



Forskning och
Utveckling

FOU 1999:33

ÖVERVAKNING AV FJÄRRVÄRMENÄT MED FIBEROPTIK

Marja Englund, IVO

ÖVERVAKNING AV FJÄRRVÄRMENÄT MED FIBEROPTIK

Marja Englund, IVO

*I Rapportserien publicerar projektledaren resultaten från sitt projekt.
Publiceringen innebär inte att Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB
tagit ställning till slutsatserna och resultaten.*

FÖRORD

Föreliggande rapport är en översättning av den finska originalrapporten med titeln *Kaukolämpöverkon valvonta kuituoptisella anturilla*.

Projektet ingår i Finska Fjärrvärmeföreningens FoU-program TERMO. Svenska Fjärrvärmeföreningen, FVF, och Finska Fjärrvärmeföreningen, Sky, har ett utbyte inom FoU och rapporten är ett resultat av denna samverkan. Vi har här kunnat ta del av FoU-projekt som annars ej blivit tillgängligt för den svenska branschen. Naturligtvis har möjligheterna till svensk styrning av projektet ej varit möjlig eller aktuell. FVF har ingått i projektets referensgrupp, där erfarenheter fritt kunnat utbytas.

Svenska Fjärrvärmeföreningen ser positivt på samarbetet mellan länderna med denna översättning till svenska som en slutprodukt. Originalrapporten är mer påkostad med alla bilder och diagram i färg samt med ett antal situationsplaner och konstruktionsritningar från fältförsöken. Denna är givetvis tillgänglig för påseende, på FVFs kansli, för den som så önskar.

Från svensk sida har vi bl a kunnat bidra med erfarenheter från fuktövervakningssystem för fjärrvärmerör med larmtrådar av koppar, ett system som normalt saknas i Finland. Äldre typer av distributionsledningar i betongkulvert samt ledningar inomhus, i tunnlar osv saknar i dag motsvarande fuktövervakningssystem i båda länderna.

Projektet visar att fiberoptik är användbar för ledningsövervakning. Det finns fiberoptik som reagerar på fukt eller temperatur, det senare alternativet undersöktes. Det har visat sig att man med fältkabel som givare kan registrera temperaturen och lokalisera variationer mycket noggrant även på långa sträckor.

Ur ett ekonomiskt perspektiv är fiberoptiken också realistiskt. De kablar som användes vid försöken kostade cirka 20 SEK per meter. En fältkabel kan utföras så att den innehåller flera optiska fibrer för olika ändamål, t ex datakommunikation. När det gäller skarvning finns i dag standardiserade komponenter. Den dyraste komponenten i sammanhanget är mätutrustningen, runt 500 000 SEK, en utgiftspost som i dag kunde delas av flera användare och som i framtiden i takt med utvecklingen kan sjunka.

Montaget gjordes så att fältförsöken nu har övergått till normala installationer för övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik. Utnyttjande av den fiberoptiska fältkabeln, för någon annan tillämpning än fuktövervakning, har ej skett i dessa begränsade sträckningar.

Denna rapport överlämnas nu till marknaden för tillämpning av systemet. Om det redan fått någon ytterligare tillämpning i Finland, utöver de ingående pilotprojekten, är i dagsläget ej känt.

Ture Nordenswan

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND OCH SYFTE.....	5
2	STRUKTUR OCH EGENSKAPER I EN OPTISK FIBER.....	7
3	OPTISK FIBER SOM GIVARE.....	8
3.1	Att mäta temperaturen med en optisk fiber	9
3.2	Optokablar som är lämpliga för temperaturmätning.....	11
3.3	Strukturen för en temperaturgivare.....	12
3.4	Installationsmetoder för optokabeln.....	13
4	METODENS LÄMPLIGHET FÖR ÖVERVAKNING AV DE LEDNINGSKONSTRUKTIONER SOM IDAG ÄR I BRUK	14
5	INSTALLATIONER AV OPTOKABLARNAS OCH MÄTNINGAR I PROVOBJEKTEN	15
5.1	Tavastehus Energi AB:s provinstallationsobjekt	15
5.1.1	Installation av optokabeln.....	16
5.1.2	Temperaturmätningar	16
5.2	Kuopio Energis provinstallationsobjekt.....	18
5.2.1	Installation av optokabeln.....	18
5.2.2	Temperaturmätningar	19
5.3	Esbo Elektriska AB:s provinstallationsobjekt	19
5.3.1	Installation av optokabeln.....	20
5.3.2	Temperaturmätningar	22
5.3.3	Läckageprov i Esbo Elektriska AB:s fjärrvärmenät	23
5.4	Provinstallationsobjekt för Tammerfors stads elverk	26
5.4.1	Installation av optokabeln.....	26
5.4.2	Temperaturmätningar	27
6	SLUTSATSER.....	28
7	REFERENSER.....	29

BILAGOR

Temperaturkurva för kabel 1 i Esbo Elektriska AB:s undersökningsobjekt
9.7 och 25.11.1997

RAPPORTFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING

Projektet "Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik" ingår i fjärrvärmeforskningsprogrammet TERMO. Huvudsyftet med projektet var att utveckla en metod som grundar sig på lokalisering av en läcka i fjärrvärmenätet med en fiberoptisk temperaturgivare. Utöver lokalisering av läckor strävade man efter att klarlägga användningen av en optisk fiber för nätövervakning.

Fältförsöken visade att det är möjligt att med en fiberoptisk temperaturgivare upptäcka och lokalisera de delar av fjärrvärmenätet som har förhöjd temperatur. Den experimentella undersökningen visade också att metoden gör det möjligt att upptäcka och lokalisera en läcka i fjärrvärmenätet.

Läckan lokaliserades bäst i fasta fjärrvärmerör. Den optiska fibern borde fästas på manteln eller placeras så nära den som möjligt. Detta installationssätt gör det möjligt att utöver läckage lokalisering också detektera värmeförluster i skarvarna.

Det bästa mätresultatet eller den tydligaste temperaturkurvan uppnåddes vid de installationer som gjordes på undersökningsobjektet i Tammerfors i samband med övervakningen av en betongkulvert där fiberoptiken hade installerats ovanför kulvertelementet. Vid detta installationssätt försvinner de små temperaturdifferenserna och kurvan visar bara de större temperaturdifferenserna. Installationsalternativet är också bra med tanke på läckobservationen, eftersom största delen av värmeströmmen leds uppåt mot markytan.

SUMMARY

The pipes in district heating nets are made of carbon steel. In contact with oxygenated water this type of un-treated material corrodes. Usually this corrosion is prevented through elimination of the oxygen in the water chemically. In the study existing water treating additives on the market were investigated in laboratory with help of testing equipment. The water oxygen content before treatment was 0,5 mg/l. The impact of the chemicals on corrosion of the carbon steel was examined, apart from weight loss measuring, with the help of pipe test probes and electro chemical measures. Some products had less impact on the steel corrosion than district heating water without additives. The results for certain products were contradictory due to different test methods. The testing methods should therefore be developed further in order to become more reliable.

The carbon steels corrosion also was examined on six existing nets with the help of the weight loss test. On one object no additives were being used. The test period was 3 respectively 9 months. In the net without additive the corrosion decreased the longer the test period lasted. At two objects the speed of corrosion remained unchanged. At two objects the corrosion increased with time. In all examined cases the observed speed of corrosion was so slow that it should not affect the lifetime of the pipes.

Keywords: district heating pipes, corrosion, additives

1. BAKGRUND OCH SYFTE

Projektet *Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik* ingår i fjärrvärmeforskningsprogrammet TERMO. Projektet var ettårigt (1.2.1997–31.3.1998). Syftet med projektet var att utveckla en metod för att fastställa läckage genom temperaturmätning med optisk fiber som givare.

Utöver lokalisering av läckage undersöktes användningen av optisk fiber i förebyggande underhållsövervakning. Tanken var också att man i nybyggnads- och renoveringsobjekt skulle kunna använda fiberoptisk temperaturmätning på samma sätt som man använder en värmekamera för att övervaka kvaliteten vid nätbyggnation, till exempel kontroll av skarvisolering.

Det finns flera olika metoder för lokalisering av läckor i ett fjärrvärmenät. Den vanligaste metoden är kanske fortsättningsvis en lokalisering som baserar sig på observation [1]. Ett allmänt sätt att kontrollera brunnar och läckvatten i betongkulvertar har till exempel varit att observera ångan som stiger från ventilationsrören eller att iaktta ett exceptionellt isfritt ställe. Det är dock svårt att lokalisera den exakta läckpunkten på basis av iakttagelser eftersom till exempel vatten som runnit till brunnen kan ha haft en lång färdväg. Övriga metoder för lokalisering av en läcka är provgrävningar, värme- och videofotografering, jordavlyssning, korrelationssteknik och en metod för fuktkontroll som grundar sig på motståndsmätning. Den sistnämnda metoden används allmänt i Sverige. Man använder dessutom färgning av fjärrvärmevattnet, som togs i bruk i Finland i slutet av 1980-talet. Med hjälp av färg kan fjärrvärmevattnet snabbt identifieras och en läcka således konstateras.

Vid föreliggande arbete utvecklades en metod som grundar sig på temperaturvariationer, där man som temperaturgivare använder en optisk fiber som har installerats nära ledningen. Projektet inleddes med en förundersökning där man utöver temperaturgivare också undersökte användningen av fiberoptisk fuktgivare för övervakning av fjärrvärmenät och läcklokalisering. På basis av förundersökningsarbetet beslutade man testa den fiberoptiska temperaturgivaren på olika installationsobjekt. Syftet med fältförsöken var att få praktisk erfarenhet att säkra metoden för övervakning av fjärrvärmenät.

Användningen av fiberoptisk temperaturgivare för övervakning av fjärrvärmenät grundar sig på tanken att läckor (som uppkommit eller håller på att uppkomma), genom mätning av temperaturdifferenser eller -förändringar, kan detekteras redan i ett mycket tidigt skede. En förutsättning för övervakningen är att optokabeln installeras på rätt ställe. Utöver nya objekt borde man med metoden också kunna kontrollera färdigbyggda objekt, i synnerhet ledningskonstruktioner där skador förekommer oftare. I utvecklingsarbetet för den nya metoden betonades valet av rätt installationsställe och utveckling av installationsmetoderna.

Fältförsöken omfattar fyra objekt: Tavastehus Energi AB, Kuopio Energi, Esbo Elektriska AB och Tammerfors stads elverk. Installationerna bestod av gamla betongkulvertar. Esbo Elektriska AB utgjorde ett undantag med ett modernt fjärrvärmerör som byggdes bredvid den gamla betongkulverten.

Vid montaget av fiberoptiken prövades olika metoder. Optokabeln infördes i betongkulverten med hjälp av gamla dataöverföringskablar eller monterades på botten av det nedre elementet med en robot med samt ovanför kulverten i en fåra i marken. Optokablarna i nybyggnadsobjektet fästes på sidorna av betongkulverten samt ovanpå fjärrvärmerörets mantel.

Forskningsprojektet genomfördes av IVO Teknologicenter. Huvudansvariga för projektet var Marja Englund, som utöver metodutvecklingen svarade för projektchefens uppgifter, Paavo Patrikainen, som svarade för temperaturmätningarna i fältförsöken och Timo Lappalainen, som i projektets slutskedet justerade temperaturkurvor, och planritningar och sammanställde slutrapporten.

Energiverken svarade för installation av optokablarna. Vid planering av montage och tolkning av mätresultat utnyttjades de deltagande energiverkens expertis.

Projektet har finansierats av Teknologiska utvecklingscentralen i Finland (TEKES), medlemsföretagen i Finska Fjärrvärmeföreningen rf och Svenska Fjärrvärmeföreningen

Ledningsgruppen för projektet var sammansatt på följande sätt:

Veli-Pekka Sirola	Finska Fjärrvärmeföreningen rf
Heikki Kotila	Teknologiska utvecklingscentralen i Finland (TEKES)
Ture Nordenswan	Svenska Fjärrvärmeföreningen
Rauli Saarela	Åbo Energi AB
Pekka Viitanen	Tammerfors stads elverk
Jorma Kukkonen	Varkauden Aluelämpö Oy
Tapio Keränen	IVO Generation Services Ltd
Tauno Pirttimaa	Esbo Elektriska AB
Markku Reinistö	Vanda Energi AB
Olli Lindstam	Lahti Energia Oy
Seppo Partanen	Kuopio Energi
Heikki Aarnio	Jyväskylän Energia
Pekka Laaksonen	Tavastehus Energi AB

2. STRUKTUR OCH EGENSKAPER I EN OPTISK FIBER

Funktionen i en optisk fiber grundar sig på ljusbrytning och ljusreflexion på gränsskiktet mellan två ämnen. Fibern består av två skikt, kärna och skal (bild 1). Fibern förses dessutom redan i tillverkningsfasen med ett skyddande hölje, en primärbeläggning vars material beror på den optiska fiberns funktionsförhållanden. Brytningsindexet för kärnan är större än för höljet. När infallsvinkeln för ljusstrålen som når fibern är tillräckligt liten i förhållande till fiberaxeln (bild 1), sker en totalreflexion på gränsskiktet mellan kärna och skal och ljusstrålen rör sig framåt i fiberkärnan.

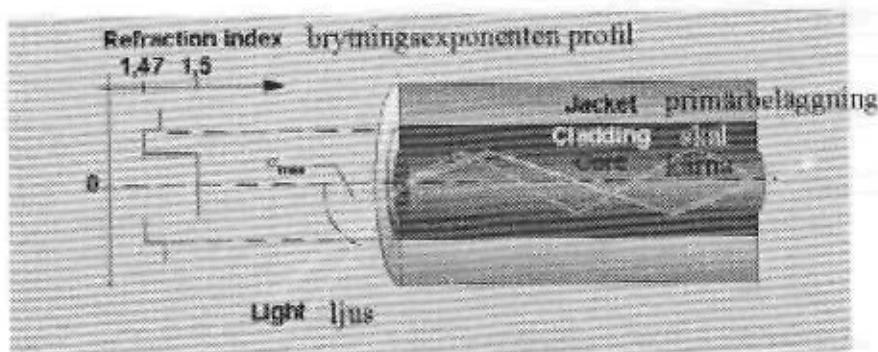


Bild 1. Struktur och funktionsprincip för en optisk fiber.

De optiska fibrer som används i dataöverföring är huvudsakligen tillverkade av kvartsglas (SiO_2). I mindre krävande tillämpningar med hänsyn till de optiska egenskaperna (t ex korta transportavstånd) kan man också använda fibrer med en kärna av glas och ett skal av plast. Erforderlig skillnad för brytningsindexet mellan kärnan och skalet uppnås genom att ett lämpligt tillsättningsämne, t ex germaniumoxid (GeO_2) blandas i glaskärnan. Värdet för en typisk brytningsindex i kärnan är 1,46 och skillnaden i brytningsindexet i förhållande till skalskiktet 0,5 - 1% [4].

Fibrerna indelas enligt en brytningsindexprofil, som påverkar ljusets färdväg, i en- och flerformiga fibrer. Det finns flerformsfibrer med stegvis brytningsindex och graderad brytningsindex (bild 2). I en fiber med stegvis brytningsindex ändras brytningsindexet språngartat på gränsskiktet mellan kärnan och skalet. Eftersom diametern för kärnan är betydligt större än den använda ljusvåglängden, breder många olika former ut sig i fibern, och var och en reflekterar från olika vinklar. I en fiber med stegvis brytningsindex ändras brytningsindexet i kärnan stegvis mot skalet i samma riktning som den vinkelräta strålen. Härvid bryts ljusstrålarna småningom och de reflekterar inte skarpt. Även i en fiber med stegvis brytningsindex går ljuset framåt i flera olika former, dock så att ljushastigheten är större i kanterna än i mittdelen. Dimensionerna för de viktigaste flerformiga fibrerna (kärndiameter/skaldiameter) som numera är i bruk är: 50 μm /125 μm , 62,5 μm /125 μm ja 100 μm /140 μm . Diametern för en likformig kärna är så liten och brytningsindexet sådan att bara en form går framåt på den använda våglängden. De vanligaste dimensionerna för en likformig fiber är 9 μm /125 μm [4].

I samband med tillverkning av fibern skyddas fibern med en primärbeläggning som i fråga om en dataöverföringsfiber i allmänhet är akrylat. Övriga allmänt använda beläggningsmaterial är polyimid, aluminium, guld och nickel. Diametern för den vanligaste primärbeläggningen är cirka 250 μm .

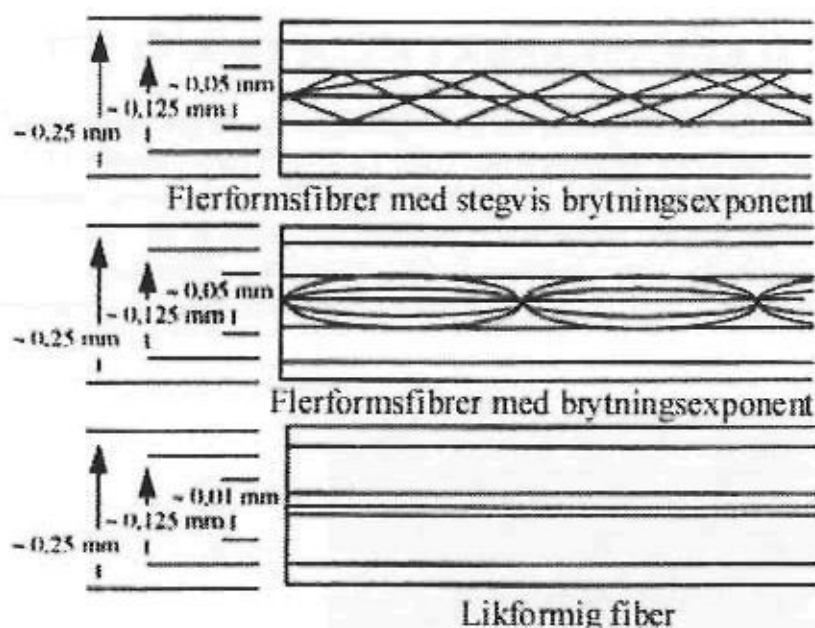


Bild 2. Grundstrukturerna för en- och flerformiga fibrer.

3. OPTISK FIBER SOM GIVARE

När man använder optisk fiber som givare väljer man fiber inklusive skydd och installations-sätt så att den storhet som skall mätas kommer att påverka ljusets färdväg i fibern.

Dämpningen av ljuset i fibern beror huvudsakligen på absorption och dispersion. Egenskaper-na i fibermaterialet inklusive orenheter orsakar ljusabsorptionen. OH-ionerna i dataöverfö-ringsfibrerna är de viktigaste orenheter som leder till att ljuset absorberas. Spridningen inne-bär reflexer åt alla håll beroende på mikroskopiskt små skillnader i brytningsexponenterna. Ljusabsorptionen i en fiber som tillverkats av kvartsglas beror på våglängden. Också makro-avvinklingarna i fibern (radie $\gg 1$ mm) och mikroavvinklingarna (radie < 1 mm), väte och radioaktiv strålning ökar dämpningen. Temperaturförändringarna inverkar dessutom på ljus-spridningen i fibern. Man försöker i mättillämpningarna utnyttja effekten av ljusets färdväg i fibern.

En fiber som är tunn och böjlig går att föra in i olika konstruktioner för kontroll av deras sta-tus till exempel i fråga om temperatur, fukt, kemiska och mekaniska förändringar. I bild 3 har den optiska fibern gjutits in i en betongkonstruktion. Fibern kan installeras på samma sätt i en plastskyddad ledningskonstruktion för ett fjärrvärmenät för att man skall kunna kontrollera till exempel uppkomna läckor eller fuktig isolering.

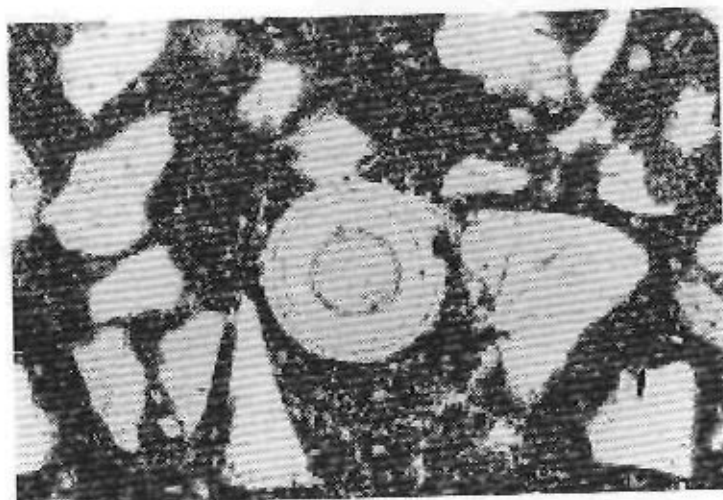


Bild 3. Optisk fibergivare ingjuten i en betongkonstruktion.

3.1. Att mäta temperaturen med en optisk fiber

Kommersiella system för temperaturmätning som använder långa optiska ljusfibrer som givare grundar sig på mätning av ljusåterspridningen. Baskomponenter i mätsystemet är ljuskällan, ljusdetektorn och den optiska fibern, som fungerar som en temperaturgivare. Mätapparaten innehåller dessutom den optik, elektronik och programvara som behövs för mätningarna.



Bild 4. Baskomponenterna i mätsystemet.

En optisk fiber som används som givare installeras i mätobjektet. Mätapparaten sänder en kort ljusimpuls till fibern. En liten del av det framskridande ljuset reflekteras tillbaka till början av fibern. Den reflekterande ljussignalen beror på temperaturen i fibern. En noggrann spridningspunkt definieras med ljusimpulsens hastighet.

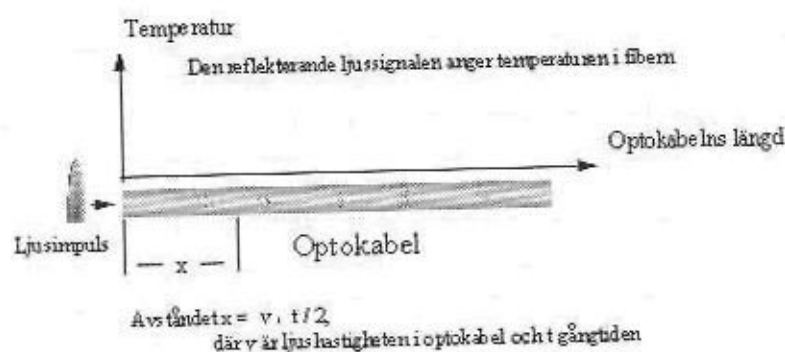


Bild 5. Principen för temperaturmätning.

Med en fiberoptisk temperaturmätarapparat som grundar sig på reflexion kan man alltså mäta temperaturprofilen för den installerade fibern (och via detta mätobjektet) som en funktion för tid och avstånd (t ex med 1 m avstånd). Den optiska fibern kan vara en temperaturgivare som är flera kilometer lång och hela vägen fungerar som ett mätelemt. En betydande fördel med systemet jämfört med andra system är att en lång optisk fiber kan ersätta tusentals enstaka temperaturgivare.

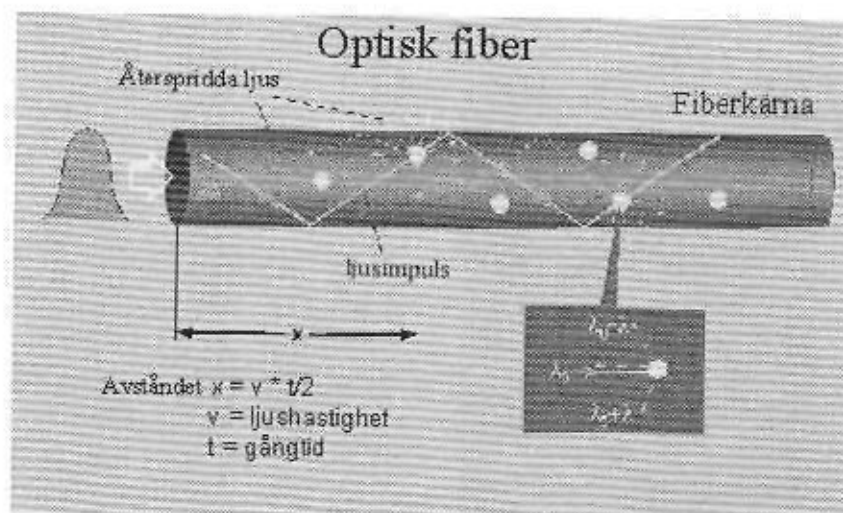


Bild 6. Återspridning av ljuset i fibern.

Man känner för närvarande till apparater från två olika tillverkare (DTS800-systemet, YORK Technology Inc. och Hitachi Cable, Ltd.), bådas funktion grundar sig på mätning av reflexer. Apparategenskaperna är mycket likartade.

Tillverkaren har som precision för DTS800-mätsystemet angett $\pm 0,3^\circ\text{C}$ för en högst 4 km lång givarfiber inom temperaturområdet $-5^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$. Mättiden, fiberlängden och intervallen för provtagning inverkar på temperaturupplösningen. I typiska mätningar används upplösningen $\pm 1^\circ\text{C}$, då mättiden för en 4 km lång fiber blir 36 s, när man som intervall för provtagningen (i fibern) har valt ca 1 m.

Platsupplösningen för mätningen anger det nödvändiga avståndet för att särskilja mätpunkterna i fibern. Apparatstillverkaren anger $< 1,3$ m som platsupplösning. Man kan dock som provtagningsintervall för mätapparaten välja 0,25 m, då man får information om temperaturen i fibern med 0,25 m intervaller. Mätresultaten av mätpunkter för givarfibrer som är närmare än 1,3 m från varandra är på grund av platsupplösningen inte helt oberoende av varandra. Det uppstår fel i synnerhet när temperaturen för punkter som står bredvid varandra är mycket avvikande. Man får precision i platssepareringen genom att öka antalet fibrer i mätpunkten eller genom att mäta de fibrer som rör sig fram och tillbaka i samma kabel och jämföra motsvarande ställen sinsemellan.

Till mätapparaten kan samtidigt anslutas en till fyra givarfibrer (kan utvidgas till 6 kanaler). Givarfibern kan under mätningen vara fäst vid mätapparaten med ena ändan eller båda ändarna. En temperaturmätning som sker från båda ändarna är noggrannare än en mätning som sker från en ända. Mätningen från båda ändar kan dessutom ske trots att fibern brister.

Som givarfiber används den i datakommunikation allmänt använda flerformiga fibern av germaniumblandat kvartsglas. Diametern för fiberkärnan är $50\ \mu\text{m}$ och diametern för skalet $125\ \mu\text{m}$. Den totala diametern för fibern beror på tjockleken av skyddshöljet som har lagts till skalet. Totaldiametern är normalt cirka 0,2 mm - 1 mm.

Mätområdet för apparaten är $-200 \dots +500^\circ\text{C}$ beroende på beläggningsmaterialet för den fiber som använts som givare. De allmännast använda beläggningsmaterialen är akrylat och polyimid. Akrylatbelagda fibrer är lämpliga i max 85°C temperaturer. Polyamidbelagda fibrer kan användas ända till $+350^\circ\text{C}$. I heta temperaturer används i allmänhet fibrer med metallbeläggning (t ex fibrer med guldbeläggning tål enligt tillverkarna minst $+600^\circ\text{C}$ temperaturer och nickelöverdragna fibrer $+750^\circ\text{C}$).

3.2. Optokablar lämpliga för temperaturmätning

Vid temperaturmätningar kan olika optokablar, som är avsedda för ute- och innebruk, användas. Kablarna avviker från varandra bland annat genom dimension, vikt, fibertyp, antal fibrer och interna struktur. Kabeltypen väljs med hänsyn till installationsobjektet. De armerade kablarna (förstärkta med metallkonstruktion), som är avsedda för krävande jord- och vatteninstallationer, är starka till sin konstruktion och passar väl för krävande installationsobjekt. De kablar som skaffas för mätändamål kan (i anskaffningsskedet) definieras utgående från de specialfibrer som finns för mätbehovet och därtill ett nödvändigt antal dataöverföringsfibrer (för andra ändamål).

I fråga om övervakning av fjärrvärmenätet måste kabeln tåla bland annat normal återfyllning, fukt och rörelser i marken som orsakats av tjäle, så det naturliga valet med tanke på hållbarheten är en jordkabel.

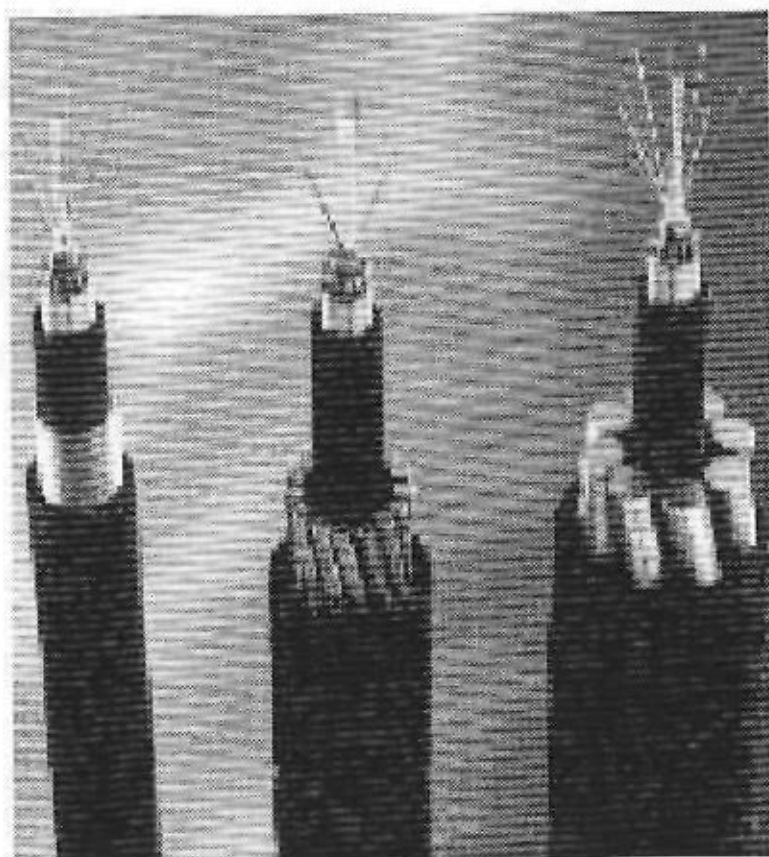


Bild 7. Optokablar som lämpar sig för markinstallationer.

Också mätmetoden ställer krav på valet av kabel. Användningen av en fiberoptisk temperaturgivare för övervakning av fjärrvärmenät grundar sig på tanken att läckorna som har uppstått eller uppstår kan iakttas redan i ett mycket tidigt skede genom mätning av temperaturdifferenser eller temperaturförändringar. Ett viktigt kriterium för val av kabel är värmeöverföringen från objektet till den optiska fibern. En god värmeöverföring från omgivningen till fibern, som fungerar som mätgivare, får man med en fiber som har förts in i ett metallrör med cirka 1 mm diameter. En dylik specialkonstruktion används bland annat i de temperaturfibrer som installeras i jordkablar avsedda för kraftöverföring. Fibern inne i metallröret har en snabb temperaturreaktion och ett ganska gott mekaniskt skydd. Metallrörsfibrer har använts för att mäta temperaturer i betongkonstruktioner under gjuttiden.

3.3. Strukturen för en temperaturgivare

I allmänhet används en tvåfibrig kabel i mätningarna. Genom att fästa fibrerna i den ena ändan får man en mätgivare som är lätt att installera. Fiberfogen skyddas med ett lämpligt skydd som passar en jordinstallation.

Bild 8 visar strukturen för en temperaturgivare som har tillverkats av en tvåfibrig optokabel. Man kan dessutom använda olika mellankablar i mätningarna genom vilka mätapparat och givarkabel kan sammanfogas.

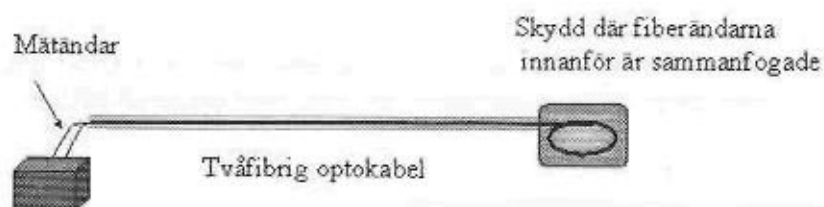


Bild 8. Konstruktionen för en temperaturgivare som har tillverkats av en tvåfibrig optokabel.

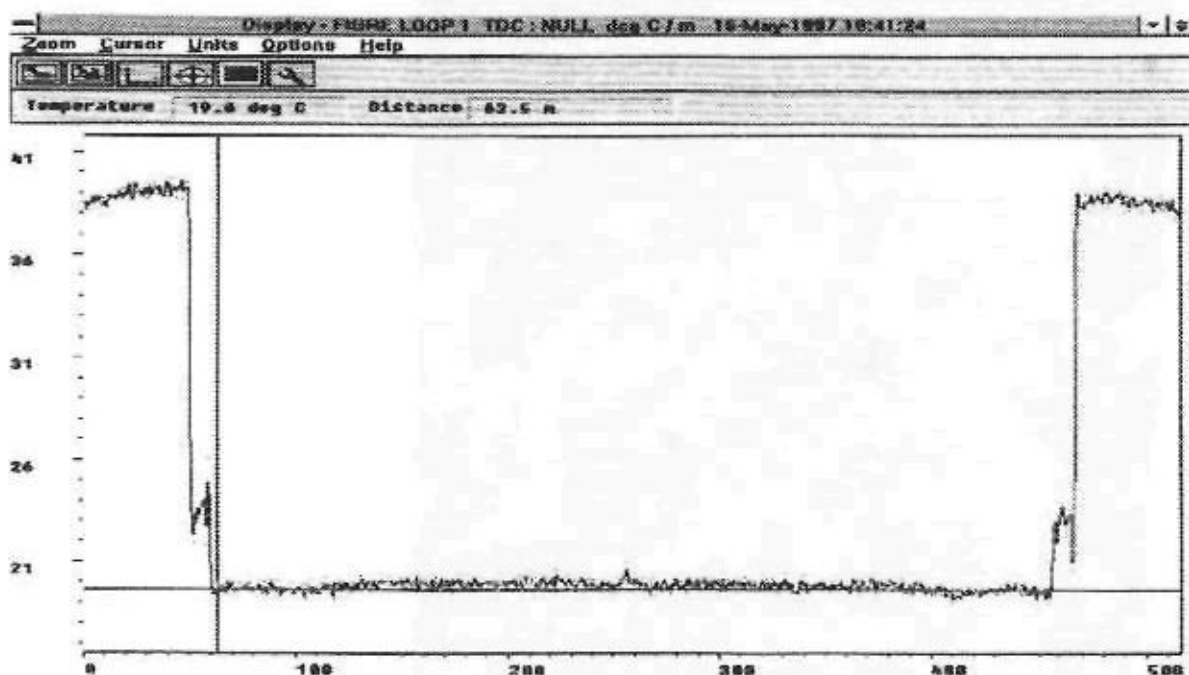


Bild 9. Temperaturkurva av en givare i rumstemperatur.

I temperaturkurvan som presenteras på bild 9 syns temperaturgivarens hela struktur. Mätkablen i exemplet är cirka 200 m. Eftersom kabeln innehåller två fibrer är mätfibers längd 2 x optokabelns längd (cirka 400 m). Svetsstället syns i mitten som en liten topp. Fibrerna i början och slutet, som syns innanför mätapparaten, har en temperatur på cirka 40 °C. Man har dessutom använt korta mellankablar, med vilka mätapparaten och givarkabeln har sammanfogats.

Bild 10 visar en temperaturkurva efter installation av kabeln. Kurvan visar temperaturfördelningen i objektet. I kurvan som finns på bild 11 syns också de testpunkter genom vilka man efter installationen säkrar mätpunkternas läge i kabeln.

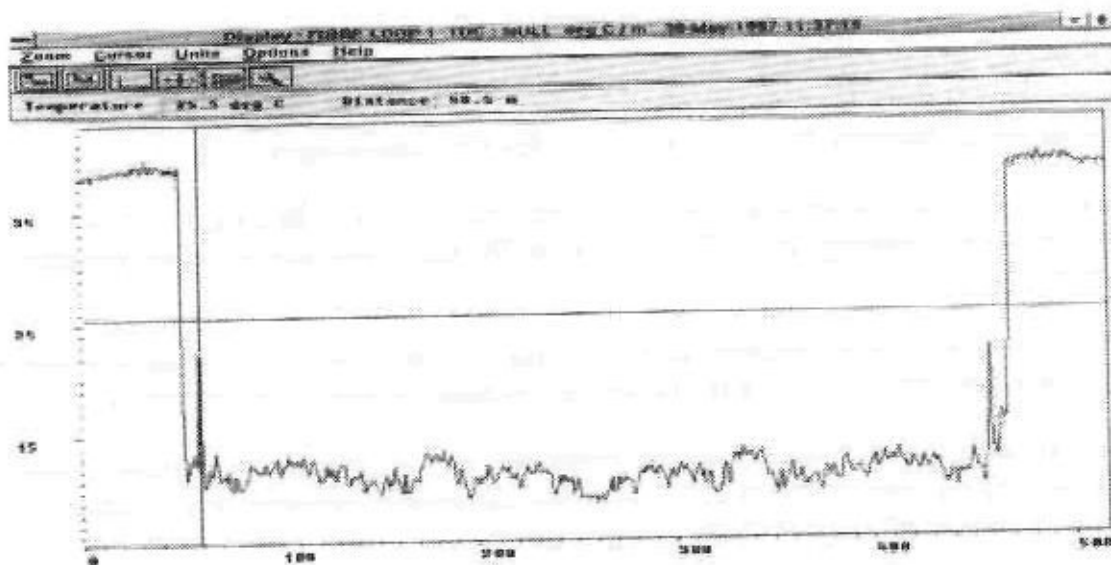


Bild 10. Kabel installerad i provobjektet. Kurvan visar provobjektets temperaturförändring vid mätpunkten.

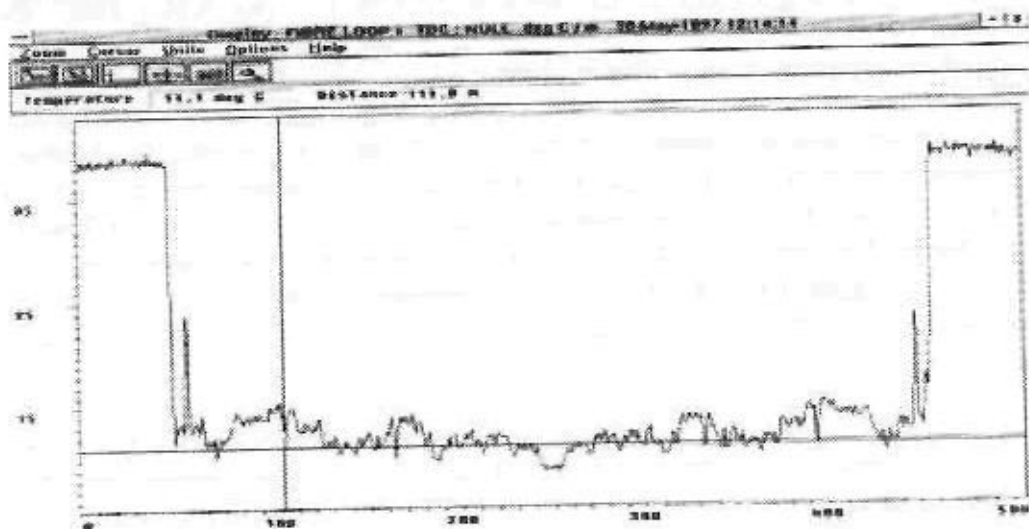


Bild 11. Nedkyld testpunkt vid ca 111 m. Med hjälp av testpunkterna säkras ställena för mätpunkterna efter installation av kabeln.

3.4. Installationsmetoder för optokabeln

Montagemetoden för optokabeln beror bl a på konstruktionerna av fjärrvärmenätet. Bland de sätt på vilka man kan installera en givarkabel är antingen ovanpå fjärrvärmeröret, mellan mantel och isolering samt i isoleringen. Givarkablarna kan också installeras genom plöjning då givarfibern mäter temperaturförändringarna som sker i marken.

Montage av fibrerna innanför manteln vid tillverkningen kan vara ett viktigt konstruktionsmoment i framtiden. Möjligheten att dra en kabel i samband med installationen borde beredas vid ledningsbyggnation. Man kan till exempel genom att installera en separat kabel utöka övervakningen i isoleringen eller under med dataöverföring. Kablarna monteras i fjärrvärmeröret i samband med installationen. Man kan vid installation av ett fjärrvärmenät, i synnerhet vid långa förbindelser, installera en draglina för kabeln i den kabelkanal som finns färdig i

ledningskonstruktionen. Fogarna kan efter installationen fästas genom svetsning av fiberändarna eller kan av lämpliga fiberadapterer, utvecklas för tillämpningen.

Man kan vid de installationer som görs ovanpå manteln montera en lång enhetlig optokabel och således undvika onödiga fogar. Extra fogar medför extra kostnader och tilläggsdämpningar i mätslingan.

Man kan också installera givarfibrer i gamla betongkulvertar i efterskott om man använder en metod med vilken fibern kan föras in i kulverten i närheten av röret eller isoleringen.

Om man vid datorövervakningen använder kablar som har konstruerats för markinstallation behövs det inga separata skydd för kablarna. Specialfibrerna kräver en separat installationsplan som tar hänsyn till installationssättet och objektet.

Det finns färdiga skydd för markinstallation av fiberns ledningsskarvar.

4. METODENS LÄMPLIGHET FÖR ÖVERVAKNING AV DE LEDNINGSKONSTRUKTIONER SOM IDAG ÄR I BRUK

En förutsättning för fiberoptisk övervakning är att optokabeln installeras på önskat ställe. Metoden förutsätter ofta att man har kännedom om ledningskonstruktionen och tar hänsyn till den redan när man väljer installationssätt så att man vid tolkning av mätresultat kan beakta eventuella temperaturväxlingar och ändringar som beror på konstruktionen. Skadans art och orsakerna till den påverkar också valet av installationssätt och -ställe för den optiska fibern för lokalisering av skadan. Ett viktigt område med tanke på övervakningen är utöver de nya objekten de redan färdigbyggda, i synnerhet de ledningskonstruktioner där skador förekommer oftare. I utvecklingsarbetet för den nya metoden satsades just därför på utveckling av installationsmetoderna.

De mest problematiska ledningstyperna sett ur skadesynvinkel är sådana som har ett rörligt medierör. Typiska skadeorsaker i en hålrörskonstruktionen är otäta fogar i manteln och olika ytskador. Det största problemet i konstruktionen är att skadan sprids i ledningskonstruktionen, vilket ökar reparationskostnaderna betydligt. Fastän man i allmänhet inte längre bygger denna ledningstyp är den fortfarande i bruk. Största delen av skadorna i hålrörskonstruktionerna iakttas via vattenströmningen genom konstruktionen till brunnar eller på basis av det vatten som samlas i fjärrvärmecentralerna. En närmare lokalisering av skadan sker i allmänhet med hjälp av provgrävning. För lokaliseringen används också termografering och ytemperaturmätning. Lokalisering av det skadade stället är dock svårt eftersom ett långvarigt läckage har kunnat väta polyuretanisoleringen på ett stort område.

Att använda en optisk temperaturgivare för övervakning av en hålrörskonstruktion eller att lokalisera det skadade stället förutsätter att man monterar optokabeln nära ledningskonstruktionen. Man kan som installationsmetod använda en kabelfåra om läget gör ett sådant installationssätt möjligt. Att lokalisera det skadade stället är svårt också med denna metod eftersom vattnet som flödar mellan rör och isolering väter isoleringen på ett stort område. En bättre lokalisering skulle förutsätta att optokabeln skulle monteras alldeles på ytan av ledningskonstruktionen eller i isoleringen vilket knappast är möjligt då en dylik konstruktion inte längre används i nybyggnadsobjekt.

De vanligaste orsakerna till skador på moderna fjärrvärmerör är en otät skyddsfog eller en bristfällig fogisolering. Mantel, isolering och medierör bildar ett fast förband varför korrosionen, när isoleringen och skyddet går sönder, begränsas till ett litet område. Läckorna observeras i allmänhet som ett varmt, isfritt eller torrt område på marken. Ifall läckstället inte är tydligt använder man termografering eller en ytemperaturmätare för lokaliseringen. Stället kan dessutom kontrolleras genom provgrävningar.

Optokabeln kan monteras på ytan av fjärrvärmeröret i nybyggnads- och renoveringsobjekt och man kan då med hjälp av kabeln iakttä förändringar i ytemperaturen med ungefär en grads noggrannhet. Metoden kan, om den installeras på detta sätt, utöver att den lokaliserar en läcka likaså användas som en värmekamera vid kontroll kvaliteten på ett nätbygge, till exempel vid kontroll av fogisoleringar. Det som orsakar korrosion i dessa ledningskonstruktioner har i allmänhet varit vatten utifrån som kommit in i konstruktionen på grund av en skada i skyddet. Värmeisoleringsförmågan för isoleringen som har blivit fuktig av vatten utifrån blir svagare varför en skyddsskada eventuellt också kan observeras genom temperaturmätning som görs ovanpå röret.

Bland de mest betydande orsakerna till skador i betongkulvertar kan nämnas att den inre vattenavrinningen hindras på grund av en marksättning samt otäta betonggjutningar och elementfogar. De flesta skador har uppkommit som en samverkan av en eller flera orsaker. Största delen av skadorna observeras på basis av läckvatten som samlas i tappningsbrunnarna. Lokaliseringen av en läcka sker i första hand med hjälp av en provgrävning och observation av markytan (t ex isfria ställen på marken).

Man kan montera en optisk kabel t ex i en fåra ovanpå en betongkulvert eller inne i kulverten. Det eventuella installationssättet beror bl a på omgivningen där kulverten är belägen.

I detta projekt utgjorde gamla betongkulvertar provobjekt. Optokablarna installerades i dessa genom tre olika metoder: genom en fåra på kulvertytan, inne i kulverten där man använde en gammal dataöverföringskabel som draglina och med hjälp av en robot. Dessutom installerades en optokabel i ett nybyggnadsobjekt bredvid ledningskonstruktionerna och på ytan av fjärrvärmeröret.

5. INSTALLATIONER AV OPTOKABLARNA OCH MÄTNINGAR I PROVOBJEKTEN

5.1. Tavastehus Energi AB:s provinstallationsobjekt

Tavastehus Energi AB:s provinstallationsobjektet var en betongkulvert som byggts år 1981 med rördimensionen DN 500. Betongkulverten har byggts vid sidan av ett gatuområde.

Man har använt räfflor av mineralullsskålar som isolering av stålrören. På ledningssträckan där den optiska fibern är installerad finns en fixpunkt och en bälgkompensator. Det finns stöd cirka var åttonde meter. Täckningen för betongkulverten varierar mellan 0.6...1.0 meter.

5.1.1. Installation av optokabeln

Den optiska fibern installerades i botten av betongkulverten med hjälp av en robot. Kabeln är av typ tvåfibrig fältkabel med en yttre diameter på cirka 6 mm. Roboten som användes vid installation av draglinan var en cirka 20 cm lång och 10 cm bred minitraktor som drar en tunn vajer och en kamerakabel efter sig. Den används normalt för fotografering av isoleringar och svetsfogar och för lokalisering av läckstället. En nackdel med metoden är de stenar och sönderrivna isoleringar på botten av betongkulvertarna som hindrar roboten att gå framåt i kulverten.

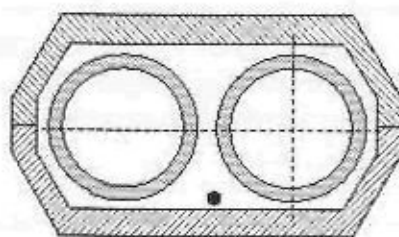
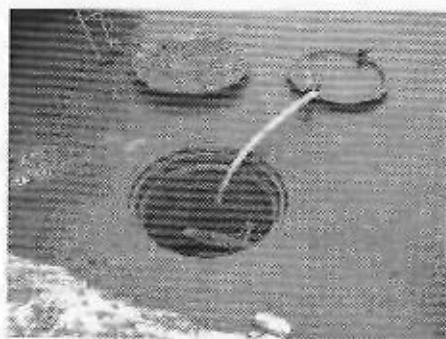


Bild 12. Optokabeln installerades i betongkulverten.



Bild 13. Optokabelns mätändar var placerade i avtappningsbrunnen.

Den installerade optokabeln sträcker sig från den första avtappningsbrunnen på Puusepänkatu (Snickaregatan) till luftningsbrunnen i hörnet av Vanajantie (Vanajavägen) och Puusepänkatu. I samband med installationen videofilmade man kulverten på videokassett och då observerades sand, stenar och annat skräp på botten av kulverten. Den kunde därför dras bara cirka sextiotre meter framåt.

5.1.2. Temperaturmätningar

Temperaturfördelningen på nätdelen mättes i januari och februari 1998. Man mätte inte temperaturen för fram- och returvattnet under någondera mätgången. Variationsvidden för temperaturerna i temperaturkurvan är cirka tio grader. Maximitemperaturen är cirka +24 °C och

minimitemperaturen cirka $+14^{\circ}\text{C}$. Temperaturerna har knappast alls förändrats mellan mätstillfällena. Optokabelns mätändar var placerade i avtappningsbrunnen.

I temperaturkurvan på bild 14 syns temperaturuppgifterna för fibern i hela dess längd (inklusive fibrerna inne i apparaten och fibrerna i mellanstyckena). I mitten syns en temperaturtopp som beror på svetsfogen. Temperaturen för givarkabeln som installerats i objektet syns två gånger på kurvan eftersom det finns två fibrer inne i kabeln. På bild 15 syns temperaturen för fibern (den andra) som är i givarkabeln och som motsvarar installationsobjektets temperatur.

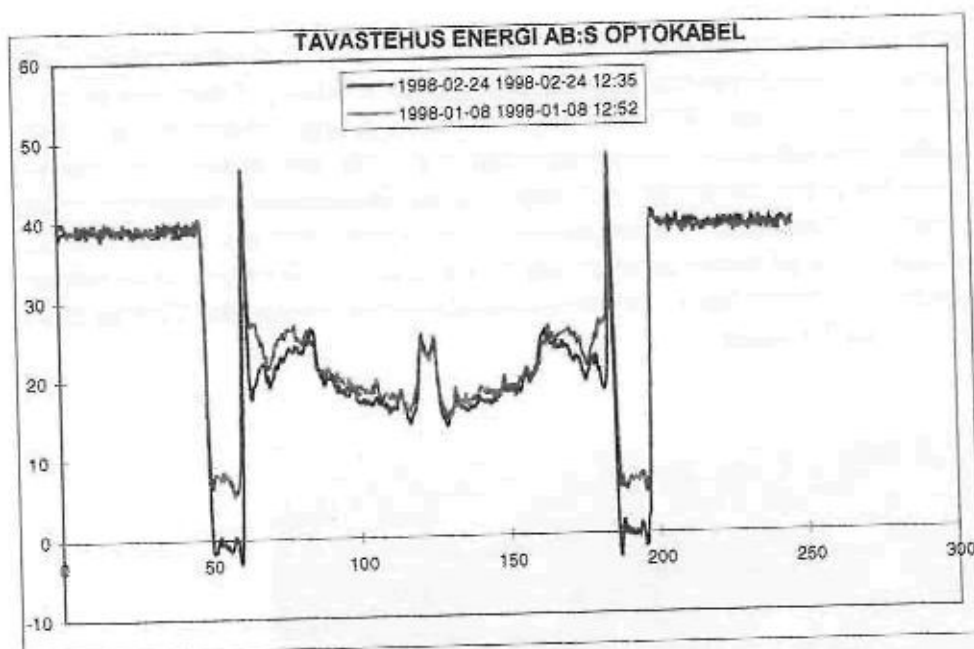
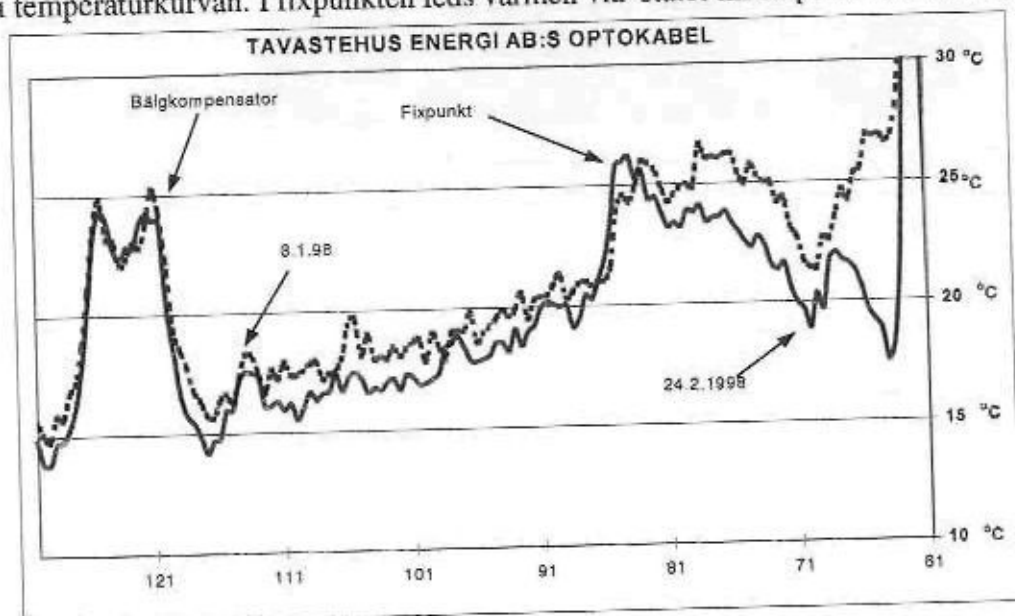


Bild 14. Mätresultat för temperatur i januari och februari i Tavastehus Energi AB:s provinstallationsobjekt. På bilden syns fiberns hela längd

Bild 15. Mätresultat för temperatur i januari och februari i Tavastehus Energi AB:s fältförsök. På bilden har endast en fiberlängd undersökts.

Fixpunkten och bälkompensatorn (bilderna 14 och 15) framträder tydligt som varma punkter i temperaturkurvan. I fixpunkten leds värmen via stålet till fixpunktelementet och vidare till



marken. En svagare eller bristfälligare isolering i bälgkompensatorn leder i sin tur till att fibern blir uppvärmd. Temperaturstegringen, som orsakas av styrning och stöd, kan inte iaktas på temperaturkurvan. (Mätuppgifterna för temperaturen finns också i den bifogade planritningen).

5.2. Kuopio Energis provinstallationsobjekt

Kuopion Energias undersökningsobjekt var en betongkulvert som byggts år 1976 med rör DN 200. Betongkulverten är byggd på gatumark.

Som isolering för stålroren har använts mineralull- och polyuretanskålar. Ledningsdelen, där optokabeln är installerad, har sju fixpunkter både i fram- och returledning. Fram- och returledningen är fäst vid fixpunkterna med 400 mm långa stålplåtar. Bägge ledningarna är också fästa vid armeringsstålet med stålplåtar. Fixpunktsavståndet är cirka femtio meter. Bälgkompensatorer och styrning har också installerats vid fixpunkterna. Isoleringen i bälgkompensatorerna är tunnare än normalt. Ledningarna innehåller också stöd med cirka sex meters mellanrum. Stöden har svetsats direkt på botten av röret och de går genom isoleringen då de stöder på botten av betongkulverten. Ståldelarna i stöden och styrlagren är oisolerade. Täckningen för betongkulverten är cirka 0.7 meter.

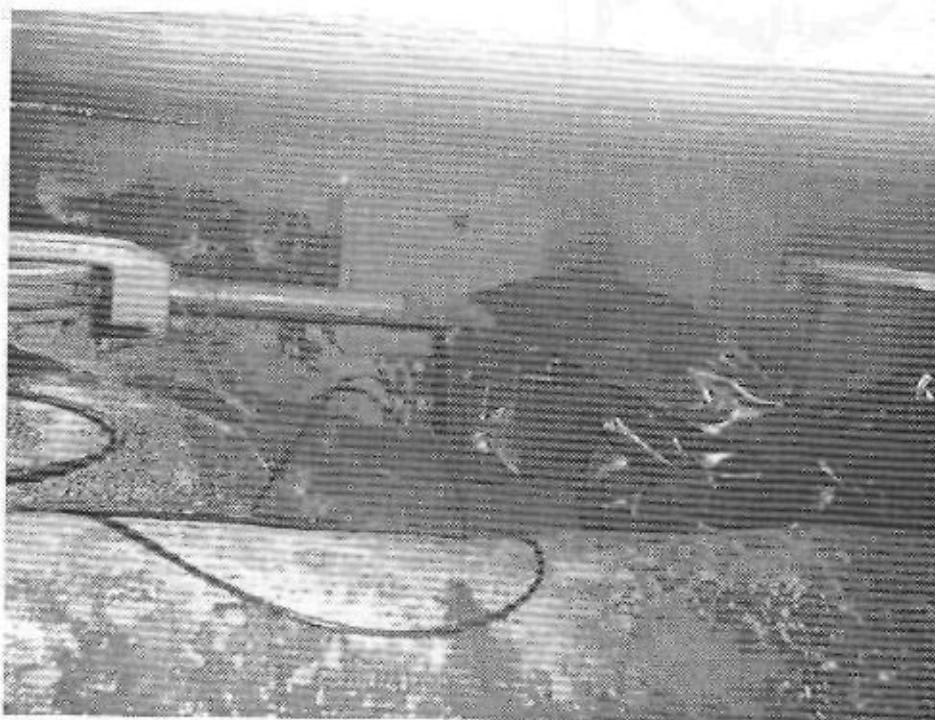


Bild 16. Optokabeln installerades inne i betongkulverten. På bilden syns en reparerad fog i ändan av givarkabeln som temporärt har skyddats med svart plast efter installationen. Bilden visar brunn 610 inifrån.

5.2.1. Installation av optokabeln

Den optiska fibern installerades i botten av betongkulverten mellan brunnarna 607 och 610 med hjälp av gamla dataöverföringskablar. Avståndet mellan brunnarna är 340 m. Den optiska fibern är av typ tvåfibrig fältkabel. Mätandarna finns i brunn 610.

I samband med installationen brast mätändarna på fibern och de måste skarvas genom svetsning. Det kan ha uppstått skador också när man drog kabeln in i betongkulverten. Det förekommer därför exceptionellt mycket brus i fibern.

5.2.2. Temperaturmätningar

Temperaturfördelningen mättes den 14 januari 1998. Temperaturen för fram- och returvattnet registrerades inte. Temperaturvariationerna är cirka nio grader när maximitemperaturen är cirka $+17^{\circ}\text{C}$ och minimitemperaturen cirka $+9^{\circ}\text{C}$. Temperaturvariationen är stor och det är därför svårt att i fjärrvärmenätet urskilja heta punkter, såsom fixpunkter och bälgkompensatorer. Man borde också bättre kunna identifiera den optiska fibern och fjärrvärmerören till exempel med köldspray.

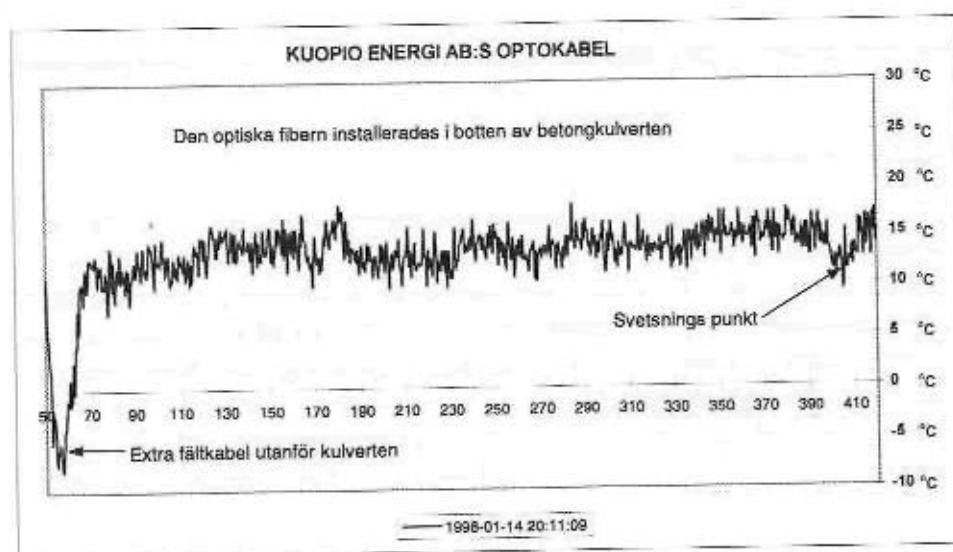


Bild 17. Uppgifterna för temperaturmätning i januari 1998 i Kuopion Energia Oy:s provinstallationsobjekt.

5.3. Esbo Elektriska AB:s provinstallationsobjekt

Esbo Elektriska AB:s undersökningsobjekt var en gammal betongkulvert där rören var DN 500 samt ett nytt DN 600 fast fjärrvärmerör som har byggts bredvid den gamla betongkulverten. Betongkulverten och det nya fjärrvärmeröret har installerats på cirka en meters avstånd från varandra. Rörsystemet ändrades så att rören i den gamla betongkulverten fungerar som returrör och det nya fjärrvärmeröret som framledning ända till pumpstationen i Södrick. Den gamla betongkulverten är uppförd år 1978 och det nya fjärrvärmeröret byggdes på hösten 1997. Ledningskonstruktionerna finns i Esbo centralpark, på området mellan Bolarsvägen och Södrick där pumpstationen är beläget. En grusbelagd friluftsled är anlagd ovanpå fjärrvärmekulvertarna.

Man har använt mineralullsskålar som isolering i den gamla betongkulverten. I den nya ledningskonstruktionen är isoleringen polyuretan, som skyddas utanpå av ett mantelrör som är tillverkat av synnerligen hård slagtålig polyeten. Stålröret och mantelröret av polyeten fästs fast vid varandra under tillverkningsskedet.

På installationssträckan för den optiska fibern finns det i den gamla betongkulverten tolv fixpunkter både på fram- och returledningen. Fram- och returledningen i fixpunkten har sammanfogats med en 400 mm lång stålplåt. Bägge ledningarna är också fastsatta med stålplåtar till fixpunktens armeringsstål. Fixpunktelementen av betong är en meter långa och de har installerats med cirka hundra trettio meters mellanrum. Bälghälskompensatorerna är nio. Dessa saknar isolering men de är skyddade med aluminiumplåt.

Det finns två luftningsbrunnar, en tappningsbrunn samt ett avstängnings- och tappningsställe i form av en öppen ledning på installationssträckan. Det finns stöd och styrning på cirka sex meters mellanrum i rören. De har svetsats fast direkt på röret. Styrningen har likaså svetsats fast direkt på sidan av röret eller på övre eller nedre ytan. Ståldelarna i styrning och stöd har inte isolerats. Täckningen för betongkulverten och fjärrvärmeröret är 0.5 meter i snitt. På vissa ställen går faktiskt betongkulverten ovanpå marken. Såväl betongkulverten som fjärrvärmeledningen går också över ett öppet dike.

På sträckan som består av moderna fjärrvärmerör finns en fixpunkt och två luftningsbrunnar.

5.3.1. Installation av optokabeln

I Esbo Elektriska AB:s objekt installerades tre separata optokablar, två armerade kablar avsedda för markinstallation samt en fältkabel av lättare konstruktion. Alla kablar innehöll två fibrer avsedda för temperaturmätning. I kablarna som var avsedda för fjärrvärmemarkinstallation fanns utöver temperaturfibrer fibrer för dataöverföring med tanke på kommande behov. Fältkabeln (**kabel 1**) placerades på rörets mantel så, att den slingrar sig från rörets övre yta till den nedre och tillbaka igen till den övre ytan. Man installerade cirka 200 m kabel av lätt konstruktion. Denna kabel var avsedd att registrera förändringen i ytemperaturen kring röret. Man ville särskilt registrera om skarvarna och eventuell bristfällig fogisolering syns i temperaturkurvan.

Den andra jordkabeln (**kabel 2**) placerades mellan den gamla betongkulverten och det nya fjärrvärmeröret och en tredje kabel (**kabel 3**) placerades bredvid det nya fjärrvärmeröret. Kabellängderna var 1600 och 1780 m.

Fältkabeln (**kabel 1, 200m**)
placerades på rörets mantel

Jordkabeln (**kabel 3, 1780m**) placerades
bredvid det nya
fjärrvärmeröret

Jordkabeln (**kabel 2, 1600m**) placerades
mellan den gamla be-
tongkulverten och det
nya fjärrvärmeröret

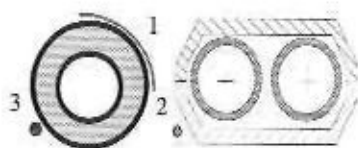


Bild 18. Installationsställen för optokablarna i Esbo Elektriska AB:s objekt.

Mätändarna för alla tre mätkablar placerades i pumpstationens innerutrymmen i Södrik.



Bild 19. Slutpunkten för kabel 2 är cirka 1780 m från pumprummet.

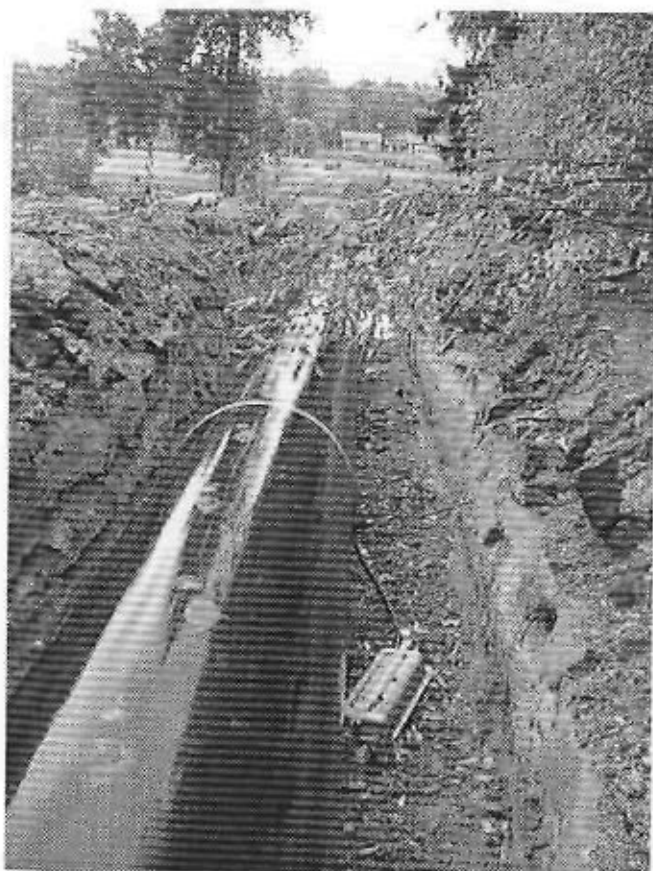


Bild 20. Slutpunkten för kabel 3 är cirka 1600 m från pumprummet.

5.3.2. Temperaturmätningar

Temperaturfördelningen i ledningskonstruktionerna mättes den 1 december 1997 och 12 februari 1998. Temperaturen för fram- och returvattnet mättes båda mätgångarna. Temperaturavvikelsena är cirka 25 °C. Maximitemperaturen är cirka +27 °C och minimitemperaturen cirka +2°C. För båda fibrerna (fibrerna 2 och 3) har temperaturnivån sjunkit med ett par grader mellan mättillfällena. Detta torde bero på att marktemperaturen har sjunkit. Temperaturkurvorna för kabel 1 finns i bilaga I.

Punkten vid 1605 m (bild 21) finns en övergång över öppet dike där temperaturen för bägge fibrerna sjunker till ungefär samma temperatur som utetemperaturen. Med hjälp av denna information lägsjusterades temperaturkurvorna med planritningarna för fjärrvärmenätet.

I temperaturkurvan för kabel 2 som var placerad bredvid den gamla betongkulverten kan man iaktta "heta" komponenter i fjärrvärmenätet, såsom fixpunkter och kompensatorer. Temperaturstegringen vid fixpunkterna beror på att värmen leds från fram- och returrören via stålplattorna till betongelementet och vidare till marken.

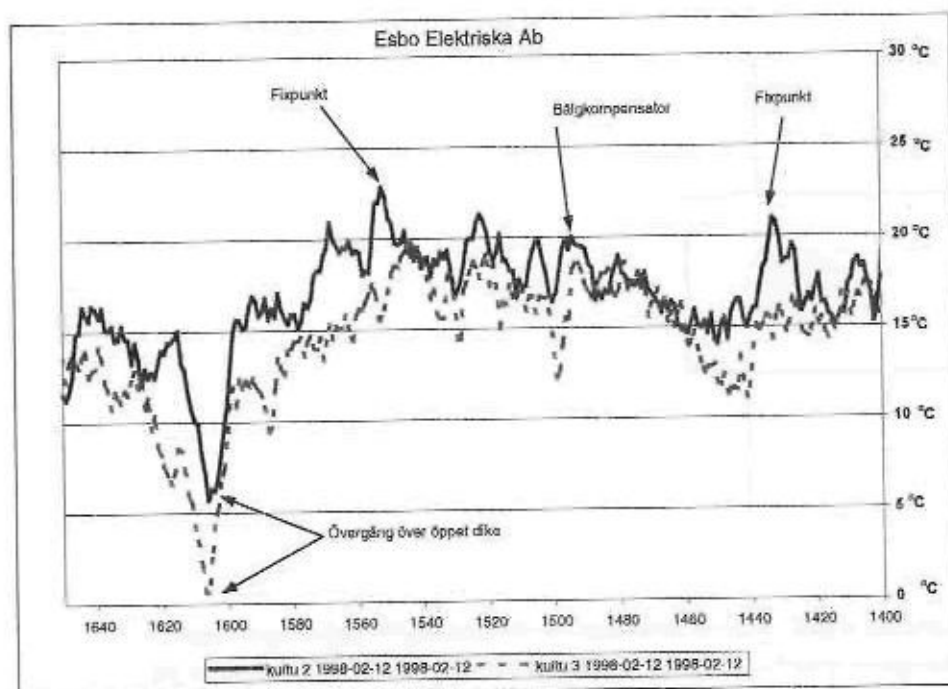


Bild 21. Temperaturfördelning för kablarna vid 1400 m... 1600 m längd.

Värmestrålningen som orsakas av de oisolerade kompensatorerna värmer upp betongkulverten vilket kan iakttas som en temperaturstegring i kurvan. I luftningsbrunnen vid 1200 m samt tappningsbrunnen vid 1135 m kan man också varsebli en temperaturstegring. Dessa högre temperaturer kan bero på att luftnings- och tappningsrören inte alls har isolerats. Man borde ändå kontrollera hur isoleringarna inne i varje brunn har gjorts. Temperaturförändringar som orsakas av fixpunkterna och bälgkompensatorerna återkommer i temperaturkurvan ända till den optiska fiberns begynnelsepunkt. Stöd och styrning som installerats med sex meters mellanrum medför ingen temperaturstegring eller åtminstone kan man inte identifiera någon i temperaturkurvan. Man kunde inte följa den ursprungliga planen vid kabelinstallationen enligt vilken kabeln skulle ha installerats alldeles bredvid betongkulverten. Man var till exempel tvungen att dra den runt brunnar och andra hinder på vägen. De små temperaturvariationerna i kurvan beror på detta.

I temperaturkurvan för kabel nummer 3, som installerades bredvid den direktskannade ledningen, kan man se en förgreningsfog och en fixpunkt som skarpa temperaturstegringar. Vid övergångar av öppet dike och betongtrummor sjunker temperaturen för kabeln nära utetemperaturen. Värmeförlusterna för den nya ledningen är, tack vare bättre isolering, mindre än värmeförlusterna för betongkulverten. Detta förklarar varför temperaturnivån på cirka tre grader är lägre än i kabel två.

5.3.3. Läckageprov i Esbo Elektriska AB:s fjärrvärmenät

Ett läckageprov i Esbo Elektriska AB:s undersökningsobjekt ordnades onsdagen den 8 april. En York mätapparat fördes föregående dag till pumpstationen i Södräk. Mätapparaten sattes i funktionsdugligt skick men datainsamlingen på hårdskivan startade inte.

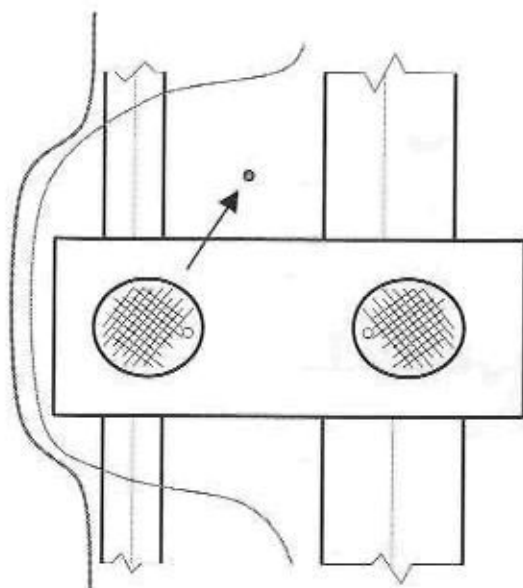


Bild 22. För läckageprovet leddes fjärrvärmevatten via stället för luftningsbrunnen in i marken mellan den gamla och nya ledningskonstruktionen (stället som pilen pekar på).

Läckageprovet inleddes på onsdag morgon klockan 09.15. Läckan simulerades så att man från luftningsbrunnen vid cirka 850 m med hjälp av en slang tappade fjärrvärmevatten i marken mellan den gamla och nya ledningskonstruktionen. Man hade fäst ett stålrör på cirka en meter i slangändan. Man gjorde först en liten grop i marken varifrån det var meningen att vattnet skulle absorberas i marken. Ett initialhål gjordes också i marken med ett järnspett på botten av gropen för att det framströmmande vattnet skulle "borra" ett hål i marken. Man kunde på detta sätt sänka slangen inklusive stålröret cirka en meter i marken. Temperaturen för fjärrvärmevattnet som hade tappats i marken var $+95^{\circ}\text{C}$, vilket framgick ur temperaturmätaren på pumpstationen. Man tappade vatten i marken i 1h 15min. Intervallen för insamlingen av data för York mätapparaten sattes till 10 min. Man upphörde inte med datainsamlingen genast efter det att läckan hade upphört utan fortsatte ännu en halv timme efter det att provet avslutats.

Kabel 3 uppvisar en tydlig temperaturstegring. Temperaturen vid ventilationsröret var i början av provet $+11,1^{\circ}\text{C}$ och maximitemperaturen under provet var $+17,2^{\circ}\text{C}$. Temperaturen steg alltså cirka sex grader som en följd av läckan. Kabel 2 för sin del uppvisade en stegring på bara cirka en grad. Vid detta ställe var temperaturen på $+16,6^{\circ}\text{C}$ även ursprungligen högre än i den övriga omgivningen. Detta beror antagligen på att temperaturen i brunnen är högre än i de övriga konstruktionerna och att kabel 2 hade installerats närmare brunnen än fiber 3. Temperaturstegringen i båda fibrerna är förhållandevis liten jämfört med temperaturen på det avtappade vattnet. Detta torde bero på att värmen, till följd av den porösa grusmarken, sprider sig snabbare till den omgivande marken. Det avtappade vattnet har troligtvis också runnit i riktning bort från de monterade fibrerna.

Bilderna 23 och 24 presenterar resultaten av läckageprovet. Bild 23 visar bara minimi- och maximitemperaturen.

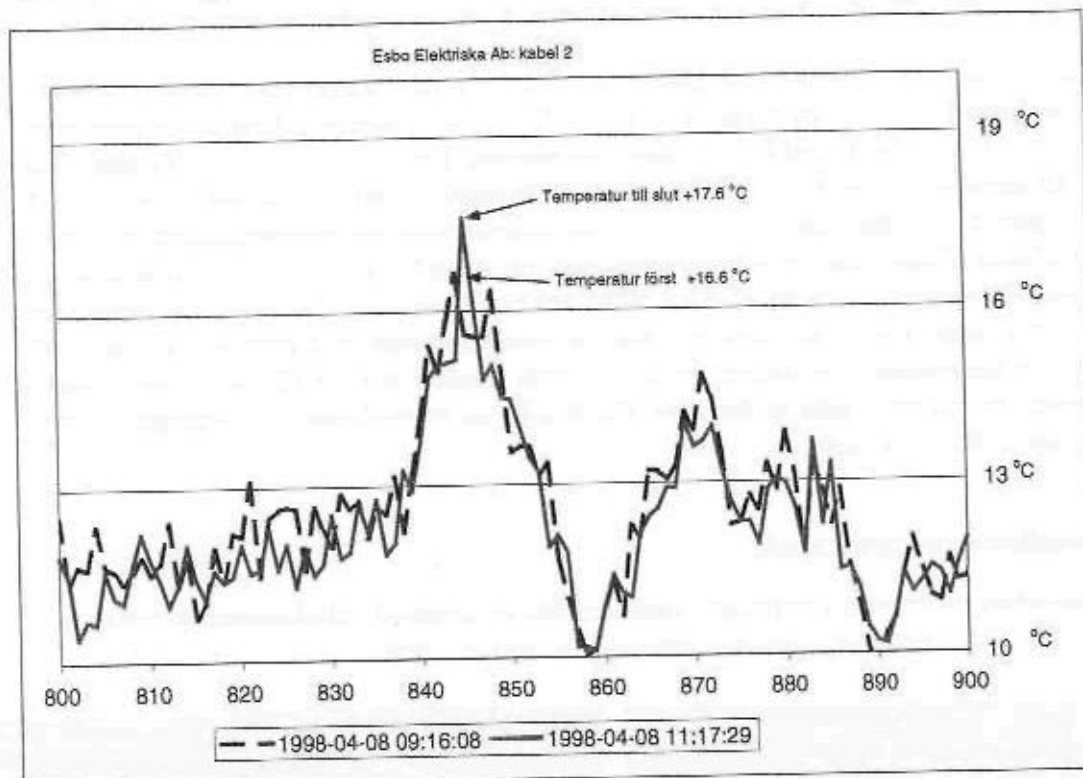


Bild 23. Temperaturkurvan för kabel 2 av det simulerade läckstället.

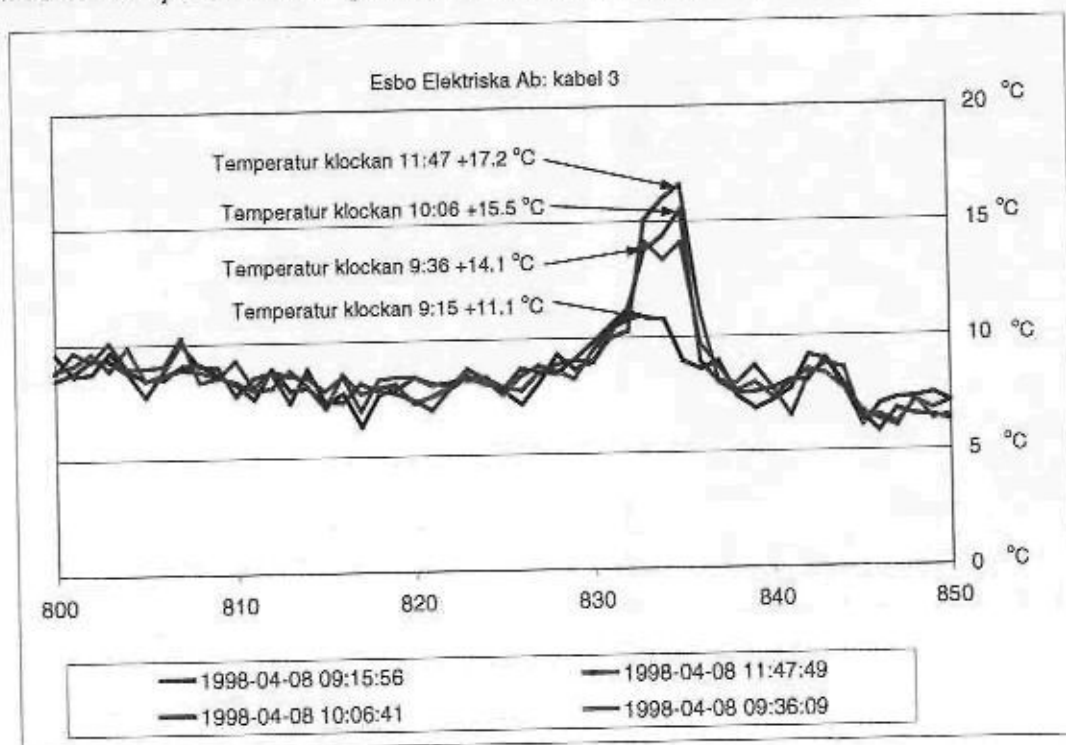


Bild 24. Temperaturkurvan för kabel 3 av det simulerade läckstället.

5.4. Provinstallationsobjekt för Tammerfors stads elverk

Provinstallationsobjektet för Tammerfors stads elverk var en betongkulvert som uppförts år 1982 med medierör DN 400. Kulvertkonstruktionen är belägen vid sidan om en järnväg.

Man har använt polyuretanskålar som isolering i stälrören. På framsträckan där den optiska fibern är installerad finns det tre fixpunkter både i fram- och returröret. Fram- och returröret i fixpunkten är sammanfogat med en 800 mm lång stålplåt. Bägge rören är också fästade med stålplåtar till armeringsstålet för fixpunkten. Installationsavståndet för fixpunkterna är 40...50 meter. Det finns tre kompensatorer. Också de har isolerats men polyuretanskålarna har inte kunnat installeras alldeles tätt intill kompensatorns yta. Man har installerat en sidostyrning vid bälghkompensatorn samt sex meter på båda sidor om kompensatorn. Det finns för övrigt styrningar på cirka trettio meters mellanrum. Man har installerat stöd med cirka sex meters mellanrum och de har svetsats fast direkt i botten av röret. Styrningen har likaså svetsats direkt på sidan av röret eller på övre eller nedre ytan. Ståldetaljerna är oisolerade. Täckningen för betongkulverten är 0.2...0.6 meter.

5.4.1. Installation av optokabeln

Vid Tammerfors energiverks fältförsök installerades en armerad kabel avsedd för markinstallation i en fåra ovanför betongkulverten ungefär 200 m framåt.

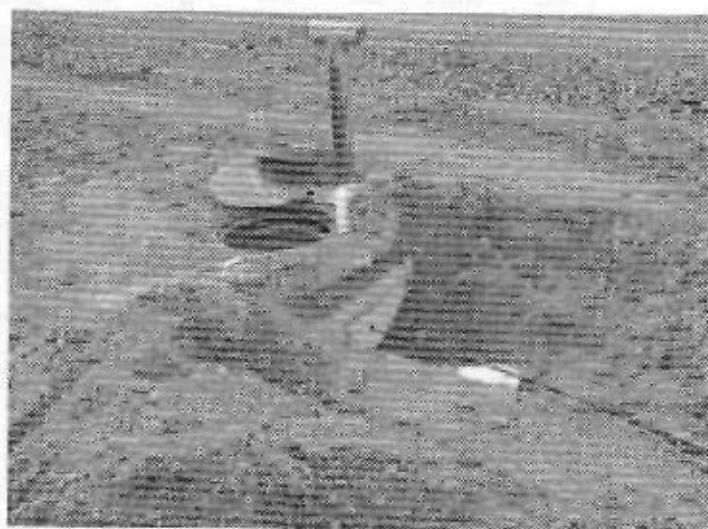
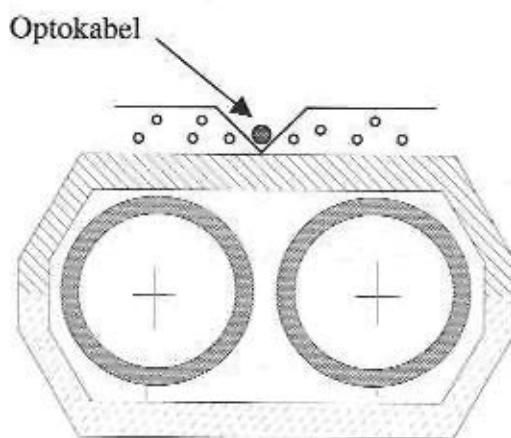


Bild 25. Kabeln installerades ovanpå kulverten.



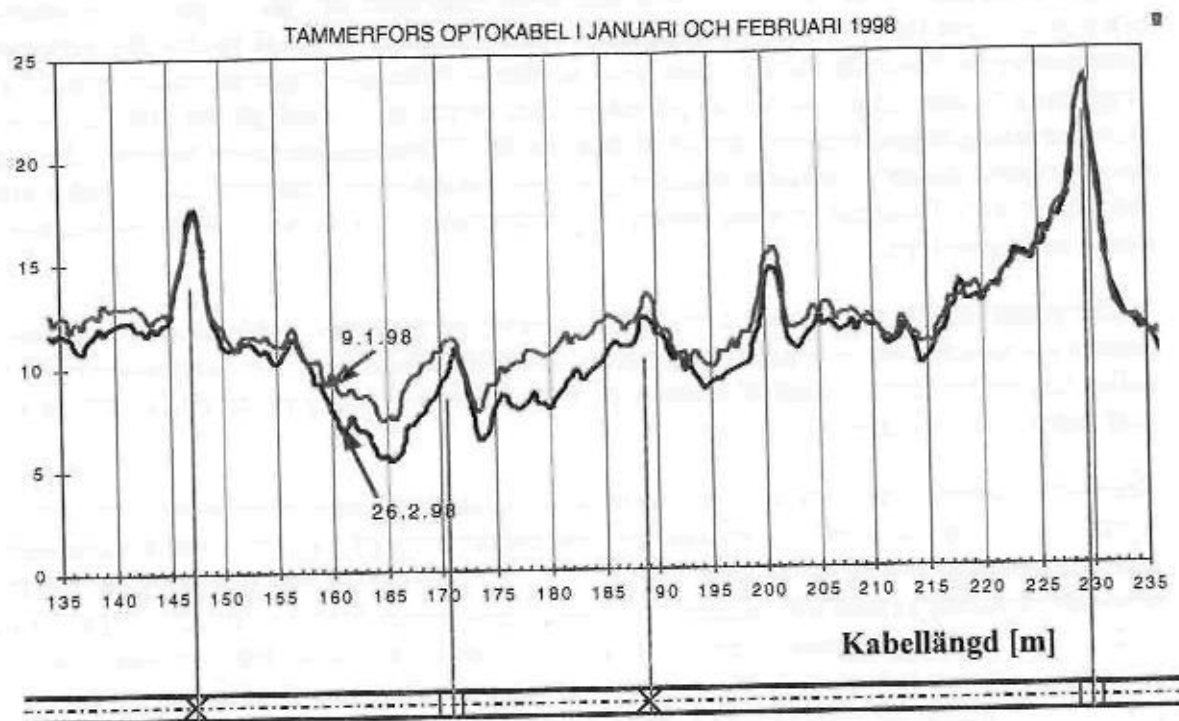
5.4.2. Temperaturmätningar

Temperaturfördelningen mättes den 9 januari och 26 februari 1998. Temperaturen för fram- och returvattnet mättes båda gångerna. Temperaturvariationerna är cirka sexton grader. Maximitemperaturen är cirka $+24^{\circ}\text{C}$ och minimitemperaturen cirka $+8^{\circ}\text{C}$. Det har egentligen inte skett några förändringar i temperaturnivåerna mellan mättillfällena. Givarna är placerade i luftningsbrunnen som finns i betongkulverten. Med hjälp av denna information kunde man också justera temperaturkurvan efter planritningen för fjärrvärmenätet.

Fixpunkterna och bälghälskompensatorerna urskiljs tydligt i temperaturkurvan som varma ställen. Värmen i fixpunkterna leds via stålet till fixpunktelementet och vidare till marken. Den svaga eller mera bristfälliga isoleringen i bälghälskompensatorerna orsakar uppvärmning av elementet. Temperaturstegringen till följd av styrning och stöd kan inte observeras på temperaturkurvan.

Temperatur

TAMMERFORS STADS ELVERK



Fixpunkt

Bälghälskompensator

Fixpunkt

Bälghälskompensator

Bild 26. Temperaturfördelningar som mätts upp den 9 januari och den 26 februari 1998.

6. SLUTSATSER

Man kunde med en fiberoptisk temperaturgivare observera och lokalisera de delar av fjärrvärmenätet som orsakar mest värmeförluster. I samband med de egentliga mätningarna observerades inte läckage i temperaturkurvorna. I läckageprovet som genomfördes vid Esbo Elektriska AB:s installationsobjekt klarade man av att observera och lokalisera läckan.

För att kunna tolka en temperaturkurva måste man ha kunskap om ledningskonstruktionen och kunna ta hänsyn till de variationer och ändringar i temperaturen som eventuellt är en följd av konstruktionen. Det är också viktigt att genom återkommande mätningar regelbundet följa med hur temperaturerna förändras som en funktion av årstid, utetemperatur och temperaturen för fram- och returvattnet. Man erhåller då tillräcklig information om fjärrvärmenätet och kan genom att tolka mätresultaten spåra en eventuell läcka i tillräckligt god tid innan den orsakar större skada i rören.

Genom att undersöka värmeförlusterna både för betongkulverten och fjärrvärmeröret och genom kunskap om nätkonstruktionen kan man finna ett så bra installationssätt för optokabeln som möjligt i varje ledningstyp.

Man uppnådde det bästa mätresultatet och fick den tydligaste temperaturkurvan vid installationerna för kontroll av betongkulverten i Tammerfors där den optiska fibern hade monterats ovanpå betongkulverten. Vid detta installationssätt försvinner de små temperaturvariationerna och kurvan visar bara temperaturtopparna. Installationsstället är också bra när det gäller observation av en läcka eftersom största delen av värmeflödet leds uppåt mot markytan. Den noggranna lokaliseringen av läckan påverkas dock av hur snabbt och på hur vidsträckt område temperaturstegringen, som en följd av läckan, sprids till betongelementets övre yta. Installationen ovanpå locket av betongelementet genom att använda en kabelfåra var en snabb metod som inte krävde flyttning av stora massor. Installationssättet är dock beroende av ledningskonstruktionens läge.

I Esbo Elektrisk AB:s objekt där kabeln installerades på marken vid sidorna av betongelementet var kabeln inte hela tiden på samma avstånd från kulverten. Temperaturkurvan var inte heller lika tydlig som i Tammerforsobjektet. Kabeln var heller inte på det bästa möjliga stället med tanke på observation av läckan.

Temperaturkabeln som hade installerats innanför betongkulverten mäter utöver konstruktionerna vattentemperaturerna för vattnet som eventuellt rinner på kulvertbotten. Kabeln registrerar, på grund av det läckande vattnet, temperaturförändringarna i en läcksituation. Det fram-brytande läckande vattnet till exempel mot tappningsbrunnen försvårar lokaliseringen av läck-stället. Vid installation innanför elementkonstruktionen (vattenfåran) behöver man också specialmetoder för att kabeln skall fås in i elementet. Detta installationssätt är inte alltid möjligt eftersom det till exempel inte alltid lyckas att få draglinan in i kulverten på grund av hindren som finns där.

Lokalisering av en läcka lyckas bäst i moderna fjärrvärmerör. Den optiska fibern borde installeras fast på ytan av plastmanteln eller så nära den som möjligt. Detta installationssätt gör det möjligt att förutom lokalisering av läckan också undersöka värmeförlusterna för skarvar. Utgående från resultaten (mätningar i kabel 1) kan man anta att det är möjligt att lokalisera en bristfällig eller våt isolering med hjälp av denna metod. En mera omfattande provning borde göras i framtiden för att säkra detta.

7. REFERENSER

- 1 Kaukolämpöverkon vuodon paikannusmenetelmät (Lokaliseringsmetoder för en läcka i fjärrvärmenätet), Suomen Kaukolämpö ry, rapport KK19/1998
- 2 Kaukolämpöverkon vauriotilasto 1996 (Statistik över skador i fjärrvärmenätet), Suomen Kaukolämpö ry
- 3 Englund, M., Kaukolämpöverkon valvonta kuituoptisilla menetelmillä (Övervakning av fjärrvärmenätet med fiberoptiska metoder), förundersökningsrapport, 1997
- 4 Valokaapelit tiedonsiirrossa (Optokablar i dataöverföringen), Helkama-kaapeli, 1995
- 5 Pirvola, L., Kaukolämpöverkon perusparannustoiminnan yhtenäistäminen (Att förenhetliga ombyggnadsverksamheten för fjärrvärmenätet), 1996

BILAGA I

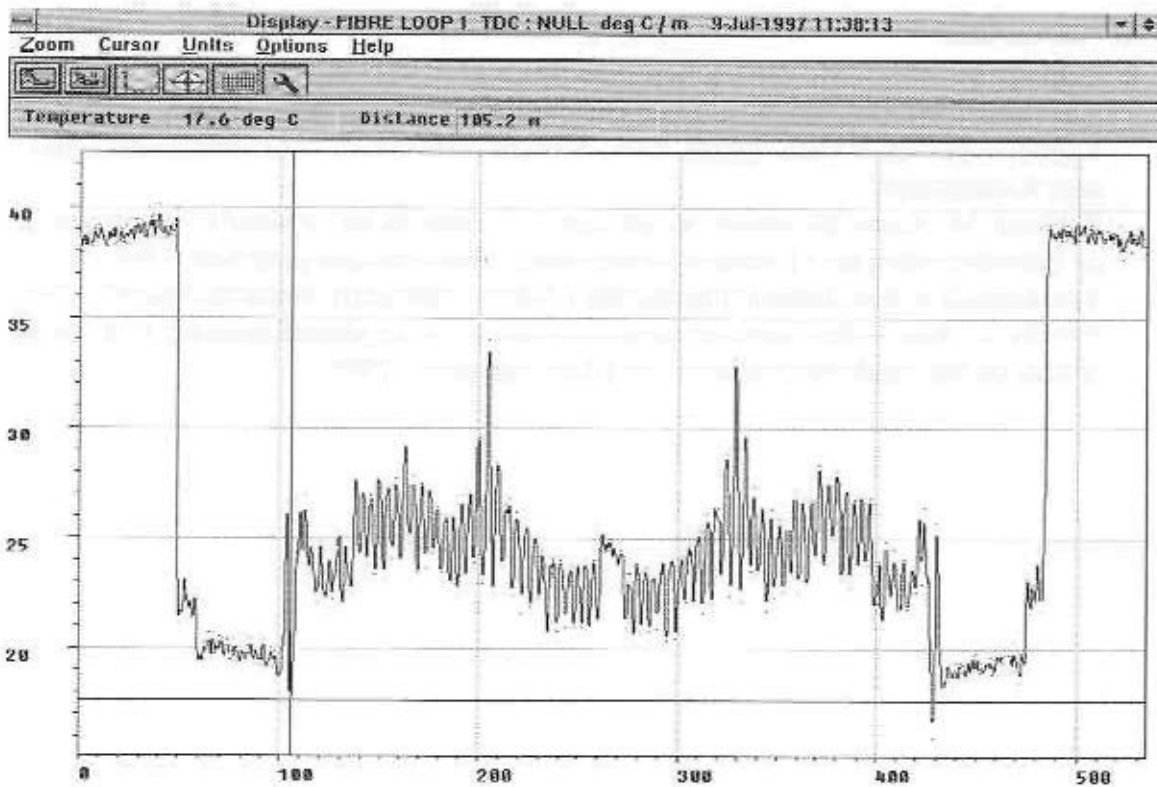


Bild 1.

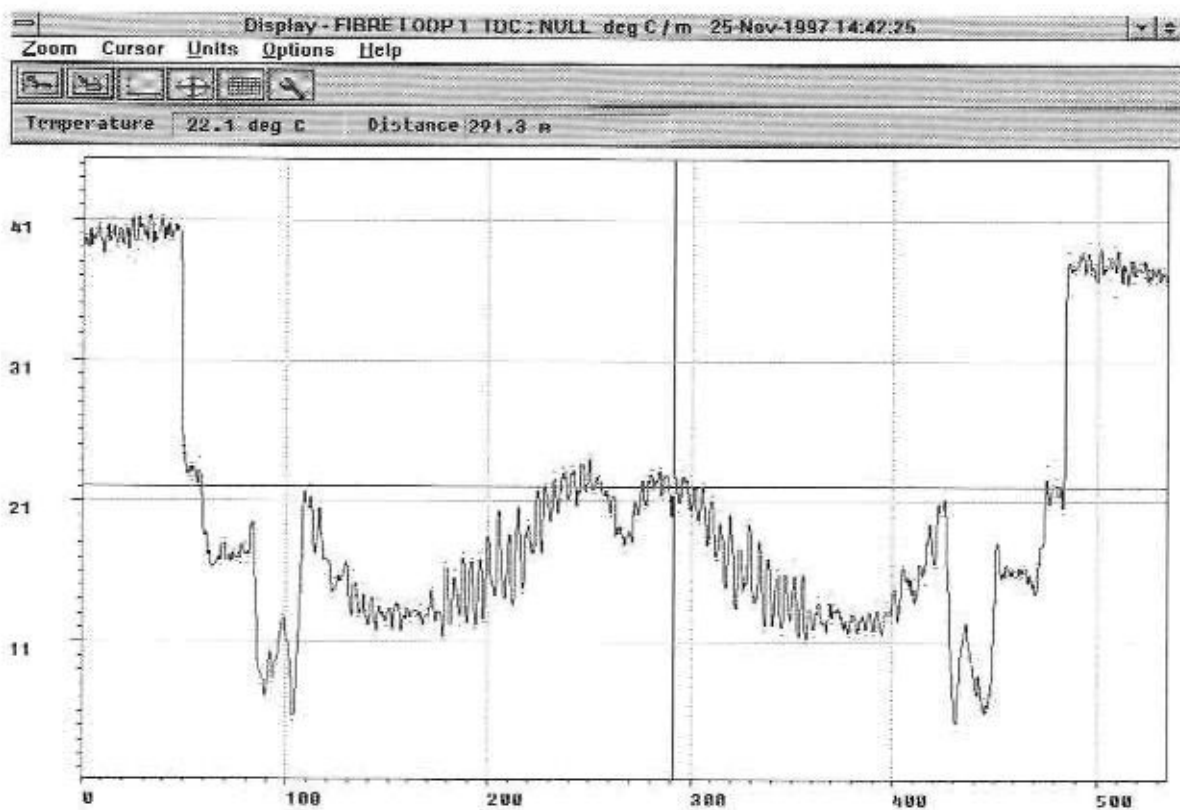


Bild 2.

RAPPORTFÖRTECKNING

Samtliga rapporter kan beställas hos Energikontorets Förlagsservice.
Telefon: 08 - 677 26 00, Telefax: 08 - 677 26 05

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
FORSKNING OCH UTVECKLING - RAPPORTER			
1	Inventering av skador på befintliga skarvar med CFC-blåsta respektive CFC-fria fogskum	Hans Torstensson	maj-96
2	Tryckväxlare - Status hösten 1995	Bror-Arne Gustafson Lena Olsson	maj-96
3	Bevakning av internationell fjärrvärmeforskning	Sture Andersson Gunnar Nilsson	maj-96
4	Epoxirelining av fjärrvärmerör	Jarl Nilsson	sep-96
5	Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler (abonnentcentraler)	Lena Råberger Håkan Walletun	okt-96
6	Auktorisation av montörer för montage av skarvhylsor och isolering Former och utvärdering	Lars-Åke Cronholm	okt-96
7	Direkt markförlagda böjar i fjärrvärmeledningar	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Heimo Zinko	dec-96
9	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	dec-96
10	Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov	Sven Werner	mars-97
11	Torkning av tvätt i fastighetstvättstugor med fjärrvärme	H. Andersson J. Ahlgren	maj-99
12	Omgivningsförhållandenas betydelse vid val av strategi för ombyggnad och underhåll av fjärrvärmenät. Insamlingsfasen	Sture Andersson Jan Molin Carmen Pletikos	dec-97
13	Svensk statlig fjärrvärmeforskning 1981-1996	Mikael Henriksson Sven Werner	dec-97
14	Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem - en litteraturstudie	Peeter Tarkpea	dec-97
15	Värme- och masstransport i mantelrör till ledningar för fjärrkyla och fjärrvärme	Daniel Eriksson Bengt Sundén	dec-97
16	Utvärdering av fuktinträngning och gasdiffusion hos gamla kulverttrör "Hisings-Backa"	Ulf Jarfelt	dec-97
17	Kulvertförläggning med befintliga massor	Jan Molin Gunnar Bergström Stefan Nilsson	dec-97
18	Värmeåtervinning och produktion av frikyla - två sätt att öka marknaden för fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner	Peter Margen	dec-97

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98
20	Analys av befintliga fjärrkylakunders kylbehov	Stefan Aronsson Per-Erik Nilsson	mars-98
21	Statusrapport Trycklösa Hetvattenackumulatorer	Mats Lindberg Leif Breitholtz	maj-98
22	Round Robin test av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ulf Jarfelt	maj-98
23	Mätvärdesinsamling från inspektionsbrunnar i fjärrvärmesystem	Håkan Wallentun	juni-98
24	Fjärrvärmerörens isolertekniska långtidsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs	juni-98
25	Termisk undersökning av koppling av köldbärarkretsar till fjärrkylanät	Erik Jonson	juni-98
26	Reparation utan uppgrävning av skarvar på fjärrvärmerör	Jarl Nilsson Tommy Gudmundson	juni-98
27	Effektivisering av fjärrvärmecentraler – metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem	Håkan Wallentun	apr-99
28	Fjärrkyla. Teknik och kunskapsläge 1998	Paul Westin	juli-98
29	Fjärrkyla – systemstudie	Martin Forsén Per-Åke Franck Mari Gustafsson Per-Erik Nilsson	juli-98
30	Nya material för fjärrvärmerör. Förstudie/litteraturstudie	Jan Ahlgren Linda Berlin Morgan Fröling Magdalena Svanström	dec-98
31	Optimalt val av värmemätarens flödesgivare	Janusz Wollerstrand	maj-99
32	Miljöanpassning/återanvändning av polyuretanisolerade fjärrvärmerör	Morgan Fröling	dec-98
33	Övervakning av fjärrvärmenät med fiberoptik	Marja Englund	maj-99
34	Undersökning av golvvärmesystem med PEX-rör	Lars Ehrlén	apr-99
35	Undersökning av funktionen hos tillsatser för fjärrvärmevatten	Tuija Kaunisto Leena Carpen	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsmätare	Jerker Delsing	juni-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Wallentun	maj-99

FORSKNING OCH UTVECKLING – ORIENTERING

1	Fjärrkyla: Behov av forskning och utveckling	Sven Werner	jan-98
2	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för perioden 23/5 – 30/9 1996.	Lars Lindgren Conny Nikolaisen	jan-98

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-98
4	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås. Uppföljning av Värmeforsk rapport nr 534. Mätvärdesinsamling för period 2. 1/1 - 31/12 1997.	Conny Nikolaisen	juli-98

Förteckning över tidigare publicerade rapporter från Värmeforsk Hetvattenteknik som kan beställas hos Energikontorets Förlagsservice.

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
DISTRIBUTIONSTEKNIK			
540	Expansionskuddar för direktförlagda fjärrvärmeledningar - med huvudinriktning på mineralullsprodukter	Sture Andersson Bjarni Jensson	jun-95
525	Rundgångars ekonomiska betydelse för fjärrvärmenäten Investerings-, drift- och underhållskostnader	Peter Herbert	feb-95
463	Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - fältmätningar och bestämningar av fysikaliska egenskaper för cellbetong	Jan Molin Ronny Nilsson	dec-92
450	Utveckling av metoder för kvalitetssäkring av mantelrörsskarvar	Lars-Åke Cronholm Rolf Westin	jul-92
446	Bärförmåga hos CFC-fri kulvertisolering vid drifttemperatur Del 1: Provningsmetod för bestämning av axiell skjuvhållfasthet hos kulvertör Del 2: Krypning vid radiell tryckbelastning	Ulf Jarfelt Gunnar Bergström Jonas Karlsson	jul-92
445	Direktläggning av fjärrvärmerör	Jan Fallsvik Alf Lindmark Eva Pettersson	jul-92
429	Freonfria isolermaterial för fjärrvärmekulvertar. Vacuumpulverisolering och CO ₂ -blåst polyuretanskum	Bert Oddving Heimo Zinko	maj-92
412	Läcksökning i fjärrvärmekulvertar	Heinz Thurner	dec-91
364	Underhållsstrategi för distributionsnät. Förstudie	Lennart Strömwall Leif Lemmeke	mar-90
340	Corona-behandlingens betydelse för mantelrör till fjärrvärmeledningar samt metod och krav för kvalitetskontroll	Lars-Eric Jansson	maj-89
335	Anvisningar för schaktning och andra arbeten i närheten av direktskummande PUR-kulvertar	Håkan Carlsson Jan Molin	apr-89
318	Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmenät - konsekvenser i distributionsnät	Jan Molin Ronny Nilsson Helge Bergström	okt-88

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
315	Skumkvalitet vid låga omgivningstemperaturer och varierande mediarörtemperaturer	Johan Ljungqvist	okt-88
286	Larmsystem - Kompabilitet	Christer Bodin John Ljungqvist Tor Rundström	dec-87
260	Skumkvalitet vid låga omgivningstemperaturer	Lars Blomqvist John Lungqvist	mar-87
259	Kvalitetsprovning av PUR-skumisolering	John Ljungqvist Rolf Westin	mar-87
258	Spänningsanalys av fjärrvärmeledningar Del 3. Dimensioneringsanvisningar och dimensioneringsprogram för T-stycken	Sture Andersson Håkan Carlsson Jan Molin	mar-87
257	Skador på mantelrörskarvar	John Ljungqvist Bert Oddving Rolf Westin	mar-87
256	Markförlagda fjärrvärmeledningars temperaturhöjande effekt för intilliggande ledningar	Håkan Carlsson Jan Molin	mar-87
249	Metod för röntgenradiografering av isolerskikt i kulvertör för fjärrvärmeledningar	Stig Dahn	feb-87
237	Underhållsplanering av fjärrvärmenät	Thomas Asp Anders Eriksson Håkan Danielsson Stig Hård Bertil Wiktorén	aug-86
226	Skumutfyllnad i kulvertskarvar	Lars Blomqvist John Ljungqvist	maj-86
201	Friktionsfixerade fjärrvärmeledningar. Fältmätningar i Lund. Del 2	Dan Olofsson Jan Molin Kurt Bergendorff	aug-85

FJÄRRVÄRMECENTRALTEKNIK

556	VÄRMEVÄXLARRENOVERING - Materialpåverkan vid kemisk rengöring av värmeväxlare	Lars-Åke Cronholm	dec-95
546	Försmutningsförlopp i plattvärmeväxlare för fjärrvärmeabonnentcentraler	Janusz Wollerstrand Svend Frederiksen	aug-95
545	Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Peter Gummérus	aug-95
505	Prestandabestämning och förbättring av abonnentcentraler < 50 kW	Lena Råberger Peter Gummérus Håkan Walletun	apr-94
413	Skadinverntering, Abonnentcentraler	Bo Östlund	dec-91
411	Inverkan på returtemperaturen vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentraler	Sture Sikström	dec-91

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
365	Dynamisk provning av värmeväxlare med hjälp av processidentifiering	Håkan Walle Bengt-Göran Bergdahl Bert Oddving	mar-90
360	Laboratorieprovning av villaabonnentcentraler	Johan Winberg	dec-89
355	Fjärranalys av undercentraler	Joakim Marklund	okt-89
321	Undercentralers reglering	Michael Thiede	okt-88
302	Diagnostikutrustning för 2-stegskopplade abonnentcentraler	Ulf Jansson	apr-88
272	Avkylning av fjärrvärmevatten i befintliga abonnentcentraler	Annika Winberg Sven Werner	aug-87
267	Undercentraler - Litteraturstudie av tidigare arbeten	Raija Leppänen	maj-87
255	Inkoppling av varmvattenberedare vid installation av värmepump	Göran Dahlén	mar-87

MÄTTEKNIK

547	Jämförelsemätningar av flödeshastighet mellan ultraljudsmätare av Clamp-On typ och debiteringsmätare i fjärrvärmeabonnentcentraler	Jerker Delsing Bernt Svensson	aug-95
-----	--	----------------------------------	--------

SYSTEMTEKNIK

534	Utvärdering av fjärrkyla i Västerås	Lars Lindgren Urban Eklund	feb-95
527	Friktionsnedsättande tillsatserns inverkan på miljön - Del 1	Henrik Bjurström Staffan Grönholm Bengt-Åke Nystrand	feb-95
512	Friktionsnedsättning i fjärrvärmenät genom tillsats av tensider - En teknisk och ekonomisk bedömning	Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	jul-94
481	Tryckväxlare - en anordning för effektivisering av fjärrvärmesystem	Bror-Arne Gustafson	sep-93
363	Leveranssäkerhet i fjärrvärmesystem	Sture Andersson Carl Mattsson	dec-89
320	Leveranssäkerhet vid värmedistribution	Lennart Josefsson Hans Åkesson	okt-88
298	Inventering av datorprogram för simulering och optimering av fjärrvärmesystem	Hans Gransell Anders Östergren	mar-88

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
RAPPORTER FRÅN ANDRA FORSKNINGS-GRUPPER			
483	Korrosion hos emaljerade ytor i varmvattensystem	Britt-Marie Svensson	sep-95
380	Korrosionsstudier av emaljerade varmvattenberedare	Britt-Marie Svensson	nov-90
343	Färgämne för läckageindikering i fjärrvärmesystem	Torsten Bauer Björn Carlsson Folke Persson	jul-89
294	Akkumulatorsystem för driftutjämning	Bertil Köhler	mar-88
221	Säkerhet vid elpannedrift	Bertil Köhler	apr-86

Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB och Statens Energi-
myndighet bedriver forskningsprogram inom området fjärrvärme
hetvattenteknik och fjärrkyla.

SVENSKA FJÄRRVÄRMEFÖRENINGENS SERVICE AB

101 53 STOCKHOLM

Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr
Telefon 08 - 677 25 50, Telefax 08 - 677 25 55

Förlagsservice, beställning av trycksaker:

Telefon 08 - 677 26 00, Telefax 08 - 677 26 05