



Forskning och
Utveckling

FOU 1997:14

KORROSIONSRISKER VID ANVÄNDNING AV STÅL- OCH PLASTRÖR I FJÄRRVÄRME- SYSTEM - EN LITTERATURSTUDIE

Peeter Tarkpea, Studsvik Material AB

KORROSIONSRISKER VID ANVÄNDNING AV STÅL- OCH PLASTRÖR I FJÄRRVÄRME- SYSTEM - EN LITTERATURSTUDIE

Peeter Tarkpea, Studsvik Material AB

Korrosionsrisker vid användning av stål- och plaströr i fjärrvärmesystem - En litteraturstudie

Sammanfattning

Inom fjärrvärmemarknaden finns behov av förenklade distributionssystem till låga kostnader för distributionstekniken. För detta ändamål har under de senaste decennierna mediaprör i plast utvecklats för distribution av fjärrvärme.

Alla plaströr är permeabla för gaser. Syrediffusion genom plaströr ger korrosionsangrepp på stålytor som bör beaktas.

Plaströren som började användas under 70-talet i värmesystem hade hög syrepermeabilitet som i kombination med mindre god vattenkvalitet resulterade i allvarliga korrosionsproblem, hög allmätkorrosion, avlagringskorrosion, gropfrätning och rikligt med korrosionsprodukter som satte igen system och reglerutrustning. Syretillförseln i dessa system var 0.6-1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ (syremängd per ytenhet stålyta och tid).

Nästa generation plaströr, PEX (tvärbunden polyeten)- och PB (polybuten)-rör, hade lägre syrepermeabilitet. Korrosionsangreppen blev mindre, men problem med korrosionsprodukter, med igensättning av flöde och reglerutrustning kvarstod. Omfattningen av skadorna varierade systemen emellan. Några system var helt problemfria medan andra hade problem. Syretillförseln i dessa system var 0.1-0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$.

Rekommendationen var att begränsa användningen av plaströr i stålsystem, att separera plast och stålrörssystem eller att använda plaströr med diffusionsspärr för syre.

I moderna plaströr är syrespärren mycket effektiv och minskar syrepermeabiliteten hos samma plaströr med en faktor cirka 1000. Plaströr med den typen av syrespärr är i det närmaste helt täta och tillskottet av syre bedöms teoretiskt sett vara så litet att man helt kan bortse från det. Trots detta har problem rapporterats och verifierande undersökningar föreslås genomföras av värmesystem med plaströr med diffusionsspärr.

Tillskott från andra syrekällor bör ställas i relation till vad som kan erhållas på grund av plaströrens permeabilitet. Syrekällor är till exempel ackumulator-tank, läckande ventiler och kopplingar, påfyllning och uppfyllning av system, luftning av radiatorer etc. Syretillskottet i ett system var 0.03-0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$, där tillskottet från plaströrssystemet var 0.003 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$.

Risks of corrosion at use of steel and plastic pipes in district heating systems - A literature review

Summary

The purpose of this literature review was to investigate the degree and the types of the corrosion attacks on the steel pipes in district heating systems at a combined use of plastic and steel pipes. All plastic pipes are permeable for gases. Oxygen diffusion through the pipes will cause corrosion attacks on carbon steel components.

In the first district heating systems with plastic carrier pipes some serious corrosion attacks were found on the steel components. In a few systems with bad water qualities components were penetrated by pitting corrosion. The formation and deposition of corrosion products was high and caused flow and flow regulation disturbances. In these first systems the oxygen permeability was high and the ingress was about $0.6-1.2 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$, (oxygen/ m^2 waterexposed steel area, s).

In the next generation systems mainly PEX(cross-linked polyethylene) and PB(polybutylene) pipes were used with a lower oxygen permeability. The corrosion attacks were less serious, but still the problems with the flow and flow regulation disturbances remained in some systems. The oxygen inlet in these systems was about $0.1-0.4 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$.

The recommendations were to limit the use of plastic pipes in carbon steel systems, to separate plastic pipe and steel pipe systems by heat exchangers or to use plastic pipes with an oxygen barrier.

The oxygen barriers showed to be very effective in modern plastic pipes. The permeability of the pipe with an oxygen barrier is at least 1000 times lower than in an identical pipe without a barrier. It is assumed that the oxygen inlet through these pipes is negligible and without importance. Thus, oxygen ingress due to other sources than the plastic pipes as for example at an accumulator tank, leaking valves and couplings, deaeration of radiators, and in refill and make up systems should be compared with the ingress through the plastic pipes. In one system studied the oxygen ingress from various leakages was about $0.03-0.1 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ of which $0.003 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ originated from the plastic pipe system.

Key-words: district heating system, plastic pipe, oxygen barrier, steel pipe, corrosion, pitting corrosion, flow disturbance, oxygen permeability, distribution pipe, hot water.

Innehållsförteckning

	sida
1 Inledning	1
2 Resultat från 70-talet, de första skadorna	2
3 Erfarenhet under 80-talet	6
4 Resultat från 90-talet	11
5 Slutsatser	16
Referenser	17

1 Inledning

Målsättningen med litteraturstudien har varit att utreda om plast och stålörssystem kan kombineras och om det finns risk för att syre från plaströr bidrar till lokalangrepp i stålör efter det att returledningarna i plast har återkopplats till stålledningarna.

I rapporten har erfarenheter sammanställts om korrosion och lokal korrosion i system där plast och stålör har kombinerats. Litteratur har sammanställts från Studsvik Material AB, omfattande tidigare utförda laboratorie- och fältmätningar och av Växjö Energi AB tillhandahållna uppgifter. Vidare har en datorbaserad litteraturundersökning utförts avseende publikationer från 1986 till december 1996.

Litteraturundersökningen har utfört vid Studsviksbiblioteket och omfattade följande databaser:

- ETDE Energy Databas
- Chemical Abstract
- RAPRA Rubber & Plastics

Utfallet blev inte särskilt stort. Ett tiotal intressanta artiklar påträffades.

Bakgrunden är att det inom fjärrvärmemarknaden finns behov av förenklade distributionssystem och låga kostnader för distributionstekniken. För detta ändamål har under det senaste två decennierna medierör i plast utvecklats för distribution av fjärrvärme.

Marknadsandelen plaströr har ökat starkt sedan mitten av 70-talet. Några skäl till plaströrens framgång är rörens:

- korrosionshårdighet
- flexibilitet
- säkra och enkla montagekniker
- låga vikt och långa längder
- låga tryckförluster och låga ledningsbrus
- låga kostnad

2 Resultat från 70-talet, de första skadorna

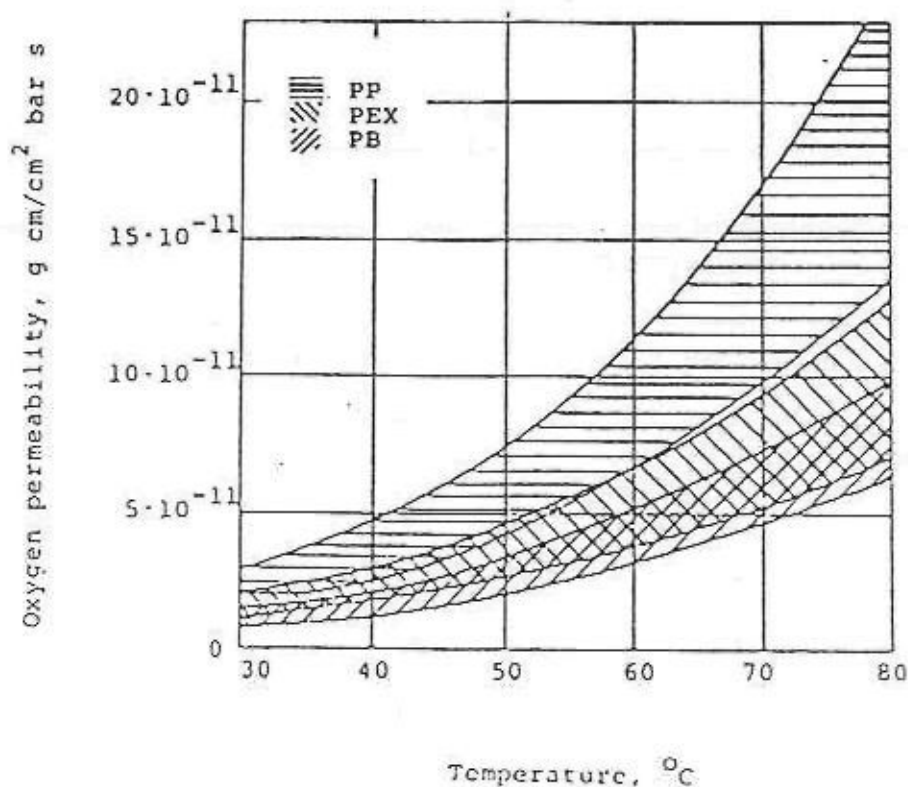
Intresset blev stort i början av 70-talet att försöka installera värmesystem med plaströr i stället för metallrör mellan radiatorerna. Som nämnts har plaströr flera fördelar framför metallrör, bland annat när det gäller montage och risk för rörkorrosion från utsidan.

Syreproblemen med plaströr observerades först efter några skadefall i Luleå och Skellefteå 1972 - 73, där man hade installerat åtskilliga meter plast- eller gummirör per radiator [1]. Vid mätning av syrepermeabiliteten vid AB Atomenergi konstaterades stora skillnader i permeabilitet för olika typer av plaströr och för några var den särskilt hög.

Permeabilitetskoefficienten för syre för några vanliga plaströr visas i Figur 1 [2-3]. Koefficienten anger den mängd syre som diffunderar genom en viss väggjocklek plaströr, per ytenhet, partialtryckskillnad och tid. Syrgasförbrukande korrosion bestämmer korrosionshastigheten i systemet. Eventuell vätgasutvecklande korrosion försummas. Den uppskattas till cirka 3% av den totala korrosionshastigheten vid cirka 80°C. Vätgasutvecklande korrosion blir av betydelse först vid lågt pH, <pH 4, som undviks i systemen. Korrosionshastigheten beräknas ur mängden syre som tränger in i systemet. Fördelas korrosionen jämnt över stålytan i systemet blir angreppet normalt några µm/år. Utvecklas angrepp av lokal karaktär, som till exempel avlagringskorrosion och gropfrätning, kan systemet snabbt penetreras. Korrosionsprodukterna återfinns i systemet och kan uppgå till en avsevärd mängd.

I värmesystemet i Luleå erhöles avlagringskorrosion och gropfrätning. Lokalkorrosionen penetrerade systemet på ett år [1]. I systemet var syretillförseln hög, 0.15-0.6 µg/m²s - mängd syre per ytenhet stål och tid. Vattenkvaliteten var mindre god, med lågt pH, hög ledningsförmåga och måttligt hög kloridhalt, 110 mg/l. Se även sammanställningen av några parametrar i Tabell 1.

En laboratorieundersökning [1,4] visade att syrediffusionen genom plaströr var betydande. Plaströren i undersökningen hade hög syrepermeabilitet och var av en typ som inte kom att användas senare. Undersökningen gjordes i två laboratriekretsar. Ett system var kopplat med 30 meter plaströr och ett andra med metallrör. Systemen kördes under 350 dygn vid konstanta betingelser. Syretillförseln och temperaturen var höga, 0.4 µg/m²s respektive 70 °C. Kretsavvattnet hade normal drifts pH, 8-9, hög ledningsförmåga, cirka 1100 µS/cm, och mycket hög kloridhalt, 300 mg/l, se Tabell 1.



Figur 1

Syrepermeabilitet för plaströrmaterial [2,3,5].

Oxygen permeability of plastic pipe materials [2,3,5].

I plaströrkretsen erhöjls svår avlagringskorrosion med gropfrätning, medan metallrörkretsen klarade sig utan skador. Gropfrätningen hade penetrerat halva plåttjockleken i radiatorerna. Den kombination i plaströrkretsen av plaströrlängd, vattenkvalitet samt driftbetingelser som nyttjades resulterade i hög korrosionshastighet, som var högre än vad som kan accepteras i en installation.

Efter hand under mitten av sjuttioalet kom rapporter in om driftstörningar i värmesystem med plaströr från ett flertal platser i landet bland vilka kan nämnas Märsta, Norrköping, Nyköping, Skellefteå och Uppsala [1]. Det gällde i regel installationer med PB, och PEX, som har en relativt måttlig permeabilitet för syre. Störningarna var i regel begränsade till stopp i vattenflöden och kärvning i ventiler men även allvarligare haverier inträffade.

Tabell 1

Syretillförsel, korrosion och vattenkemi. Sammanställning av några parametrar från värmesystemen i Luleå, Norrköping och från AEs labprovning 1975 [1].

Oxygen ingress, corrosion and water chemistry. Some parameters from district heating systems and laboratory testing 1975 [1].

System	Luleå 1973 [1]	Labprovning AE, 1975, 8 mån [1]	Norrköping, 1975 [1]
Systemparametrar			
Temperatur, °C	35-70	70	30-60
Typ av rör	Gummi	PEX	PB
Längd per m ² radiator, m/m ²	8	20	8
Syretillförsel, µg/m ² s	0.6-1.2	0.4	0.04-0.15
Korrosion			
Korrosionshastighet uppmätt, µm/år ¹⁾	-	-	-
Korrosionshastighet teoretisk, µm/år ¹⁾	6-12	4	0.3-1.3
Beskrivning av korrosion	Avlagringskorrosion; Grop- frätning, Genomfrätning; Flödesstörningar; Igensättning.	Avlagringskorrosion; Gropfrätning ½ plåt- tjockleken; Flödes- störningar.	Ingen avlagrings- korrosion; Flödesstör- ningar; Igensättning.
Vattenkemi			
pH	låg	8-9	
Ledningsförmåga, µS/cm	hög	1200	
Klorid, mg/l	10x normal	300	

1) Korrosionshastighet för respektive syretillförsel.

Vid inspektion visade det sig ofta att man hade proppar och tjocka beläggningar av korrosionsprodukter, som måste ha orsakats av förhöjd allmänkorrosion i systemen. Syretillförsel i några av dessa system var cirka $0.04\text{--}0.15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ och driftstemperatur cirka $40\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$, det vill säga något lägre än vid anläggningen i Luleå [1], se Tabell 1.

Erfarenheterna med PEX-rör var minst sagt varierande under 70-talet. I några anläggningar sågs inga problem alls. I andra bildades stora mängder korrosionsprodukter så att man i några fall efter några års drift måste byta ut plaströren mot metallrör. Problemen förekom primärt i system med något högre temperatur, $60\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$, i framledningsrören.

Även i Danmark började man med korrosionsförsök med radiatorer ihopkopplade med plaströr till fjärrvärmenät. En bedömning som gjordes var att syrehalter på $30\text{--}80\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ skulle vara tillräckligt låg för att radiatorerna skulle få en livslängd på cirka 20 år. Den syrehalten är sannolikt alltför hög. Syrehalten motsvarar en tillförsel på $0.18\text{--}0.48\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ i ett system med ett lågt flöde, $0.006\text{ l}/\text{m}^2\text{s}$. Svenska värmesystem med liknande värden på syretillförsel har visat avlagringskorrosion, gropfrätning och har haft igensättningsproblem [1].

3 Erfarenheter från 80-talet

I början av 80-talet fann man att kostnaderna skulle kunna sänkas avsevärt för gruppcentraler i värmedistributionssystem genom att använda plaströr och plastkomponenter. Ett frågetecken var dock åter plaströrens genomsläpplighet för syre, som kunde orsaka korrosionsproblem framför allt på kolstålkomponenter. Inom projektet Grudis (Gruppcentral distribution) [6] undersöktes hur stora mängder plaströr som kunde tillåtas i ett värmesystem med tanke på de korrosionsproblem som kan uppstå på kolstål i systemen [2,5,6].

Radiatorer och prov undersöktes i ett antal provkretsar under kort och lång tid vid temperaturer mellan 40 °C och 80 °C på laboratorium. Två provkretsar var sammankopplade med metallrör och övriga med plaströr i två olika längder för syreinsläpp till två nivåer, 0.11 och 0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$. Provningsen gjordes i tappvatten och i något modifierat tappvatten, bland annat i ett modifierat vatten med hög kloridhalt, 150 mg/l. Vidare gjordes en undersökning av verkliga centralvärme- och fjärrvärmesystem i vilka det fanns plaströr av varierande längd. Även värmesystemen med plaströr var av varierande storlek. Några parametrar finns sammanställda i Tabell 2.

Undersökningarna visade att korrosionsangreppen på stålkomponenterna blev små och att variationer i vattenkvalitet inte nämnvärt påverkade korrosionshastigheten. Korrosionshastigheten blev högre i värmesystem med plaströr än i system med metallrör.

Det bildades och fanns en stor mängd korrosionsprodukter i systemen med plaströr som en följd av den förhöjda syretillförseln. Korrosionsprodukter kan ge störningar i flödet och i flödesregleringen, men även orsaka igensättning och stopp i flödet. Delar av värmesystemen kan mer eller mindre slammas igen. Tre av de undersökta verkliga värmesystemen hade också haft störningar i flödet med igensättning. Systemen kunde spolats rena. Försök gjordes med att förklara varför det bildades mer rikligt med korrosionsprodukter i en anläggning och mindre i en annan och varför ett system satte igen och inte ett annat. Skillnader söktes i termer som meter plaströr per kvadratmeter radiatoryta och vattenkemi, men utan godtagbart resultat.

En bedömning gjordes, att om normala mängder plaströr används i värmesystemen blir korrosionshastigheten inte så stor att allvarliga korrosionsangrepp erhålls, om inte gropfrätning uppstår. De värmesystem som ingick i undersökningarna hade cirka 10 m plaströr per m^2 radiatoryta. Någon utpräglad gropfrätning upptäcktes inte vid någon av undersökningarna. Däremot fanns det en svag tendens till gropfrätning vid laboratorieprovning vid hög temperatur, 70 °C, och högt syreinsläpp, 0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$.

Tabell 2

Syretillförsel, korrosion och vattenkemi. Sammanställning av några parametrar från verkliga central- och fjärrvärmesystem och från laboratorieprovning [2,3].

Oxygen ingress, corrosion and water chemistry. Some parameters from central- and district heating systems and from laboratory testing [2,3].

System	Central- o fjärrvärme- system 3-10 år [2]	Labprovning kortid, 1 mån [2,3]	Labprovning lång tid, 14 mån [3]
Systemparametrar			
Temperatur, °C	ett 80-90; övriga ?	40; 80	55; 80
Typ av rör	PEX	PEX	PEX
m rör per m ² radiator, m/m ² Tot längd i %	några 5-9, ett 10%		
Syretillförsel, µg/m ² s	ej beräknad	0; 0.11; 0.32	0; 0.11; 0.32
Korrosion			
Korrosionshastighet uppmätt, µm/år ¹⁾	-	-; 4; 17 11; 15; 30	(40 °C) (80 °C) 0.3; 3.6; 7.3 -, -, - ²⁾ (55 °C) (80 °C)
Korrosionshastighet teoretisk, µm/år ¹⁾		0; 1.1; 3.4 "-	(40 °C) (80 °C) 0; 1.1; 3.4 "- (55 °C) (80 °C)
Beskrivning av korrosion	Små angrepp; Ingen grop- frätning; Flödesstörningar; Igensättning.	Små angrepp; Ingen grop- frätning; Flödesstör- ningar; Igensättning.	Små angrepp; Gropfrät- ning; 0.1 mm; Flödesstör- ningar; Igensättning; Ingen effekt av olika vattenkemi.
Vattenkemi			
pH	7-10	8	6-8
Ledningsförmåga, µS/cm	500-1800	500	500-
Klorid, mg/l	2.4 -9.0	40	40, 170

1) Korrosionshastighet för respektive syretillförsel vid två olika temperaturer.

2) Gropfrätning 0.1 mm.

Således föreligger det en viss risk för gropfrätning vid högre temperaturer och högre syreinsläpp. Men någon förekomst av gropfrätning har ej noterats i undersökta system i vilka korrosionsinhibitorer ej har använts [1].

En rekommendation från undersökningen var att undvika nya installationer av värmesystem med kombinationen plaströr - stålytor. I nya system borde plaströr med syrespärr användas eller så borde systemen med plaströr separeras från kolstålssystemen genom värmeväxling.

Flera fabrikanter lanserade plaströr med inbyggd syrespärr redan i början på 80-talet, och en översikt finns i [7]. Helt diffusionstäta var dessa rör däremot inte, men diffusionen var långt lägre än i rör utan syrespärr. Moderna spärrskikt för syre har visat sig vara mycket effektiva och bedöms i stort sett vara nästan helt täta. Syrediffusionen i dessa rör är cirka 1000 gånger lägre än i motsvarande rör utan spärrskikt. Diffusionsspärren är antingen ett skikt av aluminium eller någon av polymererna polyvinylalkohol, PVA, eller etylenvinylalkohol, EVA. Syreinträngningen i värmesystem med sådana plaströr blir så låg att den bedöms vara helt utan betydelse [8]. Några värden för syrediffusion/permeabilitet i plaströr återges i Tabell 3.

För att minska skadefrekvensen i värmesystem rekommenderas i Tyskland ett empiriskt samband mellan syrehalt och ledningsförmåga för systemvattnet. Sambandet innebär att syrehalten tillåts vara hög vid en låg ledningsförmåga i vattnet och omvänt, låg vid en hög ledningsförmåga i vattnet. Sambandet ger en kurva, se Figur 2 [9]. Systemvatten delas in i avsaltade vatten, med en ledningsförmåga $<30 \mu\text{S/cm}$ och $<100 \mu\text{S/cm}$ där en högre syrehalt mellan $<100 \mu\text{g/l}$ och $<50 \mu\text{g/l}$ kan godtas, och i mindre avsaltade vatten, med en ledningsförmåga $<1500 \mu\text{S/cm}$ där syrehalten rekommenderas vara $<20 \mu\text{g/l}$. På och under kurvan är skadefrekvensen från vattensidan låg och man kan räkna med en relativt skadefri drift. Vidare minskar skaderisken ju lägre under kurvan man befinner sig och ökar ju högre över kurvan man är.

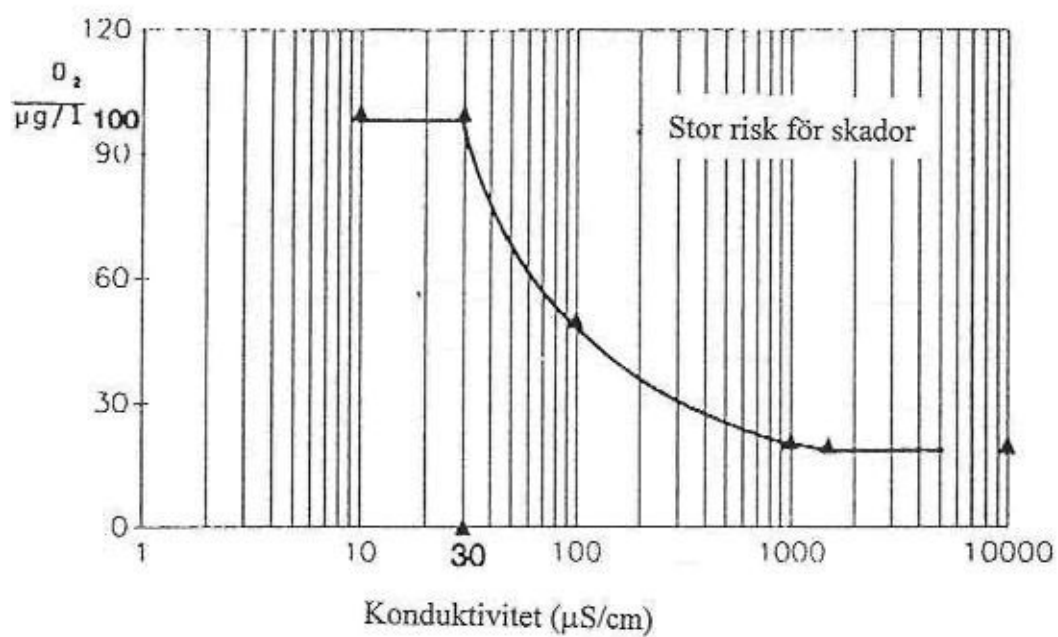
Det finns även en nordisk rekommendation för behandling av fjärrvärmvatten [10]. I den rekommenderas en generell syrehalt för värmesystem på $<20 \mu\text{g/l}$.

Tabell 3

Syrediffusion/permeabilitet i plaströr - mätresultat [8].

Oxygen diffusion/permeability in plastic pipes - measurement results [8].

	$P_{\text{Sauerstoff}}$ $10^{-11} \cdot \text{g} \cdot \text{cm/cm} \cdot \text{bar} \cdot \text{s}$	
	Einzelresultate	$\bar{x}$
PB 20 mm x 2 mm, nicht gedämmt	11,0 4,0 5,1	6,7
PB 20 mm x 2 mm, gedämmt	6,4 9,6 8,2	8,0
PB 25 mm x 3 mm, nicht gedämmt	6,5 6,6 7,0	6,7
PB 25 mm x 3 mm, gedämmt	7,0 6,5 5,2	6,2
VPE 22 mm x 3 mm, nicht gedämmt, peroxidvernetzt	6,0 6,1 5,5	5,8
VPE 22 mm x 3 mm, gedämmt peroxidvernetzt, gesperrt mit brauner Sperrschicht	1,1 0,4	0,75
VPE 22 mm x 3 mm, gedämmt, peroxidvernetzt, Sperrschicht	0,0021 0,0020	0,00205
VPE 22 mm x 3 mm, nicht gedämmt, strahlungsvernetzt	5,0 6,8 5,0	5,9
VPE 22 mm x 3 mm, nicht gedämmt, strahlungsvernetzt, Sperrschicht	0,0019	0,0019
VPE 22 mm x 3 mm, gedämmt, strahlungsvernetzt, Sperrschicht	0,0019	0,0019



Figur 2

Gränskurva för skador. Stor risk för skador över kurvan [9].

Damage limit graph. High risk for damages above the curve [9].

4 Resultat från 90-talet

I en dansk undersökning har syrehalter uppmätts i ett 3.5 MW fjärrvärmenät [11]. Framledningstemperaturen var 80 °C. Mätningarna utfördes direkt efter det att nätet togs i drift. Andelen plaströr var cirka 64% av hela nätet, mätt i rörlängd. Rören var av typ PEX-EVA och hade diffusionsspärr för syre. Syrehalten i systemet var låg och stabil under vintermånaderna och var cirka 2 µg/l. Halten låg väl under den tyska empiriska normen, 20 µg/l, och även under de krav komponentleverantörerna hade ställt, 10 µg/l. Några data för systemet har sammanställts i Tabell 4.

Under sommarmånaderna varierade däremot syrehalten mellan <10 µg/l och >100 µg/l, vilket berodde på ett läckage genom ackumulatortankens syrespärr. Ångkudden i tanken som skulle utestänga luftsytet svajade och vid låga ångtryck läckte syre in i systemet.

Parallellt med mätningarna i fjärrvärmesystemet utfördes syremätningar på laboratorium. Dessa jämte beräkningar visade att syreläcket genom plaströren var lågt och beräknades bidra med en syrehalt av 0.25 µg/l. Således finns det andra syrekällor än läckage genom plaströren i fjärrvärmenätet. Sådana källor kan exempelvis vara ackumulatortanken, läckande ventiler och kopplingar, samt påfyllning av nytt systemvatten etc.

En slutsats var att syrediffusionen genom plaströren, PEX med EVA spärrskikt, bidrog med ett mycket litet tillskott av syre till systemet. Halterna låg långt under ställda normkrav. Således bedömdes att det inte är syrediffusion genom plaströr som är problemet då rätt valda plaströr används.

I en dansk sammanfattning uppges generellt att efter det att plaströr med syrespärr introducerades i värmesystemen har man inte kunnat peka på något skadefall, där man helt säkert kunnat fastställa att skadeorsaken har varit syrediffusionen genom plaströren [12].

I en kanadensisk studie har korrosionshastigheten i två större fjärrvärmesystem med stålrör, 21 och 131 MW, bestämts under några år i följd [13]. Det mindre systemet har vattenbehandling med avhärdning, avgasning samt pH justering och det större systemet har vattenbehandling med avhärdning och kontinuerlig behandling med korrosionsinhibitorer. Framledningstemperaturer är 80-120 °C, se även Tabell 4. Korrosionshastigheten var 2,8-4.6 µm/år och cirka 2.5 µm/år i respektive system.

Tabell 4

Syretillförsel, korrosion och vattenkemi. Sammanställning av några parametrar från verkliga fjärrvärmesystem[11-13].

Oxygen ingress, corrosion and water chemistry. Some parameters from district and solar heating systems [11-13].

System	Fjärrvärmesystem, Danmark 1993 [11]	Solvärmesystem, [12]	Fjärrvärme distribution i stålrör[13]
Systemparametrar			
Temperatur, °C	72-80	65-120	80-120
Typ av rör	PEX + EVA spärrskikt,	PP	Stålrör
Mängd per m ² radiator, m	64% plaströr, längdmeter	90 %	
Syretillförsel, µg/m ² s	0.024; 0.12	1.2	0,24-0.46
Korrosion			
Korrosionshastighet uppmätt, µm/år ¹⁾	-	-	2.5 ²⁾ ; 2.6-5.1
Korrosionshastighet teoretisk, µm/år ¹⁾	0.2, 1.0	12	-
Beskrivning av korrosion	Nytt system, inget rapporterat	ingen rapport	ingen rapport
Vattenkemi			
pH	10		9-10
Ledningsförmåga, µS/cm	600		
Klorid, mg/l	60		

1) Korrosionshastighet för respektive syretillförsel.

2) Korrosionsinhibitorer

Ett flertal solvärmenät har installerats med PP (propen)-rör utan diffusionsspärr. Några större korrosionsskador hade inte rapporterats från dessa nät (1994). Den låga skadefrekvensen bedömdes sannolikt bero på systemens korta drifttider vid temperatur, cirka 2000 timmar per år. Det väcktes dock en viss oro för att skador kunde utvecklas med tiden varför korrosionshastigheten hos ett system beräknades med beräknad syretillförsel genom plaströren som utgångspunkt [12].

Ett undersökt solvärmesystem har 340 m PP rör och 2.7 m² stålytor. Syretillförseln beräknades till 1.2 µg/m²s och ger en beräknad teoretisk korrosionshastighet på 12 µm/år. Några parametrar för systemet återges i Tabell 4. Korrosionshastigheten bedömdes vara låg men ändå uppmärksammades att avlagringskorrosion och gropfrätning kunde uppstå. Vidare kunde även driftstörningar förorsakas av korrosionsprodukter som bildas i systemet.

Rekommendationen var att plaströr med syrespärr bör användas i solvärmenät samt att om plaströr utan diffusionsspärr installeras bör kolstålkomponenter undvikas eller ersättas med komponenter av rostfritt stål [12].

I två områden i Växjö installerades 1991 och 1994 golvvärme med plaströr med syrediffusionsspärr [14]. I systemen ingår plaströr och stål i proportionerna 90 /10. I båda systemen konstaterades problem av likartad karaktär. En kort tid efter drifttagning uppstod problem med en hög halt korrosionsprodukter/ korrosionshastighet och sänkt pH i systemen. Problemet löstes delvis med installation av magnetitfälla och avgasare. Syrehalten i systemen utan avgasare var hög men med avgasning 10 gånger lägre. Efter avgasning ökade pH i systemet.

Efter dessa nedslående resultat avser Växjö Energi AB i fortsättningen att inte kombinera plaströr och stål i samma system.

En sammanställning av mätningar jämte beräkningar tyder på att problemet med syrediffusion genom plaströr får en allt mindre betydelse. Dock pekar erfarenheterna från Växjö på att en viss osäkerhet kvarstår vad gäller plaströr som bör undersökas innan alla betänkligheter mot plaströrssystem kan läggas åt sidan.

För att begränsa korrosionen i värmesystemen bör läckage av syre in i systemen begränsas och vara lågt. Systemen bör vara så täta som möjligt. Syreläckorna tycks vara relativt stora och stora system tycks ha större läckor än mindre, som sammanställningen i Tabell 5 återger.

Även under väl kontrollerade betingelser är syreläckaget relativt högt, som exempelvis driften av en laboratoriekrets visar, se Tabell 5. I ett av systemen har syrehalten uppmätts och i övriga system har den beräknats från uppmätta korrosionshastigheter. Även syretillförseln återges i tabellen.

Tabell 5

Syrehalt, syretillförsel och korrosionshastighet för några olika stora värmesystem.

Oxygen concentration, oxygen inlet and corrosion rate in some heating systems of various sizes.

System	Syrehalt ¹⁾	Syretillförsel	Korrosions- hastighet ¹⁾
	µg/l	µg/m ² s	µm/år
Laboratoriekrets, liten [3]	5	0.03	0.3
Fjärrvärmenät, 3MW [11]	2	0.024	0.2
	10	0.12	1.2
Fjärrvärmenät, 21 och 131 MW [13]	20-40	0.24-0.46	2.6-4.6

1) Uppmätta värden återges med fet stil, övriga är beräknade.

Plaströr med diffusionsspärr är teoretiskt sett helt "täta" varför systemen "teoretiskt sett" även skall vara problemfria.

En viss syretillförsel erhålles dock som kan vara försumbar i relation till annan tillförsel. Syret förbrukas endast av kolstålytorna. Korrosionsangreppet per ytenhet blir större i ett plaströrssystem med liten stålyta än i ett system med stor stålyta vid lika syreinsläpp.

I ett plaströrssystem med hög andel plaströr bör kanske rekommendationen vara att syrehalten ska vara låg och lägre än för ett rent stålsystem.

Verifierande undersökningar föreslås utföras av värmesystem med plaströr med syrespärr under kontrollerade betingelser på laboratorium eller i provkrets uppkopplad till ett verkligt system. I studien undersöks korrosionsangrepp på kolstål, art av bildade korrosionsprodukter och variation av syrehalt med tiden i ett system med liten yta kolstål och stor yta plast och i ett stålsystem under tillförsel av syre.

Syrehalterna ska simulera realistiska läckor och insläpp av syre i systemen.

Jämförelsematerial finns vid Studsvik från tidigare undersökningar av plaströr.

5 Slutsatser

Alla plaströr är permeabla för gaser. Syrediffusion genom plaströr ger korrosionsangrepp på de stålytor som finns i systemet. Drivkraften för diffusion är skillnaden i koncentration mellan rörväggens ut- och insida. Korrosionen av stålkomponenter i värmesystem med plaströr var ett mysterium när det observerades första gången i början av 70-talet. Frågan var varifrån syret kom in i värmesystemets cirkulerande vatten. Undersökningar visade att den primära orsaken var diffusion av luftens syre genom plaströrens vägg. Mängden syre som på så vis tränger in i systemet kan motsvara så mycket som en uppfyllning av systemet med luftmättat vatten varannan dag.

Några möjliga lösningar till detta potentiella korrosionsproblem är att:

- plaströr förses med diffusionsspärr
- mindre korrosionshårdiga metaller som kolstål inte används i systemen
- värmesystem med plaströr separeras genom värmeväxling
- behandla vattnet före påfyllning och spädning av systemen

Plaströren har förbättrats och rör med diffusionsspärr för syre finns på marknaden. Moderna plaströr med syrespärr har låg permeabilitet för syre. Permeabiliteten är cirka 1000 gånger lägre än för samma rör utan syrespärr. Det finns dock rör med sämre syrespärr och högre syreinsläpp på marknaden.

Tillförsel av syre till värmesystem kan ske även på andra sätt. Storleken av denna tillförsel måste sättas i relation till den mängd som tillförs på grund av användning av plaströr.

Efter det att plaströr med syrespärr introducerades i värmesystemen har man inte med bestämdhet kunnat peka på skadefall, där man helt säkert har påvisat att skadeorsaken har varit syrediffusionen genom plaströren. Dock har skador i nya golvvärmesystem med stora mängder plaströr rapporterats.

Den övergripande slutsatsen av detta är således att problemet med syrediffusion genom plaströr får en allt mindre betydelse. Dock återstår viss osäkerhet vad gäller plaströr som bör utredas innan alla betänkligheter vad gäller korrosion plaströrsystem kan läggas åt sidan.

Referenser

- 1 GOTT, K och KELÉN, T
Korrosion i värmesystem med plaströr. Teori och driftserfarenheter.
Slutrapport för BFR-projekt nr 770358-0
Studsvik Energiteknik AB, Sweden 1979, (STUDSVIK/EL-79/33).
- 2 MOLANDER, A
Syrepermeabilitet i kulvertar.
Studsvik AB, Sweden 1985, (Studsvik 85/3)
- 3 MOLANDER, A
Corrosion in district heating and central heating systems with plastic pipes.
10th Scandinavian corr congress, Proc Stockholm 1986, p 79-82.
- 4 KELÉN, T och DAHL, L
Korrosion i varmvattensystem med polymerrör. Slutrapport för BFR-projekt nr 73 0120-7.
Studsvik Energiteknik AB, Sweden 1976, (AE-MK-858).
- 5 LENMAN, T
Flexible plastic pipes for hot water and the effects of oxygen diffusion.
Wirsbo Bruks AB, Sweden 1985.
- 6 GRUDIS, Gruppcentraldistribution. Handbok för system och komponentutformning. P-A Blomquist et al.
Byggforskningsrådet, Stockholm 1987. ISBN 91-540-4701-3
- 7 HAMICH, W
Diffusionsgeschützte Fussbodenheizungsrohre
Kunststoff im Bau, 20(1985) 3, p 142-144.
- 8 AMBY, L
Diffusionsverhältnisse in vorgedämmten Fernwärme-Kunststoffrohren.
Fernwärme International, 21(1992) 4/5, p 228-236.

- 9 BEETZ, E
Speise- und Heizwasserqualität in automatisch betriebenen Heizwerks- und BHKW-Anlagen unter besonderer Berücksichtigung des Korrosionsschutzes. Erfahrungen und Fortschritte bei der Schadenverhütung von Energietechnischen Rohrleitungssystemen. (Gas und Fernwärmeversorgung), Berlin 14-15 September, 1994. Proc VDI Berichte nr 1139, Düsseldorf 1994, p 57-67. ISBN 3-18-091139-5.
- 10 AASTRUP, B et al.
Corrosion and water treatment in nordic district heating systems. Experience and practice. International symposium on fluids for district heating, Copenhagen, 10-11 April 1991. Proc Ed Boehm B, Lungby 1991, ISBN 87-99038-23-8, p 241-258.
- 11 OESTERGAARD, L, LARSEN, J och AMBY, L
Oxygen occurrence in total district heating systems with a large number of plastic district heating pipes. Dansk Energi Management A/S, Denmark 1993, (NEI-DK-1156)
- 12 KATIC, I et al
Korrosionsforhold i solvarmeanlaeg. Slutrapport. (Bilaga C: Buhl, L, Ilttdiffusionens betydning for korrosionsforholdene i solvarmeanlaeg.) Dansk Teknologisk Inst., Proevestationen for Solenergi, Taastrup, Denmark 1994, (NEI-DK-1522)
- 13 BELLAMY, J, och BRANDON, R.
Corrosion protection strategies for hot water district heating systems: two case studies. Eighty-sixth annual conference of the international district energy association. Indianapolis, IN, 3 - 6 June 1995. International District Energy Association, Washington 1995, p 151-159.
- 14 EHRLÉN, L
Driftserfarenheter av golvvärmesystem med PEX-rör i Växjö. Växjö Energi AB, VEAB, Meddelande Växjö 96-11-22.

RAPPORTFÖRTECKNING

Samtliga rapporter kan beställas hos Energikontorets Förlagsservice.

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

Nr	Titel	Författare	Publicerad
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 fjärrvärmeledning	Jan Molin Gunnar Bergström	dec-96
8	Medierör av plast i fjärrvärmesystem	Håkan Walletun Håkan 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	Ökat värmeunderlag i fjärrvärmevärmda byggnader	Harald Andersson	
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 kulvertor "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>
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
3	Symposium om Fjärrvärmeforskning på Ullinge Wårdshus i Eksjö kommun, 10-11 december 1996	Lennart Thörnqvist	jan-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 - fältnätningar 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 kulvertrör 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 fjärrvärme-ledningar 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 Ljungqvist	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	Försmutsningsförlopp i plattvärmväxlare 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

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
411	Inverkan på returtemperaturen vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentraler	Sture Sikström	dec-91
365	Dynamisk provning av värmeväxlare med hjälp av processidentifiering	Håkan Walletun 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

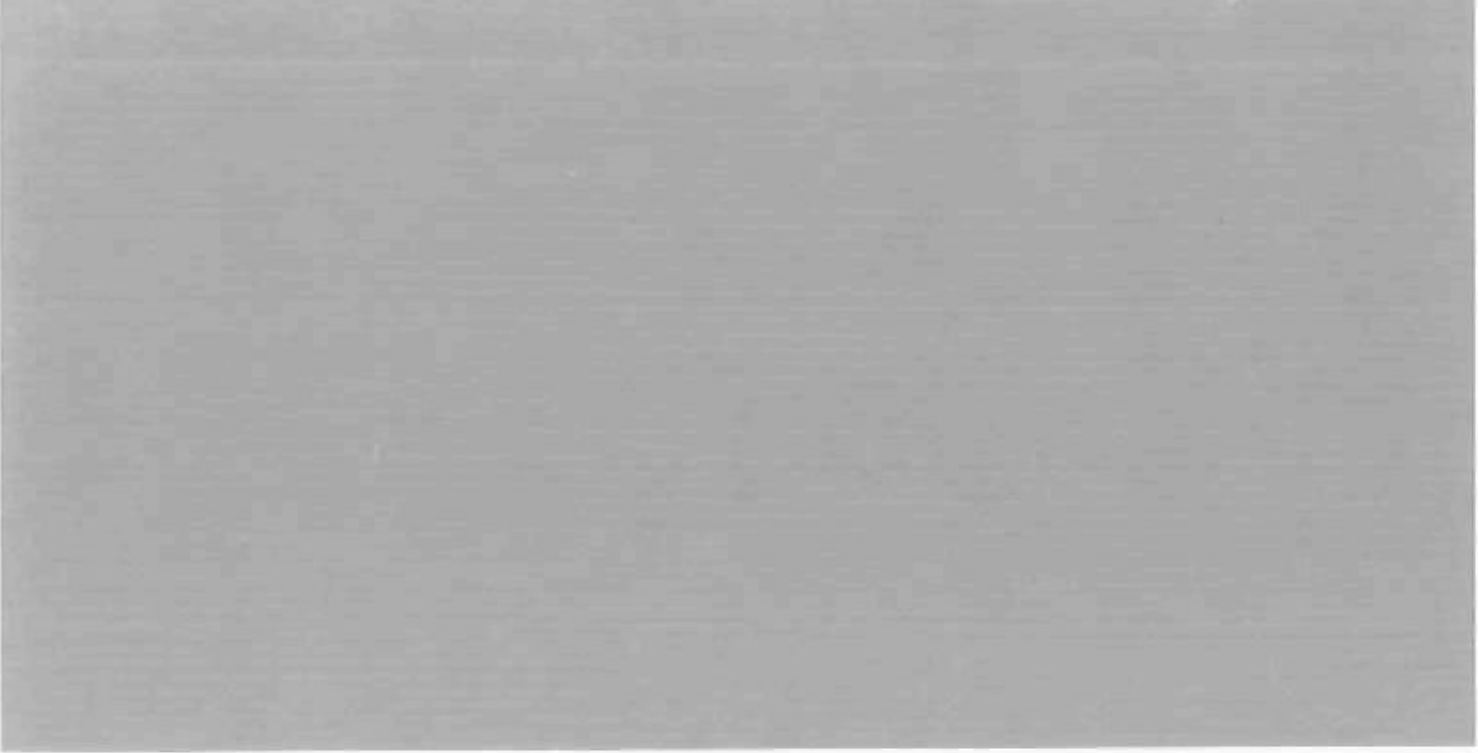
547	Jämförelsemätningar av flödeshastighet mellan ultraljudsmätare av Clamp-On typ och debiteringsmätare i fjärrvärmeabonnentcentraler	Jerker Delsing Bernt Svensson	aug-95
-----	--	----------------------------------	--------

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

RAPPORTER FRÅN ANDRA FORSKNINGS-GRUPPER

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
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 NUTEK bedriver ett kollektivforskningsprogram inom området hetvattenteknik. Forsknings- och utvecklingsprogrammet fokuseras på distributionsteknik, fjärrvärmecentralteknik och systemteknik.

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