

MIKROBIELL AKTIVITET I FJÄRRKYLENÄT

Magnus Nordling, Korrosionsinstitutet



Forskning och Utveckling | 2004:110

MIKROBIELL AKTIVITET I FJÄRRKYLENÄT

Magnus Nordling, Korrosionsinstitutet

Forskning och Utveckling | 2004:110

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

Sammanfattning FOU 2004:110 – Mikrobiell aktivitet i fjärrkylennät

Fyra fjärrkylennät med varierande vattenkvalité har undersökts med avseende på eventuell närvaro av mikroorganismrelaterade problem. Målet har varit att komma fram till rekommendationer för vattenkvalité samt för andra förfaranden som skulle kunna minska risken för biofilmbildning och mikrobiell korrosion.

Metoden har bestått i att använda så kallade exponeringsbehållare, anslutna till vardera näten. Fjärrkylenvattnet har fått passera genom exponeringsbehållaren där provkupper av kolstål exponerats. Provkupperna i exponeringsbehållaren har avlägsnats vid olika tillfällen, och därefter analyserats med avseende på närvaro av biofilm och korrosionsangrepp. Analyser har också gjorts med avseende på halten av vissa slag av mikroorganismer i biofilmen och i fjärrkylenvattnet.

Projektet har bestått av två etapper. Under etapp 1 undersöktes bara två nät, ett med kommunalt tappvatten och ett med vatten av fjärrvärmekvalité, dvs avluftat och avjonat. Biofilmer kunde konstateras på provkupperna från båda näten även fast exponeringstiden varit så kort som 1½ månad. Betydande halter av mikroorganismer kunde observeras i biofilmerna och fjärrkylenvattnet för båda näten, även om mycket högre halter kunde konstateras för nätet med kommunalt tappvatten.

Under projektets andra etapp undersöktes fyra nät, två med företrädesvis kommunalt tappvatten och två med vatten av fjärrvärmekvalité. Här, å andra sidan, visades sig de två näten med kommunalt tappvatten ha mikroorganismer av likvärdiga eller lägre halter i förhållande till de två näten med vatten av fjärrvärmekvalité. En förklaring till detta är att färgämnet pyranin satts till dessa två nät. Pyranin tillsätts i avsikten att lätt kunna detektera läckor i nätet, men är samtidigt en kolförening, och som sådan en möjligt näringsämne för mikroorganismerna. Detta illustrerar behovet av att hålla fjärrkylenvattnet så fritt som möjligt från tillsatser. Andra resultat pekar på riskerna med att enbart analysera förekomsten av mikroorganismer i fjärrkylenvattnet istället för att också exponera prover för fjärrkylenvattnet och analysera närvaro av biofilmer på dessa. Det visades också att det vid provkupperexponering är betydelsefullt att kunna avlägsna provkupperna vid olika tillfällen, för att därigenom kunna undersöka förändringen av halten mikroorganismer i biofilmen med tiden. Korrosionsinstitutet har utvecklat en sådan exponeringsbehållare, och använt denna under projektets etapp 2. Exponeringsbehållaren har visat sig vara både funktionsduglig och lätt att hantera, till nytta för övervakning av mikrobiell aktivitet i fjärrkylennät generellt.

De viktigaste rekommendationerna för att undvika mikroorganismrelaterade problem som projektet främst kom fram till är följande:

- Vid fyllning av ett nät bör vatten av fjärrvärmevattenkvalité användas. Försättningsvis bör nätet också spädmatas med vatten av fjärrvärmevattenkvalité.
- Undvik att använda tillsatsmedel i fjärrkylenvattnet, framför allt om det rör sig om organiska föreningar.
- När det till befintligt fjärrkylennät nyansluts fjärrkylorör eller nätsystem bör det ha säkerställts att inga föroreningar förekommer i dessa.
- Övervaka systemet avseende potential för mikroorganismrelaterade problem. Detta genom att exponera för systemet relevanta materialprover mot fjärrkylenvattnet samt genom att med jämna mellanrum analysera dessa prover med avseende på biofilm och korrosion.

Summary FOU 2004:110 – Microbial activity in district cooling nets

Four district cooling nets with varying water quality have been investigated according to presence of microbially related problems. *The aim* has been to formulate recommendations regarding the water quality and regarding other procedures that might reduce the risk for biofilm formation and microbial corrosion. *The method* has consisted of using so called exposure containers, connected to each net. The water has been allowed to flow through the exposure containers where coupons of carbon steel have been exposed. The coupons have been withdrawn at different times, and analysed regarding the presence of biofilm and corrosion attack. Analyses have also been made regarding the amount of a number of different types of micro-organisms in the biofilm and in the district cooling water.

The project has been divided in two phases. *During the first phase* of the project only two nets were investigated, one with municipal water and one with water of district heating quality, i.e. degassed and unionised. Biofilms could be seen on the coupons from both nets, even though the exposure time only had been 1½ month. Considerable concentrations of micro-organisms were found in the biofilms and in the water for both nets, however much larger amounts for the net with municipal water. *During the second phase* of the project four nets were investigated, two with mainly municipal water and two with water of district heating quality. Here, on the other hand, it could be seen that the two nets with municipal water had micro-organisms of equivalent or lower concentrations compared to the two nets with water of district heating quality. One explanation to this is that the colouring substance pyranine is added to these two nets. Pyranine is added for the purpose of easily detecting a leakage but is at the same time a carbon compound, and as such a possible nutrient for the micro-organisms. This illustrates the importance of having the district cooling water as free from additives as possible. *Other results* point out the risk of only analysing the water instead of also neglecting to expose coupons and analysing the presence of biofilms on the coupons. Also made clear when using exposure containers is the advantage of having the possibility of withdrawal of coupons at different occasions, thereby being able to investigate the increase with time in concentration of micro-organisms in the biofilm. The Swedish Corrosion Institute has developed such an exposure container, and used it during phase two. It has proved to be both easy to handle and in good working order, at service for supervision of microbial activity in district cooling nets in general.

Finally, *recommendations* for reducing the risk for biofilm formation and microbial corrosion can be stated as follows:

- Only water of DH quality should be used, both as basic water and feed water.
- Avoid additives, especially if organic.
- Only connect district cooling tubes which are clean on the inside
- Watch over the system regarding micro-organism related problems, preferably by using exposure containers.

Keywords: District cooling, district heating, corrosion, microbial corrosion, MIC

Innehållsförteckning

1.	Inledning	6
2.	Bakgrund	6
3.	Teori	7
3.1.	Biofilm	7
3.2.	Mikrobiell analys	7
4.	Utförande	8
4.1.	Allmänt förfarande	8
4.2.	Exponeringsbehållare	9
4.3.	Provkupongmaterial och provkuponghantering	9
4.4.	Lösningsberedningar för mikrobiell analys	11
4.5.	Analysförfarande vid bestämning av förekomst av mikroorganismer	12
5.	Resultat	14
5.1.	Etapp 1	14
5.2.	Etapp 2	15
6.	Slutsats och diskussion	20
6.1.	Jämförelse av olika vattenkvaliteter m a p grogrund för tillväxt av mikroorganismer	20
6.2.	Riskpotential för respektive nät med hänsyn till förekomst av mikroorganismer	21
6.3.	Variationer i mikroorganismhalt under exponeringsperiod	22
6.4.	Korrosion och biofilmbildning	25
7.	Slutsatser och rekommendationer	25
7.1.	Slutsatser	25
7.2.	Rekommendationer	26
8.	Förslag på fortsatt arbete	27
9.	Referenser	27
	Bilaga 1 Vattenanalysdata	28
	Bilaga 2 Totalhalt mikroorganismer	29
	Bilaga 3 Agargelbakterier	30

1. Inledning

Denna rapport beskriver projektet *"Utformande av hanteringsrutiner och riktvärden för undvikande av mikrobiell korrosion i fjärrkylasystem"*, vilket beställdes av Svensk Fjärrvärme (dåvarande Fjärrvärmeföreningen) 23/3 2001. Projektet har drivits av Korrosionsinstitutet och finansierats av Svensk Fjärrvärme. Målsättningen med projektet har främst varit att komma fram till om det föreligger behov av rekommendationer avseende vattenkvalité och andra förehavanden som skulle minska risken för uppkomst av mikroorganismrelaterade problem i fjärrkylennät. Om så skulle visa sig vara fallet, skulle målsättningen också vara att komma fram till och formulera sådana rekommendationer.

Projektet har bestått av två etapper, av vilka den första, etapp 1, skulle bedöma huruvida förutsättningar för en påföljande etapp förelåg. Etapp 1 har huvudsakligen bestått i att avgöra om det i två fjärrkylennät skulle kunna påvisas mikrobiell närvaro, och i så fall i vilken omfattning och form. Om inget framkom av rapporten från etapp 1 som skulle visa på att ett behov av fortsatta mätningar ej förelåg, så skulle etapp 2 ta vid. Förutsättningar för etapp 2 visade sig föreligga, varför denna etapp startades våren 2002. Etapp 2 innebar främst att provkupper skulle exponeras under en längre tid än vad som gjordes i etapp 1. Detta för att dels öka förutsättningarna för att bestämma fjärrkylenvattnets korrosivitet med hjälp av viktsförlustmätningar på exponerade provkupper, och dels få en bild av tillväxten av mikroorganismer över en längre period.

Till projektet utsåg Svensk Fjärrvärme en referensgrupp bestående av Jan-Olof Bergman (Sydkraft Värme Syd), Lars Filipsson (Norrenergi), Bo Frølund (Danmarks Teknologiska Institut), Roland Jansson (Fortum Service), Ture Nordenswan (Svensk Fjärrvärme), Arne Nylin (Fortum Service), Stefan Oscarsson (Fortum Service), Johan Tjernström (FoU-rådet Svensk Fjärrvärme samt Fortum Värme), Conny Wretling (Fortum Service) och Søren Ødum (Centralkommunernas Transmissionsselskab, CTR). Som kontaktperson med Svensk Fjärrvärme utsågs Johan Tjernström.

2. Bakgrund

Temperaturen för fjärrkylenvattnet i fjärrkylasystem ligger vanligen strax under 6 °C när det lämnar leverantören, är ca 6 °C när det anländer till kunden, och är uppe vid 16 °C när det är åter hos leverantören. Mikrobiell aktivitet av omfattande grad möjliggörs framför allt av temperaturer mellan 6 °C och 30 °C, varför temperaturen hos fjärrkylenvattnet i fjärrkylasystem är en lämplig grund för mikrobiell aktivitet. Därigenom möjliggörs också mikrobiell korrosion. Ett besvärande faktum är dessutom att mikrobiell korrosion är ett okänt begrepp för många. Detta medför att fenomenet sällan känns igen då det uppkommer, och därigenom innebär risk för att adekvata åtgärder inte utförs.

Fjärrkyleanläggningar är av relativt sent datum med Mälarenergis anläggning i Västerås, färdig 1992, som den första i Sverige. Därefter har totalt ett 30-tal anläggningar konstruerats i Sverige, och intresset för fjärrkyledistribution ser ut att fortsätta öka varför man kan förvänta sig ytterligare anläggningar i drift inom en snar framtid. Från bl. a Island, Danmark och USA (1,2) har ett flertal fall av mikrobiell korrosion rapporterats. I USA har dessutom anläggningsägarna ofta begränsad kunskap i ämnet varför man förlitar sig på konsulter, vilka ofta har ett ekonomiskt intresse av försäljning av biocider och inhibitorer. Härvid föreligger risk för att konsulterna rekommenderar kemikalier, eventuellt så pass mycket att överdosering

blir följden. Detta istället för att angripa orsaken till problemet, exempelvis att spädvattnet håller för låg renhetsgrad. Oförmåga att känna igen den mikrobiella korrosionen eller obenägenhet att informera om skadefall i allmänhet gör förmodligen dessutom att skadefallen av mikrobiell korrosion är betydligt fler än vad som hittills rapporterats. Därför kan man förmoda att behovet är stort att fastställa hanteringsrutiner och riktvärden så att mikrobiell korrosion i fjärrkylasystem skall kunna förebyggas.

3. Teori

3.1. Biofilm

Mikroorganismer i ett vattensystem kan på systemets innerytor orsaka beläggningar, så kallade biofilmer. Om biofilmerna bildas på värmeöverförande ytor, exempelvis hos värmeväxlare, kan detta verka kraftigt nedsättande på värmeöverföringen. Därigenom riskeras att värmeväxlarnas prestanda kraftigt sänks. Biofilmerna kan även mellan sig och den yta på vilken den bildats skapa miljöer som kraftigt avviker från fjärrvattnets normala standard. Dessa miljöer kan vara mycket gynnsamma för korrosion, så kallad mikrobiell korrosion. Den mikrobiella korrosionen innebär vanligen gropfrätning vilket kan medföra genomträngande korrosion på betydligt kortare tid än om gropfrätning inte skulle varit fallet. Hålls inte mikroorganismernas närvaro på en tillräckligt låg nivå kan biofilmer mycket lätt uppkomma. Detta kan alltså i sin tur medföra nedsättande effekt hos förekommande värmeväxlare, men även medföra stor risk för mikrobiell korrosion.

3.2. Mikrobiell analys

De bestämningar av förekomst av mikroorganismer som utförts i detta projekt är dels av de livsdugliga halterna av ett antal olika slag av mikroorganismer och dels av den totala halten av mikroorganismer. Bestämningarna gjordes dels för fjärrkylvattnet och dels för den på provkuponerna bildade biofilmen. Det slag av mikroorganismer vars förekomst bestämdes var gruppen sulfatreducerande bakterier (SRB), gruppen svamporganismer och gruppen aeroba heterotrofa bakterier- där aerob står för syrebehövande och heterotrof innebär att kolintaget inte erhålles från koldioxid utan från organiska föreningar. Vid bestämning av halten livsdugliga mikroorganismer exponerades prover från fjärrkylvattnet respektive biofilmerna för näringsmedium av olika slag och fick tillväxa, s k kultivering. Benämningen för de näringslösningar som användes för gruppen aeroba heterotrofa bakterier var nutrient agar (NA) och plate count agar (PCA), medan för gruppen svamporganismer användes malt extract agar (MA). För SRB användes vätskemedium medan för de två övriga grupperna användes agargel.

Metoden att bestämma halten av mikroorganismer genom att odla dessa på agargel innebär att man först applicerar provlösningen på den näringsförsedda agargelen. Mikroorganismer förökar sig och bildar efter en tid kolonier som kan ses som svarta prickar i agargelen. Efter ca 10 dagar antar man att mikroorganismerna inte förökar sig längre varpå de svarta prickarna räknas. Idealt är det tänkt att samtliga livskraftiga mikroorganismer var och en förökar sig och bildar en koloni, motsvarande de svarta prickarna i gelen, varför antalet svarta prickarna skulle representera det ursprungliga antalet mikroorganismer. Vissa mikroorganismer förökar sig dock inte trots näringslösningen och vissa mikroorganismer ligger så pass tätt att de bildar en koloni tillsammans istället för var för sig. Generellt så anser man att antalet svarta prickar i

agargelen måste multipliceras med en faktor 10 000 för att ge det ursprungliga antalet mikroorganismer.

Avseende risknivåer gäller för *totalhalten mikroorganismer i fjärrkylevatten* att en halt av 10^3 - 10^4 per cm^3 inte är någon alarmerande fara men att man åtminstone bör kontrollera orsaken till den relativt höga nivån, 10^4 - 10^6 per cm^3 att det är något fel i systemet och över 10^6 per cm^3 att halten är oroväckande hög. För *totalhalten mikroorganismer i biofilm* gäller att en halt mindre än 10^6 per cm^2 kan anses som låg, 10^7 per cm^2 att biofilmen börjar bildas och 10^8 - 10^9 per cm^2 att heltäckande och livskraftiga biofilmer bildats. Vad gäller livskraftiga mikroorganismer brukar för *halten livskraftiga aeroba bakterier i fjärrkylevatten* anges en säkerhetsgräns på 10^3 per cm^3 , och en normalhalt på 10^7 per cm^3 . För *halten livskraftiga aeroba bakterier i biofilmen* uppfattas halten 10^7 per cm^2 också som normalt.

Slutligen så måste det betonas att angivna gränsvärden är uppskattningar, till stor del erhållna genom erfarenheter från verkliga fall. Därför är det möjligt att gränsvärdena kan avvika för vissa nät, i synnerhet om förhållandena för näten är speciella.

4. Utförande

4.1. Allmänt förfarande

I båda etapperna användes sk exponeringsbehållare vilka är behållare i vars inre provkupper kan placeras, och genom vilka fjärrkylevatten kan flöda. Till varje fjärrkylennät anslöts en exponeringsbehållare, och då till fjärrkylennätets returledning. Exponeringsbehållaren anslöts också på ett sådant sätt att fjärrkylevattnet gick vidare till slask efter att ha passerat exponeringsbehållaren.

I etapp 1, exponerades prover för fjärrkylevattnet hos två fjärrkylennät, och då under en och en halv månad sommaren 2001. Exponeringsbehållaren för denna etapp var av ett annat, och något mindre sofistikerat slag, än den som användes för etapp 2. Efter exponeringstidens slut avlägsnades proverna från exponeringsbehållaren, och analyserades med avseende på innehåll på mikroorganismer i biofilmen. Även prov från fjärrkylevattnet togs och analyserades med avseende på mikroorganismer. Slutligen gjordes en visuell bedömning av eventuella korrosionsangrepp på proverna.

I etapp 2, exponerades prover för fjärrkylevattnet hos fyra fjärrkylennät, och då under perioden maj 2002 till juni 2003. Under denna period avlägsnades prover från exponeringsbehållaren vid tre olika tillfällen, och analyserades med avseende på mikroorganismer i biofilmen. Även prov från fjärrkylevattnet togs och analyserades med avseende på mikroorganismer. Slutligen gjordes viktsförlustbestämningar på proverna och eventuella gropfrätningar eftersöktes.

Avseende uppgifter om fjärrkylevattnet för respektive nät för etapp 1 efterfrågades av nätansvariga endast huruvida det var avluftat och om det var avhärdat eller avsaltat. För etapp 2 efterfrågades analysdata från hela perioden avseende ledningsförmåga, pH, hårdhet/ kalciumhalt och fluorider. Dessutom efterfrågades nätvolym, omsättningen på spädvattnet samt kvalitet på basvatten och spädvatten ifråga om avgasning, avhärdning och totalavsaltning. Slutligen efterfrågades uppgifter om vilka tillsatser till fjärrkylevattnet som gjorts, om ackumulator tank varit inkopplad, om driftsstörningar skett, om anslutningar skett med andra nät samt om något annat som gjorts som kan tänkas ha påverkat vattenkvaliteten.

4.2. Exponeringsbehållare

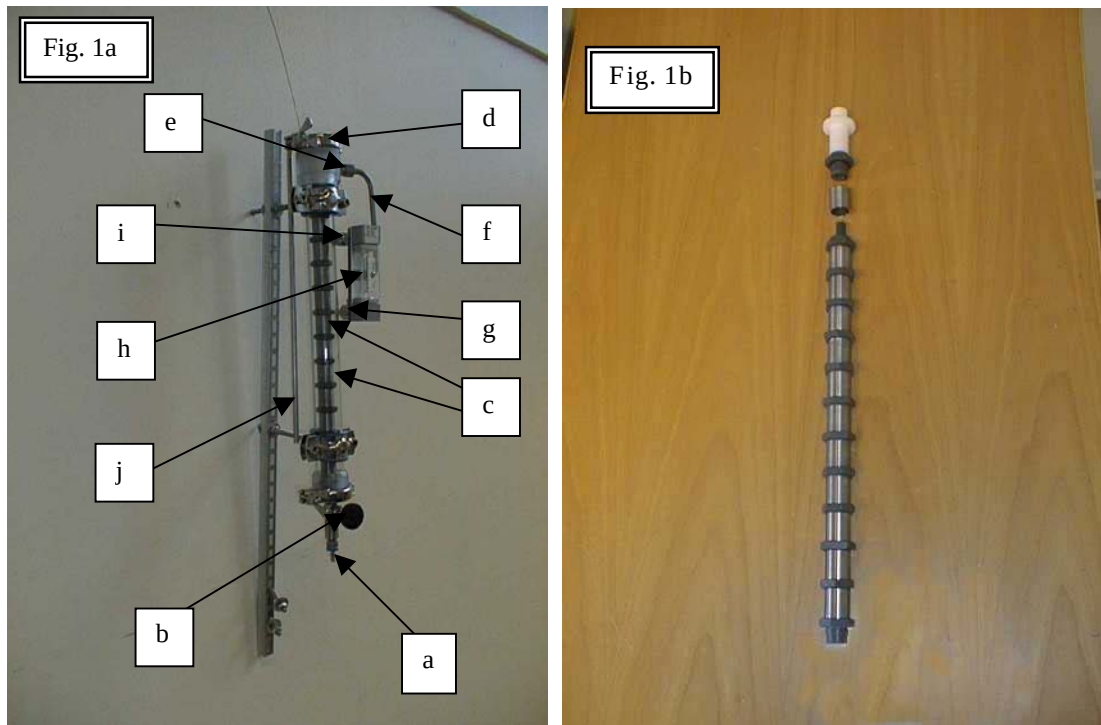
För etapp 1 användes en exponeringsbehållare av rostfritt stål, formad som en cylinder med längden ca ½ m och med diametern ca 1 dm. Provkupongerna utgjordes av plattor av kolstål med dimensionerna 2 x 3 cm. Provkupongerna skruvades fast med en plastskruv på en stav som i sin tur var ansluten till en gängad kloss. Klossarna med sina kuponger anslöts därefter till exponeringsbehållaren genom att gängas i hål i exponeringsbehållaren. För att undvika elektrisk kontakt mellan provkupongen och klossens stav placerades en plastbricka mellan provkupongen och staven, och fastskruvandet gjordes med plastskruv. Alldeles före inloppet till exponeringsbehållaren var en ventil och en flödesmätare inkopplad för att kunna reglera respektive avläsa flödet.

För etapp 2 användes en exponeringsbehållare som med smärre avvikelser fortfarande används av Korrosionsinstitutet vid analys av ett fjärrnätets vatten. Huvuddelen av exponeringsbehållaren är en cylinder av genomskinlig PVC-plast, med längden ca ½ m och med diametern ca ½ dm (se fig. 1a). På cylinderytan är anslutet en prob till en elektronisk termometer. Alldeles före och efter exponeringsbehållaren är en nålventil respektive en flödesmätare inkopplad. I PVC-cylindern syns en stav bestående av kopplingsbara bitar, också av PVC, med rörformade provkuponger. För varje provkupong ligger en gummiring mellan provkupongens båda ändtor och angränsande kopplingsbit, för att hindra att vätska kommer in under provkupongen. Locket på exponeringsbehållaren kan avlägsnas och den inre staven med provkupongerna lyftas ur (se fig. 1b). Högst upp på den inre staven syns en vit plugg av ett plastmaterial, i vilken resten av röret hänger i när det befinner sig i exponeringsbehållaren. Vid provtagning lyfts den inre delen så pass mycket att endast de provkuponger som ska avlägsnas exponeras för luften, kopplingsbiten för åtminstone en provkupong avlägsnas, den tomma kopplingsbiten sätts tillbaka, och den inre staven sänks ned i exponeringsbehållaren (varpå exponeringen av de resterande provkupongerna fortsätter). Skillnaden mellan den nu använda exponeringsbehållaren och den som användes i etapp 2 är att cylindern som användes i detta projekt utgjordes av polykarbonat (MAKROLON).

4.3. Provkupongmaterial och provkuponghantering

Provkupongmaterialet för båda etapperna var sömfritt kolstål. För etapp 1 var proverna plana rektangulära bitar med ytdimensionen 2 x 3 cm och tjockleken 2 mm. För etapp 2 var proverna cylindriskt formade med dimensionerna höjd 2.5 cm, innerdiameter 1.9 cm och ytterdiameter 2.2 cm. För båda etapperna betades proverna före exponering, sköljdes med etanol och lufttorkades. För etapp 2 vägdes också proverna.

Provkupongerna monterades i exponeringsbehållarna. För varje fjärrkylennät i respektive etapp anslöts därefter en exponeringsbehållare till en returvattenledning. Fjärrkylennäten i etapp 1 var Värtanätet och Hammarbynätet. För etapp 2 var det också dessa nät, men även Solnanätet och Huddingenätet. Flödet genom exponeringsbehållarna för etapp 1 ställdes på ca 1 liter på 2-3 minuter, vilket utifrån exponeringsbehållarna dimensioner medförde en flödes hastighet över provkupongernas ytor på ca 6 cm/minut. För etapp 2 ställdes flödet genom exponeringsbehållarna på ca 1.8 liter per timme, vilket utifrån exponeringsbehållarna dimensioner medförde en flödes hastighet över provkupongernas ytor på ca 5 cm/min. För att lösa flödesövervakningen på ett praktiskt sätt placerades noteringsblad för flödesangivelser i närheten av exponeringsbehållarna, och anläggningspersonalen vidtalades att ansvara för flödesövervakningen.



Figur 1. Exponeringsbehållare etapp 2. Fig. 1a, exponeringsbehållare med tillhörande enheter: a) inflöde från fjärrnät, b) ventilkran för flödesreglering, c) provkuponger (sittande på särbara plastenheter), d) öppning för successiva borttaganden av kuponger, e) utflöde från exponeringsbehållare till flödesmätare, f) koppling mellan exponeringsbehållare och flödesmätare, g) inflöde till flödesmätare från exponeringsbehållare, h) flödesmätare, i) utflöde från flödesmätare till slask (koppling till "slaskrör" bakom exponeringsbehållaren), j) rör för koppling till slask. Fig. 1b, exponeringsbehållares innerdel: sekvens med provkuponger på särbara plastenheter där den översta plastenheten och provkupongen lösgjorts. Den vita biten är en hållare från vilken sekvensen hänger i inuti exponeringsbehållaren.

Figure 1. Exposure container phase 2. Figure 1a, exposure container with belonging units: a) inlet from district net, b) regulator for flow, c) coupons (sitting on separable plastic units), d) opening for successive withdrawal of coupons, e) outlet from exposure container to flow meter, f) connection between exposure container and flow meter, g) flow meter, h) inlet to flow meter from exposure container, i) outlet from flow meter to waste (connection to "waste tube" behind the exposure container), j) tube for connection to waste. Fig. 1b, the inner part of the exposure container: sequence of coupons on separable plastic units, where the top plastic unit and the belonging coupon have been detached. The white piece is a holder from which the inner part hangs in the exposure container.

För etapp 1 kopplades vattenflödet på för båda exponeringsbehållarna 28/6-2001. Avlägsnandet av provkuponger skedde för Värtanätet 16/8-2001 medan för Hammarbynätet 20/8-2001. För etapp 2 kopplades primärvattenflödet på för de fyra exponeringsbehållarna i månadsskiftet maj/juni 2002 (för mer exakta uppgifter se tabell 1). Avlägsnandet av provkuponger skedde vid tre tillfällen; oktober 2002, mars 2003 och juni 2003. Exempel på anslutningar kan ses för Värtanätet och Solnanätet, figur 2.

Tabell 1 Tidpunkter för anslutning och provhämtning för undersökta nät.

Table 1. Dates for connection and sampling for investigated nets.

Fjärrkylennät:	Värtan	Hammarby	Solna	Huddinge
Anslutning	6/6-2002	6/6-2002	14/5-2002	28/6-2002
Provhämtning 1	16/10-2002	28/10-2002	28/10-2002	29/10-2002
Provhämtning 2	4/3-2003	6/3-2003	5/3-2003	6/3-2003
Provhämtning 3	16/6-2003	17/6-2003	18/6-2003	17/6-2003



Figur 2. Exempel på anslutningsplatser för exponeringsbehållare. Bilden till vänster är från anslutningsplatsen för Värtanätet och den andra bilden från Solnanätet. Exponeringsbehållarna är omslutta av en skumplasthylsa för att skydda från eventuellt störande effekter från ljus. Vid sidan om exponeringsbehållarna finns noteringshäften för regelbundet notering av fjärrkylennätets temperatur och flöde.

Fig. 2. Examples of locations for connection of exposure containers. The picture to the left is from the net at Värtan and the other picture is from the net at Solna. The exposure containers are covered with a foam plastic case for avoiding possible interference from surrounding light. Beside the exposure containers is a notebook for regularly notifications of the temperature and the flow of the district cooling water.

Provburkarna som användes vid hämtning av provkuponerna och vattenproverna steriliserades samma dag som provhämtningen, tvättas med etanol samt fylldes med 50 ml steriliserat vatten (kommunalt tappvatten steriliserat i tryckkokare vid 125 °C under 15 minuter). Vid provtagning placerades provkuponerna i de med steriliserat vatten fyllda burkarna. Vid varje provtagningstillfälle togs tre provkuponprover och ett vattenprov. För vattenproverna tilläts fjärrkylennätet flöda en kortare stund innan provet togs. Provberedningen skedde antingen direkt efter provhämtningen eller efter högst en vecka under det att provburkarna förvarades i kylskåp. För att lossa biofilmen från kuponerna kördes provburkarna med provkuponerna först i UV-bad, ca 10 minuter, och skakades därefter om efter ytterligare 5 minuter. Provkuponerna togs upp ur burken med steriliserad pincett, tvättades i etanol varpå etanolen brändes av. I etapp 2 betades och vägdes provkuponerna också. Slutligen undersöktes provkuponerna optiskt. Lösningen från provburkarna med den lossade biofilmen användes för den mikrobiella analysen (se 4.5).

4.4. Lösningsberedningar för mikrobiell analys

För att bestämma halten livskraftiga mikroorganismer bereddes näringslösningar av olika slag beroende på grupp av mikroorganismer som skulle bestämmas. För bestämning av SRB var näringsmediet i vätskeform medan för de två övriga mikroorganismgrupperingarna i form av agargeler. Lösningsberedningarna gjordes

under steriliserade former vilket bl. a innebar att arbetet utfördes på ett etanoltorkat bord nära en ljuslåga. För bestämning av totalhalten mikroorganismer krävdes inga speciella lösningar.

Sulfatreducerande bakterier (SRB)

Komponenterna enligt nedan blandades. Lösningen pH justeras till 7.5 ± 0.2 . Glasvialer fylldes med ca 10 ml av SRB-lösningen och stängdes med ett septum och metallock. Vialerna steriliserades i en tryckkokare vid $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ under 15 minuter.

Kaliumdivätefosfat (KH_2PO_4)	0.5g	Yeast extract	1g
Ammoniumklorid (NH_4Cl)	1g	Askorbinsyra ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)	0.1g
Kalciumsulfat-2-hydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1g	Natriumthioglycolat ($\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2\text{S}$)	0.1g
Magnesiumsulfat-7-hydrat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	2g	Järn(II)sulfat-7-hydrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.5g
Natriumlaktat	3.5g	Avjoniserat vatten	1liter

Agarlösningar

Kommersiellt införskaffade pulverformer av plate count agar (PCA), nutrient agar (NA) och malt extract agar (MA), vardera 9 g, 8 g resp. 19.2 g, löstes i 400 ml kommunalt tappvatten. Lösningen steriliserades i tryckkokare vid $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ under 15 minuter. Medan respektive lösning fortfarande var ganska varm hölls den i petriskål och tilläts stelna (vilket resulterade i en "agarmatta" av ca 2-3 mm tjocklek).

4.5. Analysförfarande vid bestämning av förekomst av mikroorganismer

Arbetet med mikroorganismlösningarna utfördes enligt sedvanliga steriliserade former.

Livskraftiga SRB

Från varje provlösning, d v s från varje lösning med lossnad biofilm (3 per anläggning och provtagningstillfälle) och varje fjärrkylevattenlösning (en per anläggning och provtagningstillfälle), överfördes en volym på 1 ml till en vialburk. Vialburkarna innehöll vardera 10 ml näringslösning för SRB, och tillsatsen av provlösning gjordes genom att injicera genom vialburkens septum.

Tabell 2 Tabell för bestämning av MPN (most probable number) för SRB utifrån spädserier.**Table 2.** Table for determination of MPN (most probable number) for SRB by means of subsequent dilutions.

10 ⁻⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	MPN/100 ml	10 ⁻⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	MPN/100 ml
0	1	0	0,18	5	0	0	2,3
1	0	0	0,2	5	0	1	3,1
1	1	0	0,4	5	1	0	3,3
2	0	0	0,45	5	1	1	4,6
2	0	1	0,68	5	2	0	4,9
2	1	0	0,68	5	2	1	7,0
2	2	0	0,93	5	2	2	9,5
3	0	0	0,78	5	3	0	7,9
3	0	1	1,1	5	3	1	11,0
3	1	0	1,1	5	3	2	14,0
3	2	0	1,4	5	4	0	13,0
4	0	0	1,3	5	4	1	17,0
4	0	1	1,7	5	4	2	22,0
4	1	0	1,7	5	4	3	28,0
4	1	1	2,1	5	5	0	24,0
4	2	0	2,2	5	5	1	35,0
4	2	1	2,6	5	5	2	54,0
4	3	0	2,7	5	5	3	92,0
				5	5	4	160,0

1ml av den resulterande blandningen överfördes till en andra vialburk, också den med 10 ml näringslösning för SRB, och 1 ml av denna resulterande blandning överfördes till en tredje vialburk (med 10 ml näringslösning för SRB). För varje provlösning gjordes tre sådana spädserier. Näringsblandningarna exponerades vid 35-37 °C under 28 dagar. Om det sker någon tillväxt sker detta oftast senast efter 28 dagar varvid näringsblandningen blir svart. Näringsblandningarna kontrollerades en gång i veckan ifall någon färgats. Bestämningen av antalet bakterier gjordes genom att utnyttja tabell 2 (ref. 3), ur vilken "most probable number", MPN, per 100 ml, fås fram genom att räkna antalet färgade vialer för varje koncentration och titta i motsvarande rad i tabellen.

Livskraftiga agargelodlade mikroorganismer

Från varje provlösning togs tre volymer av storleken 0.1 ml, och vardera av dessa applicerades på en agarplatta med näringslösningen NA, MA respektive PCA. Appliceringen gjordes i mitten av agarplattan och smetades därefter ut med en steriliserad böjd glasstav. För varje provlösning gjordes dubbelprov. Efter applicering av provlösningarna fick agarplattorna stå uppochnedvända i ca 10 dagar i väntan på mikroorganismtillväxt. Koncentrationen av livskraftiga mikroorganismer ($c_{mo,liv}$) i provlösningarna, alltså fjärrkylvatten eller lösning med lossnad biofilm, beräknades därefter genom

$$c_{mo,liv} = n_{koloni} / V_{appl} \quad (1)$$

där n_{koloni} är antalet kolonier på gelen d v s antalet svarta prickar och V_{appl} är volymen på den tillsatta volymen (0.1 ml). Mängden mikroorganismer på provkuponen per ytenhet (f_{mo}) beräknades därefter enligt

$$f_{mo,liv} = c_{mo,liv} V_{provvolym} / A_{kupong} \quad (2)$$

där $V_{provvolym}$ är lösningsvolymen med lossnad biofilm (50 ml) och A_{kupong} är den exponerade ytan hos provkuponen (17 cm²).

Totalhalt mikroorganismer

Det totala antalet mikroorganismer beräknades genom att använda en liten glasbehållare i form av två små sammanfogade glasskivor med ett mellanrum på 0.1 mm, och där den ena glasskivan är försedd med ett rutnät där rutorna har ytan 0.0025 mm². En droppe av provlösningen applicerades i kanten av glasbehållaren varvid kapillärkraften gjorde att mellanrummet fylldes. Glasbehållaren placerades i ett mikroskop med 400 gångers förstoring, varvid mikroorganismerna räknades i ca 10 st. kvadrater. Koncentrationen av den totala mängden mikroorganismer ($c_{mo,tot}$) i provlösningen beräknades därefter genom

$$c_{mo,tot} = n_{med}/V_{box} \quad (3)$$

där n_{med} är medelvärdet av antalet mikroorganismer per kvadrat utifrån antalet observerade kvadrater och V_{box} är volymen på den box som kvadraten täcker (2.5·10⁻⁴ mm³). Mängden mikroorganismer på provkupongen per ytenhet ($f_{mo,tot}$) beräknades därefter enligt

$$f_{mo,tot} = c_{mo,tot} V_{provvolym}/A_{kupong} \quad (4)$$

5. Resultat

5.1. Etapp 1

Värtaverket

Värtaverkets nät gavs kommunalt tappvatten som bas och spädmatades också med detta under hela etapp 1. Varken basvattnet eller spädvattnet var avsaltat eller avluftat.

Värtaverket uppsöktes 16/8 2001 för provtagning (samt för bortkoppling av exponeringsbehållaren). Tyvärr kunde konstateras att några flödesangivelser ej gjorts, varför risk förelåg för att några korrigeringar av ev. flödesavvikelser ej heller hade gjorts. Vid provtagning av fjärrkylenvattnet från den till exponeringsbehållaren kopplade ledningen kunde konstateras att det först erhållna vattnet var märkbart svartfärgat i motsats till det något senare erhållna. Därvid gjordes bedömningen att flödet genom cylindern mestadels varit så lågt att vattenkvaliteten i cylindern ej alltid varit av representativt slag m a p fjärrkylenvattnets normala kvalitet.

Exponeringsbehållaren togs till Korrosionsinstitutet där exponeringsbehållarens muttrar lossades. Därefter togs prover på exponeringsbehållaren vatten och det kunde då konstateras att detta vatten var av ungefär samma svarta nyans som det först erhållna från den till exponeringsbehållaren kopplade ledningen. Provkupongerna lösgjordes från muttrarna och överfördes till provburkar för efterföljande analys. Det kunde dock dessförinnan observeras att provkupongerna belagts med en biofilm över hela ytan.

Analyser av mikroorganismhalten gjordes både på fjärrkylenvattnet och på biofilmerna (se tabell 3). Fjärrkylenvattnet i Värtaverkets exponeringsbehållare visade sig ha mycket höga värden på den totala mikroorganismhalten men även på halten livsdugliga mikroorganismer. För tillflödesvattnet kan värdet på den totala mikroorganismhalten för Värtanätet också sägas vara mycket högt, medan värdet på den totala mikroorganismhalten i biofilmen däremot relativt normalt. Angående halten livsdugliga mikroorganismer i biofilmen kan fastställas att halten av SRB i biofilmerna i Värtaverkets provkuponger var mycket hög.

Tabell 3 Den totala halten mikroorganismer och halten livsdugliga mikroorganismer i fjärrkylvattnet och i biofilmer på provkuponer.

Table 3. The total concentration of micro-organisms and the concentration of different types of viable micro-organisms in district cooling waters and in biofilms on coupons.

	Fjärrkylvattnet (cm ⁻³)					Biofilm (cm ⁻²)				
	Totalt	Livsdugliga				Totalt	Livsdugliga			
		NA	PCA	MA	SRB		NA	PA	MA	SRB
V(E)	17·10 ⁶	14880	15840	10	210	140·10 ⁶	37000	20000	230	33
V(T)	9·10 ⁶	260	150	<10	2					
H(T)	<0.7·10 ⁶	46	34	<2	0.1					

Analyserna är gjorda för Värtaverket (V) och Hammarbyverket (H). För Värtaverket gjordes m a på fjärrkylvattnet både analys på tillflödesvattnet (T) och på exponeringsbehållaren (E). Analyserna gjordes dels på agargeler; nutrient agar (NA), plate count agar (PCA) och malt extract agar (MA) och dels i lösningar (för sulfatreducerande bakterier, SRB). Värdena för halten av mikroorganismer i biofilmerna är medelvärden av tre provtagningar.

The investigation was made on the net at Värtan (V) and the net at Hammarby (H). For the net at Värtan analyses were made both on the district cooling water at the feeder stream (T) and in the exposure container (E). The analyses were made partly by using agar gel as growth medium; nutrient agar (NA), plate count agar (PCA) and malt extract agar (MA), and partly by using solutions growth medium (for sulphate reducing bacteria, SRB). The values for the concentrations in the biofilms are mean values for three samples.

Vid bedömning av korrosionsangreppet på provkuponytorna kunde konstateras tydliga angrepp.

Hammarbyverket

Hammarbyverkets nät gavs kommunalt tappvatten som bas men spädmatades med fjärrvärmevatten, och kan anses åtminstone från och med exponeringsperiodens början ha haft fjärrkylvattnet av fjärrvärmekvalité. Fjärrvärmevattnet har varit avgasat, avsaltat och alkaliserat.

Hammarbyverket uppsöktes 20/8 2001 för provtagning (samt för bortkoppling av exponeringsbehållaren). Här kunde konstateras att inte bara flödesangivelser gjorts, utan även korrigeringar av flödet då detta visat sig vara för avvikande mot det önskvärda värdet. Vid provtagning av fjärrkylvattnet från den till exponeringsbehållaren kopplade ledningen kunde också bedömningen göras att det först erhållna vattnet var av klar, men något gul färg, och att det något senare erhållna var av samma nyans. Kunde senare konstateras att även exponeringsbehållarens vatten var av samma nyans. Det visade det sig att provkuponerna även här belagts med en biofilm över hela ytan.

Analys av mikroorganismhalten gjordes både på fjärrkylvattnet och på biofilmerna (se tabell 3). Det kunde konstateras att mikroorganismhalten överlag låg på en normal eller låg nivå. Vid bedömning av korrosionsangreppet på provkuponytorna kunde konstateras att angrepp förelåg men var knappt märkbara.

5.2. Etapp 2

Nätbeskrivningar

De fyra fjärrkylennäten där exponeringsbehållaren anslöts under etapp 2, d v s maj 2002 till juni 2003, var återigen näten för etapp 1, Hammarbys och Värtaverkets, men också ett fjärrkylennät lokaliserat i Solna och ett i Huddinge. Ägare av de två förstnämnda är Fortum medan för de två övriga Norrenergi respektive Södertörn Fjärrvärme AB. Analysdata efterfrågades från hela perioden avseende ledningsförmåga, pH, hårdhet/

kalciumpåhalt och fluorider. Dessutom efterfrågades nätvolym, kvalitet på basvatten och spädvatten ifråga om avluftat, avhärdat och avsaltat samt omsättningen på spädvattnet. Slutligen efterfrågades uppgifter om vilka tillsatser till fjärrkylenvattnet som gjorts, om ackumulatortank varit inkopplad, om driftsstörningar skett, om anslutningar skett med andra nät samt om något annat som gjorts som kan tänkas ha påverkat vattenkvaliteten. Resultatet av förfrågningen kan ses i tabell 4 och tabell 5, samt underlaget för tabell 4 avseende Värtanätets och Hammarbynätets vattendata i bilaga 1.

Tabell 4 Vattendata för fjärrkylenvatten.

Table 4. Water quality data for district cooling water.

Namn	Datum	Kond.	pH	Hårdhet	Ca	Fluorid	Tillsatser
		µS/cm		dH	mg/l	mg/l	
Värtan	0205-0306	121 (100, 149)	9.6 (9.7, 9.4)	1.9 (1.5, 2.5)	-	0.35 (0.32,0.38)	Pyranin
Hammarby	0205-0306	98 (87, 116)	9.8 (9.4, 9.9)	0.20 (0.08, 0.38)	-	0.36 (0.26,0.51)	Pyranin
Solna	0210, 0310	210, 220	9.0, 9.2	0.9, 1.6	-	-	NaOH
Huddinge	0201,0310	170, 180	8.9, 8.8	3.00, 2.98	-	-	-

"Kond." står för konduktivitet. För Värtanätet och Hammarbynätet har månatliga värden erhållits enligt bilaga 1, utifrån vilken medelvärden anges, med min- och maxvärden inom parentes. För Solna och Huddinge har endast mätdata för vardera två tillfällen erhållits.

For the net at Värtan and Hammarby analyses have been made every month, see supplement 2, from which the mean values are given, with minimum and maximum values within brackets. For Solna and Huddinge only values for two occasions have been received.

Vad gäller fjärrkylenvattnet för Värtans och Hammarbys fjärrkylennät har månatliga analyser gjorts, medan analyser för Solnas och Huddinges nät endast gjorts enligt angivelser i tabell. För Solnas del uppges dock att "inga större variationer förekommer". Värt att notera avseende vattenanalysuppgifter är framför allt att färgämnet pyranin har tillsats till Värtans och Hammarbys fjärrkylenvatten.

I tabell 5 är för Huddinge är angivet två årtal. Detta förklaras av att Huddinges fjärrkylennät startade redan 1974, visserligen då som ett mindre internt nät, men som sedan utifrån detta successivt byggts ut till nuvarande storlek, vilket uppnåddes 1999.

Tabell 5 Uppgifter om fjärrkylennät.

Table 5. Information about district cooling nets.

	Nätvol	Bas (startår)	Späd; urspr.		Späd; byte			Späd; omsättning
	m ³		Avluf tat?	Avhärdat /avsaltat	år	Avluftat?	Avhärdat /avsaltat	Andel/år
Värtan	11000	Rå (-94)	Nej	Nej	2002	Ja	avsaltat	1/2
Hammarby	4000	Fjv (-98)	Ja	avsaltat	-	Ja	avsaltat	1/2
Solna	4500	Rå (-95)	Nej	Nej	2001	Ja	avhärdat	mkt liten
Huddinge	400	Rå (-74,-99)	Nej	Nej	-	Nej	Nej	ca 1 %

"Nätvol." står för nätvolym, "Bas" för basvatten (d v s vad nätet ursprungligen fylldes med), "Späd" för spädvatten, "urspr." för den typ av spädvatten som ursprungligen användes, "byte" för den typ av spädvatten som det ev. senare byttes till, "Rå" för råvatten (d v s kommunalt tappvatten) och "Fjv" för vatten

av fjärrvärmevattenkvalité (d v s avluftat och avsaltat). "Andel/år" innebär en uppskattning av hur stor andel av nätets totalvolym som spädvattnet utgör på ett år.

"Nätvol." means the volume of the net, "Bas (startår)" means basic water, i.e. what the net originally was filled with, and what year, "Späd" means feed water, "urspr." means the type of feed water originally used, "byte" means the type of feed water which was possibly later changed into, "Rå" means municipal water and "Fjv" means water of district heating quality (i.e. degassed and unionised). Andel/år means share per year, an estimation of how large the fraction of the feed water is, compared to the total volume of the net).

Vad gäller sammankopplingar med andra nät gäller för Solnas del att inga regelbundna inkopplingar och fränkopplingar görs med andra nät utan att endast en definitiv gjorts för "2-3 år sedan". Avseende ackumulatorer har endast Solna detta, och då med en volym på 7500 m³.

För Solnanätet kunde konstateras att flödesangivelser endast gjorts vid ett fåtal tillfällen, varför risk föreligger för att om ev. flödesavvikelser uppstått, att ej heller några korrigeringar gjorts i nära anslutning till tidpunkten då flödet började avvika. I övrigt kan sägas att det 7/4 2003 från Hammarbys nät inkom uppgift att exponeringsbehållaren läckte. Läckaget var dock inte värre än att läckan kunde tätas provisoriskt och att provexponeringen kunde fortgå utan att störas av ett cylinderbyte.

Mikrobiell analys

Resultaten av totalhaltsanalysen framgår av diagram 1, a-d, och av ursprungsdata enligt bilaga 2. Axlarna för de fyra diagrammen har getts samma upplösning för att möjliggöra en snabb visuell jämförelse. Både avseende totalhalten av de analyserade mikroorganismerna i biofilmen (heldragen linje) och i fjärrkylevattnet (streckad linje) kan konstateras att nivåerna för de olika fjärrkylennäten är av ungefär samma storleksordning, 10-70 miljoner per cm² i biofilmerna resp. 1-10 miljoner per cm³ i fjärrkylevattenproverna. För Solna och Huddinge (diagram 1c resp. 1d) kan för övrigt ses att ett markant minima föreligger för det andra provtagningstillfället.

Resultaten av analysen av livskraftiga mikroorganismer framgår i diagram 2, a-d, och av ursprungsdata enligt bilaga 3. Axlarna för de fyra diagrammen har också här getts samma upplösning. Analys på gel med malt extract agar (MA) gjordes ej för provtagningstillfälle 2, och provmaterialet från Huddingenätets 1a provtagning skadades vid hanteringen och kunde inte tillvaratas. Man kan se att vad gäller halten livskraftiga mikroorganismer i biofilmen så är nivåerna likvärdiga vid jämförelse mellan de olika fjärrkylennäten, 100-1500 per cm², förutom att NA och PCA (fylld triangel resp. cirkel) har betydligt högre värden för Värtanätet och Hammarbynätet än de båda andra näten för 1a provtagningstillfället. NA och PCA ligger här för Värtanätet på ca 4000 per cm², och för Hammarby på ca 3000 per cm². Vid 3e provtagningstillfället är dessutom halterna för Hammarby betydligt större än för samtliga de övriga näten, 5500 per cm² för PCA och 8200 per cm² för NA. För övrigt kan det även för halten livskraftiga organismer i biofilmen konstateras ett minimum vid 2a provtagningstillfället, framför allt för Hammarby.

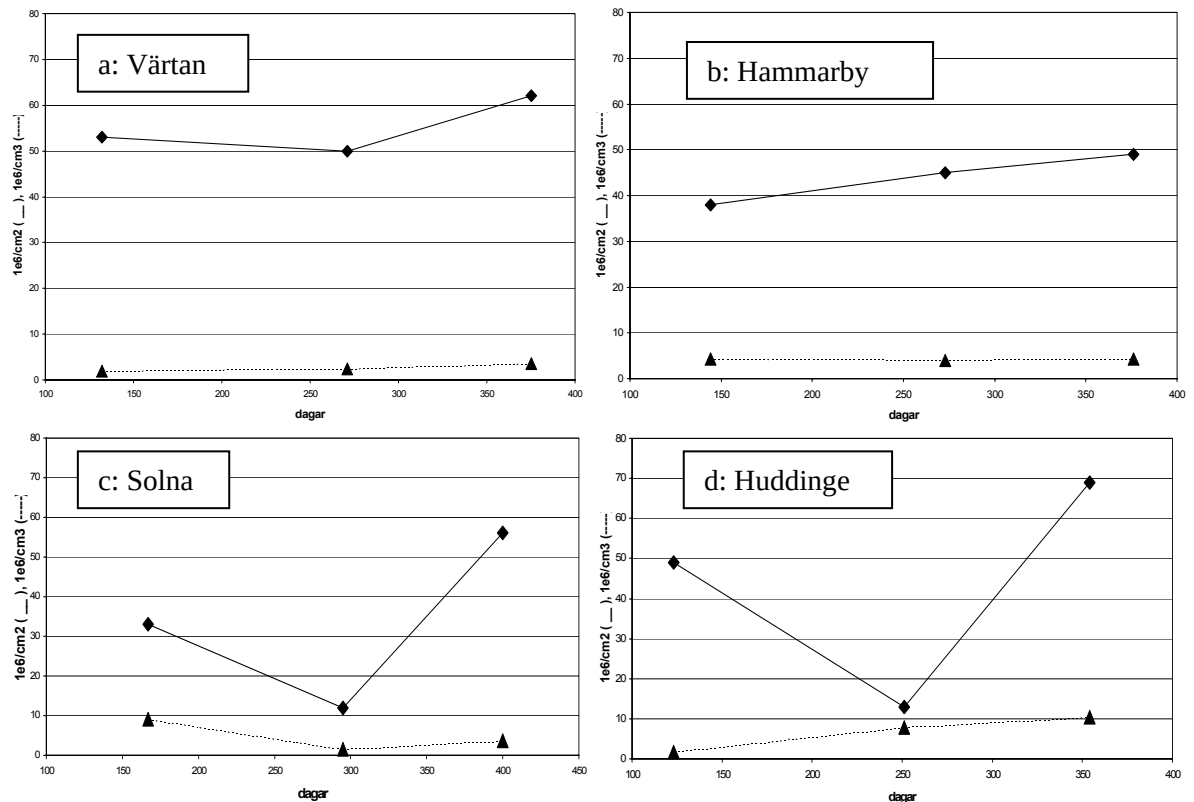


Diagram 1, a-d. Totalhalt av mikroorganismer. Kvadrater med heldragen linje representerar biofilm, triangel med streckad linje processvatten.

Total concentration of micro-organisms. Squares with unbroken lines stand for biofilm and broken lines with triangles for district cooling water.

Vad gäller halten livskraftiga organismer i fjärrkylevattnet så ligger dessa för de flesta provtagningarna på 100-700 per cm³. Undantaget utgörs av att NA och PCA har betydligt högre värden för Huddingenätet generellt, 2000-5500 per cm³, och för Hammarby vid 1a provtagningstillfället, ca 3500 per cm³, och Värtan vid 3e provtagningstillfället, ca 4500 per cm³. Värt att notera här är också att halten mikroorganismer i fjärrkylevattnet för Hammarby gått ner från 2a till 3e provtagningstillfället medan motsatsen gällt för halten mikroorganismer i biofilmen.

Vad gäller halten SRB har endast mycket små mängder kunnat konstateras, 2 st. per liter, och då endast för Huddingenätet.

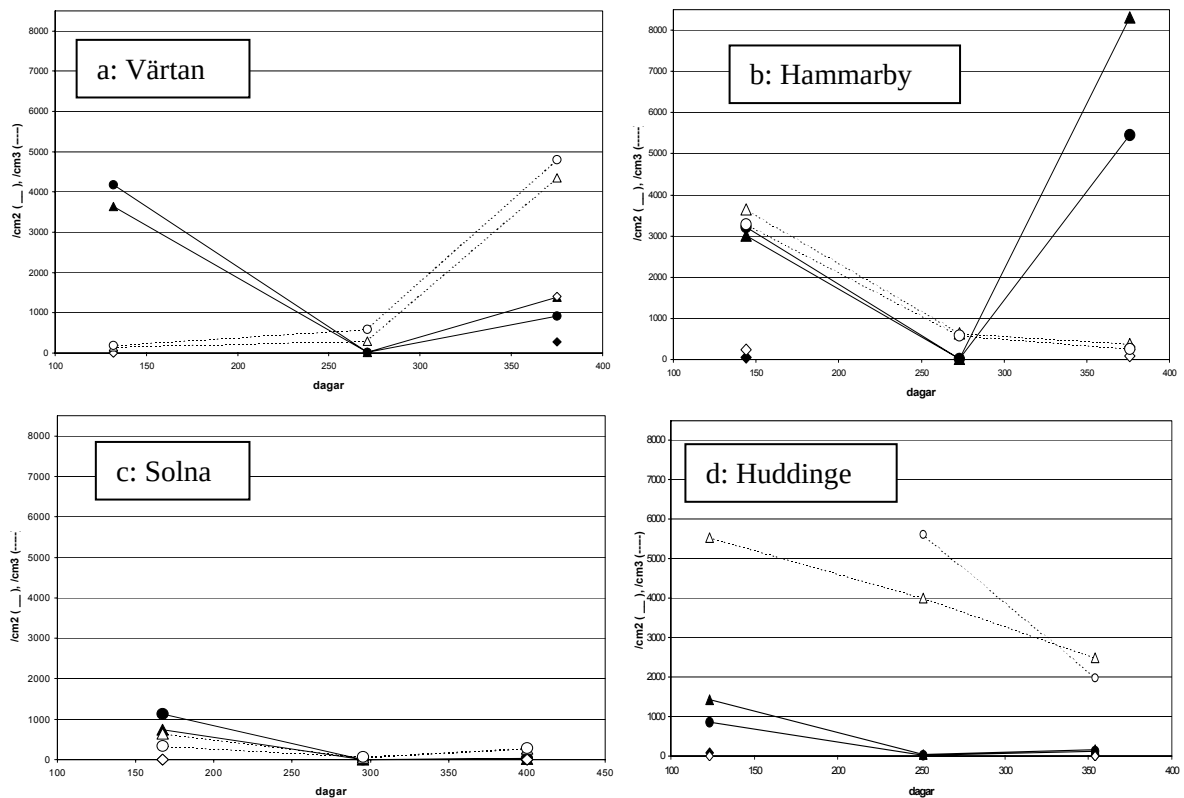


Diagram 2, a-d. Halt av mikroorganismer odlade på agargel. Kvadrater står för malt extract agar (MA), trianglar för nutrient agar (NA), cirklar för plate count agar (PCA). Helderagen linje med fyllda markörer representerar biofilm och streckad linje med ofyllda markörer representerar processvatten.

Diagram 2, a-d. Concentration of viable micro-organisms in district cooling nets, estimated by agar gel growth. Squares stand for malt extract agar (MA), triangles for nutrient agar (NA), and circles for plate count agar (PCA). Unbroken lines with filled markers stand for biofilm and broken lines with unfilled markers for process water.

Korrosionsangrepp

Resultat av massförlustbestämningarna kan ses i tabell 6, där korrosionshastigheten, v , beräknats enligt

$$v = \Delta m / (\pi d_y h \rho t) \quad (5)$$

där Δm är massförlusten, d_y är provkupongens yttre diameter (2.2 cm), h är provkupongens höjd (2.5 cm), ρ är kolstålets densitet (7.92 g/cm³) och t är exponeringstiden. Här kan konstateras att den beräknade korrosionshastigheten ligger för samtliga provtagningstillfällen och nät på mycket små värden, 1-2 μm per år. Ingen groppfrätning har heller kunnat konstateras.

Bild 6 Korrosionshastighet på provkuponger.**Table 6. Corrosion rate on coupons**

Anläggning	Massförlust	Exponeringstid	Korrosionshastighet
	g	år	µm/år (medel)
Värtan	0.0265, 0.0248, 0.0296	1.027	1.9
Hammarby	0.0211, 0.0193, 0.0185	1.030	1.4
Solna	0.0237, 0.0213, 0.0169	1.096	1.4
Huddinge	0.0199, 0.0166, 0.0187	0.97	1.4

6. Slutsats och diskussion

6.1. Jämförelse av olika vattenkvaliteter m a p grogrund för tillväxt av mikroorganismer

Resultaten från etapp 1, tabell 3, visar att Värtanätet hade betydligt högre halter än Hammarbynätet av livskraftiga mikroorganismer både i fjärrkylevattnet och i provkupongernas biofilm. M a av att Värtanätet hade fjärrkylevatten i form av tappvatten medan Hammarbynätet hade fjärrkylevatten av fjärrvärmekvalité, d v s avluftat och avsaltat, tyder detta på att det är betydligt mer gynnsamt för tillväxt av mikroorganismer i tappvatten jämfört med vatten av fjärrvärmekvalité. Detta stöds också av vissa av resultaten från etapp 2. Huddingenätet har, enligt tabell 5, haft fjärrkylevattnet med den synbarligen sämsta kvalitén, varken avgasat eller avjonat, i motsats till Solnanätet som spädmatats med avluftat och avhärdat vatten men framför allt i motsats till Värta och Hammarby som spädmatats med avgasat och avjonat vatten. Enligt diagram 2, a-d, kan i överensstämmelse med detta ses att halten livskraftiga mikroorganismer i Huddingenätets fjärrkylevatten generellt ligger på högre nivåer än för de övriga näten. En osäkerhet avseende sistnämnda tolkningen utgör dock nätens ålder, där äldre nät skulle ha haft längre tid på sig för uppbyggande av gynnsam miljö för mikroorganismer. Enligt tabell 5 kan ses att Huddingenätet startat redan 1974, visserligen då som ett mindre internt nät, men som sedan utifrån detta successivt byggts ut till nuvarande storlek, vilket uppnåddes 1999. Detta är att jämföra med Värtanätet, Solnanätet och Hammarbynätet som dragits igång 1994, 1995 resp. 1998.

Att det är betydligt mer gynnsamt för tillväxt av mikroorganismer i tappvatten jämfört med vatten av fjärrvärmekvalité, kan synbarligen motsägas av att skillnaden mellan Huddingenätet och de övriga näten borde vara större vad gäller halten av livskraftiga mikroorganismer i fjärrkylevattnet. Dessutom kan ses att halten av livskraftiga mikroorganismer i biofilmerna för Huddingenätet legat på motsvarande nivåer som för Solnanätets och betydligt lägre nivåer än för Värtans och Hammarbys. En trolig förklaring till Värtanätet och Hammarbynätet oväntat höga halter av mikroorganismer i jämförelse med Huddingenätets, med tanke på det sistnämnda nätets förhållandevis låga vattenkvalité, är att Värtanätet och Hammarbynätet är de enda av näten som tillsätter kolföreningar till fjärrkylevattnet. I detta fall tillsättes enligt tabell 4 färgämnet pyranin till fjärrkylevattnet, i avsikt att underlätta uppletandet av eventuella läckor. Pyranin är dock som sagt en kolförening och som sådan en mycket gynnande tillväxtfaktor för mikroorganismer. Tillsatsen av pyranin skulle också kunna förklara varför Solnanätets halter av mikroorganismer, både i biofilm och fjärrkylevatten, hållit låga nivåer jämfört med Värtanätet och Hammarbynätet. Detta trots att Solnanätets spädvatten endast varit avhärdat, och dessutom att omsättningen av spädvattnet varit

låg (se tabell 5), till förfång för att kompensera för att basvattnet utgjorts av tappvatten.

Något som också kan ha spelat in och påverkat tillväxtfaktorn i varierande grad mellan näten är ett varierande flöde genom exponeringsbehållaren. Visserligen har det varit meningen att det för respektive etapp ska ha varit samma flöde för samtliga exponeringscylindrar, men övervakningen av flödet har vid vissa nät varit bristfällig. Hur en avvikelse av flödet från fastställt värde påverkar tillväxten av mikroorganismer är dock inte helt lätt att säga. Visserligen innebär exempelvis ett lågt flöde genom exponeringsbehållaren att mikroorganismerna lättare kan bilda biofilmer på provkuponerna, men samtidigt så försämrar det låga flödet näringstillförseln till mikroorganismerna.

6.2. Riskpotential för respektive nät med hänsyn till förekomst av mikroorganismer

Totalhalterna av mikroorganismer i fjärrkylenvattnet har legat i områdena 1-10 miljoner per cm^3 , se diagram 1, a-d. Det är att jämföra med den allmänna uppfattningen, se avsnitt 3.2, att en totalhalt i fjärrkylenvattnet över 1 miljon per cm^3 anses som besvärande hög. Vad gäller totalhalterna av mikroorganismer i biofilmerna har dessa legat på 10-70 miljoner per cm^2 , att jämföra med uppfattningen att en heltäckande och livskraftig biofilm har börjat bildas om koncentrationen överstiger 10 miljoner per cm^2 , och har färdigbildats om koncentrationen ligger på mellan 100 och 1000 miljoner per cm^2 .

För de livskraftiga mikroorganismerna kan för etapp 2 enligt diagram 2, a-d, konstateras att halten svamporganismer, fastställd med hjälp av malt extract agar (MA), varit mycket låg för samtliga nät, både vad gäller fjärrkylenvatten och i biofilmer. För etapp 1 har nivån av svamporganismer för Värtanätets fjärrkylenvatten i exponeringsbehållaren och i biofilmen visserligen inte varit försumbar, men detta bör troligen kunna tillskrivas det förhållandevis låga flöde som under en viss tid hållits. För halten aeroba heterotrofa bakterier, fastställd med hjälp av nutrient agar (NA) och plate count agar (PCA), har sammanställts en tabell över de högsta värdena, se tabell 7.

Tabell 7 Högsta erhållna värden för halt av aeroba heterotrofa bakterier.

Table 7. Maximum values for concentration of aerobic heterotrophic bacteria.

	Värtan		Hammarby		Solna		Huddinge	
	NA	PCA	NA	PCA	NA	PCA	NA	PCA
Biofilm, / cm^2 +omräkningsfaktor	3647 $36 \cdot 10^6$	4176 $42 \cdot 10^6$	8314 $83 \cdot 10^6$	5461 $55 \cdot 10^6$	745 $7 \cdot 10^6$	1132 $11 \cdot 10^6$	1422 $14 \cdot 10^6$	848 $8 \cdot 10^6$
Fjärrkylenvatten, / cm^3 +omräkningsfaktor	4360 $44 \cdot 10^6$	4810 $48 \cdot 10^6$	3650 $36 \cdot 10^6$	3290 $33 \cdot 10^6$	640 $6 \cdot 10^6$	340 $3 \cdot 10^6$	5535 $55 \cdot 10^6$	5615 $56 \cdot 10^6$

Fastställd med hjälp av nutrient agar (NA) och plate count agar (PCA). Ang. "omräkningsfaktor" se 3.2.

Estimated by using nutrient agar (NA) and plate count agar (PCA). "Omräkningsfaktor" means conversion factor (see 3.2).

Här kan konstateras att de högsta värdena för halterna av aeroba heterotrofa bakterier i biofilmerna i respektive nät legat kring 4000 per cm^2 för Värtanätet, strax över 8000 resp. kring 5500 per cm^2 för Hammarbynätet, strax under resp. strax över 1000 per cm^2 för Solnanätet och strax över resp. strax under 1000 per cm^2 för Huddingenätet. Med den faktor på 10 000 som dessa värden bör multipliceras med för att ge det troligaste värdet på antalet mikroorganismer (se avsnitt 3.2), erhålles nivåer som ligger i nivå med (Solnanätet och Huddingenätet) eller över (Hammarbynätet och Värtanätet)

det som anses som normalt, 10 miljoner per cm^2 . I fjärrkylevattnet är motsvarande värden kring 4500 per cm^3 för Värtanätet, kring 3500 per cm^3 för Hammarbynätet, strax över resp. strax under 500 per cm^3 för Solnanätet och strax över 5500 för Huddingenätet. Med hänsyn till faktorn 10 000 erhålles nivåer som ligger något under (Solnanätet) eller över (Värtanätet, Hammarbynätet och Huddingenätet) det som anses som normalt, 10 miljoner per cm^3 , men samtliga nivåer betydligt över det som anses som säkerhetsgräns, 1000 per cm^3 .

6.3. Variationer i mikroorganismhalt under exponeringsperiod

Aeroba heterotrofa bakterier

De uppmätta halterna av aeroba heterotrofa bakterier kan ses variera relativt kraftigt mellan olika provtagningstillfällen. Framför allt gäller detta för Värtanätet och Hammarbynätet, diagram 2a resp. 2b, både avseende halten i biofilmen och i fjärrkylevattnet, men även till viss del för Huddingenätets fjärrkylevatten, diagram 2d (något som inte framgår tydligt m a av den relativt låga upplösningen för deras resp. diagram, men däremot ur ursprungsdata, bilaga 3). För mikroorganismer är näringsstillgången av stor betydelse för tillväxten. Ett lågt flöde för fjärrkylevattnet innebär att omrörningen av fjärrkylevattnet blir sämre och kontakten mellan näringsämnen och mikroorganismerna försämras. Vintertid håller fjärrkylevattnet i näten ett betydligt lägre flöde än under övriga perioder varför en nedgång vintertid i halten av mikroorganismer i fjärrkylevattnet eventuellt skulle kunna förklaras av tillgången på näringsämnen.

En större bidragande orsak till en nedgång vintertid i halten av mikroorganismer i fjärrkylevattnet är dock troligen vattnets temperatur. På grund av det under vintertid låga flödet och det låga kölduttaget går temperaturen på fjärrkylevattnet kraftigt ner under vintertid, i vissa fall till endast strax över noll. Vanligen ligger optimum för bakteriernas aktivitet i de flesta fall över 20 °C och minskar ju lägre temperatur fjärrkylevattnet har. En nedgång i halten av aeroba heterotrofa bakterier i fjärrkylevattnet vintertid, d v s provtagning 2, kan ses för Solnanätet diagram 2c, och skulle alltså kunna förklaras främst av den låga temperatur som råder för fjärrkylevattnet vintertid. För Hammarby- och Värtanätet ligger visserligen halten av aeroba heterotrofa bakterier i fjärrkylevattnet lågt vintertid, men man kan se en än lägre halt vid provtagningen före, oktober 2002, respektive efter, juni 2003. För Hammarbynätets del är en trolig förklaring att det ofta krävs en viss återhämtningsperiod för att reproduktionsprocessen hos mikroorganismerna ska kunna komma igång ordentligt igen efter en period av nedgång p g a tillfälligtvis låg temperatur. Samma resonemang skulle kunna föras för Huddingenätets nedgång i halt, diagram 2d, om än inte till lika låga nivåer.

Även om spädvattnet hållit en hög kvalitet kan föroreningar introduceras i fjärrkylevattnet genom anslutningar av nya kunder. Nyanslutningar förekommer relativt ofta, framför allt för stora nät som Hammarbynätet och Värtanätet, och innebär att nya ledningar kopplas in på det befintliga nätet, dels ledningen till kunden och dels kundens egen anslutningsdel. Ledningarna till kunden har vanligtvis legat ute, i vissa fall enligt uppgift upp till fem år, varvid korrosionsprodukter och andra avlagringar kan ha uppkommit på rörens insidor. En trolig förklaring till att halten aeroba heterotrofa bakterier i fjärrkylevattnet för Värtanätets del gått upp kraftigt vid 3e provtagningstillfället är att en förorening av fjärrkylevattnet skett, troligtvis i form av en anslutning i slutet av 2002 av förorenade rörledningar. Här kan det vara värt att påtala att rörledningar planerade att användas till fjärrkylennät bör förvaras under någotsånär skyddade förhållanden och dessutom helst låta spolas igenom strax innan anslutning görs.

För mikroorganismer i biofilmer i fjärrkylerrören påverkas näringstillgången av fjärrkylavattnets flöde. Ett lågt flöde kan medföra utarmning av tillgång på näringsämnen i biofilmen medan ett högre flöde undviker detta. En nedgång vintertid i halten av mikroorganismer i biofilm i fjärrkylerrören skulle alltså kunna förklaras av tillflödet av näringsämnen. För exponeringsbehållarna för etapp 2 har dock åtminstone målsättningen varit att hålla ett konstant flöde, 1.8 l/h, genom att avläsa flödesmätaren och att vid behov justera flödet med exponeringsbehållarens ventil. Därigenom skulle också flödet förbi provkuponernas biofilmer vara konstant och inte påverkas av flödesvariationer i fjärrkylennätet. Ett lågt flöde för fjärrkylavattnet innebär visserligen att omrörningen av fjärrkylavattnet blir sämre och att näringsämnen tenderar att falla till botten, och att tillgången på näringsämnen blir sämre på andra platser. En anslutningspunkt för exponeringsbehållaren i en region där halten näringsämnen blivit låg skulle kunna förklara nedgången vintertid för halten av mikroorganismer i provkuponernas biofilmer. En troligare förklaring är dock att det även för en sänkning vintertid av halten av mikroorganismer i provkuponernas biofilmer skulle röra sig om en sänkning av temperaturen på fjärrkylavattnet. För samtliga nät kan det i diagram 2, a-d, ses ett minimum vintertid av halten av mikroorganismer i provkuponernas biofilmer, vilket alltså troligen beror på en sänkning av temperaturen på fjärrkylavattnet.

För Hammarbynätet kan konstateras ett intressant resultat vid jämförelse av halterna aeroba heterotrofa bakterier för biofilmen respektive fjärrkylavattnet, se diagram 2b. För 3e provtagningen kan ses att halten i biofilmen kraftigt går upp medan halten i fjärrkylavattnet går ner. Även om höga halter i fjärrkylavattnet inte nödvändigtvis innebär höga halter i biofilmen- eller vice versa- brukar vanligen en sänkning av halten mikroorganismer i fjärrkylavattnet innebära också en sänkning av halten i biofilmerna då biofilmen är i ett uppbyggnadsskedet. Detta skulle kunna bero på att mikroorganismer i fjärrkylavattnet har mer likvärdiga förutsättningar med mikroorganismerna i biofilmen under biofilmens uppbyggnadsskede än när filmen är färdigutvecklad. Är biofilmen i uppbyggnadsskedet skulle alltså mikroorganismerna i biofilmen påverkas på ett likartat sätt av ändringar hos fjärrkylavattnet- exempelvis avseende näringsflödet. En förklaring till avvikelser skulle alltså kunna vara att biofilmen för Hammarbynätet blivit färdigutvecklad och därmed skapat en mer gynnsam och stabil miljö för mikroorganismerna. Utvecklingen av biofilmen skulle här snabbt kunna gå i en ogynnsam riktning för det underliggande materialet.

För Värtanätet kan också en avvikelse ses i förändringen mellan halterna aeroba heterotrofa bakterier i fjärrkylavattnet och i biofilmen, se diagram 2a. Här rör det sig dock om en sänkning av halten i biofilmen mellan 1a och 2a provtagningen, medan en ökning i fjärrkylavattnet. En förklaring till att halten bakterier i fjärrkylavattnet ökar trots den sjunkande temperaturen kan vara att vi här har en effekt av en nyanslutning under 2a halvan av 2002 av ej tillräckligt rengjorda rör. Att motsvarande ökning av halten i biofilmen ej ses kan bero på att slag av bakterier i fjärrkylavattnet och biofilmen varierar. Den sorts bakterier som för tillfället överväger i biofilmen skulle kunna vara mer känslig för temperatursänkningen än vad de är mottagliga för den näringstillförsel som orsakas av de nyanslutna rören.

Totalhalt

Totalhalten mikroorganismer är till viss del knutna till halten livskraftiga mikroorganismer, eftersom den uppmätta halten livskraftiga mikroorganismer är en del av den totala halten mikroorganismer. Övriga delar av den totala halten mikroorganismer utgörs av livskraftiga mikroorganismer av slag som ej analyserats samt döda mikroorganismer. En sänkning av halten av livskraftiga mikroorganismer skulle exempelvis kunna kompenseras av en ökning av halten döda mikroorganismer av en sådan omfattning att totalhalten mikroorganismer ändå ökar. För flertalet

analyser av totalhalten mikroorganismer, diagram 1, gäller att de följer tendenserna för motsvarande livskraftiga bakterier, diagram 2.

Den största avvikelserna kan ses för Hammarbynätets biofilm. Här sjunker halten aeroba heterotrofa bakterier kraftigt vid andra provtagningstillfället, diagram 2b, medan totalhalten mikroorganismer ökar, diagram 1b. Det skulle kunna förklaras med att det mellan 1a och 2a provtagningstillfället bildats en stor mängd mikroorganismer varav flertalet dock döda vid 2a provtagningen. Samma resonemang kan också föras för Huddingenätets fjärrkylavatten, där totalhalten kan ses öka, diagram 1d, trots att halten av aeroba heterotrofa bakterier sjunker, diagram 2d. För Solnanätet följs förändringarna åt mellan halten aeroba heterotrofa bakterier och totalhalten, både för biofilm och fjärrkylavatten. Anledningen till att motsvarande inte gäller som för Hammarbynätets biofilm eller Huddingenätets fjärrkylavatten är troligen den relativt låga halten livskraftiga bakterier vid första provtagningstillfället. Detta skulle medföra att den bildade mängden döda bakterier inte skulle kompensera för nedgången i halten livskraftiga bakterier vad gäller totalhalten. Den relativt låga nedgången av totalhalten i biofilmen för Värtanätet, diagram 1a, är vad man skulle kunna vänta sig med samma resonemang. Detta må av den för Värtanätet höga halten livskraftiga anaeroba heterotrofa bakterier i biofilmen vid 1a provtagningstillfället.

Övrigt

Något som komplicerar försöken till förklaringar av variationer i halterna av mikroorganismer är att vissa typer av mikroorganismer kan omvandlas till sporer vid förhållanden som är ogynnsamma för mikroorganismerna. Dessa sporer kan inte föröka sig men är mycket tåliga mot ogynnsamma förhållanden, som exempelvis mycket låga temperaturer eller näringsfattiga miljöer. Från sporform kan mikroorganismerna senare återbildas när förhållandena blir mer gynnsamma. Har mikroorganismerna omvandlats till sporer kan tillväxten av mikroorganismer bli betydligt kraftigare vid återställda gynnsamma förhållanden, än vad som skulle ha varit fallet om inga sporer bildats utan endast en mindre halt mikroorganismer överlevt de ogynnsamma förhållandena. Analyser av sporförekomst har inte gjorts i detta projekt och det är osäkert om detta över huvud taget är möjligt.

Förutom ovan sagda pekar variationerna i uppmätta halter på riskerna med enstaka provtagningar. Hade exempelvis provtagning endast skett under början på mars skulle bilden ha blivit betydligt ljusare - men endast skenbart. Här är möjligheten för vissa mikroorganismer att omvandla sig till sporer en bidragande skäl till att göra kontinuerliga mätningar av halten mikroorganismer och inte begränsa sig till något enstaka mättillfälle.

Slutligen bör det påpekas att det kan vara svårt att med någon större säkerhet avgöra vad som varit orsaken till eventuella uppmätta förändringar i halten mikroorganismer under en exponeringsperiod, om endast ett fåtal provtagningstillfällen förekommit. Dels kan det vara svårt att utesluta att förändringen endast är synbar på att det skett en felaktig provhantering. Men även om förändringen speglar de faktiska förhållandena kan det vara svårt att fastställa om förändringen är tillfällig, exempelvis endast orsakad av en temperaturväxling, eller om det är av mer bestående karaktär, exempelvis ett inläckage av föroreningar. För vissa resultat angivna ovan skulle bedömningarna av orsakerna varit lättare med fler provtagningstillfällen. Av störst intresse gäller detta givetvis de ökningarna av halter som observerats vid tredje mättillfället, exempelvis för halten aeroba heterotrofa bakterier i fjärrkylavattnet i Värtans nät, diagram 2a, och i provkuponernas biofilmer för Hammarbys nät, diagram 2b. Efterföljande mätningar skulle kunna ha bekräftat eller dementerat huruvida förändringen är en del av en allvarlig ökning av halten mikroorganismer.

6.4. Korrosion och biofilmbildning

Ingen omfattande korrosion har kunnat konstateras, utan korrosionshastigheten har för etapp 2 fastställts utifrån massförlustbestämning till 1-2 µm per år för perioden. Inte heller någon gropfrätning har konstaterats. Detta är i överensstämmelse med den närmast obefintliga närvaron av SRB, vilket är den mikroorganism som främst ligger till grund för korrosion i fjärrkylennät. SRB är dock en mikroorganism som är anaerob, dvs är mest aktiv vid frånvaro av syre, och som börjar framträda först efter att aeroba bakterier format en för SRB gynnsam miljö i biofilmen. En gynnsam miljö för aeroba bakterier skulle därför med största sannolikhet efter en tid även skapa en gynnsam miljö för SRB i biofilmen och därigenom stor risk för mikrobiell korrosion. Med anledning av den relativt stora halten av aeroba bakterier hos de i projektet undersökta näten, åtminstone hos näten i Värtan och Hammarby, är alltså anledningen till frånvaro av SRB troligen inte att förhållandena är sådana att SRB inte kommer att kunna bildas i större omfattning, utan snarare att det är en tidsfråga. För Värtanätet hade visserligen under etapp 1 en relativt hög halt SRB kunnat konstateras både i biofilmen och i fjärrkylenvattnet redan efter den i etapp 1 mycket korta exponeringstiden, ca 1½ månad. Frågan är dock om inte den bristfälliga kontrollen av flödet genom exponeringsbehållaren skapat en särskilt gynnsam miljö för biofilmbildning och då också för tillväxt av SRB, en miljö som inte är representativ för nätet som helhet. Däremot kan man dra slutsatsen att om detta eventuellt speciella förhållande gäller för någon plats i nätet så kan det åtminstone där uppstå höga halter av SRB med stora risker för gropfrätning som följd.

Vad gäller biofilmer är dessa inte bara till nackdel i och med att de kan skapa en miljö som är mycket korrosiv, exempelvis genom att ha skapat gynnsamma förutsättningar för SRB. Biofilmer är nämligen också till nackdel i och med att de försämrar värmeöverföringskapaciteten för de ytor de belägger, varför en värmeväxlares effektivitet kraftigt skulle reduceras vid beläggning av biofilm. Eftersom biofilm kunde konstateras på provkuponerna för samtliga nät föreligger alltså här en risk för biofilmbildning på respektive näts värmeväxlare, med reduktion av deras effektivitet som följd. I förlängningen föreligger också risk för igensättning.

7. Slutsatser och rekommendationer

Biofilmer på de exponerade proverna har kunnat konstateras för samtliga undersökta fjärrkylennät. Mängden av mikroorganismer i biofilmerna har dock varierat mellan fjärrkylennäten. Utifrån detta har slutsatser kunnat dras avseende rekommenderbar vattenkvalité och övriga förhållanden med avsikt att undvika mikroorganismrelaterade problem, se nedan. Någon korrosion av nämnvärd omfattning på de exponerade proverna har visserligen inte varit fallet. Däremot finns en klar potential för uppkomst av mikrobiell korrosion. Detta med anledning av den myckna förekomsten av aeroba bakterier som i sin tur skapar grogrund för sulfatreducerande bakterier, SRB. SRB är nämligen den bakterieform som kanske främst av alla gynnar mikrobiell korrosion, en korrosionsform som är av lokal karaktär och därigenom riskerar att relativt snabbt penetrera det material som biofilmen ansluter till.

7.1. Slutsatser

Biofilmer har bildats på de exponerade proverna för samtliga undersökta fjärrkylennät; Solnas, Huddinges, Hammarbys och Värtans. Tillväxer biofilmerna på nätns värmeväxlare kan detta orsaka kraftiga försämringar av värmeöverföringen.

Tveksamt höga halter av mikroorganismer har konstaterats både i fjärrkylevattnet och i biofilmerna för samtliga nät, och då både vad avser totalhalt och livsduglig halt.

Troligen innebär det betydligt gynnsammare förutsättningar för att undvika biofilmbildning och mikrobiell korrosion om fjärrkylennätets fjärrkylevatten är av fjärrvärmevattenkvalité.

Förhållandevis höga halter av livsdugliga mikroorganismer har dock konstaterats för de fjärrkylennät som har den bästa kvalitén på vattnet ifråga om syrehalt och jonhalt, Hammarbys och Värtan. En trolig förklaring till detta är att dessa två nät- i motsats till de två andra- tillsätter pyranin till fjärrkylevattnet, vilket kan fungera som näringskälla för mikroorganismerna.

För ett flertal fall där haltökningar kunnat konstateras har orsaken med stor sannolikhet kunnat härledas till att föroreningar kommit in i fjärrkylennätet. En trolig orsak till detta är anslutning av fjärrkylerör vilka varit nersmutsade.

Ingen nämnvärd korrosion har kunnat konstateras på de exponerade proverna, vilket är i överensstämmelse med den ytterst låga halt av SRB som kunnat konstateras. Förutsättningen för en kraftig ökning av halten SRB med tiden är dock besvärande med anledning av den relativt höga närvaron av andra mikroorganismer.

Projektet har visat tydliga exempel på att provtagningar endast vid enstaka tillfällen skulle kunna ge en missvisande bild av förhållandena. Det kan exempelvis orsakas av mikroorganismernas förmåga att vid ogynnsamma betingelser övergå i sporform för att då betingelserna återigen blivit gynnsamma återgå som mikroorganism.

Projektet har också visat tydliga exempel på att provtagningar endast av fjärrkylevattnet kan ge felaktiga signaler över förhållandena i fjärrkylennätet vad avser närvaron av mikroorganismer, och då i biofilmer.

Den exponeringsbehållare som använts under projektets etapp 2 har visat sig vara både funktionsduglig och lätthanterlig för att kontinuerligt under en tidsperiod kunna bedöma närvaron av mikroorganismer.

7.2. Rekommendationer

Vid fyllning av ett nät bör vatten av fjärrvärmevattenkvalité användas. Därefter bör nätet också spädmatas med vatten av fjärrvärmevattenkvalité.

Undvik att använda tillsatsmedel i fjärrkylevattnet, framför allt om det rör sig om organiska föreningar.

När det till befintligt fjärrkylennät nyansluts fjärrkylerör eller nätsystem bör det ha säkerställts att inga föroreningar förekommer i dessa.

Övervaka systemet avseende potential för mikroorganismrelaterade problem. Detta genom att exponera för systemet relevanta materialprover mot fjärrkylevattnet samt genom att med jämna mellanrum analysera dessa prover med avseende på biofilm och korrosion.

8. Förslag på fortsatt arbete

Projektet har kommit fram till att det verkar troligt att pyranin starkt bidrar till tillväxten av mikroorganismer. Anses behovet vara stort av att använda pyranin kan det dock vara värt att helt säkerställa sig rörande pyraninets effekter, och då vid den koncentration som anses krävas för att kunna ha funktionen som markör för läckor.

Projektet har också kommit fram till att det verkar troligt att nyanslutningar till det befintliga nätet starkt kan bidra till tillväxten av mikroorganismer. Detta framförallt om rören som använts till anslutningen under en längre tid legat oskyddade innan anslutningen. Dessutom finns det risk för att inläckage kan ske från kunden, vilket också kan bidra till tillväxten av mikroorganismer. En kontinuerlig exponering med tillhörande analyser under en längre period skulle kunna tydliggöra effekterna av nyanslutningar och eventuella inläckage från kund.

I projektet har endast kolstål exponerats och då utan att någon nämnvärd korrosion kunnat konstateras. Dock har det framkommit att biofilmerna varit sådana att förutsättningarna varit goda för att biofilmerna skulle kunna skapa en korroderande miljö. En exponering under en längre period skulle kunna klargöra om, och i så fall när och i vilken omfattning, kolstålet börjar att korrodera.

Andra material än kolstål förekommer ofta i fjärrkylennät, exempelvis koppar och rostfritt stål, där framför allt rostfritt stål i vissa fall visat sig ha varit mer mottaglig för mikrobiell korrosion än kolstål. Att exponera också dessa material på samma sätt som omnämns för kolstål ovan skulle kunna klargöra respektive materials korrosionshårdighet.

9. Referenser

1. Microbiologically Influenced Corrosion. B J Little, F Mansfeld & P A Wagner. NACE International 1997.
2. A Practical Manual on Microbiologically Influenced Corrosion. Kobrin G. NACE International 1993.
3. A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in fresh water. Jones, J.G. Freshwater Bio. Association, 39, (1979), p. 61.

Bilaga 1

Vattenanalysdata

Hammarby

	pH	Kond. (µS/cm)	Hårdhet (dH)	Järn (ppm)	Fluorid (ppm)
2002 maj	9.4	102	0.38	0.34	
juni	9.5	116	0.32	0.13	
juli	9.6	110	0.25	0.12	
aug	9.8	107	0.22	0.19	0.44
sep	9.9	108	0.20	0.05	0.37
okt	9.8	105	0.25	0.05	0.30
nov	9.8	104	0.19	0.10	0.51
dec	9.8	93	0.15	0.12	0.37
2003 jan	9.8	92	0.13	0.11	0.33
feb	9.9	91	0.13	0.11	0.36
mars	9.8	87	0.08	0.17	0.26
april	9.8	87	0.13	0.21	0.36
maj	9.9	86	<0,01	0.23	0.34
juni	9.9	87	<0,01	0.27	0.36

Värtan

	pH	Kond. (µS/cm)	Hårdhet (dH)	Järn (ppm)	Fluorid (ppm)
2002 maj	9.4	149	2.5	1.10	0.38
juni	9.4	143	2.2	0.96	0.36
juli	9.4	146	2.2	0.69	0.35
aug	9.5	137	2.1	0.21	0.35
sep	9.5	123	2.0	0.11	0.33
okt	9.5	119	2.0	0.15	0.33
nov	9.6	117	1.9	0.15	0.33
dec	9.6	115	1.9	0.11	0.32
2003 jan	9.7	113	1.9	0.08	0.33
feb	9.7	113	1.9	0.07	0.34
mars	9.7	111	1.7	0.17	0.33
april	9.7	108	1.6	0.10	0.36
maj	9.7	104	1.5	0.56	0.37
juni	9.7	100	1.5	1.31	0.37

Bilaga 2

Totalhalt mikroorganismer

Första siffran representerar nätet (1=Solna, 2= Huddinge, 3=Hammarby, 4= Värtan)

Andra siffran representerar provkupongen resp. vattenprovet (för provkupongerna är 1-3 1a provtagningstillfället, 4-6 2a och 7-9 3e, medan för vattenprovet är 1 1a provtagningstillfället, 2 2a provtagningstillfället och 3 3e provtagningstillfället).

"Medel" anger medelantalet celler per box.

Biofilm

Medel cells/cm² (1e6)	Medel cells/cm² 2 (1e6)	Medel cells/cm² 2 (1e6)	Medel cells/cm² 2 (1e6)
1.1 1.6	2.1 5.5	3.1 3.9	4.1 4.7
1.2 2.7	2.2 2.2	3.2 2.9	4.2 5
1.3 4.2 33	2.3 4.9 49	3.3 2.9 38	4.3 3.8 53
1.4 1.3	2.4 0.9	3.4 3.6	4.4 2.6
1.5 0.6	2.5 1.4	3.5 4.6	4.5 1.9
1.6 1.2 12	2.6 1 13	3.6 3.3 45	4.6 8.3 50
1.7 3.2	2.7 5.1	3.7 4.3	4.7 2.8
1.8 5.6	2.8 6.3	3.8 4.4	4.8 7.4
1.9 5.5 56	2.9 6.1 69	3.9 3.7 49	4.9 5.7 62

fjärrkylenvatten

Medel cells/cm³ (1e6)	Medel cells/cm³ 3 (1e6)	Medel cells/cm³ 3 (1e6)	Medel cells/cm³ 3 (1e6)
1.1 2.3 9.2	2.1 0.4 1.6	3.1 1.1 4.4	4.1 0.5 2.0
1.2 0.4 1.6	2.2 3.6	3.2 1 4.0	4.2 0.6 2.4
1.3 0.9 3.6	2.2 0.3 7.8	3.3 1.1 4.4	4.3 0.9 3.6
	2.3 2.6 10.4		

Bilaga 3

Agargelbakterier

Första siffran representerar nätet (1=Solna, 2= Huddinge, 3=Hammarby, 4= Värtan)

Andra siffran representerar provkuponen alt. vattenprovet (två siffror av samma slag innebär dubbelprov)

*Biofilm

Provtagning 1							Provtagning 2							Provtagning 3						
Gelmarkörer (Antal)			Mikroorg. (per cm2)				Gelmarkörer (antal)			Mikroorg. (per cm2)				Gelmarkörer (antal)			Mikroorg. (per cm2)			
MA	NA	PCA	MA	NA	PCA		MA	NA	PCA	MA	NA	PCA		MA	NA	PCA	MA	NA	PCA	
1.1	0	2	3				1.1	-	1	0				1.1	0	0	1			
1.1	0	2	3				1.1	-	0	0				1.1	0	1	0			
1.2	0	2	5				1.2	-	0	0				1.2	0	2	0			
1.2	0	6	2				1.2	-	0	0				1.2	0	0	2			
1.3	0	77	129				1.3	-	0	0				1.3	0	1	2			
1.3	0	63	89	0	745	1132	1.3	-	0	0	-	5	0	1.3	0	0	1	0	20	29
2.1	0	3	0				2.1	-	2	1				2.1	0	5	3			
2.1	0	3	2				2.1	-	3	2				2.1	1	9	5			
2.2	0	5	2				2.2	-	0	0				2.2	0	13	6			
2.2	0	2	3				2.2	-	1	1				2.2	0	5	8			
2.3	12	102	166				2.3	-	1	0				2.3	0	2	3			
2.3	6	175	0	88	1422	848	2.3	-	0	0	-	34	20	2.3	0	1	0	5	172	123
								-	1	0										
3.1	0	162	150				3.1	-	0	2				3.1	23	440	288			
3.1	0	125	150				3.1	-	0	1				3.1	22	442	230			
3.2	0	113	131				3.2	-	0	1				3.2	6	260	222			
3.2	12	133	112				3.2	-	-	1				3.2	9	314	229			
3.3	0	45	56				3.3	-	0	1				3.3	2	109	75			
3.3	0	36	58	59	3010	3221	3.3	-	1	0	-	10	25	3.3	2	131	70	314	8314	5461
								-	0	1										
4.1	0	104	117				4.1	-	1	1				4.1	15	94	78			
4.1	0	112	115				4.1	-	0	-				4.1	19	91	37			
4.2	2	121	153				4.2	-	0	0				4.2	8	24	18			
4.2	0	132	130				4.2	-	0	0				4.2	0	32	16			
4.3	0	136	172				4.3	-	0	0				4.3	9	18	16			
4.3	1	139	165	15	3647	4176	4.3	-	2	0	-	13	10	4.3	7	25	24	284	1392	926

*Procesvatten

Provtagning 1							Provtagning 2							Provtagning 3						
Gelmarkörer (antal)			Mikroorg. (per cm2)				Gelmarkörer (antal)			Mikroorg. (per cm2)				Gelmarkörer (antal)			Mikroorg. (per cm2)			
MA	NA	PCA	MA	NA	PCA		MA	NA	PCA	MA	NA	PCA		MA	NA	PCA	MA	NA	PCA	
1.1	0	62	34				1.1	-	2	5				1.1	0	31	33			
1.1	-	66	-	0	640	340	1.1	-	8	8	-	50	65	1.1	0	22	23	0	265	280
							2.1	-	576	674										
							2.1	-	510	844										
2.1	0	760	-				2.2	-	231	376				2.1	0	235	188			
2.1	-	347	-	0	5535	-	2.2	-	287	352	-	4010	5615	2.1	0	262	207	0	2485	1975
3.1	19	379	329				3.1	-	48	68				3.1	10	34	26			
3.1	29	351	-	240	3650	3290	3.1	-	81	48	-	645	580	3.1	8	40	-	90	370	260
4.1	0	18	23				4.1	-	32	61				4.1	195	382	494			
4.1	0	12	15	0	150	190	4.1	-	28	56	-	300	585	4.1	86	490	468	1405	4360	4810

Rapportförteckning

Samtliga rapporter kan beställas hos Svensk Fjärrvärmes Förlagsservice.

Telefon: 026 – 24 90 24, Telefax: 026 – 24 90 10, www.fjarrvarme.org

<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 fjärrkylennät – 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	Flödesutjämnande 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	Gradtid för kyla	Peter Lundell	april-04
109	Effektivare rundgångar	Håkan Walletun Karolina Näsholm	april-04
110	Mikrobiell aktivitet i fjärrkylennät	Magnus Nordling	april-04

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

*Svensk Fjärrvärme AB och Statens energimyndighet bedriver
forskningprogram 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@fjarrvarme.org • www.fjarrvarme.org