrvärmeland.

Våra äldsta fjärrvärmeverk har idag fungerande ledningsnät med närmare 30 års driftstid vilket betyder att de närmar sig den ålder som kalkylmässigt brukar anges som teknisk livslängd. En sammanställning av vårt värmekulvertbestånd vid årsskiftet 1979-1980 har hämtats ur VWFs korrosionsstatistik och visas i tabell 1.

Den äldre kulverttekniken i relation till dagens ekonomikrav

De äldre värmekulvertarna består till stor del av skyddskulvert av betong respektive asbestcimentrör med mediarör av stål samt "lös" isolering av mineralull, glasull och kork. Skyddskulverten fogas samman medelst tvärfogar vid en rörkulvert och med såväl tvär- som längdfogar vid en betongkulvert. Komponenter för distributionsnätets funktion och drift såsom axialkompensatorer, avstängnings-, luftnings- och avtappningsventiler är inplacerade i kulvertkammare av betong, platsbyggda eller pre-fabricerade. Ventilernas manövrering sker manuellt från gatuplanet eller nere i kamrarna. Till detta erfordras betäckningar för nedstigningsöppningar eller manöveröppningar.

Ledningsnätet har således många svaga punkter där ytvatten eller markvatten kan tränga igenom ledningens yttre skydd. Detta i sin tur medför korrosionsskador på stålmaterialet i rör, ventiler och balkar samt försämrar eller helt förstör isoleringen med stigande underhålls- och driftskostnader som följd.

De låga energipriserna fram till 70-talets början är orsaken till att värmeisoleringen är helt otillräcklig i förhållande till dagens nära 10-dubblade priser (löpande penningvärde).

Den nuvarande värmeleveransen från landets värmeverk uppgår till ca 26 000 GWh/år. Differensen mellan levererad värme och uppmätt hos abonnenterna är ca 2 500 GWh/år, vilket är ett mått på värmeförluster. Förlusterna motsvarar ett värde av ca 450 Mkr/år.

Värmeförlusterna i ett ledningsnät av Uppsalas storlek representerar ett saluvärde av 25 Mkr/år. Dagens värmekulvertar är minst dubbelt så bra isolerade, vilket innebär att nybyggda kulvertar klarar sig med mindre värmeförluster.

Är dagens fjärrvärmeteknik färdigutvecklad?

De ledningsdimensioner som är mest förekommande, ansl ≤ 500 , byggs i dag nästan uteslutande med ett yttre skyddsror av polyeten, PEH eller på senare tid även PEL. Antal fjärrvärmekammare per ledningslängd har minskat gentemot tidigare. Automatiska fuktövervakningssystem blir alltmera vanliga. Övervakning av tryck och temperaturer från ett centralt kontrollrum för optimal drift blir också vanligare. Isoleringen har som tidigare nämnts kraftigt förstärkts. Nya skarvmetoder för skyddsroret har sett dagens ljus.

Värmeverksföreningen bedriver i samarbete med fabrikanter och Studsviks Energiteknik en intensiv verksamhet för provning och utveckling av nya kulverttyper och skarvmetoder.

Trots alla uppräknade insatser och ständiga försök till förbättringar inrapporteras årligen nya typer av skador, t ex materialfel på polyetenrören (skyddsroren), felaktiga skarvmetoder, armaturer som inte håller måttet, undermåliga larmsystem, felaktig hantering och montering o s v.

Av ovanstående framgår att fjärrvärmeledningstekniken har förbättrats men måste anses vara långtifrån färdig.

Skadestatistik och reparationskostnader

Svenska Värmeverksföreningen insamlar sedan 1968 systematiskt uppgifter om art och omfattning av skador på fjärrvärmeledningar samt reparationskostnader. Det insamlade materialet bearbetas och analyseras av korrosionsinstitutet. I sammanfattningen över inrapporterade skador 1981 kan utläsas att 56 % var korrosionsskador på mediasystemet orsakade av inträngande vatten. Reparationskostnaderna under motsvarande tid uppgick till ca 22 Mkr. Dessa kostnader stiger med ökad ålder på fjärrvärmenätet. Ökad värmeförlust p g a vattenskadad isolering är en okänd storhet.

Övervakning och förebyggande underhåll

Stora värden går således till spillo i form av värmeförluster och reparationskostnader för våra fjärrvärmenät. I första hand gäller för värmeverken att genom erfarenhetsåterföring ständigt förbättra material och bygghetoder så att kostnaderna nedbringas. Men det är minst lika viktigt att övervaka befintliga nät så att uppkomna skador snabbt upptäcks och avhjälpes. Exempel på orsak till skador är metod- och materialfel, byggfel, dräneringsproblem, marksättningar, trafik och gatuhållning. De metoder för övervakning av fjärrvärmenät som tillämpas i dag kan graderas enligt följande:

- Manuell övervakning utförd av bilburen driftpersonal med resurser för länsning, uttorkning efter dränkning, enklare förebyggande underhålls- och reparationsarbeten.
- Stationära nivåstyrda pumpar i vissa fjärrvärmekammare med speciellt viktig inredning.
- Nivåalarm som indikeras i centrala kontrollrum.
- Fjärrvärmekulvertar byggda av prefabricerade plastkulvertar med inbyggda automatiska fuktövervakningssystem. Dessa system kan sektionsvis anslutas till centralt kontrollrum eller rutinmässigt övervakas av den ambulerande driftpersonalen.

De sist uppräknade metoderna förekommer ännu i relativt liten omfattning.

Ventilation av fjärrvärmekulvertar

Kulvertar med mineralullsiserade mediarör med skyddshöljen av betong eller asbestcementrör är vanligen ventilerade via ventilationsrör i kamrarna. Ventilationen fungerar helt enligt självdragsprincipen. Det innebär att man får en kraftigare luftomsättning under vinterhalvåret och möjligen vid blåsig väder.

Förhållandena kring ventilationen är dock tämligen okända. Det råder oklarhet i hur stor luftomsättningen är, vilken fuktighet som normalt förekommer och kondensproblematiken. Olika utformningar och principer av ventilationsanordningar förekommer men inga klarläggande undersökningar om vad som är bra eller dåligt har utförts. Man har valt att prova sig fram. När det gäller värmeförlusternas storlek förekommer flera inställningar från helt betydelselöst till betydelsefullt.

2.2 Projektets syfte och målsättning

- . Utveckling av mätmetod för att bestämma värmeisoleringens kondition.
- . Metoder och teknik för att tilläggsisolera befintliga kulvertar.
- . Metod och teknik för att minska värmeförluster genom ventilation.

Projektet är planerat att utföras i följande etapper;

Etapp I har följande målsättning:

- . Översiktligt informera om förekommande äldre kulverttyper och ventilationssystem i Sverige.
- . Undersökning av lämpliga mätmetoder och instrument som skall användas i etapp II.
- . Att med hjälp av fältmätningar och beräkningar av värmeförluster och kostnader visa vilka besparingar som är möjliga.
- . Ange möjliga lösningar att minska värmeförlusterna.

Ovanstående insatser skall utgöra bas för en detaljerad planläggning av etapp II.

Etapp II har följande målsättning:

- . Utveckla fältmetod för bedömning av isoleringens kondition samt tillämpa metoden vid testmätningar.
- . Redovisa tekniskt och ekonomiskt möjliga lösningar för tilläggsisolering samt styrning av ventilationen.

Etapp III har följande målsättning:

- . Tillämpa de framtagna lösningarna för tilläggsisolering och styrning av ventilationen.
- . Teknisk och ekonomisk uppföljning samt anvisningar för praktisk tillämpning.

Föreliggande rapport avser etapp I.

2.3 Projektets genomförande

Etapp I omfattar följande moment;

- 1: Värmeisoleringen hos befintliga fjärrvärmekulvertar
 - . Översikt över förekommande kulverttyper, konstruktion, material, förlägningsdjup i mark, värmeförlustställen i systemen m m.
 - . Beräkning av värmeförluster på grund av transmission samt temperaturfördelningen i marken vid olika jordarter m m hos de vanligaste kulverttyperna. Litteraturstudier.
 - . Inventering av isoleringens kondition samt orsaker till skador och nedsatt isoleringsförmåga.
 - . Inventering av metoder för uppmätning och bestämning av värmeförluster i fält. Resultat av ev utförda mätningar. Litteraturstudier.
 - . Möjliga lösningar att förbättra värmeisoleringen samt beräknad värmebesparing.

- 2: Värmeförluster genom ventilation
 - . Översikt över förekommande ventilationssystem.
 - . Fältmätningar och analyser av ventilationens funktion och betydelse i olika kulverttyper.
 - . Beräkningar av den ekonomiska betydelsen av ventilation med hänsyn till energivinster och fuktproblem.

3 VÄRMEISOLERINGEN HOS BEFINTLIGA KULVERTAR

3.1 Översikt över de vanligaste kulverttyperna

Ur Svenska Värmeverksföreningens kulvertstatistik framgår att landets totala ledningsnät hade följande sammansättning 1981-12-31:

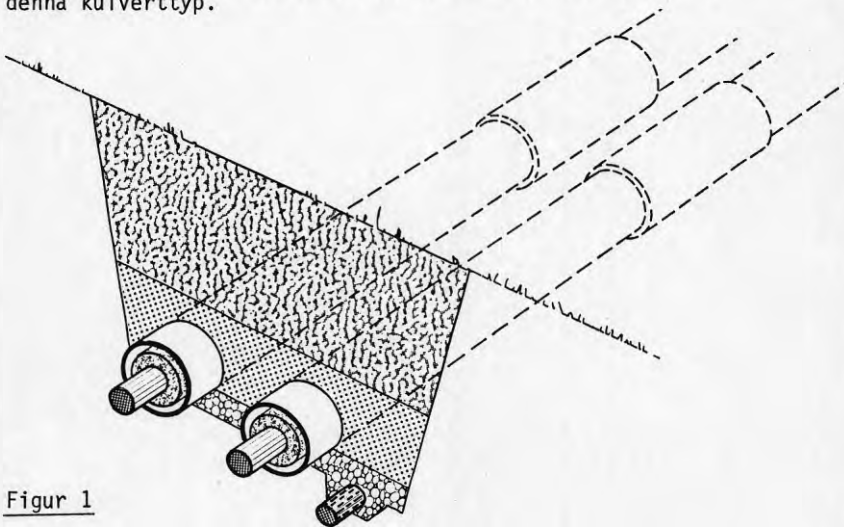
- 16 % betongkulvertar (BTK)
- 23 % asbestcimentrörskulvertar (ACK)
- 45 % plaströrskulvertar
- 3 % stålrörskulvertar
- 13 % övriga kulverttyper

I nyproduktionen svarar plaströrskulvertar för den helt dominerande delen, ca 83 %. Ledningsnätets sammansättning med avseende på driftålder och isoleringsmaterial framgår av tabell 1 och 2.

ACE-kulvertar

ACE-rör tillverkas av asbestfibrer, cement och vatten. Kulverttypen var under en lång period den dominerande för anslutningsnummer upp till 200 för enkla och 100 för dubbla ledningar.

Skyddsroren tillverkades i dimensioner från 150 till 600 mm i 4-5 meters längder och klarade alltså även grövre anslutningsnummer men dessa är ovanliga. Vi har i landet ca 900 km av denna kulverttyp.



Figur 1

Ledningsbädden är vanligen 100-150 mm grus eller singel. Den är normalt dränerad med dräneringsrör av tegel eller plast, anslutet till dagvattenledning.

Kringfyllningen består av grus eller sand till minst 100 mm över rören.

Resterande fyllning är beroende på markytans användning. Den totala täckningen över kulverten blir vanligen 600-1000 mm.

Tabell 1 Kulvertlängder i km för olika kulverttyper med avseende på driftålder, 1981-12-31.

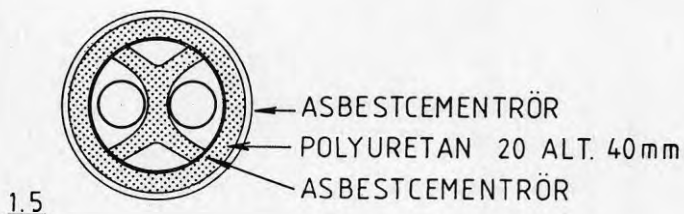
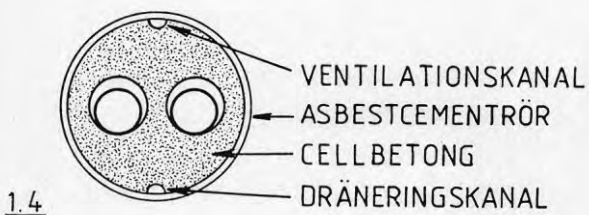
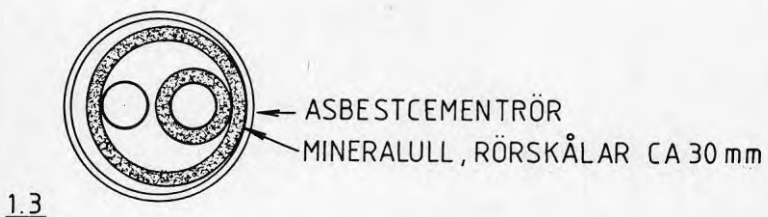
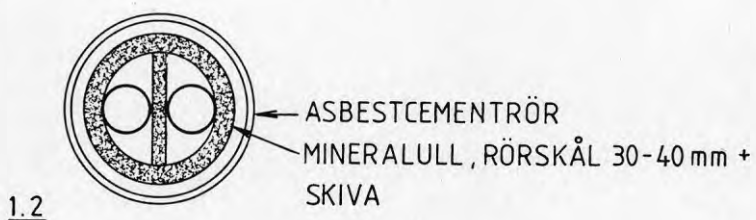
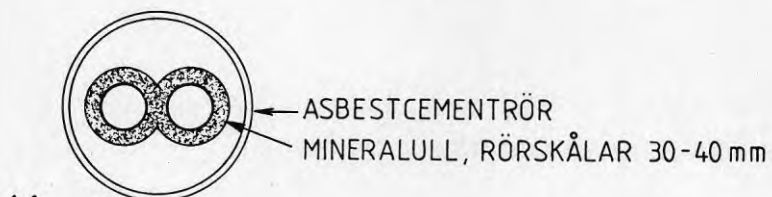
Kulverttyp	DN	A n t a l d r i f t å r													Summa			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-15	16-20		21-25	26-30	Ospecc
Betongkulvert totalt		11.3	9.6	11.6	13.8	22.9	30.7	29.1	19.8	33.4	46.2	43.1	118.7	79.6	22.2	7.3	205.9	705
ACE-kulvert totalt		2.5	1.9	5.6	39.6	39.5	46.8	67.9	69.8	88.7	78.2	70.1	247.1	40.9	10.6	0.3	222.4	1032
Plaströrskulvert totalt		266.0	296.1	296.9	225.6	180.1	145.7	229.7	75.9	56.6	19.5	16.2	31.7	9.1			283.9	2041
Övriga kulverttyper		41.7	41.4	40.8	31.6	40.0	39.9	42.1	56.5	43.5	39.6	37.9	100.2	32.8	17.9	0.2	135.1	728
TOTALT		322	349	355	311	283	264	258	222	222	184	169	498	162	51	10	847	4506

Tabell 2 Procentuell fördelning av olika kulverttyper och isoleringsmaterial vid svenska värmeverk, 1981-12-31.

Isoleringsmaterial	Kulverttyp i % av total rapporterad kulvertlängd (inom parentes anges längd i km)							Summa
	Betongkulvert	ACE-kulvert	Plaströrskulvert	Stålrörskulvert	Övriga			
Cellbetong	(177) 4	(181) 4					(358) 8	
Mineralull	(509) 12	(603) 13	(467) 10				(1579) 35	
Polyuretanskum	(19)	(223) 5	(1574) 35				(1797) 40	
Diverse, ospec		(25) 1		(132) 3	(596) 13		(772) 17	
SUMMA	(705) 16	(1032) 23	(2041) 45	(132) 3	(596) 13		(4506) 100	

ACE-kulvertar, dubbel ledning

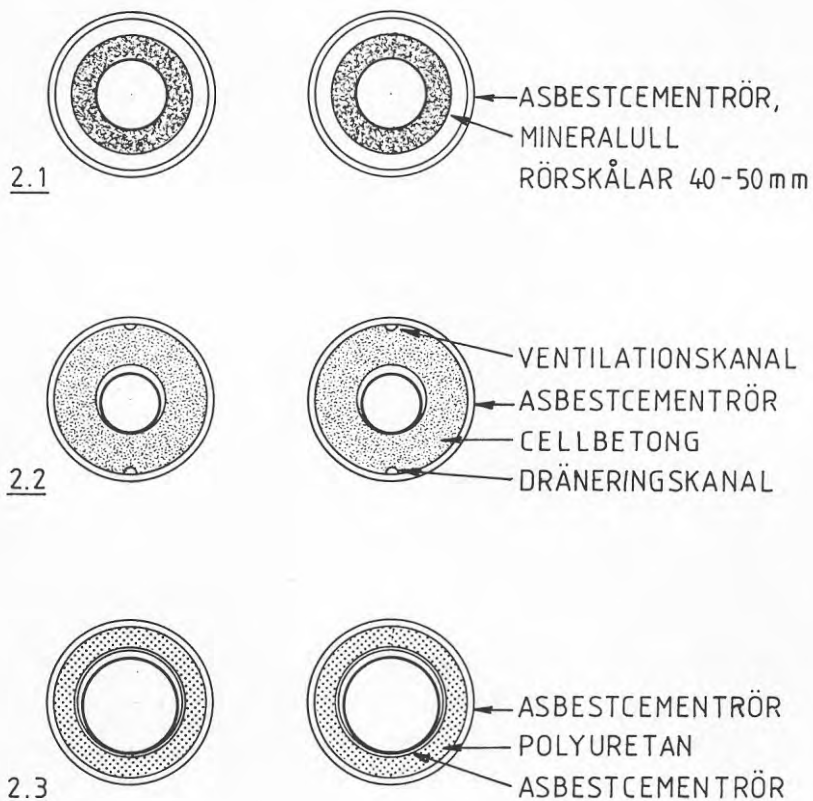
Ansl.nr medierör 20-100, ACE-rör 200-400



Figur 2

ACE-kulvertar, separat fram- och returledning

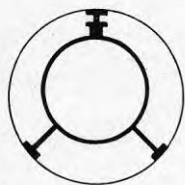
Ansl.nr medierör 125-200, ACE-rör 250-350



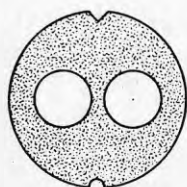
Figur 3

Rörstöd för ACE-kulvertar

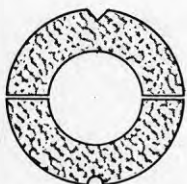
Rörstöd som använts både i enkla och dubbla ledningar är tillverkade av stål, polyuretan och tretong. Av dessa är troligen stål det vanligast förekommande.



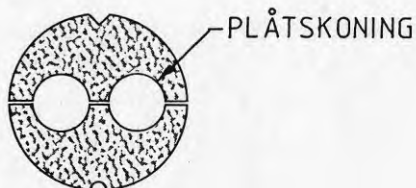
STÅLSTÖD



POLYURETANSTÖD



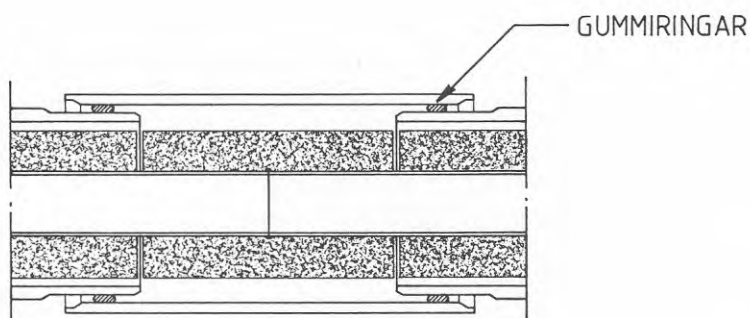
TRETONGSTÖD



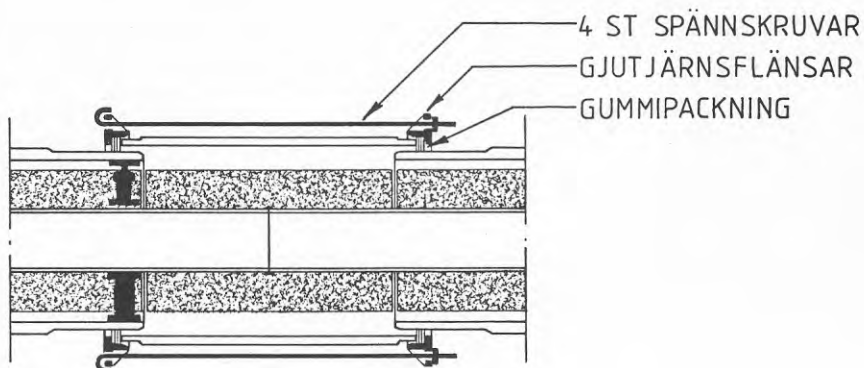
Figur 4

Skarvning av ACE-kulvertar

Nedanstående två typer av kopplingar förekommer. Dessutom finns en reducerkoppling av typ rullkoppling för övergång från större till mindre dimension. I mark med besvärande vattenförhållanden har ibland rullkopplingen kompletterats med en fogmassa.



RULLKOPPLING



GIBAULTKOPPLING

Figur 5

Stålrörskulvert

Stålrörskulvertar finns i landet till en längd av ca 100 km. Typen användes i större omfattning i Linköping. I övrigt förekommer den främst som kortare servisledningar från huvudstam in i fastigheter samt då dålig täckning föreligger.

Skyddsroren är rostskyddade med asfalt och glasfiberväv. I mindre omfattning förekommer protektorbinda eller målningsbehandling.



3.1



3.2

Figur 6

Betongkulvertar

I landet finns ca 700 km betongkulvertar. Betongkulvertar har använts huvudsakligen för anslutningsnummer från och med 300 och större men byggdes även tidigare i liten omfattning ner till ansl nr 150. De är byggda enligt två huvudprinciper:

LÄDKULVERT - bottendelen utförd i U-form med platsgjutet eller prefabricerat lock. Locken är vanligen isolerade med en 30-50 mm träullsskiva men även andra material t ex trä och cellplast förekommer. Lockfogen tätas på olika sätt med t ex fogmassa, cementbruk och bitumenmatta. I vattenrik mark sker tätning med fogband.

Rören monteras hängande eller upplagda på glidstöd på tvärgående balkar. Även upplag av t ex gasbetongblock med slityta satta i cementbruk på bottenplatta samt vagger av plåt förekommer.

PLATTKULVERT - bottendelen utföres som en platta med längsgående fogband och rörupplag. Rörupplagen är tillverkade av lättklinkerblock, satta i cementbruk på bottenplattan eller direkt i den färska betongen. Efter rörmontage och isolering formsättes sidorna och rören ingjutes. Isoleringen skyddas med profilerade plastskivor eller asfaltpapp.

För båda typerna ordnas dilatationsfogor med max c/c 18 meter. Till skydd mot vatteninträning ingjutes fogband. Tvärkrafter överföres via ståldymlingar eller hak i betongen. Även en mot orörd mark gjuten upplagsplatta under dilatationsfogen förekommer. Dilatationsfogen tillverkas av asfaltimpregnerade träfiberskivor som också kan hålla fogbandet på plats under gjutningen.

Ledningsbädden består vanligen av ett dränerat singellager 150 mm tjockt. Kringfyllning och resterande fyllning består av grus eller uppschaktade massor beroende på ytans användning.

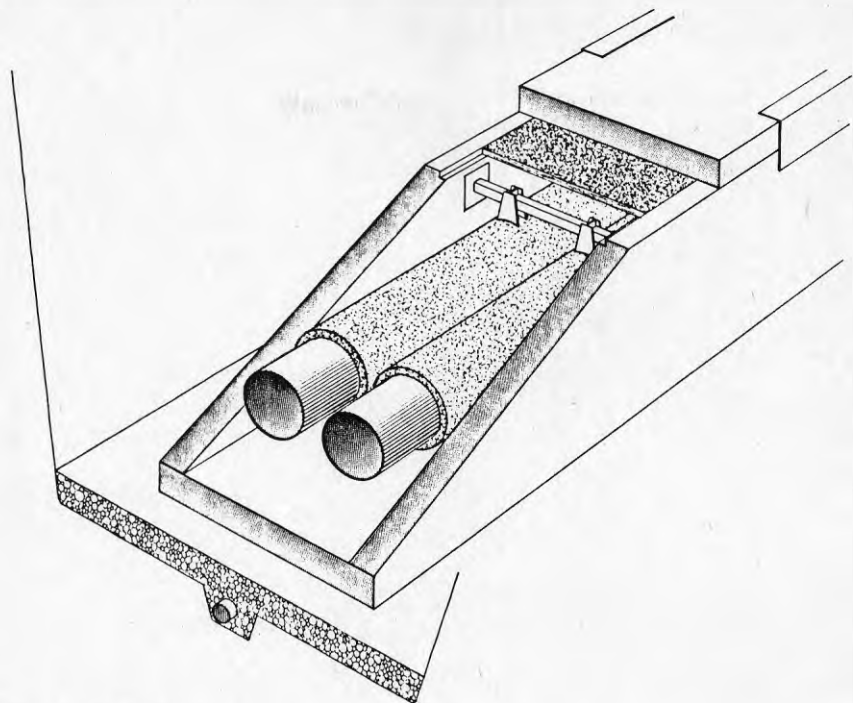
Många olika typer av isoleringsmaterial är representerade. Mineralull av typ nät mattor, wellmattor, lamellmattor, lamellstavar och rörskårar förekommer. Ca 70 % av betongkulvertlängden har mineralullsisolering. Beträffande lädkulvertar finns även cellbetong som isoleringsalternativ.

Rörskårar av polyuretan har först på senare tid börjat användas.

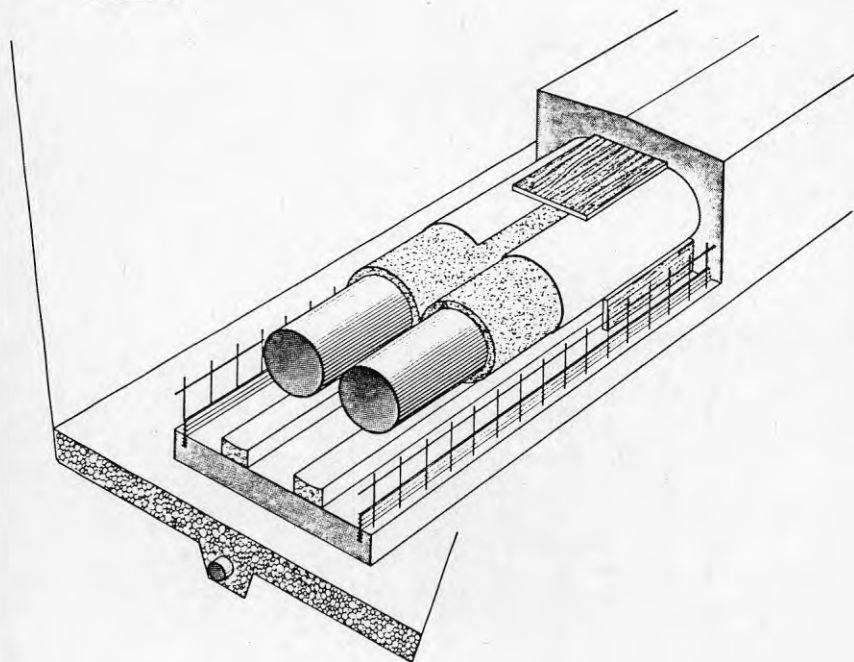
Tidigare användes glasull, kork och en kombination av dessa.

PREFABRICERAD LÄDKULVERT - bottenldelar tillverkas i längder om 4 m. Locken med kondensisolering tillverkas i 2 m längder. Elementen sammanfogas genom hopsvetsning av armering. Fogarna igjutes och tätas utvändigt. Denna typ användes främst i Malmö och har varit i bruk sedan slutet av 60-talet.

En senare variant tillverkas med både bottendel och lock i U-form där locket utgör ca 1/3 av höjden. Största längd är 7.5 m. I underdelen finns gjutna upplag. Locket har kondensisolering. Fogar tätas med elastisk fogmassa, före härdning flytande, som hålles i fogarna mellan tätande gummipackningar. Kulverttypen ännu använd i liten omfattning främst i Västerås.

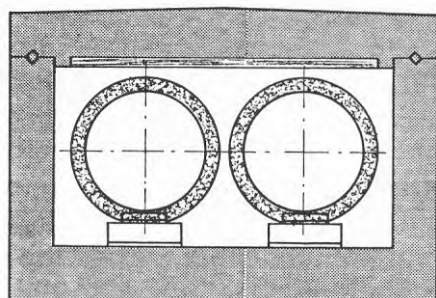


Figur 7 Lådkulvert.



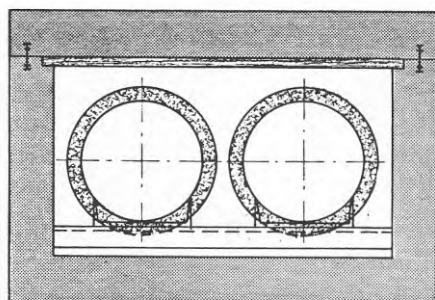
Figur 8 Plattkulvert.

Lådkulvert, mineralullsiserade rör



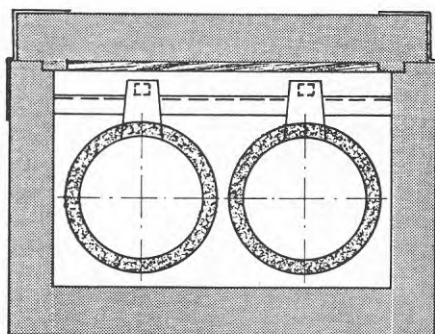
4.1

RÖRUPPLAG AV GAS-
BETONBLOCK OCH
KLINKERPLATTA



4.2

GLIDUPPLAG AV UNP-
BALKAR SVETSADE
TILL STÅLRÖREN

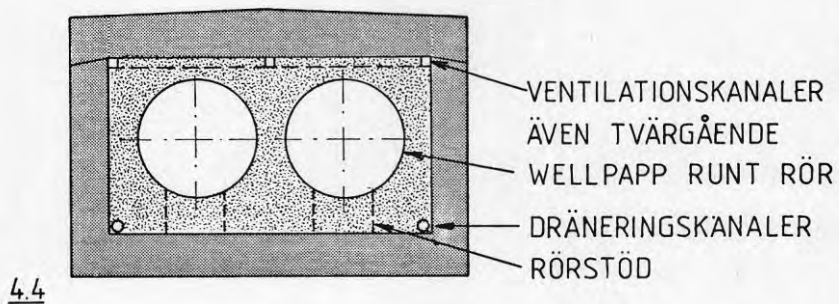


4.3

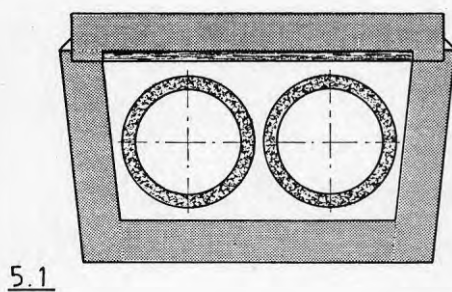
HÄNGANDE GLIDUPPLAG

Figur 9

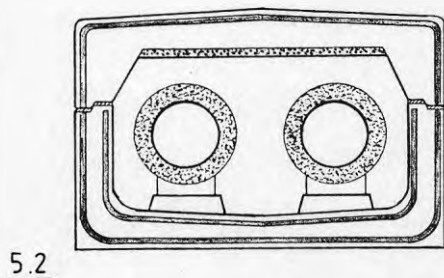
Lådkulvert med isolering av cellbetong eller lättklinker



Prefabricerad lådkulvert



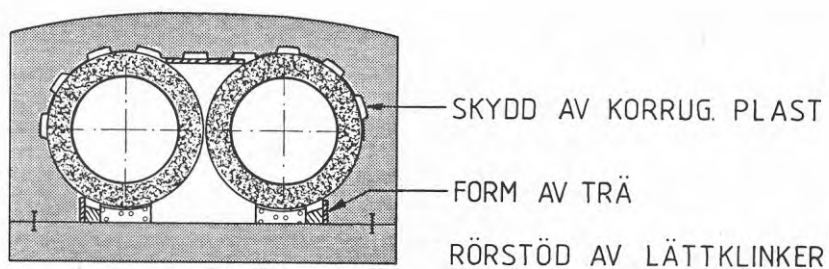
BYGGES I MALMÖ
HÄNGANDE RÖRUPPLAG



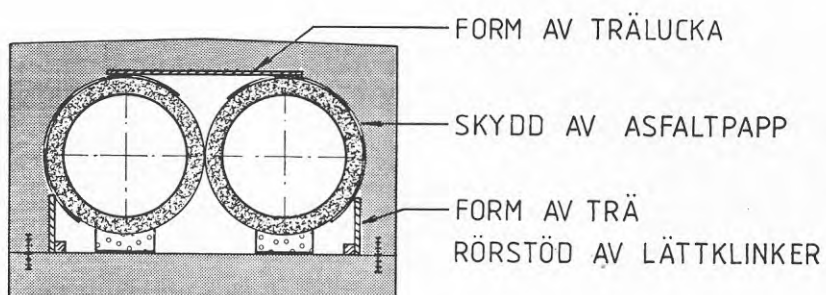
BYGGES I VÄSTERÅS

Figur 10

Plattkulvert, mineralullsisolerade rör



6.1 LEDNINGSDIM. ≤ 300



6.2 LEDNINGSDIM. > 300

Figur 11

3.2 Isoleringsmaterial i värmekulvertar

Ur kulvertstatistiken t o m år 1981 beträffande betong- och ACE-kulvertar framgår följande:

Av den totala kulvertlängden för dessa två typer, ca 1700 km, finns cellbetong som isolering på 20 % av längden, mineralull på 67 % och polyuretan på 13 %.

Mineralull

Mineralull tillverkas med diabas eller glas som utgångsmaterial. Fibrerna bindes med fenolharts. Formbeständigheten hos de olika produkterna avgörs i första hand av volymvikten. På grund av skillnaden i materialegenskaper hos de båda mineralullstyperna räknar man med att diabasullen skall ha dubbelt så hög volymvikt som glasullen för att formbeständigheten skall vara likartad.

Fuktig eller blöt mineralull försämrar isoleringseffekten eftersom en ökad energitransport uppstår vid förångning av vatten. Stabil mineralull har efter kokning ej uppvisat försämrad isoleringseffekt (lab.prov). Beträffande diabasullen har därvid ingen försämring av de tekniska egenskaperna iakttagits. Beträffande glasullen blir fibrerna sprödare och natriumhydroxid utlöses. Vattnet blir således alkaliskt vilket kan verka korrosionshämmande.

Den hygroskopiskt bundna fukten förorsakar ej någon nämnvärd förändring av värmeledningstalet. Enligt undersökningar utförda av Rockwool, ökar däremot värmeledningstalet kraftigt med mängden fritt vatten i isoleringen och även med ökande temperatur. Vid de temperaturer som kan uppstå i en fjärrvärmekulvert föreligger dock inga undersökningar. Ur ovanstående undersökning framgår att värmeledningstalet vid 20-volymprocent vattenhalt har ökat till ca $\lambda = 0.1 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ och vid 40 % ca $\lambda = 0.2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Undersökningen avser mineralull av volymvikt 150 och 300 kg/m^3 vid temperaturen $+10^{\circ}$.

Försämrad isoleringsförmåga uppstår också på grund av förmändring, minskad tjocklek, genom mekanisk eller annan påverkan.

De produkter av mineralull som använts som kulvertisolering är följande:

- Nätmattor
- Wellmattor
- Lösull
- Rörskålar
- Lamellmattor
- Lamellrörskålar
- Stavar

Av ovanstående produkter har rörskålar och de olika lamellprodukterna blivit mest använda.

Montering av mineralull

Montering har skett med tråd eller band. Trådmaterialet har varit av koppar, förzinkat eller rostfritt stål. Noggrannheten i utförandet är av stor betydelse eftersom springor i skarvarna, för hård surring och därmed hoptryckning nedsätter isoleringseffekten. Det senare gäller speciellt mineralullsprodukter med lägre volymvikt t ex de tidigare använda mattorna.

Speciellt stor risk för springor föreligger då stavar har använts. Montering kräver speciella vaggor.

Cellbetong

Materialet har använts både i betongkulvertar och ACE-kulvertar, ca 180 km av vardera typen. Råvaror för produkten är cement, finmalen sand, aluminiumpulver och vatten. Vid den kemiska reaktionen som äger rum bildas vätgas. Porerna är slutna. Den erhållna volymvikten är ca 300 kg/m³. Cellbetong är måttligt vattensugande. Vattenavgången är långsam.

Värmeisoleringsförmågan påverkas kraftigt av fukthalten. 25 vikt-% fukthalt innebär en fördubbling av värmeledningstalet.

Utförande av cellbetongisolering

Vid lådkulvertens anslutning mot kammare muras gavlar så att en låda erhålles. Medierören lindas med wellpapp för att minska friktionen vid rörens längdändringar. I botten ilägges två eller tre uppumpade slangar som skall bilda dräneringskanaler. Efter härdningen släpps luften ur slangarna som då kan dras ut. Blandningen enligt ovan ihålles i omgångar och får jäsa och härda. I den övre ytan uppdrages luftkanaler i längs- och tvärled. Därefter monteras locken.

Polyuretan

Polyuretan framställs genom att blanda polyoler med isosyanat (polymerisation). De slutna celler som bildas innehåller freongas, som har mycket goda värmeisolerande egenskaper. Den mekaniska hållfastheten är beroende på volymvikten.

Materialet är motsåndskraftigt mot kemikalier. Svagare baser och syror ger ingen förändring. Polyuretan åldras under inverkan av värme, vilket dock har ett långsamt förlopp. Här är också volymvikten avgörande. Åldring innebär att freongas avgår och cellstrukturen skadas. Kraftig upphettning kan också medföra sådant gastryck att cellväggen spricker.

3.3 Isoleringens kondition samt skadeorsaker

Isoleringen i betongkulvertar, där överdelen gjutes direkt mot rören, blir ihoptryckt på grund av betongmassans tyngd. Enligt undersökningar kan tjockleken lokalt minska upp till 10 mm på belastade ytor.

De trådar och band som håller isoleringen på plats kan slitas av under arbetets gång. Fukt och vatten medför avrostning av icke rostfria trådar och band. Isoleringen lossnar och glipar i skarvarna.

Dränkning av kulvertar på grund av otäthet i skyddshölje eller på mediarör är den vanligaste och allvarligaste orsaken till skador på isoleringen. Den viktökning som blir fallet då mineralull vattenfylls medför en kraftig belastning strax efter att kulverten länsats. Produkter med sämre formstabilitet (låg volymvikt) kan deformeras kraftigt. Överdelen sammantryckes och underdelen hänger ner. Formstabila rörskålar klarar sig dock bra och man bedömer att de efter uttorkning har en oförändrad funktion.

Uttorkning av minerullsisolerade kulvertar kan ta ca 3-5 veckor. Sugande fläktar användes eftersom tryckande fläktar kan sprida fukt till oskadade kulvertdelar.

Efter upprepade dränkningar eller långvarig hög fukthalt i kulvertsystemen kan ett rostlager binda fast isoleringen. Rosten tränger in en bit i isoleringen och försämrar isoleringseffekten.

Lerslam o dyl som följer med inläckande vatten kan få allvarliga konsekvenser eftersom det fastnar i isoleringen och minskar porvolymen. Leran är dessutom hygroskopisk och kan därmed bidra till ett snabbt korrosionsangrepp på stålroren.

I äldre betongkulvertar förekom att rören lades upp på träpallning. Den har i många fall ruttnat bort varvid rören kommit att ligga på kulvertbotten. Mineralullen, som då var av låg volymvikt, har blivit helt sammantryckt mot botten.

Beklädnader av mineralullen med asfaltpapp försvårar uttorkning efter dränkning.

Isolering av mineralullstavar, som monterats med banden för glest, har efter dränkning ej klarat den ökade belastningen av vattnet utan gått sönder.

Om rören vilar i en isolering med låg formbeständighet sker en sammantryckning så att isoleringstjockleken minskar. Dessutom sker en förslitning på grund av rörens temperaturrörelser som successivt minskar tjockleken.

En annan allvarlig följd av dränkningar har iakttagits på ACE-kulvertar. Gummiringarna i skyddsrorets skarvar har ej klarat uppvärmningen utan har förlorat sin elasticitet och spruckit. Risken för ytterligare läckage ökar.

För cellbetongisolerade kulvertar innebär dränkningar främst att uttorkning tar mycket lång tid varunder en betydande försämring av isoleringseffekten råder. Bestående skador på isolering har ej framkommit.

Beträffande polyuretanisolering är det känt att man hos tidigare kvaliteter fick åldringseffekter t ex krympning. De lägre volymvikterna som då användes kunde också få skador på grund av

ångtryck från upphettat vatten mellan isolering och medierör. Trycket sprängde successivt sönder cellväggarna. De skarvar som under enkla förhållanden utfördes i fält i början av 70-talet blev ofta undermåliga med dålig utfyllnad eller för låg volymvikt på skummet.

3.4 Skadestatistik

Svenska Värmeverksföreningen insamlar sedan 1968 systematiskt uppgifter om art och omfattning av skador på fjärrvärmeledningarna. Det insamlade materialet bearbetas och analyseras av korrosionsinstitutet. Ur denna statistik (16) har underlaget i det följande hämtats.

Det är rimligt att antaga att risken för skador ökar med tilltagande ålder hos ledningsnätet. Riskfaktorn skulle således kunna uttryckas som summan av antalet driftår multiplicerat med ledningslängden för motsvarande åldersgrupp. Riskfaktorn för åren 1979 och 1981 har valts för att ge en bild av utvecklingen.

Tabell 3

Kulverttyp	Riskfaktor driftår x ledningslängd		Riskfaktor %	
	1979	1981	1979	1981
Betongkulvert	4039	5654	26,9	22,4
ACE-kulvert	5263	7960	34,9	31,5
Plaströrskulvert	2828	6841	18,8	27,1
Övriga	2914	4796	19,4	19,0

Ser vi riskfaktorn i absoluta tal kan vi konstatera en kraftig ökning (huvudsakligen åldersbetingad) för samtliga kulverttyper. Främst plaströrskulvertar som svarar för den dominerande typen vid nybyggnad. På grund av detta får vi en procentuell minskning för övriga typer. ACE-kulvertar svarar för den största riskfaktorn.

Antalet rapporterade kulvertskador 1979 och 1981 framgår av tabell 5. Det kan konstateras att det totala antalet skador var 60 % flera år 1981. Dessa skador berörde till större delen själva kulvertledningen.

Betongkulvertar har ungefär lika många kulvertskador 1979 och 1981. ACE-kulvertar har 60 % fler skador 1981. Båda ledningsnäten har ökat ca 23 % i längd.

Beträffande plaströrskulvertar är skadefallen nära dubbelt så många 1981 men ledningsnätet har också ökat till det dubbla.

Skadefrekvensen, uttryckt som antal skador per km blir:

Tabell 4

Kulverttyp	Skadefrekvens	
	1979	1981
- betongkulvert	0,10	0,08
- ACE-kulvert	0,09	0,12
- plaströrskulvert	0,08	0,08
- övriga	0,03	0,02

Det finns anledning att misstänka att en ökande del av kulvert-nätet drabbas av skador som kan nedsätta isoleringsförmågan. Möjligheter att utföra en tilläggsisolering bör därför vara av intresse om man kan finna lämpliga och ekonomiska metoder.

Tabell 5

Antalet rapporterade kulvertskador under 1979 och 1981

Skadad kulverttyp	Totalt antal Skadetillfällen (st)		Skadad ledningsdel				Totalt kulvertlängd, km	
	1979	1981	Kulvert (st) 1979	Kammare (st) 1979	Kompensator (st) 1979	Ventil (st) 1979	1979	1981
Betongkulvert								
- cellbetongisolerad	23	31	17	9	10	2	109	177
- mineralullsolerad	50	41	38	13	20	1	459	509
- ospecifiserat	5	-	3	1	-	1	5	19
Asbestcimentrörskulvert								
- cellbetongisolerad	0	10	-	-	-	-	7	181
- mineralullsolerad	77	126	74	37	7	14	664	603
- polyuretanskumisolerad	0	4	-	-	-	-	169	223
- ospecifiserat	5	-	5	1	-	-	-	25
Plaströrskulvert								
- Aquawarm	9	37	9	1	-	-	296	467
- Lögstör	31	24	31	-	-	-	43	47
- Hålrörskonstruktion	21	18	20	16	3	1	45	115
- Direktapplicerad konstruktion	26	92	25	2	-	-	503	1378
- Wirsbo PEX	3	3	3	-	-	-	-	34
Övriga	31	33	11	11	1	16	413	728
TOTALT	278	419	233	91	41	35	2717	4506

4 VÄRMEFÖRLUSTER I BEFINTLIGA FJÄRRVÄRMESYSTEM

4.1 Värmeförlustställen i systemen

Förutom de värmeförluster som sker via isoleringen så finns ett flertal typer av förlustställen t ex på grund av anslutande ståldetaljer.

Rörstöd förekommer både av stål och andra material. Stål torde dock vara det vanligast förekommande. I ACE-kulvertar finns stöd vid varje rörskarv d v s med 4,5 eller 5,5 meters avstånd beroende på skyddsrorets längd. För klenare rördimensioner (< 50 mm) finns stöd även vid skyddsrorets mitt.

I betongkulvertar förekommer både hängande och understödjande princip. Båda typerna medför att isoleringen genombrytes av stål i kontakt med medierör. Stödavståndet är vanligen 4 till 8 meter beroende på rördimension.

Styrningar monteras vanligen vid vardera väggen i kammare. Vid ävgreningar och kompensatorer kan ytterligare styrningar förekomma. I lådkulvertar förekommer även styrningar på sträckorna på avstånd varierande mellan 10-18 meter.

Fixar förekommer både mellan och i kammare. Dessa, oftast grova bälkar, skär av en betydande del av isoleringen och har dessutom en större anliggningsyta än styrningar.

Ventiler blir ofta helt eller delvis oisolerade. Här förekommer utstickande reglage och växlar som bryter igenom isoleringen.

Avtappningsrör och luftningar är placerade i kammare och lämnas ofta oisolerade.

Storleken av värmeförlusterna är beroende på kulvertdimension, antal detaljer enligt ovan samt detaljernas dimension och utformning. Värmeförlusten från stålstöd uppskattas till 1-2 W/m i ACE-kulvertar och 2-4 W/m i lådkulvertar. I en kammare uppskattas värmeförlusten från styrningar, fixar, ventiler m m till storleksordningen 100-300 W. Utslaget per kulvertmeter innebär det en förlust av storleken 2-6 W/m.

4.2 Inverkan av varierande jordart, fukthalt och ledningstemperatur

Värmeförlusten är beroende på markens värmeledningsförmåga och ledningarnas temperatur förutom värmeisoleringens effekt, kulverttyp och dimension. För moderna kulvertar med bra värmeisolering har markförhållandena ganska liten inverkan på värmeförlusterna. Betydelsen ökar ju sämre isoleringen är. Beroende på ovannämnda förhållanden svarar markförlusterna för ca 10-20 % av den totala förlusten för nyare ledningar men kan för äldre vara betydligt högre.

De förhållanden som styr markens värmeledningstal är främst jordart, dess kornstorlek och sammansättning samt fukttinnehåll. Generellt gäller att jordarternas värmeledningstal ökar snabbare med ökad fuktkvot och ju mer vattensugande materialet är. Lerorna har således ett lägre värmeledningstal än t ex morän vid samma fuktkvot. Snötäckt markyta innebär ett tillskott i värmeisolerande förmåga hos mark. Vi har således även en års-tidsvariation.

Normala fuktkvoter hos olika jordarter är av följande storleksordning:

Morän, grusig	3-5	% (viktprocent av torrsubstans)
Morän, moig	8-11	
Grus, rent	<1,5	
Sand, ren	<3,0	
Lera, torrskorpa	20-40	
Lera, halvfast-fast	40-60	
Lera, lös-mycket lös	60-100	

Vid normala fuktkvoter kommer värmeledningstalet för mark att variera mellan ca $\lambda = 0,5-2,3 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Ett vanligt värde för lermark är $\lambda = 1,0-1,5$, för moränmark $\lambda = 1,3-1,8$ och för grus och sand, som ofta användes som kringfyllnad, är ett vanligt värde ca $\lambda = 0,7-1,0$.

Nedanstående diagram visar i grova drag värmeledningstalen för olika jordarter. Underlaget för diagrammet är hämtat från Granholm (14).

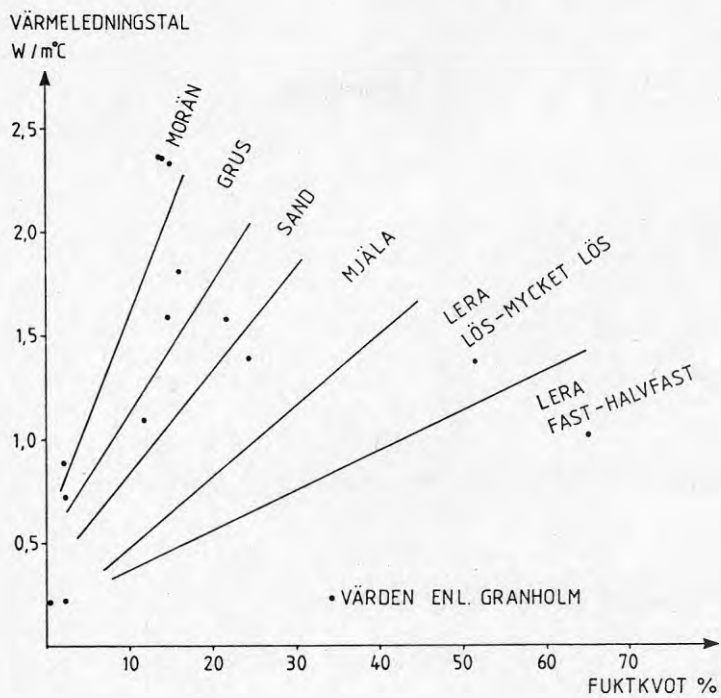


Diagram 1 Värmeledningstal för olika jordarter vid varierande fukthalt. Grov indelning.

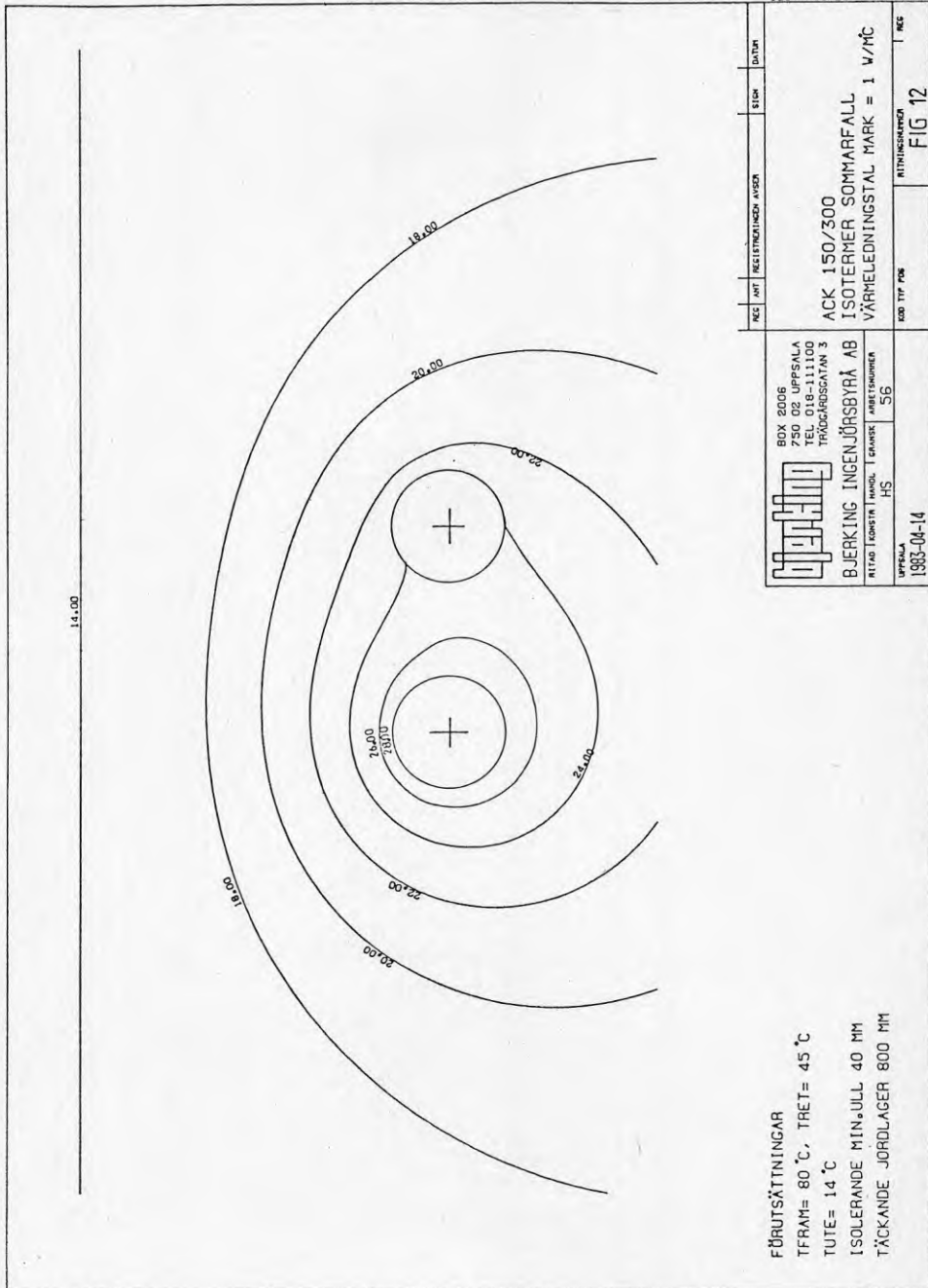
4.3 Temperaturfördelningen runt en kulvert

Temperaturfördelningen runt skyddshöljet och i marken är av speciellt intresse med hänsyn till vår metodik att bestämma värmeförluster. Den totala värmeförlusten är proportionell mot medeltemperaturen runt ledningens skyddshölje. Som framgår av figur 12-15 varierar temperaturen runt skyddshöljet till en ACK 150/300 normalt med ett par grader. En punktmätning medför därför ingen stor avvikelse från medelvärdet och kan dessutom korrigeras med hänsyn till temperaturfördelningen.

För en betongkulvert har Eveberg-Henriksson (2) visat att temperaturfördelningen runt skyddshöljet har betydligt större spridning. För en lådkulvert ansl.nr 300 redovisas ca 10° temperaturdifferens. En punktmätning på locket, som har lägsta temperaturen, medför alltså en underskattning av medeltemperaturen och därmed värmeförlusten. En kompensering för detta måste läggas in om den korrekta förlusten sökes. Vid enbart jämförelser mellan t ex bra och dåliga kulvertdelar är detta dock ej intressant.

Årstidsvariationen i ytemperatur kan uppgå till flera grader och är beroende på mark- och ledningstemperaturer.

Olika markförhållanden betyder också att en variation på flera grader förekommer. Vid en konditionsbedömning är det därför viktigt att ovannämnda förhållandena är tämligen väl kända.



FÖRUTSÄTTNINGAR
 TFRAM= 80 °C, TRET= 45 °C
 TUTE= 14 °C
 ISOLERANDE MIN.ULL 40 MM
 TÄCKANDE JORDLAGER 800 MM

UPPSALA
 1983-04-14

RTIAB | **ISOMETER** | **MANÖL** | **EGENSK.** | **ARBETSNUMMER**
 HS | HS | 56

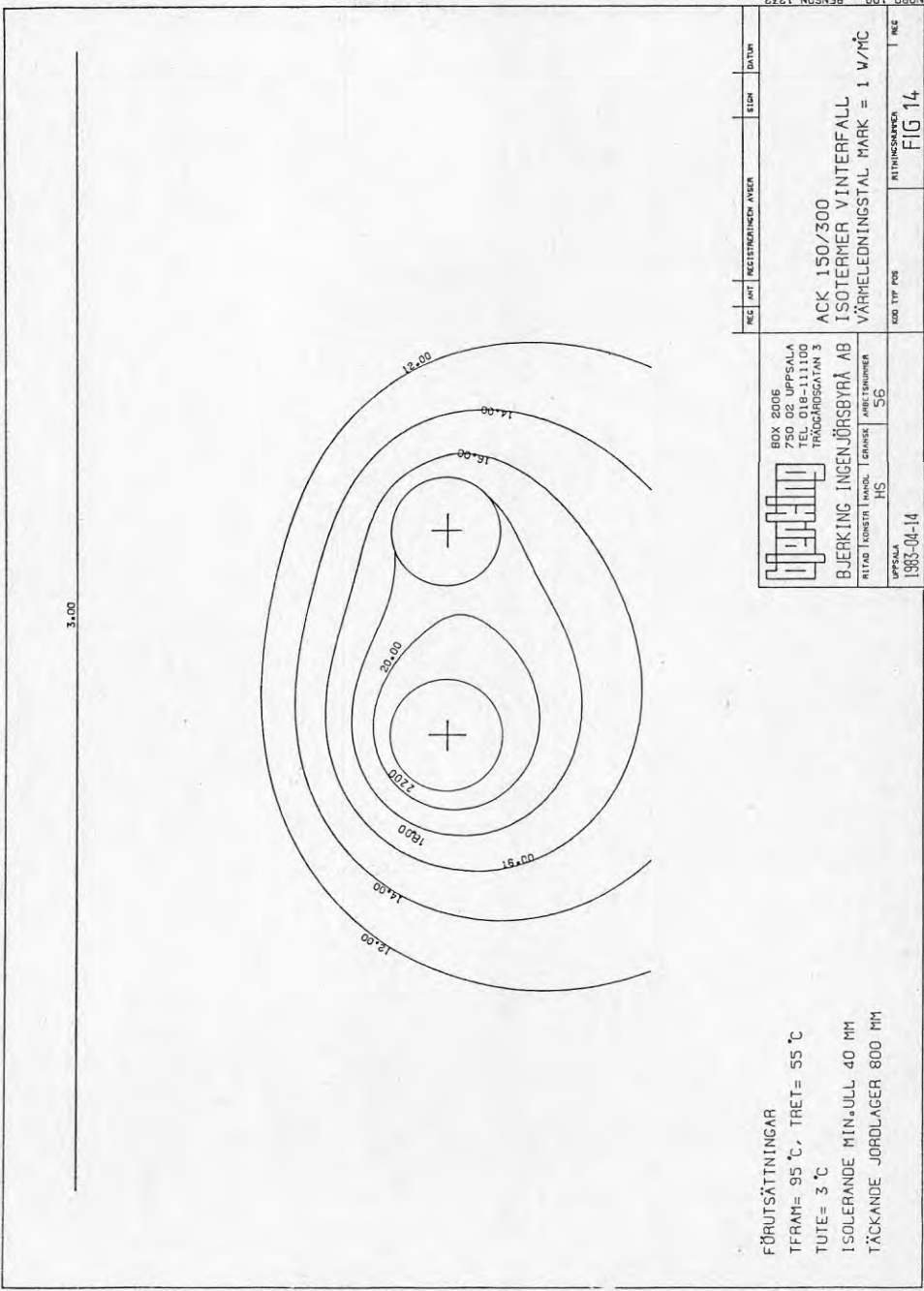
BJERKING INGENJÖRSBYRÅ AB
 TRÄGGÅRSGÅTAN 3
 TEL 018-111100
 250 02 UPPSALA
 BOX 2005

ACK 150/300
 ISOTERMER SOMMARFALL
 VÄRMELEDNINGSTAL MARK = 1 W/M°C

1000 TYP FÖR
 RITNINGSSÄTTNING
 FIG 12

RECEIVED
 DATE

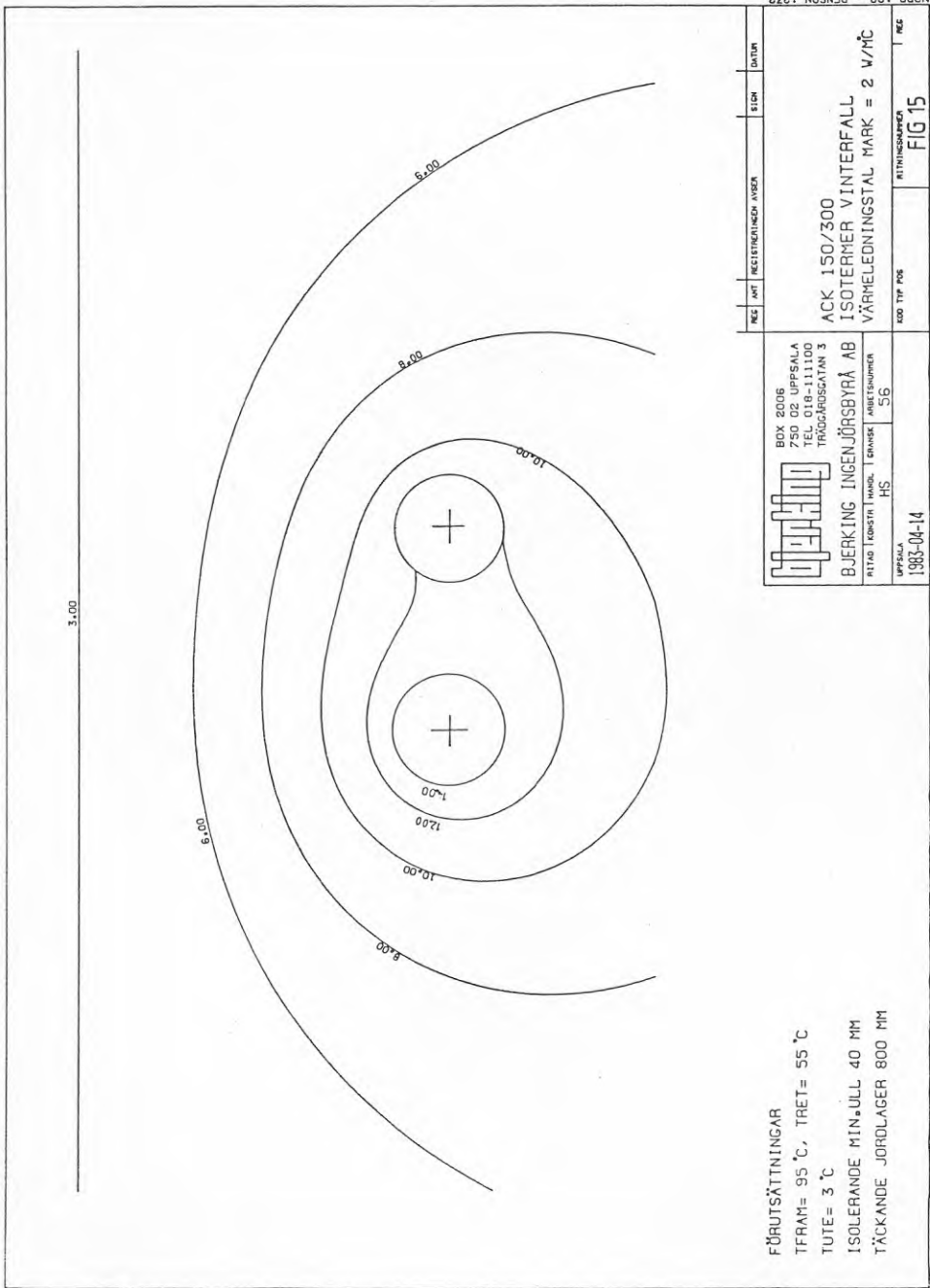
NORD 100 - BENSON 1232



FÖRUTSÄTTNINGAR
 TFRAM= 95 °C, TRET= 55 °C
 TUTE= 3 °C
 ISOLERANDE MIN.ULL 40 MM
 TÄCKANDE JORDLAGER 800 MM

BOX 2006 750 02 UPPSALA TEL 018-111100 TRÄGGÄRSGATAN 3		ACK 150/300 ISOTERMER VINTERFALL VÄRMELEDNINGSTAL MARK = 1 V/MC	RITNINGSDATUM
BJERKING INGENJÖRSBYRÅ AB RITAD KONSTR ANVÄND. GRANSK. ARBETSTÄLLNINGEN HS 56		RITNINGSMÄTTNING FIG 14	RITNINGSDATUM
UPPSALA 1983-04-14		RITNINGSDATUM	RITNINGSDATUM

NORD 100 - BENSON 1232



FÖRUTSÄTTNINGAR
 TFRAM= 95 °C, TRET= 55 °C
 TUTE= 3 °C
 ISOLERANDE MIN=JLL 40 MM
 TÄCKANDE JORDLAGER 800 MM

UPPSALA
 BOX 2006
 750 02 UPPSALA
 TEL 018-111100
 TRÄGGÄRDEGATAN 3
BJERKING INGENJÖRSBYRÅ AB
 RITAD I KONSTR. HÅND. I SVÄNSK. ARBETSNUMMER
 HS 56

ACK 150/300
 ISOTERMER VINTERFALL
 VÄRMELEDNINGSTAL MARK = 2 W/M°C
 RÖD TYP FÖR
 RITNINGSNAMN
FIG 15

4.4 Fältmetoder för bestämning av värmeförluster

Vi intresserar oss i detta fall för metoder som kan användas för att konstatera om kulvertens isolering fungerar tillfredsställande, d v s en konditionskontroll.

Effektmätning

En mätutrustning bestående av flödesmätare, temperaturgivare, integreringsverk samt bandspelare har använts i utredning (17). Då krävs installationer för att registrera flöde och temperatur, vilket ej torde vara försvarbart annat än i speciella fall t ex för noggranna och återkommande kontroller.

Värmeförluster

Mätning av värmefflöde med hjälp av termoelement är en sedan länge använd metod. Anordningen består av seriekopplade termoelement med lödpunkterna omväxlande på över- respektive undersidan av en isolerande skiva. De små temperaturskillnader som uppstår mellan skivan sidor ger upphov till en resulterande spänning som kan kalibreras direkt som värmeförlust. Eftersom temperaturen varierar runt en kulvert krävs flera givarenheter för en exakt bestämning. Med kännedom om temperaturförhållandena runt en kulvertyp bör även en punktmätning kunna ge ett bra resultat efter lämpliga korrekitioner.

Termografering

Flygtermografering har nyligen testats som ett hjälpmedel vid kommunal energiplanering. Metoden är särskilt lämpad för att upptäcka speciellt stora förlustställen på kulvertnäten. Det finns dock möjligheter att med kännedom om mark- och lufttemperaturen göra beräkningar på värmeförlusten.

I Danmark tillämpas en metod att från bil termografera kulvertsträckor. Undersökningen inspelas på video och kompletteras med kommentarer för lägesorientering. Avsikten är att upptäcka stora förlustställen och läckagepunkter. Metoden är nyligen introducerad i Sverige och har nyligen använts i Uppsala.

Temperaturmätning

Temperaturen på kulvertens utsida är beroende av isoleringens värmeledningstal. En sämre isolering innebär en högre temperatur och därmed en ökad förlust. Värmeförlusten är dessutom beroende på medierörens temperatur och dimension, markförhållanden m m.

Med kännedom om markförhållandena (temperatur och värmeledningstal), temperatur på utsida kulvert (helst medeltemp för hela omkretsen) samt temperatur på medierör kan först värmeledningstalet för isoleringen beräknas. Därefter beräknas värmeförlusten. Denna metod har tillämpats i detta projekt.



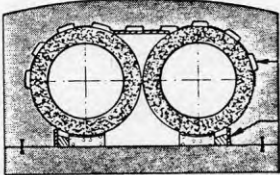
Temperaturen har registrerats med termoelement av koppar-konstantan som ger en stabil och noggrann temperaturbestämning inom -100 till $+400^{\circ}\text{C}$. Ett annat alternativ är trådtöjningsgivare. De är också stabila och klarar mätområden ca -190° till $+300^{\circ}\text{C}$. Genom sitt format är det enkelt att få en säker och god kontakt med mätobjektet. De kräver dock en annan registreringsutrustning än termoelementen.

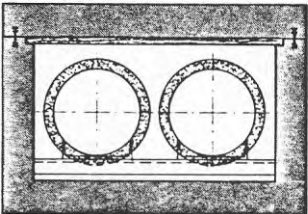
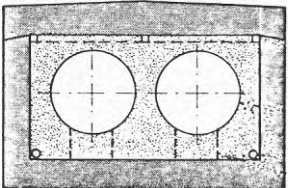
4.5 Beräknade förluster hos några vanliga kulverttyper

Förutsättningar: Värmeledningstal mineralull $\lambda_i = 0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
 " cellbetong $\lambda_i = 0,10 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Temperatur mark $+3^\circ$ vinter $+14^\circ$ sommar
 Jordlager över ACK - 0,8 m
 " " BTK - 1,0 m

Tabell 6 Total värmeförlust i W/m

Kulverttyp	Vintertemp		Sommartemp	
	λ mark 1,0	110/60 W/m ⁰ C 2,0	λ mark 1,0	85/55 W/m ⁰ C 2,0
<u>ACK 150/300,</u> min.-ull 40 mm 	74	86	51	59
<u>ACK 100/400,</u> min.-ull 40 mm 	59	68	40	46
<u>BTK ansl 300,</u> min.-ull 60 mm 	93	112	63	76

Kulverttyp	Vintertemp 110/60		Sommartemp 85/55	
	λ mark 1,0	W/m^0C 2,0	λ mark 1,0	W/m^0C 2,0
BTK ans1.nr 500, min.-ull 70 mm 	125	152	85	104
BTK ans1.nr 500, cellbetong 	120	149	81	101

Som framgår av ovanstående tabell kan skillnaden i effektförlust mellan vinter- och sommarförhållanden för de olika kulverttyperna variera mellan ca 20-50 W/m beroende på markförhållanden.

Returledningen svarar för ca 1/3 av förlusterna. Värmeförlusterna ökar med ökad ledningstemperatur och ökat värmeledningstal för marken. Den ändrade ledningstemperaturen i vinter-sommarfallet har större inverkan på förlusterna än markförhållandena.

4.6 Uppmätta värmeförluster, praktikfall

Fältmätningar av temperaturer har utförts i Uppsala på en asbestcementkulvert, anslutningsnummer 150 och en betongkulvert, anslutningsnummer 300. Detaljerad beskrivning av mätningarna framgår av 8.4.

Mätningarna har utförts för att

- testa möjligheten att utföra enkla fältmätningar
- få kännedom om de temperaturskillnader som en intakt resp åverkad värmeisolering kan ge.

Fall 1, ACK 150/300

På samma kulvertsträcka fanns en bra och en tidigare dränkt del på ca 300 meters avstånd. Den dränkta sträckan ligger i ett sankt markområde och den bra i en moränbacke. Den dåliga sträckan har tidigare blivit så skadad av upprepade dränkningar att den utbytts. Nuvarande kulvert är endast lindrigt skadad.

Ett medelvärde från fem mätserier av temperatur på framledningens utsida är $15,5^{\circ}$ på den bra stäckan och $20,3^{\circ}$ på den dåliga. Temperaturdifferensen är således ca 5° .

Om vi beräkningsmässigt skall erhålla den medeltemperatur som uppmätts på den bra ledningen krävs t ex följande värmeledningstal: för isolering $\lambda_i = 0,04$ och för marken $\lambda_m = 1,7 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, se diagram 2. Båda värdena är helt rimliga varför vi har stöd för att mätningarna är rimliga och att den bra kulverten fungerar intakt.

För de markförhållanden som råder där den dåliga kulverten ligger antages $\lambda_m = 1,5 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ vara rimligt. En fullgod isolering ($\lambda_i = 0,04$) skall då ge $17,4^{\circ}$ på framledningens utsida. Mätningarna ger i medeltal 3° högre temperatur. Motsvarande värmeledningstal på isoleringen blir $\lambda_i = 0,057$.

Beräknad värmeförlust för fram- och returledning blir ca 75 W/m för den bra ledningsbiten och ca 95 W/m för den dåliga, se diagram 3 och 4.

Fall 2, BTK 300, mineralullsiserad

Mätningarna ligger på olika kulvertgrenar. Båda sträckorna ligger i lermark, den ena flera gånger dränkt och den andra utan

åverkan. Närliggande kammare på båda sträckorna var fuktiga. Temperaturen mättes mitt på kulverten. Medelvärde av fem resp två mätserier är för den bra sträckan $19,3^{\circ}$ och den dåliga $33,0^{\circ}$. En differens på $13,7^{\circ}$.

För att beräkningsmässigt erhålla samma temperatur som uppmätts på den bra sträckan krävs t ex följande värmeledningstal; för isolering $\lambda_i = 0,04$ och för marken $\lambda_m = 1,2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$. Värdet på en bra isolering ger således ett helt rimligt värde på markens värmeledningstal, se diagram 6.

Eftersom likartade markförhållanden råder på de båda mätplatserna kan vi således förvänta oss ungefär samma temperaturer för intakta kulvertar. I detta fall har vi en faktisk skillnad på över 13° vilket främst får tillskrivas en försämrad isolering. Värmeledningstalet för den dåliga kulverten blir $\lambda_i = 0,11 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

Beräknade värmeförluster blir ca 75 W/m för den bra och 140 W/m för den dåliga kulvertdelen, se diagram 7 och 8.

De utförda mätningarna är av stickprovskaraktär men ger ändå så pass god överensstämmelse med teoretiska beräkningar att väsentliga slutsatser bör kunna dras. En svårighet är givetvis att bedöma effekten av temperaturändringar på ledningarna som föregått mätningarna. Fortvarighetstillstånd existerar egentligen ej. Det kan därför vara av intresse för den fortsatta utredningen att undersöka hur temperaturvariationer i mediärören påverkar temperaturen på skyddshöljet. Vidare är den beräknade temperaturen på kulvertens utsida beroende på val av värmeledningstal för isolering och mark. Denna temperatur kan således hållas konstant om man vid ett högre värmeledningstal för isoleringen väljer ett högre för marken. Se diagram 2 och 6.

Även enskilda mätvärden på temperaturen utanpå en kulvert bedömes ge tillräcklig information om isoleringens kondition om markförhållandena är någorlunda väl kända. För att få bättre kännedom om markförhållandena ur värmeteknisk synpunkt, kan en erfarenhetsbank byggas upp för orten i fråga. Underlaget bör då vara olika intakta kulverttyper i varierande marktyper och fuktighetsförhållanden. Markens inverkan på värmeförlusterna framgår av diagram 4 och 8.

En klar skillnad föreligger beträffande temperatur på utsida kulvert av en intakt och av dränkningar skadad kulvert. Som framgår ovan kan värmeförlusten öka betydligt hos en skadad kulvert. Det är bland driftpersonal ett välkänt fenomen att ledningar med försämrad isolering snabbt ger barmark efter snöfall i samband med måttlig kyla.

Osäkerhet råder beträffande de värmeledningstal för en intakt isolering som överensstämmer med verkligheten. Enligt Eveberg-Henriksson (2) har det visat sig att de i SBN angivna värdena är för bra och ej stämmer med deras fältmätningar. Man menar att fuktförhållandena spelar en stor roll. Våra beräkningar och diagram bör därför tolkas med beaktande av nämnda osäkerhet.

Värmeförlusten vid varierande ledningstemperatur och isolering framgår av diagram 5 och 9.

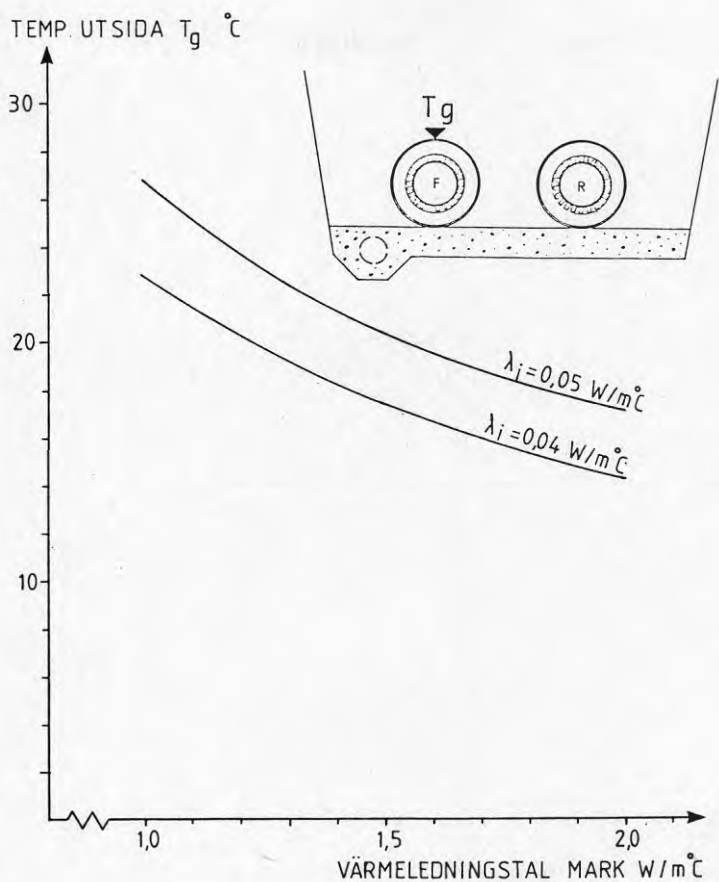


Diagram 2

ACK 150/300

Temperatur på framledningens ovansida vid varierande markförhållanden.

Temperatur framledning = 95°
 " returledning = 55°
 " omgivning = 3°
 Isolering 40 mm mineralull

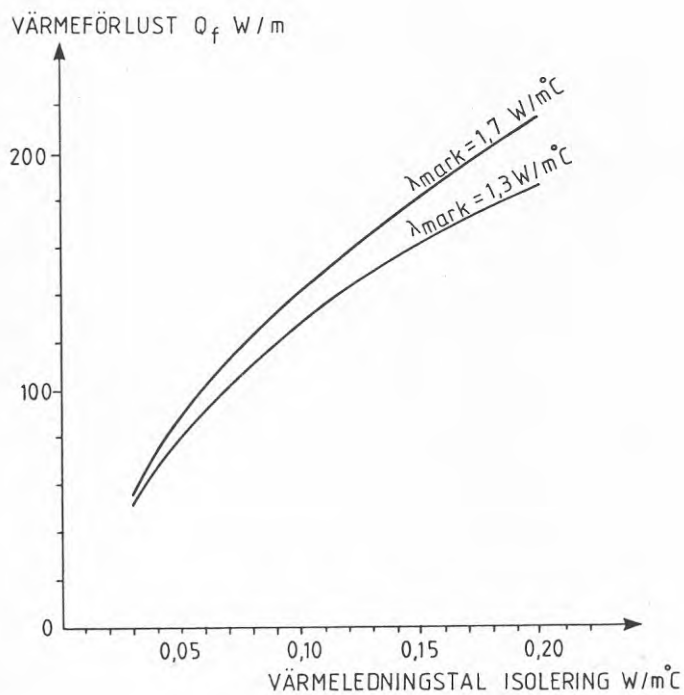


Diagram 3

ACK 150/300

Värmeförlust vid varierande värmeledningstal för isolering.

Temperatur framledning = 95°
 " returledning = 55°
 " omgivning = 3°
 Isolering 40 mm mineralull

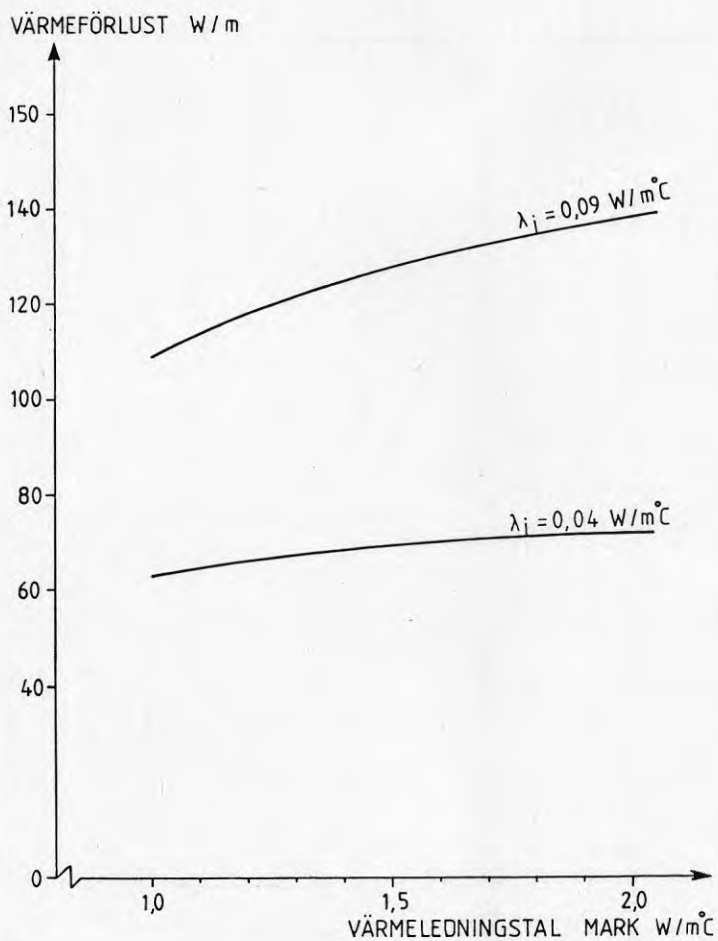


Diagram 4

ACK 150/300

Värmeförlust vid varierande värmeledningstal för mark.

Temperatur framledning = 95°

" returledning = 55°

Isolering 40 mm mineralull

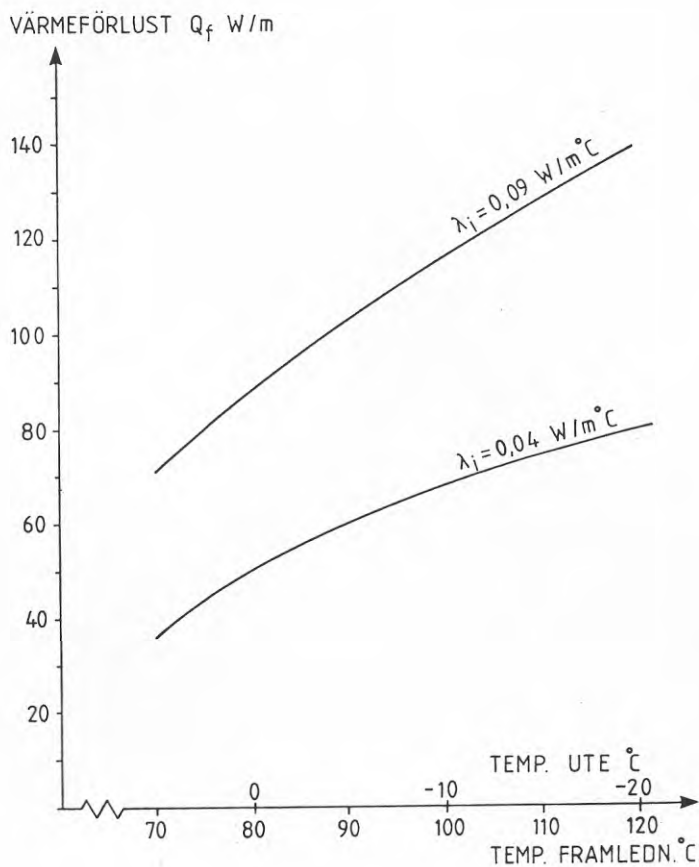


Diagram 5 ACK 150/300

Värmeförlust vid varierande värmeledningstemperatur.

Isolering 40 mm mineralull
 $\lambda_{\text{mark}} = 1,4 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

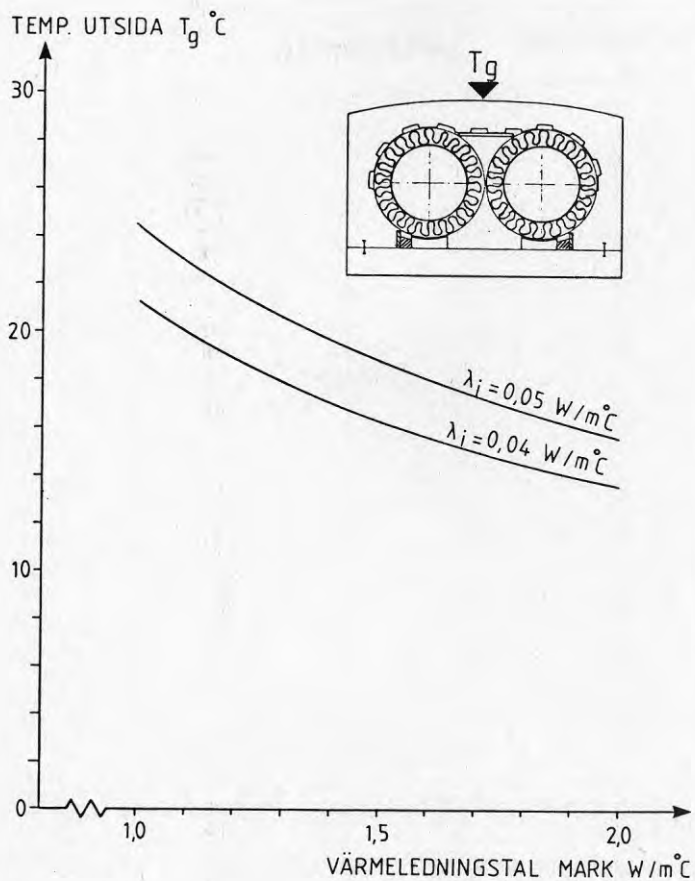


Diagram 6

BTK 300

Temperatur på ovansidan vid varierande markförhållanden.

Temperatur framledning = 98°

" returledning = 46°

" omgivning = 3°

Isolering 60 mm mineralull

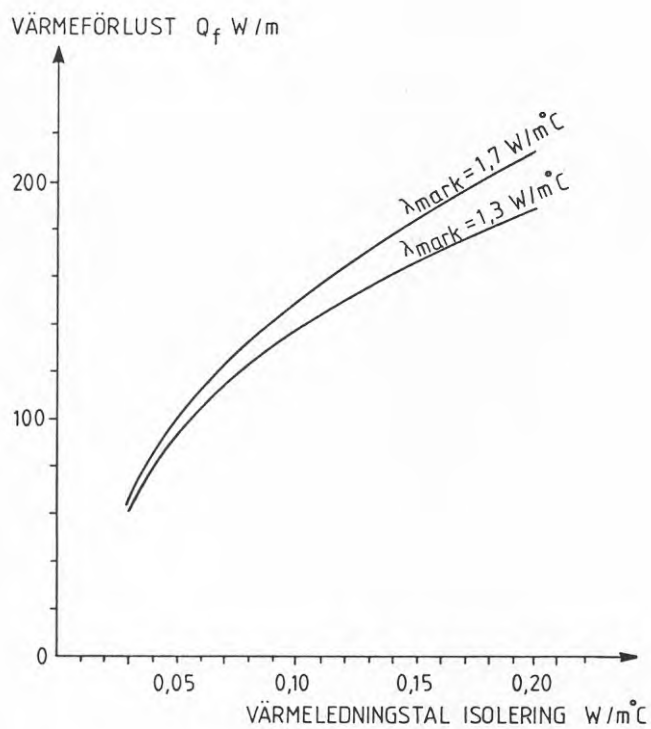


Diagram 7

BTK 300

Värmeförlust vid varierande värmeledningstal
för isolering.

Temperatur framledning = 98°
 " returledning = 46°
 " omgivning = 3°
 Isolering 60 mm mineralull

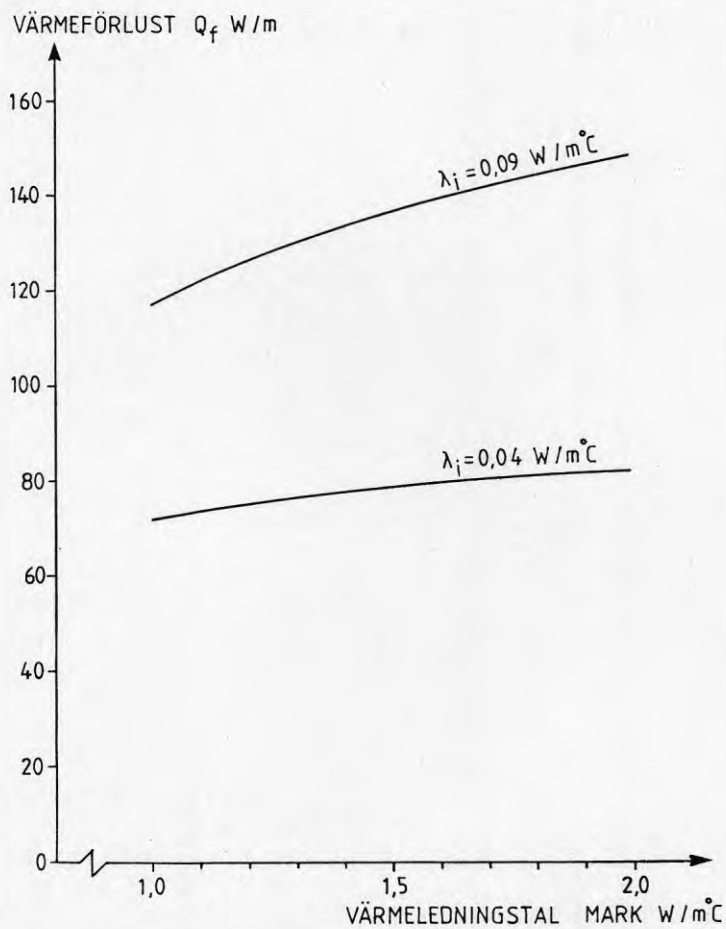


Diagram 8

BTK 300

Värmeförlust vid varierande värmeledningstal
för mark.

Temperatur framledning = 98°
 " returledning = 46°
 Isolering 60 mm mineralull

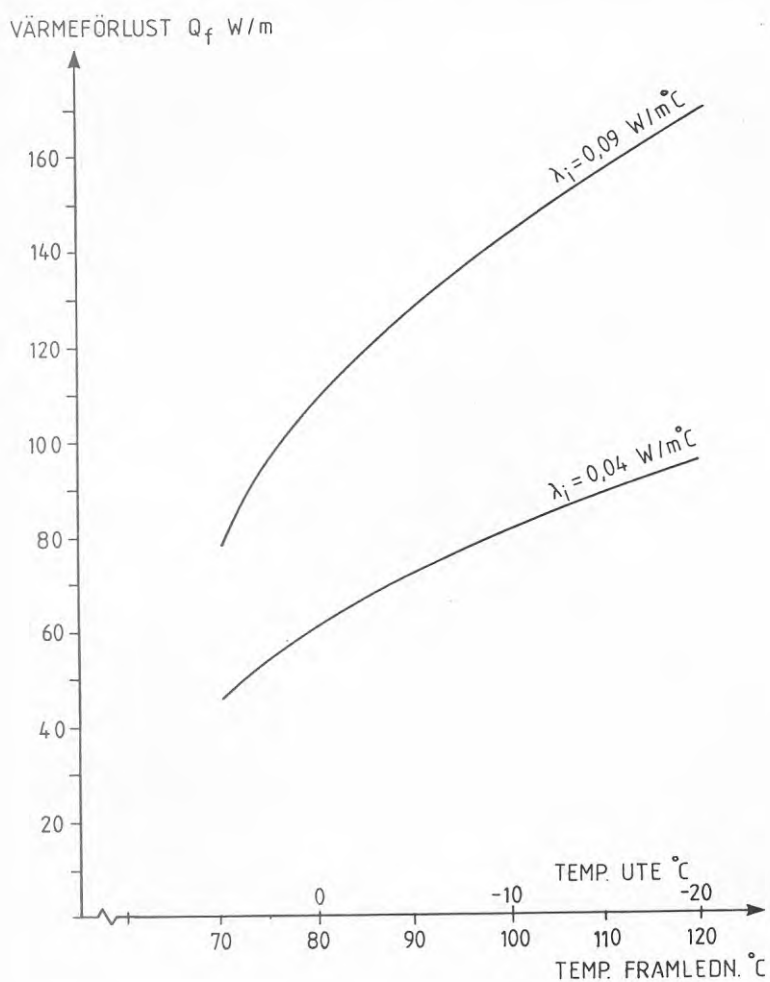


Diagram 9

BTK 300

Värmeförlust vid varierande ledningstemperatur.

Isolering 60 mm mineralull
 $\lambda_{\text{mark}} = 1.4 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

5 VÄRMEFÖRLUSTER GENOM VENTILATION

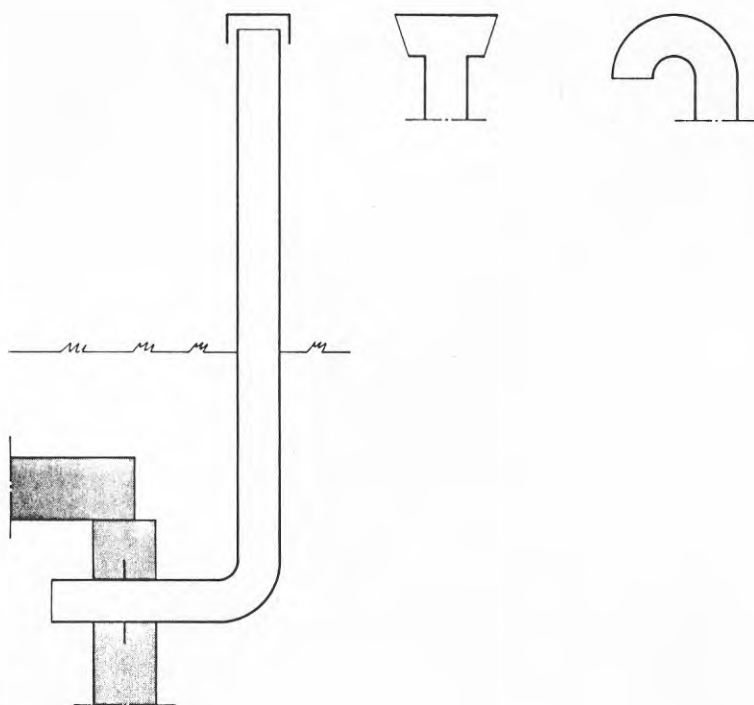
5.1 Översikt över de vanligaste ventilationssystemen

Ventilation bedömes av alla tillfrågade som en nödvändig funktion i kulvertsystemen. Någon utförd undersökning av hur det fungerar har ej framkommit. Däremot finns praktiska erfarenheter som tyder på att den ventilationseffekt som faktiskt förekommer har en gynnsam inverkan på fuktförhållandena. Efter en dränkning fungerar också ventilationsrören som tilluftskanaler då en sugande fläkt insättes i ett nedstigningshål. Ventilationssystemen fungerar enligt självdragsprincipen. Den varma luften, kulvertens lutning och vindtryck är drivkraften. I Malmö har tidigare mekanisk ventilation tillämpats i betongkulvertar i syfte att säkerställa ett torrt klimat för kulvertroren. Installationen var föranledd av fuktiga förhållanden på grund av inläckande vatten. Fläktarna har nu borttagits eftersom nymonterade T-stycken på ventilationsrörens toppar givit tillräckligt bra effekt. I Linköping finns fast installerade fläktar, som körs endast då fuktproblem uppstår t ex under snösmältningen.

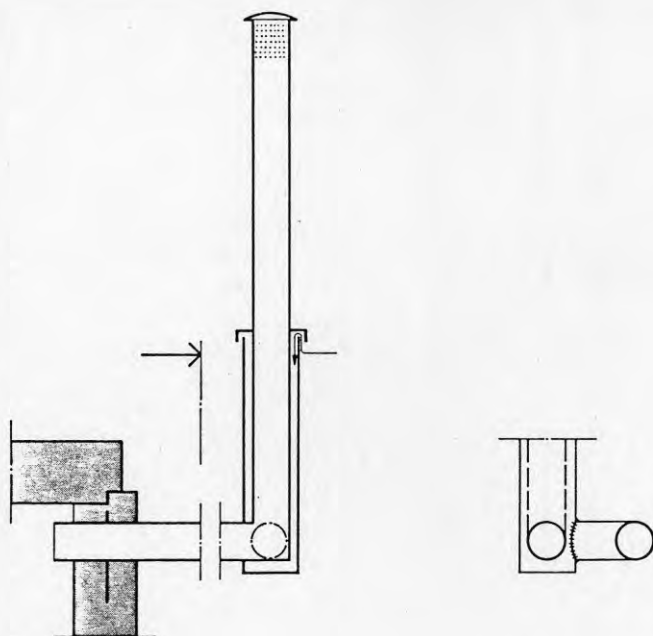
Två huvudprinciper har en mer allmän tillämpning. I öppna kulvertsystem, som tillåter luftpassage i ledningarna, använder flertalet ett ventilationsrör per kammare. Detta mynnar vid tak. Dessutom finns ett, eller på senare tid, två rör vid kompensatorer på sträckor. I högpunkter placeras alltid ventilationsrör. I täta kulvertar, t ex de moderna fullskummade plast-rörskulvertarna, placeras två ventilationsrör per kammare. Ett för tilluft och ett för frånluft. Separat till- och frånluftsrör placeras ofta åtskilda, diagonalt, i kammare för att ge bättre genomluftning.

Rördimensionerna är vanligen ansl.nr 100 och 125 men även 150 förekommer speciellt vid kombinerad till- och frånluft. Den större dimensionen användes ofta i grövre kulvertar där värmeavgivningen är större. En generell övergång från klenare till grövre ventilationsrör har under senare år skett i Västerås. Stål är det vanligaste materialet i rören men även plaströr har provats i mindre skala.

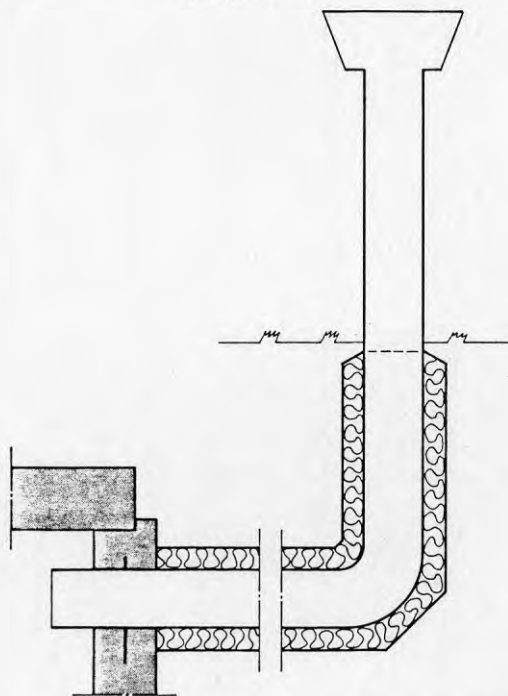
Det kan konstateras att en hel del experimenterande har gjorts vilket de olika utformningarna visar. Man har dock inte klart för sig den veklga effekten av ventilationen och ej heller vilket behov som faktiskt föreligger. Vår arbetshypotes är att ifrågasätta om ventilation överhuvudtaget behövs. Fuktförhållandena är i detta sammanhang den viktigaste biten med hänsyn till korrosionsrisker och värmeisoleringens effekt, som försämraras med ökad fukthalt. Här finns kanske utrymme för en mer nyanserad användning av ventilation där hänsyn tas till de faktiska förhållandena och behoven.



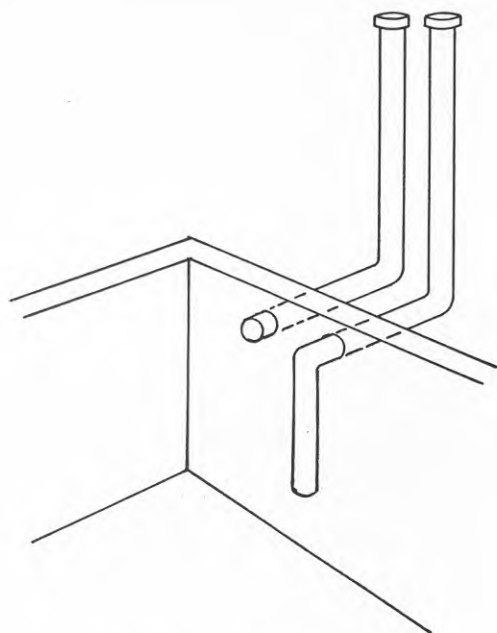
Figur 16 Ventilationsrör och olika utformningar av utlopp.



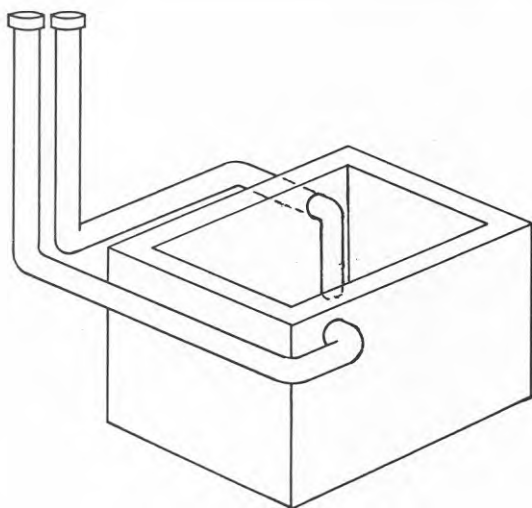
Figur 17 Ventilationsrör med till- och frånluft, äldre modell.



Figur 18 Isolerat ventilationsrör.



Figur 19 Parallell placering av ventilationsrör.



Figur 20 Diagonal placering av ventilationsrör.

5.2 Ventilationens funktion och betydelse

Den drivande mekanismen i ventilationssystemet är temperaturskillnaden mellan luften ute och inne i kulverten. Därvid måste ventilationsrörens utformning och fördelning längs kulverten spela en stor roll liksom den fria arean i kulverten.

Den mätningsserie som ingått i denna rapport, redovisad i 8.5, har inte givit ett resultat som entydigt fastställer funktionen av ventilationssystemet.

De luftströmmar som uppkommer av den termiska drivkraften är små. Mätningarna har däremot visat att vinden medför en kraftig påverkan. Eftersom kamrarna har varierande vindexponering och vindtrycket växlar uppstår ständiga pulseringar. Inget regelbundet mönster har kunnat iakttagas beträffande från och till-luftsflöden.

Mätningarna har visat såväl pulserande ventilationsflöden med 100 % ut eller in, som ensidiga ventilationsflöden enbart till- eller frånluft och enbart lokal luftväxling i kulvertkammaren. En mätserie med endast ett ventilationsrör per kammare har inte heller givit något entydigt resultat. Skillnaderna mellan max- och minflöden är mycket stora. De lägsta värdena motiverar inte vidare studier i syfte att minska värmeförluster medan de högsta är av intresse. Bedömningen av värmeförlustens storlek har därför gjorts med en uppskattad årsmedelventilation som grund.

Kulvertens lutning ger nivåskillnader som troligen bidrar till ventilationseffektivitet, men bidraget är ej utrett. Denna del bör studeras vidare. Eventuellt kan en förhärskande vindriktning spela en viss roll för utformning av ventilationssystemet.

Vi har i skadestatistiken försökt finna samband mellan dåligt ventilerade kulvertavsnitt och korrosionsskador, men här bör kompletterande undersökningar utföras innan sådana slutsatser kan beläggas.

Enligt beräkningar i 8.3 har ventilationsförlusten i praktikkallet uppgått till ca 2-10 W/m. Vi bedömer det troligt att ett årsmedelvärde är av storleksordningen 1-5 W/m. Det betyder en kostnad på ca 1-7 kr per år och meter vid ett energipris på 18 öre/kWh.

Praktiska synpunkter

Långa ventilationsrör medför större tröghet i luftströmmen och innebär sämre ventilationseffekt. Frånluften hinner också bli mer nerkyld vilket minskar den termiska drivkraften. Isolerade rör har givit bättre funktion. Ventilationsrör över två meters längd utföres därför isolerade av vissa värmeverk. Dock isoleras endast den del som ligger i marken. Det finns anledning att överväga isolering även av delen över markytan.

Kondensering i rören förlänger uttorkningsprocessen eftersom kondensatet rinner tillbaka in i kammaren. Isolerade rör bör ur den synpunkten vara bättre. Alternativt bör kondensatet avledas.

Ventilationsrörens utlopp har flera utformningar. På senare tid har T-stycken kommit allt mer i bruk. Man har funnit att dessa medför bättre drag och därmed torrare kulvertar.

Såsom väntat kunde konstateras att i högpunkter förekommer endast frånluft. Man har iakttagit att fuktig miljö ofta uppstår i högpunkter, troligen på grund av kondens i ventilationsrör. Detta gäller oisolerade rör.

6 MINSKAD VÄRMEFÖRLUST GENOM TILLÄGGSISOLERING

Arbetshypotesen är att olika former av tilläggsisolering är tekniskt och ekonomiskt möjliga. De olika kulverttyperna har därvid olika förutsättningar. Typen av mark där de är belägna påverkar kraftigt kostnaden för en tilläggsisolering som kräver uppschaktning. Gatumark medstensättningar och asfalt blir givetvis dyrast. Åtkomligheten för insprutning av t ex isolerande skum inne i själva kulverten beror på förekomst av styrningar, fixar och stöd.

En utvändigt tilläggsisolering medför höjda temperaturer på skyddshölje, tätningar och fogband. Åldrings- och deformations-effekter på grund av detta måste beaktas.

En detaljerad utredning av ovanstående frågeställningar ingår i den planerade etapp II av detta projekt.

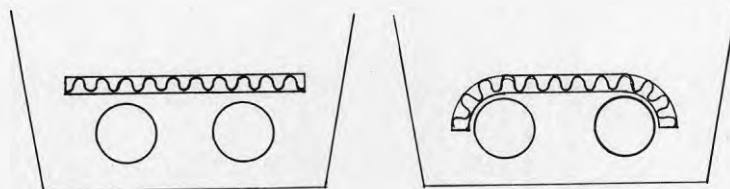
Rörisoleringen svarar för det största värmemotståndet, förutsatt att den har ett bra värmeledningstal. Den värme som har passerat denna isolering kan till stor del anses förlorad. En utvändigt tilläggsisolering medför ökad temperatur i kulverten. Temperaturdifferensen över rörisoleringen minskar vilket leder till minskad värmeförlust.

6.1 Beräknad minskning av värmeförlusterTilläggsisolering av ACE-kulvert

Vi studerar först kulverttypen ACK 150/300 som ingår i våra fältmätningar. Värmeförlusten för den bra kulvertsträckan har beräknats till ca 75 W/m och för den dåliga 95 W/m. En tilläggsisolering, i form av skivor, som läggs direkt ovanpå kulvertroren, studeras. Beräkningsmässigt omvandlas isoleringen till ett ekvivalent jordlager enligt följande.

Värmeledningstal för mark $\lambda_m = 1.6 \text{ W/m}^0\text{C}$ och isolering $\lambda_i = 0.05 \text{ W/m}^0\text{C}$.

Markskiva av tjockleken	50 mm	motsvarande	ca 1.5 m	jord.
"	"	"	" 3 m	"
"	"	"	" 6 m	"



A1t 1

A1t 2

Figur 21

En tilläggsisolering enligt ovan visande principen för den bra/dåliga kulvertsträckan ger följande förluster.

Med 50 mm markskiva,	värmeförlust = 69/88 W/m.
" 100 mm " , "	= 67/84 " .
" 200 mm " , "	= 65/80 " .

Detta är den maximala effekten som kan förväntas. Beräkningstekniskt behandlas markisoleringen som oändlig i sidoutbredning.

På denna kulverttyp och dimension kan vi således spara högst 15 W/m med denna åtgärd.

Det effektivaste sättet att anbringa isoleringen på är i direkt anslutning till medierören eller beträffande tilläggsisolering direkt utanpå det första lagret.

Vi undersöker därför effekten av att fylla hålrummet med t ex isolernade skum.

Om värmeledningstalet för tilläggsisoleringen sättes till $\lambda_i = 0.04$ och övriga förhållanden är enligt tidigare erhålles värmeförlusten ca 48/57 W/m. Detta är således effektivare än det första alternativet med en besparing på 27 resp 38 W/m.

Om sådana omständigheter föreligger att det är motiverat att byta medieröret, visas nedan ett diagram där värmeförlusten vid olika isoleringstjocklekar kan avläsas.

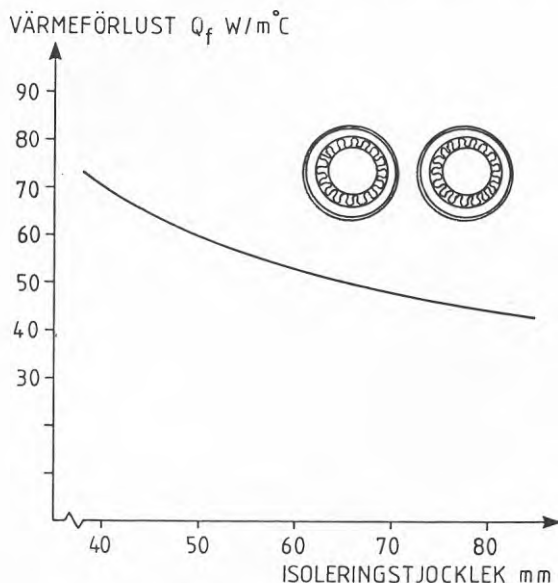


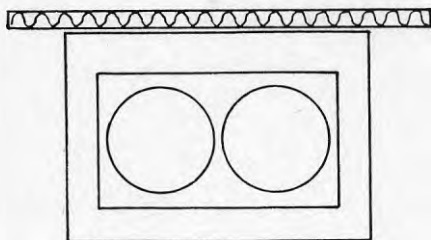
Diagram 10

Totala värmeförlusten vid varierande isoleringstjocklek. ACK 150/300

Värmeledningstal isolering = $0.04 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
 " mark = $1.6 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

Tilläggsisolering av betongkulvert

Värmeförlusten för kulverten i praktikfallet, BTK ansl nr 300, har beräknats till 75 W/m för den bra kulvertsträckna och 140 W/m för den dåliga. En tilläggsisolering enl nedanstående figur studeras.



Figur 22

Beräkningsförutsättningar:

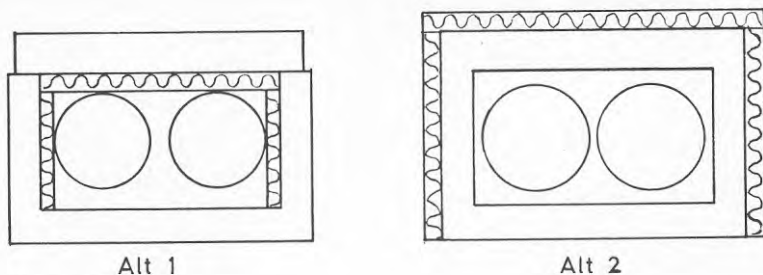
Värmeledningstal för mark $\lambda_m = 1.2 \text{ W/m}^0\text{C}$, isolering $\lambda_i = 0.05 \text{ W/m}^0\text{C}$. Som tidigare omräknas tilläggsisoleringen till ett ekvivalent jordlager.

En tilläggsisolering för den bra/dåliga kulvertsträckan ger följande förluster:

Med 50 mm markskiva,	värmeförlust = 67/114 W/m
" 100 mm " , "	= 64/105 "
" 200 mm " , "	= 60/94 "

Med 200 mm markskiva får vi således en minskning av värmeförlusten med 15 resp 46 W/m. I praktiken kan detta ej uppnås på grund av markskivans begränsning i sidled.

Förbättrad isoleringseffekt erhålles vid nedanstående isoleringsalternativ. Värmeförlusten blir av samma storleksordning i de båda alternativen. Den invändiga tilläggsisoleringen avser en lådkulvert med avtagbart lock, dock ej cellbetongisolerad kulvert. Isoleringsskivorna placeras mot väggar och över rören.



Figur 23

Med en tilläggsisolering på 100 mm erhålles i vårt praktikfall för BTK ansl.nr 300 värmeförlusten 57 W/m för den bra och 91 W/m för den, dåliga kulvertsträckan d v s en minskning av förlusten med 18 resp 49 W/m. Detta är en betydande minskning av värmeförlusten men här krävs också större ingrepp och därmed högre kostnader för utförandet.

Slutsatser

Betydande minskningar av värmeförluster kan enligt ovanstående beräkningar erhållas vid tilläggsisolering. Detta gäller speciellt kulvertar med försämrad isoleringsförmåga.

Det är oklart hur väl de teoretiska beräkningarna stämmer med de förlustminskningar som i praktiken kan uppnås. Detta skall utredas i etapp II.

Förändrade temperaturer på skyddshölje speciellt beträffande gummipackningar och fogband måste beaktas.

Kondensförhållandena måste studeras. Ebeberg-Henriksson (2) har påvisat kondensförhållandena vid en invändig isolering av en betongkulvert. 30 mm mineralull gav problem medan cellplast, som har ett bättre fuktdiffusionstal, bedömdes acceptabel. En utväändig isolering skapar ej dessa problem.

Invändig skumning av hålrum runt befintlig isolering ger en mycket god isoleringseffekt. Här finns en rad frågor att utreda beträffande funktion samt teknik vid utförande.

Eventuella tjälproblem i samband med tilläggsisolering skall beaktas.

6.2 Ekonomiska förutsättningar för tilläggsisolering

Förutsättningen för att utföra en tilläggsisolering styrs av möjlig värmebesparing och energipris kontra anläggningskostnad, ränta och avskrivningstid. Förutsättningarna måste därför undersökas i varje särskilt fall. Föreliggande bedömningar grundar sig på ett par enstaka fall beträffande uppmätta värmeförluster och beräknad optimal värmebesparing samt det energipris som f n gäller i t ex Uppsala. Energiproduktionen är till stor del oljebaserad men här liksom på många andra håll, pågår en snabb omläggning till andra bränslen. Flera energiverk har redan till stor del lagt om driften till fasta bränslen t ex kol. I och med att ett nytt bidrag tillkom från årsskiftet 1982-1983 kan omläggningen till fasta bränslen förväntas gå snabbt. Inom en

femårsperiod är det därför troligt att de flesta energiverk har kommit bort från olja som det huvudsakliga bränslet.

Förändrat bränsleval i kombination med andra åtgärder, t ex värmepumpar, innebär lägre energipriser. Flera energiverk har redan i dag ett energipris som ligger under 20 öre/kWh. Det bedömes sannolikt att ett energipris runt 10 öre/kWh inom kort är en realitet.

Kostnaden för en tilläggsisolering, som innebär placering av isolering i marken över kulverten, blir i hög grad beroende på marktyp. Hårdgjorda ytor medför mycket höga återställningskostnader och vi bedömer det tills vidare som ointressant att beakta detta alternativ. Endast om speciella omständigheter föreligger, dvs att återställningskostnaden till större delen ej belastar isoleringsåtgärder, kan detta alternativ komma ifråga. Det tycks dessutom vara så att man i första hand har problem med kulvertar som ligger i park- eller råmark. Orsaken är sannolikt att dräneringsförhållandena är sämre i sådan mark samt att infiltrationen av ytvatten är betydligt större. Asfalterade ytor är försedda med dagvattenbrunnar och har ofta djupa och dränerande ledningsschakter.

Nedan visas en grov kalkyl på de förutsättningar som gäller för de två kulvertsträckor som undersökts i detta projekt.

ACE-kulvertar

Kostnaden per löpmeter kulvert för att utföra en 10 cm kompletterande markisolering enl figur 21 beräknas i årets penningvärde till 240-280 kr i parkmark eller liknande grönytor. Detta avser komplett arbete vari ingår schakt, isolering och läggning, återfyllning och återställning.

I nedanstående diagram 11 visas anläggningskostnadens annuitet fördelat på 10 resp 15 år vid olika räntor. För en kostnad på 260 kr/m blir annuiteten på 10 år och 7 % realränta ca 37 kr/m och år.

Som framgår av diagram 12 krävs då, vid ett energipris på 20 öre/kWh, en besparing på minst 20 W/m kulvert för att motivera anläggningskostnaden. Besparingen avser ett medelvärde för året. I praktikkallet har visats att denna storlek på besparing, då det gäller förbättring av en dålig isolering, ej kunde uppnås. För att göra en inventering möjlig måste således kostnaden slås ut på längre tid, t ex 15 år, medföra större värmebesparing eller tilläggsisoleringen utföras till en lägre kostnad.

Beträffande ACE-kulvertar har i det föregående förutom en kompletterande markisolering, visats ett principförslag för tilläggsisolering som innebär att hålrummet runt befintlig isolering fylls med skum. För att utföra detta krävs utrustning att injektera skummet i kulverten. Detta bör vara möjligt från kammare eller uppschaktad skyddsrorsskarv längs kulverten. Tekniken får studeras vidare i etapp II liksom konsekvenser beträffande dränering och fukt. Alternativet är intressant m h t det ringa ingrepp som bedömes erforderligt.

En invändig skumning beräknar vi kan kosta 140-180 kr/m i grönytor. Då inräknas schakt, återfyllning och återställning av en grop mellan kammare samt skumning inklusive material och maskiner. Om denna metod kan tillämpas ges ekonomi även för mindre energibesparingar och lägre energipris. Vårt praktikfall skulle t ex vara lönsamt.

Betongkulvertar

Vi studerar betongkulvert ansl.nr 300 i vårt praktikfall. En 10 cm tilläggsisolering över den dåliga kulverten beräknas ge en besparing på 35 W/m. Kostnaden för åtgärden beräknar vi till 410-430 kr/m kulvert. I nedanstående diagram 13 visas anläggningskostnadens annuitet för olika räntor och livslängd vid en kostnad på 420 kr/m.

Annuiteten för 10 år och 7 % ränta blir ca 60 kr/m kulvert. Vid ett energipris på 20 öre/kWh ger värmebesparingen 35 W/m en kostnadsbesparing likaså på 60 kr/m. En tilläggsisolering skulle således i vårt praktikfall vara ekonomiskt möjlig om den beräknade värmebesparingen kan uppnås.

En tilläggsisolering av både lock och väggar är bättre. Beträffande lådkulvertar kan en invändig isolering monteras på väggar och tak. I vårt praktikfall skulle 10 cm mineralull medföra en värmebesparing på ca 18 W/m för den bra och ca 48 W/m för den dåliga kulverten. Vid ett energipris på 20 öre/kWh innebär det ca 80 kr/m och år i besparing för den dåliga kulverten. Denna besparing skulle vid 7 % ränta på 10 år motivera en investering på 560 kr/m, vilket väl bedömes täcka kostnaderna för åtgärden.

Slutsatser

Vi kan konstatera, att det kan vara ekonomiskt lönsamt att tilläggsisolera kulvertar, som av olika skäl har en dålig värmeisolering. Speciellt gäller detta vid oljebaserat energipris.

Det har ovan antytts metoder och värmebesparingar, som kan medföra lönsamhet även vid sjunkande energipriser. Detta bör vara intressant att studera vidare.

Energipriser och uppnådd värmebesparing kommer i hög grad att styra lönsamheten för en ev tilläggsisolering.

Det är oklart hur stor värmebesparing som i praktiken kan uppnås med olika isoleringsåtgärder. Detta måste provas genom fältförsök.

Det förtjänar att påpekas att en utvändig tilläggsisolering kan vara av intresse även vid nyproduktion. Eftersom kostnaden för skyddshöljet kan vara betydande och denna kostnad ökar med höljets dimension medför en utvändig isolering stora fördelar. Kostnaden för denna tilläggsisolering blir troligen blygsam.

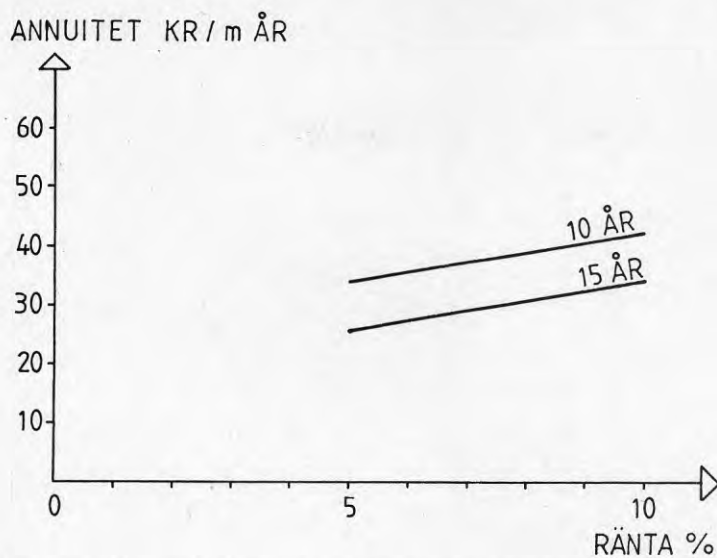


Diagram 11 Tilläggsisolering av ACK 150/300 med 10 cm markisolerering (figur 21). Byggkostnad 260 kr/m.

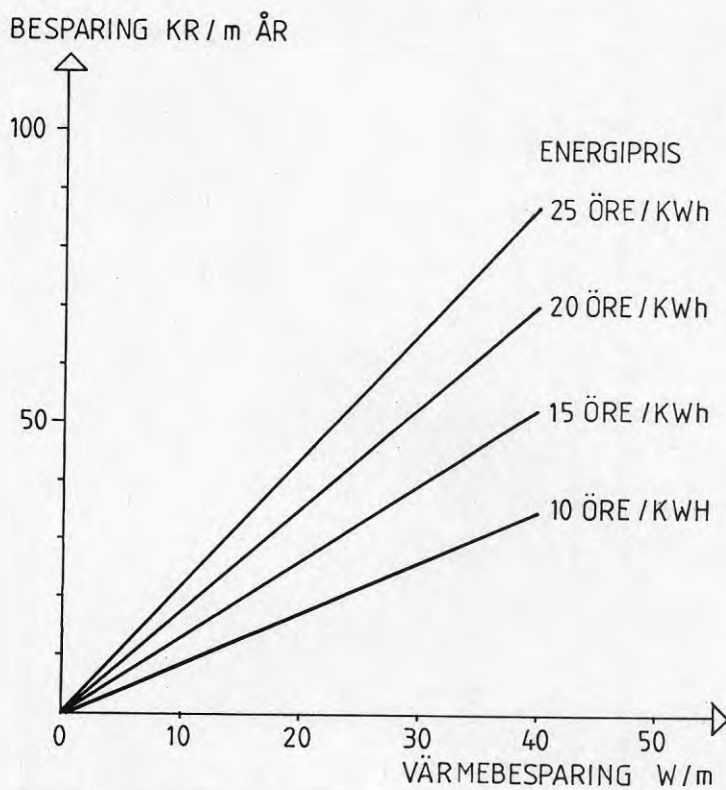


Diagram 12 Ekonomisk besparing vid varierande energipris och värmebesparing.

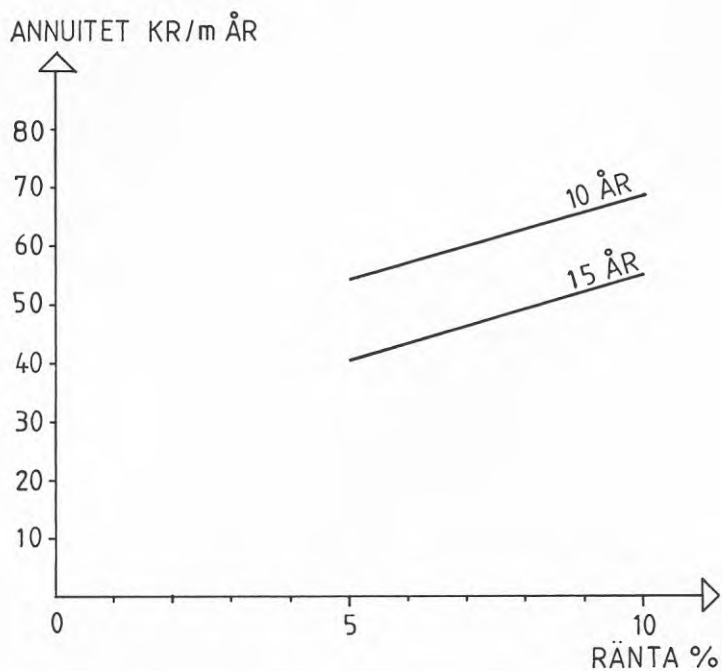


Diagram 13 Tilläggsisolering av BTK 300 med 10 cm markisolering (figur 22). Byggkostnad 420 kr/m.

7 SAMMANFATTNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR FORTSATT ARBETE

7.1 Sammanfattning

Skador på isoleringsmaterialet, med nedsatt isoleringsförmåga som följd, uppstår av många orsaker. Den vanligaste och allvarligaste orsaken är dränkning. Uttorkning tar lång tid, från några veckor för mineralullsisolerade kulvertar till flera månader för cellbetongisolerade kulvertar.

Isoleringens kondition varierar kraftigt dels beroende på åldringsskador och mekaniska skador och dels på grund av skador genom dränkning.

Formstabila isoleringsmaterial, som ej påverkas av hett vatten, kan dock efter uttorkning helt återfå sin ursprungliga isoleringsförmåga.

Värmeförlustställen i fjärrvärmekulvertar, som är av intresse för helhetsbilden, är de stöd, styrningar, fixar, armarur m m som är fritt exponerade och i direkt kontakt med medierören. En grov uppskattning visar att dessa värmeförluster kan vara av storleksordningen 5-10 % av den totala nätförlusten. Vissa isoleringsåtgärder kan här vara av intresse att utföra, speciellt i kammare.

Vi kan konstatera att markmotståndet svarar för ca 10-20 % av det totala värmemotståndet när det gäller moderna kulvertar i bra skick. För skadade och äldre kulvertar får markbeskaffenheten ännu större inverkan. I vår undersökningsmetodik är det därför av betydelse att tämligen väl känna denna parameter.

I denna, i och för sig begränsade utredning, har påvisats att kulvertar som skadats genom dränkning kan ha 30-90 % högre värmeförluster än oskadade. I detta ligger också den eventuella försämring som hög fuktighet i kulverten kan medföra. Temperaturskillnaden på utsidan av en skadad och en intakt kulvert, är av sådan storlek att det är möjligt att bedöma isoleringskonditionen genom temperaturmätningar. Markförhållandena måste dock vara tämligen väl kända om inte direkta jämförelser på samma kulverttyp kan göras.

Tilläggsisoleringar är möjliga att utföra på olika sätt och med olika medtoder och material. Här påvisas med ett par exempel att det också, under vissa förutsättningar, kan vara ekonomiskt möjligt. Teoretiska beräkningar har visat att värmeförlusten för de skadade kulvertdelarna i våra praktikfall kan nedbringas med 10-25 %. Ju sämre värmeisoleringen är i utgångsläget desto större besparingar kan göras genom tilläggsisolering.

Det kan också påpekas att en utvändigt isoleringskomplettering kan vara av intresse även i nyproduktionen. Skyddshöljet är en stor kostnad i kulvertkonstruktionen varför man önskar nedbringa yttermått. Med en utvändigt isolering kan isoleringsförmågan ökas utan att yttermåtten påverkas. Grusmaterial för återfyllning har blivit mycket dyrbart varför material med bättre värmeisolerande egenskaper kan övervägas där lämpliga förhållanden i övrigt föreligger.

Den begränsade mätserie, som ingått i denna utredning, har inte givit ett resultat som entydigt visar vilka faktorer som främst styr ventilationssystemets funktion. Det torde förhålla sig så att luftströmmarna på grund av den termiska drivkraften är små. Däremot medför vinden en kraftigare påverkan som dock blir mycket oregelbunden. Det är oklart hur luftflödet i ledningssystemet påverkas av vind. Vindpåverkan varierar också beroende på ventilationsrörets utformning av ut- och inlopp. Vår bedömning är att värmeförlusten genom ventilation är av storleksordningen 1-5 % av den totala transmissionsförlusten. Variationen beror på kulverttyp, ventilationsrörens utformning, fri area i kulverten, vindexponering samt temperaturdifferans mellan kulvert och uteluft.

7.2 Förutsättningar för fortsatt arbete

Resultatet av hittills utförda undersökningar visar att det föreligger ett behov av att tilläggsisolera kulvertar med dålig värmeisolering. Detta torde också vara ekonomiskt lönsamt i många fall. För att konstatera konditionen behöver bedömningsunderlaget förbättras genom systematiska mätningar på olika kulverttyper och markförhållanden.

Redan i denna etapp har de ekonomiska förutsättningarna i någon mån studerats. Man kan därför redan i etapp II överväga ett prov med tilläggsisolering för att få erfarenheter om kostnaderna och värmebesparingen.

Den höjning av temperaturen på skyddshölje och fogmaterial, som blir följd av en utvändig tilläggsisolering, måste studeras med hänsyn till risk för skadeeffekter.

Teknik för invändig tilläggsisolering av ACE-kulvertar är av intresse att utreda. Därvid måste krav på dränering och luftning undersökas och eventuellt tillgodoses.

Ventilering av kulvertar spelar en stor roll beträffande borttransport av fukt. Risk för ansamling av vatten i kammare genom kondens i ventilationsrören synes föreligga i vissa fall. Värmeförlusten via ventilation är dock av underordnad betydelse. Här föreligger ett behov av att fördjupa studierna av funktionen i syfte att nå fram till lämplig detaljutformning av ventilationsanordningarna. Hänsyn bör tas till klimatfaktorer och vindexponering.

8 BILAGOR

BETECKNINGAR

Värmeförlust och värmemotstånd

Q_f	Sammanlagda värmeförlusten från både fram- och returledning	(W/m)
Q_{fv}	Värmeförlust, ventilation	(W/m)
R_i	Värmemotstånd, isolering	(m ⁰ C/W)
R_h	Värmemotstånd, konvektion	(m ⁰ C/W)
R_m	Värmemotstånd, mark	(m ⁰ C/W)
R_s	Värmemotstånd, sammanfallande temperaturfält	(m ⁰ C/W)
R_v	Värmemotstånd, ventilation	(m ⁰ C/W)

Temperatur

θ	Temperaturdifferens mellan fjärrvämevatten och omgivning	(⁰ C)
T_F	Temperatur, framledning	(⁰ C)
T_g	Temperatur, kulvertens utsida	(⁰ C)
T_k	Temperatur, kammare	(⁰ C)
T_m	Temperatur, mark	(⁰ C)
T_R	Temperatur, returledning	(⁰ C)
T_u	Temperatur, ute	(⁰ C)
T_1	Temperatur, markyta ovan kulvert	(⁰ C)
T_2	Temperatur, markyta	(⁰ C)

Medieegenskaper m m

λ_i	Värmeledning, isolering	(W/m ⁰ C)
λ_m	Värmeledning, mark	(W/m ⁰ C)
ρ	Densitet	(Kg/m ³)
C_p	Värmekapacitet	(J/kg ⁰ C)
h	Värmeövergångskoefficient	(W/m ² 0C)

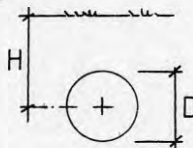
Geometriska mått

A	Inre höjd i betonglådekulvert	(m)
B	Inre bredd i betonglådekulvert	(m)
d_i	Diameter, medierör	(m)
d_y	Ytterdiameter, isolering	(m)
D_i	Innerdiameter, isolering om denna ej är lika med d_i	(m)
D	Diameter, ytterrör	(m)
D_e	Ekvivalent diameter	(m)
H	Förläggingsdjup, från markyta till rörens centrum	(m)
S	Centrumavstånd mellan fram- och returledningsrör	(m)

8.1 Beräkning av värmeförluster. Teori.

Värmeförlusten Q_f per meter rör för ett markförlagt, varmt och isolerat rör ges av följande uttryck:

$$Q_f = \frac{2\pi\lambda_m\theta}{\ln\left(\frac{2H}{D} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D}\right)^2 - 1}\right)} \approx \frac{2\pi\lambda_m\theta}{\ln\frac{4H}{D}}$$



Figur 24

Detta uttryck brukar tas upp som exempel på värmeledning i grundläggande kurser i värmeöverföring (t ex Sundén (13)) och gavs av Forchheimer 1888. Uttrycket enligt ovan brukar därför kallas Forchheimers ekvation. Motsvarande generella uttryck för ett markförlagt, varmt och isolerat rörpar gavs av Shubin 1934.

Inom fjärrvärmetekniken appliceras en isolering på markförlagda rör för att nedbringa värmeförlustens storlek till en ekonomisk rimlig nivå. Beräkningsuttrycken för dessa distributionsledningar får något olika utseende beroden på den konstruktiva utformningen av "kulverten". Här ska beräkningsuttryck för fem olika ledningstyper för fjärrvärmedistribution redovisas. Dessa uttryck är hämtade från tillgänglig litteratur och har tagits direkt utan någon kritisk granskning av tillförlitlighet och giltighet.

Följande ledningstyper behandlas:

- 1 Direkt markförlagt, separat isolerat rörpar.
- 2 Betonglådekulvert. Mineralullsisolering.
- 3 Betonglådekulvert. Cellbetongisolering.
- 4 Separat isolerat rörpar i gemensamt asbestcimentrör.
- 5 Gemensamt isolerat rörpar i gemensamt asbestcimentrör.

Vid beräkning av värmeförlusterna från en markförlagd fjärrvärmekulvert är det brukligt att beräkna varje isoleringsskikts värmemotstånd. Dessa motstånd sammansätts sedan till de resulterande totala värmemotståndet R_i . Den totala värmeförlusten Q_f beräknas då som kvoten mellan temperaturdifferensen θ från rör till omgivning och det totala värmemotståndet R :

$$Q_f = \frac{\theta}{R} \quad (\text{W/m})$$

Temperaturdifferensen θ mellan fjärrvärmevatten och omgivning beräknas enligt

$$\theta = \frac{T_F + T_R}{2} - T_m$$

Om beräkningen avser ett medelvärde över flera år sätts marktemperaturen t_m lika med årsmedeltemperaturen för den aktuella orten. Gäller beräkningen ett ögonblicksvärde för en enskild dag bör hänsyn tas till naturliga instationära värmeflöden i marken, se vidare Werner (4).

Det totala värmemotståndet R utgörs huvudsakligen av två värmemotstånd: Isoleringsmotståndet R_i som fås av den isolering (polyuretanskum, mineralull, cellbetong m m) som appliceras för att nedbringa värmeförlustens storlek och markmotståndet R_m som indirekt erhålls genom att ledningen markförläggs. Eftersom markmotståndet för normaliserade ledningar endast utgör en liten del av det totala värmemotståndet (<20 %), innebär ett måttligt fel i markmotståndet ett ringa fel i den beräknade värmeförlusten från ledningen (se vidare 4.2).

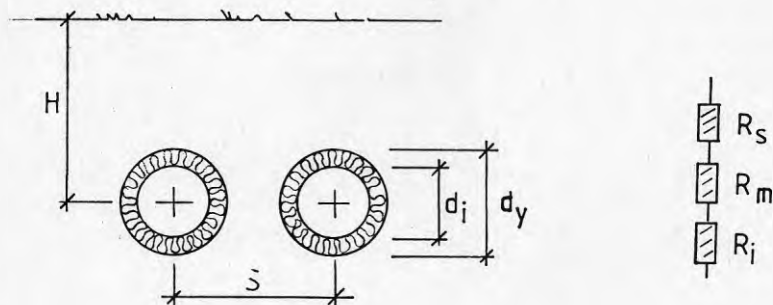
Det bör observeras att här definierade värmemotstånd hänför sig till ledningarnas längd, vilket är vanligt vid förlustberäkningar för nergrävda ledningar. Normalt inom värmetekniken är annars att värmemotstånd relateras till ytor, t ex värmemotstånd i byggnadsväggar. I Werner (4) hänför sig definierade värmemotstånd till medierörens mantelytor.

Slutligen skall tilläggas att i de följande avsnitten om beräkningsuttryck för olika kulverttyper så har värmemotståndet mellan markyta och luft försumrats. Det gäller även att stationära tillstånd förutsätts råda.

Alla beräkningsuttryck gäller också den totala värmeförlusten från bägge rören i kulverten. Om värmeförlusten från vardera röret önskas måste andra mer komplexa beräkningsuttryck användas. För direkt markförlagt, separatisolerat rörpar finns sådana uttryck redovisade i Werner (4).

Beräkningsmetodiken kan jämföras med den som tillämpas inom elektricitetsläran. Värmemotstånden behandlas därvid som resistenser. Principschema för detta har angivits i figuren.

8.1.1 Direkt markförlagt, separat isolerat rörpar



Figur 25

Värmeförlust

$$Q_f = \frac{\theta}{R_i + R_m + R_s} \quad (\text{W/m})$$

Värmotstånd, isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$$

Värmotstånd, mark

$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2H}{d_y} + \sqrt{\left(\frac{2H}{d_y}\right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{d_y}$$

Värmotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält

$$R_s = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \sqrt{\left(\frac{2H}{S}\right)^2 + 1}$$

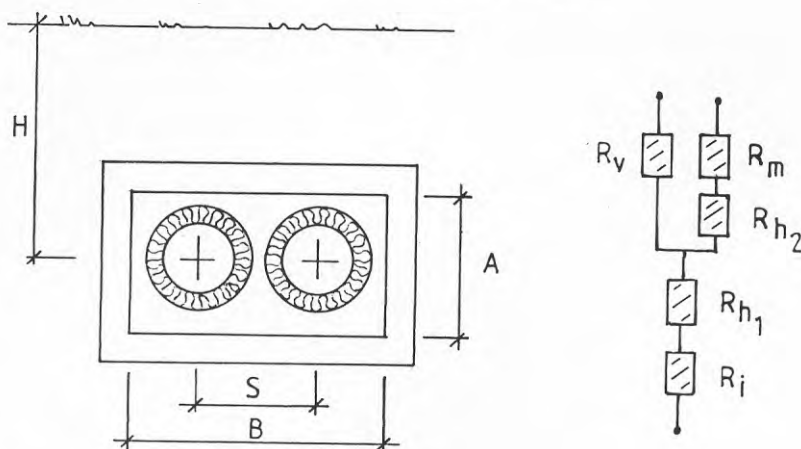
Referens

Werner (4)

Kommentarer

När två varma rör ligger intill varandra kommer de att störa varandras temperaturfält. Resultatet blir att värmeförlusten för ett rörpar blir lägre än för två rör förlagda långt ifrån varandra. Om rören är välisolerade blir $R_i \gg R_s$, varför inverkan av sammanfallande temperaturfält blir liten.

8.1.2 Betongkulvert, mineralullsisolering



Figur 26

Värmeförlust

$$Q_f = \frac{\theta}{R_i + R_{h1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_m + R_{h2}}}} \quad (\text{W/m})$$

Värmemotstånd,
isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_o}{d_i}$$

Värmemotstånd,
luftspalt
(konvektion)

$$R_{h1} = \frac{1}{2\pi d_y h_1} \quad R_{h2} = \frac{1}{2(A+B)h_2}$$

Värmemotstånd,
ventilation

$$R_v = \frac{4L_v}{W\pi d_v^2 \rho c_p}$$

där L_v = avstånd mellan kammare (m) W = lufthastighet i luftningsrör (m/s) d_v = diameter för luftningsrör (2 st rör förutsätts) ρ = luftens densitet (kg/m³) c_p = luftens värmekapacitivet (J/kg °C)

Värmemotstånd,
mark

$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2H}{D_e} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D_e}\right)^2 - 1} \right] \approx$$

$$\approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D_e}$$

där den ekvivalenta diametern D_e beräknas enligt

$$D_e = \frac{35.2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-5} + \frac{10}{A} + \frac{2}{5}}$$

Referens

Kvisgaard & Hadvig (9), Värmemotstånd i mark.

Kommentarer

Konvektionen i luftspalten ansätts med två värmemotstånd, R_{h_1} och R_{h_2} .

Rimligt värde på värmeövergångskoefficienten h är ca $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

I ovanstående räknas själva betongväggen till omgivande mark, ty dessa har ungefär samma värmekonduktivitet.

Sättet att använda en ekvivalent diameter vid beräkning av värmemotståndet för mark härstammar från Kvisgaard & Hadvig (9). Det är tänkt att rektangelkanalen ersätts av två cylindrar.

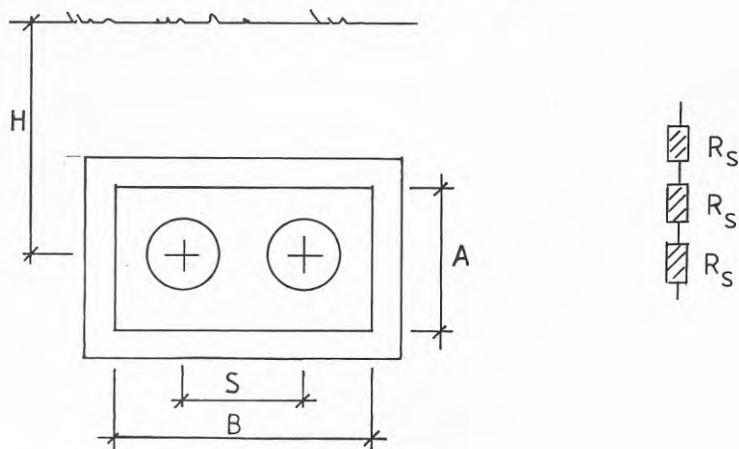


Figur 27

Detta sätt att beräkna värmemotståndet för en rektangulär kanal är inte vanligt. Normalt används det uttryck som ges av Kutateladze (12)

$$R_m = \frac{1}{\lambda_m \left(5.7 + \frac{B}{2A}\right)} \ln \frac{3.5H}{B^{0.25}A^{0.75}}$$

8.1.3 Betongkulvert, cellbetongisolering



Figur 28

Värmeförlust

$$Q_f = \frac{\theta}{R_i + R_m + R_s}$$

Värmemotstånd, isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{D_e}{d_i}$$

$$D_e = \frac{35.2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-S} + \frac{10}{A} + \frac{2}{S}}$$

Värmemotstånd, mark

$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2H}{D_e} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D_e}\right)^2 - 1} \right] \approx$$

$$\approx \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D_e}$$

Ekvivalent diameter D_e enligt ovan.

Värmemotstånd, p g a sammanfallande temperaturfält?

$$R_s = R_i + R_m - \frac{1}{C_1 + C_2}$$

där

$$C_1 = \frac{4\pi\lambda_i}{\ln \frac{S}{d_i} + \left[\sqrt{\left(\frac{S}{d_i}\right)^2 - 1} \right]}$$

$$C_2 = \frac{2 \cdot 0.4 (\lambda_m - \lambda_i)}{A \cdot R_i \lambda_m}$$

Referens

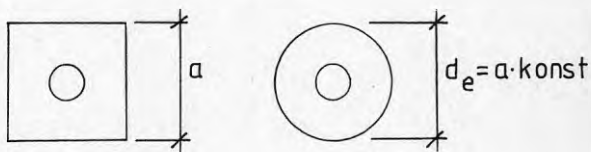
Kvisgaard & Hadvig (9).

Kommentarer

På samma sätt som i 8.1.2 räknas själva betongväggen till omgivande mark, ty dessa har ungefär samma värmekonduktivitet.

Angående beräkning av markmotståndet gäller samma anmärkning som under 8.1.2.

Beräkningen av isoleringsmotståndet bygger på en ekvivalent diameter för en rektangulär isolering kring ett rör. Om rektangeln har lika stora sidor brukar följande användas:



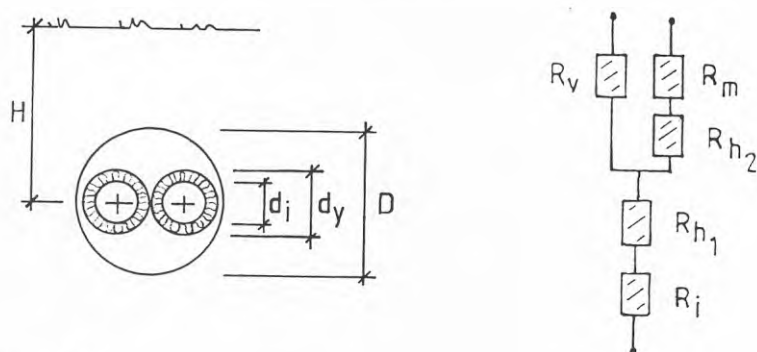
Figur 29

Konstantens värde ligger på strax över 1. Vanliga siffror är 1.073, 1.08, 1.10 eller 1.12. Kvisgaard & Hadvig (9) har själva modifierat detta för att gälla den aktuella geometrin, men utan att redovisa hur man tänkt eller vilka principer som ligger bakom.

Beräkningen av värmemotståndet R_s är också enligt Kvisgaard & Hadvig (9).

Det råder tveksamhet om metodens tillförlitlighet.

8.1.4 Separatisolerat rörpar i gemensamt asbestcimentrör



Figur 30

Värmeförlust

$$Q_f = \frac{\theta}{R_i + R_{h1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h2} + R_m}}}$$

Värmotstånd,
isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{D}{d_i}$$

Värmotstånd,
luftspalt

$$R_{h1} = \frac{1}{2\pi d_y h_1} \quad R_{h2} = \frac{1}{\pi D h_2}$$

Värmotstånd,
mark

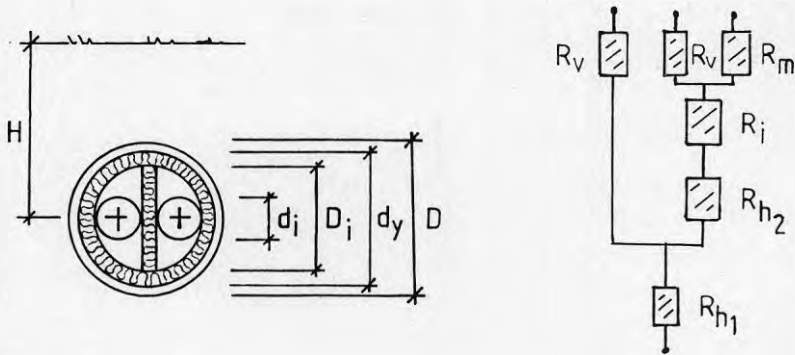
$$R_m = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2H}{D} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D}\right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D}$$

Värmotstånd,
ventilation

$$R_v = \frac{4L_v}{W\pi d_v^2 \rho c p}$$

(För beteckningar se under 8.1.2)

8.1.5 Gemensamt isolerat rörpar i gemensamt asbestcimentrör



Figur 31

Värmeförlust

$$Q_f = \frac{\theta}{R_{h1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h2} + R_i + \frac{R_m \cdot R_{v2}}{R_m + R_{v2}}}}}$$

Värmemotstånd,
isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{D}{d_i}$$

Värmemotstånd,
luftspalt

$$R_{h1} = \frac{1}{1.5\pi d_i h_1} \quad R_{h2} = \frac{1}{\pi D_i h_2}$$

Värmemotstånd,
märk

$$R_m = \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2H}{D} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D}\right)^2 - 1} \right] \approx \frac{1}{2\pi\lambda_m} \ln \frac{4H}{D}$$

Värmemotstånd,
ventilation

$$R_v = \frac{4L_v}{W\pi d_v^2 \rho c_p}$$

(För beteckningar se under 8.1.2)

8.2 Beräkning av temperaturer mellan isolering och om- givande mark. Teori.

Temperaturen på kulvertens utsida är beroende av isoleringens värmeledningsförmåga. En sämre isolering innebär en högre temperatur och därmed en ökad värmeförlust.

8.2.1 Asbestcementkulvert, separat fram- och returledning

I nedanstående beräkningsmetod försummas inverkan av en eventuell luftspalt i kulverten.

Värmeförlusten från ett separat rörpar är

$$Q_f = \frac{\theta}{R_i + R_s + R_m} \quad (\text{W/m}) \quad (1)$$

Värmeförlusten från framledningsröret är enligt Werner (4).

$$Q_{ff} = \frac{(R_m + R_i) \theta_1 - R_s \theta_2}{(R_m + R_i)^2 - R_s^2} \quad (2)$$

Värmeförlust från en enkel ledning

$$Q_f = \frac{T_F - T_g}{2 \cdot R_i} \quad (3)$$

T_g = Teoretisk temperatur utsida framledningsrör (temp.givare)

Temperaturen, T_g , på framledningsrörets utsida beräknas enligt följande:

Ur ekv (2) = ekv (3) beräknas den teoretiska temperaturen T_g . Denna temperatur kan nu jämföras med den uppmätta.

$$T_g = T_F - R_i \frac{(R_m + R_i)(T_F - T_m) - R_s(T_R - T_m)}{(R_m + R_i)^2 - R_s^2} \quad (4)$$

där

värmemotstånd isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d}{d_i}$$

värmemotstånd på grund av sammanfallande temperaturfält

$$R_s = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \sqrt{\left(\frac{2 \cdot H}{S}\right)^2 + 1}$$

värmemotstånd mark

$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2 \cdot H}{D} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot H}{D}\right)^2 - 1} \right]$$

T_F , T_R = Fram- resp returledningstemperatur

Den uppmätta temperaturen T_g , motsvaras av ett visst värmeledningstal. Detta värmeledningstal erhålles genom att sätta ekv (2) = ekv (3).

$$\lambda_i = \frac{\ln \frac{d_y}{d_i}}{\pi 2(X - R_m)} \quad \Delta t = T_F - T_g \quad (5)$$

$$X = \frac{R_s \theta_2 + R_m \theta_1}{2(T_g - T_m)} (\pm) \sqrt{\left[\frac{R_s \theta_2 + R_m \theta_1}{2(T_g - T_m)} \right]^2 - \frac{R_s (R_m \theta_2 + R_s \Delta t)}{T_g - T_m}}$$

$X - R_m > 0$ (krav)

Ledningens värmeförlust erhålles genom insättning av det framräknade värmeledningstalet (ekv 5) i ekv (1).

8.2.2 Betongkylvert, mineralullsisolerad

Enligt 8.1.3 är värmeförlusten från en betongkylvert

$$Q_f = \frac{\theta}{R_i + R_{h1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h2} + R_m}}} \quad (\text{W/m}) \quad (6)$$

Värmeförlust genom isolering

$$Q_{fi} = \frac{\frac{T_F + T_R}{2} - T_g}{R_i + R_{h1} + \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_{h2}}}} \quad (7)$$

T_g = Temperaturen på betonglådans utsida

I det följande försummas ventilationens värmemotstånd.

Ur ekv (6) = ekv (7) kan T_g beräknas

$$T_g = \frac{\frac{T_F + T_R}{2} R_m + T_m (R_i + R_{h1} + R_{h2})}{R_i + R_{h1} + R_{h2} + R_m} \quad (8)$$

Värmemotstånd isolering

$$R_i = \frac{1}{4\pi\lambda_i} \ln \frac{d_y}{d_i}$$

Värmemotstånd luftspalt

$$R_{h1} = \frac{1}{2\pi d_y h_1} ; R_{h2} = \frac{1}{2(A + B)h_2}$$

Värmemotstånd mark

$$R_m = \frac{1}{4\pi\lambda_m} \ln \left[\frac{2H}{D_e} + \sqrt{4 \left(\frac{H}{D_e} \right)^2 - 1} \right]$$

Vid beräkning av den teoretiska temperaturen T_g omvandlas betonglådan till en ekvivalent cirkel med diametern D_e .
A och B är betonglådans yttre höjd resp bredd.

$$D_e = \frac{35.2}{\frac{10}{A} + \frac{8}{B-C} + \frac{10}{A} + \frac{2}{S}}$$

Om temperaturen T_g är känd genom mätning, så erhålles isole-ringens värmeledningstal genom att sätta ekv (6) = ekv (7).

$$\lambda_i = \frac{(T_g - T_m) \ln \frac{d_o}{d_i}}{4\pi \left[\frac{TF + TR}{2} R_m + T_g (R_{h_2} - R_m) + R_{h_1} (T_m - T_g) - T_m \cdot R_{h_2} \right]} \quad (9)$$

Betongkulvertens värmeförlust erhålles genom insättning av ekv (9) i ekv (6).

8.3 Beräkning av ventilationsförluster, teori

Den teoretiska lufthastigheten i ventilationsrören beräknas i formeln

$$W = \left[\frac{2 [T_k - T_u] g \cdot \Delta h}{\left[f_{in} \cdot \frac{L}{D} + \sum \xi_{in} \right] T_k + \left[f_{ut} \cdot \frac{L}{D} + \sum \xi_{ut} \right] T_u} \right]^{1/2} \quad (1)$$

W = lufthastighet i ventilationsrör (m/s)

T_k = Temperatur kammare ($^{\circ}\text{C}$)

T_u = Temperatur omgivning ($^{\circ}\text{C}$)

g = 9.81 m/s^2

Δh = Avstånd kammare-omgivning (m)

f = formmotstånd, beror av laminär eller turbulentströmning

ξ = engångsmotstånd

L = ventilationsrörets längd (m)

D = ventilationsrörets diameter (m)

Den teoretiska ventilationsförlusten beräknas enligt nedan

$$Q_{fV} = W \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho \cdot c_p [T_k - T_u] \quad (2)$$

Ventilationshastigheten vid omgivningstemperaturen 6°C bestäms med hjälp av ekv 1 till 0.8 m/s. Denna hastighet motsvarar ventilationsförlusten

$$Q_{fV} = 240 \text{ W}$$

Antages avståndet mellan närliggande kammare i medeltal vara 80 m samt att energipriset är 18 öre/kWh fås en ventilationsförlust på ca 4-5 kr/m år.

8.3.1 Beräkningsexempel, praktikfall

Vid beräkning av ventilationsförlusten för en fjärrvärmekammare användes formeln

$$Q_f = W \cdot A \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (W)$$

där

$$Q_f = \text{Ventilationsförlusten} \quad (W)$$

$$W = \text{Lufthastighet i ventilationsrör} \quad (m/s)$$

$$A = \text{Area, ventilationsrör} \quad (m^2)$$

$$\rho = \text{densitet, luft} \quad (kg/m^3)$$

$$C_p = \text{Specifik värmekapacitet} \quad (J/kg^{\circ}C)$$

$$\Delta t = \text{Temperaturdifferens} \quad (^{\circ}C)$$

Densiteten samt värmekapaciteten för luft sättes till 1.2 kg/m^3 resp $1005 \text{ J/kg}^{\circ}C$. Ventilationsrörens diameter är 100 mm.

Mätning av lufthastigheten i ventilationsrören företogs under vintern 82/83 på åtta olika kammare. Dessa mätresultat redovisas i tabell 8 och 9.

Maximal lufthastighet uppmättes den 9/2 1983 i kammare BK 4. I denna kammare fungerade båda ventilationsrören som frånluft. Hastigheten i ventilationsrören var 1.3 resp 1 m/s.

Ventilationsförlust kammare BK 4

$$Q_{fv} = 800 \text{ W}$$

Den 23/12 1982 uppmättes i kammare AK 3 frånluftshastigheten 0.2 m/s.

Denna hastighet motsvarar ventilationsförlusten

$$Q_{fv} = 70 \text{ W}$$

Vår mätserie är endast av stickprovskaraktär och återger ej ventilationens variationsbredd med större säkerhet. Vi konstaterar bara att under vår korta mätserie så varierar ventilationsförlusten mellan 70-800 W/kammare. Avståndet mellan två närliggande kammare varierar normalt mellan 30-150 m beroende på kulverttyp och dimension. Ventilationsförlusten per meter ledningslängd bedömes då uppgå till ca 2-10 W/m. Denna värmeförlust kan jämföras med den under 8.3 beräknade teoretiska värmeförlusten (3 W/m). Det är troligt att ett årsmedelvärde av ventilationsförlusten är av storleksordningen 1-5 W/m.

Ett exempel i större skala

Antag en ventilerad kulvertlängd på 100 km (motsv Uppsala 1982).
Ventilationsförlust, årsmedelvärde = 1-5 W/m.
Total ventilationsförlust blir = 0.9-4.4 GWh/år.
Med ett energipris på 18 öre/kWh motsvarar förlusten ett värde
av 160-800 tkr/år.

För hela landet skulle en grov uppskattning ge en total venti-
lationsförlust på 3-16 milj kr.

8.4 Fältmätningar av temperatur på utsida kulvert

Uppmätning av temperaturer på kulvertars utsida har utförts i Uppsala enligt följande.

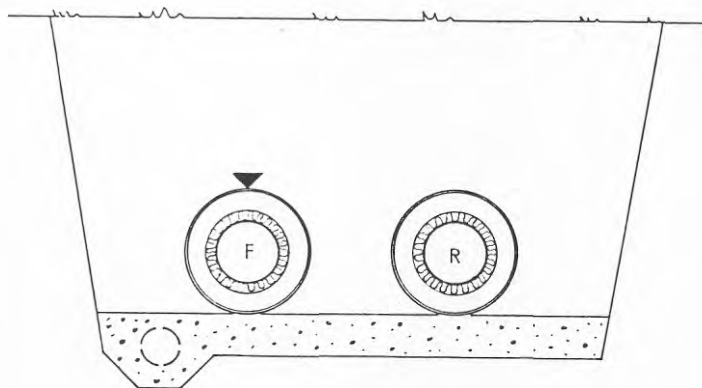
Lednigens läge inmättes i två närliggande kammare och linjen stakades. Beträffande betongkulverten placerades ett termoelement mitt på kulverten och beträffande asbestcementkulverten mitt på framledningen. I en närliggande kammare monterades termoelement på både fram- och returledningens utsida under isoleringen. På ett ställe mättes också marktemperaturen på en meters djup under markytan på 5 meters avstånd från kulverten.

Termoelementen var av koppar-konstantan. Temperaturen mättes med ett digitalt instrument av fabrikat Fluke 2176 A. Mätssystemet har en noggrannhet bättre än $-0,5^{\circ}$. Appliceringen av termoelementen har troligen rätt stor betydelse för resultatet. Det gäller både att träffa rätt på kulverten och att få termoelementet dikt an mot kulverten. I återfyllning med grus, där stenstorleken kan vara knytnävstor, var det så pass svårt att borra ett hål att vi i stället grävde oss ner till ledningen. Vi bedömer att mättnoggrannheten vid fältmätningarna är $+0,5^{\circ}$ till $-2,0^{\circ}$.

Termoelementen placerades ovanpå kulverten via hål som borrats till större delen med en bergborr. Sista biten borrades med en handborr. På en trästav fästes termoelementen så att ca 25 mm anliggning mot kulverten erhöles. Trästav med vidhängande termoelement kringfylldes med sand.

Mätningar har utförts under perioden 26 januari - 17 februari 1983. Lufttemperaturen under perioden var högre än normalt. Mitt på dagen har temperaturen varierat mellan $+5.8$ till -10.2° . Lägsta temperatur har varierat mellan $+3.9^{\circ}$ till -18.0° .

Asbestcementkulvert (ACK) ansl.nr 150/300



Figur 32 Medierör ansl.nr 150.
Isolering 40 mm mineralull.
Skyddsror ansl.nr 300.

Mätplatser

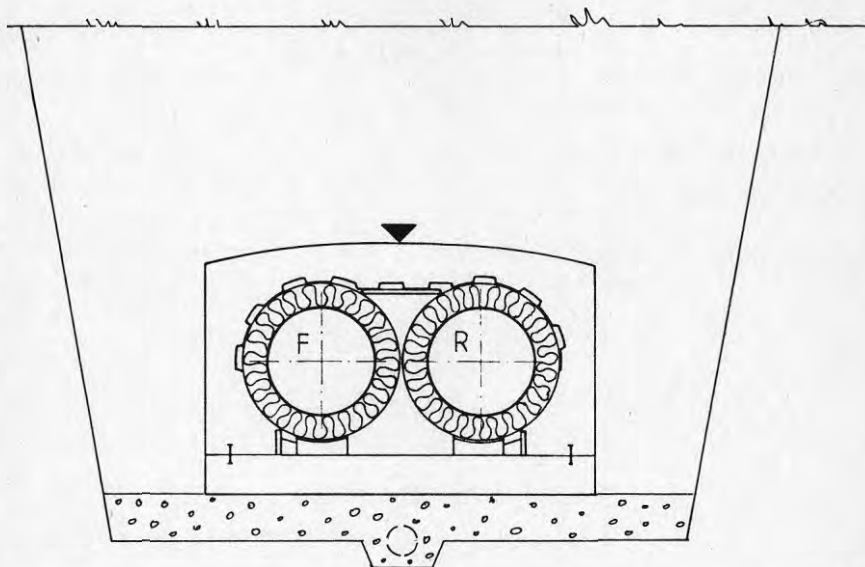
På ca 300 meters avstånd längs samma kulvertsträcka fanns en kulvertdel som blivit dränkt flera gånger och en del som var intakt och ständigt torr. Den dränkta delen ligger i ett sankt område (kärmark) med hög grundvattennivå, numera gräsyta i en park. Den andra ligger i kanten på en moränbacke och markytan är en grusad gångväg. Täckningen över kulverten var i kärret ca 75 cm och i moränbacken 65 cm. På 5 meters avstånd från kulverten i kärret mättes marktemperaturen.

Följande mätresultat erhöles:

Tabell 6

Sträcka	Datum 1983	Temp kulv T_g	Temp fram- ledn T_F	Temp retur- ledn T_R	Temp luft T_U	Temp i mark T_m	Temp (T1) mark- yta	Temp (T2) mark- yta
Kärret	26/1	18.8	86.0	55.0	4.4		2.6	0.8
Moränbacken	26/1	12.4	86.0	55.0			3.8	2.0
Kärret	27/1	19.8	85.0	55.0	5.2		4.8	1.8
Moränbacken	27/1	16.8	85.0	55.0			5.2	1.0
Kärret	31/1	21.2	94.2	55.4	-2.2	7.0	1.8	1.0
Moränbacken	31/1	16.4	94.2	55.4			2.0	1.0
Kärret	1/2	19.6	99.6	55.0	-2.4	3.0	0.5	0
Moränbacken	1/2	14.6	99.6	55.0			0	-0.5
Kärret	17/2	22.0	95.2	55.4	-4.0	4.0	0	-0.2
Moränbacken	17/2	17.4	95.2	55.4			0	-0.4

Betongkulvert (BTK) ansl.nr 300



Figur 33 Medierör ansl.nr 300.
Isolering 60 mm mineralull.

Mätplatserna ligger på olika kulvertgrenar. Båda sträckorna ligger i lermark. En flera gånger dränkt kulvertsträcka ligger i åkermark och den intakta i parkmark inom ett bostadsområde. Täckningen över kulverten var i båda fallen ca 70 cm.

Följande mätresultat erhöles:

Tabell 7

Sträcka	Datum 1983	Temp kulv T_g	Temp fram- ledn T_F	Temp retur- ledn T_R	Temp luft T_U	Temp i mark T_m	Temp (T1) mark- yta	Temp (T2) mark- yta
Parken	26/1	18.4	86.0	43.0	4.4		2.6	2.2
Åker	-							
Parken	27/1	19.0	85.0	42.1	5.2		5.2	0.6
Åker	-							
Parken	28/1	19.2	85.0	41.6	2.4		1.8	1.6
Åker	-							
Parken	1/2	20.6	102.4	47.2	-2.4	+3.0	1.8	0
Åker	1/2	31.8	98.0	45.4	-2.4		2.0	0
Parken	17/2	19.4	98.2	46.6	-4.0	+4.0	-0.8	-2.8
Åker	17/2	34.2	96.3	45.2	-4.0		1.0	0.2

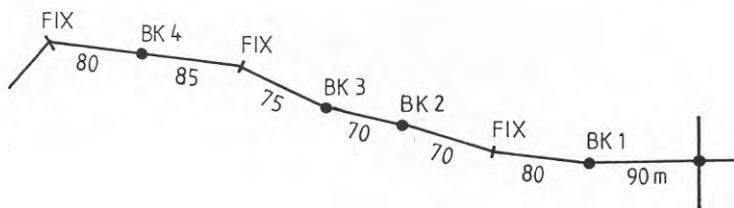
8.5 Fältmätningar av luftflöde och luftfuktighet

Utförda mätningar är av stickprovskaraktär i avsikt att tjäna som stöd för våra bedömningar om ventilationens funktion och betydelse.

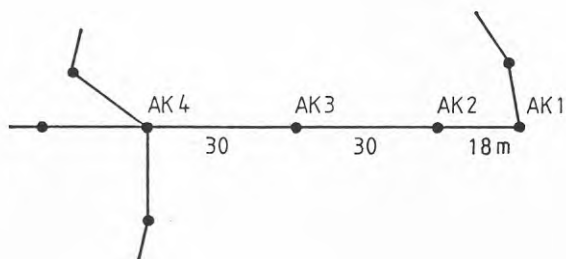
Mätningar utfördes på två sträckor i Uppsala, en betongkulvert ansl.nr 500 och en eternitrörskulvert ansl.nr 200/350.

Betongkulverten ligger i ett parkområde, delvis råmark med största lutningen 13 ‰. Den är av plattkulverttyp. Kamrarna benämnes BK 1 t o m 4.

ACE-kulverten ligger i en gångbana inom ett bostadsområde med lutning ca 3 ‰. Kamrarna benämnes AK 1 t o m 4. Se principplaner nedan.



Figur 34 Betongkulvert, principplan.



Figur 35 ACE-kulvert, principplan.

Mätningar av lufthastigheter och fukt utfördes till att börja med i ventilationsrören där givare fördes in genom borrhål. Vi misstänkte dock att detta ej gav en relevant bild av förhållandena varför några mätserier utfördes direkt i kamrarna.

Lufthastigheten i själva kulvertdelen mättes vid vardera ingången till kammaren. Här förekom i de flesta fall hinder i form av styrningar eller fixar vilket medför att en högre lufthastighet än den i kulverten rådande uppmättes. Med hänsyn till areaförändringen bedömer vi att lufthastigheten inne i kulverten är 50-60 % av den uppmätta.

Ledningstemperaturerna mättes med fast monterade termoelement anbringade mot medierören och täckta av isolering. Dessutom mättes lufttemperaturen i kamrarna med termoelement fritt hängande. Vi konstaterade att temperaturen vid golv och tak skilde sig flera grader.

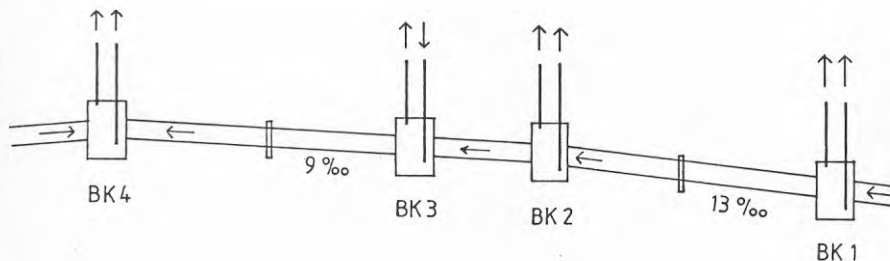
Temperaturen mättes med ett digitalt instrument av fabrikat Fluke typ 2176 A. Mätnoggrannheten bedömdes vara bättre än ± 0.5 °C.

Mätning av fukt utfördes med instrument av fabrikat Vaisala. Noggrannhet vid $+20^{\circ}$ inom 0-80 % är ± 3 %.

Lufthastigheten mättes med en varmtrådsanemometer av fabrikat SVEMA, noggrannhet ± 0.1 m/s (möjligen sämre vid de låga hastigheter vi hade).

Resultatet av mätningarna redovisas nedan i tabell 8 och 9. Ventilationsförhållanden i betongkulverten dels med tilluft- och frånluftsror dels endast frånluftsror framgår av figur 36 och 37.

$W_{ut} = 1.0 \text{ m/s}$	$W_{ut} = 0.5 \text{ m/s}$	$W_{ut} = 0.7 \text{ m/s}$	$W_{ut} = 0.5 \text{ m/s}$
$W_{ut} = 1.0-1.3 \text{ m/s}$	$W_{in} = 0.4 \text{ m/s}$	$W_{ut} = 0.4 \text{ m/s}$	$W_{ut} = 0.4 \text{ m/s}$
$\rho = 34 \%$		$\rho = 32 \%$	$\rho = 32 \%$



Utomhustemperatur $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 Fram-returtemperatur $85/55 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 Vindhastighet 3 m/s

Figur 36

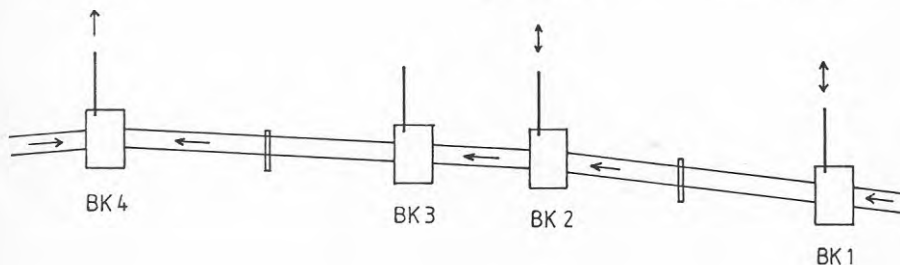
Betongkulvert, ansl 500, profil. Frånluft- och tilluftrör. Ventilationsförhållanden den 9 februari 1983 enligt tabell 9.

Enbart ut
 $W_{ut} = 0-1.8 \text{ m/s}$
 $\rho = 42 \%$

Växlar
 $W_{ut} = 0.7 \text{ m/s}$
 till

$W_{in} = 0.8 \text{ m/s}$
 $\rho = 32 \%$

Växlar
 $\rho = 26 \%$



Utomhustemperatur $-3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 Fram-returtemperatur $96/54 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 Vindhastighet 5 m/s

Figur 37

Betongkulvert, ansl 500, profil.
 Ett ventilationsrör per kammare.
 Ventilationsförhållanden den 28 februari 1983.

Tabell 8

Temperatur och fukt

Kammare	Datum	Temp T _u	Temperaturer °C			Hastighet i vent.rör (m/s)				Hastighet i kulvert m/s	Relativ fukt i kammare %
			Framl T _F	Retur T _R	Kammare T _k	Rör 1 från	Rör 2 från	Rör 1 till	Rör 2 till		
BK 1	14/12 -82	-6	107	58	38	0.4-0.5	0.4-0.5				1) 100
BK 2	14/12 -82				36	0.7	0.4-0.5				1) 100
AK 1	14/12 -82				29	0.3		0			1) 94
AK 3	14/12 -82				20	0		0.3			
BK 1	23/12 -82	-1	92	56	34	0.4-0.5	0.2-0.3				1) 88
BK 2	23/12 -82				34	0.6-0.7		0.2-0.3			1) 85
AK 1	23/12 -82				27	0.3-0.4		0.2-0.3			1) 87
AK 3	23/12 -82				20	0.2-0.3		0.2			
BK 1	20/1 -83	-6	103	52	34	0.4	0.2-0.3				1) 100
BK 2	20/1 -83				34	0.55					
AK 1	20/1 -83				29	0.35	0.6-0.8	0-0.1			1) 35
AK 3	20/1 -83				20	~0		~0			1) 36
BK 1	24/1 -83	2.0	92	60	31	0.6		0.4-1		0.6/0.6	32
BK 2	24/1 -83				30	0.4-1.1		0.4-0.7		0-1/0-1	40
AK 1	24/1 -83		86	56	25	0.3		0.1		0.2/0.1	28
AK 2	24/1 -83				25			~0		0.2/0.1	30
AK 3	24/1 -83				25			0-0.3		0-0.3	30
AK 1	1/2 -83	-2.4	93	48	25	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2			23
AK 2	1/2 -83				20	0		0			
AK 3	1/2 -83				20	0-0.1		0-0.1			
AK 1	3/2 -83	-9	112	60	22	0.5	0-0.1	0-0.1			
AK 2	3/2 -83				20	0		0			
AK 3	3/2 -83				20	0.3	0.1-0.2	0.15			
AK 4	3/2 -83				20			0.15			0

1) Uppmätt i ventilationsrör.

Tabell 9

Temperatur och fukt

Kammare	Datum	Temp T_u	Temperaturer °C			Hastighet i vent.rör (m/s)				Hastighet i kulvert m/s	Relativ fukt i kammare %
			Framl T_F	Retur T_R	Kammare T_k	Rör 1 från	Rör 2 från	Rör 1 till	Rör 2 till		
BK 1	4/2	-83	87	54	32	0.6		0.05			
BK 2	4/2	-83			34	0.6	0.2				
BK 3	4/2	-83				0.4		0.3			
BK 4	4/2	-83				1.0	0.7				
BK 2	9/2	-83	83	55	34	0.7	0.4		0.3/0.3	32	
BK 3	9/2	-83				0.5		0.4			
BK 4	9/2	-83			33	1.3	1.0		0.4/0.5	34	
BK 1	9/2	-83				0.5	0.4		0.3/0.6	32	
Tillluftsror ventilation avstängt											
BK 1	28/2	-83	96	54	30	växlar			0-0.1/0-0.1	26	
BK 2	28/2	-83	96	54	35	växlar			0.15/0.3-0.5	32	
BK 3	28/2	-83									
BK 4	28/2	-83	96	54	30	varierar 0-1.8			0.15/0.5	42	

växlar från ut = 0.7 m/s in = 0.8 m/s

Kommentarer

Temperaturen på medierören avviker rätt mycket från vad som uppmättes vid värmeverket. Troligen föreligger variationer på olika grenar beroende på belastning m m.

Temperaturen i kammare beror på kulvertdimension och förekomst av styrningar, fixar, ventiler och anslutande ledningar. Större ledningar har grövre dimensioner på anliggande balkar och därmed större värmeavgivning.

I ett fall var ventilationsrören täppta av getingbon.

Fukten i ventilationsrören är ofta högre än i kamrarna beroende på kondensering i rören.

I kammare AK 4 var ventilationsrören ca 8 m långa. Ingen eller knappt mätbar luftström förekom i rören.

9 LITTERATURFÖRTECKNING

- (1) Hartnett J P, Alternative energy sources.
- (2) Eveberg och Henriksson, Optimering av värmeisolering för fjärrvärmekulvert av betong. Examensarbete. Publ 80:7, Avd för Husbyggnadsteknik, CTH. Göteborg 1980.
- (3) Claesson J, Temperaturer kring isolerade rör i jord. Arbetsrapport 1970:2, Inst för byggnadskonstruktionslära, LTH. Lund 1970.
- (4) Werner S, Värmeförluster vid fjärrvärmedistribution. Rapport A82-109. Inst för energiteknik, CTH. Göteborg 1982.
- (5) Rydberg J och Huber C. Värmeavgivning från rör i betong eller mark. Svenska värme- och sanitetstekniska föreningen, handling nr IX. Förlags AB KVS. Stockholm 1955.
- (6) Eneborg I. Mätning av värmeförluster från markledningar. VVS 30(1959):12.
- (7) Carlson och Eneborg. Värmeförluster från kulvertledningar. Handling nr 42. Stockholm 1963.
- (8) Jonell P och Dirke L, Värmeförluster från cellbetongkulvertar. VVS 27(1956):1.
- (9) Kvisgaard B och Hadvig S, Värmetab fra fjernvarmeledninger. Teknisk förlag. Köpenhamn 1980.
- (10) Werner S, Storleksfördelning av isoleringstjocklek i distributionsledningar i fjärrvärmesystem. PM 810902. Inst för energiteknik, CTH.
- (11) Johansson L, Värmeförluster från markförlagda kulvertar under instationära förhållanden, en förstudie. Examensarbete. Studsvik Energiteknik. Rapport ET-78/79. Nyköping 1978.
- (12) Kutateladze S S, Fundamentals of Heat Transfer, s 85-98. Edward Arnold. London 1963.
- (13) Sundén B, Kompendium i värmeöverföring. Intern skrift Nr 80/13. Inst för termodynamik, CTH. Göteborg 1980.
- (14) Granholm H, Om frostens nedträngande i mark, handling 332, CTH.
- (15) Nordström H, Värmeförlust och sammanlagring i fjärrvärmeanslutna småhusområden. UKAB 1981.
- (16) Svenska Värmeverksföreningen. Sammanställning av kulvertskadestatistik 1979 och 1981.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
820016-3 från Statens råd för byggnadsforskning
till Uppsala Kraftvärmeverk AB, V-Sektionen,
Uppsala.**

R78: 1984

ISBN 91-540-4154-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704078

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 35 kr exkl moms