VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - konsekvenser i distributionssystemet

Jan Molin
Ronny Nilsson
Helge Bergström

HETVATTENTEKNIK 318

VBB INGENJÖRER · ARKITEKTER · EKONOMER · LEDAMÖTER AV SVENSKA KONSULTERANDE INGENJÖRERS FÖRENING

Rev 1988-08-05
1988-02-15

Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - konsekvenser i distributionssystemet

Jan Molin
Ronny Nilsson
Helge Bergström

1988-08-05

Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - konsekvenser i distributionssystemet

SAMMANFATTNING

Under senare år har driftstemperaturen i många svenska fjärrvärmenät sänkts. Detta är en följd av värmeverkens strävan att minska kostnaderna för värmeproduktion och värmedistribution samt en utveckling av abonnentcentraltekniken som får till följd att främst returtemperaturen sänkes. De aktuella temperatursänkningarna är av storleksordningen 10-20°C.

Vid sänkt drifttemperatur är det möjligt att risken för utvändig korrosion på mediarören ökar, beroende på att vatten som tränger in i rörisoleringen inte avdrives i samma takt och omfattning som vid högre temperatur.

Uttorkningsförlopp i kulvertsystem är svåra att kvantitativt bestämma. Uttorkningsförloppet och ventilationens funktion är av stor betydelse för korrosionsrisken, eftersom en förutsättning för att korrosion skall komma till stånd är att stålröret exponeras för vatten. Erfarenheten visar att uttorkning av cellbetongisolerade kulvertar går mycket långsamt. Mineralullsisolering torkar ut snabbare förutsatt att det finns en fungerande ventilation. En sänkt drifttemperatur torde inte innebära någon avsevärd förlängning av uttorkningstiden för mineralullsisolering.

Korrosionshastigheten ökar generellt sett med ökande temperatur i närvaro av luftsyre.

Även isoleringsmaterialets kemiska sammansättning och dess benägenhet att bilda korrosiva komponenter måste beaktas.

Cellbetong får vid tillverkningen ett stort överskott av fri kalk vilket ger en viss skyddsverkan mot korrosion. Efter lång tids drift med viss vattenomsättning i isolermaterialet kan kalköverskottet urlakas och denna skyddsverkan minska eller helt upphöra. För mineralulls- och PUR-isolering utgör den kemiska sammansättningen under vissa förhållanden en potentiell korrosionsrisk genom att dessa isoleringstyper under inverkan av fukt och värme kan avge sura komponenter varvid korrosion kan initieras. Risken för detta sönderfall är mindre vid lägre temperatur än vid hög temperatur.

Det har inte på någon punkt kunnat konstateras att en sänkt drifttemperatur har negativ inverkan på den numera mest använda kulverttypen med direktapplicerad PUR-skumisolering.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en förlängd uttorkningsprocess ökar risken för korrosion främst i cellbetongisolerade kulvertsystem då förlängningen av uttorkningsprocessen ej kompenseras av positiva effekter i form av minskad risk för kemiskt sönderfall.

Dessa antaganden finner vissa belägg i kulvertskadestatistiken då det visar sig att andelen korrosionsskador på returledningen i cellbetongisolerade kulvertsystem visat en ökande tendens under senare år och att detta är den enda kulverttyp som har högre andel korrosionsskador på returledningen än på framledningen.

Preliminära rekommendationer för lägsta drifttemperatur med hänsyn till risk för korrosion på mediarör i olika kulverttyper ges i avsnitt 9.

1988-008-05

Lower operating temperatures in district heating networks - consequences on the distribution system.

SUMMARY

The operating temperature in several Swedish district heating systems has during the last years been lowered in many places. This is a result of efforts from the municipal heating authorities to reduce costs for production and distribution of district heating and improved equipment for regulation in the costumers subcentrals. The resulting temperature decrease is around 10-20°C. When the operating temperatures are lowered it is possible that the risk of external corrosion on the steeltubes will increase, because of decreased drying velocity of the thermal insulation.

The drying process and the culvert ventilation is of great importance for the risk of corrosion. Generally the corrosion velocity is increasing with higher temperature in presence of airoxygen.

Also the chemical structure of the thermal insulation and its preference for making corrosive components must be considered.

This report shows as a result that lowered operating temperatures has most important influence on district heating networks with cellular concrete as thermal insulation. Here the drying process after drowning of the culvert is substantially prolonged. The ventilation of these old types of culvert is very seldom in order.

For other types of thermal insulation, as mineral wool and polyurethan, the chemical degradation in presence of water and heat is faster at high temperatures than at low temperatures. In this case a lower temperature is favourable and decreases the risk of chemical attaque on the steelpipe.

A lower operating temperature has not been found to have any negative influence on pipes with polyurethan as thermal insulation. This is the most frequently used type of insulation on pipes for district heating purposes in Sweden nowadays.

These results finds a certain degree of proof in the statistics of damages on district heating systems in Sweden. The statistics of later years shows an increasing tendence for corrosion damages on the return pipeline in systems with cellular conrete as thermal insulation. For systems with other thermal insulations it is more common that corrosion damages occur on the forward pipeline.

1988-02-15
P3589
Värmeforsk, sänkt drifttemperatur

INNEHÅLL

		Sid.
1.	BAKGRUND	1
2.	MOTIV FÖR SÄNKT DRIFT-TEMPERATUR	3
2.1	Systemsynpunkter	3
2.2	Produktionsanläggningar	3
2.3	Distributionssystem	4
2.4	Abonnentanläggningar	4
2.5	Framtida systemtemperaturer	4
3.	KULVERTTYPER	6
3.1	Betongkulvertkonstruktioner	6
3.2	Asbestcementrörskulvert	8
3.3	Plaströrskulvert	9
3.4	Ventilation	10
4.	KULVERTSKADOR	11
4.1	Kulvertskadestatistik	11
4.2	Reparationskostnader	13
4.3	Befarade kulvertskador vid sänkt drifttemperatur	14
4.4	Sammanfattande kommentar	17
5.	KLIMATBESKRIVNING	18
5.1	Fysikaliska samband	18
5.2	Dränkning och uttorkning	26
5.3	Ventilationens funktion och betydelse	28
5.4	Sammanfattande kommentar	29

6.	KORROSION PÅ STÅLMEDIARÖR	31
6.1	Teoretiska grunder för korrosion	31
6.2	Korrosionens temperatur-beroende	32
6.3	Invändig korrosion	33
6.4	Utvändig korrosion	33
6.5	Sammanfattande kommentar	37
7.	BYGGANDE, DRIFT OCH UNDERHÅLL AV FJÄRRVÄRMESYSTEM MED SÄNKT DRIFTTEMPERATUR	38
7.1	Befintliga system	38
7.2	Nya system	42
8.	FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	44
8.1	Sammanställning	44
8.2	Sorptionskurva	44
8.3	Temperaturförhållanden och utt[illegible]förlopp	45
9.	SLUTSATSER	48

REFERENSER

1. BAKGRUND

Fjärrvärmetekniken är i hög grad en produkt av praktiskt utvecklingsarbete. Ända sedan fjärrvärme började byggas ut i vårt land under 1940- och 1950-talen har flertalet distributionsnät dimensionerats för 120°C framledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur. De byggnadsinterna värmesystemen har varit dimensionerande för 80/60°C.

Vid dimensionerande utetemperatur är således framledningstemperaturen 120°C i fjärrvärmesystemet och 80°C i det byggnadsinterna systemet.

Framledningstemperaturen minskas sedan linjärt med ökande utomhustemperatur. Vid +2 - +5°C och varmare utomhus hålls framledningstemperaturen konstant, vanligen 75-85°C i fjärrvärmesystemet och ca 60°C i det byggnadsinterna systemet, främst för att säkerställa en tillräcklig tappvarmvattentemperatur.

Temperaturnivån i fjärrvärmesystemet påverkas såväl av byggnadernas interna uppvärmningssystem, som utformningen av abonnentcentraler, distributionsledningar och produktionsanläggningar.

Under senare år har tendensen varit att driftstemperaturen i svenska fjärrvärmenät sänkts. Detta är en följd av insatser från värmeverkens sida i syfte att minska kostnaderna för värmeproduktion och värmedistribution, och en utveckling av abonnentcentraltekniken som får till följd att främst returtemperaturen i fjärrvärmenätet sänkes.

Tekniken att bygga kulvertar för värmedistribution har utvecklats från olika typer av betong- och cementrörskulvertar till kulvert med direktapplicerad isolering (vanligen polyuretanskum) med skyddshölje av polyeten, vilken numera är den klart övervägande kulverttypen vid nybyggnation.

Fjärrvärmenäten i Sverige hade vid årsskiftet 1985/1986 en sammanlagd längd av ca 6 522 km varav ca 45 % utgöres av kulvert med direktapplicerad polyuretanskumisolering. Ca 29 % utgöres av äldre kulverttyper såsom betongkulvert med cellbetong- eller mineralullsisolering, asbestcementrörskulvertar och hålrörskonstruktioner. Övriga ca 26 % är en blandning av andra kulvertkonstruktioner där inomhuskulvert och s k Aquawarmkulvert (kopparrör med mineralullsisolering och PEM-ytbeklädnad) överväger med vardera ca 11 %. /1/

Vid en omfattande sänkning av driftstemperaturen i fjärrvärmesystemet är det möjligt att risken för utvändig korrosion på mediarören ökar. Upphovet till korrosion i kulvertsystemet är vanligen inläckage av vatten till isoleringen. Möjligen motverkas korrosionen om man håller en relativt hög driftstemperatur i fjärrvärmenätet, genom att värmeläckaget från mediarören är så stort att isoleringen på så vis hålles torr och förutsättningarna för korrosion minskas.

Enligt referat ur rysk litteratur /2/ har man där kommit fram till att driftstemperaturer kring 70-80°C är mest olämpliga ur korrosionssynpunkt. Fukt som tränger in till ledningen drivs inte ut tillräckligt snabbt samtidigt som korrosionshastigheten är relativt hög.

Denna rapport syftar till att belysa risken för korrosion vid en sänkt driftstemperatur i landets fjärrvärmenät samt korrosionens omfattning och betydelse i relation till de produktions- och distributionsfördelar som erhålles vid en sänkt driftstemperatur. Exempel och uppgifter om driftstemperaturer, underhållsprogram m m som användes i rapporten har i första hand hämtats från värmeverket i Västerås.

2. MOTIV FÖR SÄNKT DRIFTSTEMPERATUR

2.1 Systemsynpunkter

En sänkning av fjärrvärmenätets driftstemperatur bör i första hand syfta till en säkning av returtemperaturen eftersom detta har en gynnsam påverkan för nätets produktionsanläggningar.

För att minska nätets värmeförluster och för att öka möjligheterna att använda alternativa rörmaterial kan det vara motiverat att sänka även framledningstemperaturen. En förutsättning för att sänka fjärrvärmenätets framledningstemperatur är att temperaturen i det byggnadsinterna systemet kan sänkas.

Sänks fjärrvärmetemperaturen utan att motsvarande sänkning av den byggnadsinterna framledningstemperaturen genomförs innebär det att fjärrvärmeflödet genom abonnentcentralen ökar vilket slutligen leder till en oönskad höjning av fjärrvärmenätets returtemperatur.

Drivs sänkningen för långt minskar fjärrvärmenätets överföringskapacitet och värmeväxlarytorna i abonnentcentralerna måste ökas.

2.2 Produktionsanläggningar

En sänkt temperaturnivå i fjärrvärmenätet ger förbättrade prestanda i många produktionsanläggningar och därmed lägre produktionskostnader.

Elproduktionen i befintliga kraftvärmeverk år 1990 beräknas uppgå till 4-6 TWh/år. En sänkning av fjärrvärmetemperaturen med i genomsnitt 10°C över året skulle kunna innebära ett elproduktionstillskott på ca 4-5 % /2/.

Den värmeproduktion som sker med värmepumpar i kommunala fjärrvärmenät uppgår för närvarande till ca 3.2 TWh. En sänkning av systemtemperaturen med i genomsnitt 10°C skulle åstadkomma dels en värmefaktorförbättring och dels möjlighet till förlängd årlig driftstid för värmepumparna.

Återvinning av rökgasvärme vid fastbränsleeldade anläggningar är en teknik som blir mer och mer vanligt förekommande. En sänkning av fjärrvärmesystemets returtemperatur med 10°C innebär en effektivitetsförbättring med ca 10 % i relation till ett konventionellt 120/65°C-system.

2.3 Distributionssystem

Genom att utnyttja plast även som material i mediaröret kan anläggningskostnaden för distributionsnätet minskas. Plastmaterial har en temperaturberoende hållfasthet. Bland de material som provats, främst förnätad polyeten (PEX), torde den maximala framledningstemperaturen vara ca 80-90°C. Vid högre temperaturnivå har försämrade långtidsegenskaper konstaterats. Plast är inte heller helt gastätt varför en viss diffusion av syre kan ske, vilket kan leda till korrosion på systemkomponenter av stål. Tillverkarna har på olika sätt försökt öka plaströrens gastäthet bl a genom att förse rören med utvändig aluminiumfolie eller plastfolielaminat.

En sänkt drifttemperatur innebär även att värmeförlusterna till omgivningen minskar genom att temperaturdifferensen gentemot omgivningen minskar, förutsatt att den sänkta temperaturen inte medför att rördiametern måste ökas. En sänkning av framledningstemperaturen med 10°C i ett befintligt nät antas medföra att värmeförlusten minskar med ca 8 % /2/.

2.4 Abonnentanläggningar

Under senare år har många bostadsbolag genomfört inreglering av de byggnadsinterna värmesystemen i syfte att minska värmeförbrukningen och samtidigt erhålla en jämnare fördelning av värme inom byggnaden. En inreglering leder vanligen till att den byggnadsinterna returtemperaturen sänks vilket medför att fjärrvärmenätets returtemperatur kan sänkas i motsvarande grad.

Elektronisk reglerutrustning för abonnentcentraler har utvecklats och installerats i stor omfattning. Den nya utrustningen ger möjlighet till att använda olika optimeringsfunktioner i syfte att minska energiförbrukningen i fastigheten. Många av dessa funktioner, t ex nattsänkning, max- och minbegränsning av returtemperatur, optimal pumpstyrning m m medför att fjärrvärmenätets returtemperatur sänks varaktigt eller temporärt under vissa återkommande perioder.

2.5 Framtida systemtemperaturer

Statens energiverk anser det inte vara möjligt att generellt ange en optimal temperaturnivå för svenska fjärrvärmesystem /2/.

I större system rekommenderas den temperaturnivå tillämpas, som Svenska Värmeverksföreningen förordar vid ombyggnad och nyinstallation (100/50°C). För mindre system kan en ytterligare lägre nivå vara motiverad.

Flera svenska värmeverk har idag inlett ett systematiskt arbete för att sänka driftstemperaturerna. I figur 2.1 visas fram- och returtemperatur idag samt de bedömda framtida temperaturerna i ett av landets större fjärrvärmenät.

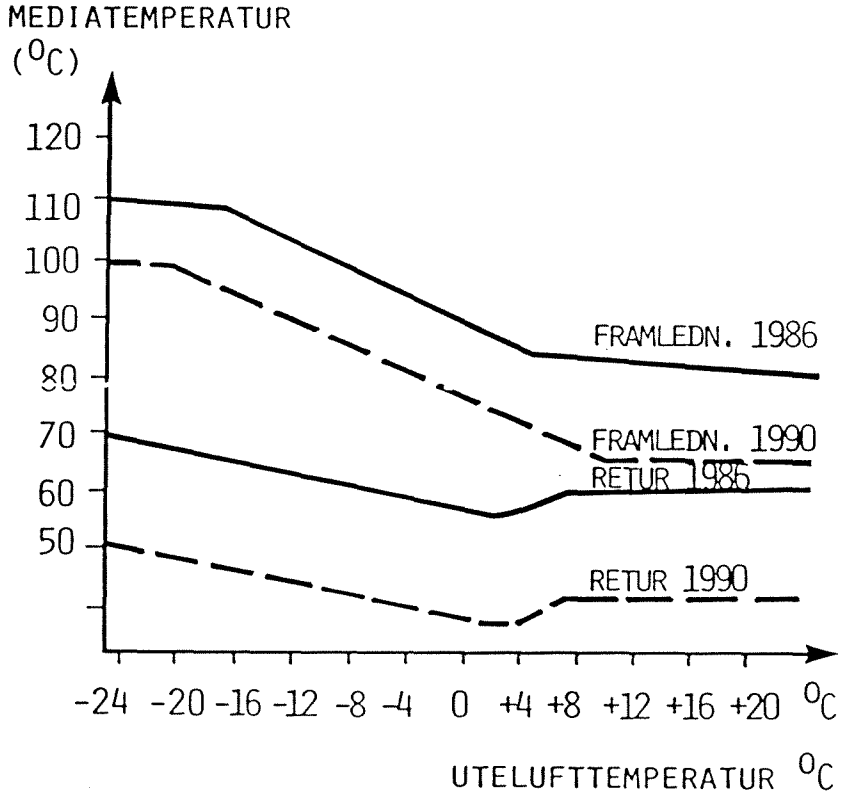


Fig 2.1 Nuvarande och framtida systemtemperaturer (Uppsala Kraftvärme AB) /2/

3. KULVERTTYPER

Som tidigare nämnts utgöres ca 45 % av det totala ledningsnätet för distribution av fjärrvärme av kulvert av stålrör med direktapplicerad polyuretanskumisolering med skyddshölje av polyeten (s k PUR-kulvert). Äldre kulverttyper utgör omkring 29 % av ledningsnätet medan övriga 26 % utgöres av kulvertyper för speciella applikationer, exempelvis Aquawarmkulvert och kulvertledningar förlagda inomhus.

I den fortsatta framställningen kommer tonvikten att ligga på konsekvenser i äldre kulvertsystem och för PUR-kulvert till följd av sänkt driftstemperatur. Aquawarmkulvert, inomhuskulvert och övriga speciella kulverttyper behandlas endast där sammanhanget kräver det.

3.1 Betongkulvertkonstruktioner

Det fanns vid årsskiftet 1985/1986 ca 713 km betongkulvert för fjärrvärme. Betongkulvertar har huvudsakligen använts för grövre ledningar, vanligen från och med DN 300 och uppåt. Ett stort antal olika konstruktioner har tillämpats genom årens lopp. Dock kan två huvudprinciper för betongkulvertbyggande framhållas, lådkulvert och plattkulvert.

Vid lådkulvertbyggande utföres bottendelen som en U-formad betonglåda med betonglock som sättes på plats då rören monterats i lådan. Lådkulvert kan även byggas upp av prefabricerade bottendelar i längder om ca 4 m. Fogar mellan lock och låda samt mellan prefabricerade bottendelar tätas genom att använda olika tätningsmaterial, t ex fogmassa, cementbruk, bitumenmattor eller fogband.

Vid byggande av plattkulvert utföres bottendelen som en betongplatta med rörupplag av lättklinkerblock. Efter rörmontage och isolering formsättes kulvertens sidor och rören ingjutes med sidor och överdel av betong.

Ett flertal olika isoleringsmaterial har använts vid betongkulvertbyggande. Ca 70 % av landets betongkulvertar har isolering av mineralull främst i form av mineralullsmattor och rörskålar. Vanligen förses inte mineralullsisoleringen med annan ytbeklädnad än den asfaltpapp eller wellpapp som mineralullsmattan är beklädd med vid leveransen.

I lådkulvertar har cellbetong använts som isolermaterial i relativt stor omfattning. Ca 25 % av den samlade betongkulvertlängden har isolering av cellbetong och är koncentrerad till ett mindre antal äldre fjärrvärmenät.

Resterande 5 % av betongkulvertlängden utgöres av ett flertal ospecificerade isolermaterial.

3.1.1 Mineralullsisolering

Mineralull är en samlingsbeteckning för porösa, fiberartade, oorganiska material. De vanligaste typerna är glasull och diabasull (stenull).

Vid tillverkning av mineralull tillföres olika komponenter för att göra materialet vattenavvisande. Endast om omgivande vatten står under tryck kan det pressas in i mineralullen.

Fuktig och blöt isolering försämrar isoleringsförmågan.

Vatten som kommit in i materialet vid t ex dränkning torkar relativt snabbt ut, om isoleringen kan avge fukt till omgivande luft, genom att mineralullen har en öppen struktur.

3.1.2 Cellbetongisolering

Råvaror vid tillverkning av cellbetong är cement, sand, aluminiumpulver och vatten. Vid blandningen sker en kemisk reaktion under utveckling av vätgas, huvudsakligen i slutna porer.

Cellbetong användes i relatiovt stor skala vid nybyggnation av kulvertar fram till och med första hälften av 1970-talet. Blandningen av råvarorna skedde i de flesta fall direkt på arbetsplatsen. I lådkulvertens botten lades vanligen uppumpade slangar för att bilda dräneringskanaler. Efter härdningen släpptes lufttrycket ur slangarna som då kunde avlägsnas. Ventilationskanaler anordnades på samma sätt i cellbetongisoleringens övre del.

Vid vattendränkning upptar cellbetong en mindre mängd vatten än mineralull eftersom cellbetong har en mera kompakt struktur. Uttorkning av cellbetong sker å andra sidan mycket långsamt.

För torr cellbetong kan värmeledningstalet uppskattas till 0.09 W/mK och densiteten till ca 300 kg/m^3. Arbetsmetoden vid applicering av cellbetong antyder att materialets tekniska egenskaper kan variera relativt mycket inom samma ledningssträcka.

3.2 Asbestcementrörskulvert

Asbestcementrörskulvet var under många år den dominerande kulverttypen för ledningar upp t o m DN 200. Asbestcementrör tillverkades av asbestfibrer, cement och vatten. För närvarande finns det ca 1 050 km asbestcementrörskulvert i landets fjärrvärmenät. Användandet av asbestcementrörskulvert upphörde nästan helt i mitten av 1970-talet.

Huvudsakligen två typer av asbestcementrörskulvertar har använts. Dels gemensamt skyddsrör för fram- och returledning, s k dubbelledning, och dels separata skyddsrör för fram- och returledning. Dubbelledning användes främst för klena dimensioner medan separata ledningar vanligtvis kom till användning vid större dimensioner.

Som isoleringsmaterial för asbestcementrörskulvertar har främst mineralull, cellbetong och polyuretanskum använts. Vid isolering med mineralull uppstår ett hålrum mellan isoleringen och ytterhöljet av asbestcement medan isolering med cellbetong och polyuretanskum appliceras mellan ytterröret och ett invändigt hålrör. Mediaröret är i dessa fall förlagt i hålrum, se fig 3.1.

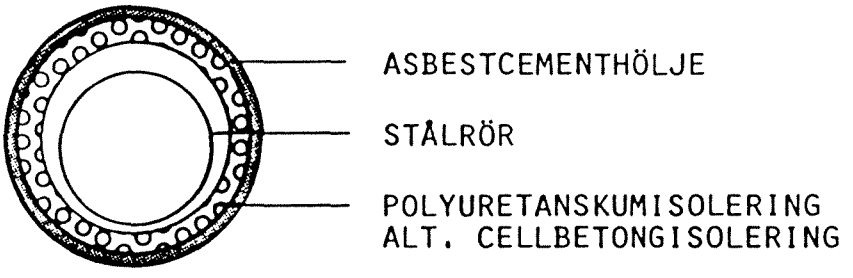


Fig 3.1 Asbestcementrörskulvert med hålrum mellan mediarör och isolering.

Vid inläckage av vatten kan fukt lätt spridas över längre sträckor via hålrören. Uttorkning av inläckt vatten sker långsamt, då kulvertventilationen i asbestcementrörskulvert ofta är undermålig.

Asbestcementrör levererades vanligen i 4-6 meterslängder. Skyddsrören skarvades samman med en koppling med gummiringsfog, s k rullkoppling, eller med den s k gibaultkopplingen där rördelarna spändes samman med spännskruvar kring en gummipackning.

3.3 Plaströrskulvert

Den s k plaströrskulverten med medierör av stål, isolering av polyuretanskum (PUR) och skyddsrör av polyeten (PE) är den idag helt dominerande kulvertypen vid nybyggnation. Plaströrskulvert förekommer i två skepnader, dels direktapplicerad och dels som hålrörskonstruktion. Hålrörskulverten hade tidigare en betydande marknad men har successivt trängts undan av den direktapplicerade typen. Hålrörskulvertens främsta nackdelar är att det har visat sig svårt att få skyddsrörsskarvarna täta och att inläckande vatten sprider sig långa sträckor i hålröret.

Skyddsrören för den direktapplicerade plaströrskulverten skarvas med skjutmuff och krympförband eller genom svetsning (typ Swedish Joint). Skyddsrörsskarven skummas därefter på arbetsplatsen.

3.3.1 Polyuretanskumisolering

Polyuretan framställs genom blandning av polyol och isocyanat som bringas att reagera kemiskt under inverkan av vissa tillsatsmedel. De slutna celler som bildas innehåller freongas med mycket goda värmeisolerande egenskaper.

I VVFs tekniska leveransbestämmelser ställs kravet att värmeledningstalet skall vara mindre än eller lika med 0.027 W/mK vid prov av nytillverkade kulvertelement. Värmeledningstalet ökar med fuktinnehållet.

Isoleringen är vid aktuella driftstemperaturer diffusionstätt innesluten i skyddsröret vilket torde innebära att fuktigheten inte kommer att öka efter läggningen. Om läckage uppstår, vanligen vid skarvarna, kan skummet brytas ned under inverkan av vatten och en hög temperatur. Polyuretan åldras under inverkan av värme, vilket dock torde vara ett ganska långsamt förlopp.

3.4 Ventilation

Äldre fjärrvärmekulvertar ventileras genom att kamrarna förses med ett eller två vertikala ventilationsrör. Avståndet mellan kamrarna i ett äldre system överstiger vanligen inte 100-150 m. Längre överföringsledningar med betongkulvert förses med ventilationsrör även mellan kamrarna. Ventilationen av kulverten mellan kamrarna är tänkt att fungera enligt självcirkulationsprincipen. Den drivande mekanismen i ventilationssystemet är skillnaden mellan uteluftens temperatur och temperaturen i kulverten. Genom att kulverten lägges med fall och genom vindpåverkan kan ventilationseffekten öka eller minska. Direktapplicerade plaströrskulvertar har primärt inget behov av ventilation mellan kamrar.

Ventilationsflöden i ventilationsrör i kammare har uppmätts, och visat sig ha mycket varierande storlek /3/, /15/. Dessa mätningar ger ingen entydig information om ventilationens funktion och betydelse.

4. KULVERTSKADOR

4.1 Kulvertskadestatistik

I Sverige rapporterar de till Svenska Värmeverksföreningen, VVF, anslutna värmeverken årligen inträffade skador på kulvertnäten. Dessa uppgifter bearbetas av Korrosionsinstitutet och publiceras av VVF. /1/

I detta avnitt görs en analys av VVFs kulvertskadestatistik för åren 1979 till och med 1985 med avseende på de skadetyper som kan befaras komma att visa en ökande tendens vid en allmän sänkning av temperaturnivån i fjärrvärmenäten, d v s främst korrosionsskador.

4.1.1 Betongkulvertar

De vanligaste skadeorsakerna för betongkulvertar är otäta skarvar eller otät gjutning. Omkring 35 % av skadorna på betongkulvert bedöms bero på otätheter i betongkonstruktionen. Bristfällig dränering anges också ofta som skadeorsak.

Betongkulvertar är vanligtvis inte utrustade med fuktlarm. Det normala sättet man upptäcker läckage är genom att vattennivån stiger i kamrarna.

Tittar man på antalet registrerade skadetillfällen per kilometer ledning har betongkulvertkonstruktioner ett något lägre antal skador än den genomsnittliga skadefrekvensen för samtliga kulverttyper. För 1985 visar betongkulvertkonstruktionerna tillsammans 0.14 skador/km jämfört med 0.16 skador/km för samtliga kulverttyper. Gör man en uppdelning av betongkulvertar i mineralullsisolerade och cellbetongisolerade konstruktioner, kan det konstateras att cellbetongisolerad betongkulvert har en skadefrekvens som ganska kraftigt överstiger genomsnittet för samtliga kulverttyper. 1985 var skadefrekvensen hela 0.23 skadetillfällen/km för cellbetongisolerad betongkulvert.

Andelen skador som leder till korrosionsangrepp och genomfrätning av mediarören är jämförelsevis större för betongkulvert än för övriga kulverttyper. För betongkulvert leder ca 60 % av skadorna till genomfrätning medan siffran för direktapplicerade plaströrskulvertar är omkring 10-20 %. Inom gruppen betongkulvertar har cellbetongisolerad kulvert ungefär dubbelt så hög frekvens genomfrätningar (0.14 genomfrätningar/km) som mineralullsisolerad kulvert (0.07 genomfrätningar/km).

Bland samtliga kulverttyper är genomfrätning av framledningen vanligare än genomfrätning av returledningen, utom för cellbetongisolerad betongkulvert där förhållandet är ca 55 % skador som leder till genomfrätning av returledning och 45 % skador som leder till genomfrätning av framledning. För övriga kulverttyper är förhållandet i genomsnitt ca 70 % genomfrätning av framledning och 30 % genomfrätning av returledning.

Andelen genomfrätning av returledning i cellbetongisolerad betongkulvert har under åren 1979-1985 visat en något ökande tendens. Vid reparation av skadade kulvertsnitt med cellbetongisolering i Västerås har man i flera fall iakttagit att isoleringen är mest fuktig vid returledningens undersida.

4.1.2 Asbestcementrörskulvertar

Enligt kulvertskadestatistiken är de vanligast förekommande skadeorsakerna i asbestcementrörskulvertar otäta skarvar i skyddshöljet, marksättningar och yttre åverkan. Antalet skador som har sitt ursprung i korroderade rörstöd har under senare år visat en ökande tendens.

Den gummiring som användes som tätning i skarvkopplingarna på skyddsröret har visat sig ha dålig långtidshållfasthet.

Jämfört med samtliga kulverttyper har asbestcementrörskulvert en något högre skadefrekvens, ca 0.17 skadetillfällen/km.

4.1.3 Plaströrskulvert

För plaströrskulvertar med direktapplicerad polyuretanskumisolering ligger skadefrekvensen något under genomsnittet för samtliga kulverttyper. Antalet skador ökar dock något med ökande driftålder.

Den övervägande skadeorsaken är otäta skarvar på skyddsröret. 51 % av skadorna 1985 ansågs ha detta ursprung. Otäta svetsar på mediaröret ansågs vara upphovet till ca 23 % av skadorna. Plaströrskulvert med direktapplicerad isolering är till stor del utrustade med fuktlarm och ca 55 %-60 % av skadorna upptäcks via larmsystemet.

Plaströrskulvertar utformade som hålrörskonstruktioner har en mycket hög skadefrekvens. 1985 noterades 0.39 skadetillfällen/km. Omkring 30 % av skadorna ansågs ha sitt ursprung i otäta skarvar på skyddsröret. Andelen hålrörskulvert uppgår till mindre än 4 % av plaströrskulvertlängden och mindre än 2 % av den totala kulvertlängden.

4.2 Reparationskostnader

VVF har även gjort en sammanställning över rapporterade reparationskostnader 1985. Av de totalt 1 019 inträffade skadetillfällena har värmeverken uppgivit reparationskostnad i 618 fall, d v s ca 61 % av fallen. Den summerade reparationskostnaden för dessa skadetillfällen uppgick till 29.6 Mkr.

Medelkostnaden per skadetillfälle för respektive kulverttyp har beräknats och sammanfattas i tabell 4.1.

	Reparationskostnad (kkr/skadetillfälle)
Betongkulvert	145
- mineralullsisolerad	169
- cellbetongisolerad	126
Asbestcmentrörskulvert	66
Plaströrskulvert	23
- direktapplicerade	15
- hålrörskonstruktioner	162

Tabell 4.1 Medelkostnad för skadetillfällen med redovisad reparationskostnad.

Om man gör antagandet att kostnaden för de skadetillfällen som saknade kostnadsuppgift var lika stor som medelkostnaden för respektive kulverttyp, blir den totala reparationskostnaden för ledningsnätet ca 44.6 Mkr under 1985.

Slås denna kostnad ut på den sammanlagda kulvertlängden, 6 522 km, blir skadekostnaden i genomsnitt 6 800 kr/km eller 6.8 kr/m.

Den genomsnittliga anläggningskostnaden för kulvertnäten i Sverige uppskattas till ca 2 600 kr/m /17/ vilket innebär att kostnaden för reparation och utbyte av kulvertdelar utgör mindre än 3 °/oo av återanskaffningsvärdet.

De i tabell 4.1 angivna skadekostnaderna återspeglar endast storleksordningen av reparationskostnaden för olika kulverttyper. I dessa siffror har ej tagits hänsyn till att vissa skador ej har samband med den aktuella kulverttypen, t ex fel på kompensatorer, ventiler m m. De olika kulverttyperna har dessutom högst varierande driftålder och olika dimensionsområden.

Vid skador på äldre kulvertsystem görs ofta större reparationsarbeten och utbyte av kulvertdelar, i skadeförebyggande syfte, än vad som betingats av skadans omfattning.

4.3 Befarade kulvertskador vid sänkt drifttemperatur

4.3.1 Korrosionsskador

Samlade erfarenheter vad gäller korrosionsproblemens beroende av drifttemperaturen i fjärrvärmenät, saknas i stor utsträckning.

Enligt en sammanställning av rapporter från de tekniska attachékontoren som Statens energiverk låtit göra har just korrosionens beroende av driftstemperaturen varit föremål för stort intresse i Sovjetunionen /2/. Ett av sovjetisk fjärrvärmes största problemområden är utvändig korrosion av mediarören. Prefabricerad isolering klarar inte de höga framledningstemperaturer (150°C) som tillämpas i sovjetiska nät. Såväl stål som isolerings- och kulvertmaterial som används inom sovjetisk fjärrvärme av betydligt lägre kvalitet än i väst. Isoleringsmaterial förekommer av vitt skilda typer, både för betongkanaler och för läggning direkt i mark. Vissa isoleringsmaterial med sammansättning och konsistens liknande cellbetong torde vara ganska vanligt förekommande /18/.

Man säger sig ha konstaterat att temperaturer kring 70-80°C är sämst ur korrosionssynpunkt. Detta anses bero på att fukt som tränger in till ledningen inte drivs av tillräckligt snabbt, samtidigt som korrosionshastigheten är relativt hög p g a den relativt höga temperaturen. Vid högre temperaturer, upp mot 90-100°C torkar fukten snabbt ut och den för korrosionen erforderliga elektrolyten avgår.

Man tar, inom den sovjetiska värmeverksrörelsen, så allvarligt på detta problem att temperaturen i vissa nät periodvis regleras upp till temperaturer över 100°C även under vår, sommar och höst för att torka ut kulvertnätet.

En sänkt drifttemperatur i svenska nät enligt modell enligt figur 2.1, kommer att medföra att framledningen får lägre temperatur en större del av året än tidigare, samtidigt som maximal temperatur ca 100°C uppnås under mycket kort tid.

Enligt den sammanställning av kulvertskador som lett till genomfrätning av mediarör som redovisas i figur 4.1 är det vanligare att korrosionsskador uppträder på framledningen i samtliga kulverttyper utom cellbetongisolerad betongkulvert.

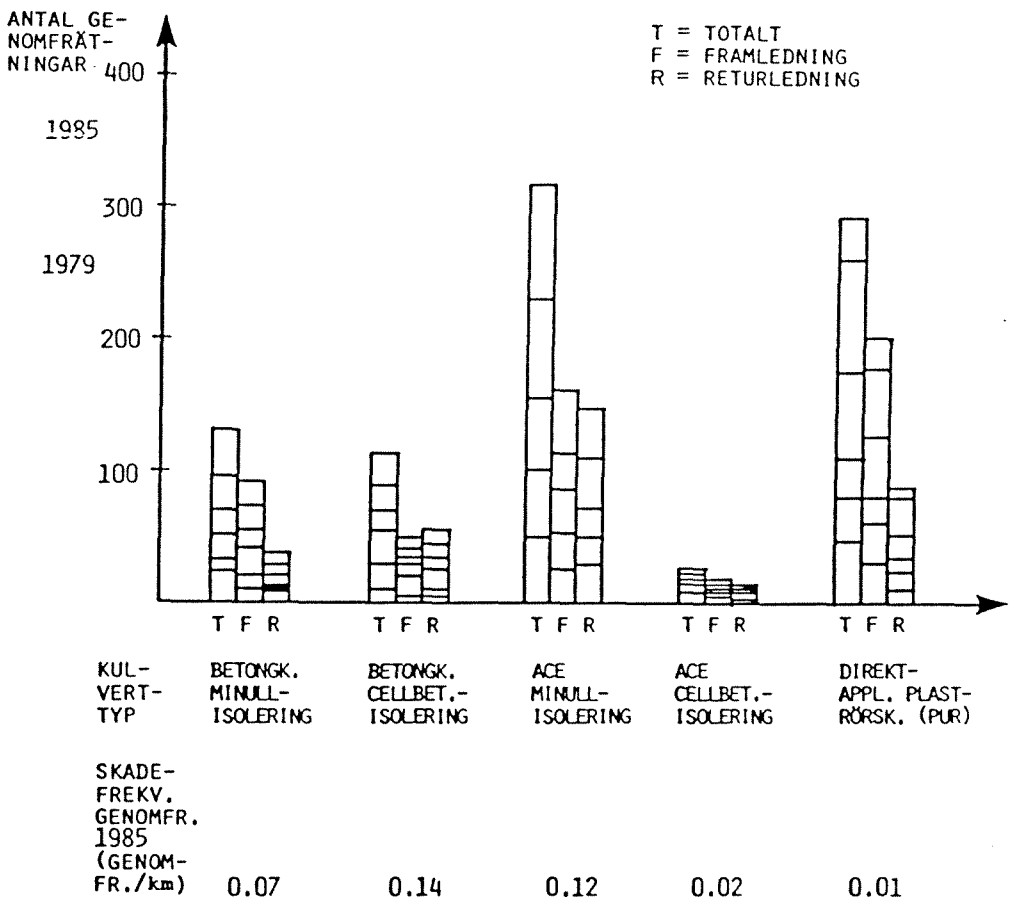


Fig 4.1 Sammanställning över kulvertskador som lett till genomrätning av mediерör, 1979-1985.

Sammanställningens resultat enligt figur 4.1 kan tolkas så att

- mineralull torkar vanligtvis ut snabbt till följd av hög permeabilitet i kombination med viss ventilation i kulverten.

  Den termiska drivkraften förmår hålla både fram- och returledningen torr. De skador som uppstår är lokaliserade till framledningen p g a att korrosionshastigheten är högre vid högre temperatur.

- cellbetong torkar ut långsamt. Ventilationen har mycket begränsad effekt eller är helt obefintlig. Den termiska drivkraften förmår hålla framledningen torr medan returledningen vissa perioder är fuktig. Korrosionsskador uppträder företrädesvis på returledningen.

- vid direktapplicerad PUR-isolering kan inte vattnet drivas ut, varken på fram- eller returledning. Korrosionsskadorna uppkommer snabbare på framledningen.

Sammanställningen tyder på att uppkomsten av korrosionsskador främst är en balansgång mellan korrosionshastighet och uttorkningshastighet. Resultaten indikerar också att drifttemperaturen har störst betydelse i system med cellbetongisolering, vilket också bekräftas av iakttagelser vid reparation av skadad cellbetongkulvert i Västerås där det konstaterats att fukt ofta koncentreras till returledningen.

4.3.2 Termomekaniska skador

Temperaturvariationer i en fjärrvärmeledning orsakar temperaturpåkänningar av olika slag. I en direktskummad kulvert med en av markfriktioner helt eller delvis förhindrad längdutvidgning uppstår axiella tryck- eller dragpåkänningar i mediarören beroende på ledningens tidigare temperaturhistoria. Dessa påkänningar har normalt beaktats vid dimensioneringen av mediarören och ger vanligen ej heller upphov till några skador.

Temperaturvariationerna ger emellertid också upphov till påkänningar i kulvertens skyddshölje vilket ej alltid klarar detta. Det har sålunda konstaterats ökat inläckage i betongkulvertar i samband med en kraftig temperatursänkning i mediarören.

En speciell risk för termomekaniska skador medför en fullständig avställning av en kulvertsträckning, t ex sommaravstängning. Detta kan leda till sprickbildning i höljet till en betongkulvert. Risken för denna typ av skador är störst på långa kulvertsträckor utan dilatationsfogar.

4.4 Sammanfattande kommentar

I VVFs kulvertskadestatistik kan man finna vissa belägg för att cellbetongisolerad betongkulvert är mera utsatt för risker vid sänkt drifttemperatur genom att man kan konstatera att denna kulverttyp har en markant större andel korrosionsskador på returledningen än övriga kulverttyper.

Även för cellbetongisolerad asbestcementrörskulvert kan en något högre andel korrosionsskador i returledningen konstateras än för samtliga kulverttyper, men andelen skador i framledningen är ändå något större.

Vid stora temperaturvariationer, t ex i samband med sommaravstängning, har skador främst observerats på betongkulvertar där ökat inläckage har uppstått på grund av sprickbildning.

5. KLIMATBESKRIVNING

I det följande göres en analys av klimatet, avseende fukt- och temperaturtillstånd, i olika kulvertsystem.

Klimatet i kulvertsystemet kan medvetet påverkas genom isolertjocklek, drifttemperatur, ventilation, tätningar m m.

Klimatet i kulverten utsättes dessutom för påverkan av klimatet ovan jord genom att utetemperaturen och därmed marktemperaturen växlar och genom att fuktigheten i omgivande mark förändras.

5.1 Fysikaliska samband

5.1.1 Fukt i luft

Vid förändringar i lufttemperaturen ändras även relativa fuktigheten, RF. Begreppet relativ fuktighet definieras som kvoten mellan aktuell ånghalt (v) vid viss temperatur och mättnadsånghalten (v_s) vid samma temperatur.

$$RF = \frac{v}{v_s}$$

RF kan även uttryckas som förhållandet mellan vattenångans partialtryck, p, vid en viss temperatur och mättnadstrycket vid samma temperatur.

$$RF = \frac{p}{p_s}$$

Enkelt uttryckt kan man säga att luftens fuktbärande förmåga försämras vid lägre temperatur, d v s RF ökar vid konstant fuktinnehåll i luften.

Normalt sker kondensutfällning på kulvertens väggar i betongkulvertsystem.

Risk för kondensutfällning på fjärrvärmerören föreligger främst vid avstängning av kulvertsträckor, då mediatemperaturen tillåts sjunka under omgivningens temperatur. Avstängning av kulvertsträckor tillämpas ibland sommartid i syfte att minska värmeförlusterna och vid planerade ombyggnader i kulvertnätet. Risken för kondensutfällning på rören under drift torde vara minimal.

5.1.2 Fukt i material

Ett kulvertsystem, eller delar av ett kulvertsystem, kan vara utsatt för i princip tre olika fall av fuktkontakt

- kontakt med fuktig luft
- kontakt med fritt vatten
- kontakt med annat fuktigt material.

I det första fallet är materialets hygroskopiska egenskaper bestämmande för fuktupptagningen medan det i det andra fallet är den kapillärsugande förmågan som är avgörande. I det tredje fallet torde en kombination av dessa egenskaper vara bestämmande.

I de vanligast förekommande isolermaterialen kan en kraftig ökning av värmeledningstalet konstateras då fuktigheten i materialet stiger över gränsen för hygroskopisk fuktighet.

För mineralull sker ökningen enligt figur 5.1.

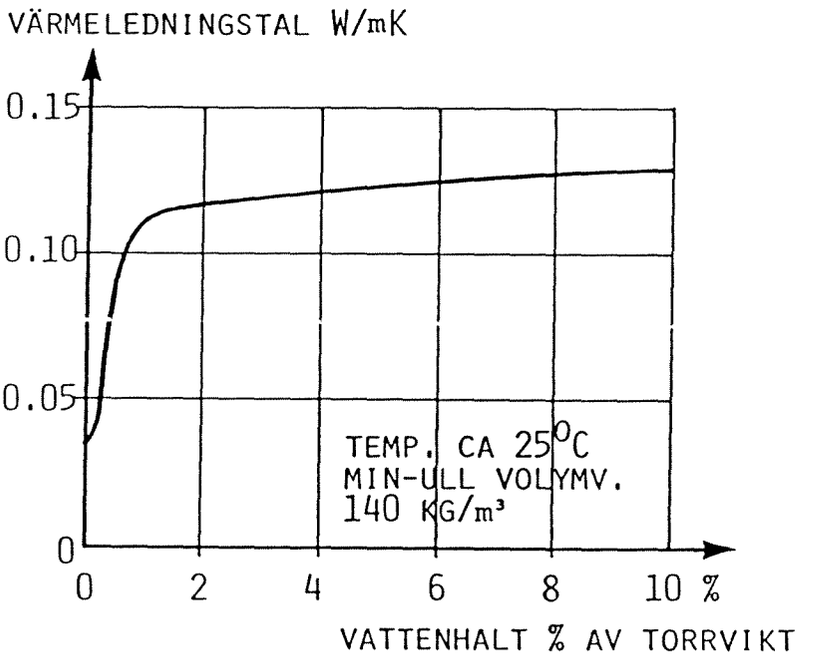


Fig 5.1 Värmeledningstal för mineralull vid varierande vattenhalt (schematiskt efter flera olika mätningar) /5/

Värmeledningstalet ökar från ca 0.03 W/mK vid 0.4 % fukthalt till > 0.10 W/mK vid 1.5 % fukthalt. Därefter sker en långsammare ökning av värmeledningstalet vid ytterligare ökad fukthalt. Värmeledningstalets fukthaltsberoende ger upphov till påtagligt ökade värmeförluster från fuktig kulvert.

5.1.3 Värmebalans

Approximativa samband kan ställas upp för temperaturfördelningen i olika kulvertkonstruktioner.

Beräkningar har i denna utredning utförts för att belysa temperaturförhållanden kring kulvertkonstruktionen för två olika driftstemperaturer vid olika fukthalt utgående från nuvarande och planerad drifttemperaturstrategi enligt figur 2.1, i syfte att åskådliggöra hur lufttemperatur och yttemperatur på isoleringen påverkas av förändringar i driftstemperatur och fuktighet i isolering. Underlag för beräkningarna har hämtats ur följande referenser: /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/.

Mineralullsisolerad betongkulvert

Beräkningar för betongkulvert med mineralullsisolerade mediarör visar att temperaturen i kulverten förändras enligt figur 5.2 vid en sänkt driftstemperatur.

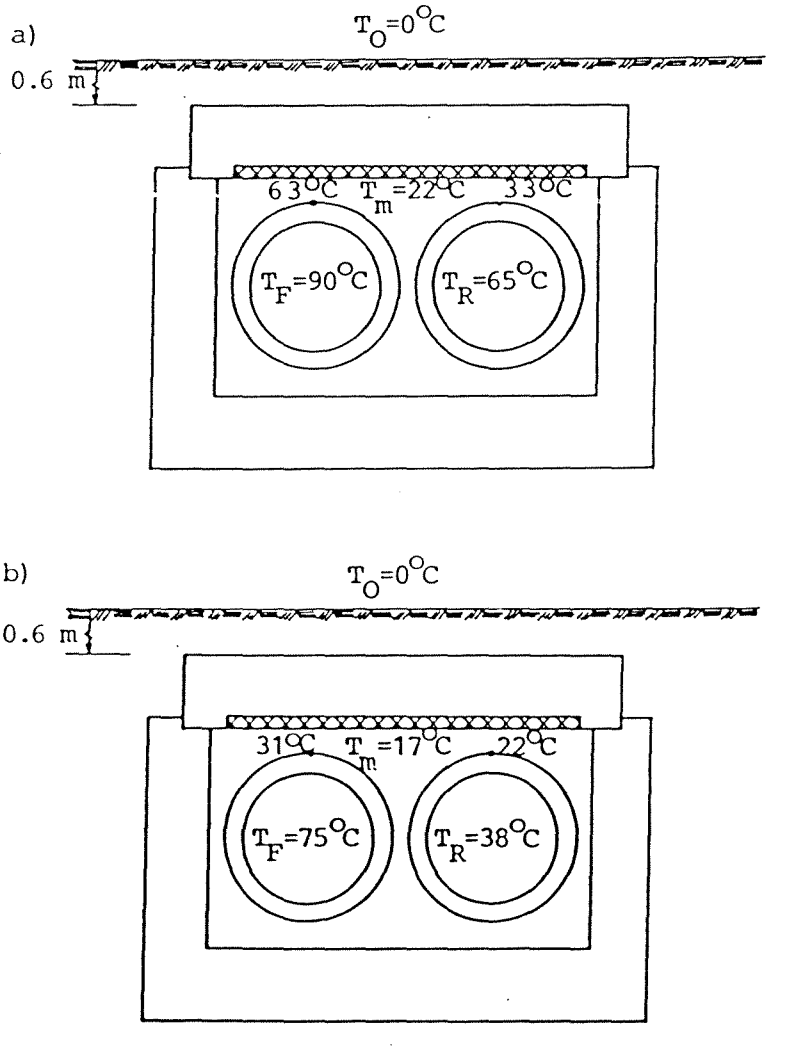
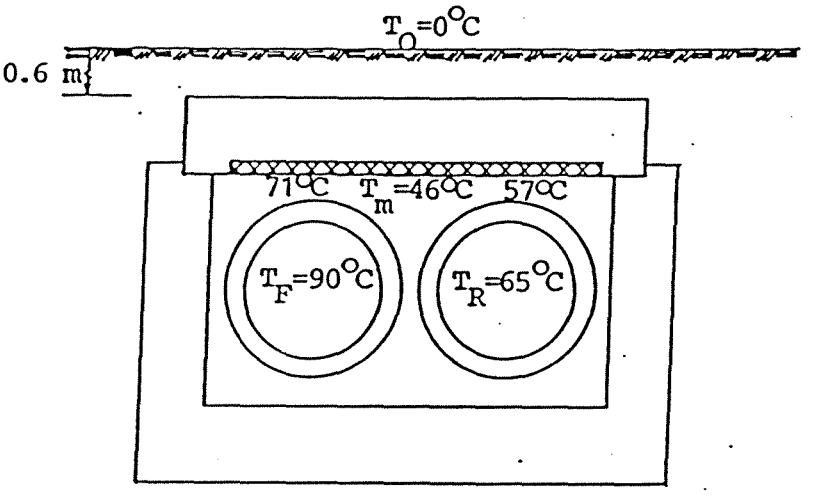


Fig 5.2 Temperaturfördelning i mineralullsisolerad betongkulvert DN 300 vid 90/65°C och 75/38°C enligt nuvarande och planerad driftstemperatur vid torr isolering. Omgivningstemperatur 0°C. T_m= beräknad lufttemperatur i kulverten.

Temperaturfördelningen i isolering och kulvert vid en högre fukthalt, ca 4 %, visas i figur 5.3 jämförd med samma kulvert med torr isolering.

a) Fukthalt i isolering 4 %



b) Fukthalt i isolering 4 %

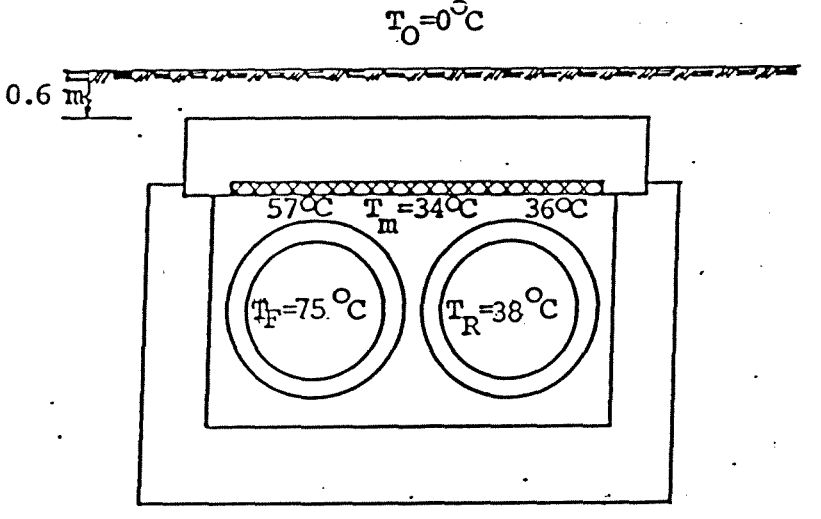


Fig 5.3 Temperaturfördelning i mineralullsisolerad betongkulvert DN 300 vid 90/65°C och 75/38°C, 4 % vattenhalt i isolering. Omgivningstemperatur 0°C. T_m = beräknad lufttemperatur i kulverten.

Som framgår av figurerna 5.2 och 5.3 så påverkas temperaturfördelningen i kulvertsystemet i högre grad av ändrad fukthalt än av sänkt drifttemperatur.

Lufttemperaturen i kulverten ökar således kraftigt vid en högre fukthalt vilket också leder till att uttorkningshastigheten ökar förutsatt att det finns en fungerande ventilation.

Planerade driftstemperaturer vid utetemperatur kring 0°C, d v s 75°C framledningstemperatur och ca 40°C returtemperatur, torde vara mest kritiska vad det gäller risken för kondensering i kulverten. Som framgår av figur 5.2 erhålles en lufttemperatur på ca 16°C vid sänkt driftstemperatur, motsvarande en mättnadsånghalt på v_s = 13.6 g/m³. Vid utetemperatur 0°C är RF ca 75 % i mellansverige vilket motsvarar en fukthalt på endast 3.6 g/m³. Ventilationsluften har således vid denna årstid en stor fuktupptagande förmåga.

Sommartid, vid ökande utelufttemperatur, minskar luftens fuktupptagande förmåga. Samtidigt minskar dock uteluftens RF, vilket torde innebära att risken för kondensutfällning i kulvertsystemet även då är av mindre betydelse.

Cellbetongisolerad betongkulvert

För att belysa temperaturförhållanden i och kring cellbetongisolerad betongkulvert utnyttjas beräkningar redovisade i ref. /6/. Beräkningarna har gjorts med hjälp av finita elementmetoden vid två drifttemperaturnivåer som något avviker från nuvarande och planerad drifttemperatur enligt figur 2.1, men kan ändå användas för att illustrera temperaturförhållandena i isoleringen vid förändrad drifttemperatur. Av figurerna 5.4 och 5.5 framgår att en sänkning av framledningstemperaturen med 30°C resulterar i en ganska kraftig temperatursänkning i, och närmast invid isoleringen för framledningen. Denna temperatursänkning klingar av ganska snabbt och påverkar temperaturförhållandena i marken kring kulverten i ganska liten grad.

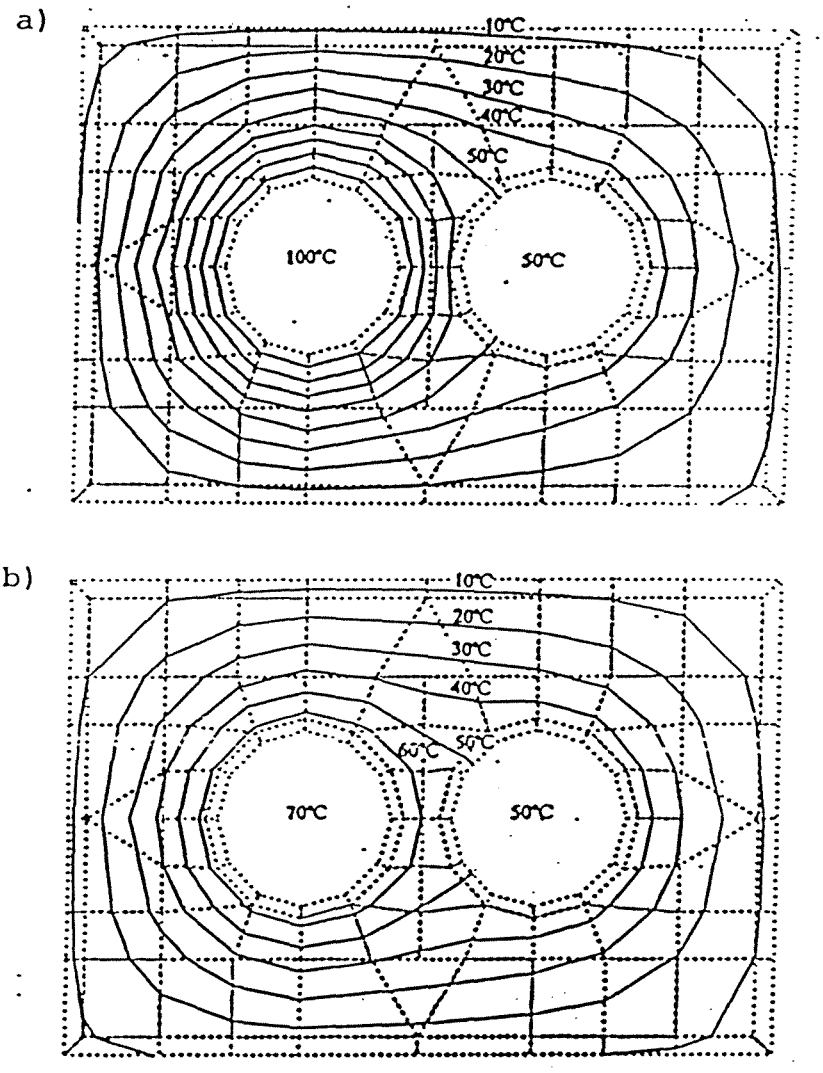


Fig 5.4 Temperaturfördelning i cellbetongisolerad betongkulvert vid 100/50°C och 70/50°C. Omgivningstemperatur 0°C. /6/

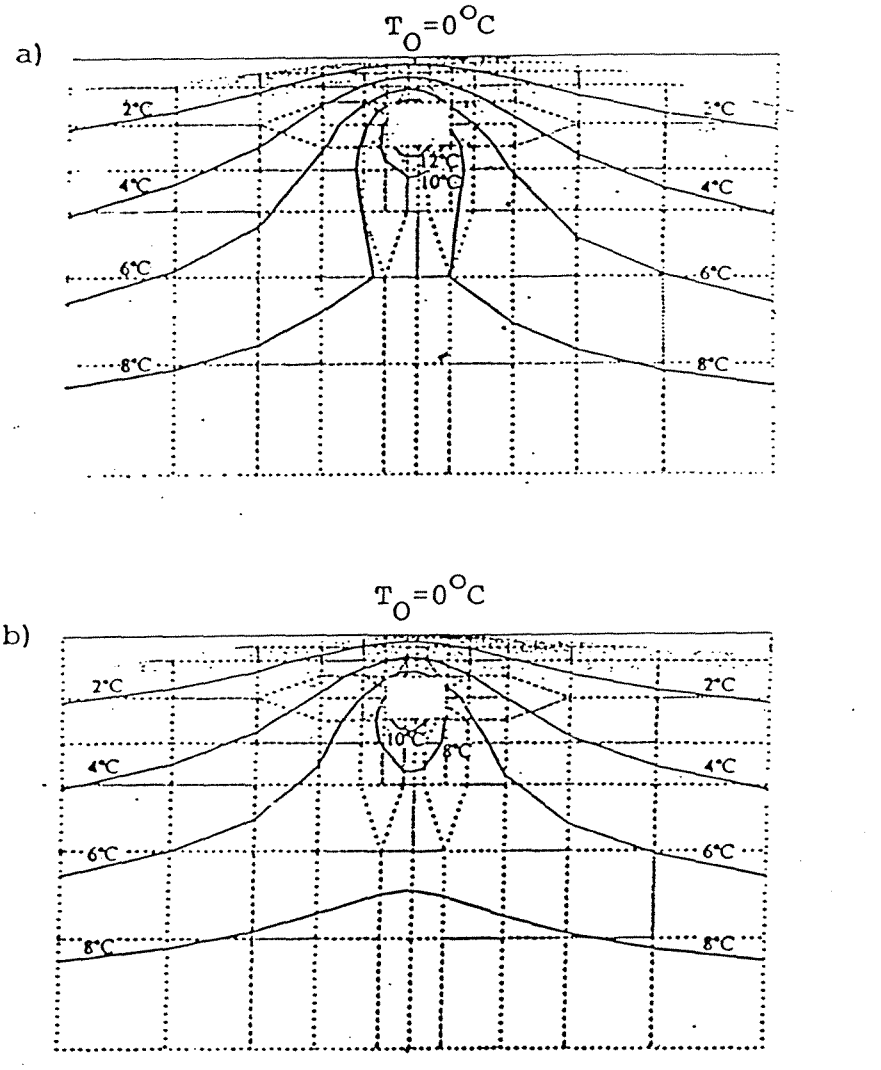


Fig 5.5 Temperaturfördelning i mark kring cellbetongisolerad betongkulvert vid 100/50°C och 70/50°C. Omgivningstemperatur 0°C. /6/

Plaströrskulvert med direktapplicerad PUR-isolering

Temperaturbilden kring plaströrskulvert med varierande driftstemperatur visas i figur 5.6 och kännetecknas av en viss likhet med förhållanden i mark kring cellbetongkulvert. Temperaturen alldeles i närheten av kulverten beräknas sjunka med ca 2°C vid en sänkt drifttemperatur. På ca 1 m avstånd från kulverten har temperaturen utjämnats och skillnaden mellan hög och låg driftstemperatur är knappast märkbar.

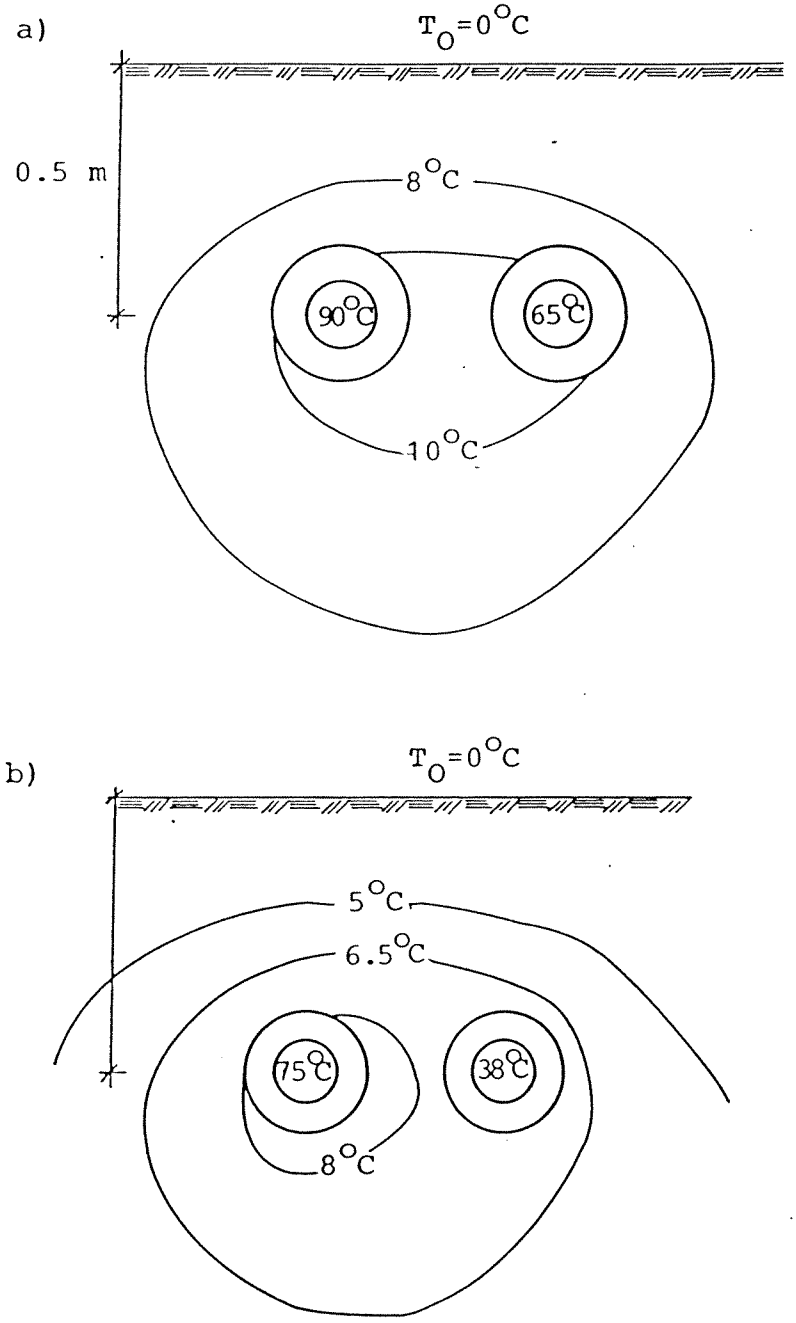


Fig 5.6 Temperaturfördelning i mark kring PUR-solerad plaströrskulvert DN 100 vid 90/65°C och 75/38°C. Omgivningstemperatur 0°C.

5.1.4 Fuktbalans

Det vore önskvärt att på samma sätt som för värmeflöden kunna sätta upp samband för fukttransporten till och från kulverten. Detta låter sig dock bara göras för vissa kulvertkonstruktioner, då främst mineralullsisolerad betongkulvert.

En teoretisk analys av fuktförhållanden i övriga kulvertkonstruktioner blir mycket ofullständig och osäker varför den inte bedöms vara meningsfull.

5.2 Dränkning och uttorkning

5.2.1 Dränkning

Dränkning av kulvert till följd av otätheter i skyddshölje eller på mediarör är den vanligaste orsaken till skador på isoleringen. Följderna av en dränkning kan bli allvarliga genom att de kan leda till korrosionsangrepp och genomfrätning av mediaröret om inte uttorkning sker snabbt.

Isolermaterial med låg formstabilitet, exempelvis mineralull, kan deformeras kraftigt vid dränkning. Överdelen sammanpressas och underdelen hänger ned.

Genom upprepade dränkningar kan slam och dylika föroreningar i det inläckande vattnet förorsaka försämrade isoleregenskaper genom att isoleringens porer sätts igen.

5.2.2 Uttorkning

Uttorkningsberäkningar utföres ofta för byggnadskonstruktioner, typ vägg- och takskivor. Beräkning av uttorkningsförlopp för inneslutna konstruktioner är mindre kända. Uttorkning av konstruktioner i mark är beroende av ytterligare faktorer, såsom exempelvis markens fukthalt, ytskiktets permeabilitet, ventilation etc.

Som resultat av uttorkningsberäkningar vid fuktavgivning till atmosfären anges vanligen erforderlig tid för att den kvarvarande medelfuktigheten skall avta till en given acceptabel nivå.

Uttorkningsförlopp kan uppdelas i tre skeden /4/:

- Under det första skedet är ytan fuktig och avdunstning sker som från en fri vattenyta, och pågår så länge fukthalten och den kapillärsugande förmågan är stora nog att hålla ytan fuktig.

- Under andra och tredje skedet ökar konstruktionens dimensioner och materialegenskaper i betydelse. En fuktfront rör sig genom konstruktionen och fukten får en, vanligtvis längre väg att transporteras för att avges vid ytan. Den längre vägen betyder att motståndet blir större och uttorkningshastigheten avtar.

Uttorkningsförloppet i en tillfälligt vattendränkt fjärrvärmekulvert sker på avgörande punkter annorlunda än för en konstruktion med fuktavgivning direkt till atmosfären.

- Över kulvertisoleringen uppträder en relativt stor temperaturgradient som innebär att fuktfronten drivs utåt isoleringens periferi istället för inåt i materialet. Fukten transporteras en kortare väg i slutet av uttorkningsförloppet, samtidigt som den termiska drivkraften för uttorkningen avtar.

- Fjärrvärmekulverten har vanligtvis någon form av ytbeklädnad som hindrar fuktavgivningen vid ytan.

- Den omgivande marken, eller om det är en betongkulvert betongväggarna, kan ha en hög fukthalt och avge fukt till kulvertluften, vilket förlänger uttorkningsförloppet.

Ur korrosionssynpunkt är uttorkningshastigheten av stor betydelse.

En sänkt drifttemperatur kan i detta hänseende i vissa fall medföra en ökad korrosionsrisk beroende på långsammare uttorkningsförlopp.

I en ventilerad betongkulvert vet vi erfarenhetsmässigt att cellbetong torkar ut mycket långsamt medan mineralullsisolering torkar ut snabbare till följd av sin avsevärt större permeabilitet.

Vid en undersökning 1957 /13/ visade det sig att ännu fyra månader efter vattendränkning av en cellbetongisolerad kulvert var isoleringen inte uttorkad. Drifttemperaturen i denna provkulvert hölls konstant vid 70°C.

Vid ytbeklädnad av mineralullsisoleringen med papp, glasfiberväv eller dylikt ökar uttorkningstiden avsevärt.

5.3 Ventilationens funktion och betydelse

I avsnitt 3.4 redogjordes för principen för ventilation i äldre kulvertsystem. Ventilationen kan, enligt de mätningar som gjorts, vara ganska bristfällig. Mätningarna visar ingen entydig bild av ventilationens funktion.

Fungerande ventilation har stor betydelse för klimatet i kulvertsystemet, främst genom att det är via luftströmmen i kulverten som möjlighet finns att föra bort fukt inom rimlig tid.

Ventilationen i kammare och mellan kammare är tänkt att fungera enligt självcirkulationsprincipen med temperaturskillnaden mellan luften i kulverten och utomhusluften som drivande kraft. Mekanisk ventilation förekommer mycket sällan och anses innebära för höga installations- och underhållskostnader. Användandet av mekanisk ventilation i vissa fjärrvärmekammare kan väntas öka något framöver, i takt med att mera sofistikerade driftövervakningssystem, med i vissa fall höga miljökrav, introduceras.

Ventilationsrören kan vara placerade diagonalt i kammare med syfte att främst ventilera kammaren. Denna utformning torde vara vanligast vid direkt markförlagd kulvert, där ingen luftström mellan kamrarna kan komma till stånd. Vid betongkulvert har man strävat efter att ha ventilationsrör med 100-150 m avstånd. Man kan även se betongkulvert som ventileras med två rör i varje kammare. Här ställer man sig tvekande till om någon ventilation av kulverten mellan kamrarna sker. Mätningar i Uppsala ger inget entydigt besked. /3/

Förutom temperaturskillnaden bidrar även kulvertens lutning i någon mån till ventilationen. Ventilationsrör i högpunkter ger med säkerhet frånluft.

Det har visat sig att vinden har stor inverkan på ventilationsluftflödet. Vindens påverkan kan beroende på vindriktning både förstärka och försvaga luftflödet, vilket gör att vindens inverkan är svår att ta hänsyn till beräkningsmässigt.

Av viss betydelse är även ventilationsrörens utformning och längd. Långa ventilationsrör med flera böjar kan dels innebära försämrad genomströmning p g a högre friktionsmotstånd och dels medföra att luften avkyls så att kondensation sker i frånluftsröret.

Kondensation i ventilationsrören förlänger uttorkningstiden genom att kondensatet rinner tillbaka in i kulverten. En sänkt driftstemperatur kan innebära att drivkraften för självdragsventilationen minskar och att risken för kondensering i långa ventilationsrör ökar.

5.4 Sammanfattande kommentar

Uttorkningsförlopp i kulvertsystem är svåra att kvantitativt bestämma. Erfarenheten har dock visat att uttorkning av cellbetongisolerade kulvertar går mycket långsamt.

Mineralullsisolering upptar mera vatten vid vattendränkning än vad cellbetongisolering gör. Uttorkningen sker dock betydligt snabbare vid mineralullsisolering p g a dess större permeabilitet. En sänkt drifttemperatur, av den omfattning som diskuteras här, torde inte innebära någon avsevärd förlängning av uttorkningstiden för mineralullsisoleringen om ventilationen fungerar.

PUR-isolering är svår att torka ut även vid hög drifttemperatur, p g a att den har låg egen permeabilitet och att den omslutes av ett diffusionstätt skyddsrör av plast.

Ur korrosionssynpunkt är uttorkningstidens längd av stor betydelse.

En sänkt drifttemperatur kan innebära att drivkraften för självdragsventilation minskar något. Ventilationens beroende av vindpåverkan är svår att entydigt bestämma. I vissa fall har troligen vinden avsevärt större betydelse för att upprätthålla en ventilationsluftström än vad temperaturskillnaden mellan kulvertluften och omgivningsluften har.

Risken för kondensering i ventilationsrör torde öka vid en sänkt drifttemperatur.

Cellbetongisolerade kulverttyper har med tanke på dessa kulvertars genomgående höga driftålder, troligen en mycket bristfällig ventilaton. Ventilationskanalerna bör vid detta laget ha nått ett stadium av sönderfall och igensättning till följd av slamavlagringar, lossbrutna isoleringsbitar m m.

6. KORROSION PÅ STÅLMEDIARÖR

6.1 Teoretiska grunder för korrosion

Korrosion på stålmediarör i fjärrvärmesystem kan ske dels genom invändiga angrepp, dels genom utvändiga angrepp. Vid pH-värden över 6 sker korrosionen vanligen under syrgasförbrukning enligt följande schematiska formler.

$$2\ Fe + O_2 + H_2O = 2\ Fe\ (OH)_2 \qquad (6.1)$$

$$2\ Fe\ (OH)_2 + \tfrac{1}{2}\ O_2 + H_2O = 2\ Fe\ (OH)_3 \qquad (6.2)$$

Vid eventuella pH-värden understigande 5.5 sker korrosionen normalt under vätgasutveckling, exempelvis genom följande schematiska formler.

$$Fe + H_2\ SO_4 = Fe\ SO_4 + H_2 \qquad (6.3)$$

$$Fe + 2H_2O + 2\ CO_2 = Fe\ (HCO_3)_3 + H_2 \qquad (6.4)$$

Korrosionsangreppen enligt ovanstående formler är av elektrokemisk natur och sker i korrosionsceller som bildas på metallytan. Dessa består av anod- och katodytor jämte en elektrolyt, d v s vatten eller fuktig jord med varierande halt av lösliga salter.

Vid ett korrosionsförlopp sker samtidigt en oxidation och upplösning av järn vid anodytorna och en reduktion av syre eller vätejoner vid katodytorna. Dessa reaktioner framgår av nedanstående formler.

Oxidation vid anodytor:

$$Fe = Fe^{2+} + 2\ é^- \qquad (6.5)$$

Reduktion vid katodytor:

$$O_2 + 2\ H_2O + 4\ é^- = 4\ OH^- \qquad (6.6)$$

$$2\ H^+ + 2\ é^- = H_2 \qquad (6.7)$$

I det fall att korrosionscellerna är mycket små och ligger tätt intill varandra erhålls en tämligen jämn korrosion över hela stålytan, s k allmänkorrosion. Om de anodiska ytorna är små i förhållande till de katodiska ytorna resulterar korrosionscellerna ofta i snabb lokal gropkorrosion vid anodytorna, som kan leda till frathål på en relativt kort tid.

6.2 Korrosionens temperaturberoende

Korrosionshastigheten på oskyddat kolstål som ligger i vatten, jord eller annat medium är starkt beroende av temperaturen. Vid överslagsberäkningar räknar man ofta med att korrosionshastigheten stiger med 50 à 100 % när temperaturen i vattnet eller jorden ökar med 10°C.

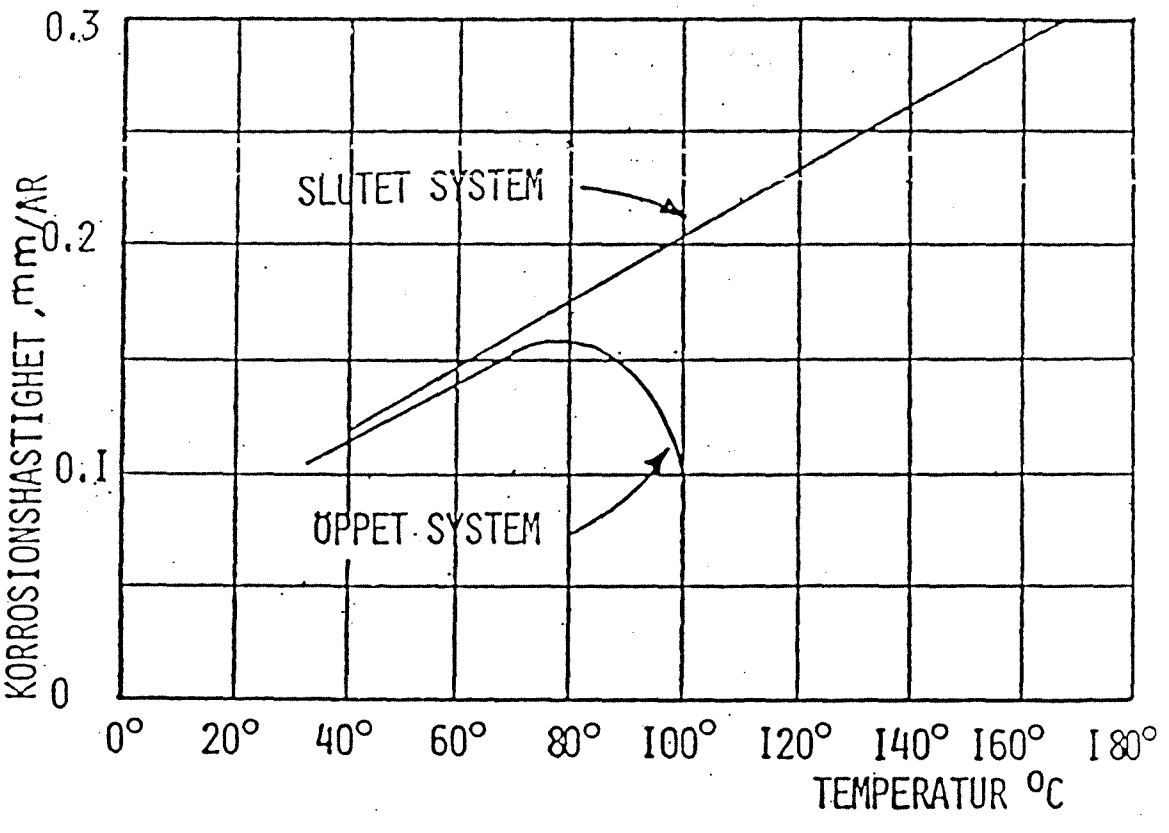


Fig 6.1 Korrosionshastighet som funktion av temperaturen i öppna och slutna system /12/

I syrehaltigt vatten i öppna system stiger korrosionshastigheten rätlinjigt med temperaturen upp till ca 80°C, varefter korrosionshastigheten avtar beroende på avgång av löst syre till atmosfären. I ett slutet vattensystem där syret ej kan frigöras ur vattnet ökar korrosionshastigheten rätlinjigt även vid temperaturer över 80°C, så länge löst syre finns i vattnet. Eftersom korrosionen normalt är beroende på tillgång av löst syre medför korrosionen i helt slutna och lufttäta system att syret tämligen snart blir förbrukat. I sådana fall avstannar korrosionen på grund av syrebrist.

6.3 Invändig korrosion

Invändig korrosion på stålmediaröret bestäms som framgår av det ovan sagda (pkt 6.1) bl a på tillgången av luftsyre i fjärrvärmevattnet. Korrosionen kan motverkas dels genom att man i möjligaste mån förhindrar inläckage av luft, dels genom att man befriar påfyllnadsvattnet från syre, t ex genom termisk avgasning. Användning av avsaltat vatten och eventuella tillsatser av korrosionsinhibitorer ger ytterligare möjligheter till att motverka den invändiga korrosionen. Vid närvaro av luftsyre och frånvaro av inhibitortillsats ökar korrosionshastigheten normalt med stigande vattentemperatur men korrosionens praktiska storlek bestäms i de flesta fall av mängden tillgängligt luftsyre.

6.4 Utvändig korrosion

6.4.1 Allmänna förutsättningar

En grundförutsättning för att allvarlig utvändig korrosion skall inträffa är att stålröret exponeras för vatten. Vatten kan teoretiskt tränga in på något av följande sätt:

.1 Innestängande av vatten i samband med montage.

.2 Inläckage utifrån av markvatten.

.3 Läckage av hetvatten inifrån stålröret.

Innestängande av betydande mängder vatten i samband med montage bör normalt ej inträffa. Oavsiktlig dränkning av kulvertar i samband med kulvertarnas utförande har dock rapporterats i en del fall.

Inläckage av markvatten utifrån på plaströrskulvertar kan ske om t ex mantelrörens skarvar ej är riktigt täta eller om mantelröret blir mekaniskt skadat. I betongkulvertkonstruktioner kan dränkning komma till stånd p g a bristande tätning.

Läckage av hetvatten inifrån stålmediaröret kan inträffa om en misslyckad svetsskarv har genomgående porer eller om invändiga korrosionsfräthål skulle uppkomma på stålröret.

I det fall att isoleringen blir vattendränkt eller fuktig under längre tid kan förutsättningar för spaltkorrosion uppkomma. Denna typ av korrosion uppstår ofta i spalter eller under beläggningar beroende på varierande syrehalt i olika punkter i spaltutrymmet. Därvid bildas syrekoncentrationselement med stor elektrisk potentialdifferens. Detta kan leda till snabb lokal korrosion som kan medföra genomgående fräthål på förhållandevis kort tid.

6.4.2 Markförhållandenas betydelse för korrosion

Vid förläggning av fjärrvärmekulvertar i markområden med högt grundvattenstånd finns en potentiell risk för inläckage av markvatten genom otätheter i skarvar. Detta kan medföra att värmeisoleringen periodvis eller kontinuerligt blir indränkt med vatten. I kulvertar med PUR-isolering kan vattenindränkning i kombination med den höga temperaturen leda till att isoleringsmaterialet bryts ned genom termisk och hydrolytisk värmeåldring av polyuretanet.

Inträngande markvatten kan förorsaka besvärande korrosion på stålmediaröret särskilt om vattnet har hög salthalt eller lågt pH-värde. Emedan jorden ej har någon direkt kontakt med stålmediaröret så har jordens sammansättning och korrosivitet ingen direkt betydelse för korrosionen. Men givetvis kan markvattnets korrosivitet ofta sammanfalla med jordens egenskaper.

Vid vattendämning i kulverten tillkommer risken för spaltkorrosion och vattenlinjekorrosion på grund av uppkomst av syrekoncentrationselement (luftningsceller).

6.4.3 Värmeisoleringsmaterialets betydelser ur korrosionssynpunkt

Som nämnts ovan under avsnitt 6.4.1 är förutsättningen för allvarlig utvändig korrosion på stålmediaröret stor i närvaro av fukt. Värmeisoleringsmaterialets förmåga att absorbera och kvarhålla vatten i samband med tillfällig vatteninträngning är därför av väsentlig betydelse för initiering och utveckling av eventuell korrosion på stålytan. Ur korrosionssynpunkt är uttorkningshastigheten av en tillfälligt vattendränkt värmeisolering av stor betydelse. En sänkt drifttemperatur kan i detta hänseende i vissa fall medföra en ökad korrosionsrisk beroende på långsammare uttorkningsförlopp.

Närvaro eller bildning av korrosiva komponenter i värmeisoleringsmaterialet självt är en annan faktor som också måste beaktas. Följande synpunkter kan lämnas för de värmeisoleringsmaterial som hittills varit mest använda i vårt land.

Cellbetongisolering

Cellbetong kan vid långvarig vattendränkning absorbera stora mängder vatten. På grund av sitt stora överskott av pH-höjande fri kalk ger nytillverkad cellbetong en god skyddsverkan mot korrosion på stålröret även om isoleringsmaterialet blir vattenindränkt. Vid fortlöpande drift kan en långvarig vattenomsättning i sprickor i cellbetongen medföra att det fria kalköverskottet urlakas eller karbonatiseras. Detta kan medföra sänkt pH-värde med tiden varvid skyddsverkan mot korrosion förorsakad av inträngande vatten upphör. Därvid kan snabb gropkorrosion uppkomma.

Mineralullsisolering

I mineralull som används som värmeisoleringsmaterial i värmekulvertar ingår fenolformaldehydharts eller annat konstharts som binde- och impregneringsmedel. Mineralullsisoleringen upptar mera vatten vid vattendränkning än vad cellbetongisolering gör.

Mineralullsfibrerna innehåller i sig själv ej några ämnen som påverkar korrosionsbetingelserna. Däremot kan förekommande binde- och impregneringsmedel i mineralullsisoleringen ibland utgöra en potentiell korrosionsrisk. Vissa binde- och impregneringsmedel kan nämligen under inverkan av fukt och värme nedbrytas under frigörande av sura pH-sänkande komponenter, varigenom korrosion på stålytan kan initieras. Risken för nämnda termiska sönderfall är dock betydligt mindre vid sänkt drifttemperatur än vid högre drifttemperaturer.

PUR-isolering

Värmeisoleringsmaterial baserade på polyuretan (PUR) framställs genom polymerisation och skumning av diisocyanat och polyol. Som skumningsmedel har hitintills vanligen använts freon, t ex triklorfluormetan. En större del av freonen (uppskattningsvis storleksordningen 90 %) kvarhålls och innestängs i porerna hos den färdiga PUR-isoleringen.

PUR-isoleringen kan vid långvarig dränkning med varmvatten absorbera och kvarhålla stora mängder vatten. En PUR-isolering som blivit kraftigt vattenindränkt är svår att torka ut. Därför bör man eftersträva att utföra och lägga kulverten på sådant sätt att vatteninträngning förhindras. PUR-kulvertar är numera vanligen försedda med larmskenor för ökad elektrisk konduktivitet i samband med vattenindränkning. Tillsats av saltaktivator i larmskenan kan i vissa fall medföra risk för initiering av lokalkorrosion på stålmediaröret. Ett nytillverkat PUR-isoleringsmaterial innehåller i sig själv inga direkt korrosiva ämnen.

Inläckande vatten kan vid längre tids inverkan medföra att PUR-materialet bryts ner. Därvid kan PUR-molekylerna spaltas i kolsyra och nitrösa gaser samtidigt som freonen kan omvandlas till saltsyra och fluorvätesyra. Dessa reaktioner medför ökad risk för korrosion på stålmediaröret men reaktionshastigheten för sönderfallet av PUR-materialet är dock avsevärt lägre vid sänkt drifttemperatur än vid högre drifttemperatur.

6.5 Sammanfattande kommentar

Allmänt sett ökar korrosionshastigheten med ökande temperatur, i närvaro av luftsyre. I öppna system avstannar korrosionshastigheten vid ca 80°C beroende på avgång av löst syre till atmosfären, se sid. 32.

Som tidigare nämnts har även uttorkningsförloppet och ventilationens funktion stor betydelse för korrosionsrisken, eftersom en förutsättning för att korrosion ska komma till stånd är att stålröret exponeras för vatten under viss tid. Även isoleringsmaterialets kemiska sammansättning och dess benägenhet att bilda korrosiva komponenter, måste beaktas.

Cellbetong får vid tillverkningen ett stort överskott av fri kalk vilket ger en viss skyddsverkan mot korrosion på stålröret även om isoleringen blir vattendränkt. Efter lång tids drift med viss vattenomsättning i isolermaterialet kan kalköverskottet urlakas och denna skyddsverkan minska eller helt upphöra.

För mineralullsisolering innebär vissa binde- och impregneringsmedel en potentiell korrosionsrisk genom att dessa under inverkan av fukt och värme kan avge sura komponenter varvid korrosion kan initieras. Risken för detta sönderfall är betydligt mindre vid lägre temperatur än vid hög temperatur.

PUR-skumisolering kan vid längre tids exponering av varmt vatten brytas ned och bilda korrosiva ämnen såsom saltsyra och fluorvätesyra. Hastigheten för detta sönderfall är dock betydligt lägre vid låg temperatur än vid hög temperatur.

Sammanfattningsvis kan konstateras att den förlängda uttorkningsprocessen vid sänkt mediatemperatur ej kompenseras av andra positiva effekter när det gäller cellbetongisolering. För detta isoleringsmaterial medför således en sänkt mediatemperatur en ökad risk för korrosion på stålröret.

För mineralullsisolering kan effekterna av försämrad uttorkning helt eller delvis kompenseras av att risken för uppkomst av sura sönderdelningsprodukten minskar vid lägre mediatemperatur.

7. BYGGANDE, DRIFT OCH UNDERHÅLL AV FJÄRRVÄRMESYSTEM MED SÄNKT DRIFTTEMPERATUR

7.1 Befintliga system

Sammanfattande kommentarer till avsnitt 4-6 visar att flera faktorer samverkar för att göra cellbetongisolerade kulverttyper speciellt känsliga för korrosionsangrepp vid sänkt drifttemperatur.

En sänkt drifttemperatur verkar innebära mest fördelar för övriga betraktade kulverttyper, främst p g a att reaktionerna vid isoleringsmaterialets sönderfall vid inverkan av fukt och värme sker långsammare vid en lägre temperatur, vilket helt eller delvis kompenserar det långsammare uttorkningsförloppet.

Det har inte på någon punkt kunnat konstateras att en sänkt drifttemperatur ger upphov till negativa effekter i den numera mest använda kulverttypen med direktapplicerad PUR-skumisolering.

Diagnos

I äldre system med kulvertkammare kan kulvertsträckor kontrolleras genom kontroll av kamrarna för att avgöra om det uppträder läckor. I viss mån kan även snösmältning över kulverten vintertid användas som indikation på läckor. Dessa diagnosmetoder är tidskrävande och ger inte resultat förrän det i princip är "för sent" genom att kulverten redan har en allvarlig skada.

PUR-isolerade kulvertar har, som tidigare nämnts, ett färre antal kammare och är oftast utförda med någon form av fuktlarm. Dessa fuktlarm ger möjlighet att upptäcka en skada på ganska tidigt stadium. Larmsystemens tillförlitlighet har visat sig variera betydligt.

Det finns behov av hjälpmedel för att bedöma status och ställa diagnos på fjärrvärmenät och enskilda kulvertavsnitt. Termografering har provats och utvärderats i ett projekt som genomförts i Västerås, där hela fjärrvärmenätet termograferats från flygplan och en mindre del med bil.

Vid termograferingarna i Västerås hittade man totalt 256 ställen med förhöjd marktemperatur. Av dessa visade det sig att det i 207 fall berodde på skadad kulvert eller dålig isolering.

Projektet visade att termografering idag kan användas för att konstatera läckage på kulvert men att det är en bit kvar innan metoden kan användas för att kvantitativt beskriva en kulverts status. Vid genomförande av en sänkt drifttemperatur kan det bli aktuellt att öka tillsynen vid de relativt begränsade sträckor som utgöres av cellbetongisolerade kulvertar för att hitta dränkta kulvertavsnitt innan skador som leder till genomfrätning av mediaröret uppstår.

Termografering från bil kan då vara en lämplig metod. Vid speciellt fuktkänsliga kulvertavsnitt (högt grundvattenstånd, lågt liggande kulvert m m) kan det eventuellt vara värt att byta ut cellbetongisolering i förebyggande syfte för att hindra fuktangreppens spridning.

Driftåtgärder

Åtgärder vid kontinuerlig drift, i syfte att minska korrosionsrisken vid en sänkt drifttemperatur, har tillämpats i Moskvas fjärrvärmesystem där man haft stora problem med utvändig korrosion av ledningar. Framledningstemperaturen regleras upp så att temperaturen överskrider 100°C även under vår, sommar och höst. Vid denna temperatur drivs, det för korrosionen nödvändiga vatteninnehållet, snabbt ut. Haverifrekvensen har enligt uppgift sjunkit med en faktor 2.5 sedan denna åtgärd infördes som moment i fjärrvärmeverkens drift för ca åtta år sedan /2/.

Vid ett tillämpande av denna åtgärd för att minska korrosionsrisken i ett äldre svenskt nät, typ Västerås, måste en avvägning mellan nyttan av minskad korrosionsrisk och ökade värmeförluster göras. I ett nät av Västerås ålder och storlek, med ganska begränsade längder plaströrskulvert (ca 8 % av den totala kulvertlängden) där korrosionsrisken p g a sänkt drifttemperatur troligen är minimal, kan man anta att nyttan av sänkt korrosionsrisk överväger. Värmeförlusterna från fuktig isolering under lång tid skall här jämföras med värmeförlusterna vid förhöjd temperatur under kort tid.

Utgående från praktiska försök med cellbetong kulvert av varierande fuktighet /15/ och teoretiska beräkningar av värmeförluster från cellbetongkulvert /6/ kan nedanstående figur 7.1 konstrueras. Figuren avser att visa hur värmeförlusten från cellbetongkulverten påverkas vid en tillfällig temperaturhöjning till ca 100°C framledningstemperatur under vår, sommar, höst.

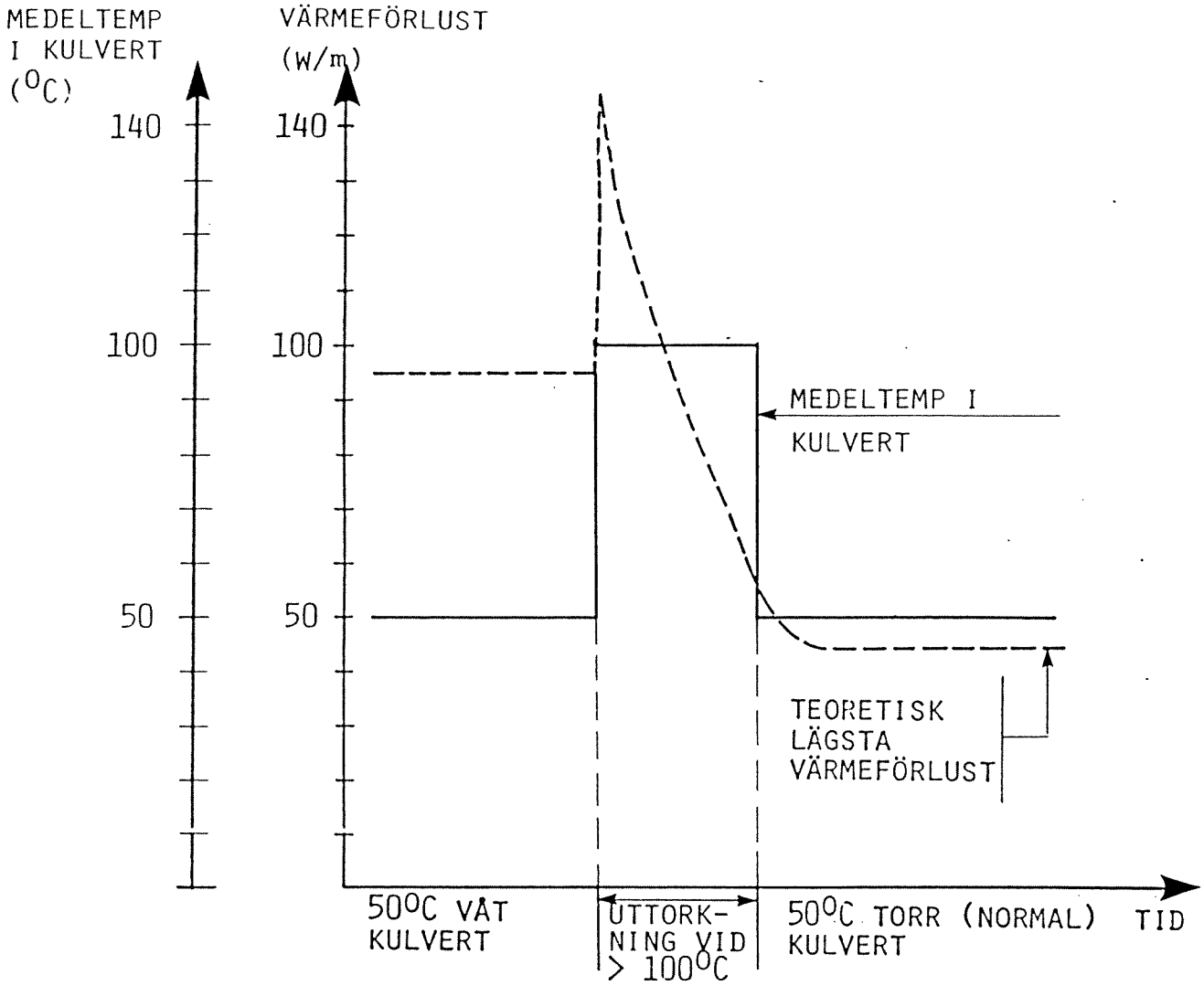


Fig 7.1 Värmeförlust vid tillfälligt höjd framledningstemperatur. Cellbetongisolering DN 100.

En bestämning av erforderlig tidsperiod med förhöjd driftstemperatur för att torka ut kulverten är i hög grad beroende av yttre omständigheter och kan inte generellt kvantifieras. Möjligen kan det gå att göra grova kvantitativa bestämningar med hjälp av mätningar.

Ventilationsåtgärder

Som tidigare nämnts i avsnitt 5.3 kan man anta att ventilationen av kulvertsystemet är av stor betydelse för att transportera bort fukt ur systemet.

I ett äldre system med isolering av cellbetong är risken stor att den ursprungliga ventilationslösningen har havererat genom att ventilationskanalerna i isoleringen har slammats igen eller rasat in till följd av vattendränkning eller andra skador.

Metoder att rehabilitera kulverten i ventilationshänseende har veterligen ej tillämpats.

I vissa fall har tryckspolning tillgripits för att rensa dräneringsledningar i cellbetongisoleringen.

Reparation av skadad kulvert

Reparation av skadade kulvertavsnitt vid genomfrätning av mediaröret görs vanligen genom att medieröret bytes ut på den skadade sträckan och isoleringen bytes till markskivor, mineralullsskålar eller PUR-skålar. Omkringliggande fuktiga kulvertavsnitt torkas ut med hjälp av suganде fläktar. Vid reparation av skadad cellbetongkulvert i Västerås ersättes cellbetongen vanligen med isolering i form av mineralullsskålar eller PUR-skålar och särskild omsorg lägges vid att förbättra ventilationen inom det reparerade kulvertavsnittet. Man har även använt markskivor men med mindre lyckat resultat då det visat sig att markskivorna sugit upp vatten från kulvertbotten och kulvertväggarna och på så sätt orsakat nya korrosionsskador.

Vid reparation som innebär att befintlig isolering ersättes med ny isolering bör övergången mellan cellbetongisolering och ny isolering utföras diffusionstät för att undvika att den nya isoleringen angrips av fukt.

En metod för reparation efter åtgärder på korrosionsskadade mediarör, som används vid ett flertal danska värmeverk, är att efter det att mediaröret bytts ut ersätta cellbetongisoleringen med en form av kompakt och vattenavstötande isolering som går under varunamnet "Apurit", som enligt tillverkaren är speciellt utvecklat för renovering av existerande fjärrvärmeledningar isolerade med cellbetong. Apuritisoleringen hälles flytande i betongkanalen och fyller denna helt och utgör en fullständigt vattenavvisande isoleringsmassa.

Apuritisoleringen har i sig själv högre värmeledningstal än övriga isolermaterial och ger således upphov till högre värmeförluster. Därför kompletteras isoleringen vanligen med PUR-rörskålar närmast mediaröret för att minska värmeförlusten medan apuritisoleringen tjänstgör som korrosionsskydd. Det nämns även som en fördel att värmedistributionen kan återupptas så snart rörarbetet är klart. Isoleringsarbeten kan utföras vid normal drifttemperatur på rören.

För tillfälliga reparationer av fjärrvärmeledningar, användes i Danmark en liknande isoleringstyp i fast form som hälles direkt från säck i betongkanalen och komprimeras för att fylla upp hela utrymmet kring rören.

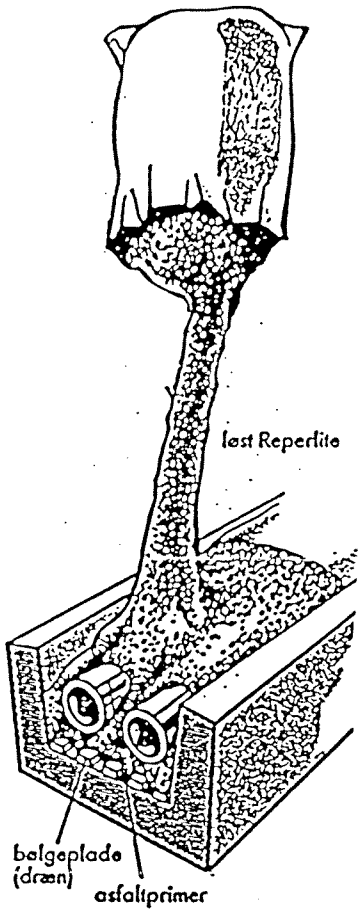


Fig 7.2 Isolering med isolermassa.

Även denna isoleringsmassa är, enligt uppgift helt vattenavvisande och utgör ett gott korrosionsskydd.

Inom svenska värmeverk har dessa metoder ej använts. Man är här misstänksam mot metoder som innebär att man fyller upp utrymmet kring rören och därmed inte utnyttjar möjligheten att ventilera kulverten.

7.2 Nya system

Vid byggande av nya fjärrvärmesystem kan dessa projekteras och dimensionas för en lägre drifttemperatur redan från början.

Ett antal mindre och medelstora nät har under den senaste tioårsperioden byggts för en högsta drifttemperatur på 90°C vid dimensionerande utetemperatur. Ledningarna är företrädesvis, för att inte säga uteslutande, plaströrskulvert med direktapplicerad PUR-skumisolering.

Som tidigare nämnts finns det inte anledning att befara att antalet skador i denna kulvert-typ skulle öka vid lägre drifttemperatur.

Lokalisering av läckage sker i de flesta förekommande fall via larmsystem. Reparation vid skador sker genom att skadad kulvert bytes ut.

8. FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

8.1 Sammanställning

Arbetet med denna rapport har visat att det främst är i cellbetongisolerade kulverttyper som ökade korrosionsangrepp kan befaras vid sänkt drifttemperatur. Det är också för dessa kulverttyper vi har minst kända grundförutsättningar för att teoretiskt beräkna förlopp avseende temperaturförhållanden, uttorkning, korrosionshastighet m m. Flera av dessa grundförutsättningar är betingade av yttre omständigheter och kan troligen inte så lätt kvantifieras.

Dock torde vissa parametrars betydelse kunna beskrivas övesiktligt genom relativt enkla mätningar och prov.

8.2 Sorptionskurva

Bestämning av fukthalt i material förutsätter att det finns en sorptionskurva för materialet i fråga.

Bestämning av absorptionskurva för ett material utföres i laboratoriemiljö genom att ett från början torrt material lagras i en omgivning med konstant temperatur och relativ ånghalt. Med tiden uppstår en jämvikt mellan omgivning och fukthalt i materialet. Om försöket upprepas med oförändrad temperatur men med olika relativa ånghalter i luften kan absorptionskurvan över jämviktstillstånden uppritas. Motsvarande försök kan göras med från början vattenmättat material. Då erhålles materialets desorptionskurva, enligt figur 8.1.

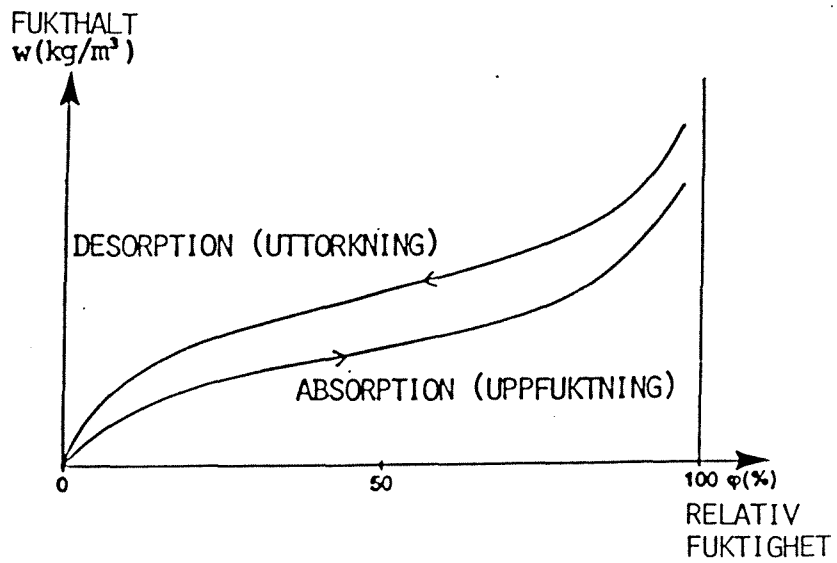


Fig 8.1 Principiella sorptionskurvor

Sorptionskurvans lutning är temperaturberoende. Temperaturberoendet kan åskådliggöras genom att sorptionskurvor som bestämts vid olika omgivningstemperatur ritas i samma diagram. Det är inte vanligt att sorptionskurvor för här aktuella temperaturnivåer (50-100°C) anges i litteraturen.

Sorptionskurvor för cellbetong har ej kunnat erhållas ur tillgänglig litteratur. Sorptionskurvor för närbesläktade material såsom exempelvis lättbetong typ Siporex har ett utseende enligt figur 8.2.

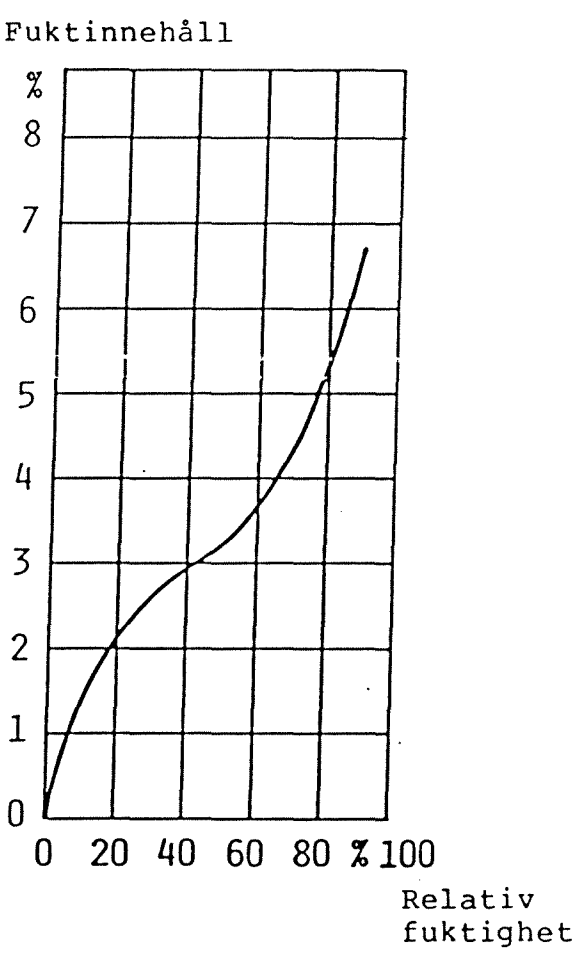


Fig 8.2 Sorptionskurva för lättbetong 520 kg/m³, vid 50°C. /16/

8.3 Temperaturförhållanden och uttorkningsförlopp

Det bedöms vara av intresse att i första hand få ett grepp om hur uttorkningsförloppet i en cellbetongisolerad kulvert beror av driftstemperaturen. Mätning av temperatur och fukthalt i isoleringen bör utföras.

Mätmetod

Mätningarna kan utföras dels i laboratoriemiljö och dels som fältmätningar. Mätningar i laboratoriemiljö har fördelen att man kan påverka de yttre betingelserna, medan det torde vara svårt att bygga upp en representativ kulvert i laboratoriemiljö. Det är viktigt att mätningarna utföres med representativ isolering d v s så att cellbetongens långtidsegenskaper beaktas.

Fältmätningar har fördelen att man kan räkna med att få mätvärden som överensstämmer med naturliga förhållanden och ett mått på isoleringens standard erhålles automatiskt. Nackdelen är att man inte kan påverka de yttre betingelserna och att insamling och bearbetning av mätdata blir mera komplicerat.

Det torde dock vara ändamålsenligt att i första hand göra fältmätningar på en, eller ett mindre antal, representativa kulvertsträckor.

Först göres en genomgång och bedömning av kulvertavsnittets status med avseende på ventilation, dränering, isoleringsstandard m m.

Mätningen förberedes genom att mätgivare för temperatur och luftfuktighet anbringas i isoleringen enligt figur 9.3.

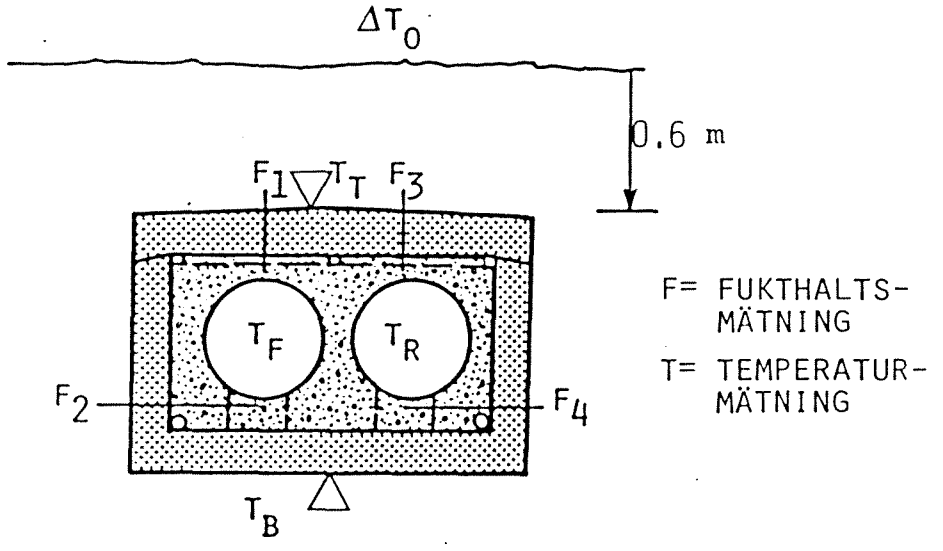


Fig 8.3 Placering av mätgivare för temperatur och luftfuktighet.

Med hjälp av den experimentellt bestämda sorptionskurvan kan fukthalten i isoleringen bestämmas och tiden mellan vattenmättnad vid dränkning till acceptabelt torr isolering kan mätas.

Försöket föreslås utföras under vår/höst vid

- normal driftstemperatur
- sänkt driftstemperatur
- förhöjd driftstemperatur

Förhöjd driftstemperatur betraktas i syfte att bestämma erforderlig tidsrymd för tillfällig temperaturhöjning enligt den metod som beskrivits i avsnitt 7.1.

9. SLUTSATSER

Korrosionsskadorna i fjärrvärmenäten har under senare år visat en något ökande tendens. Utvecklingen kan till viss del förklaras av att delar av de svenska fjärrvärmenäten håller på att uppnå sin tekniska livslängd.

Sänkt driftstemperatur kan i vissa fall ha en ogynnsam inverkan på förekomsten av korrosionsskador.

Det är främst uttorkningsförloppet som påverkas av en sänkt drifttemperatur, och därmed i huvudsak cellbetong och mineralullsisolerade kulverttyper som är intressanta att vidare betrakta. Plaströrskulvert med direktapplicerad PUR-skumisolering bedöms ej påverkas av en sänkt drifttemperatur med hänsyn till att uttorkningen här inte nämnvärt kan påveras av sänkt temperatur. En höjd temperatur kan däremot verka ogynnsam genom att den kan orsaka nedbrytning av isolermaterialet.

Både teoretiska överväganden och praktiska erfarenheter, som redovisas i utredningen, pekar på att cellbetongisolerade kulverttyper är mest utsatta för ogynnsam inverkan p g a förlängd uttorkningstid. Ett antal faktorer medverkar till att försämra cellbetongisolerade kulverttypers korrosionsmotstånd jämfört med kulvert med andra isolermaterial:

- cellbetong torkar ut mycket långsamt p g a relativt låg permeabilitet
- ventilationen i cellbetongkulvert är i de flesta fall mycket bristfällig
- cellbetongisolerade kulvertar har hög driftålder och har ofta varit utsatt för återkommande dränkningar som lakat ur isoleringens kalkinnehåll
- för övriga isolermaterial minskar risken för uppkomst av sura sönderdelningsprodukter vid en lägre drifttemperatur

Dessa aspekter bör beaktas och värderas i förhållande till driftekonomiska fördelar vid sänkning av drifttemperaturen, främst i nät med hög andel cellbetongisolerade kulvertkonstruktioner.

Rekommendationer om acceptabel lägsta temperaturnivå för att minska eller helt undvika risk för korrosion på stålmediarör i olika kulvertsystem kan inte ges generellt. Korrosionsförloppen är därtill alltför beroende av yttre parametrar.

Dock kan vissa preliminära synpunkter enligt följande tabell ges:

Betongkulvert	
- mineralullsisolerad	Drifttemperatur kan sänkas under 80°C. Min. drifttemperatur starkt beroende av ventilationsstandard.
- cellbetongisolerad	Drifttemperatur bör ej sänkas under 80 à 85°C.
Asbestcementrörskulvert	
- mineralullsisolerad	Drittemperatur kan sänkas. Dock inte i samma utsträckning som för betongkulvert med hänsyn till begränsade ventilationsmöjligheter. Preliminärt ej under 80°C.
- PUR-isolering med hålrör	Drifttemperatur kan sänkas under 80°C. Drifttemperaturen har i detta fall ingen större betydelse för uttorkning av isoleringen.
Plaströrskulvert	
- direktapplicerad PUR-isolering	Drifttemperatur kan sänkas relativt godtyckligt. Uttorkning bedöms vara oberoende av drifttemperatur.
- PUR-isolering med hålrör	Drifttemperatur kan sänkas under 80°C. Drifttemperaturen bedöms icke ha någon större betydelse för uttorkning av isoleringen.

Drifttemperaturen torde således kunna sänkas ytterligare i system utan cellbetongisolerade kulvertavsnitt, i förhållande till nuvarande drifttemperatur, med "sommartemperatur" på ca 80°C, utan att korrosionsskadorna på mediarören kommer att öka.

I system med cellbetongisolering bör ej drifttemperaturen sänkas, i avvaktan på att effektiva metoder för fuktövervakning och åtgärder för uttorkning av kulvertavsnitt, typ tillfälligt höjd framledningstemperatur enligt avsnitt 7.1, utprovats.

REFERENSER

/1/ Lindman E-K.

Kulvertskadestatistik, Sammanställning av kulvertlängder och kulvertskador vid svenska värmeverk.
Svenska Värmeverksföreningen, 1979-1985.

/2/ Statens Energiverk.

Temperaturnivå i fjärrvärme- och block-centralsystem.

Statens Energiverk 1987:2.

/3/ Jonasson, U. m fl.

Metoder att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmesystem. Etapp 1.

BFR R78:1984.

/4/ Nevander, L-E & Elmarsson, B.

Fukthandboken

Svensk Byggtjänst, 1981.

/5/ Jonasson, U & Stålhandske, H.

Metoder att minska värmeförluster i befintliga fjärrvärmesystem, Etapp 2.

BFR R23:1986.

/6/ Kvisgaard, B & Hadvig, S.

Varmetab fra fjernvarmeledninger

Teknisk Forlag, Köpenhamn 1980.

/7/ Eveberg, L-Å & Henriksson, L.

Optimering av värmeisolering för fjärrvärmekulvert av betong.

(TH, Avd. för husbyggnadsteknik, Publ. 80:7).

/8/ Claesson J & Dunand, A.

Heat extraction from the ground by horizontal pipes.

BFR D1:1983.

/9/ Johansson, L.

Värmeförluster från markförlagda kulvertar under instationära förhållanden. En förstudie.

Studsvik Arbetsrapport, ET-78/79.

/10/ Werner, S.

Värmeförluster vid fjärrvärmedistribution.

CTH, Institutionen för Energiteknik, Rapport A82-109.

/11/ Andersson, S. m fl

Ekonomisk isoleringstjocklek för direktskummade fjärrvärmeledningar.

BFR R185:1984.

/12/ Wranglén, G.

Korrosion och korrosionsskydd i vattenvärmesystem.

KTH, Institutionen för Teknisk Elektrokemi och korrosionslära, september 1978.

/13/ Carlsson & Eneborg

Värmeförluster från kulvertledningar.

Byggforskningsrådet, Handling 42, 1963.

/14/ Jonell, P & Dirke, L.

Värmeförluster från cellbetongkulvertar.

VVS 27 (1956:1).

/15/ Olofsson D & Carlsson H.

PM angående omisolering av befintliga FV-kammare.

VBB på uppdrag av Malmö Energiverk, 1983.

/16/ Krischer O.

Die wissenschaftligen Grundlagen der Trocknungstechnik.

Springer Verlag, Berlin, 1963.

/17/ Andersson, S. m fl.

Värmekulverttyper-insamling av erfarenheter och utvärdering av egenskaper.

BFR R74:1985.

/18/ Suris, MA. Vitalev VP

The Problems of Improving the Reliability and Service Life of Underground Heating Pipelines.

Thermal Engineering 29(1982)8 sid 425-427.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk Forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37