



# Effekter av fjärrvärmevatten på aktivslam

*-En respirometrisk analys där en spädningsserie har använts för att bestämma hämningen på biologiska reningssteg i avloppsreningsverk*

## Sammanfattning

Det är vanligt med läckage av fjärrvärmevatten och detta väntas öka i framtiden eftersom distributionsnäten blir allt äldre. Kemikalier tillsätts näten för att skydda rörsystemen. Man vet att några av kemikalierna kan vara skadliga i vattnekosystem och att fjärrvärmevatten hamnar i reningsverk. Därför genomfördes en respirometrisk analys för att bedöma hur fjärrvärmevatten påverkar aktivslamprocessen. Vatten från två fjärrvärmenät, Kalmar och Växjö, testades på aktivslam hämtat från Tegelvikens avloppsreningsverk i Kalmar. En metallanalys gjordes för att bedöma om eventuell toxicitet uppkom av korrosionsprodukter i vattnet. Fjärrvärmevattnet från Kalmar hämmade nitrifikationen med ca 20% för alla testade koncentrationer, trots stora skillnader i koncentration (6,25%, 25%, 50% och 100%) användes i testet. Fjärrvärmevattnet från Växjö uppvisade en negativ korrelation mellan en ökning i koncentration och ökning av toxicitet, 74 % (6.25%) -11 % (100 %). Till skillnad från Kalmars fjärrvärmevatten har Växjös vatten kraftigare hämning vid låga koncentrationer än vid höga. Korrosionsprodukter uteslöts som trolig källa till toxicitet då metallanalysen inte uppvisade någon betydlig koncentration av vanliga metaller. Den avgörande slutsatsen var därmed att kemikalierna är den troliga orsaken till hämningen.

## Introduktion

### Förorening och behandling av värmebäraren

Värmen som produceras i fjärrvärmearläggningar distribueras till kunderna via en värmebärare, nästan uteslutande vatten, som leds i rör nedgrävda i marken. Rören är oftast tillverkade i stål och standarddjupet för nedgrävningar i Sverige är omkring en meter. Vattnet förorenas ständigt då det cirkulerar i nätet. Bland annat är korrosion och inläckage av partiklar, hårdhetsbildare, gaser och joner oönskviga källor till förorening av värmebäraren. Föroreningarna leder till en konstant deterioration av värmebäraren och efterhand även av rören. Det resulterar i ytterligare skador och påföljande läckage av värmebäraren. För att minimera effekterna behandlas fjärrvärmevattnet och råvattnet som används för spädning mekaniskt på olika sätt. Detta ger normalt bra resultat men för att förstärka reningen används ofta kemikaliebehandling som ett poleringssteg av spädvattnet.



### Exponering för recipienter och effekter i miljön

Förluster av värmebäraren från näten kan delas upp i avsiktliga och oavsiktliga utsläpp. Avsiktliga sker huvudsakligen i samband med renovering av systemen och det lokala reningsverket är då den slutgiltiga recipienten. Trots omfattande behandling och underhåll av näten är oavsiktliga utsläpp, läckage, oönskvärdiga. Det råder stor osäkerhet kring hur mycket vatten som läcker från fjärrvärmenät men några studier har genomförts. I en studie utförd av Termisk Systemteknik och Svensk Fjärrvärme visades att stora läckor kan släppa ut 150 m<sup>3</sup>/dag och att en del läckage har pågått flera år. Den första recipienten för ett läckage är alltid den omkringliggande marken men eftersom rören inte ligger särskilt djupt kan vattnet hamna ovan jord som dagvatten eller infiltrera in i dagvattennätet. När detta händer är reningsverket eller våtmarker de slutliga recipienterna. Vatten kan också läcka mellan slutna kretsar i systemet, t.ex. via trasiga värmeväxlare, och då kan det hamna i tappvattensystemet hos kunden. I dessa fall är den slutliga recipienten det lokala reningsverket.

Man vet att vissa av kemikalierna som används är toxiska i vattenecosystem och att de kan ha negativa effekter på den biologiska processer. Om det finns en utbredd korrosion i nätet kan även metaller ha negativa effekter på reningen. Biologisk rening i våtmarker används i stor utsträckning för att behandla dagvatten eller vatten som har passerat källor till näringsämnen, t.ex. åkermark. Störning av biologiska reningssteg i reningsverk och våtmarker leder till ökat utsläpp av näringsämnen, fosfor och kväve, till sjöar och vattendrag. Detta resulterar i övergödning om utsläppen är större än vattenkroppens förmåga att assimilera dem. Ökat utsläpp av näringsämnen i området runt Östersjön är särskilt allvarligt eftersom övergödning är mer påtaglig där. Kväveföreningar anses vara den tillväxtbegränsande faktorn för fotoautotrofa växter, som exempelvis alger, i området och därför anses störning av nitrifikationsprocesser vara särskilt allvarligt. Nitrifikationsprocesser har också visat sig vara mer känsliga för störning än andra biologiska processer.

För att begränsa utsläpp av kväve till Östersjön genom att nitrifikationen störs i reningsverk har Naturvårdsverket och Svenskt Vatten AB etablerat riktvärden för industriellt avloppsvatten som späds ut med hushållsavloppsvatten;

- 20% hämning för en spädning på 20%
- 50% hämning för en spädning på 40%

Utsläpp av kväve från reningsverk är också av stor betydelse i två av de nationella miljömålen;

- Ingen övergödning
- Hav i balans och levande kust och skärgård

Trots omfattande åtgärder har det inte skett någon betydande minskning av kvävedepositionen till svenska vattendrag på 40 år. Idag finns det inga tecken på att något av miljömålen kommer att nås innan tiden rinner ut år 2020.



I dagsläget är uppfattningen att fjärrvärme glöms bort vid uppströms spårning av hämningsorsaker trots att man vet att det är en stor källa till förorening. Därför genomfördes en studie över hur fjärrvärmevatten påverkar biologiska reningsprocesser. Studien genomfördes som en del i ett examensarbete på Linnéuniversitetet och under ledning av QTF Sweden AB, ett miljöteknikföretag som specialiserar sig på behandling av energibärande vätskor.

Fjärrvärmevattens toxiska effekter på total oxidation (respiration och nitrifikation), oxidation av kol (respiration) och oxidation av ammonium (nitrifikation) studerades genom att använda en spädningsserie med olika koncentrationer av fjärrvärmevatten som jämfördes med en kontroll lösning med 0% fjärrvärmevatten. För att kunna bedöma vad som kan vara den troliga källan till hämning skickades vattenprover till externt laboratorium för att testa metallkoncentrationer och andra kemiska parametrar.



## Material och metod

Vatten från två fjärrvärmenät, Växjö och Kalmar, testades på aktivslam hämtat från reningsverket i Tegelviken, Kalmar. Respirometrianalysen baserades på standardutförandet utformat av OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). För att underlätta tolkning, då den korta exponeringstiden ibland har visat sig medföra misstolkning, förlängdes exponeringstiden under experimentet. Mineral- och näringslösningar för respirometrianalyser med batch flow respirometer bereddes enligt rekommendationer av James C. Young och Robert M. Cowan i *Respirometry for Environmental Science and Engineering (2004)*. Den slutliga spädningsserien bereddes efter OECD's rekommendationer enligt [tabell 1](#).

En analys av metaller och andra relevanta parametrar genomfördes också för att bedöma korrosionsnivån i näten. Detta för att förekomst av metaller kan orsaka och är en vanlig förekomst till störning av nedbrytningen i reningsverk. På grund av svårigheter med att synkronisera provtagning och lagringen av fjärrvärmevattnet från de olika lokalerna skickades vattnen till olika labb för analys av metaller. Därmed kunde inte vissa parametrar inte utföras och visas som tomma rutor i resultatet.

**Tabell 1** Spädningsserie över testlösningar som använts för att mäta total oxidation, oxidation av kol och oxidation av ammoniumkväve på aktivslam då det exponerats för varierande mängd fjärrvärmevatten

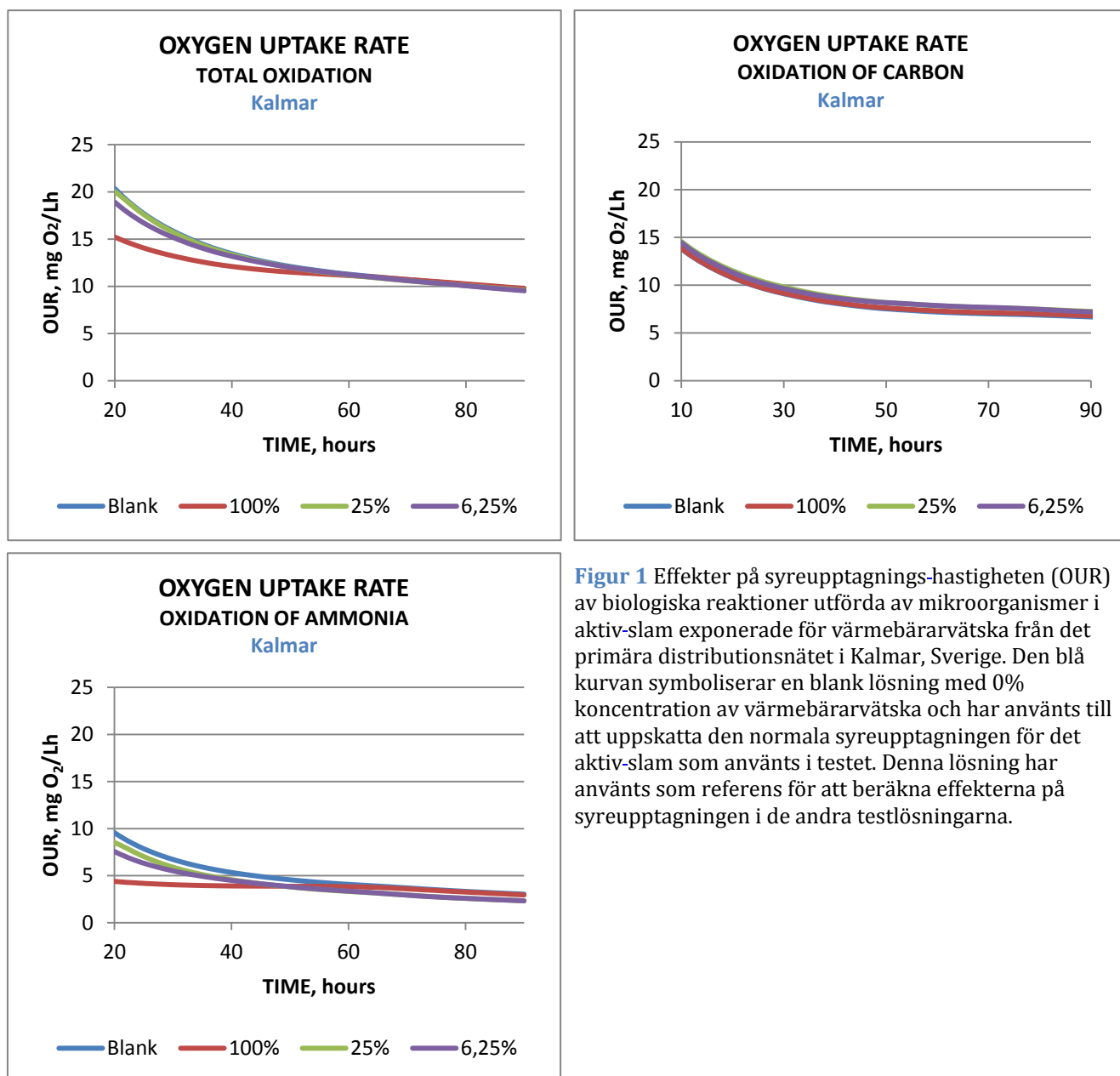
nr	Namn	Syntetiskt avloppsvatten	Mikrobiellt inokulat	Test substans	Dest. vatten	ATU*
1	Blank 1	16 ml	250 ml		234 ml	2,5 ml
2	Blank 2	16 ml	250 ml		234 ml	2,5 ml
3	100% 1	16 ml	250 ml	234 ml		2,5 ml
4	100% 2	16 ml	250 ml	234 ml		2,5 ml
5	25% 1	16 ml	250 ml	58,5 ml	175,5 ml	2,5 ml
6	25% 2	16 ml	250 ml	58,5 ml	175,5 ml	2,5 ml
7	6,25% 1	16 ml	250 ml	15 ml	219 ml	2,5 ml
8	6,25% 2	16 ml	250 ml	15 ml	219 ml	2,5 ml

\*ATU, nitrifikationshämmare, tillsattes endast till lösningar avsedda att mäta heterotrof oxidation av kol.



## Resultat

### OUR profiler för fjärrvärmvattnen från Kalmar

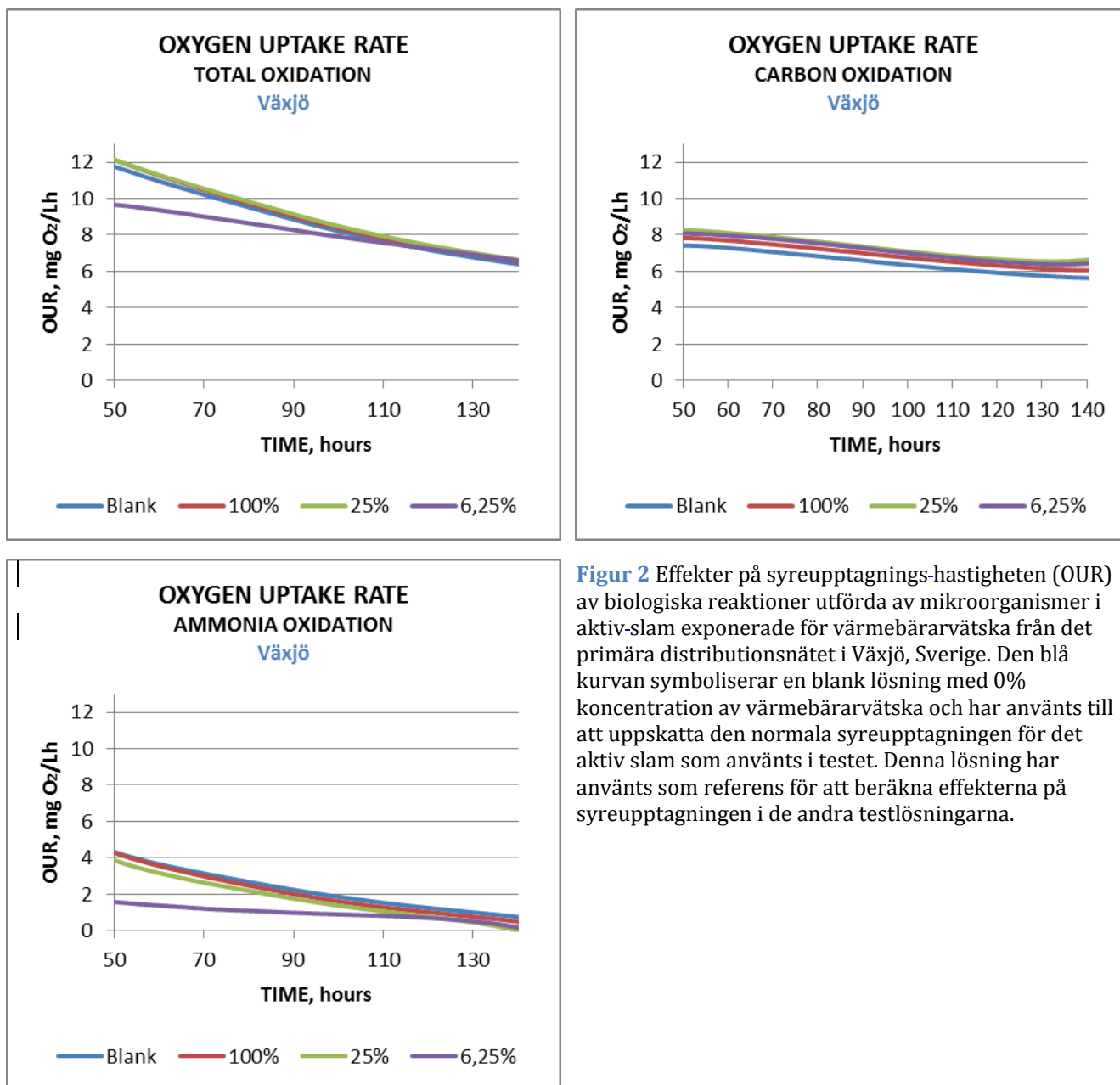


**Figur 1** Effekter på syreupptagnings-hastigheten (OUR) av biologiska reaktioner utförda av mikroorganismer i aktiv-slam exponerade för värmebärrävska från det primära distributionsnätet i Kalmar, Sverige. Den blå kurvan symboliserar en blank lösning med 0% koncentration av värmebärrävska och har använts till att uppskatta den normala syreupptagningen för det aktiv-slam som använts i testet. Denna lösning har använts som referens för att beräkna effekterna på syreupptagningen i de andra testlösningarna.

Notervärt är att hämningen på total oxidation är oberoende av ökande koncentration då lösningen med 6.25% uppvisar mer hämning än 25%. Sammantaget finns det således ingen korrelation mellan ökande koncentration och hämning av den totala nedbrytningen i reningsverk. Det syns endast en liten hämmande effekt på oxidationen av kol för den starkaste, 100%, av lösningarna samtidigt som de två svagaste 6.25% och 25% uppvisar en svag stimulans av oxidationen på kol. Omvänt uppvisar vattnet från Kalmar kraftigt hämmande effekt på oxidation av ammoniumkväve, d.v.s. nitrifikationen. Notervärt är att det inte finns någon korrelation mellan ökande koncentration och hämning. 100% lösningen har initialt mest hämmande verkan men detta ändras efter ca 50 h då de två svagare koncentrationerna uppvisar mer hämning. Den starkaste av lösningarna uppvisar ingen starkt avtagande oxidation likt de andra lösningarna.



## OUR profiler för fjärrvärmvatten från Växjö



**Figur 2** Effekter på syreupptagnings-hastigheten (OUR) av biologiska reaktioner utförda av mikroorganismer i aktiv-slam exponerade för värmebärandevätska från det primära distributionsnätet i Växjö, Sverige. Den blå kurvan symboliserar en blank lösning med 0% koncentration av värmebärandevätska och har använts till att uppskatta den normala syreupptagningen för det aktiv slam som använts i testet. Denna lösning har använts som referens för att beräkna effekterna på syreupptagningen i de andra testlösningarna.

Grafen över total oxidation visar att den svagaste koncentrationen, 6.25% har starkast hämmande verkan. Denna hämmande effekt varar minst 110 h vilket indikerar att små koncentrationer av fjärrvärmvatten kan orsaka långvarig hämning i reningsverk. Detta är ett första tecken på att fjärrvärmvatten från olika nät kan ha substantiellt olika effekter. Likt vattnet från Kalmar kan man se en stimulerande effekt på oxidationen av kol, notervärt är att stimulansen inte är beroende av koncentration. Precis som vattnet från Kalmar visar testerna på Växjös vatten en hämning på nitrifikationen. Notervärt är att 6.25% koncentrationen har mest hämmande effekt och 100% koncentrationen har minst. Det finns alltså en negativ korrelationen mellan koncentration och hämning. Ytterligare ett tecken på att vatten från olika nät har vitt skilda effekter. Ytterligare visar kurvorna att hämningen avtar långsammare för den svagaste av koncentrationerna. Ett tecken på att små koncentrationer kan ha värre effekt än stora!



## Total hämningsgrad för fjärrvärmevatten från Kalmar och Växjö

**Tabell 2** Hämningsgrad under hela mätningen (90 h) av syreupptagningshastigheten av mikroorganismer i aktivslam exponerat för värmebärandevatten från fjärrvärmenäten i Kalmar och Växjö. Hämningsgraden är uttryckt som procent av syreupptagning uppmätt i en lösning utan närvaro av fjärrvärmevatten.

<b>Hämningsprocent för fjärrvärmevatten från Kalmar</b>			
<b>Koncentration</b>	<b>Total oxidation</b>	<b>Kol oxidation</b>	<b>Kväve oxidation</b>
100%	7.83	-1.16*	22.40
25%	0.90	-8.08	15.97
6.25%	2.35	-7.26	18.60
* Negativa värden indikerar en stimulans av syreupptagningen orsakad av biologiska oxidations processer.			
<b>Hämningsprocent för fjärrvärmevatten från Växjö</b>			
<b>Koncentration</b>	<b>Total oxidation</b>	<b>Kol oxidation</b>	<b>Kväve oxidation</b>
100%	-2,32*	-6.07	11.35
25%	-3.37	-12.38	44.21
6.25%	3.90	-10.19	74.13
* Negativa värden indikerar en stimulans av syreupptagningen orsakad av biologiska oxidations processer.			

Som indikerat av profilerna i Figur 1 syns det att det endast sker en svag hämning på den sammanlagda, totala oxidationen då aktivslam exponeras för fjärrvärmevatten från Kalmar. Likaså visar hämningsprocenten för oxidationen av kol att det sker en viss, om än svag, stimulans av nedbrytningen av organiskt kol, detta förklarar till viss del att ingen hämning observerats på totala syreförbrukningen. De starkaste effekterna syns på nitrifikationen, 16% - 22% för hela koncentrationsspannet. Notvärt är att den totala hämningsgraden under mätperioden är helt oberoende av koncentrationen samt att hämningsgraden uppvisar små skillnader trots att skillnaderna i koncentration är omfattande.

Hämningsprocenten för testerna på vatten från Växjö visar att den totala oxidationen påverkas väldigt lite. En viss stimulans syns för större koncentrationer medan den svagaste koncentrationen har en något hämmande effekt. Likt vattnet från Kalmar har fjärrvärmevattnet från Växjö en stimulerande effekt på oxidationen av kol. Likt vattnet från Kalmar har Växjös vatten minst effekt då koncentrationen är 100% och starkast stimulerande effekt för 25% koncentrationen, det finns alltså ett oberoende mellan koncentration och hämningseffekt. Precis som vattnet från Kalmar är effekterna för vattnet från Växjö starkast på nitrifikationen. Olikt är dock att det finns ett starkt samband mellan hämning och en minskande koncentration! Mindre koncentrationer av Växjös fjärrvärmevatten har alltså betydligt kraftigare hämning än starkare koncentrationer!





## Metallanalys av fjärrvärmevatten från Kalmar och Växjö

**Tabell 4** Resultat av metallanalys utförd på fjärrvärmevatten från distributionsnäten från Växjö och Kalmar. För att utvärdera korrosionsnivå och metallförorening. För tomma rutor har parametern inte analyserats

Analys	Växjö*	Kalmar**	Enhet
pH	9.2***	9.5	
Ca, Calcium	2.89	----- ****	mg/L
Fe, Iron	0.0259	0.031	mg/L
K, Potassium	0.61	-----	mg/L
Mg, Magnesium	0.927	-----	mg/L
Na, Sodium	24.8	-----	mg/L
S, Sulfur	1.33	-----	mg/L
Si, Silicon	0.00153	-----	mg/L
Al, Aluminum	0.0203	-----	mg/L
As, Arsenic	0.0005	-----	mg/L
B, Boron	0.00873	-----	mg/L
Ba, Barium	0.0125	0.020	mg/L
Cd, Cadmium	0.00002	0.00010	mg/L
Co, Cobalt	0.00005	<0.0010	mg/L
Cr, Chromium	<0.1000	<0.0010	mg/L
Cu, Copper	<0.0010	<0.0010	mg/L
Hg, Mercury	<0.0010	-----	mg/L
Mn, Manganese	-----	0.0021	mg/L
Pb, Lead	-----	<0.0005	mg/L
Li, Lithium	-----	<0.050	mg/L
Ni, Nickel	-----	<0.0010	mg/L
Zn, Zink	-----	<0.0050	mg/L

\* Analyserat av ALS Scandinavia AB (Luleå).  
 \*\* Analyserat av Eurofins Environment Sweden AB (Lidköping).  
 \*\*\* Mätningarna gjordes internt på LNU  
 \*\*\*\* Analysen kunde inte utföras

**Tabell 3** Högsta rekommenderade gränsvärden för utsläpp av industriellt avloppsvatten till kommunala reningsverk utfärdade av Naturvårdsverket och Svenskt Vatten AB.

Substans	Gränsvärde
Lead, Pb	0.05 mg/L
Cd	Inga alls
Cu	0.2 mg/L
Cr	0.05 mg/L
Hg	Inga alls
Ni	0.05 mg/L
Ag	0.05 mg/L
Zn	0.2 mg/L
Giftiga org. substanser	Inga alls

Metallanalysen uppvisar inga avvikelser från de värden som har etablerats av Naturvårdsverket för att bedöma tillstånd av utsläpp till kommunala reningsverk. Analysen visar också att de nivåer av Fe (järn) och Cu (koppar) som används för att bedöma korrosion i näten uppfylls och därmed att ingen korrosion kan påvisas i detta test.





## Diskussion

Trots några negativa aspekter som kommer att diskuteras nedan är fjärrvärme fortfarande ett bra och effektivt sätt att producera och distribuera värme och passar bra in i bilden av ett hållbart och mer miljövänligt samhälle. Riskbedömningarna är baserade på exponeringsvägarna och hämningsresultaten som har observerats i denna studie, och är inte en helhetsbild av fjärrvärme.

Resultaten bekräftar misstankarna att värmebärarvätskan i fjärrvärme hämmar nedbrytningen i reningsverk som använder biologiska nedbrytningsmetoder. Metallanalysen som utförts utesluter metaller som trolig källa till den observerade hämningen och därför dras slutsatsen att de kemikalier som används är den troligaste orsaken. Ett klart dos-respons förhållande kan ses men det finns inga tydliga tecken på vare sig en positiv eller negativ korrelation mellan koncentration och toxicitet. Detta eftersom de olika vatten som testats samt de varierande koncentrationerna uppvisar skilda effekter. Slutsatsen är därmed att små koncentrationer kan ha lika mycket negativ effekt som större. Det går också att tyda att hämningen är i stort sett densamma trots de stora skillnaderna i koncentration mellan testlösningarna. Vattnet från Växjö uppvisar också kraftig hämning för stora likväl som små koncentrationer. Här kan ett negativt förhållande mellan koncentration och toxicitet observeras och skillnaderna är kraftiga. Den lägsta koncentrationen, 6.25%, har en hämmande effekt på hela 74% under hela mätperioden (hämningsprocent, se tabell 2). Inledningsvis är hämningen större, en viss återhämtning kan utläsas efter 90 timmar.

De rapporterade exponeringsvägarna visar att fjärrvärmevatten ofta läcker ut och att detta kan ske i stora stötutsläpp eller i små, näst in till oidentifierbara, läckage. Detta leder till riskfaktorer som listas nedan:

- Exponeringen av aktivslam för kemikalier är påtaglig och potentiellt är exponeringsgraden stor. Detta eftersom många läckor är gamla och fortgår under lång tid. Även om mängden kemikalier som används är liten så är risken att mycket kemikalier släpps ut under lång tid. Svårigheter att upptäcka läckor gör denna risk större.
- Vattnen som testats i detta experiment innehåller endast en syrereducerande kemikalie, faktum är ändå att vissa företag använder andra kemikalier i samma eller andra syften. Detta utgör en risk då ”cocktaileffekter” sällan tas i betänkande.
- **Rapporterna om stora läckage och att vattnet då späds ut med dagvatten som i sin tur leds till sjöar, våtmarker eller via dräneringssystem till reningsverket utgör en riskfaktor då utspädning ibland visar sig ha en förstärkande effekt.**
- **Våtmarker har konstruerats med förstärkt biologisk aktivitet för att bryta ned kväve och fosfor som rinner av från t.ex. jordbruksmark. Störning av nitrifikationen i dessa kan medföra stora utsläpp av kväve till omkringliggande sjöar och vattendrag. Detta är speciellt en risk i områden kring Östersjön.**



- **Även exponering i reningsverk innebär en riskfaktor då det säkerligen påverkar nedbrytningen markant. Reningsverk kring just Östersjön släpper ofta sitt renade vatten till vattendrag med kort uppehållstid innan det når Östersjön. En exponering för aktivslam i reningsverk skulle då troligen leda till omfattande utsläpp av kväve till Östersjön.**
- Det framgår att fjärrvärmevatten ibland bortses från vid studier som fokuserar på uppströms spårning av hämmande källor för nedbrytningen i reningsverk. Detta utgör en riskfaktor eftersom fjärrvärme kan vara förknippat med omfattande utsläpp av vatten och att det, vilket observerats i denna studie, har hämmande verkan på biologiska processer.
- Att fokus från branschens sida ligger på stora läckage utgör en riskfaktor då det har visats i denna studie att små exponeringar kan ha minst lika, om inte mer omfattande negativ påverkan i reningsverk. Stora läckage utgör ändå en risk eftersom det ökar chanserna att vattnet sprider sig och späds ut i andra recipienter och över större områden.
- **Säsongsvariationer i Sverige kan öka risken för störningar i reningsverk och leda till värre påverkan på övergödningen i Östersjön. Områden kring Östersjön är oftast mer befolkade under sommaren och belastningen på reningsverken är då också högre. En störning av nitrifikationen under sommaren kan medföra mycket stora utsläpp av kväve i vissa områden som redan drabbas av kraftig övergödning och algblooming. Under vintern är nitrifikationen låg i reningsverk och ett utsläpp kan då leda till att nitrifikationen störs under väldigt lång tid då återhämtningstiden är lång i denna studie, men säkerligen ännu längre under kalla förhållanden.**