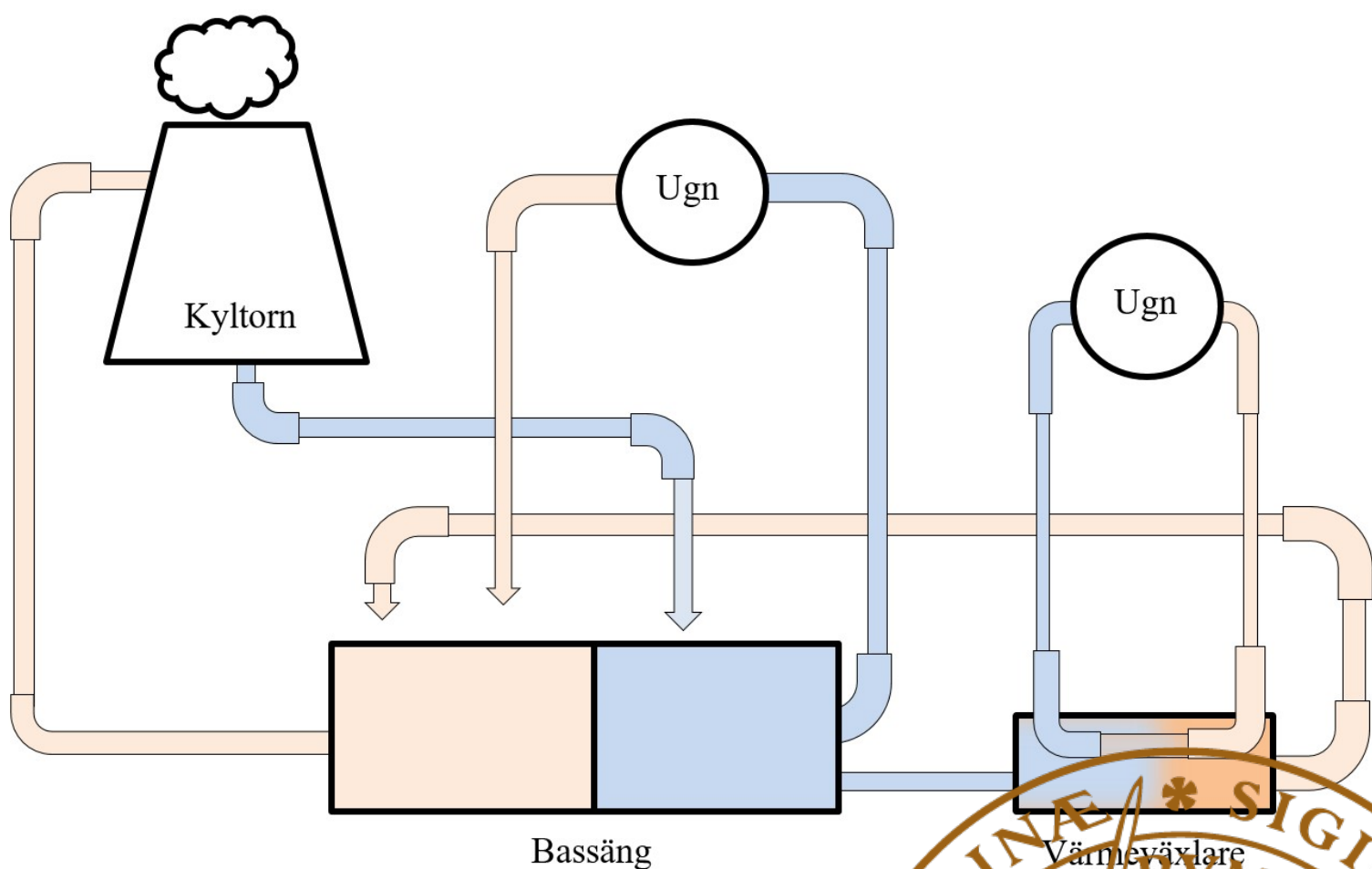


Vatten från kylanläggningar – föroreningsinnehåll och avledning

VATTENFÖRSÖRJNINGS- OCH AVLOPPSTEKNIK | AVDELNINGEN FÖR KEMITEKNIK
INSTITUTIONEN FÖR PROCESSTEKNIK OCH TILLÄMPAD BIOVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET
REBECCA HOLMBERG | KANDIDATARBETE 2024



Vatten från kylanläggningar – förorenings- innehåll och avledning

av

Rebecca Holmberg

Kandidatarbete
Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik
Avdelningen för kemiteknik
Lunds universitet

Juni 2024

Handledare: **Per Falås**

Biträdande handledare: **Magnus Johansson, Anders Ljung**

Examinator: **Åsa Davidsson**

Postadress

Box 124
221 00 Lund

Hemsida

www.ple.lth.se

Besöksadress

Naturvetarvägen 14

Telefon

046-222 82 85

046-222 00 00

Förord

Jag vill gärna tacka alla som har möjliggjort detta arbete. Först och främst min handledare Per Falås för värdefulla kommentarer på arbetet och för hjälp med att utföra en nitrifikationshämninganalys i sista minuten. Även examinator Åsa Davidsson för tydliga svar på frågor om arbetsprocess och tips om rapporter som tagit mig vidare.

Jag vill också tacka mina handledare på Stockholm Vatten och Avfall, Magnus Johansson och Anders Ljung, för entusiasm över projektet och hjälp med att utföra provtagning. Stort tack även till resten av enheten för miljö- och uppströmsarbete för varmt inkluderande på arbetsplatsen.

Jag hade inte kunnat göra arbetet utan de verksamheter som deltagit i intervjuer och bistått med provtagning. Ett särskilt tack riktas till Industri A som låtit mig komma och provta två extra gånger med kort varsel. Tack också till Jonas Lannerborn och Magnus Kempe på Nalco Waters, Thomas Krantz på Global Concept och Leno Stenfeldt och Pontus Estelle på Svensk Vattenbehandling som hjälpt till med expertis på kylvatten och förmedling av industrikontakter.

Sist men inte minst, tack Elvira för ständig uppmuntran.

Sammanfattning

Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) blir regelbundet kontaktade av verksamheter som vill avleda sitt kylvatten till det kommunala spillvattennätet. Eftersom kylsystem kan se mycket olika ut och föroreningsinnehållet kan variera kraftigt, saknar SVOA i dagsläget tillräcklig kunskap om hur vanligt det är att verksamheter avleder kylvatten till spill- eller dagvattennät, samt vilka tillskottsvolymer och föroreningar det handlar om.

Genom litteraturstudie och intervjuer av verksamheter i SVOAs upptagningsområde studerades olika typer av kylsystem – vanligast är cirkulerande system som antingen är öppna med kyltorn, eller slutna. Kemikalier som inhibitorer och biocider används regelbundet för att motverka korrosion, avlagringar och bakterietillväxt. Dessa kan vara problematiska vid avledning till spill- eller dagvattennätet eftersom många av dem innehåller miljögifter. Andra föroreningar som kan förekomma är metaller som löses ut i kylvattnet till följd av korrosion. Provtagning på fyra verksamheter påvisade halter av kadmium, koppar och zink som översteg SVOAs varningsvärden. Även antimon, kobolt, molybden och volfram detekterades. Volymer som avleds till det kommunala ledningsnätet är i regel liten; slutna system avleder mycket litet medan de öppna systemen avleder något större volymer. Kunskap om föroreningsinnehåll är ändå värdefullt då SVOAs uppströmsarbete bygger på principen om ”många bäckar små” för att minska den totala införseln av miljögifter till reningsverken.

Summary

The company for municipal wastewater treatment in Stockholm, Stockholm Vatten och Avfall (SVOA), is regularly contacted by companies who wish to discharge water from their cooling systems to the municipal sewage system. Cooling systems, as well as the pollutant content in cooling water, can however vary greatly. SVOA is thus lacking knowledge of potential volumes and contaminant levels of cooling water as well as how common it is with discharge to the sewerage.

A range of cooling systems was studied through a literature review and interviews with companies situated within SVOA's area of concern. Closed circulating systems seem to be the most common, followed by open circulating systems with cooling towers. The use of chemicals such as inhibitors and biocides is common in order to prevent corrosion, scale formation and bio-fouling. Discharge of cooling water containing these chemicals may have detrimental environmental effects as many of them contain toxic compounds. Other typical cooling water contaminants include metals, which are a common result of corrosion. Analysis of the cooling water showed levels of cadmium, copper and zinc exceeding the warning levels set by SVOA. Levels of antimony, cobalt, molybdenum and wolfram were also detected. The volume of cooling water discharged to the municipal sewage system was found to be relatively small; closed systems discharge very little while open systems discharge somewhat larger volumes. Knowledge of contaminant levels is still important since SVOA's work aims to lower pollution from many small sources in order to minimise the total influent of environmentally toxic substances to wastewater treatment plants.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Syfte.....	2
2	Litteraturstudie.....	3
2.1	Typer av kylsystem.....	3
2.2	Systemvätskan.....	6
2.3	Kemikalieanvändning	6
2.4	Föroreningar.....	8
2.5	Påverkan på reningsverk och recipient	9
2.6	Varningsvärden.....	10
2.7	Bedömning av miljöfarlighet.....	11
3	Metod.....	13
3.1	Kontakt av verksamheter i SVOAs upptagningsområde	13
3.2	Intervjuer av verksamheter	13
3.3	Provtagning och Analys.....	13
3.4	Beskrivning av kylsystem där provtagning förekommit.....	15
4	Resultat och diskussion	19
4.1	Föroreningsinnehåll	19
4.2	Avledning.....	26
5	Slutsatser.....	29
6	Framtida Studier	31
	Referenser.....	33
	Appendix	37

1 Inledning

I Sverige är nästan alla hushåll i tätorterna anslutna till kommunala avloppsreningsverk. Drygt 9 miljoner svenskar har tillgång till kommunal rening av hushållspillvatten och år 2020 fanns det 429 reningsverk byggda för 2000 personer eller fler (Naturvårdsverket 2022). Reningsverken tar hand om avloppsvatten och renar det från näringsämnen, organiskt material och smittspridande ämnen och har därmed en viktig funktion både för samhälle och miljö eftersom otillräcklig rening kan leda både till risk för smittspridning i dricks- och badvatten samt övergödning av vattendrag, sjöar och kuster.

Förenklat kan reningen i ett reningsverk delas upp i tre steg: mekanisk rening som avskiljer partiklar och organiskt material, biologisk rening där mikroorganismer bryter ned löst organiskt material och omvandlar kväve genom nitrifikation och denitrifikation, och kemisk rening som i huvudsak avskiljer fosfor. Reningsverken är dock inte byggda för att ta hand om metaller och svårnedbrytbara ämnen (Svenskt Vatten, 2019), och nästan alla metaller som når reningsverket avskiljs idag till slam. Miljögifter i avloppsvatten är därför problematiska ur flera perspektiv: de kan dels orsaka skador på ledningsnät och processer i reningsverket, dels spridas till miljön via utloppsvatten och slam. Att minska införseln av miljögifter till reningsverken, s.k. uppströmsarbete, är därför viktigt och bedrivs idag vid de flesta kommunala VA-bolag, så också vid Stockholm Vatten och Avfall (SVOA).

Uppströmsarbetet syftar till att minska utsläppen av miljögifter vid källan och är en förutsättning för att behålla den Revaq-certifiering som ska säkerställa att slam kan återföras som växtnäring på åkermark på ett säkert sätt. (Finnson, 2023) Ett verktyg i uppströmsarbetet är ”Kommunala föreskrifter om användandet av den allmänna VA-anläggningen (ABVA)” – en föreskrift som reglerar hur den allmänna VA-anläggningen får användas. I ABVA för Stockholm & Huddinge (Stockholm Vatten och Avfall, 2018) uttrycks att SVOA inte är skyldig att ta emot spillvatten som avsevärt skiljer sig från hushållspillvatten.

SVOA blir regelbundet kontaktade av verksamheter som vill tömma hela, eller delar av, sitt kylvattensystem på det lokala spillvattennätet. Om kylvattnet inte avsevärt skiljer sig från hushållspillvatten kan detta alltså vara lämpligt, men i de fall där kylvattnets innehåll skiljer sig avsevärt bör andra strategier tillämpas. Ett rent kylvatten, som inte innehåller närsalter eller organiskt material, bör alltså inte ledas till spillvattennätet utan hellre till dagvatten. Kylvatten som innehåller metaller eller biocider bör dock inte heller ledas till spillvattennätet. Typiska kylvattenföroreningar som koppar, konserveringsmedel och algbekämpningsmedel kan verka nitrifikationshämmande (Svenskt Vatten, 2019) – ett sådant kylvatten bör kanske hellre återcirkuleras eller tas om hand externt.

Det finns idag inget samlat register över verksamheter med vattenburna kylsystem. I februari infördes anmälningsplikt för öppna kyltorn med hänsyn till risk för spridning av legionella, verksamheter måste därmed anmäla kyltorn till den kommunala tillsynsmyndigheten för miljö- och hälsoskydd (Folkhälsomyndigheten, 2024). Öppna kyltorn är dock bara en typ av kylsystem och det finns många system som inte omfattas av anmälningsskyldigheten. Eftersom kylsystem kan se mycket olika ut, och använda olika typer av kemikalier för service av systemet, kan föroreningsinnehållet dessutom variera. Detta gör att SVOA i dagsläget saknar tillräcklig kunskap om hur vanligt det är att verksamheter avleder kylvatten till spill- eller dagvattennät, samt vilka tillskottsvolymer och föroreningar det handlar om.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är därför att skapa en kunskapsöversikt över kylsystem i SVOAs upptagningsområde, genom att undersöka följande frågeställningar:

- Vilka typer av kylsystem används och hur fungerar de?
- Vilka föroreningar återfinns i kylvatten?
- Hur ser kemikalieanvändningen ut?
- Avleds kylvattnet till spill- eller dagvattennätet och i vilken omfattning?

Förhoppningen är att arbetet ska bredda kunskaperna kring kylvattnets sammansättning och även fungera som underlag för framtida riktlinjer vid kylvattenavledning till det kommunala ledningsnätet.

2 Litteraturstudie

Kylsystem används i alla typer av verksamheter som behöver tillämpa någon typ av värmebortföring. Det kan handla om att hålla en jämn temperatur genom att föra bort överskottsvärme i en industri, eller att luftkonditionera en offentlig miljö. Kylsystem finns därmed i många olika verksamheter, till exempel industrier, kraftverk, datahallar, kontor och offentliga miljöer så som sjukhus eller universitet. Kylsystem kan vara vattenburna eller icke-vattenburna. Då fokus för detta arbete ligger på kylvatten som avleds till det kommunala ledningsnätet, kommer dock endast vattenburna kylsystem att undersökas.

2.1 Typer av kylsystem

Det finns många olika typer av kylsystem som är anpassade för olika verksamheter. En grov uppdelning kan göras i system som cirkulerar och återanvänder kylvatten, och engångssystem där kylvatten endast genomströmmar verksamheten en gång (Tabell 2.1).

Cirkulerande system kan delas upp i öppna och slutna system. I öppna system står kylmedlet i kontakt med den omgivande luften, och i slutna system så är kylmedlet inneslutet i rör. De flesta cirkulerande system förlitar sig på evaporativ kylning, där värmeöverföring sker genom avdunstning i s.k. kyltorn. Detta är en vanlig form av kylsystem inom industrin idag - i en rapport från Naturvårdsverket (2022) uppskattas antalet aktiva kyltorn i Sverige till minst 1000. Det finns dock system som istället avleder värme via konvektion, s.k. torrkylare, vilka fungerar bäst när den omgivande temperaturen är låg. Det finns även hybridlösningar som fungerar som torrkylare vid kallare väder, men som kompletteras med spridningsmunstycken som sprayar vatten på systemet vid behov, då den evaporativa kylningen är mer effektiv.

Tabell 2.1. Olika typer av kylsystem, korresponderande kylmedium samt huvudprincip för kylning. Tabellen är en förenklad version av en tabell hämtad från IPPCs (2001, december) rapport om bästa tillgängliga teknik för industriella kylsystem.

Kylsystem:	Kylmedium	Huvudprincip kylning:
Öppna cirkulerande system – direkta	Vatten Luft	Förångning
Öppna cirkulerande system – indirekta	Vatten Luft	Förångning
Slutna cirkulerande system – vått kylsystem	Vatten Luft	Förångning + konvektion
Slutna cirkulerande system – torrt kylsystem	Luft	Konvektion
Hybridkylning	Vatten Luft	Förångning + konvektion
Öppna engångssystem – Direkta	Vatten	Ledning/konvektion
Öppna engångssystem – indirekta	Vatten	Ledning/konvektion

Kylsystem kan även delas upp i direkta och indirekta system. I direkta system krävs endast en kylmedelskrets, vilken överför värme direkt från process till omgivning. Indirekta system har flera kretsar och värmeväxlare som möjliggör en effektiv värmeöverföring. Då överförs värmen först från process till värmeväxlare, och sedan från värmeväxlare till omgivning. Indirekta system har fördelen att de separerade kretsarna ser till att ämnen från processen inte kommer i kontakt med omgivningen.

Gemensamt för de cirkulerande systemen är att de är känsliga för korrosion, avlagringar och bakteriell tillväxt, problem som kan orsaka nedsatt värmeväxlingsförmåga hos systemet och därmed påverka process och lönsamhet negativt. För att minimera risken för detta tillsätts ofta korrosionsinhibitorer och biocider.

Engångssystem är inte särskilt vanliga inom industrin idag (Meier et al., 2022), kanske har detta att göra med att de kräver stora vattenresurser. Ur utsläppssynpunkt har de dock en fördel: eftersom vattnet inte cirkulerar utan endast passerar processen behöver oftast inga kemikalier tillsättas. Dock kan engångssystem innehålla andra föroreningar, som metaller från systemet som kan lösas i kylvattnet vid korrosion (Venugopalan et al., 2012).

Öppna, cirkulerande system är mer resurssnåla än engångssystem vad gäller vattenförbrukning. Nackdelen är att en betydande del av vattnet i systemet ändå går förlorat då både avdunstning och s.k. avblödning – där en viss andel av kylvattnet avleds till spill- eller dagvatten – behövs för att systemet ska fungera. Avdunstningen skapar också en uppkoncentrerings av salter som gör att de öppna systemen kan få problem med avlagringar. Öppna kyltorn är dessutom förknippade med utbrott av legionella – en bakterie som kan orsaka allvarlig lunginflammation (Naturvårdsverket, 2022).

De slutna systemen är mest resurssnåla, då teoretiskt sett allt vatten i kylsystemet återcirkuleras. Om inhibitorer och biocider tillsätts påverkas konduktivitet och pH – ofta är de ”slutna” systemen därför inte helt slutna utan kräver viss avblödning och tillsats av vatten för att systemet ska fungera.

2.1.1 Öppna cirkulerande system

Öppna, cirkulerande system har oftast ett kyltorn (Figur 2.1) där kylvattnet står i förbindelse med luften. Värme återförs till den omgivande luften via evaporativ kylning.



Figur 2.1. Kyltorn i en industri.

Principen för de öppna systemen är att varmt vatten leds in i toppen av kyltornet och strilas över ett fyllnadsmaterial innan det samlas upp som kallt vatten i en bassäng i botten av kyltornet, redo att återcirkuleras. Vattnet kyls då det kommer i kontakt med den svalare luften medan det strilas över fyllnadsmaterialet. Fyllnadsmaterialets uppgift är både att förlänga tiden som vattnet är i kontakt med luften och att maximera kontaktytan mellan vatten och luft (Hensley, 2009). Luftströmmen som kyler vattnet skapas via naturligt eller mekaniskt drag, där torn med naturligt drag främst återfinns inom kraftindustrin (IPPC, 2001). En del av vattnet kommer att avdunsta på väg genom fyllnadsmaterialet och lämna systemet som vattenånga. Förångningen kräver energi, vilket tas från det omgivande vattnet – vattnet kan därmed kylas till en lägre temperatur än den omgivande.

Ett problem som alltid uppstår i öppna cirkulerande system är att metaller och salter som naturligt förekommer i vatten kommer att koncentreras till följd av avdunstningen. Uppkoncentreringen medför högre risk för utfällningar, samt högre konduktivitet vilket kan leda till korrosion. Därför kontrolleras koncentrationen med hjälp av kontinuerlig avblödning och tillsats av råvatten. Även användning av inhibitorer och biocider är vanligt i öppna kylsystem.

2.1.2 Slutna cirkulerande system

I slutna, cirkulerande system står kylvattnet inte i direkt kontakt med omgivningen, istället kyls rören som kylvattnet cirkulerar i. Vid torr kylning kyls rören av luft och värme överförs via konvektion. Evaporativ kylning och kyltorn kan dock användas även i slutna system – då sprayas rörsystemet med vatten. Kylvattnet i rören kyls när vattnet avdunstar och det vatten som återstår kan återcirkuleras eller ledas till avlopp (Bergsten, 2008).

Eftersom avdunstningen i slutna system är försumbar är problematik med avlagringar mindre (Meier et al., 2022), men korrosion och bakterietillväxt är fortfarande vanligt. Denna problematik kan förebyggas med inhibitorer och biocider, men det finns också tekniker som inte är beroende av kemikalietillsatser. Istället kontrolleras att parametrar som pH, konduktivitet och syrenivå håller sig inom givna intervall där risk för korrosion undviks. I slutna system sker i teorin ingen kontinuerlig avledning till kommunalt VA-nät. Skulle kylvattnet bli otjänligt till följd av bristande kvalitet måste vattnet antingen renas eller tas om hand externt.

2.1.3 Hybridsystem

Hybridsystem kan vara öppna eller slutna och kombinerar möjlighet till torr och våt drift. Detta ger fördelen att kunna driva systemet torrt när den omgivande temperaturen är tillräckligt låg, med en minskad vattenförbrukning som positiv effekt. Vid högre utomhustemperatur kan systemet drivas vått; den evaporativa kylningen är mer effektiv och försäkrar god värmeöverföring även vid högre utomhustemperaturer.

2.1.4 Engångssystem

Engångssystem bygger på principen att ett ingående, svalt vatten tar med sig värme från processen när det genomströmmar verksamheten, innan det avleds direkt till recipient eller ledningsnät. Detta är vanligast för verksamheter med stor kapacitet där det finns god tillgång till färskvatten (IPPC, 2001). Dessa system är mindre beroende av tillsatser av biocider och inhibitorer än cirkulerande system (Venugopalan et al., 2012). Engångssystem kan ändå innehålla föroreningar, dels biocider som ibland tillsätts, dels metaller som förekommer i kylsystemet. Engångssystem är mindre vanliga idag, men Göteborg Stad (2024) beskriver på sin hemsida ett pågående projekt där ett engångssystem med renat avloppsvatten från Grynab planeras att användas för att kyla processer i en ny batterifabrik.

2.2 Systemvätskan

Systemvätska betecknar den vätska som cirkulerar i kylsystemet. Det vatten som tillsätts systemet kallas råvatten.

Den kemiska sammansättningen av systemvätskan påverkas till störst del av den kemiska sammansättningen av råvattnet (Ahmed et al., 2020). Kännedom om råvattnets parametrar är alltså viktigt för att kunna bestämma vilka tillsatser som är nödvändiga för att systemet ska fungera optimalt. Även den biologiska sammansättningen av råvattnet påverkar. I en studie av Pinel et al. (2020) jämfördes genomets bakteriesammansättningen i råvattnet och i kyltornet. Sammansättningen var i stor utsträckning lika, och i studien drogs slutsatsen att de bakterier som återfinns i kyltorn till stor del styrs av vilka bakterier som finns i råvattnet, men att individuella systemprocesser också påverkar sammansättningen. Bakteriesammansättningen i ett slutet system med låg syrehalt kommer att gynna helt andra organismer än de som trivs i ett öppet, cirkulerande system som har stort utbyte med utomhusluften.

Just luft kan också påverka kylvätskans kvalitet, åtminstone i öppna system, där utbytet med omgivande luft möjliggör att partiklar och bakterier kommer in i systemet. Legionella kan exempelvis komma in i systemet och föröka sig på detta sätt (Stockholm Stad, 2020). Partiklar kan bli problematiska då de kan utgöra en yta för utfällning och på så sätt leda till mer avlagringar (Meier et al., 2022).

Olika typer av råvatten kan användas som systemvätska, till exempel dricksvatten, ytvatten, renat avloppsvatten eller ett internt återanvänt vatten (Meier et al., 2022). Att använda sig av annat vatten än dricksvatten är resurssnålt, men kommer med vissa utmaningar. Om ytvatten används krävs ofta starka biocider för att motverka att patogener utvecklas i systemet (Pinel et al., 2020). Användning av renat avloppsvatten är vanligare i länder där tillgången till färskvatten är begränsad – i exempelvis gulfstaterna har bristen på färskvatten tvingat industrier att använda återvunnet avloppsvatten som råvatten (Soliman et al., 2022). Denna typ av resurssnåla alternativ kan ha positiva bieffekter: en studie av Badruzzaman et al. (2022) indikerar att återvunnet avloppsvatten kan bidra till mindre avlagringar i systemet än vad grundvatten gör. Naturligtvis beror detta också på var grundvattenuttaget görs – grundvatten kommer att ge olika utfällningar beroende på geografiskt läge och berggrund.

Då färskvatten sällan är en bristvara i Sverige är det förmodligen vanligast att dricksvatten används som kylvatten. Det är lätt att koppla på systemet på det kommunala nätet och vattnet är redan kontrollerat för olika parametrar, t.ex. halt av mikroorganismer och metaller. Men även dricksvatten behandlas ofta innan det tillsätts kylsystemet. Exempel på behandlingar är avhärdning, d.v.s. avlägsnande av kalcium och magnesium, som tillämpas för att minimera risken för avlagringar, och avgasning som används för att uppnå en låg syrehalt och därmed undvika korrosion.

2.3 Kemikalieanvändning

I de flesta kylsystem så kan problem uppstå som påverkar systemets funktion negativt. Vanligast är att ett system får problem med korrosion, avlagringar eller bakterier.

Korrosion är en process i vilken metaller återgår till sitt naturliga oxiderade tillstånd (Schofield, 2002). Detta kan skapa stora problem i ett kylsystem genom att värmeledningsförmågan

hämmas eller att läckor uppstår. Det kan också medföra att metaller löses ut i kylvattnet och bidrar till ökat föroreningsinnehåll.

Avlagringar är vanligast i öppna system och uppkommer som en följd av avdunstning. Parametrar som pH, temperatur och nivå av suspenderade ämnen kommer att påverka hur mycket utfällningar som bildas. Både pH- och temperaturgradienter påverkar lösligheten för olika ämnen. Som exempel så minskar lösligheten för kalciumkarbonat med ökad temperatur och pH. Detta medför att utfällning av kalciumkarbonat ofta sker på de varma ytorna hos värmewäxlare (Badruzzaman et al., 2022; Meier et al., 2022). Suspenderade ämnen tillhandahåller den yta som behövs för att avlagringar ska byggas upp och höga nivåer kan därmed leda till mer avlagringar (Meier et al., 2022). Typen av utfällningar kommer att bero på vilka ämnen som finns i råvattnet; de vanligaste utfällningarna är kalciumkarbonat, kalciumfosfat, kalciumsulfat, magnesiumsilikat och kisloxid (Abdel-Shafy et al., 2020; Badruzzaman et al., 2022; Meier et al., 2022).

Bakterietillväxt kan vara negativt för kylsystemet ur flera perspektiv – värmewäxlingsförmågan kan påverkas negativt av alger och slem; vissa bakterier kan även bidra till mikrobiell inducerad korrosion (Hu et al., 2022; Venugopalan et al., 2012). Bakterietillväxt kan också vara en hälsofara – som i fallet med legionella.

För att motverka korrosion är det viktigt att flera av kylvätskans parametrar, framför allt pH och konduktivitet, kontrolleras. Det finns inga svenska riktlinjer för dessa parametrar i kylsystem, men Svensk Vattenbehandling (2023) hänvisar till riktlinjer för värmesystem – VDI 2035 del 2 – ”Prevention of damage in water heating installations”, som anger att pH ska ligga mellan 8,2–10 och att konduktivitet och syrehalt ska vara så låg som möjligt för att korrosion ska undvikas. Ett slutet cirkulerande system, som använder ett avjoniserat vatten, där avdunstning inte sker, och där det finns få bakterier i råvattnet, har då goda möjligheter att cirkulera vattnet utan problem så länge pH, konduktivitet och syrehalt befinner sig inom de rekommenderade gränsvärdena. Det finns metoder för att justera dessa parametrar på elektrokemisk väg, utan tillsats av kemikalier (Svensk Vattenbehandling, 2023), men det är också mycket vanligt att mer traditionella metoder används. Då tillsätts inhibitorer och biocider. Många av dessa kemikalier är dock toxiska och kan vara problematiska både ur utsläpps- och arbetsmiljöperspektiv.

2.3.1 Korrosionsinhibitorer

Dokumenterade korrosionsinhibitorer inkluderar kromat, zink, molybdat, azol, silikat, nitrat, ortofosfat, polyfosfat, fosfonat och nitrit (Ahmed et al., 2020). Oftast tillsätts dessa ämnen inte i ren form, utan i olika blandningar.

Zink har använts länge inom vattenbehandling av kylsystem och är en av de bästa och mest kostnadseffektiva korrosionshämmarna, men även molybdat är vanligt (Meier et al., 2022). Zink och molybdat fungerar som korrosionsinhibitor för både koppar och aluminium, medan azol används för koppar, och silikat för aluminium (Meier et al., 2022; Shibli & Saji, 2002). Nitrit är en vanlig inhibitor i slutna system, men är känslig för att omvandlas till nitrat av nitrifierande mikroorganismer (Weberski & Chen, 2022).

Meier et al. (2022) beskriver hur fosforbaserade inhibitorer tidigt introducerades mot avlagringar, men att de idag främst används som korrosionsinhibitorer. Korrosionshämningen utgörs av att fosfat faller ut med kalcium och skapar ett tunt, skyddande skikt mot korrosion. De påpekar dock att feldosering istället kan leda till ökade avlagringar. För att förhindra detta

används fosfor-inhibitorer tillsammans med polymerer, vilka verkar stabiliserande och motverkar bildandet av kalciumfosfatavlagringar.

2.3.2 Skalinhibitorer

Inhibitorer som används för att motverka avlagringar kallas skalinhibitorer och inkluderar polyakrylater, polymetakrylater, polymaleinsyror, copolymerer, terpolymerer, fosfonater och polyfosfater. (Ahmed et al., 2020).

Meier et al. (2022) menar att fosfater och fosfonater är de mest kostnadseffektiva skalinhibitorerna; de har funnits länge inom kylvattenbehandling och används även idag. Eftersom fosforbaserade produkter kan vara problematiska ur utsläppssynpunkt, då de kan bidra till övergödning, har det dock funnits behov av att utveckla inhibitorer som inte är fosforbaserade. Exempel på sådana är olika typer av polyakrylsyra, polymaleinsyra och akrylatbaserade copolymerer (Meier et al., 2022).

2.3.3 Biocider och dispersenter

Biocider och dispersenter tillsätts för att motverka bakterietillväxt. Biociderna hämmar eller dödar mikroorganismer medan dispersenter används för att lösa upp och finfördela biofilmer som annars verkar som skydd för mikroorganismer (Ahmed et al., 2020; Venugopalan et al., 2012). Biocider kan delas upp i oxiderande och icke-oxiderande. De oxiderande består vanligtvis av brom eller klor-föreningar (Stockholm Stad, 2020), medan icke-oxiderande utgörs av olika typer av organiska föreningar.

Klor är den vanligaste biociden och tillsätts i form av natriumhypoklorit eller klordioxid (Badruzzaman et al., 2022; Pelin et al., 2020; Venugopalan et al., 2012, s. 6; Wang et al., 2023). Venugopalan et al. (2012) menar att klordioxid kan bli mest populär framöver då den kan produceras på plats, har hög effektivitet och minskar risken för giftiga biprodukter. Enligt Frayne (2001) har de oxiderande biociderna flera begränsningar: de är inte särskilt specifika utan oxiderar allt; de är dessutom dåliga på att angripa stora, anaeroba patogener. Därför behövs även icke-oxiderande biocider, med högre specificitet.

Exempel på icke-oxiderande biocider som är vanliga inom industrin är isotiazoliner, t.ex. blandning av 5-klor-2-metyl-2H-isotiazol-3-one och 2-metyl-2H-isotiazol-3-one (MCI/MI), 2,2-dibrom-3-nitrilopropioamid (DBNPA) och glutaraldehyder (Frayne, 2001). Alla dessa ingår i en studie av Yang et al. (2023) där 14 vanliga toxiska biocider undersöks. Studien indikerar att biocider är mer toxiska för organismer när de kombineras, och att det därför är rimligt att kombinera biocider för att uppnå en steriliserande effekt av kylvatten. Samtidigt påpekar studien att risker finns att rester av biociderna följer med kylvattnet till reningsverk eller recipient där de kan ha negativ påverkan på andra organismer. För reningsverken kan det vara speciellt problematiskt om nitrifierarna påverkas negativt, eftersom det gör kvävereningen mindre effektiv.

2.4 Föroreningar

Föroreningar kan uppkoncentreras i cirkulerande system med avdunstning, men även tillsättas i form av biocider och inhibitorer. Även metaller som förekommer i systemets rör och värmväxlare kan lösas ut i kylvattnet som en följd av korrosion.

I en översiktsstudie av tillgängliga reningsteknologier för kylvatten konstaterar Soliman et al. (2022) att det är vanligt att föroreningsinnehållet varierar stort mellan olika kylvatten. De hänvisar detta delvis till att olika studier på ämnet har genomförts med olika syften och därmed bara analyserat förekomsten av vissa typer av föroreningar. Men de framhåller även att såväl uppkoncentreringen som kemikalieanvändning skiljer sig åt mellan kylsystem, och att detta också kommer att påverka sammansättningen av föroreningar. I deras studie är de vanligast förekommande jonerna kalcium-, magnesium-, järn- och natriumjoner, klorid, sulfat och fosfat. Magnesium, natrium, klorid och sulfat är exempel på ämnen som förekommer naturligt i vatten. Halten av dessa kan bli mycket högre i kylvatten än i naturligt vatten till följd av uppkoncentrering, även när andra tillsatser saknas. Dessa föroreningar är dock mer problematiska ur ett driftsperspektiv än ur ett utsläppsperspektiv, undantaget fosfat.

Fosfat återfinns i kylvatten då fosforinhibitorer är vanliga (Ahmed et al., 2020), och är endast problematiskt om avledning sker till dagvattennätet då det kan bidra till övergödning. Om ett kylvatten innehåller fosfat kan det därför vara motiverat att avleda det till spillvattennätet istället. Andra föroreningar som är problematiska ur ett utsläppsperspektiv är biocider, inhibitorer och metaller.

2.5 Påverkan på reningsverk och recipient

Enligt ABVA – Allmänna bestämmelser för vatten- och avloppsanläggningen i Stockholm och Huddinge (Stockholm Vatten och Avfall, 2018) är SVOA inte skyldig att ta emot ”spillvatten vars beskaffenhet i ej oväsentlig mån avviker från hushållsspillvattens”. Detta eftersom ett vatten som avviker från hushållsspillvatten dels kan skada ledningsnät, dels kan innehålla ämnen som kan ha negativ påverkan på såväl reningsverkets processer och slamkvalitet som på recipient. Exempel på parametrar som kan skada ledningsnätet är pH och konduktivitet, där värden utanför givna intervall kan leda till korrosion eller frätskador på betong (Svenskt Vatten, 2019). Parametrar som kan påverka process och slamkvalitet negativt är främst metaller och miljöfarliga organiska föreningar. Att begränsa inflödet dessa till reningsverken är därför av stor vikt.

En del metaller är essentiella för levande organismer i små doser, men många är toxiska i höga doser. Många tungmetaller som kommer in till reningsverken avskiljs till slam (Svenskt Vatten, 2019). Detta påverkar slamkvaliteten negativt, och kan få till följd att slammet inte får spridas på åkermark. Metaller är bioackumulerande, då de inte kan brytas ned. Även en del organiska föreningar är svårnedbrytbara och kan ha en negativ inverkan på miljön då de kan verka under lång tid och få stor geografisk spridning. Såväl höga metallhalter som ämnen som återfinns i biocider och inhibitorer kan verka nitrifikationshämmande (Svenskt Vatten, 2019).

För att rena avloppsvatten från kväve i reningsverken verkar kväverenande organismer, s.k. nitrifierare, i det aktiva slammet. Nitrifierarna omvandlar ammonium till nitrit och nitrat, vilket sedan omvandlas till kvävgas som kan avges till luften (Svenskt Vatten, 2019). Nitrifierarna kan vara känsliga för vissa ämnen, särskilt om ämnena förekommer i höga koncentrationer. Påverkas nitrifierarna negativt så kommer kvävereningen fungera sämre – därför utförs ofta test för att kontrollera nitrifikationshämning.

Metaller, biocider och inhibitorer kan även påverka recipienter negativt, antingen om kylvatten avleds direkt till dagvattennätet, eller om ämnena är svårnedbrytbara och därför lämnar

reningsverket med utloppsvattnet. Detta kan få till följd att miljökvalitetsnormer för recipienter inte kan uppfyllas. Miljökvalitetsnormer innebär att sjöar, kuster och vattendrag ska uppnå god kemisk och ekologisk status (Sörngård, 2024). Olika parametrar är aktuella för olika recipienter, men det är inte ovanligt att det finns krav på både zink och koppar.

2.6 Varningsvärden

I Svenskt Vattens (2019) publikation P95 finns varningsvärden (Tabell 2.2) för metallhalter i vatten som avleds till spillvattennätet, och som SVOA använder. Varningsvärdena avser samlingsprov för dygn, vecka eller månad och ska betraktas just som varningsvärden snarare än absoluta krav. För vatten som tangerar varningsvärdena kan det bli aktuellt med krav på intern rening innan vattnet kan avledas till spillvattennätet.

Då ett industrispillvatten inte ska skilja sig avsevärt från ett hushållsspillvatten för att få avledas till spillvattennätet är det intressant att jämföra varningsvärdena med de metallhalter som normalt förekommer i hushållsspillvatten. I en rapport av Ljung & Lagerkvist (2019) redovisas medelvärdet för olika metallhalter i hushållsspillvatten mellan åren 2014-2019 (Tabell 2.2).

Tabell 2.2. Metaller som kan förekomma i kylvatten, rekommenderade varningsvärden för ett industrispillvatten samt medelvärde för hushållsspillvatten i Skarpnäck mellan åren 2014-2019.

Metall	Varningsvärde (µg/l)	Hushållsspillvatten (µg/l) (medelvärde)
Bly	10	1,2
Kadmium	0,1	0,12
Koppar	200	62
Krom	10	1,4
Nickel	10	3,4
Molybden		2,0
Zink	200	104

Organiska miljöfarliga ämnen bör inte förekomma alls i vatten som avleds till spillvattennätet (Svenskt Vatten, 2019). De anser vidare att kylvatten innehållande biocider inte bör släppas till spillvattennätet då biocider kan verka nitrifikationshämmande även i mycket låga koncentrationer.

Nitrifikationshämning anges som en procentsats där prov med olika koncentrationer av det potentiellt hämmande ämnet jämförs med ett prov utan tillsats av det hämmande ämnet (Svenskt Vatten, 2019). Varningsvärden gör gällande att vid inblandning av 20 % hämmande ämne bör nitrifikationshämningen ej överskrida 20 %. Vid inblandning av 40 % hämmande ämne bör nitrifikationshämningen ej överskrida 50 %. Exempel på ämnen som kan verka nitrifikationshämmande är algbekämpningsmedel, höga kopparhalter och natriumhypoklorit (Svenskt Vatten 2019).

2.7 Bedömning av miljöfarlighet

Utöver Svenskt Vattens varningsvärden finns det flera hjälpmedel att tillgå för att bedöma miljöfarlighet hos metaller och organiska föreningar. I det här arbetet har faroangivelser, PRIO och SIN-list använts.

2.7.1 Faroangivelser

Miljöfarliga ämnen med påverkan på akvatiska miljöer är ofta persistenta, bioackumulerande och har kronisk toxicitet (Naturvårdsverket, 2011). Faroangivelser för miljöfaror (Tabell 2.3) kan ge en fingervisning om vilka ämnen som har dessa typer av egenskaper. När det gäller ämnen som återfinns i avloppsvatten är det framför allt de med långtidseffekter som bör beaktas.

Tabell 2.3. Faroangivelser för miljöfaror

Faroangivelse	
H400	Mycket giftigt för vattenlevande organismer
H410	Mycket giftigt för vattenlevande organismer med långtidseffekter
H411	Giftigt för vattenlevande organismer med långtidseffekter
H412	Skadliga långtidseffekter för vattenlevande organismer
H413	Kan ge skadliga långtidseffekter på vattenlevande organismer

2.7.2 PRIO

Kemikalieinspektionen (2024) beskriver på sin hemsida prioriteringsverktyget PRIO som identifierar ämnen enligt två prioriteringsnivåer, där den högre kallas utfasning (U), och den lägre kallas prioriterad riskminskning (R). Utfasningsämnena består av ämnen som bör undvikas eller bytas ut. Riskminskningsämnena har något mindre allvarliga egenskaper för hälsa och miljö, men verksamheter bör ändå säkra att de används på ett sätt som minimerar risken för människor och miljö.

2.7.3 SIN-list

SIN-list är en kemikalielista sammanställd av den icke-vinst-drivande organisation ChemSec i samarbete med forskare och teknisk expertis, där förkortningen SIN betecknar ”Substitute It Now” (ChemSec, 2024). Listan sammanställer ämnen som bör fasas ut då de utgör en fara för människor och miljö.

3 Metod

3.1 Kontakt av verksamheter i SVOAs upptagningsområde

För att få en översikt över vilka typer av kylsystem som är vanliga, kontaktades verksamheter i SVOAs upptagningsområde inom tillverkningsindustri, livsmedel, energi, data och offentlig sektor. Det bestämdes att även verksamheter utanför upptagningsområdet var av intresse, då det kan antas att verksamheter i Sverige har liknande typer av kylsystem, oavsett geografisk placering. Totalt återkom elva verksamheter, vilka bidrog med information om sina kylsystem, tidigare data och/eller möjlighet till provtagning av kylvattnet (Tabell 3.1).

Tabell 3.1. Intervjuade verksamheter, vilken typ av kylsystem de har och om de deltagit genom provtagning eller delning av tidigare provtagningsdata.

Anonymkod	Typ av verksamhet	Typ av system	Prov	Data
Industri A	Tillverkning	Öppet m kyltorn	x	
Industri B	Tillverkning	Slutet	x	x
Industri C	Tillverkning	Öppet m kyltorn		
Verksamhet Livsmedel	Livsmedel	Slutet	x	
Tryckeriet	Tryckeri	Slutet	x	
Verksamhet D	Energi	Öppet m kyltorn		x
Datahall E	Datahall	Slutet		x
Datahall F	Datahall	Slutet		
Ishall 1	Ishall	Öppet m kyltorn		
Ishall 2	Ishall	Öppet m kyltorn		
Ishall 3	Arena/Ishall	Slutet		

3.2 Intervjuer av verksamheter

De verksamheter som deltog fick svara muntligt eller skriftligt på frågor i ett frågeformulär (se appendix). I Miljöförvaltningens tillsyn av öppna kyltorn konstaterades att många verksamheter är beroende av företag som utför service av kylsystemen (Stockholm Stad, 2020). Därför intervjuades även tre vattenbehandlingsföretag: Global Concept, Nalco Water och Svensk Vattenbehandling

3.3 Provtagning och Analys

Fyra verksamheter bidrog med provtagning av kylvattnet. Eftersom Industri A har två separata kylsystem, gjordes ett dygnsprov i det ena systemet och ett stickprov i det andra (Figur 3.1). Vid övriga provtagningstillfällen gjordes endast stickprov.



Figur 3.1. På Industri A togs ett prov med dygnsprovtagare (t.v.) och ett stickprov i bassäng (t.h.).

Vid all provtagning togs prov för metaller (ofiltrerat), konduktivitet, suspenderade ämnen och pH (Tabell 3.2). Vid all provtagning utom hos Verksamhet Livsmedel togs även ett filtrerat metallprov, och på dygnsprovet hos Industri A togs prov för nitrifikationshämning.

Tabell 3.2. Olika typer av prov tagna vid 4 verksamheter.

Anonymkod	Metall (filtrerat)	Metall (ofiltrerat)	pH	Susp.	Kond.	Nitrifikations- hämning
Industri A (dygnsprov)	X	X	X	X	X	X
Industri A (stickprov)	X	X	X	X	X	
Industri B	X	X	X	X	X	
Verksamhet Livsmedel	X		X	X	X	
Tryckeriet	X	X	X	X	X	

Alla prover skickades för analys på Eurofins Water Testing Sweden. Då analysresultatet för nitrifikationshämning hos Industri A var högre än väntat togs ytterligare ett prov (stickprov) från samma bassäng, och egen analys utfördes. Metoden för detta beskrivs nedan.

3.3.1 Metod för nitrifikationshämning

Stickprov av kylvatten från Industri A togs ut varefter provet frystes. Aktivt slam och utgående vatten hämtades från Bromma Reningsverk, och dagen därpå utfördes försök.

Fyra bägare preparerades med 50 ml aktivt slam vardera. Till detta tillsattes 0, 67, 135 och 200 ml kylvatten, och sedan späddes med utgående vatten (200, 133, 65, 0 ml) till totalt 250 ml vätska. pH justerades till 7, och sedan tillsattes 40 mg/L ammoniumkväve.

Bägarna luftades och prov för pH, temperatur och syrehalt togs innan och efter tillsats av ammonium ($t = 0$ min), sedan togs kontinuerliga prov för pH och syrehalt vid 30, 60, 120, 180 och 240 min. Syrehalten låg hela tiden över 8,9 mg/L och pH varierade mellan 7,1 och 7,3.

Prov för nitrifikationshämmning (ca 10 ml) togs ut vid 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 och 240 min. Provet filtrerades ($0,45\ \mu\text{m}$) och analyserades sedan för ammonium, nitrat och nitrit med hjälp av jonkromatograf (Metrohm Eco IC). Slamhalten (SS) bestämdes enligt SS-E 872:2005.

3.3.2 Tidigare Provtagning

Tre av verksamheterna bidrog med data från tidigare provtagning av metaller och nitrifikationshämmning. Då tidigare provtagningar har genomförts på olika sätt och vid olika tillfällen, har denna data inte sammanställts med provtagningarna i detta arbete, utan använts som kompletterande information.

SVOA har även analysdata från tidigare, enstaka provtagningar av kylvatten hos olika verksamheter. Utifrån dessa provtagningar har SVOA fått kännedom om att kylvattensystem som avleds till VA-nätet innehåller bland annat koppar, zink, nickel och krom.

3.4 Beskrivning av kylsystem där provtagning förekommit

Nedan följer en beskrivning av de verksamheter där provtagning förekommit.

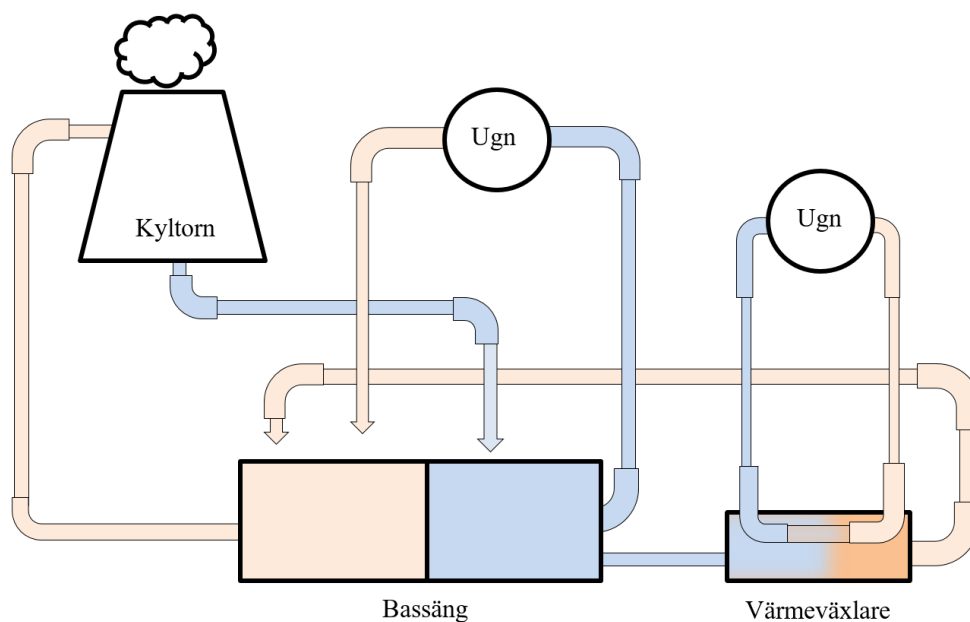
3.4.1 Industri A (Metallindustri)

Industri A har två separata kylsystem: A Norra och B. Båda är öppna, cirkulerande system med kyltorn, som kan verka både direkt och indirekt. Systemen har bassänger med varm och kall del (Figur 3.2) där vattnet mellanlandar innan det leds till kyltornen.



Figur 3.2. Den varma och den kalla bassängen i kylsystem B.

Figur 3.3 visar hur varmt vatten kommer till bassängen både från processen (direkt) och från värmewäxlare anslutna till processen (indirekt). Systemet effektiviseras av att vattnet kan mellanlanda i bassängen: är vattnet inte tillräckligt varmt går det inte till kyltornet. Ibland kopplas en by-pass-funktion på så att vatten går direkt från process till kyltorn, då blir åtgången på vatten större.

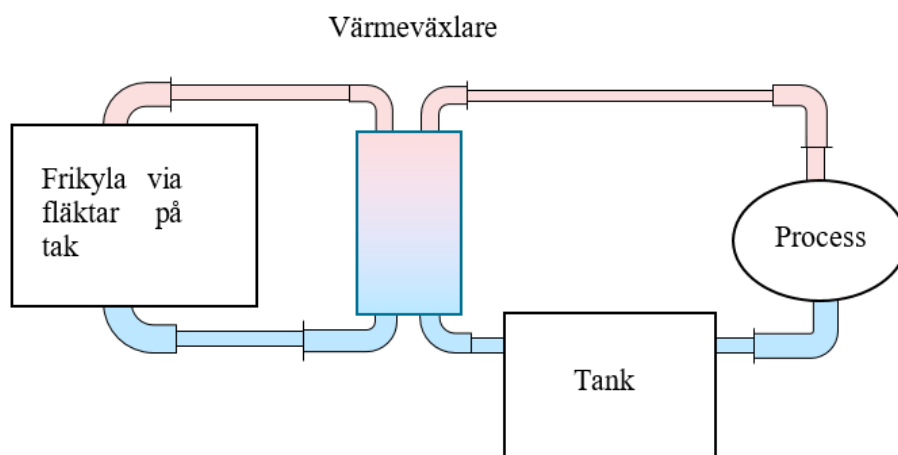


Figur 3.3. Förenklad ritning över kylsystemet hos Industri A.

Kylsystemen är ca 35 respektive 40 m³, och använder obehandlat dricksvatten som råvatten. Mellan mars 2023 och mars 2024 tillsattes totalt 2129 m³ vatten till systemen. Av detta förångas ca två tredjedelar, och en tredjedel leds till spillvattennätet. Årlig avledning är därmed ca 700 m³. En gång per år töms systemen vid underhåll och rengöring. Detta vatten leds också till spillvattennätet. Det finns ett system för nödkyla, där dricksvatten kopplas på för kyla, liknande ett engångssystem. Detta används relativt sällan.

3.4.2 Industri B (Formsprutning av plast)

Industri B har ett slutet, cirkulerande system som verkar indirekt. En krets koler formverktyg och formsprutor i processen. Värme överförs via värmeväxlare till en glykolkrets som leder bort överskottsvärme utomhus. En förenklad version av systemets utformning ses i Figur 3.4.



Figur 3.4. Förenklad ritning över kylsystemet hos Industri B.

Kylsystemet (Figur 3.5) är 10 m³ och använder obehandlat dricksvatten som råvatten. Systemet kräver en årlig avblödning på 30-50%, d.v.s. 3-5 m³, vilket avleds till spillvattennätet. Samma mängd dricksvatten tillsätts.



Figur 3.5. Kylsystemet hos Industri B

3.4.3 Verksamhet Livsmedel

Verksamhet Livsmedel har ett slutet, cirkulerande system som verkar indirekt. En krets kyler ned grytor i processen. Värme överförs via värmeväxlare till en glykolkrets som leder bort överskottsvärme utomhus (Figur 3.6). Även detta system fungerar ungefär som det förenklade systemet i Figur 3.4.

Systemet rymmer ca 50 m³ och obehandlat dricksvatten används som råvatten. Verksamheten var osäker på rutin för avblödning och hur stor denna är. De har dock angett en vattenförbrukning för kylvatten om 3636 m³ under 2023. Då systemet är slutet och inte har avdunstning borde hela den mängden avblödas. Avblödningen avleds till dagvattennätet.



Figur 3.6. Fläktarna som avleder värmen utomhus.

3.4.4 Tryckeriet

Tryckeriet har ett slutet, cirkulerande system (Figur 3.7) som verkar indirekt med flera kretsar. Systemet används både för komfort- och processkyla men endast kretsen för komfortkyla är vattenbaserad. Mycket av värmets återvinns eftersom det finns ett året runt-behov av uppvärmning. Överskottsvärme leds bort via kondensor på taket. Dricksvatten används som råvatten och systemet avblöds inte alls enligt uppgift.



Figur 3.7. Kylmaskin i tryckeriets kylsystem.

4 Resultat och diskussion

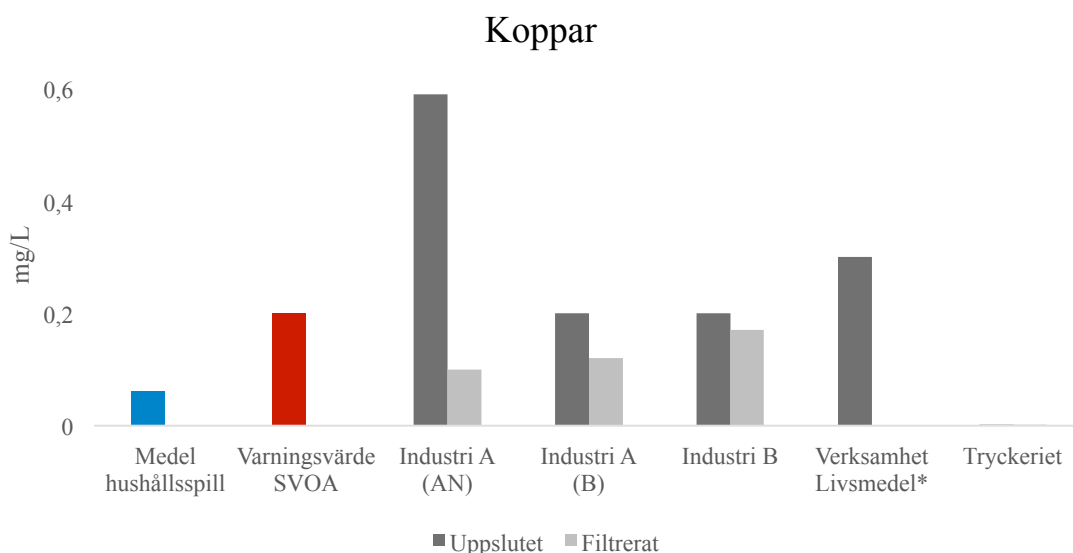
4.1 Föroreningsinnehåll

4.1.1 Metaller

Resultat från provtagning visar att tre av fyra verksamheter har metallhalter som överskrider SVOAs varningsvärden och/eller skiljer sig väsentligt från de metallhalter som uppmätts i hushållsspillvatten i Skarpnäck 2014-2019.

Koppar

Figur 4.1 visar att kopparhalter som överskrider eller tangerar varningsvärdet återfanns i tre av fyra verksamheter. I de fall där filtrerat prov togs så är halterna under varningsvärdet, vilket innebär att koppar främst förekommer partikelbundet. Därmed kommer koppar avskiljas till slam i reningsverket.

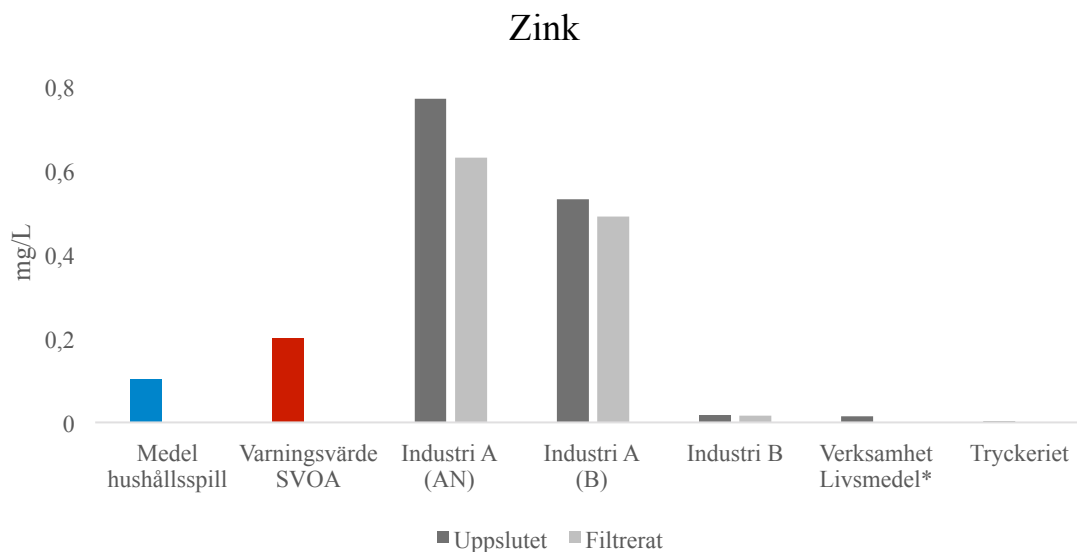


Figur 4.1. Kopparhalt i verksamheternas kylvatten. *Inget filtrerat prov togs.

Både Verksamhet D och Datahall E har haft förhöjda kopparhalter enligt tidigare provtagning. Verksamhet D som har provtagit regelbundet under sex år har haft förhöjda kopparhalter vid tre provtagningstillfällen. Datahall E hade vid ett och samma provtagningstillfälle förhöjda kopparhalter i samtliga av deras tre anläggningar. Koppar förekommer ofta i rör och värmeväxlare i kylsystem och nämns regelbundet i litteraturen som möjlig kylvattenförorening. Det verkar därför rimligt att dra slutsatsen att koppar är en vanligt förekommande kylvattenförorening.

Zink

Figur 4.2 visar att zink endast återfanns i kylvattnet hos en av verksamheterna. I detta fall är skillnaden mellan det ofiltrerade och det filtrerade provet inte lika stort – zink förekommer till stor del i löst form.



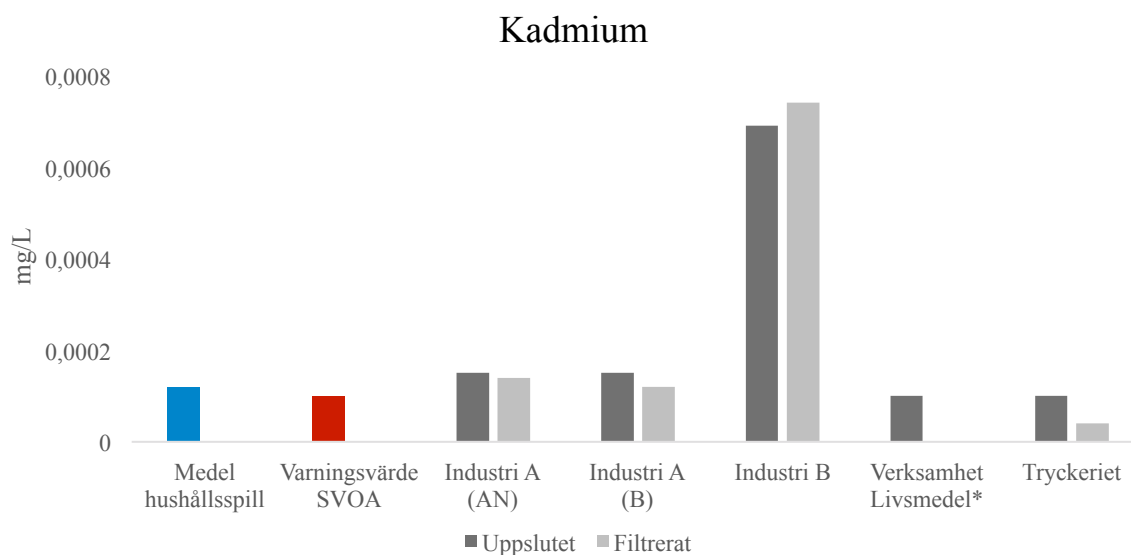
Figur 4.2. Zinkhalt i verksamheternas kylvatten. *Inget filtrerat prov togs.

Verksamhet D har haft upprepade problem med höga halter av zink under flera år. Vid tolv provtagningstillfällen har varningsvärdet överskridits. Även Datahall E har haft förhöjda zinkhalter i samtliga sina tre anläggningar.

Eftersom zink ofta används som korrosionsinhibitor är det inte överraskande att det är en vanlig förekommande förorening. Varken Industri A eller Verksamhet D har dock zink-inhibitor för närvarande, vilket gör det mer troligt att det är korrosion som orsakar förhöjda zinkhalter.

Kadmium

Även kadmium återfanns hos alla verksamheter med halter som tangerar eller överstiger SVOAs varningsvärde, se Figur 4.3

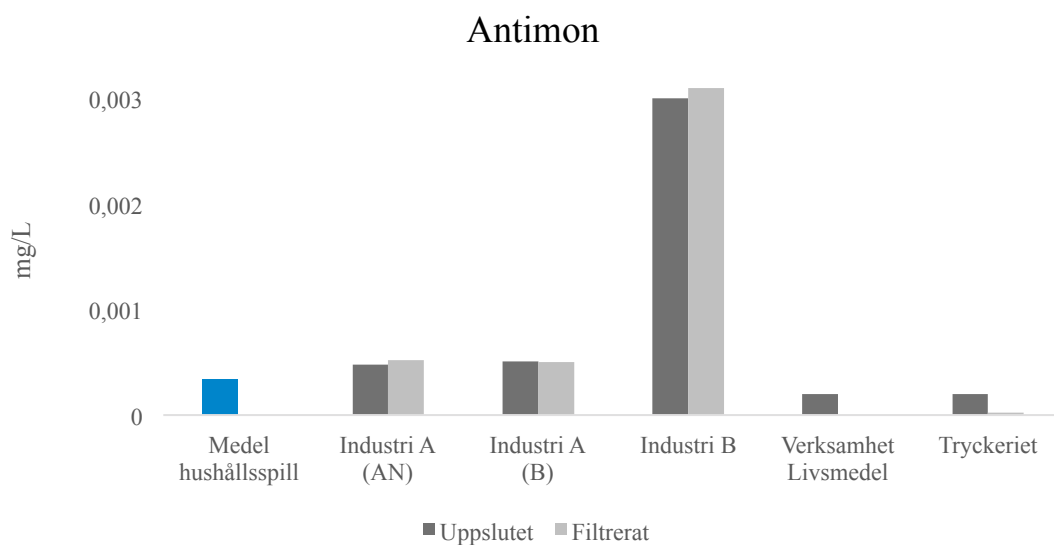


Figur 4.3. Kadmiumhalt i verksamheternas kylvatten. *Inget filtrerat prov togs.

En verksamhet speciellt stack ut med ca 8 gånger så hög kadmiumhalt som varningsvärdet. Det är värt att notera att förekomsten av kadmium i ett hushållsspillvatten också tangerar varningsvärdet, och att de flesta verksamheterna har halter som inte skiljer sig nämnvärt från hushållsspillvatten. Enligt Svenskt Vattens (2019) publikation P95 bör kadmium dock inte förekomma i industriellt processavloppsvatten som släpps till spillvattennäten.

Antimon

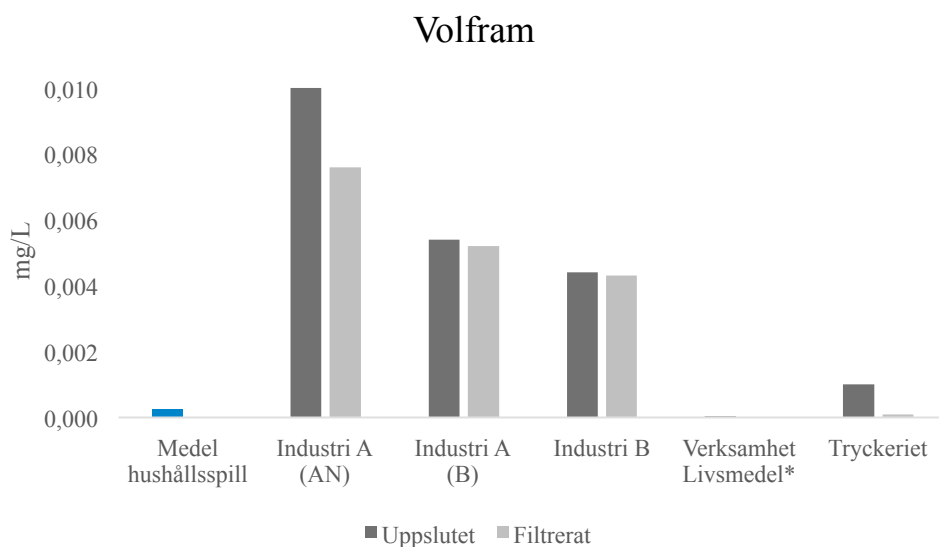
Figur 4.4 visar antimonhalten hos verksamheterna. Hos de flesta verksamheterna var halten i samma storleksordning som för hushållsspillvatten, men en verksamhet stack ut med en tio gånger så hög antimonhalt.



*Figur 4.4. Antimonhalt i verksamheternas kylvatten. *Inget filtrerat prov togs.*

Volfram

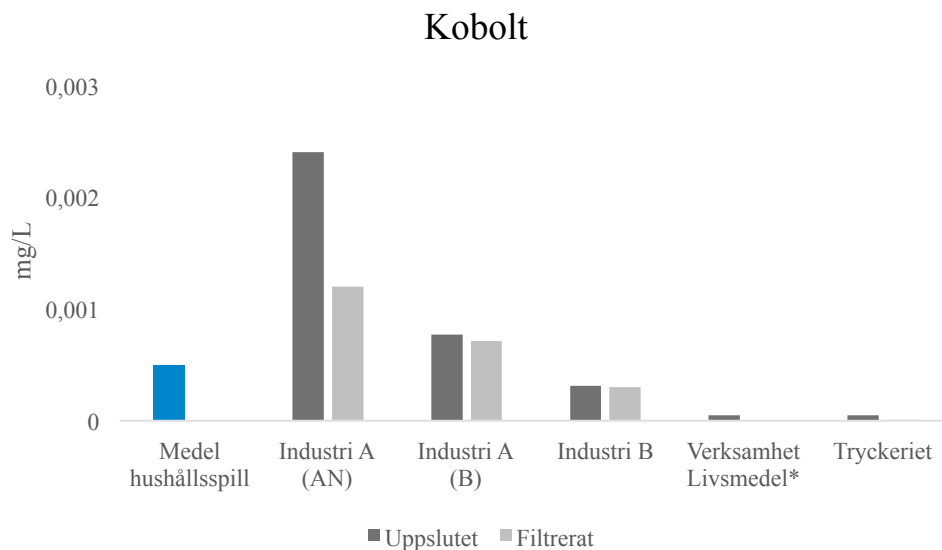
Även volframhalten skiljde sig kraftigt från hushållsspillvatten hos två av verksamheterna, se figur 4.5.



Figur 4.5. Volframhalt i verksamheternas kylvatten. *Inget filtrerat prov togs.

Kobolt

Figur 4.6 visar kobolthalten i kylvatten. Kobolthalten skiljde sig inte lika kraftigt från medelvärdet för hushålls-spillvatten, men var ca 3 gånger så hög hos en av verksamheterna.



Figur 4.6. Kobolthalt i verksamheternas kylvatten. *Inget filtrerat prov togs.

Molybden

En av verksamheterna hade kraftigt förhöjd molybdenhalt i sitt kylvatten. Ett hushållsspillvatten innehåller ungefär 0,002 mg/l, men Industri B hade 8,5 mg/l i sitt kylvatten, d.v.s. mer än 4000 gånger så hög halt. Tidigare provtagning av deras kylvatten mätte halter på 9,5 mg/l. Då

deras nuvarande inhibitor inte innehåller molybden antyder detta att en tidigare molybden-inhibitor använts.

Andra metaller

Metaller som inte förekommit i prover under detta arbete, men som förekommit i tidigare provtagningsdata är bly, krom och nickel. Både Verksamhet D och Datahall E har haft något förhöjd blyhalt. Verksamhet D har dock provtagit regelbundet under sex år och endast haft förhöjd blyhalt en gång. Hos Verksamhet D har det även förekommit halter av krom och nickel nära eller över varningsvärdet flera gånger.

4.1.2 Andra föroreningar

Förutom att ha förhöjda metallhalter använder många verksamheter också biocider och inhibitorer. Säkerhetsdatablad för dessa granskades för förekomst av utfasnings- och riskminskningsämnen enligt PRIO. Tabell 4.1. visar inhibitorer med innehåll och Tabell 4.2. visar biocider med innehåll.

Tabell 4.1. Inhibitorer med innehåll. *P* noterar fosfor, *U* utfasningsämne, *R* prioriterat riskminskningsämne, *S* förekomst på SIN-list och *H* faroangivelse.

Inhibitor	Innehåll	P	U	R	S	H
3D Trasar 3DT230	Fosforsyra	P				
	Bensotriazol			R		H411
	Metyl-1H-bensotriazol			R		H411
Corrguard 202	2-Butenedioic syra (Z)-, dinatrium salt, reaktionsprodukt med dinatrium fosfonat	P		R		
	Metyl-1H-bensotriazol			R		H411
	2-fosfonobutan-1,2,4-trikarboxylsyra	P				
Corrshield NT4209	Natriumtolyltriazol					H411
Corrshield NT4293	Borsyra, dinatrium salt, pentahydrat		U		S	
	Natriummerkaptobenzotiazol					H410
	Fenolftalein		U		S	
ESC 874FF	1-hydroxi-2,2,4,4-tetrafluorbutan-1,1-difosforsyra	P				
Performax 3613	Trikaliummorfosfat	P				
	Reaction mass of trisodium 2- (hydroxyphosphinato)succinate and pentasodium 1- (hydroxyphosphinato) butane-1,2,3,4- tetracarboxylate	P				
	Natriumtolyltriazol					
	Tetrakaliumpyrofosfat					H411
		P				
Performax PM3603	Potassium(1-OH ethylidene) bisphosphonate	P				
	Natriumtolyltriazol					H411
	Trikaliummorfosfat	P				
Trac 102	Dinatriumtetraborat		U		S	
	Natriummerkaptobenzotiazol					H410

Inhibitorerna som granskades innehöll tre utfasningsämnen. Dessa förekommer även på SIN-list. Alla tre är reproduktionstoxiska, men fenoltalein är också mutagen och cancerogen. Tre riskminskningsämnen förekom: bensotriazol och metyl-1H-bensotriazol är potentiellt persistenta, bioackumulerande och/eller giftiga, bensotriazol är även potentiellt hormonstörande. Fyra av inhibitorerna innehöll inte några utfasnings- eller riskminskningsämnen, men tre av dessa innehöll ändå ämnen som kan bedömas vara miljöfarliga med långtidseffekter för vattenlevande organismer. Inhibitorerna granskades också för fosforinnehåll. Fosfor är inte problematiskt vid avledning till spillvattennätet, men kan bidra till övergödning om kylvatten med fosforinhibitor avleds till dagvattennätet. En majoritet av de inhibitorer som granskades innehöll någon form av fosforkomponent.

Tabell 4.2. Biocider med innehåll. P noterar fosfor, U utfasningsämne, R prioriterat riskminskningsämne, S förekomst på SIN-list och H faroangivelse.

Biocider	Innehåll	P	U	R	S	H
Bioguard 340	DBNPA		U			H412
Biosperse 250	MCI/MI		U			H410
Drewbrom One L	Sulfaminsyra					H412
ESC CC 85	Bronopol Poly(hexametylenbiguanid) hydroklorid			R		
Nalco 2510	DBNPA Fosforsyra		U P			H412
Nalco 74833	Bronopol MCI/MI		U	R		H410
Nalco 93033	Natriumhypoklorit			R		H410
Spectrus NX1164	MCI/MI Kopparnitrat		U			H410 H410

Av de nio biocider som granskades innehöll fem utfasningsämnena MCI/MI eller DBNPA. Dessa klassas som utfasningsämnen på grund av miljöfarliga långtidseffekter och mycket hög akut giftighet. DBNPA är dessutom hormonstörande och specifikt organskadande efter upprepad exponering. Tre av biociderna innehöll riskminskningsämnen: Bronopol är potentiellt hormonstörande och natriumhypoklorit miljöfarligt för vattenlevande organismer. I litteraturen anges hypoklorit som en av de vanligast oxiderande biociderna. Svenskt Vatten (2019) menar dock att användningen av hypoklorit bör undvikas; särskilt stora industriella användare av kylvatten bör utreda miljökonsekvenserna och undersöka om hypokloriten går att byta ut då det finns stor risk för bildning av klororganiska föreningar. Två produkter innehöll vare sig utfasnings- eller riskminskningsämnen, men en av dessa innehöll sulfaminsyra som kan ha långtidseffekter för vattenlevande organismer.

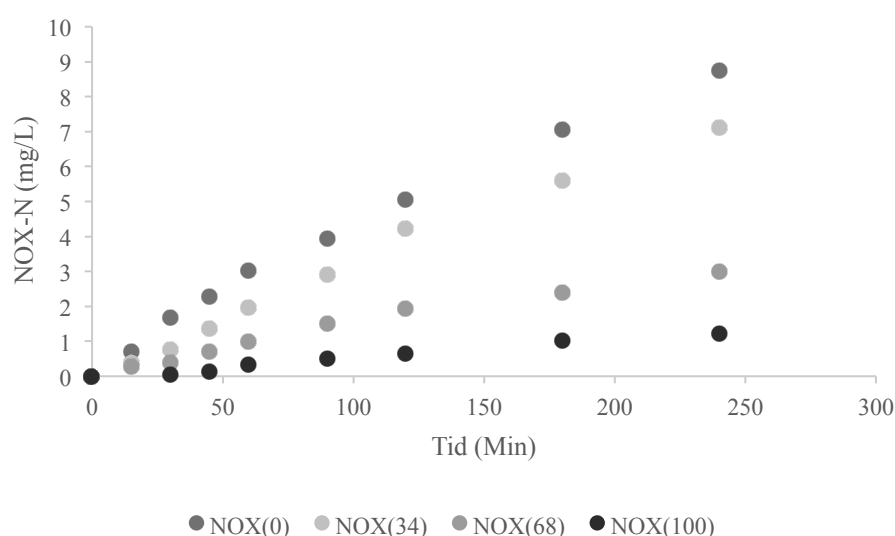
4.1.3 Nitrifikationshämning

Tabell 4.3 visar att nitrifikationshämningen var hög för dygnsprovet hos Industri A och stickprovet hos Industri B, påtagligt högre än varningsvärdet.

Tabell 4.3. Nitrifikationshämning för Industri A och Svenskt Vattens varningsvärde. För prov med 20 % kylvatten får som högst 20 % hämning förekomma, medan prov med 40 % kylvatten får ha högst 50 % hämning.

Prov (vol-%)	Varningsvärde Hämning (%)	Industri A Hämning (%)	Industri B Hämning (%)
0	-	-	-
20	20	59	105
40	50	82	96

Då hämningen var oväntat hög gjordes en extra analys för att se om även detta skulle ge hög hämning. Figur 4.7 visar att även denna analys påvisar en tydlig nitrifikationshämning, om än inte lika hög.



Figur 4.7. Nitrifikationshämning i prov med olika koncentrationer kylvatten: 0,34,68 och 100 % inblandning av kylvatten.

De fyra proven har 0, 34, 68 och 100 procent tillsatt kylvatten. Mängden bildad nitrit och nitrat (NOX-N) minskar med ökande koncentration kylvatten. Efter 240 minuter visade proven med kylvatten 19 %, 66 % och 86 % hämning, jämfört provet utan kylvatten. Eftersom olika provkoncentrationer använts för de två analyserna går de inte att jämföra rakt av. Då en inblandning av 34 % kylvatten krävdes för att åstadkomma 19 % hämning indikerar detta att nitrifikationshämningen i den extra analysen dock är under gränsen för varningsvärdet.

Verksamhet D har enligt tidigare data haft nitrifikationshämning högre än 20 % vid flera tillfällen. De har vid två tillfällen haft så hög hämning som 72 % och 86 %. Flera av de ämnen som enligt Svenskt Vatten (2019) kan bidra till nitrifikationshämning har återfunnits antingen i kylvatten eller i de biocider och inhibitorer som används, bland annat koppar, merkapto-bensotiazol; sulfaminsyra och zink. Det verkar därför rimligt att anta att nitrifikationshämning kan förekomma i kylvatten.

4.2 Avledning

Elva verksamheter delade information om sina system, en av dessa hade två anläggningar. Totalt gjordes därför en översikt över tolv kylsystem.

4.2.1 Öppna system med kyltorn

Generellt avleder öppna system större mängder vatten än slutna system, då de öppna systemen kräver avblödning och tillförsel av råvatten för att hålla uppkoncentreringen i schack. Tabell 4.4 visar att endast två verksamheter hade information om storlek på årlig avblödning (200 och 700 m³ per år). Tre verksamheter hade inte information om storlek på avblödning, däremot på årlig vattenförbrukning, utifrån vilken den årliga avblödningen uppskattades. Mängden avblödning avgörs av uppkoncentreringen och kan därför skilja sig mycket åt mellan olika system. Industri A har till exempel en avblödning på 33 % medan Industri C endast avblöder 15 %. Thomas Krantz från Global Concept berättar om två olika kylsystem där han har hand om vattenbehandlingen. Det ena kylsystemet avblöder 19 % medan det andra endast avblöder 0,1 %. Det finns alltså stora skillnader i avblödning. Utifrån den högsta avblödning som noterats här, uppskattas en maximal avblödning hos Verksamhet D till 33 000 m³ per år. Ishall 1 och 2 är mycket mindre system och uppskattas ha en maximal avblödning på 600 respektive 200 m³ per år.

Tabell 4.4. Verksamheter med öppna kyltorn; volym på kylsystemet; årlig vattenförbrukning och avledning; nät för avledning; förekomst av fosforinhibitor/biocid samt förekomst av förhöjd metallhalt. ”/” noterar att uppgift saknas, medan uppgift markerad i kursivt noterar uppskattat värde.

Verksamhet	System (m ³)	Vattenförbrukning (m ³ /år)	Avledning (m ³ /år)	Nät	P	Metall
Industri A	75	2100	700	Spill	Ja	Ja
Industri C	20	1300	200	Dag	Ja	/
Verksamhet D	/	80 000 – 100 000	26 000 – 33 000	Dag	Ja	Ja
Ishall 1	<10	1800	600	Spill	Ja	/
Ishall 2	<10	600	200	Spill	Ja	/

Alla verksamheter med öppna kyltorn som har intervjuats använder biocider och inhibitorer. Alla verksamheterna har också fosforinhibitor – trots detta avleder två till dagvattennätet. Den verksamhet som provtagits har haft förhöjda metallhalter. Verksamhet D som har delat data från tidigare provtagning har också vid upprepade tillfällen haft förhöjda metallhalter.

4.2.2 Slutna system

Många av de slutna systemen är små, och generellt avleder de mycket mindre än de öppna. Tabell 4.5 visar att de slutna systemen har volymer mellan 10 och 100 m³, och att många avleder mycket litet. Flera av verksamheterna saknade information om volym på system och årlig avblödning. Två av dessa kunde dock ge information om årlig vattenförbrukning. Då avdunstning inte sker i slutna system borde hela den mängden avledas.

Flera av verksamheterna hade relativt nyinstallerade system och angav att de inte avblöds alls. Det är möjligt att nyinstallerade system inte har problem med kylvattnet och därför inte avblöds. Ett av de vattenbehandlingsföretag som intervjuats menar dock att det inte är möjligt att låta ett slutet system cirkulera utan någon som helst avblödning eftersom kylvattenkvali-

teten då försämras avsevärt. Det är därför troligt att även slutna system avblöds, om inte kontinuerligt så vid reparation eller underhåll.

Tabell 4.5. Verksamheter med slutna system; volym på kylsystemet; volym för vattenförbrukning och avledning; nät för avledning; förekomst av fosforinhibitor/biocid samt förekomst av förhöjd metallhalt. ”/” noterar att uppgift saknas, medan uppgift markerad i kursivt noterar uppskattat värde.

Verksamhet	System (m ³)	Vattenförbrukning (m ³ /år)	Avledning (m ³ /år)	Nät	P	Metall
Industri B	10	<5	<5	Spill	Ja	Ja
Datahall E.1	/	1500-2000	<i>1500-2000</i>	Dag	Nej	Ja
Datahall E.2	/	1500-2000	<i>1500-2000</i>	Dag	Nej	Ja
Datahall F	<i>100</i>	<1	<1	Spill	-	/
Verksamhet Livsmedel	50	3636	<i>3636</i>	Dag	-	Ja
Tryckeriet	/	<1	<1	Spill	-	Nej
Ishall 3	/	<1	<1	Spill	-	/

Av verksamheterna med slutna system använder endast två biocider och inhibitorer. De verksamheter som avleder större mängder avleder till dagvattennätet. Båda dessa verksamheter har haft förhöjda metallhalter vid provtagning.

4.2.3 Påverkan av kylvatten på reningsverken

Volymen kylvatten som avleds till reningsverken är oftast relativt liten. Verksamhet D som avleder mest, uppskattas kunna ha en maximal avblödning på 33 000 m³ per år, men avleder för närvarande till dagvattennätet. Den största avledningen till spillvattennätet kommer från Industri A och är ungefär 700 m³ per år. Som jämförelse tog SVOAs reningsverk Henriksdal och Bromma tillsammans emot ca 166 miljoner m³ avloppsvatten under 2023, motsvarande ca 445 000 m³ per dag (Eriksson, 2023).

Eftersom det inte finns något samlat register över kylsystem är det svårt att få en uppfattning om hur stora volymer det skulle kunna röra sig om totalt. Naturvårdsverket (2022, 23 juni) uppskattar att det finns ca 1000 kyltorn i Sverige idag. Om 10 % av dessa finns i Stockholmsområdet skulle det innebära ca 100 kyltorn. Om varje kyltorn avleder 33 000 m³ ger det ett tillskott på drygt 3 miljoner m³ kylvatten per år, dock verkar de flesta öppna system avblöda betydligt mindre mängder. Om de flesta verksamheter istället har en avblödning på 1000 m³ per år ger det en total avblödning på 100 000 m³ per år.

De slutna systemen verkar vara vanligare – en professionell inom vattenbehandling hypotiserar att det säkert finns mer än 1000 små, slutna system i Stockholmsområdet. Om dessa avleder 10 - 3000 m³ per år ger detta mellan 0,01 m³ - 3 miljoner m³ per år till reningsverken. En mycket grov uppskattning ger då att kylvatten skulle kunna bidra med 0,1 - 6 miljoner m³ kylvatten per år, troligtvis någonstans i det lägre spektrumet. En naturlig följdfråga att ställa sig är hur stor påverkan detta egentligen har på reningsverken?

Det är viktigt att ha med sig att uppströmsarbetet vilar på principen om ”många bäckar små”. Enligt Svenskt Vattens (2019) publikation P95 så är det sällan som processavloppsvattnet från en enskild verksamhet påverkar slammets kvalitet så att det inte går att använda, istället är det

den samlade volymen från många verksamheter som medför att halterna i slam eller utloppsvatten blir för höga. Uppströmsarbetet syfte är därför att minska utsläppen vid många, små källor för att på så sätt minska den totala tillförseln av miljögifter till reningsverken. Eftersom kylvatten kan innehålla miljögifter både i form av metaller och organiska föreningar är det viktigt att minska införseln av dessa till reningsverken av flera anledningar.

Som certifierad Revaq-organisation åtar sig SVOA att säkerställa att halter av olika metaller såsom bly, kadmium, koppar, krom, nickel och zink inte blir för höga i slammet, detta för att det ska vara säkert att användas som växtnäring och jordförbättring inom jordbruket (Revaq, 2024). Både koppar och zink verkar vara vanligt förekommande kylvattenföroreningar. Flera av de inhibitorer och biocider som används är utfasningsämnen enligt PRIO. För att följa Revaqs certifieringskrav måste SVOA kontrollera att anslutna verksamheter tar fram handlingsplaner för hur dessa ska fasas ut (Revaq, 2024).

SVOAs miljötillstånd innehåller krav på att successivt minska inflödet av tillskottsvatten till reningsverken (Stockholm Vatten och Avfall, 2019). Tillskottsvatten är vatten som inte utgörs av hushållspillvatten och kan exempelvis vara inläckande grundvatten och regnvatten. Eftersom kylvatten i vissa fall kan betraktas som tillskottsvatten skulle detta kunna avledas till dagvattennätet istället, för att minska belastningen på reningsverken.

Ett problem med detta är dock att många verksamheter dels använder fosforinhibitor och dels har höga metallhalter. Det är vanligt att både införsel av fosfor, koppar och zink till recipient regleras av miljökvalitetsnormer. Om kylvattnet avleds till recipient utan föregående rening kan det göra att dessa inte kan uppnås. Om verksamheterna uppmanas att avleda sitt kylvatten till dagvattennätet kommer de därför behöva stämma av med miljökontoret i aktuell kommun, för att säkerställa att miljökvalitetsnormerna för den aktuella recipienten inte äventyras. Då är det viktigt att regelbunden provtagning görs, och att verksamheterna är medvetna om vad kylvatten kan innehålla.

5 Slutsatser

Genom litteratur- och intervjustudier samt kemiska analyser studerades olika typer av kylvat-
tensystem, kylvattnets föroreningsinnehåll samt omfattning av avledning till det kommunala
VA-nätet. Följande huvudslutsatser har kunnat dras:

- I SVOAs upptagningsområde finns både öppna och slutna system i storleksintervallet 10 till 100-tals m³. Avledningen från de slutna systemen är ofta mycket låg och från de öppna systemen ofta mindre än 1000 m³ per år. Det förekommer dock system med stor vattenförbrukning och därmed potentiellt stor avblödning.
- Metaller är en av de vanligast förekommande föroreningarna i kylvatten. Resultat från kemiska analyser av kylvatten har påvisat förhöjda halter av koppar, zink och kadmium, men även nickel, krom, kobolt, volfram, antimon, molybden och bly har detekterats.
- Intervjustudien visar även att det är vanligt med biocider och inhibitorer, framför allt i öppna system. Många biocider och inhibitorer innehåller utfasningsämnen, riskminskningsämnen och ämnen med långtidseffekter för vattenlevande organismer. Det finns risk att dessa påverkar slam eller recipienter negativt. Många av inhibitorerna innehåller fosfor – vilket gör att det oftast inte är lämpligt att avleda kylvattnet till dagvatten-nätet.
- Nitrifikationshämning har även kunnat påvisas för enskilda verksamheter och har i vissa fall uppgått till mer än 80 %.

Arbetet ger därmed en uppfattning om föroreningsinnehåll i kylvatten. Volymerna i samman-
hanget kan betraktas som relativt små – underlaget är trots detta användbart för att kunna
minska tillförseln av miljögifter till reningsverken som en del av SVOAs uppströmsarbete.

6 Framtida studier

Det här arbetet har visat på föroreningar som kan förekomma i kylvatten. Ett större underlag skulle ge mer säkerhet i vilka föroreningar som är vanliga. Prov tagna i samma verksamheter men över längre tid skulle dessutom ge en bättre bild över hur föroreningsinnehållet kan variera.

Inventering av verksamheter i ett specifikt område skulle kunna ge en bättre uppfattning om avledningsvolym. En sådan inventering borde underlättas av det register över öppna kyltorn som kommer att upprättas under 2024. Eftersom de öppna systemen generellt avleder mer än de slutna skulle detta kunna ge en bra översikt över avledningsvolym. Kombinerat med ett större underlag över föroreningar och koncentrationer, skulle detta bredda förståelsen av tillskott av föroreningar från kylvatten till reningsverk.

Referenser

- Abdel-Shafy, H. I., Shoeib, M. A., El-Khateeb, M. A., Youssef, A.O., Hafez, O.M. (2020). Electrochemical treatment of industrial cooling tower blowdown water using magnesium-rod electrode. *Water Resources and Industry*, 23. Artikel 100121. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100121>
- Ahmed, J., Jamala, Y., Shujaatullah, M. (2020). Recovery of cooling tower blowdown water through reverse osmosis (RO): review of water parameters affecting membrane fouling and pretreatment schemes. *Desalination and Water Treatment*, 189, 9-17. doi: 10.5004/dwt.2020.25639
- Badruzzaman, M., Anazi, J.R., Al-Wohaib, F. A., Al-Malki, A. A., Jutail, F. (2022). Municipal reclaimed water as makeup water for cooling systems: Water efficiency, biohazards, and reliability. *Water Resources and Industry*, 28. Artikel 100188. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100188>.
- Bergsten, B. (2008, juni). *Frikyla med kyltorn - Utvärdering av pilotprojekt om frikyla från evaporativt kyltorn kopplat till vattenburen komfortkyla*. Belok. <https://belok.se/wp/wp-content/uploads/2013/08/Frikyla-med-kyltorn-Slutrapport.pdf>
- ChemSec. (2024). *What is the SIN-list?* Hämtad den 3 juni 2024 från <https://sinlist.chemsec.org/what-is-the-sin-list/>
- Eriksson, M. (2023). Miljörapport 2023. *Avloppsverksamheten Stockholm Vatten och Avfall*. <https://www.stockholmvattenochavfall.se/om-oss/rapporter/rapporter/>
- Finnson, A. (2023, 30 maj). *Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering*. Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstomsarbete/revaq-certifiering/>
- Folkhälsomyndigheten. (2024, 31 januari). *Nu införs anmälningsplikt för kyltorn*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/2024/januari/nu-infors-anmalningsplikt-for-kyltorn/>
- Frayne, C. (2001). The selection and application of nonoxidizing biocides for cooling water systems. *The Analyst*, Spring.
- Göteborgs Stad. (2024). *Batterifabriken*. Hämtad den 21 maj 2024 från <https://goteborg.se/wps/portal/start/goteborg-vaxer/hitta-projekt/stadsomrade-hisingen/torslanda/batterifabriken>
- Hensley, J. C (Red.). (2009). *Cooling Tower Fundamentals* (Second Edition). SPS Cooling Technologies. <https://spxcooling.com/wp-content/uploads/Cooling-Tower-Fundamentals-1.pdf>
- Hu, Y., Chen, C., Liu, S. (2022). Evaluation of microbial agents as corrosion and scale inhibitor for industrial cooling water applications. *Water Science & Technology* 85(6). <https://doi.org/10.2166/wst.2022.051>
- IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control). (2001, december). Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems. [file:///C:/Users/ai03557/HCP/H%C3%A4mtade%20filer/cvs_bref_1201%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ai03557/HCP/H%C3%A4mtade%20filer/cvs_bref_1201%20(2).pdf)
- Kemikalieinspektionen. (2024). *PRIO – ett verktyg för substitution*. Hämtad den 3 juni 2024 från: <https://www.kemi.se/prioguiden/start>
- Ljung, A. & Lagerqvist, R. (2020, september). *Provtagning av hushållsspillvatten i Skarpnäck – en sammanställning 2014-2019* (Rapport 20MB1885). Stockholm Vatten och Avfall. <file:///C:/Users/ai03557/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/Content.Outlo>

- ok/LJ5QOIQY/Provtagning%20av%20hush%C3%A5llspillvatten%20i%20Skarpn%C3%A4ck-%20en%20sammanst%C3%A4llning%202014-2019.pdf
- Meier, D.A., Chen, B., & Myers, C. (2022). Chapter 11- Cooling Water Systems: An overview. I Amjad, Z., & Demadis, K. D. (Red.), *Water-Formed Deposits* (s. 239-267). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822896-8.00020-0>.
- Naturvårdsverket. (2011, februari). *Kemisk och biologisk karakterisering av punktutsläpp till vatten – En handbok med vägledning om bestämning av egenskaperna hos utsläpp av avloppsvatten* (Handbok 2010:3). <https://www.naturvardsverket.se/4ac245/globalassets/media/publikationer-pdf/0100/978-91-620-0172-8.pdf>
- Naturvårdsverket. (2022). *Avloppsvatten – Rening av avloppsvatten i Sverige 2020*. <https://www.naturvardsverket.se/4acbd5/globalassets/media/publikationer-pdf/8800/978-91-620-8895-8.pdf>
- Naturvårdsverket. (2022, 23 juni). *Uppdrag att utreda åtgärder för att motverka och förebygga spridning av legionellabakterier från kyltorn – Redovisning av ett regeringsuppdrag*. <https://edokmeetings.stockholm.se/welcome-sv/namnder-styrelser/kommunstyrelsen/mote-2022-12-21/agenda/remiss-naturvardsverkets-skrivelse-uppdrag-att-utreda-atgarder-for-att-motverka-och-forebygga-spridning-av-legionella-bakterier-fran-kyltornpdf?downloadMode=open>
- Myhr, A. & Villner, M. (2020). *Utsläpp till vatten och slamproduktion 2020 – Kommunala avloppsreningsverk, massa- och pappersindustri samt viss övrig industri*. Naturvårdsverket & Statistiska Centralbyrån. https://www.scb.se/contentassets/df67fbff8d32443db04e94c1b910dd3d/mi0106_2020_a01_sm_mi22sm2201.pdf
- Pinel, I.S.M., Moed, D.H., Vrouwenvelder, J.S., van Loosdrecht, M.C.M. (2020). Bacterial community dynamics and disinfection impact in cooling water systems. *Water Research*, 172. Artikel 115505. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115505>.
- Revaq. (2024, 1 januari). *Regler för certifieringssystemet* (Utgåva 9). <https://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstomsarbete-och-kretslopp/revaq-certifiering/revaq-regler-2024-utgava-9.0-vit.pdf>
- Schofield, M. J. (2002). Corrosion. I D. A. Snow (Red.), *Plant Engineer's Reference Book* (2nd ed. s. 33-1–33-25). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-075064452-5/50088-2>
- Shibli, S.M.A. & Saji, V.S. (2002). Corrosion Inhibitors in Cooling towers. *Chemical Industry Digest*, vol 15.
- Soliman, M., Eljack, F., Kazi, M-K., Almomani, F., Ahmed, E., El Jack, Z. (2022). Treatment Technologies for Cooling Water Blowdown: A Critical Review. *Sustainability*, 14(1), Artikel 376. <https://doi.org/10.3390/su14010376>
- Stockholm Stad. (2020, februari). *Kyltorntillsyn 2019*. <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1980382>
- Stockholm Vatten och Avfall. (2018). *ABVA – Allmänna bestämmelser för vatten- och avloppsanläggningen i Stockholm och Huddinge*. https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdfer/riktlinjer/abva2018_svoa.pdf
- Stockholm Vatten och Avfall. (2019, 3 oktober). *VA-policy*. <https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdfer/riktlinjer/va-policy.pdf>
- Svensk Vattenbehandling. (2023, 23 januari). *Teoretisk funktionsbeskrivning av RISE*. <https://www.svenskvattenbehandling.se/rise-teoretisk-funktionsbeskrivning/>

- Svenskt Vatten. (2019, mars). *Publikation P95 - Råd vid mottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet*. <https://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstomsarbete-och-kretslopp/p95-2019-rad-vid-mottagande-av-avloppsvatten-fran-industri-och-annan-verksamhet.pdf>
- Sörngård, P. (2024, 19 februari). Miljökvalitetsnormer för vatten och hav. Svenskt Vatten. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/utslapp-och-recipient/miljokvalitetsnormer/>
- Venugopalan, V. P., Rajagopal, S., & Jenner, H. A. (2012.) Operational and Environmental Issues Relating to Industrial Cooling Water Systems: An Overview. I Rajagopal, S., Jenner, H. A., & Venugopalan, V. P. (Red.), *Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems* (s. 1-10). Springer. Doi: 10.1007/978-1-4614-1698-2
- Wang, Y., Ye, J., Xu, M., Li, Y., & Dou, J. (2023). Analysis of Microbial Community in Circulating Cooling Water System of Coal Power Plant during Reagent Conversion. *Sustainability*, 15(23), Artikel 16359. <https://doi.org/10.3390/su152316359>
- Weberski Jr., M.P. & Chen, B. (2022). Next Generation Closed Loop Corrosion Inhibitors. *Materials Performance*. <https://www.materialsperformance.com/articles/material-selection-design/2022/03/next-generation-closed-loop-corrosion-inhibitors>
- Yang, H., Li, X., Cao, X., Lu, S., Zheng, X. (2023). The toxicity assessment of 14 biocides for industrial circulating cooling water system by damage/repair pathway profiling analysis. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, (100), Artikel 104156. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104156>.

Appendix

Frågeformulär till verksamheter:

Datum:	Närvarande/befattning:
--------	------------------------

Om anläggningen

Företagets namn:	Typ av verksamhet:
------------------	--------------------

Om kylsystemet:

Vilken typ av kylsystem används i verksamheten? <i>Ex öppet/slutet, cirkulerande/genomströmmande</i>	Kylsystemets funktion för verksamheten:
Vilka material ingår i systemet?	Vattenmängd som cirkulerar/passerar:
Ingående vattenkvalitet? <i>D.v.s. används dricksvatten eller annan typ av vatten? Behandlas vattnet på något sätt, t.ex. avjonisering?</i>	Hur mycket dricksvatten tillförs per år?
Hur töms systemet? <i>Kontinuerligt eller töms hela systemet? Om slutet system, har det tömts någon gång?</i>	Vart leds det tömda vattnet? <i>Dag/spill/deponi?</i>

Tillsatser:

Används biocider? <i>Om ja – Vilka och i vilken koncentration?</i>	Används inhibitorer? <i>Om ja – Vilka och i vilken koncentration?</i>
Finns säkerhetsdatablad att få kopia på? (alt namn + leverantör för produkt)	

Övrigt:

Upplevda problem?	Vad föranledde upptäckt?
Kontrolleras pH och konduktivitet?	Görs annan provtagning? Finns data?

Tabell A.1. Analyssvar från Eurofins Water Testing Sweden för metaller och nitrifikationshämning, samt nitrifikationshämning från egen analys.

Verksamhet	Ofiltrerade prover (mg/L)						
	<i>Antimon</i>	<i>Kadmium</i>	<i>Kobolt</i>	<i>Koppar</i>	<i>Molybden</i>	<i>Volfram</i>	<i>Zink</i>
Industri A - AN	0,00048	0,00015	0,0024	0,59	0,003	0,01	0,77
Industri A - B	0,00051	0,00015	0,00077	0,2	0,0028	0,0054	0,53
Industri B	0,003	0,00069	0,00031	0,2	8,5	0,0044	0,017
Verksamhet Livsmedel	0,0002	0,0001	0,00005	0,3	0,00094	0,000028	0,014
Tryckeriet	0,0002	0,0001	0,00005	0,0023	0,075	0,001	0,002
	Filtrerade prover (mg/L)						
Industri A - AN	0,00052	0,00014	0,0012	0,1	0,0028	0,0076	0,63
Industri A - B	0,0005	0,00012	0,00071	0,12	0,0029	0,0052	0,49
Industri B	0,0031	0,00074	0,0003	0,17	8,7	0,0043	0,016
Tryckeriet	0,00002	0,00004	0,00001	0,0017	0,0068	0,0001	0,00078
	Nitrifikationshämning (%) 18/4-2024						
	20 vol-%	40 vol-%					
Industri A - AN	59	82					
	Nitrifikationshämning - Egen analys (%) 29/5-2024						
	34 vol-%	68 vol-%	100 vol-%				
Industri A - AN	19	66	86				