

KORROSIONSRISKER VID ANVÄNDNING AV POLYETENRÖR I FJÄRRKYLESYSTEM



Tor-Gunnar Vinka, Jörgen Almquist och Rolf Gubner, Korrosionsinstitutet SCI AB

Forskning och Utveckling | 2005:135

KORROSIONSRISKER VID ANVÄNDNING AV POLYETENRÖR I FJÄRRKYLESYSTEM

Tor-Gunnar Vinka, Jörgen Almquist och Rolf Gubner
Korrosionsinstitutet SCI AB

Forskning och Utveckling | 2005:135

ISSN 1401-9264
© 2005 Svensk Fjärrvärme AB
Art nr FOU 2005:135

I rapportserien publicerar projektledaren resultat från sitt projekt.
Publiceringen innebär inte att Svensk Fjärrvärme AB tagit ställning
till slutsatserna och resultaten.

Sammanfattning FOU:135 – Korrosionsrisker vid användning av polyetenrör i fjärrkylesystem

Fältexponering av metallprover av kolstål och rostfritt stål och mätning av halten löst syrgas i fjärrkylevattnet har utförts vid fjärrkylesystemet hos Affärsverken Energi AB i Karlskrona. I fjärrkylesystemet används rör av polyeten, kolstål och rostfritt stål SS 2343 och dricksvattnet i Karlskrona användes utan avluftning i systemet. I systemet är polyetenrören med tryckklass PN 10 förlagda i jord.

Halten löst syrgas var mycket låg i fjärrkylevattnet i Karlskrona både före och efter en 19 dygn lång episod med förhöjd syrehalt. Under 19 dygn ökade oförklarligt halten löst syrgas i systemet. Den högsta uppmätta syrehalten var 3,4 mg O₂/l. Det finns ingen förklaring till syreläckaget till systemet. Intransport av syrgas genom polyetenrören kan dock uteslutas som orsak till syreläckaget.

Den uppmätta korrosionshastigheten för fritt exponerat kolstål i fjärrkylevattnet i Karlskrona var låg, 5 µm/år. Korrosionsangreppet var av jämn karaktär och det fanns inga lokala korrosionsangrepp på kolstålscylindrarna. Vid sammankoppling av kolstål med rostfritt stål SS 2343 med areaförhållandet 1:1 blev korrosionshastigheten för kolstål 2 - 3 gånger högre än vid fri exponering utan sammankoppling. På rostfritt stål SS 2343 fanns inga korrosionsangrepp varken på fritt exponerat rostfritt stål eller på rostfritt stål som var sammankopplat med kolstål. Det fanns ingen antydning till gropfrätning eller spaltkorrosion på cylindrarna av rostfritt stål.

Den största korrosionsrisken för kolstål vid förhöjd halt löst syrgas i ett fjärrkylesystem utgörs av bimetallkorrosion (galvanisk korrosion) mellan kolstål och koppar och kopparlegeringar respektive kolstål och rostfritt stål.

Beräkningar visar att mängden syrgas som transporteras genom rörväggen på polyetenrör som är förlagda i luft är mycket låg. Denna syremängd ger upphov till långsam korrosion på kolstål. För jordförlagda polyetenrör blir syreinträngningen genom rören betydligt lägre än för rör som är förlagda i luft.

Det rekommenderas att arean kolstål bör vara minst 10 % av arean hos polyetenrören om polyetenrören förläggs utomhus eller inomhus i luft och inte jord. Skälet till detta är att kolstålrören ska konsumera den mängd syrgas som transporteras genom rören. Den största anledningen till att hålla syrehalten i systemet på en låg nivå är risken för bimetallkorrosion på kolstål. En annan anledning för att ha en viss minsta area kolstål i systemet är att konsumera syrgas från oavsiktliga luftläckage och från uppstartning av systemet och större påfyllningar av systemet med icke avgasat vatten.

För fjärrkylesystem med jordförlagda polyetenrör rekommenderas att arean kolstål bör vara minst 5 % av polyetenrörens area. Detta med tanke på oavsiktliga luftinsläpp och uppstartning av systemet och större påfyllningar med icke avgasat vatten.

Det rekommenderas att riskerna för oavsiktligt inläckage av syrgas till fjärrkylesystemet beaktas. Vid nuvarande användning av jordförlagda polyetenrör i fjärrkylesystem bedöms riskerna med oavsiktligt syreläckage vara större än riskerna med syrediffusion genom polyetenrören. Det rekommenderas vidare att riskerna för bimetallkorrosion beaktas vid konstruktion av fjärrkylesystem.

Den nuvarande användningen av jordförlagda polyetenrör i fjärrkylesystem med stora mängder kolstål i systemet ger inte upphov till någon korrosionsrisk. Syremängden som transporteras genom polyetenrören är mycket låg. Man bör dock beakta att mängden korrosionsprodukter kan bli stor och förorsaka igensättningar i systemet.

Summary FOU:135 – Corrosion risks with polyethylene pipes in district cooling systems

Field exposures of carbon steel and stainless steel test cylinders have been made in the district cooling system at Affärsverken Energi AB, Karlskrona, Sweden, as well as determinations of the amount of dissolved oxygen in the district cooling water. In the district cooling system tubes of polyethylene, carbon steel and stainless steel SS 2343 according to Swedish standard SS 14 23 43 are used. Karlskrona's drinking water, without deaeration, is used in the district cooling system. The polyethylene tubes with pressure number PN 10 are placed underground.

The content of dissolved oxygen was very low in Karlskrona both before and after a period of 19 days with elevated oxygen content. During these 19 days the content of dissolved oxygen in the system increased without any apparent cause. The highest recorded oxygen content was 3.4 mg O₂/ℓ. There are no obvious explanations for the increase of oxygen in the system. However, transport of oxygen into the system through the polyethylene tubes can be excluded as the source of the entering oxygen.

The corrosion rate that was determined for freely exposed carbon steel in the district heating water in Karlskrona was low, 5 µm/year. The corrosion attack was of a uniform nature (general corrosion) and there were no local corrosion attacks on the carbon steel cylinders. On connecting the carbon steel with stainless steel SS 23 43 with an area ratio of 1:1 the corrosion rate of the carbon steel increased by 2 - 3 times as compared to free exposure without electrical connection. On the stainless steel SS 2343 there was no corrosion damage either on the freely exposed stainless steel or on stainless steel that was connected to carbon steel. There were no signs of pitting corrosion or crevice corrosion on the stainless steel cylinders.

The main corrosion risk for carbon steel at an elevated content of dissolved oxygen is bimetallic corrosion (galvanic corrosion) between carbon steel and copper and copper alloys, or between carbon steel and stainless steel.

Calculations show that the amount of oxygen gas that is transported through the walls of polyethylene tubes in air is very small. This amount of oxygen causes a slow corrosion on carbon steel. For polyethylene tubes in soil the oxygen transport through the tubes will be considerably lower than for tubes in air.

Recommendations state that the area of carbon steel should be at least 10 % of the area of the polythene tubes if the polyethylene tubes are placed outdoors or indoors in air and not in soil. The reason is that the carbon steel tubes should use up the oxygen that is transported through the tubes. The most important reason for reducing the oxygen content in the system is the risk of bimetallic corrosion on the carbon steel. Another purpose for recommending a certain minimum area of carbon steel in the system is that any oxygen from unforeseen air intakes, from system starts and major additions of makeup water to the system with un-degassed water should be consumed, without causing significant corrosion on the carbon steel.

For district cooling systems with polyethylene tubes placed in soil it is recommended that the area of carbon steel should be at least 5 % of the polyethylene tube area, to take care of unintentional intakes of air and system starts and major toppings with un-degassed water.

It is recommended that the risks of accidental intakes of oxygen into the district cooling system should be considered. With the present use of soil-placed polyethylene tubes in district cooling systems the risks connected with accidental oxygen intakes are judged to be greater than the risk of oxygen diffusion through the polyethylene tubes. Furthermore, it is recommended that the risks of bimetallic corrosion should be taken in account at the design of district heating systems.

The current use of soil-placed polyethylene tubes in district cooling systems with large quantities of carbon steel in the system is not considered to cause any risk of corrosion. The amount of oxygen that is transported through the polyethylene tubes is very small.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	9
2.	Syfte.....	9
3.	Litteraturundersökning.....	10
3.1.	Permeabilitetskoefficient för syrgas för olika polymerer	10
3.2.	Mätning av syrehalt i vatten	10
3.3.	Korrosion på kolstål i vatten – inverkan av syrehalten i vattnet och andra parametrar	11
3.3.1.	Bimetallkorrosion	13
3.4.	Inventering av standarder och normer med krav på syrepermeabilitet eller syresättning av vatten för system som innehåller både plaströr och metalliska komponenter	14
4.	Inventering av förhållande och erfarenheter vid svenska fjärrkyleanläggningar som använder plaströr i systemen	15
4.1.	Material som används i systemen	15
4.2.	Syretransport genom polyetenrör	15
4.3.	Risker med syresättning av fjärrkylevatten ur korrosionssynpunkt.	15
4.4.	Fördelning mellan polyetenrör och rör av metalliskt material	15
4.5.	Kontroll av syrehalt och korrosion i fjärrkylevattnet.....	16
5.	Teoretiska beräkningar av syretransporten genom polyetenrören	16
5.1.	Beräkning av korrosionshastighet för kolstål.....	17
5.2.	Syretransport till jordförlagda polyetenrör	18
5.3.	Uppskattade korrosionshastigheter i Karlskrona på grund av syreinträngning genom polyetenrören	19
6.	Fältförsök vid fjärrkyleanläggning i Karlskrona.....	20
6.1.	Sammansättning hos dricksvattnet i Karlskrona	20
6.2.	Syrehaltsmätningar i fjärrkylevattnet.....	21
6.3.	Korrosionsmätningar	22
7.	Diskussion av uppnådda resultat.....	26
7.1.	Korrosionshastighet för kolstål.....	26
7.2.	Syrehalt i vattnet.....	26
7.3.	Korrosionsproblem vid inläckage av syrgas.....	26
7.4.	Risker vid användning av polyetenrör i fjärrkylesystem	27
8.	Analys och jämförelse av uppnådda resultat från beräkningar och fältförsök	28

9.	Rekommendationer.....	28
10.	Slutsatser.....	29
11.	Referenser	30

1. Inledning

En anläggning för fjärrkyla består till stor del av rörledningar. Systemet är slutet och vattnet vanligen syrefritt. Rören i ledningsnätet för primärsystemet är vanligen jordförlagda, men även förläggning i kulvert förekommer. Sekundärnäten hos de enskilda kunderna är vanligen skilda från primärsystemet och ledningarna här går vanligen fritt inomhus. De material som man idag främst använder i ledningsnäten är kolstål. I komponenter som pumpar, ventiler och värmeväxlare förekommer även andra metalliska material såsom rostfritt stål, koppar och mässing. För rör som är avsedda att grävas ner används vanligen rör med stålet utvändigt korrosionsskyddat av en organisk beläggning, exempelvis ett skikt av polyeten.

Sedan några år har plaströr av typen HD-polyeten börjat användas i fjärrkyleanläggningar som komplement/alternativ till kolstålrör. Flera fördelar kan härmed uppnås. Förutom att plaströren sannolikt blir billigare i inköp och är enklare att installera, kan även driftsäkerheten bli högre och det framtida underhållet lägre, i synnerhet om det är fråga om jordförlagda ledningar.

En risk vid användandet av plaströr i ett fjärrkylesystem är dock att diffusionen av syrgas genom rörväggen ger en viss syresättning av vattnet, och därmed kommer korrosion att uppstå på kolstålskomponenterna. Korrosionens omfattning kommer att stå i direkt proportion till totalmängden syrgas som med tiden diffunderar in i det slutna systemet.

Inför val av plaströr måste man således ha ett relevant underlag för att i varje enskild anläggning kunna bedöma lämpligheten av sådana rör i systemet, och också mer exakt kunna beräkna och förutspå korrosionsriskerna eller utforma systemet så att införandet av plaströr med god tillförlitlighet inte orsakar korrosionsproblem under en viss given livslängd av exempelvis 50 år.

2. Syfte

Syftet med projektet var att skapa ett tekniskt underlag som kan användas för att kunna bedöma möjligheter och begränsningar vid användning av olika typer av plaströr i fjärrkyleanläggningar.

I projektet ingick mätning av syrehalt i fjärrkylevattnet i fjärrkylesystemet och korrosionshastighet för kolstål i fjärrkylesystem som använder polyetenrör i systemet. Vidare har beräkningar av transporthastigheten av syrgas genom polyetenrör utförts.

3. Litteraturundersökning

3.1. Permeabilitetskoefficient för syrgas för olika polymerer

Den materialparameter som karakteriserar ett polymert materials täthet mot transport av gaser är permeabilitetskoefficienten, P. En svårighet vid transportberäkningar är att permeabilitetskoefficienten anges i litteraturen med flera olika enheter. Ett exempel på enhet är $[(\text{cm}^3 \text{ vid STP}) \cdot (\text{mm tjocklek})] / [(\text{cm}^2 \text{ area}) \cdot \text{s} \cdot (\text{cm Hg})]$. I tabell 1 anges permeabilitetskoefficienten, P, för syrgas för polyeten med olika densitet vid 25 - 30 °C [1]. För jämförelse anges också P för polypropen, PVC, teflon, butylgummi och polyamid.

Tabell 1: Permeabilitetskoefficienten för syrgas för olika polymera material [1].

Table 1: Permeability coefficient of different polymeric materials [1].

Polymer	Densitet kg/m ³	Permeabilitetskoefficient $10^{10} \cdot [(\text{cm}^3 \text{ vid STP}) \cdot (\text{mm tjocklek})] / [(\text{cm}^2 \text{ area}) \cdot \text{s} \cdot (\text{cm Hg})]$
Polyeten	922	55
	938	21
	954	11
	965	0,5
Polypropen	907	21
PVC		1,2
Teflon (FEP)		59
Butylgummi		13
Polyamid (Nylon 6)		0,38

För polyeten gäller att P minskar med ökande densitet. P för polypropen är av samma storleksordning som för polyeten. P för PVC är jämförbar med värdet för HD-polyeten. Polyamid har den lägsta permeabilitetskoefficienten.

3.2. Mätning av syrehalt i vatten

Lösligheten för syrgas O₂ i vatten varierar för ett visst tryck med temperaturen. Syrgasens löslighet vid olika temperaturer framgår av tabell 1 [3].

Tabell 2: Löslighet för syrgas i vatten i jämvikt med luft med trycket 101325 Pa (1 atm) [3].*Table 2: Solubility of oxygen in water in equilibrium with air [3].*

Temperatur °C	Löslighet för syrgas i jämvikt med luft med trycket 101325 Pa (1 atm) mg O ₂ /ℓ
0	14,6
5	12,8
10	11,3
15	10,1
20	9,1
25	8,3
30	7,6
35	7,0
40	6,4

Halten löst syrgas i vatten kan bestämmas med två standardiserade metoder:

- Jodometrisk titrering enligt svensk standard SS-EN 25 813 [2]
- Elektrokemisk metod enligt svensk standard SS-EN 25 814 [3].

Den jodometrisk metod är en laboratoriemetod och en mindre modifiering av Winklers metod. Vid analys tillförs till vattenprovet jodidhaltig natriumhydroxid (natriumhydroxid NaOH med tillsats av natriumjodid NaI och natriumazid NaN₃) och mangansulfat MnSO₄, varvid en guldfärgad fällning uppstår. När provet surgörs med fosforsyra H₃PO₄ eller med svavelsyra H₂SO₄ löses fällningen upp och den mängd jod I₂ frigörs som motsvarar syrehalten i vattnet. Halten frigjord jod bestäms genom titrering med natriumtiosulfatlösning Na₂S₂O₃. Vid slutet av titreringen tillsätts stärkelse som blåfärgar joden och hela lösningen blir också blå. Titreringen avslutas när den blåa färgen försvunnit.

Den elektrokemiska metoden är lämplig för både fält- och laboratiemätningar. Metoden kan också användas för kontinuerliga mätningar i fält. Metoden är särskilt användbar för färgade och grumliga vatten samt för vatten som innehåller järn och jodförbrukande ämnen som kan störa den jodometrisk metod.

En syrehaltsmätare består av en mätsond och instrument för avläsning av mätvärdet. Mätcellen är en elektrokemisk cell som består av två elektroder: en katod vanligtvis av guld och en anod vanligtvis av silver som är omgivna av en elektrolyt. En konstant spänning är pålagd mellan elektroderna i den elektrokemiska cellen. Cellen är separerad från vattnet med ett gasgenomsläppligt membran. Syrgas diffunderar genom membranet och reduceras vid katoden av guld. Den resulterande strömmen mäts och den är proportionell mot syrehalten i lösningen.

Det finns på marknaden ett antal olika fabrikat och modeller av syrehaltsmätare som arbetar enligt den elektrokemiska metoden.

3.3. Korrosion på kolstål i vatten – inverkan av syrehalten i vattnet och andra parametrar

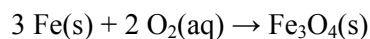
Kolstål korroderar vanligen i vatten genom syreförbrukande korrosion, det vill säga katodreaktionen vid korrosionsprocessen utgörs av reduktion av löst syrgas i vattnet. Vätgasutvecklande korrosion kan också förekomma, men för att vätgasutveckling ska

påverka korrosionsprocessen krävs ett lågt pH-värde, lägre än 4. Sötvattens korrosivitet mot kolstål beror i avgörande grad på vattnets förmåga att bilda en mer eller mindre skyddande beläggning på metallytan. När en sådan beläggning bildas avskärmas metallytan och syrets transport i vattnet blir inte längre hastighetsbestämmande. Den skyddande beläggningen består av kalciumkarbonat CaCO_3 och korrosionsprodukter, ett så kallat kalkrostskikt.

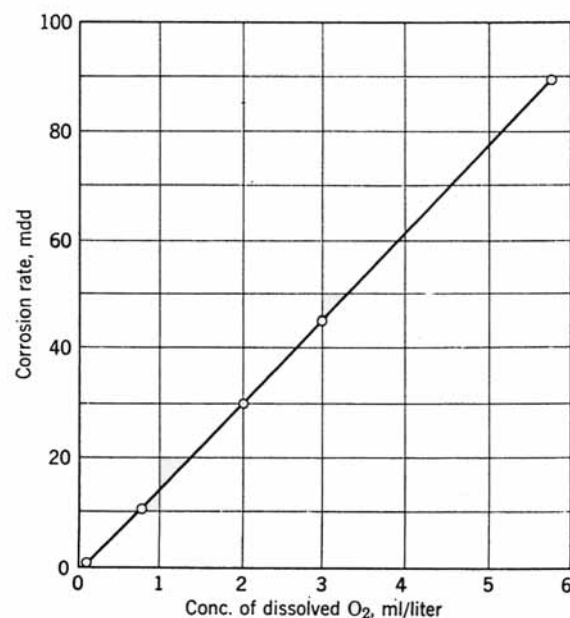
Skyddande skikt av kalciumkarbonat bildas endast genom koppling till korrosionsprocessen och endast i syrerikt vatten. Detta är naturligt eftersom ett tätt skikt av kalciumkarbonat och korrosionsprodukter endast kan bildas som en följd av korrosionsprocessen där järnjoner utlöses från metallen och hydroxidjoner, OH^- , som bildas vid reduktion av syrgas, medför bildning av ett kalkrostskikt.

Magnetit (svartrost) som korrosionsprodukt bildas i syrefattig miljö, medan rödrost bildas i mer syrerik miljö. Rödrost består av järn(III)oxidhydroxid, goethit $\alpha\text{-FeOOH}$ och lepidokrokitt $\gamma\text{-FeOOH}$ och svartrost av järn(II,III)oxid, magnetit Fe_3O_4 .

I ett fjärrkylesystem torde syrehalten vara för låg för att ett stabilt kalkrostskikt ska bildas på metallytan. I stället bildas i huvudsak magnetit som korrosionsprodukt, då kolstål korroderar under syrgasförbrukande korrosion. Reaktionen kan åskådliggöras med följande summaformel:



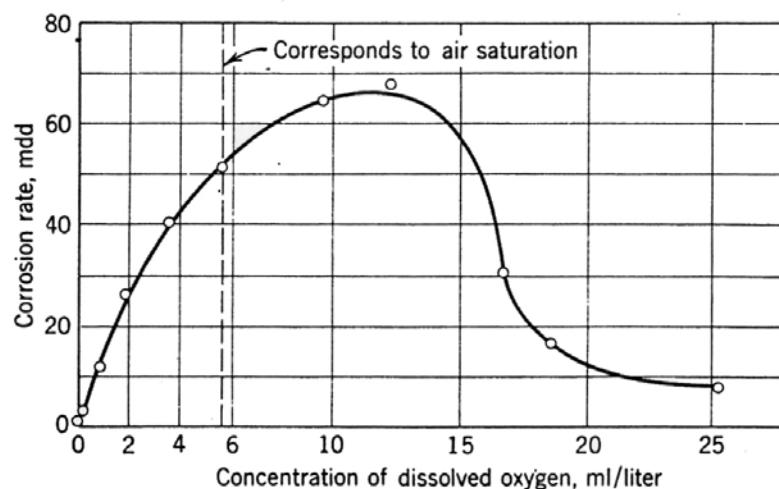
Initialt råder ett linjärt samband mellan korrosionshastighet och halten löst syrgas i vattnet. Detta har visats vid korttidsförsök med kolstål i kloridhaltig lösning, figur 1. I en kloridhaltig lösning aktiveras metallytan, därför erhålls ett linjärt samband. Ju högre halt syrgas desto högre blir korrosionshastigheten. Under detta inledningsskede blir korrosionshastigheten tämligen hög. Detta tillstånd råder under ett antal dygn till dess korrosionsprodukter bildats på metallytan.



Figur 1: Inverkan av syrekonscentrationen på korrosion av kolstål i långsamt strömmande vatten med 165 mg/l CaCl_2 , 48 timmar, 25 °C (mdd: milligram/kvadratdecimeter/dygn, 1 mdd $\approx$ 4,6 $\mu\text{m}/\text{år}$). Figur från Uhlig & Revie [4].

Figure 1: Effect of oxygen concentration on corrosion of mild steel in slowly moving water containing 165 ppm CaCl_2 , 48 test, 25 °C (mdd: milligram per square decimetre and day, 1 mdd $\approx$ 4.6 μm per year). Figure from Uhlig & Revie [4].

Vid ett liknande korttidsförsök med kolstål i destillerat vatten erhöles en böjd kurva upp till gränsen för luftmättnad av vattnet, figur 2. För att erhålla högre halter löst syrgas har vattnet behandlats med ren syrgas.



Figur 2: inverkan av syrekonscentration på korrosion av kolstål i långsamt strömmande destillerat vatten, 48 timmar, 25 °C (mdd: milligram/kvadratdecimeter/dygn, 1 mdd $\approx$ 4,6 $\mu\text{m}/\text{år}$). Figur från Uhlig & Revie [4].

Figure 2: Effect of oxygen concentration of mild steel in slowly moving distilled water, 48 hr-test, 25°C (mdd: milligram per square decimetre and day, 1 mdd $\approx$ 4.6 μm per year). Figure from Uhlig & Revie [4].

Med korrosionsprodukter, rost, på kolstålsytan blir sambandet inte längre linjärt mellan korrosionshastighet och halten löst syrgas i vattnet utan kurvan böjer av. Jämfört med det linjära fallet blir korrosionshastigheten lägre. Korrosionsprodukter på metallytan fungerar som barriär mot syrediffusionen.

För kolstål med magnetit på metallytan i fortfarighetstillstånd kommer korrosionen att avta på grund av magnetiten har viss korrosionsskyddande förmåga och magnetitskiktet fungerar som en diffusionsbarriär för syrgas.

En lämplig vattensammansättning ur korrosionssynpunkt för vattenledningar av kolstål och gjutjärn har pH-värdet 8 - 8,5, alkaliniteten minst 60 mg HCO_3^-/ℓ och kalciumhalten minst 20 mg Ca/ℓ . Kloridhalten bör vara så låg som möjligt, dock mindre än 100 mg Cl^-/ℓ .

3.3.1. Bimetallkorrosion

Ett speciellt korrosionsproblem för kolstål i vatten är bimetallkorrosion (galvanisk korrosion). Bimetallkorrosion uppkommer då olika elektronledande material sammanfogas. Vid en sådan sammankoppling kan en speciell korrosionscell, en så kallad bimetallcell, uppstå. Elektroden består vanligen av två metaller eller metallegeringar. Bimetallkorrosion kan dock också uppstå mellan en metall och ett annat elektronledande material, till exempel grafit.

I en bimetallcell blir den ”ädlare” metallen, till exempel koppar, katod och skyddas mot korrosion, medan den ”oädlare” metallen, till exempel kolstål, blir anod och angrips av korrosion. För att bimetallkorrosion ska uppstå krävs att kontaktstället mellan metallerna är täckt av en elektrolyt, vanligtvis vatten eller en vattenlösning.

I bimetallcellen kommer den ädlare metallen att skyddas mot korrosion genom katodiskt skydd. Den oädlare metallen kommer nämligen att fungera som offeranod och angripas. Det är inte säkert att korrosionen på den ädlare metallen helt och hållet avstannar, det beror på hur effektivt den oädlare metallen verkar som offeranod.

Sammanfattningsvis kan konstateras att den oädlare metallen kommer att korrodera mer och den ädlare metallen mindre vid sammankoppling, än vad som skulle ha varit fallet om metallerna ensamma, inte sammankopplade, varit utsatta för korrosionsmiljön.

Huruvida en metall är ädel eller oädel avgörs av dess korrosionspotential. En ädel metall har en mera positiv korrosionspotential än en oädel metall. Det är brukligt att sammanställa olika metalls korrosionspotentialer i ett korrosionsmedium, till exempel sötvatten eller havsvatten, i en så kallad galvanisk spänningsserie.

Vid bimetallkorrosion är areaförhållandet mellan anod och katod av stor betydelse för angreppets storlek. En stor katodyta i jämförelse med anodytan ger upphov till ett kraftigare angrepp på den oädlare metallen. Om däremot anodytan är stor i förhållande till katodytan blir angreppet på den oädlare metallen fördelat över en stor area och mindre allvarligt.

Elektrolytens konduktivitet (elektriska ledningsförmåga) har också betydelse för korrosionsangreppets lokalisering. Om den elektriska ledningsförmågan är god, till exempel i havsvatten, sprids angreppet långt från kontaktstället och angreppet breddas ut på en stor yta av den oädlare metallen och blir mindre farligt. För fall med dålig elektrisk ledningsförmåga, till exempel i sötvatten och under atmosfäriska förhållanden, blir ofta angreppet på den oädlare metallen lokaliserat nära kontaktstället och därmed farligare.

De metaller som i praktiken är känsliga för bimetallkorrosion är aluminium och aluminiumlegeringar, zink, förzinkat stål samt kolstål, låglegerat stål och gjutjärn. Metaller som oftast orsakar bimetallkorrosion är koppar och kopparlegeringar som mässing och brons. Rostfritt stål kan också orsaka bimetallkorrosion, men korrosionsangreppet på oädlare metallen blir mindre omfattande än vid sammankoppling med kopparlegeringar.

3.4. Inventering av standarder och normer med krav på syrepermeabilitet eller syresättning av vatten för system som innehåller både plaströr och metalliska komponenter

Vid litteraturundersökningen hittades inga relevanta standarder inom området.

4. Inventering av förhållande och erfarenheter vid svenska fjärrkyleanläggningar som använder plaströr i systemen

4.1. Material som används i systemen

I Sverige används jordförlagda polyetenrör i fjärrkylesystem. Anledningen till detta är ingen korrosionsrisk med polyetenrör i jord samt snabb förläggning och återfyllning av rörschakten. Nackdelarna kan vara att rördelar inte tillhör standardsortimentet liksom tryckrör av polyeten med tryckklass PN 16. Övriga rör i systemet är tillverkade av kolstål och rostfritt stål. I värmeväxlare och kylmaskiner förekommer också koppar.

4.2. Syretransport genom polyetenrör

Vid konferensen Fjärrkyla 2004 anordnad av Svensk Fjärrvärme den 21 - 22 april 2004 i Umeå samtalade vi med flera representanter från företag inom fjärrkylebranschen. Polyetenrör används i jord vid fjärrkyleanläggningar. Det fanns inget system med någon längre sträcka polyetenrör direkt i luft hos de intervjuade företrädarna. Det fanns ingen som hade korrosionsproblem som man satte i samband med användning av polyeten i fjärrkylesystemet. Visserligen hade många hört talats om riskerna med syrediffusion genom polyetenrören. Då polyetenrören var förlagda i jord menade man att risken var liten för korrosionsproblem.

4.3. Risker med syresättning av fjärrkylevatten ur korrosionssynpunkt

Ett fjärrkylevatten har i allmänhet mycket låg halt löst syrgas. Syret i systemet konsumeras genom korrosion av kolstål. Koppar och rostfritt stål är betydligt korrosionshärdigare material än kolstål. Det innebär att syreförbrukningen vid korrosion av koppar och rostfritt stål är betydligt mindre än vid korrosion av kolstål.

Vid förhöjda syrehalter kommer kolstålet att korrodera snabbare. Korrosionen på kolstål är företrädesvis av jämn karaktär. Det betyder att också en relativt hög jämn korrosionshastighet inte leder till genomfrätningar. Det är mera sällsynt med lokala korrosionsangrepp med djupa frätgropar i strömmande vatten med låg syrehalt. I stillastående vatten ökar risken för lokala korrosionsangrepp.

Korrosion av kolstål ger upphov till vatten med cirkulerande slam och rostpartiklar och risken för igensättningar i systemet ökar.

Största risken vid syresättning av vattnet är bimetallkorrosion (galvanisk korrosion), se kap. 3.3.1. I ett sötvatten med låg elektrisk ledningsförmåga kommer angreppet på den oädlare metallen att lokaliseras till i närheten av kontaktstället mellan metallerna. I ett fjärrkylesystem kombineras olika material som kolstål, rostfritt stål och koppar. Vid syreinträngning finns således risk för att kolstål angrips och att detta sker i närheten av kontaktstället.

4.4. Fördelning mellan polyetenrör och rör av metalliskt material

Det har inte gått att få fram tillförlitliga data om vätskevolymen och fördelning av polyeten och metalliska material i fjärrkylesystemen.

4.5. Kontroll av syrehalt och korrosion i fjärrkylevattnet

Vid åtminstone två företag hade man konstaterat oavsiktliga luftläckage i systemet. Vid dessa tillfällen visade tagna vattenprov på klart förhöjda syrehalter. Det verkar inte förekomma någon regelbundet kontroll av syrehalten i systemen. Kontroller görs om man misstänker luftläckage i systemen. För övrigt används ingen aktiv bekämpning av korrosionen.

5. Teoretiska beräkningar av syretransporten genom polyetenrören

För polyetenrör förlagda direkt i luft utomhus eller inomhus kan intransporten av syrgas, O₂, uppskattas. Rören är alltså inte förlagda i jord. Intransporten av syrgas genom rörväggen kan uppskattas enligt nedanstående samband [1]. Sambandet gäller för en cylinder med längden 1 m.

$$Q = \frac{P \cdot A \cdot \Delta p}{x} \quad (1)$$

Q = gasflöde, cm³/s; P = permeabilitetskoefficient för syrgas, [(cm³ vid STP)·(mm tjocklek)]/[(cm² area)·s·(cm Hg)]; A = area hos röret, cm²; Δp = skillnad i partialtryck, cm Hg; och x = godstjocklek hos röret, mm.

Arean hos röret beräknas med medeldiametern d_m:

$$d_m = \frac{d_y + d_i}{2} \quad (2)$$

d_m = medeldiameter, cm; d_y = utvändig diameter, cm; och d_i = invändig diameter, cm.

Den drivande kraften för transporten är tryckskillnaden (skillnad i partialtryck) över rörväggen. Halten syrgas i luft är 0,21 vol-%. Partialtrycket för syrgas är 0,21 atm, vilket motsvarar 21,3 kPa och 15,96 cm Hg. Maximal tryckskillnad erhålls om partialtrycket för syrgas på insidan av röret sätts till noll. Detta antagande innebär att all intransporterad syrgas förbrukas momentant genom korrosion på insidan av rörväggen. Den maximala skillnaden i partialtryck blir alltså 15,96 cm Hg. Beräkningarna avser således maximal transporthastighet för syrgas genom rörväggen.

Permeabilitetskoefficienten för syrgas är 2,1·10⁻⁹ [(cm³ vid STP)·(mm tjocklek)]/[(cm² area)·s·(cm Hg)] för polyeten med densiteten 938 kg/m³ [1]. Densiteten för syrgas vid STP (0 °C, 101325 Pa) är 1,43·10⁻³ g/cm³. Volymflödet i enheten cm³ O₂/s räknas om till massflöde i enheten g O₂/år.

Beräkningar har gjorts för i Karlskrona använda dimensioner på polyetenrör med tryckklass PN 10. Beräkningarna utfördes för både PE 80 och PE 100 rör, tabell 3.

För polyetenrören finns ett visst förhållande mellan rörets ytterdiameter och godstjocklek, förhållandet kallas SDR. För de använda PE 80 rören är SDR 11 och för PE 100 SDR 17. Detta innebär att massflödet blir lika för PE 80 respektive PE 100 rören. Intransporten av syrgas är något högre för PE 100 rör än för PE 80 rör. Godstjockleken är också tunnare för PE 100 än för PE 80 på grund av högre långtidshållfasthet hos PE 100 materialet.

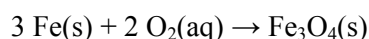
Tabell 3: Beräkningar av syretransport genom polyetenrör PE 80 och PE 100 med tryckklass PN 10.

Table 3: Oxygen transport calculations for polyethylene tubes PE 80 and PE 100 with pressure number PN 10.

Typ av polyeten	Utvändig diameter mm	Invändig diameter mm	Godstjocklek mm	Massflöde g O ₂ /år
PE 80	110	90	10	0,47
	160	130,8	14,6	0,47
	200	163,6	18,2	0,47
PE 100	110	96,8	6,6	0,74
	160	141	9,5	0,75
	200	176,2	11,9	0,75

5.1. Beräkning av korrosionshastighet för kolstål

Den resulterande korrosionshastigheten för kolstål kan beräknas stökiometriskt ur reaktionsformeln:



Järnet Fe rostar under syreförbrukning och som korrosionsprodukter bildas magnetit Fe₃O₄. Då den förbrukade mängden syrgas O₂ är känd kan förbrukningen av järn i reaktionen beräknas. Förbrukningen av järn kan beräknas som massminskning per exponerad area och tid i enheten g/(m²·år), som representerar korrosionshastighet för kolstål.

Korrosionshastigheten för kolstål i enheten g/(m²·år) kan räknas om till korrosionshastighet som medelavfrätning per tid i enheten µm/år. Vid omräkningen användes densiteten 7800 kg/m³. De beräknade korrosionshastigheterna avser jämn korrosion och inte lokal korrosion.

Beräkningar utförs för olika areaförhållanden mellan kolstålsrör och polyetenrör, tabell 4. Vid beräkningarna användes samma innerdiameter för de båda rörtyperna.

Areaförhållandet 100 % innebär att arean kolstålsrör är lika stor som arean polyetenrör.

Areaförhållandet 10 % innebär att arean kolstålsrör är 10 % av arean polyetenrör.

Korrosionshastigheten minskar med ökande area för polyetenrören. Detta på grund av att massminskningen för kolstål fördelas på en större area. Korrosionshastigheten blir något större vid användning av PE 100 än för PE 80. Detta beror på att inflödet av syrgas är något högre för PE 100 än för PE 80 rör.

Korrosionshastigheten för kolstål är genomgående mycket låga till låga. Beräkningarna visar att om man accepterar korrosionshastigheten 5 µm/år på kolstål är det tillräckligt att arean kolstål är 10 % av arean polyetenrör förlagda i luft och inte i jord.

Beräkningarna avser maximal transporthastighet och maximal korrosionshastighet. I själva verket blir korrosionshastigheterna lägre. I praktiken blir skillnaden i partialtryck mindre än den maximala skillnaden i partialtryck 15,96 cm Hg. Vidare tar inte beräkningarna hänsyn till reaktionshämningar i korrosionsprocessen. För en kolstålsyta med korrosionsprodukter, rostig yta med magnetit som korrosionsprodukt, utgör rostsiktet ett hinder mot

syretransporten fram till metallytan. Vidare kommer ett magnetitskikt att ha viss korrosionsskyddande förmåga. Sammantaget blir de verkliga korrosionshastigheterna något lägre än de beräknade korrosionshastigheterna.

Tabell 4: Beräknad invändig korrosionshastighet för kolstål i förhållande till invändig area hos polyetenrör.

Table 4: Calculated inside corrosion rates for carbon steel in relationship to available inside area of polyethylene tubing.

Typ av polyeten	Utvändig diameter mm	Invändig diameter mm	Korrosionshastighet för kolstål					
			µm/år					
			Invändig area hos kolstålsrör i förhållande till invändig area hos polyetenrör					
			100 %	75 %	50 %	25 %	10 %	5 %
PE 80	110	90	0,6	0,8	1,1	2,3	5,6	11,3
	160	130,8	0,4	0,5	0,8	1,5	3,9	7,7
	200	163,6	0,3	0,4	0,6	1,2	3,1	6,2
PE 100	110	96,8	0,8	1,1	1,6	3,3	8,2	16,4
	160	141	0,6	0,8	1,1	2,3	5,7	11,4
	200	176,2	0,5	0,6	0,9	1,8	4,5	9,1

5.2. Syretransport till jordförlagda polyetenrör

Vid förläggning av polyetenrör i jord kommer syretransporten genom rörväggen att minska markant jämfört med förläggning i luft.

Vid förläggning i jord kan transporten av syrgas delas upp i två delsteg:

- Transport av syrgas genom jorden fram till polyetenrörets ytteryta
- Transport av syrgas genom polyetenröret.

Transporten av syrgas genom jorden är en långsam process. I jorden är porerna alltid till viss del fyllda med porvatten. I porsystemet finns alltså jordvatten och jordluft. I vattenmättad jord är hela porsystemet vattenfyllt. Vattenmättad jord förekommer under grundvattennivån i jorden. Diffusionen av syrgas är mycket långsammare i vatten jämförd med luft. Diffusionskoefficienten för syrgas är fyra tiopotenser lägre i vatten än i luft. Syrediffusionen i jord är alltså mycket beroende av jordens vattenmättnadsgrad.

Vid undersökningar i fyllningsjord med moränliknande struktur vid Chalmers tekniska högskola, Göteborg mättes bland annat jordens vattenmättnadsgrad var 25 cm ned till 1,5 m under markytan under drygt ett år [6, 7]. Från mätningarna framkom att vattenmättnadsgraden i jorden varierade mellan 70 och 100 vol-%. Under långa perioder var vattenmättnadsgraden omkring eller över 90 vol-%. Vid vattenmättnadsgraden 100 vol-% är jorden vattenmättad.

I jord kan man räkna med att mer än halva porvolymen är vattenfylld under stora delar av året. Det betyder att syrgasen i huvudsak transporteras som löst syrgas i porvattnet, vilket är en långsam transportform. Om de jordförlagda rören ligger under hårdgjord markyta, till exempel under asfalterad mark, kommer syretransporten att bli än långsammare.

Det ska tilläggas att syrehalten är lägre i jordluft än i atmosfärsluft eftersom syrgas förbrukas i jorden genom mikrobiologiska processer.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att syretransporten genom jorden fram till rörytan är en långsam process.

5.3. Uppskattade korrosionshastigheter i Karlskrona på grund av syreinträngning genom polyetenrören

I Karlskrona innehåller fjärrkylesystemet 2700 m polyetenrör och 450 m kolstålsrör. Om det antages att dimensionerna är lika för polyetenrören och kolstålsrören utgör arean av kolstålsrören 17 % av arean hos polyetenrören. Vid tankeexperimentet att polyetenrören var förlagda i luft och inte i jord skulle korrosionshastigheten på kolstålsrören maximalt bli 3 - 5 $\mu\text{m}/\text{år}$, beroende på typ av polyeten (PE 80 eller PE 100) och rördimension. Då rören nu är förlagda i jord torde korrosionshastigheten orsakad av syreinträngning bli betydligt lägre än 1 $\mu\text{m}/\text{år}$.

Den ungefärliga vattenvolymen i fjärrkylesystemet i Karlskrona är 100 m^3 . Vid påfyllning av systemet användes dricksvattnet i Karlskrona. Här antags att halten löst syrgas i dricksvattnet var 10 $\text{mg O}_2/\ell$. Det betyder att i systemet fanns initialt 1000 g O_2 . Längden kolstålsrör i systemet var 450 m och med en antagen inre diameter på 150 mm erhålles kolstålsarean 212 m^2 . Vid korrosion av kolstål under bildning av magnetit Fe_3O_4 med en antagen korrosionshastighet på 5 $\mu\text{m}/\text{år}$ förbrukas 22,7 g Fe/dygn och 8,7 g O_2/dygn i fjärrkylesystemet. Det betyder att allt tillgängligt syre i systemet har förbrukats på 116 dygn. Om korrosionshastigheten dubblas till 10 $\mu\text{m}/\text{år}$ förbrukas allt syre i fjärrkylesystemet på 58 dygn. Allt syre från påfyllningen av systemet med luftat dricksvatten kommer alltså att förbrukas genom korrosionen under loppet av 2 till 4 månader.

6. Fältförsök vid fjärrkyleanläggning i Karlskrona

Fältexponering av metallprover av kolstål och rostfritt stål och mätning av syrehalten i fjärrkylevattnet utfördes vid fjärrkylesystemet hos Affärsverken Energi AB i Karlskrona.

Fjärrkylan produceras i ett bergrum i Gräsvik, Karlskrona. Fjärrkyla levereras i första hand till datorcentraler vid Blekinge tekniska högskola och till Vodafone. Fjärrkylan används också till komfortkyla. Totalt är 15 fastigheter anslutna.

Fjärrkylan produceras med kylmaskiner. Utgående vatten har temperaturen cirka 6 °C och returvattnet har temperaturen cirka 9 °C sommartid och 6,5 - 7 °C vintertid.

I fjärrkylesystemet används rör av polyeten, kolstål och rostfritt stål och som fjärrkylevatten används dricksvattnet i Karlskrona utan avluftning. I systemet är rör av kolstål och rostfritt stål sammankopplade.

I rörsystemet är längden kolstålsrör cirka 450 m och längden hos rör av rostfritt stål cirka 900 m. De rostfria rören är tillverkade av krom-nickel-molybdenstål SS 2343 enligt svensk standard SS 14 23 43. Det rostfria stålet är ett så kallat syrafast stål. Kolstålsrören och rören av rostfritt stål används i första hand vid produktionscentralen i Gräsvik.

Sträckan polyetenrör är cirka 2700 m och polyetenrör används som distributionsrör till konsumenter. Nästan hela sträckan polyetenrör är nedgrävd i jord. Polyetenrören som används är vanliga tryckledningar av polyeten med tryckklass 10. Det finns inget tätskikt på rören för att minska syreinsläppet. Polyetenrör PE 80 med tryckklass PN 10 dominerar i systemet. I mindre omfattning används PE 100 rör med tryckklass PN 10. PE 80 innebär att långtidshållfastheten är 8,0 MPa och betecknar den spänning röret kan uppta utan brott i minst 50 år. PE 100 betyder att långtidshållfastheten är 10,0 MPa. PN 10 innebär rör för nominellt tryck 1 MPa vid 20 °C. Det nominella trycket, PN, anger högsta tillåtna arbetstryck i bar vid 20 °C. De använda polyetenrören har utvändig diameter 110, 160 respektive 200 mm.

I systemet finns också annat metalliskt material. Fjärrkylecentraler hos förbrukare (totalt 9 st) är värmeväxlare och tillverkade av koppar och rostfritt stål alternativt av kolstål och rostfritt stål. I kylmaskinerna finns metallerna kolstål och koppar. Kompressorerna i kylmaskinerna är tillverkade av koppar. Expansionskärlen är tillverkade av kolstål.

Sammantaget finns i systemet kolstål, rostfritt stål och koppar. De olika metalliska materialen är i elektrisk kontakt med varandra.

6.1. Sammansättning hos dricksvattnet i Karlskrona

Sammansättningen hos dricksvattnet i Karlskrona framgår av tabell 5.

Tabell 5: Sammansättningen hos dricksvattnet i Karlskrona.*Table 5: Drinking water composition in Karlskrona.*

Analys	2003		2004	
	Driftkontroll	Egenkontroll	Driftkontroll	Egenkontroll
pH-värde	8,3	8,2	8,3	8,3
COD _{Mn} , mg/l	3,7	3,7	4,0	4,0
Färgtal, mg Pt/l	7	8	7	7
Turbiditet, FNU	0,13	0,14	0,13	0,13
Konduktivitet, mS/m		27		
Alkalinitet, mg HCO ₃ ⁻ /l	64	64	61	58
Totalhårdhet, °dH	4,5	4,5	4,5	4,5
Kalcium, mg Ca/l		29		
Magnesium, mg Mg/l		<2		
Natrium, mg Na/l		21		
Kalium, mg K/l		1,7		
Klorid, mg Cl ⁻ /l		12		
Sulfat, mg SO ₄ ²⁻ /l		51		
Aluminium, mg Al/l	0,09	0,09	0,10	0,11
Järn, mg Fe/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mangan, mg Mn/l	0,03	0,04	0,03	0,02
Nitrit, mg NO ₂ ⁻ -N/l		0,003		0,01
Nitrat, mg NO ₃ ⁻ -N/l		<0,05		
Ammonium, mg NH ₄ ⁺ -N/l	0,04	0,04	0,11	
Fosfat, PO ₄ ³⁻ -P/l		<0,01		

I tabellen anges medelvärden för dels driftkontroll, dels egenkontroll för åren 2003 och 2004. Driftkontroll och egenkontroll av dricksvatten regleras av Livsmedelsverkets författningssamling LIVSFS 2005:10 [8].

Som framgår av vattenanalyserna är vattnet mycket bra ur korrosionssynpunkt. pH-värdet ligger inom intervallet 8 - 8,5, alkaliniteten är minst 60 mg HCO₃⁻/l och kalciumhalten är minst 20 mg Ca/l. Kloridhalten är låg endast 12 mg Cl⁻/l. Sammantaget har dricksvattnet en ur korrosionssynpunkt lämplig sammansättning för kolstål och gjutjärn, förzinkat stål, koppar och rostfritt stål.

6.2. Syrehaltsmätningar i fjärrkylevattnet

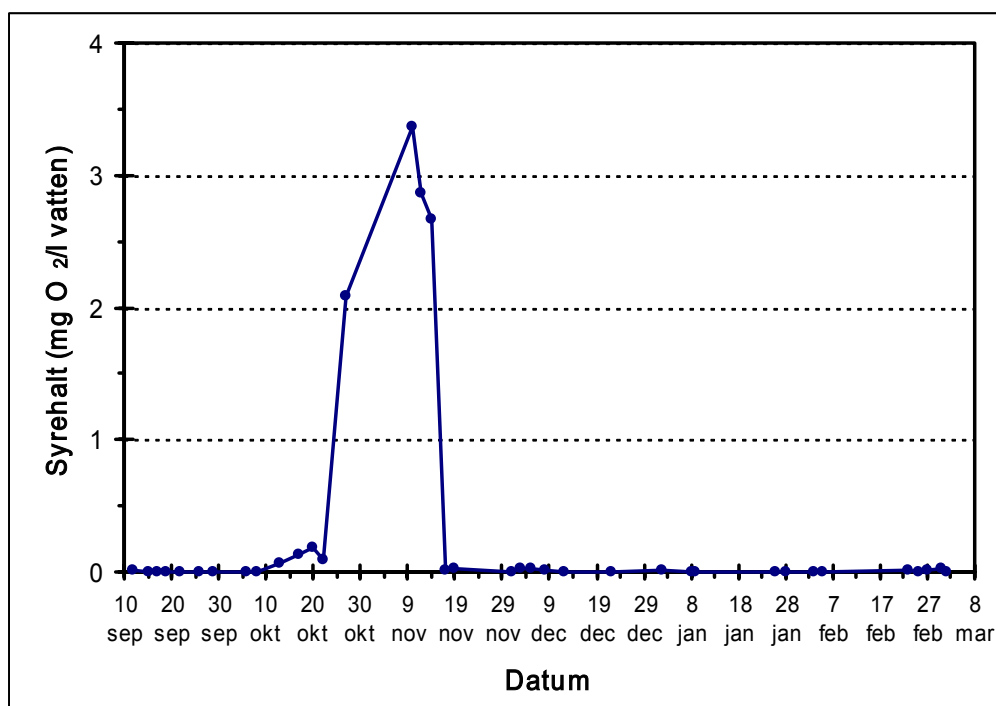
Syrehalten i fjärrkylevattnet mättes under sex månader vid produktionscentralen i Gräsvik, Karlskrona. Mätningarna utfördes vid en förbikoppling av vattnet från ett kolstålsrör. Halten löst syrgas i vattnet mättes med elektrokemisk metod enligt svensk standard SS-EN 25 814 [3]. Syrehaltsmätare med beteckningen Beverage Oxygen System (B.O.S.) modell 26133 (mätinstrument) och modell 31121 (mätsensor) från Orbisphere Laboratories, Neuchatel, Schweiz användes vid mätningarna. Flödet till syremätaren ströps till 5 - 6 l/h.

Syrehalten mättes under perioden 12 september 2003 till den 2 mars 2004. Syrehalten i vattnet avlästes manuellt av personal från Affärsverken Energi AB i Karlskrona.

Syrehalten var mycket låg i systemet med undantag för en period på 19 dygn med hög syrehalt, se figur 3.

Under den första månaden var syrehalten praktiskt taget noll. Den 13 oktober 2003 började syrehalten stiga. Maximalt uppmättes syrehalten 3,4 mg/l den 10 november 2003.

Syrehalten sjönk därefter och var mycket låg igen den 17 november 2003. Efter denna episod med förhöjd syrehalt var syrehalten mycket låg under resten av mätperioden. Det finns ingen förklaring till detta oavsiktliga inläckage av syrgas vid Affärsverken Energi AB i Karlskrona.



Figur 3: Syrehaltsmätningar i fjärrkylesystemet i Karlskrona.

Figure 3: Dissolved oxygen measurements performed in district cooling system in Karlskrona.

6.3. Korrosionsmätningar

En lämplig försökscell framtogs med bakgrund från tidigare erfarenheter vid Korrosionsinstitutet. I försökscellen exponerades provcylindrar av kolstål och rostfritt stål för mätning av korrosionshastighet. Sammansättningen hos kolstålet framgår av tabell 6. Det rostfria stålet var ett krom-nickel-molybdenstål SS 2343 enligt svensk standard SS 14 23 43.

Tabell 6: Sammansättning hos kolstålet som användes vid korrosionsmätningar.

Table 6: Carbon steel composition of test cylinders.

Halt, mass-%												
C	Mn	Cu	Si	Cr	Ni	Mo	S	Al	Ti	P	Sn	Fe
0,10	0,54	0,22	0,22	0,16	0,09	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	rest.

Fjärrkylevattnet leddes in i försökscellen via en förbikoppling från ett kolstålrör i systemet och vattnet leddes sedan tillbaka till systemet via en annan koppling. Flödet till korrosionscellen ströps också till 5 - 6 l/h. I försökscellen fick 24 provcylindrar plats, figur 4.



Figur 4: Korrosionscellen med flödesmätare. Provhållaren (A) som sitter i provbehållaren (B).

Figure 4: Corrosion cell with flow meter. (A) shows the sample holder which is inserted in the tube shown in (B).

Risken för bimetallkorrosion (galvanisk korrosion) mellan kolstål och rostfritt stål undersöktes också genom att sammankopplade provcylindrar av kolstål och rostfritt stål exponerades. Samtliga provcylindrar av både kolstål och rostfritt stål var lika stora med arean 17,3 cm². Areaförhållandet mellan oädlare metall (kolstål) och ädlare metall (rostfritt stål) var således 1:1 vid försöket med bimetallkorrosion.

Totalt exponerades nio okopplade provcylindrar av kolstål och tre okopplade provcylindrar av rostfritt stål. Totalt sex provkombinationer med kolstål och rostfritt stål exponerades med en cylinder av kolstål sammankopplad med en cylinder av rostfritt stål i varje provkombination.

Fältextponeringarna av provcylindrar påbörjades den 11 september 2003. Det första intaget av provcylindrar gjordes efter 173 dygn den 2 mars 2004. Det andra intaget av provcylindrar utfördes efter 271 dygn den 8 juni 2004.

Korrosionshastigheten utvärderades på traditionellt sätt genom massförlustbestämning. I förväg vägda provcylindrar exponerades under en bestämd tid i korrosionsmediet, i detta fall fjärrkylevattnet, varefter de återigen vägs efter det att korrosionsprodukterna avlägsnats genom betning. Kolstålscylindrarna betades i Clarkes lösning. Massförlustbestämning är den enda helt tillförlitliga metoden vid utvärdering av korrosionshastighet och användas därför som referensmetod då korrosionshastigheten utvärderats på annat sätt, till exempel med elektrokemiska mätmetoder.

Korrosionshastigheterna för kolstål visas i tabell 7. Korrosionshastigheterna anges som medelvärde med standardavvikelse för två exponeringsperioder: 0,47 respektive 0,74 år.

Tabell 7: Korrosionshastigheter för kolstål för två exponeringsperioder: 0,47 respektive 0,74 år för dels fri exponering av kolstål utan hopkoppling till rostfritt stål, dels vid hopkoppling av kolstål med rostfritt stål. Korrosionshastighet anges som medelvärde med standardavvikelse inom parentes.

Table 7: Corrosion rates for carbon steel obtained from two experiments (0.47 and 0.74 years respectively) with and without electrical connection to stainless steel. The corrosion rates are presented as mean values and the standard deviation is given in parentheses.

Typ av exponering	Exponeringstid	Antal prov-cylindrar	Korrosionshastighet $\mu\text{m}/\text{år}$
Fri exponering utan hopkoppling till rostfritt stål	173 dygn 0,47 år	3	3,2 (1,7)
Hopkopplade till rostfritt stål	173 dygn 0,47 år	2	9,2 (0,8)
Fri exponering utan hopkoppling till rostfritt stål	271 dygn 0,74 år	6	8,4 (1,0)
Hopkopplade till rostfritt stål	271 dygn 0,74 år	4	14 (3,5)

För den första exponeringsperioden om sex månader var korrosionshastigheten tämligen låg, 3 $\mu\text{m}/\text{år}$. Vid sammankoppling av kolstålet med rostfritt stål ökade korrosionshastigheten till 9 $\mu\text{m}/\text{år}$. För den andra exponeringsperioden ökade korrosionshastigheten till 8 $\mu\text{m}/\text{år}$ vid fri exponering utan hopkoppling med rostfritt. Vid hopkoppling med rostfritt stål ökade korrosionshastigheten från 8 $\mu\text{m}/\text{år}$ till 14 $\mu\text{m}/\text{år}$. Korrosionen på alla de exponerade kolstålscylindrarna var av jämn karaktär. Det fanns inga lokala korrosionsangrepp med frätgropar på kolstålscylindrarna, vare sig på de fritt exponerade cylindrarna eller på cylindrarna som var hopkopplade med rostfritt stål.

Under den första perioden ökade korrosionshastigheten 2,9 gånger vid uppkoppling med rostfritt stål, medan vid den andra perioden ökade korrosionshastigheten 1,6 gånger vid hopkoppling.

Exponerade provcylindrar visas i figur 5 efter exponeringstiden 0,47 år och i figur 6 efter exponeringstiden 0,74 år.



Figur 5: Provcylindrar efter 0,47 år exponering. Högst upp på bilden cylindrar av rostfritt stål och längst ned cylindrar av kolstål. Till vänster i bilden fritt exponerade provcylindrar och till höger hopkopplade provcylindrar. Bredvid de hopkopplade cylindrarna visas som jämförelse fritt exponerade cylindrar.

Figure 5: Test cylinders after 0.47 years of exposure. Insulated test cylinders are shown on the left side of the picture and electrical coupled carbon and stainless steel cylinders on the right side.

Ökningen i korrosionshastighet under den andra perioden kan i huvudsak förklaras med att flödet genom korrosionscellen ökades. Vid slutet av den första perioden konstaterade personal från Affärsverken Energi AB i Karlskrona att korrosionsprodukter, rost, satt igen korrosionscellen och flödet genom cellen hade praktiskt taget upphört. Vid intaget av provcylindrar efter den första perioden rengjordes cellen och flödet ökades markant för att undvika igensättning av cellen med rostpartiklar. Det innebär att de uppmätta korrosionshastigheterna under den första perioden var något för låga och korrosionshastigheterna under den andra perioden något för höga. På de fritt exponerade kolstålscylindrarna kan korrosionshastigheten ansättas till 5 µm/år. Vid hopkoppling av kolstål med rostfritt stål med areaförhållandet 1:1 ökade korrosionshastigheten för kolstål 2 - 3 gånger.



Figur 6: Provcylindrar efter 0,74 år exponering. A) Fritt exponerad kolstålscylinder, B) Elektriskt hopkopplade cylindrar av kolstål och rostfritt stål, och C) Fritt exponerad cylinder av rostfritt stål.

Figure 6: Test cylinders after 0.47 years of exposure. A) Insulated carbon steel cylinder, B) Electrical coupled carbon and stainless steel cylinders, and C) Insulated stainless steel cylinder.

På provcylindrarna av rostfritt stål fanns inga korrosionsangrepp utan endast viss missfärgning på de fritt exponerade cylindrarna och på cylindrarna som var hopkopplade med kolstål. Det fanns alltså ingen antydning till gropfrätning eller spaltkorrosion på de rostfria cylindrarna.

7. Diskussion av uppnådda resultat

7.1. Korrosionshastighet för kolstål

För den första exponeringsperioden om sex månader var korrosionshastigheten låg, 3 $\mu\text{m}/\text{år}$. Vid sammankoppling av kolstålet med rostfritt stål ökade korrosionshastigheten till 9 $\mu\text{m}/\text{år}$. Av syrehaltsmätningarna framgår av syrehalten i vattnet varit låg till mycket låg under nästan hela perioden. Det innebär att kolstålet rostat mycket långsamt utom under perioden med hög syrehalt. Det är rimligt att anta att nästan all korrosion skett under perioden med hög syrehalt. Korrosionshastigheterna kan därför räknas om att gälla för perioden på 19 dygn.

Under denna period var korrosionshastigheten hög, 30 $\mu\text{m}/\text{år}$ och vid sammankoppling ökade korrosionshastighet från 30 till 83 $\mu\text{m}/\text{år}$. Detta innebär att det sker en kraftig korrosion under perioder då syre på ett eller annat sätt tränger in i systemet. Korrosionen hos kolstål kommer vidare att markant öka vid sammankoppling med till exempel rostfritt stål. Erfarenhetsmässigt vet man att sammankoppling av kolstål med koppar eller mässing ger än värre korrosion.

De uppmätta korrosionshastigheterna på fritt exponerat kolstål var tämligen låg och de uppmätta hastigheterna ger inte upphov till frågetecken för funktionen av kolstålsrör och andra konstruktionsdetaljer av kolstål.

Det kan däremot konstateras att korrosionshastighet fördubblades vid hopkoppling av kolstål med rostfritt stål. Vid denna undersökning var areaförhållandet 1:1 mellan kolstål och rostfritt stål. Om areaförhållandet ökas, det vill säga att arean hos det rostfria stålet ökar kommer också korrosionshastigheten hos kolstålet att öka.

7.2. Syrehalt i vattnet

Halten löst syrgas var mycket låg i systemet både före och efter den 19 dygn långa episoden med förhöjd syrehalt. Det betyder att syret i systemet förbrukats genom korrosionen av i första hand kolstål. Den eventuella syreinträngningen har således helt balanserats av syreförbrukningen.

Vi kan utesluta att syreläcket till fjärrkylevattnet orsakats av syreinträngning genom polyetenrören. För det första är polyetenrören i Karlskrona jordförlagda och inte förlagda utomhus eller inomhus i luft. För det andra visar utförda beräkningar att syreinträngningen genom polyetenrör är mycket långsam för rör förlagda i luft. För jordförlagda rör blir syretransporten genom rören än lägre.

Syreinträngningen ger upphov till en tämligen konstant och låg syrehalt och inte till plötsliga toppar i syrehalt. Syrehalten skulle inte heller avta till praktiskt taget nollnivå om den orsakades av syreinträngning. Syreläcket måste ha orsakats av andra orsaker. Det finns ingen enkel förklaring till detta oavsiktliga inläckage vid Affärsverken Energi AB i Karlskrona.

7.3. Korrosionsproblem vid inläckage av syrgas

Det finns risker vid inläckage av syrgas till ett fjärrkylesystem. Vid inläckage av syre till systemet ökar korrosionen hos alla metaller. Risken för bimetallkorrosion av kolstålet ökar eftersom flera metalliska material såsom kolstål, rostfritt stål samt koppar och mässing brukar kombineras i systemet. Det är därför av största vikt att syrehalten är låg i systemet. Den ökade korrosionen på kolstål genom bimetallkorrosion kan accepteras om syrehalten hålls nere. Det finns dock anledning att beakta riskerna för bimetallkorrosion vid konstruktion av fjärrkylesystem.

Vid syresättning av vattnet ökar korrosionshastigheten kraftigt vilket ger upphov till att rost och andra korrosionsprodukter cirkulerar runt i systemet. Detta kan öka risken för igensättningar i systemet.

7.4. Risker vid användning av polyetenrör i fjärrkylesystem

Det finns ingen uppenbar risk med användningen av polyetenrör i fjärrkylesystem eftersom det samtidigt finns stora mängder metalliska material i systemet till exempel rör av kolstål och rostfritt stål. Syrgasen som tränger in genom rören, genom en långsam transportsprocess, kommer att förbrukas genom korrosion av i första hand av kolstålet i systemet. Ett ytterligare skäl till den långsamma syreinträngningen genom rören är att polyetenrören är förlagda i jord. Syretransporten genom jorden fram till polyetenrören är en mycket långsam process. Vidare måste den framtransporterade syrgasen sedan transporteras genom polyetenrören.

Den nuvarande användningen av jordförlagda polyetenrör i fjärrkylesystem med stora mängder metalliskt material ger inte upphov till någon risk.

Också fallet med polyetenrör förlagda i luft kan hanteras. För detta fall bör arean kolstål vara minst 10 % av arean polyetenrör. Kolstålsrören kommer då att konsumera den mängd syrgas som transporteras in genom rören. Den största anledningen till att minska syrehalten är risken för bimetallkorrosion.

Vid nuvarande användning av jordförlagda polyetenrör i fjärrkylesystem bedöms riskerna med oavsiktligt syreläckage vara större än riskerna med syrediffusion genom polyetenrören.

8. Analys och jämförelse av uppnådda resultat från beräkningar och fältförsök

De uppnådda korrosionshastigheterna på fritt exponerat kolstål är något högre än för beräknade korrosionshastigheter för det hypotetiska fallet att polyetenrören var förlagda direkt i luft och inte i jord. Om det beaktas att rören är förlagda i jord blir de uppmätta korrosionshastigheterna högre än förväntat från uppskattningar av korrosionshastighet.

I Karlskrona var halten löst syrgas i systemet mycket låg med undantag för en period på 19 dygn med förhöjd syrehalt. Det finns enkel ingen förklaring till detta luftinläckage till systemet. Det kan också ha förekommit andra oavsiktliga luftläckage under den andra exponeringsperioden. Den relativt låga korrosionshastigheten i Karlskrona verkar ha orsakats av oavsiktligt luftläckage.

För fjärrkyleanläggningar med jordförlagda polyetenrör är det sannolikt att oavsiktliga luftinsläpp orsakar långt högre syremängder än via syreinträngning genom polyetenrören.

Tumregeln med en viss minsta mängd (area) kolstål i fjärrkylesystemet skulle egentligen inte vara nödvändig vid förläggning av polyetenrör i jord. Med tanke på oavsiktliga luftinsläpp och uppstartning och större påfyllningar av icke avgasat vatten är det befogat med en viss minsta mängd kolstål i systemet. Här kan gränsen 5 % av polyetenrörens area vara på sin plats.

9. Rekommendationer

Det rekommenderas att arean kolstål bör vara minst 10 % av arean hos polyetenrören om polyetenrören förläggs utomhus eller inomhus i luft och inte jord. Skälet till detta är att kolstålsrören ska konsumera den mängd syrgas som transporteras genom rören. Den största anledningen till att minska syrehalten i systemet är risken för bimetallkorrosion på kolstål. En annan anledning för att ha en viss minsta area kolstål i systemet är att konsumera syrgas från oavsiktliga luftläckage och från uppstartning och fyllning av systemet om inte avgasat vatten används.

För system med jordförlagda polyetenrör rekommenderas att arean kolstål bör vara minst 5 % av polyetenrörens area. Detta med tanke på oavsiktliga luftinsläpp och uppstartning och större påfyllningar av icke avgasat vatten.

För polyetenrör med tryckklass 10 blir intransporten av syrgas något högre för PE 100 än för PE 80 rör med samma yttre diameter. Polyetenrör med tryckklass PN 16 har större godstjocklek än rör med tryckklass PN 10. Detta medför att syretransporten blir lägre genom ett rör med samma yttre diameter med tryckklass PN 16 än för ett rör med tryckklass PN 10.

Det finns anledning att beakta riskerna för oavsiktlig inläckage av syre till systemet. Vid inläckage av syrgas kommer korrosionen av kolstål att öka. Den största ökningen sker genom bimetallkorrosion.

10. Slutsatser

Från undersökning framgår följande iakttagelser, slutsatser och rekommendationer:

- Den uppmätta korrosionshastigheten för fritt exponerat kolstål i fjärrkylevattnet i Karlskrona var låg, 5 µm/år. Korrosionsangreppet var av jämn karaktär och det fanns inga lokala korrosionsangrepp på kolstålscylindrarna.
- Vid sammankoppling av kolstål med rostfritt stål SS 2343 med areaförhållandet 1:1 blev korrosionshastigheten för kolstål 2 - 3 gånger högre än vid fri exponering utan sammankoppling.
- På rostfritt stål SS 2343 fanns inga korrosionsangrepp varken på fritt exponerat rostfritt stål eller på rostfritt stål som var sammankopplat med kolstål. Det fanns ingen antydning till gropfrätning eller spaltkorrosion på cylindrarna av rostfritt stål.
- Halten löst syrgas var mycket låg i fjärrkylevattnet i Karlskrona både före och efter en 19 dygn lång episod med förhöjd syrehalt.
- Under 19 dygn ökade oförklarligt halten löst syrgas i systemet. Den högsta uppmätta syrehalten var 3,4 mg O₂/l.
- Det finns ingen enkel förklaring till syreläckaget till systemet. Intransport av syrgas genom polyetenrören kan dock uteslutas som orsak till syreläckaget.
- Den största korrosionsrisken för kolstål vid förhöjd halt löst syrgas i ett fjärrkylesystem utgörs av bimetallkorrosion (galvanisk korrosion) mellan kolstål och koppar och kopparlegeringar respektive kolstål och rostfritt stål.
- Beräkningar visar att mängden syrgas som transportas genom rörväggen på polyetenrör som är förlagda i luft är mycket låg. Denna syremängd ger upphov till långsam korrosion på kolstål.
- För jordförlagda polyetenrör blir syreinträngningen genom rören betydligt lägre än för rör som är förlagda i luft.
- Det rekommenderas att arean kolstål bör vara minst 10 % av arean hos polyetenrören om polyetenrören förläggs utomhus eller inomhus i luft och inte jord. Skälet till detta är att kolstålsrören ska konsumera den mängd syrgas som transporteras genom rören. Den största anledningen till att minska syrehalten i systemet är risken för bimetallkorrosion på kolstål. En annan anledning för att ha en viss minsta area kolstål i systemet är att konsumera syrgas från oavsiktliga luftläckage och från uppstartning av systemet och större påfyllningar av systemet med icke avgasat vatten.
- För fjärrkylesystem med jordförlagda polyetenrör rekommenderas att arean kolstål bör vara minst 5 % av polyetenrörens area. Detta med tanke på oavsiktliga luftinsläpp och uppstartning av systemet och större påfyllningar med icke avgasat vatten.
- För polyetenrör med tryckklass PN 10 blir intransporten av syrgas något högre för PE 100 rör än för PE 80 rör med samma yttre diameter. Polyetenrör med tryckklass PN 16 har större godstjocklek vid samma dimension än rör med tryckklass PN 10. Syretransporten genom rörväggen blir lägre genom ett rör med samma yttre diameter med tryckklass PN 16 än för ett rör med tryckklass PN 10.
- Det rekommenderas att riskerna för oavsiktligt inläckage av syrgas till fjärrkylesystemet beaktas. Vid nuvarande användning av jordförlagda polyetenrör i fjärrkylesystem bedöms riskerna med oavsiktligt syreläckage vara större än riskerna med syrediffusion genom polyetenrören.

11. Referenser

1. Comyn, J (ed.): Polymer Permeability. Chapman & Hall, London 1985.
2. Svensk standard SS-EN 25 813. Utgåva 1, 1993. Vattenundersökningar – Bestämning av halten löst syre – Jodometrisk metod. SIS, Stockholm 1993. Standarden är på engelska.
3. Svensk standard SS-EN 25 814. Utgåva 1, 1993. Vattenundersökningar – Bestämning av halten löst syre – Elektrokemisk metod (ISO 5814:1990). SIS, Stockholm 1993.
4. Uhlig, H H & Revie, R W: Corrosion and Corrosion Control. Third edition. John Wiley, New York 1985.
5. Svensk standard SS 14 23 43. Utgåva 14, 2002. Rostfritt stål – SS-stål 23 43. SIS, Stockholm 2002.
6. Vinka, T-G & Årebäck, M: Korrosionsförhållande hos kolstål och zink i en urban jordlagerföljd. KI Rapport 1996:9. Korrosionsinstitutet, Stockholm 1996.
7. Norin, M & Vinka, T-G: Korrosion på kolstål och zink i fyllnadsjord i stadsmiljö. KI Rapport 2003:5. Korrosionsinstitutet, Stockholm 2003.
8. Föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001: 30) om dricksvatten. Livsmedelsverkets författningssamling LIVSFS 2005:10, Livsmedelsverket, Uppsala 2005.

Rapportförteckning

**Samtliga rapporter kan beställas hos Svensk Fjärrvärmes Förlagsservice.
Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 – 24 90 10, www.svenskfjarrvarme.se**

<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 kulvertrör ”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
19	Projekt och Resultat 1994-1997	Anders Tvärne	mars-98

Nr	Titel	Författare	Publicerad
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 Walletun	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 Walletun	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 Carpén	maj-99
36	Kartläggning av utvecklingsläget för ultraljudsflödesmätare	Jerker Delsing	nov-99
37	Förbättring av fjärrvärmecentraler med sekundärnät	Lennart Eriksson Håkan Walletun	maj-99
38	Ändgavlar på fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	sept-99
39	Användning av lågtemperaturfjärrvärme	Lennart Eriksson Jochen Dahm Heimo Zinko	sept-99
40	Tätning av skarvar i fjärrvärmerör med hjälp av material som sväller i kontakt med vatten	Rolf Sjöblom Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm	nov-99
41	Underlag för riskbedömning och val av strategi för underhåll och förnyelse av fjärrvärmeledningar	Sture Andersson Jan Molin	dec-99

Nr	Titel	Författare	Publicerad
		Carmen Pletikos	
42	Metoder att nå lägre returtemperatur med värmeväxlardimensionering och injusteringsmetoder. Tillämpning på två fastigheter i Borås.	Stefan Petersson	mars-00
43	Vidhäftning mellan PUR-isolering och medierör. Har blåstring av medieröret någon effekt?	Ulf Jarfelt	juni-00
44	Mindre lokala produktionscentraler för kyla med optimal värmeåtervinningsgrad i fjärrvärmesystemen	Peter Margen	juni-00
45	Fullskaleförsök med friktionsminskande additiv i Herning, Danmark	Flemming Hammer Martin Hellsten	feb-01
46	Nedbrytningen av syrereducerande medel i fjärrvärmenät	Henrik Bjurström	okt-00
47	Energimarknad i förändring Utveckling, aktörer och strategier	Fredrik Lagergren	nov-00
48	Strömförsörjning till värmemätare	Henrik Bjurström	nov-00
49	Tensider i fjärrkylanät – Förstudie	Marcus Lager	nov-00
50	Svensk sammanfattning av AGFWs slutrapport ”Neuartige Wärmeverteilung”	Heimo Zinko	jan-01
51	Vattenläckage genom otät mantelrörsskarv	Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
52	Direktförlagda böjar i fjärrvärmeledningar Påkänningar och skadegränser	Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström Stefan Nilsson	jan-01
53	Korrosionsmätningar i PEX-system i Landskrona och Enköping	Anders Thorén	feb-01
54	Sammanlagring och värmeförluster i närvärmenät	Jochen Dahm Jan-Olof Dalenbäck	feb-01
55	Tryckväxlare för fjärrkyla	Lars Eliasson	mars-01
56	Beslutsunderlag i svenska energiföretag	Peter Svahn	sept-01
57	Skarvtätning baserad på svällande material	Henrik Bjurström Pal Kalbantner Lars-Åke Cronholm	okt-01
58	Täthet hos skarvar vid återfyllning med befintliga massor	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	okt-01
59	Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla	Guaxiao Yao	dec-01
60	Miljöbelastning från läggning av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Magdalena Svanström	jan-02
61	Korrosionsskydd av en trycklös varmvattenackumulator med kvävgasteknik – fjärrvärmeverket i Falkenberg	Leif Nilsson	jan-02
62	Tappvarmvattenreglering i P-märkta fjärrvärmecentraler för villor – Utvärdering och förslag till förbättring	Tommy Persson	jan-02
63	Experimentell undersökning av böjar vid kallförläggning av fjärrvärmerör	Sture Andersson Nils Olsson	jan-02

Nr	Titel	Författare	Publicerad
64	Förändring av fjärrvärmenäts flödesbehov	Håkan Walletun Daniel Lundh	jan-02
65	Framtemperatur vid värmegles fjärrvärme	Tord Sivertsson Sven Werner	mars-02
66	Fjärravläsning med signaler genom rörnät – förstudie	Lars Ljung Rolf Sjöblom	mars-02
67	Fukttransport i skarvskum	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	april-02
68	Round Robin test II av isolerförmågan hos fjärrvärmerör	Ture Nordenswan	april-02
69	EkoDim – beräkningsprogram	Ulf Jarfelt	juni-02
70	Felidentifiering i FC med ”flygfoton” – Förstudie	Patrik Selinder Håkan Walletun	juni-02
71	Digitala läckdetekteringssystem	Jan Andersson	aug-02
72	Utvändigt skydd hos fjärrvärmerörsskarvar	Gunnar Bergström Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg	sept-02
73	Fuktdiffusion i plaströrsystem	Heimo Zinko Gunnar Bergström Stefan Nilsson Ulf Jarfelt	sept-02
74	Nuläge värmegles fjärrvärme	Lennart Larsson Sofie Andersson Sven Werner	sept-02
75	Tappvarmvattensystem – egenskaper, dimensionering och komfort	Janusz Wollerstrand	sept-02
76	Teknisk och ekonomisk jämförelse mellan 1- och 2-stegskopplade fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun	okt-02
77	Isocyanatexponering vid svetsning av fjärrvärmerör	Gunnar Bergström Lisa Lindqvist Stefan Nilsson	okt-02
78	Förbättringspotential i sekundärnät	Lennart Eriksson Stefan Petersson Håkan Walletun	okt-02
79	Jämförelse mellan dubbel- och enkelrör	Ulf Jarfelt	dec-02
80	Utvändig korrosion på fjärrvärmerör	Göran Sund	dec-02
81	Varmvattenkomfort sommartid i småhus	Tommy Persson	dec-02
82	Miljöbelastning från produktion av fjärrvärmerör	Morgan Fröling Camilla Holmgren	dec-02
83	Samverkande produktions- och distributionsmodeller	John Johnsson Ola Rossing	feb-03
84	Användning av aska vid förläggning av fjärrvärmeledningar - förstudie	Rolf Sjöblom	feb-03
85	Marginaler i fjärrvärmesystem	Patrik Selinder Heimo Zinko	mars-03
86	Flödesutjämning körstrategi	Gunnar Larsson	april-03
87	”Black-Box”-undersökning av fjärrvärmecentraler	Håkan Walletun Bernt Svensson	juni-03
88	Långtidsegenskaper hos lågflödesinjusterade radiatorsystem	Stefan Petersson Sven Werner	aug-03

Nr	Titel	Författare	Publicerad
89	Rationellt byggande av fjärrvärmeledningar	Tommy Gudmundson	sep-03
90	Total – Kontra utförandeentreprenad	Tommy Gudmundson	sep-03
91	Tryckväxlare för fjärrkyla – Teknik och funktion	Bror-Arne Gustafson	sep-03
92	Kylning av kylmaskiners kondensorer med fjärrkyla i livsmedelsbutiker	Caroline Haglund Stignor	sep-03
93	Minskade distributionsförluster med diffusionstäta fjärrvärmerör	Maria Olsson	okt-03
94	Kopplingsprinciper för fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump	Patrik Selinder Håkan Walletun Heimo Zinko	okt-03
95	Funktion hos 1-rörs radiatorsystem – Avkylning, komfort och stabilitet	Stefan Petersson Bernt-Erik Nyberg	okt-03
96	EPSPEX-kulvert – Utveckling, utförande och uppföljning	Tommy Gudmundson	okt-03
97	EPSPEX-kulvert – Funktion under och efter vattendränkning	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	okt-03
98	Fukt i fjärrvärmerör, larmsystem och detektering Inventering av mätmetoder och gränsvärden	Henrik Bjurström Lars-Åke Cronholm Mats-Olov Edström	okt-03
99	Undersökning av skarvar med isolerhalvor efter nio år i drift	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	nov-03
100	Strategier för framtidens fjärrvärme	Markus Felleesson	dec-03
101	Fjärrvärmevärmda torkrumsanläggningar	Peter Neikell Tobias Nilsson	nov-03
102	Kyllager i befintligt kylnät	Fredrik Setterwall Benny Andersen	nov-03
103	Reglerdynamik, tryckhållning och tryckslag i stora rörsystem	Gunnar Larsson	dec-03
104	Energimätning i småhus. Förstudie.	Jan Eliason Morgan Romvall Håkan Walletun	dec-03
105	Konsekvenser av mindre styrventiler i distributionsnät	Håkan Lindkvist Håkan Walletun	jan-04
106	Inventering av nya inspektionsinstrument för statuskontroll av fjärrvärmerör	Göran Sund	jan-04
107	Kopplingar i fjärrvärmesystem – inventering av alternativ och utvecklingspotential	Rolf Sjöblom Jöns Hilborn	feb-04
108	Gratid för kyla	Peter Lundell	april-04
109	Effektivare rundgångar	Håkan Walletun Karolina Näsholm	april-04
110	Mikrobiell aktivitet i fjärrkylennät	Magnus Nordling	april-04
111	Effektivare distribution av fjärrkyla	Olle Källman Per Hindersson Börje Nord	maj-04
112	Värmedriven kyla	Magnus Rydstrand Viktoria Martin Mats Westermark	maj-04

Nr	Titel	Författare	Publicerad
113	Markradar fältförsök	Emelie Vestin Peter Wilén	juni-04
114	EcoTrench läggning av fjärrvärmerör	Alf Lindmark	juni-04
115	Tappvarmvattenanvändning på hotell	Stefan Petersson Sven Werner Martin Sandberg Åsa Wahlström	juni-04
116	PET-skum som isoleringsmaterial i fjärrvärmerör	Sara Mangs Olle Ramnäs Ulf Jarfelt	sept-04
117	Flexibla fjärrvärmerörs isoleringsegenskaper	Ulf Jarfelt Olle Ramnäs Camilla Persson Charlotte Claesson	okt-04
118	Injustering av vvc-kretsar	Janusz Wollerstrand Tommy Persson	okt-04
119	Integration av absorptionskylmaskiner i fjärrvärmesystem - Förstudie	Heimo Zinko Sven-Olof Söderberg Elsa Fahlén Alemayehu Gebremedhin	dec-04
120	Teknisk utvärdering av gamla och nya fjärrvärmecentraler i Slagsta	Håkan Lindkvist och Håkan Walletun	jan-05
121	Förkorta byggtider för fjärrvärmebyggnation	Hans Gille	jan-05
122	Ny metod för att bestämma fjärrvärmerörs isoleringsförmåga	Bijan Adl-Zarrabi	jan-05
123	Samverkande produktions- och distributionsanalys i fjärrvärmesystem	Ola Rossing John Johnsson	jan-05
124	Fuktmätning med pulsekometer	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	jan-05
125	Utvärdering av funktionsintegrerad fjärrvärmecentral	Sofie Andersson Sven Werner	feb-05
126	Värmeförluster i småhusområdet Prästmarken, Växjö	Heimo Zinko Benny Bøhm	mars-05
127	Läckagevägar för markvatten i skarvisolering	Stefan Nilsson Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	april-05
128	Kylprocessers design i fjärrvärmesystem	Viktoria Martin Fredrik Setterwall Mikael Andersson	april-05
129	Absorptionsmaskiner för kyl- och värmeproduktion i energisystem med avfallsförbränning	Maria Brorsson	april-05
130	Mät- och värmeförluster för fjärrvärmesystem i småhusområden	Frederick Cederborg Ola Nordgren Johannes Drewitz	april-05

<i>Nr</i>	<i>Titel</i>	<i>Författare</i>	<i>Publicerad</i>
131	Spröda brott i mantelrör	Stefan Nilsson Kristian Thörnblom Sven-Erik Sällberg Gunnar Bergström	maj-05
132	Avkylningsarbete på Göteborg Energi AB 1995-2004	Anders Fransson	maj-05
133	Kopparbeläggningar på induktiva flödesmätare	Magnus Palm Karin Segerdahl Kerstin Mattiasson Bengt Nordling	juni-05
134	Värdet av injustering	Anders Trüschel	juni-05
135	Korrosionsrisker vid användning av polyetenrör i fjärrkylesystem	Tor-Gunnar Vinka Jörgen Almquist Rolf Gubner	juni-05
136	Husinterna värmesystem	Per-Olof Johansson Janusz Wollerstrand	juni-05

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
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
5	Metodutveckling för mätning av värmekonduktiviteten i kulvertisolering av polyuretanskum	Lars-Åke Cronholm Hans Torstensson	sept-99
6	Optimering av fjärrvärmevattens framledningstemperatur i mindre fjärrvärmesystem	Ilkka Keppo Pekka Ahtila	jan-03
7	Sammanställning över fjärrvärme- och kraftvärmeprojekt med eu-stöd	Sofie Andersson Sven Werner	feb-04
8	Utvärdering av FOU-programmet Hetvattenteknik 2001-2003	John Johnsson Håkan Sköldberg	feb-04
9	Nytta med svensk fjärrvärmeforskning	Sven Werner	feb-04
10	Förenklad metod för energimätning i fjärrvärmecentral	Tommy Jonsson	jan-05
11	Värdet av icke levererad fjärrvärme till kunder – Fjärrvärmecentralers felfrekvenser i fjärrvärmesystem	Tero Loustarinen	jan-05

*Svensk Fjärrvärme AB och Statens energimyndighet bedriver
forskningsprogram inom området fjärrvärme, hetvattenteknik och fjärrkyla.*



Svensk Fjärrvärme • 101 53 Stockholm • Telefon 08-677 25 50 • Fax 08-677 25 55
Besöksadress: Olof Palmes gata 31, 6 tr. E-post: kontakt@svenskfjarrvarme.se
www.svenskfjarrvarme.se